

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Konfigurace a nastavení ochrany SIPROTEC 7SJ63 - test
chránění**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Milan HUCL
Osobní číslo: E12N0131P
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Jaderná elektroenergetika
Název tématu: Konfigurace a nastavení ochrany SIPROTEC 7SJ63 - test chránění
Zadávající katedra: Katedra elektroenergetiky a ekologie

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

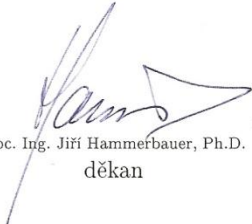
1. Popište možnosti nastavení ochrany SIPROTEC 7SJ63.
2. Proveďte návrh pro testování funkcí ochrany SIPROTEC 7SJ63.
3. Otestujte nastavení ochrany a navrhňte možnosti rozšíření testování.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. SIPROTEC 7SJ63
2. Omicron tester

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014


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




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

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá multifunkční ochranou SIPROTEC 7SJ63 vyrobenou společností Siemens. Popisuje široké uplatnění této ochrany v praxi a možnosti jejího nastavení. Objasňuje princip fungování obsažených funkcí. Dále je zde zpracovaný návrh na otestování správné činnosti nadproudové ochrany a výsledky z této provedené zkoušky. Diplomová práce také obsahuje možnosti rozšíření testování, a to o zkoušku ochrany proti nesymetrii a ochranu proti selhání vypínače. V práci je proveden výpočet nastavení ochrany motoru ventilátorového mlýna z elektrárny Pruněřov. Hodnoty z teoretického výpočtu jsou použity pro následné otestování.

Klíčová slova

Multifunkční, ochrana, nadproudová, měření, charakteristika, náběh, návrat, detekce, automatika, kontrola, hodnoty, informace, napětí, proud, testování, nastavení.

Abstract

The presented diploma thesis deals with the multifunctional protection SIPROTEC 7SJ63 made by Siemens company. It describes diverse applications of this protection device in practice and the possibility of its settings. The thesis clarifies the principles of operation of the functions contained. Additionally, there is also drawn up proposal for testing the correct operation of overcurrent protection and the results of the carried out test. The diploma thesis contains also the possibility to extend the testing with the asymmetry protection test and switch failure protection test. In the thesis is calculation of protection setting of the ventilator mill from power plant Prunéřov. The values of the theoretical calculation are used for testing.

Key words

Multifunctional, protection, overcurrent, measurement, characteristic, pickup, dropout, detection, automation, control, values, information, voltage, current, testing, setting.

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 7.5.2014

Milan Hucl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na mém odborném vzdělávání během studia na Západočeské univerzitě v Plzni. Především děkuji vedoucí mé práce Ing. Janě Jiříčkové, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracovávání této diplomové práce.

Poděkovat bych chtěl také své rodině za podporu během celého mého studia.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
1 MOŽNOSTI NASTAVENÍ OCHRANY SIPROTEC 7SJ63	11
1.1 NADPROUDOVÁ OCHRANA	11
1.1.1 Stabilizace náběhu	11
1.1.2 Stabilizace při zapnutí	11
1.1.3 Proudově závislé nadproudové stupně I_p , I_{EP}	12
1.1.4 Rychlá přípojnicová ochrana zpětným blokováním	13
1.2 SMĚROVÁ NADPROUDOVÁ OCHRANA	13
1.2.1 Fuse-Failure-Monitor (FFM)	15
1.2.2 Určení směru proudu	15
1.2.3 Rozhodnutí o směru fázovým měřicím členem	16
1.3 DYNAMICKÉ PŘEPÍNÁNÍ PARAMETRŮ	17
1.4 JEDNOFÁZOVÁ NADPROUDOVÁ OCHRANA	17
1.4.1 Vysokoimpedanční rozdílová ochrana	18
1.4.2 Dimenzování odporu R	19
1.4.3 Nádobová ochrana	19
1.5 NAPĚŤOVÁ OCHRANA	20
1.5.1 Podpěťová ochrana	20
1.6 OCHRANA PROTI NESYMETRII	21
1.7 MOTOROVÁ OCHRANA (KONTROLA DOBY ROZBĚHU, BLOKOVÁNÍ OPĚTNÉHO ZAPNUTÍ)	22
1.7.1 Kontrola doby rozběhu	22
1.7.2 Blokování opětného zapnutí	23
1.8 FREKVENČNÍ OCHRANA	24
1.9 OCHRANA PROTI PŘETÍŽENÍ	24
1.9.1 Teplota chladiva (teplota okolí)	25
1.10 DETEKCE ZEMNÍCH PORUCH (CITLIVÁ/NECITLIVÁ)	25
1.10.1 Napěťový stupeň	25
1.10.2 Určení fáze postižené poruchou	26
1.10.3 Proudové stupně	26
1.10.4 Určení směru	27
1.10.5 Určení místa poruchy	28
1.11 OCHRANA PŘERUŠOVANÝCH ZEMNÍCH PORUCH	29
1.12 AUTOMATIKA OPĚTNÉHO ZAPNUTÍ	29
1.12.1 Programy opětného zapnutí	30
1.12.2 Opětné zapnutí před selektivitou	30
1.12.3 Blokování	31
1.12.4 Detekce stavu a kontrola vypínače	31
1.12.5 Koordinace chodu	32
1.13 LOKÁTOR PORUCH	33
1.14 OCHRANA PŘI SELHÁNÍ VYPÍNAČE	34
1.15 TERMOBOX	35
1.16 PŘEPÍNÁNÍ TOČIVÉHO POLE	36
1.17 ŘÍZENÍ FUNKCÍ	36
1.18 PŘÍDAVNÉ FUNKCE	37
1.18.1 Zpracování hlášení	37
1.18.2 Statistika	38
1.18.3 Hodnoty měřené, střední, maximální, minimální a mezní	39
1.18.4 Počítadla energií	41
1.18.5 Nástroje pro uvádění do provozu	41
1.19 OCHRANA PŘI JEDNOFÁZOVÉM PŘIPOJENÍ PTN	42
1.20 ZPRACOVÁNÍ POVELŮ	43
1.21 KONTROLNÍ FUNKCE	43

1.21.1	Kontrola hardwaru.....	44
1.21.2	Kontrola softwaru.....	44
1.21.3	Kontroly sekundárních obvodů.....	44
1.21.4	Kontrola vypínacího obvodu.....	46
2	NÁVRH PRO TESTOVÁNÍ FUNKCÍ OCHRANY SIPROTEC 7SJ63 – NADPROUDOVÁ OCHRANA.....	48
2.1	ZÁKLADNÍ ČLENY OCHRAN	48
2.2	POŽADAVKY KLADENÉ NA OCHRANY.....	49
2.3	DRUHY ZKOUŠEK OCHRAN	49
2.3.1	Zkouška přejímací.....	49
2.3.2	Zkouška pravidelná.....	49
2.3.3	Zkoušky příležitostné a mimořádné.....	50
2.3.4	Primární zkouška	50
2.3.5	Sekundární zkouška.....	51
2.3.6	Zkouška činnosti automatik.....	51
2.4	ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJ OMICRON CMC 256	51
2.5	NÁVRH TESTOVÁNÍ - ÚKOLY MĚŘENÍ	54
2.5.1	Měření bod po bodu.....	54
2.5.2	Návrh testování - měření pomocí ucelené zkoušky.....	55
2.6	NÁVRH TESTOVÁNÍ - POSTUP MĚŘENÍ	55
2.7	NÁVRH TESTOVÁNÍ – ZAPOJENÍ ÚLOHY	56
2.8	NÁVRH TESTOVÁNÍ - NASTAVENÍ VYPÍNACÍCH CHARAKTERISTIK	57
2.8.1	Zemní nadproudová ochrana.....	57
2.8.2	Fázová nadproudová ochrana	58
3	OTESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY A NÁVRH ROZŠÍŘENÍ TESTOVÁNÍ.....	60
3.1	TESTOVÁNÍ POMOCÍ METODY BOD PO BODU.....	60
3.1.1	Zemní nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf.....	60
3.1.2	Fázová nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf.....	61
3.2	TESTOVÁNÍ POMOCÍ UCELENÉ ZKOUŠKY	62
3.2.1	Zemní nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf.....	62
3.2.2	Fázová nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf.....	63
3.3	ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	64
3.4	MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ TESTOVÁNÍ OCHRANY SIPROTEC 7SJ63 – KONTROLA NA SELHÁNÍ VYPÍNAČE.....	65
3.4.1	Zadání.....	65
3.4.2	Postup měření	65
3.4.3	Výsledky testu a vyhodnocení.....	66
3.5	MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ TESTOVÁNÍ OCHRANY SIPROTEC 7SJ63 – OCHRANA PROTI NESYMETRII.....	66
3.5.1	Zadání.....	66
3.5.2	Postup měření	66
3.5.3	Výsledky testu a vyhodnocení.....	67
3.6	NÁVRH OCHRANY MOTORU VENTILÁTOROVÉHO MLÝNA V ELEKTRÁRNĚ PRUNĚŘOV	68
3.6.1	Systém chránění	68
3.6.2	Technické údaje motoru	69
3.6.3	Jednopolové schéma vývodu k motoru ventilátorového mlýna	70
3.6.4	Výpočet nastavovaných hodnot.....	70
3.6.5	Výsledky měření	76
	ZÁVĚR.....	80
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	81
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	82
	PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Zdroje dodávající elektřinu do přenosových a distribučních sítí během několika let výrazně změnilly svoji podobu. Přibýly zdroje, které elektřinu nevyrábí v konstantním režimu a jejich výkon se v čase výrazně mění. Jsou to zejména fotovoltaické a větrné elektrárny. Ze strany odběratelů elektrické energie je kladen stále větší a větší důraz na kvalitu, bezpečnost a spolehlivost dodávky. Dlouhodobý výpadek elektrického proudu může způsobit značné ekonomické škody zejména ve výrobních závodech. Chráněné objekty mohou mít cenu v řádech milionů. I to jsou důvody, proč udělaly elektrické ochrany v posledních několika letech obrovský krok dopředu.

Tato diplomová práce se zabývá multifunkční ochranou SIPROTEC 7SJ63. Lze ji nasadit jako ochranu distribučních i přenosových sítí všech napěťových hladin. Hodí se pro sítě s uzemněným, kompenzovaným, izolovaným a nízkoodporovým uzemněným uzlem. Využita může být v sítích hvězdicových nebo kruhových s jednoduchým nebo vícenásobným napájením. Tuto ochranu lze aplikovat i u generátorů a motorů, kde se hlídá doba rozběhu, zablokovaný rotor, pokles napětí a proudu při rozběhu a také vícenásobný rozběh. Hlavní ochrannou funkcí zmíněného přístroje je nesměrová nadproudová ochrana.

Dále multifunkční ochrana obsahuje napěťovou ochranu, frekvenční ochranu, ochranu proti nesymetrii, ochranu proti přetížení, automatiku opětného zapnutí atd. Celkem je přídavných a ochranných funkcí v tomto typu přístroje na dvě desítky.

1 Možnosti nastavení ochrany SIPROTEC 7SJ63

1.1 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana je hlavní ochrannou funkcí tohoto přístroje. Je vhodná pro použití v jednostranně napájené radiální síti a otevřené kruhové síti. Hodí se také jako ochrana transformátorů, generátorů, motorů a přípojnic. Je vybavena třemi na sobě nezávislými stupni pro fázové a zemní proudy. Zkratový stupeň $I_{>>}$ pracuje s proudově nezávislým vypínacím časem stejně jako nadproudový stupeň $I_{>}$. Stupeň označovaný I_P pracuje s proudově závislým vypínacím časem.

Nadproudová ochrana zemního proudu může pracovat buďto se zemním proudem I_E nebo s proudem $3I_0$. Tento proud se získá výpočtem ze tří fázových proudů. U každého stupně může být blokován časový člen a tím pádem přerušen vypínací povel. Děje se tak pomocí blokovacího binárního vstupu nebo automatického opětovného zapnutí. Pokud je blokování zrušeno během náběhu, je časový člen znovu spuštěn. U signálu ručního zapnutí tomu tak není. Pokud ruční zapnutí vydá povel k zapnutí do poruchy, dojde k vypnutí ihned. Zpoždění může být překlenuto pomocí impulsu ručního zapnutí u nadproudového nebo zkratového stupně. Znamená to, že příslušné stupně provedou vypnutí po náběhu ihned. Tento impuls musí být prodloužen minimálně na 300 ms.

1.1.1 Stabilizace náběhu

U nezávislého nadproudového a zkratového stupně se může použít stabilizace náběhu parametrovatelným časem návratu. Dají se tak nastavit různě dlouhé přídržné momenty ochrany. Při poklesu proudu pod stanovenou mez je spuštěn čas návratu a ponechá popud nadále aktivní. Čas působení vypínacích povelů mezitím stále běží. Po uplynutí času zpoždění návratu je čas působení vypínacího povelu resetován za podmínky, že nedojde k dalšímu překročení mezního proudu. Dojde-li k překročení mezního proudu při stále působícím času zpoždění návratu, je tento čas přerušen, ale čas působení ochrany stále běží. Po doběhu času působení je při překročení mezní hodnoty čas působení ochrany opět rozběhnut. Pokud je ale proud po uplynutí času působení pod mezní hodnotou následuje vypnutí ochrany. Nasazení takovéto stabilizace je vhodné u sítí s přechodnými poruchami.

1.1.2 Stabilizace při zapnutí

U nezávislého nadproudového stupně může být použita stabilizace při zapnutí. Při překročení fázového nebo zemního proudu nad náběhovou hodnotu je po uplynutí příslušných časů působení vydáván vypínací povel. Pokud je ovšem v činnosti stabilizace při zapnutí

nenásleduje náběh ochrany, ale po uplynutí příslušných časů působení je vydáno hlášení, které rovněž otevírá poruchu a příslušný čas působení. Pokud je po jeho uplynutí stále detekován zapínací proud, je vydáno příslušné hlášení („...Zeitabl.“). K vypnutí ale nedojde. Přídržný poměr je asi 95% náběhové hodnoty. Tato funkce může být velice užitečná při nasazení na vývodech transformátoru. Při jeho zapnutí je třeba počítat s velkými zapínacími proudy přesahující několikanásobně jmenovitý proud, které mohou trvat v řádech desítek milisekund až sekund. Ačkoliv je filtrací měřených proudů vyhodnocována pouze základní harmonická, mohlo by dojít k chybnému vyhodnocení, protože zapínací proud transformátoru také obsahuje značný podíl základní harmonické.

1.1.3 Proudově závislé nadproudové stupně I_p , I_{EP}

Proudově závislé stupně pracují vždy s proudově závislou charakteristikou dle normy IEC nebo ANSI nebo si charakteristiku náběhu i návratu může navolit sám uživatel. Nastavuje se až 20 párů hodnot proudu a času, ze kterých přístroj danou charakteristiku sestojí. Avšak k dostatečně přesné charakteristice ve většině případů stačí 10 hodnot. Přístroj hodnoty zaokrouhluje, proto je dobré použít předem definované hodnoty proudů dle následující tabulky.

$I/I_p = 1$ až 1,94		$I/I_p = 2$ až 4,75		$I/I_p = 5$ až 7,75		$I/I_p = 8$ až 20	
1,00	1,50	2,00	3,50	5,00	6,50	8,00	15,00
1,06	1,56	2,25	3,75	5,25	6,75	9,00	16,00
1,13	1,63	2,50	4,00	5,50	7,00	10,00	17,00
1,19	1,69	2,75	4,25	5,75	7,25	11,00	18,00
1,25	1,75	3,00	4,50	6,00	7,50	12,00	19,00
1,31	1,81	3,25	4,75	6,25	7,75	13,00	20,00
1,38	1,88					14,00	
1,44	1,94						

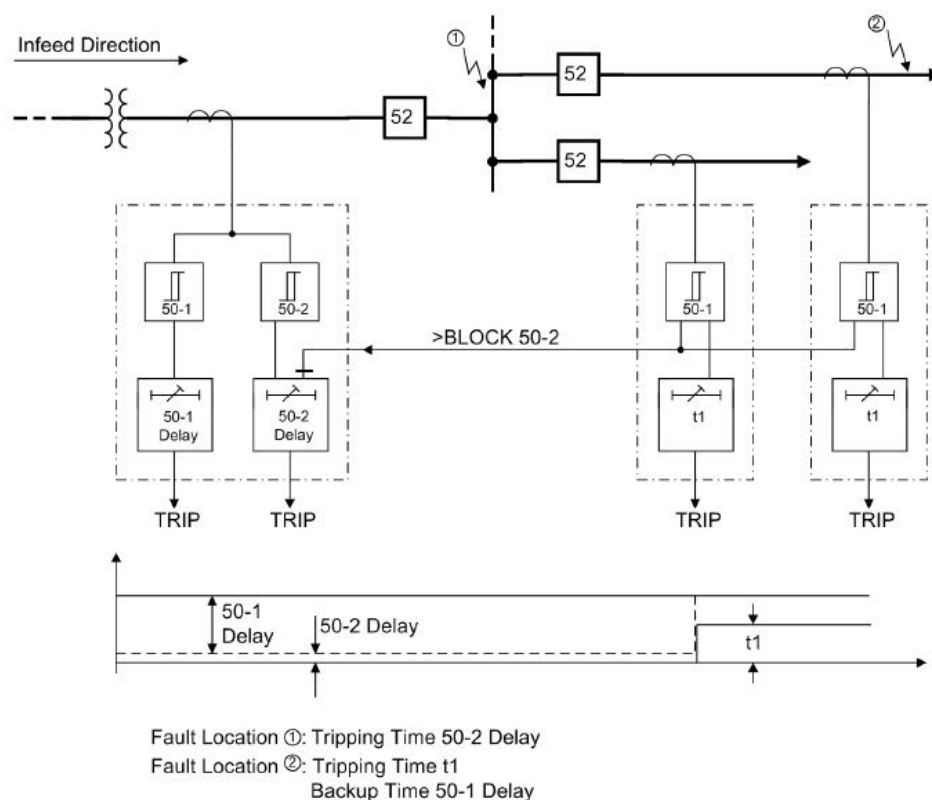
Tab. 1. 1 Přednostní hodnoty normovaných proudů pro uživatelem specifikovanou charakteristiku náběhu

Každý fázový a zemní proud je jednotlivě porovnáván s náběhovou hodnotou, a pokud překročí 1,1 násobek této hodnoty, naběhne příslušný stupeň a je selektivně hlášen. Z měřených proudů a zvolené vypínací charakteristiky je vypočten vypínací čas, po jehož uplynutí je vydán vypínací povel. Je-li v činnosti stabilizace při zapnutí, je vydáno hlášení. U charakteristik IEC nebo ANSI lze nastavit, zda se návrat uskuteční ihned po poklesu proudu na cca 95% náběhové hodnoty. Při opětovném náběhu začíná časování od začátku, nebo může být návrat realizován tzv. diskovou emulací. U diskové emulace časový čítač simuluje

návratový proces odpovídající zpětnému otáčení Ferrarisova kotouče. Setrvačnost tohoto kotouče respektuje „historii“ po sobě následujících poruch. To přináší výhody, pokud časová selektivita nadproudové ochrany musí být koordinována s elektromagnetickými přístroji v síti.

1.1.4 Rychlá přípojnicová ochrana zpětným blokováním

Funkce zpětného blokování je nejlépe pochopitelná z obrázku 1. 1. Ochrana v přívodu do sběrnice vypíná v rychlém čase (50-2), pokud není blokována ochranou umístěnou na vývodech ze sběrnice. Při poruše označené číslem 1 samozřejmě vypne ochrana v přívodu. Při poruše 2 tomu tak nebude. Ochrana na vývodu způsobí blokování ochrany v přívodu a sama poruchu vypne. Blokování se provádí binárním vstupem. Znamená to, že vždy bude vypínat ochrana umístěná blíže k místu poruchy. Použití je vhodné v rozvodnách vlastní spotřeby elektrárny, v paprskových sítích apod., kde jeden transformátor napájí sběrnici s více vývody.

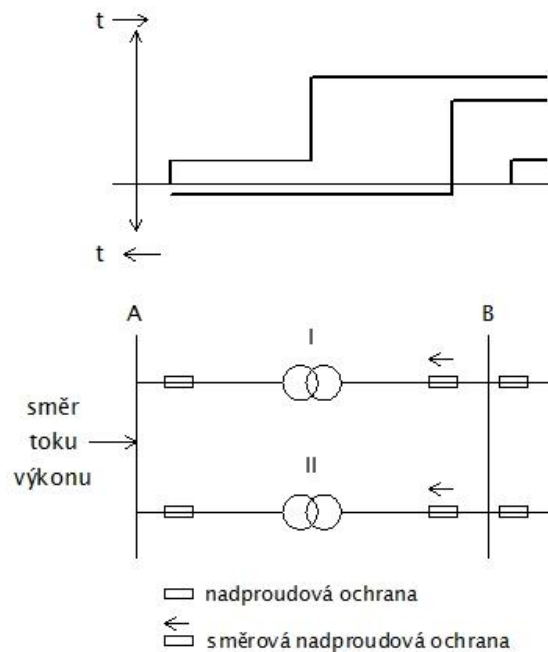


Obr. 1. 1 Přípojnicová ochrana zpětným blokováním, princip (převzato z [6])

1.2 Směrová nadproudová ochrana

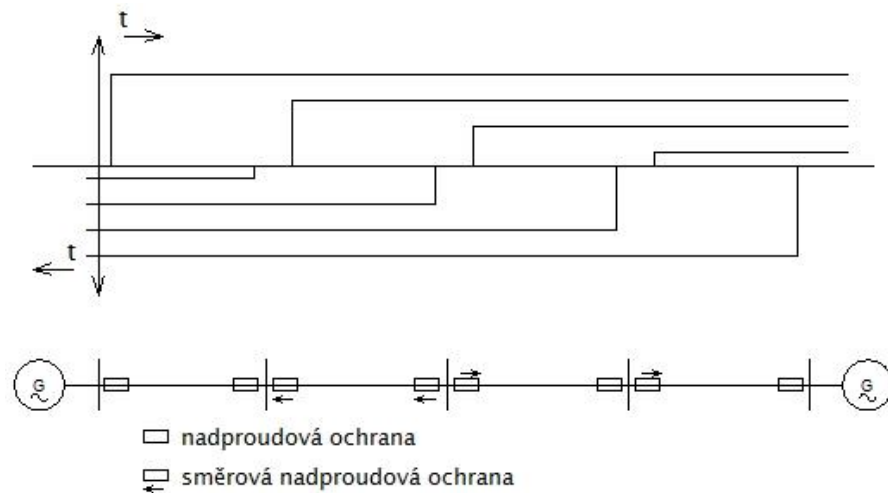
Směrová nadproudová ochrana stejně jako nesměrová nadproudová ochrana obsahuje tři na sobě nezávislé stupně. Zkratový stupeň I>> a nadproudový stupeň I> pracující s proudově nezávislým vypínacím časem a stupeň označovaný I_p pracující s proudově závislým

vypínacím časem. Aplikaci nachází tento druh chránění v oboustranně napájené nebo kruhové síti a u jednostranně napájených paralelních vedení nebo u paralelních transformátorů, jak je vidět na obrázku 1.2.



Obr. 1. 2 Nadproudová ochrana u paralelních transformátorů

Pokud by paralelní větve nebyly vybaveny směrovými ochranami, znamenal by zkrat v jedné větvi vypnutí obou větví současně. Při použití směrové ochrany se tak nestane. Představme si zkrat ve větvi číslo jedna. Jako první zareaguje směrová nadproudová ochrana v první větvi, poté z důvodu delší časové prodlevy nesměrová nadproudová ochrana taktéž v první větvi. Tím je odstraněna porucha. Druhá větev je nadále v provozu právě z důvodu směrovosti ochrany, která tím pádem na zkratový proud nereagovala. Stejný princip je využíván u oboustranně napájené síti na obrázku 1.3.



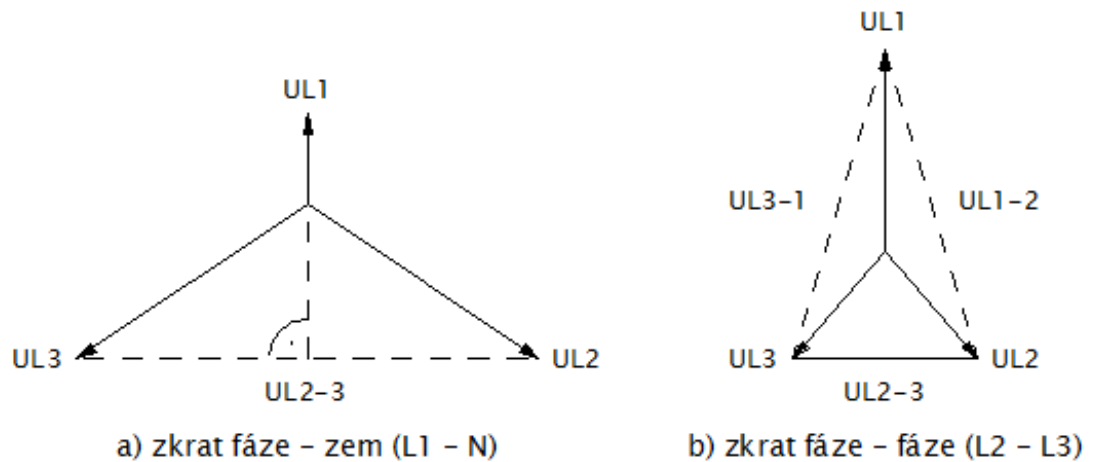
Obr. 1. 3 Nadproudová ochrana u oboustranně napájené sítě

1.2.1 Fuse-Failure-Monitor (FFM)

Při výpadku napětí v některé z fází vlivem zkratu nebo přerušení vodiče v sekundárním obvodu napěťového transformátoru může stupeň zbytkového napětí citlivé detekce zemních poruch, směrová nadproudová ochrana a podpěťová ochrana vyvolat chybné výsledky měření. Funkce FFM však bere v potaz i zemní proud. Pokud je nulový, dá se usuzovat porucha v sekundárním obvodu napěťových transformátorů a není třeba fázi vypínat. FFM proto stupeň zbytkového napětí citlivé detekce zemních poruch, směrovou nadproudovou ochranu a podpěťovou ochranu zablokuje.

1.2.2 Určení směru proudu

Určení směru se provádí zvlášť pro každou fázi a zemní proud, popřípadě součtový proud $3I_0$. Zpravidla se pro určení směru používá fázový posuv mezi zkratovým proudem a referenčním napětím. Pro měření ve fázích se používá sdružené (referenční) napětí, které je zkratem nepostižené a zkratový proud v postižené fázi. Pokud dojde k blízkému zkratu a napětí se tzv. zhroutlí, použije se hodnota napětí z paměti a po dvou periodách se určí směr. Pokud není v paměti žádné napětí, dojde k náběhu. Nepostižená (referenční) napětí fázových měřicích členů jsou při poruše fáze-zem teoreticky kolmá k napětí při zkratu. Při poruše fáze-fáze se může poloha směrové přímky posouvat mezi 60 a 90 stupni podle toho, zda došlo k blízké nebo vzdálené poruše.

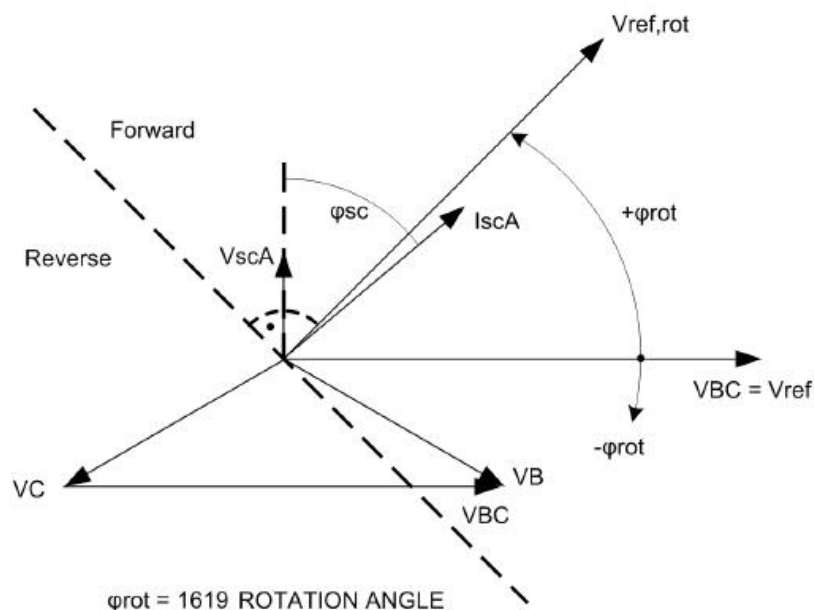


Obr. 1. 4 Nepostižená napětí pro určení směru

U měřicího členu zemních poruch může být směr zkratu určen z nulových složek (popřípadě zemních veličin) nebo ze zpětných složek. V prvním případě je změřen zemní proud I_E nebo je vypočten z vektorového součtu tří fázových proudů a dále je změřeno zbytkové napětí U_E nebo je vypočteno zbytkové napětí U_0 ze tří fázových napětí. Pokud se jedná o vyhodnocení pomocí zpětných složek, použije se zpětná složka proudů a jako referenční napětí zpětná složka napětí.

1.2.3 Rozhodnutí o směru fázovým měřicím členem

Jak již bylo uvedeno, vyhodnocení směru se provádí výpočtem fázového posuvu mezi zkratovým proudem a referenčním, poruchou nepostiženým sdruženým napětím. Abychom docílili co největší jistoty zjištění směru proudu, používá se vektorové pootočení referenčního napětí co možná nejbližší vektoru zkratového proudu. Tím se vyhoví různým podmínkám sítě. Na obrázku 1. 5 je znázorněna porucha na fázi A. Zkratový proud I_{scA} se za napětím v postižené fázi U_{scA} zpožďuje o úhel φ_{sc} . Referenční napětí je v daném případě pootočeno kladně o 45° proti směru hodinových ručiček.



Obr. 1. 5 Natočení referenčního napětí (převzato z [6])

Natočené referenční napětí definuje směr vpřed jakožto $\pm 86^\circ$ právě od jeho vektoru. Nachází-li se vektor zkratového proudu v této oblasti, ochrana vyhodnocuje směr proudu vpřed. Leží-li proud zkratového proudu v zrcadlové oblasti, detekuje ochrana směr vzad. V mezioblasti není směr vyhodnocen.

1.3 Dynamické přepínání parametrů

Tato funkce umožňuje dynamické přepínání náběhových hodnot a také umožňuje libovolně měnit časy působení výše popsaných směrových i nesměrových nadproudových ochran. Využití je vhodné ve dvou případech. U zařízení, které mají po zapnutí zvýšený odběr výkonu. Mohou to být motory, klimatizace, topení apod. Druhý případ závisí na tom, zda je v činnosti automatika opětovného zapnutí nebo nikoliv.

Pokud je chráněné zařízení vypnuté, tj. binární vstup hlásí vypnutý vypínač nebo proud klesne pod nastavenou proudovou mez, začne se odpočítávat čas, po jehož uplynutí jsou v činnosti zvýšené náběhové hodnoty. Po zapnutí zařízení se začne odpočítávat další čas, po jehož uplynutí jsou náběhové hodnoty vráceny zpět na svojí původní hodnotu.

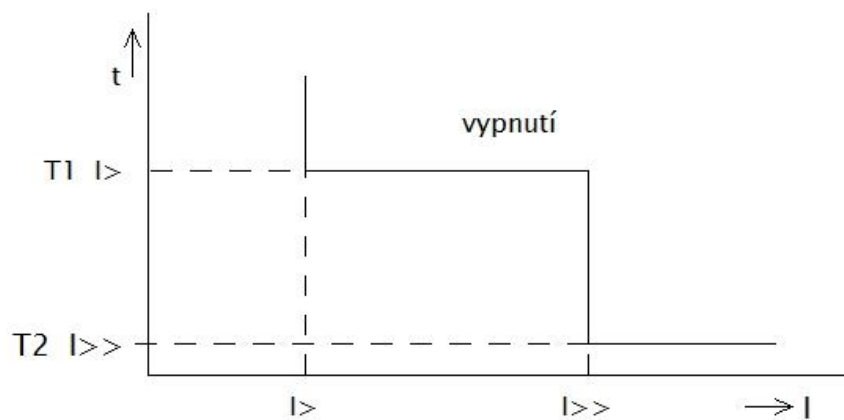
1.4 Jednofázová nadproudová ochrana

Příklady aplikace:

- Zemní zkratová ochrana transformátoru
- Citlivá nádobová ochrana

Funkce je velice jednoduchá a snadno pochopitelná z dvoustupňové vypínací

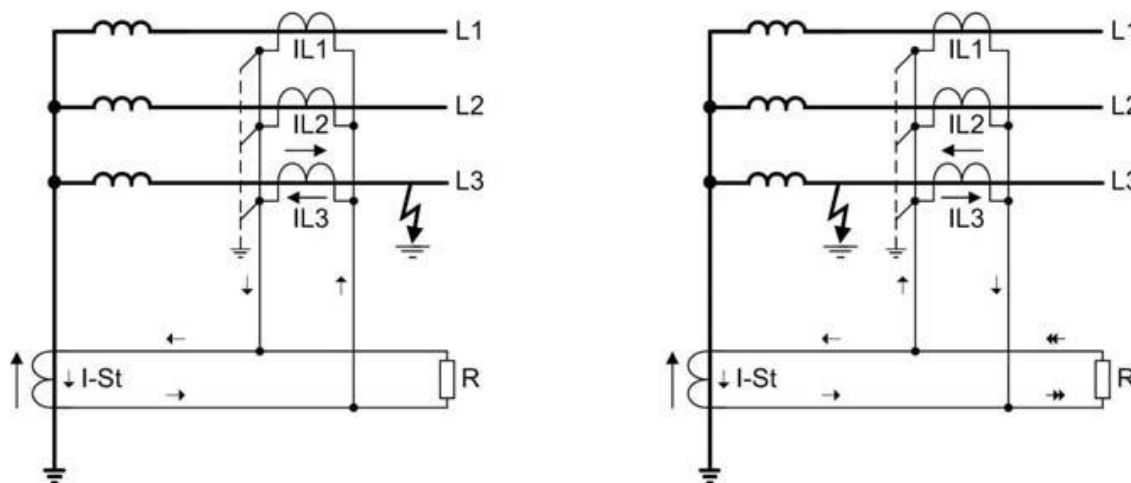
charakteristiky. Do hodnoty $I >$ ochrana nevybavuje nikdy. Po překročení této hodnoty vypíná za čas T_1 . Po překročení zkratového stupně $I >>$ vypíná ochrana za čas T_2 . ($T_1 > T_2$). Proudové náběhové meze i časy vypínání jsou parametrovatelné.



Obr. 1. 6 Dvoustupňová charakteristika jednofázové nadproudové ochrany

1.4.1 Vysokoimpedanční rozdílová ochrana

Při zemním zkratu v chráněné oblasti teče nulovým bodem proud I_{St} . Velikost tohoto proudu závisí na zemních poměrech v síti. Sekundární proud, odpovídající celkovému zkratovému proudu prochází odporem R , který má velkou hodnotu, a proto se na něm tvoří velký úbytek napětí, jenž působí proti sycení proudových transformátorů.



Obr. 1. 7 Princip zemní ochrany na vysokoimpedančním principu (převzato z [1])

1.4.2 Dimenzování odporu R

Vysokoimpedanční ochrana má nabíhat zhruba při polovině sytícího napětí proudových transformátorů. Potom platí pro výpočet odporu: $R = \frac{U_s}{2 \cdot I_{an}}$

Rov. 1. 1 Výpočet odporu R

$$\text{Sytící napětí: } U_s = \left(R_i + \frac{P_n}{I_n^2} \right) \cdot n \cdot I_n$$

Rov. 1. 2 Výpočet sytícího napětí U_s

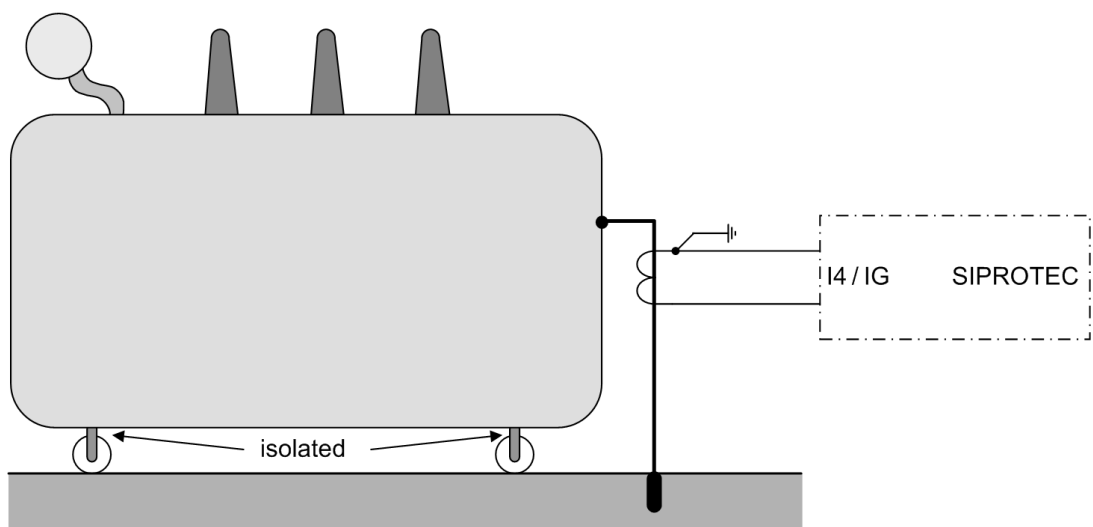
Příklad výpočtu: proudový transformátor 800/5 A, náběhová hodnota $I_{AN} = 0,1$ A (16 A primárně), vnitřní odpor $R_i = 0,3 \Omega$, jmenovitý výkon proudového transformátoru $P_N = 30$ W, jmenovitý nadproudový činitel $n = 10$.

$$U_s = \left(0,3 + \frac{30}{5^2} \right) \cdot 10 \cdot 5 = 75 \text{ V}$$

$$R = \frac{75}{2 \cdot 0,1} = 375 \Omega$$

1.4.3 Nádobová ochrana

Muže se stát, že dojde ke zkratu mezi fází transformátoru a jeho nádobou. Transformátorová nádoba je od země izolována nebo uzemněna přes velký odpor, ale je také uzemněna vodičem, přes který v případě zkratu teče zkratový proud. Ten je detekován a přiveden na jednofázový citlivý měřící vstup ochrany. Pokud je proud větší než nastavená hodnota, je transformátor buď ihned, nebo o nastavenou hodnotu zpoždění vypnut ze všech stran.



Obr. 1. 8 Nádobová ochrana transformátoru (převzato z [5])

1.5 Napěťová ochrana

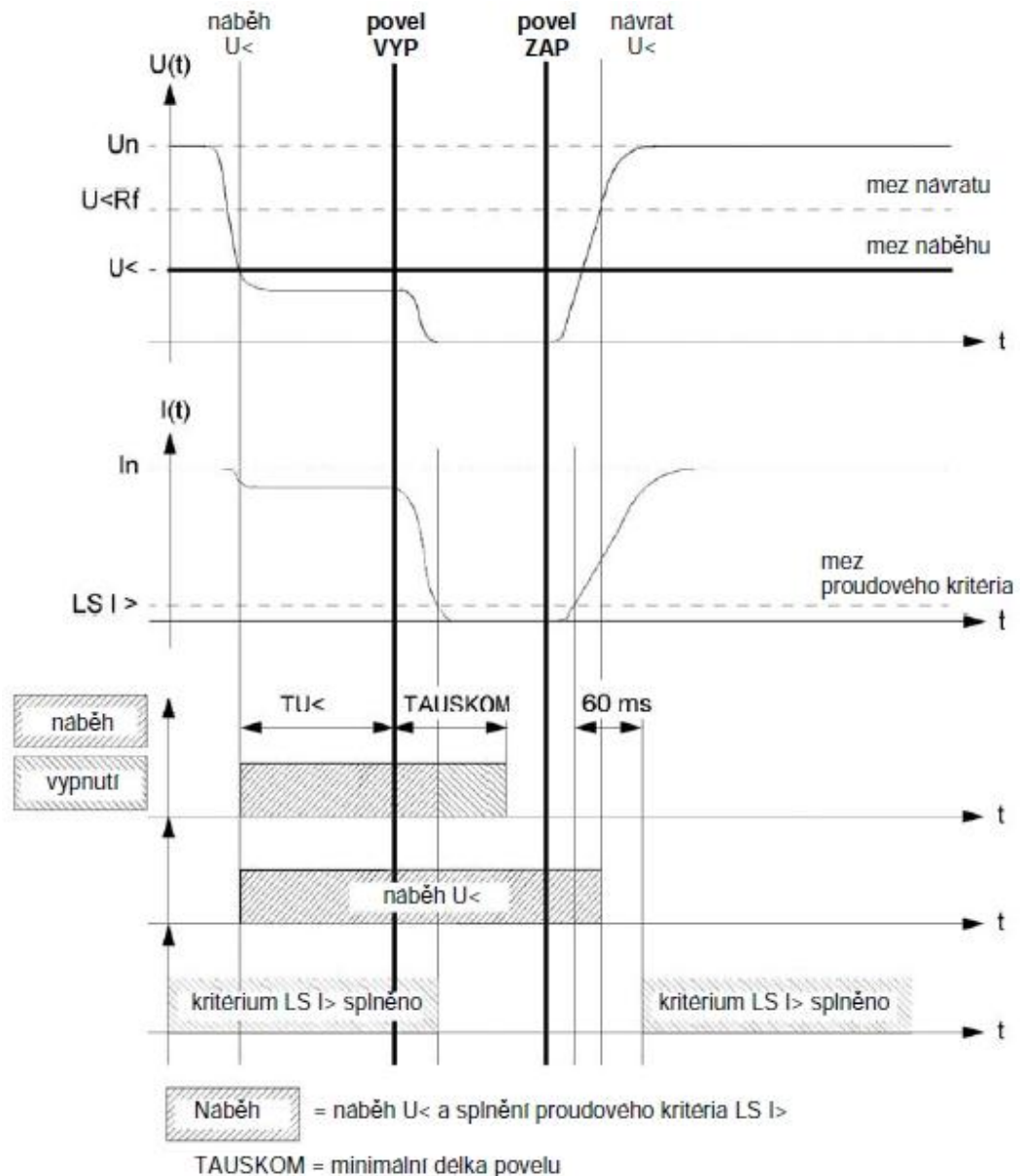
V elektrické síti mohou nastat dva stavy:

- Podpětí: je nežádoucí, protože může mimo jiné ohrozit elektrických točivých strojů a stroj se může dostat do nedovoleného pracovního stavu
- Přepětí: vyskytuje se zejména v málo zatížených sítích, u odlehčeného generátoru nebo generátoru odpojeného od sítě

Ochrana SIPROTEC 7SJ63 měří volitelně tři fázová napětí, tři sdružená napětí nebo při jednofázovém zapojení libovolně sdružené nebo fázové napětí. Fourierovou analýzou je ze tří snímaných sdružených napětí vyfiltrována základní harmonická a ta je dále zpracovávána. Pro podpěťovou ochranu je použita buď sousledná složka napětí U_1 nebo sdružené napětí ULL. Pro přepěťovou ochranu je použito největší ze sdružených napětí ULL nebo zpětná složka napětí U_2 .

1.5.1 Podpěťová ochrana

Napěťové ochrany jsou v rozvodnách umístěny na straně napájení nebo na straně vývodu. Zapojení má vliv na chování ochrany. Při zapojení transformátorů na straně napájení zůstanou i při vypnutí vypínače napěťové transformátory pod napětím. U zapojení na straně vývodu tomu tak není. Po vypnutí vypínače se na napěťových transformátorech žádné napětí nevyskytuje, a je proto nutné zahrnout do uvažování proudové kritérium.



Obr. 1. 9 Typický průběh poruchy při zapojení napěťových transformátorů na straně vývodu – s proudovým kritériem (převzato z [1])

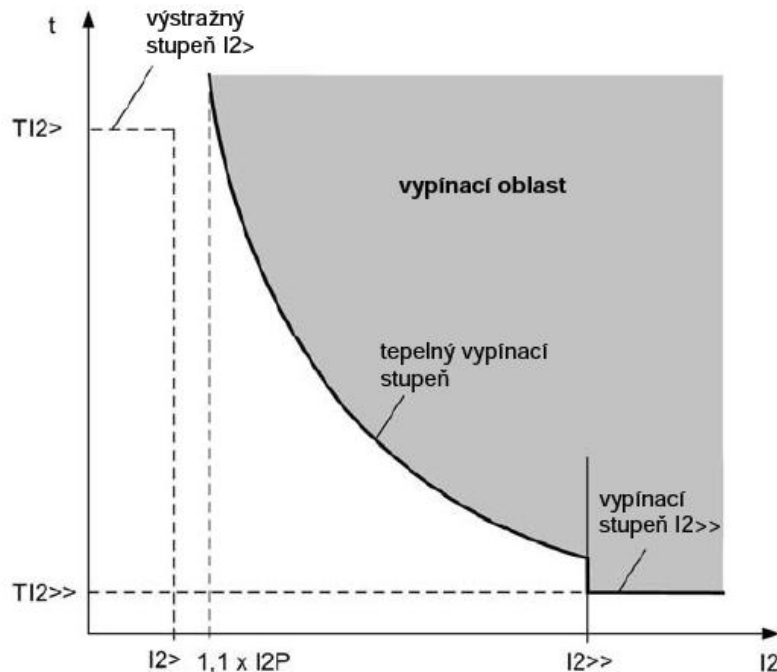
Proudové kritérium: Napětí klesne pod stanovenou mez. To má za následek vypnutí vypínače. Tím pádem se na napěťovém transformátoru nevyskytuje žádné napětí. Ochrana zůstává stále naběhnuta. Proud klesne také na nulu (pod mez uvolnění) a proudové kritérium je resetováno. Vazbou AND proudového a napěťového kritéria se resetují náběhy ochran, takže je po uplynutí minimálního vypínacího času zapnutí opět uvolněno.

1.6 Ochrana proti nesymetrii

Při nesymetrické zátěži třífázového indukčního stroje působí na rotor magnetické pole s opačným směrem otáčení s dvojnásobnou frekvencí. To má za následek oteplování konců

rotoru a v klínech drážek vlivem indukovaných vířivých proudů na povrchu rotoru. K zabránění tohoto jevu slouží ochrana proti nesymetrii. Dále může být tato ochrana použita pro detekci přerušení a zkratů v zapojení proudových transformátorů.

Vypínání se může odvíjet podle časově závislé nebo časově nezávislé vypínací charakteristiky. Záleží na volbě uživatele. Nezávislá vypínací charakteristika je velmi podobná vypínací charakteristice na obrázku 1. 6. Závislá je znázorněna na následujícím obrázku 1. 10. Tato charakteristika je vždy dána podle normy IEC nebo ANSI.



Obr. 1. 10 Závislá vypínací charakteristika ochrany proti nesymetrii (převzato z [1])

1.7 Motorová ochrana (kontrola doby rozběhu, blokování opětného zapnutí)

Při poklesu napětí v síti, popřípadě při mechanickému zablokování rotoru motoru může dojít k nedovolenému oteplení rotoru vlivem příliš dlouhého rozběhu. Tento jev je častý u vysokonapěťových motorů, kde probíhá vícenásobný rozběh.

Motorová ochrana slouží ke kontrole zmiňované doby rozběhu a také k blokování případného opětovného zapnutí, pokud se očekává, že rozběh bude opět příliš dlouhý.

1.7.1 Kontrola doby rozběhu

Jako kritérium rozběhu motoru je brán v potaz rozběhový proud. Po překročení stanovené meze se začne vypočítávat vypínací doba: $t_{\text{vyp}} = \left(\frac{I_a}{I}\right)^2 \cdot t_{\text{amax}}$

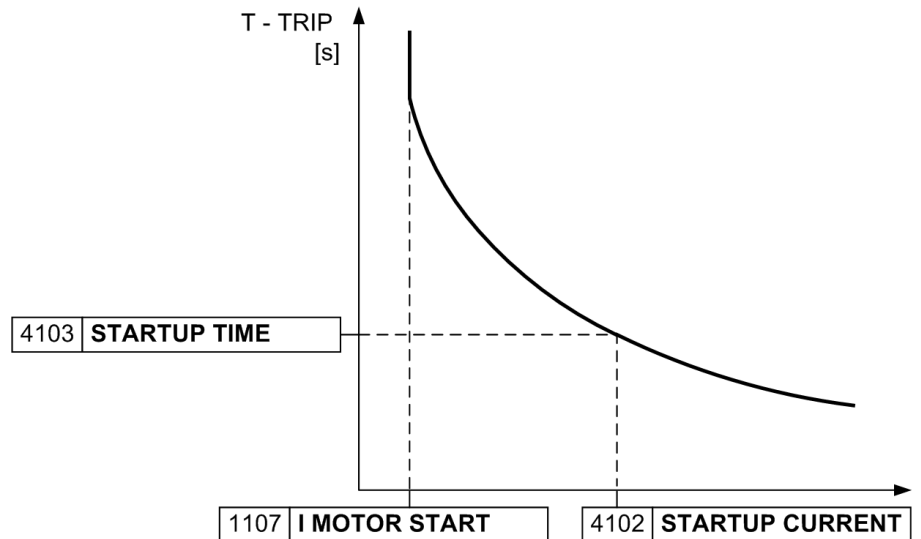
Rov. 1. 3 Výpočet vypínací doby

t_{VYP} – skutečný vypínací čas vzhledem k protékajícímu proudu

I_A – jmenovitý rozběhový proud motoru

I – skutečný rozběhový proud

t_{AMAX} – vypínací čas vzhledem k jmenovitému proudu



Obr. 1. 11 Vypínací čas v závislosti na rozběhovém proudu (převzato z [5])

Proudově nezávislý vypínací čas (čas při zabrzdění): vždy po puštění motoru (tj. proud v libovolné fázi překročí nastavenou mez) se rozběhne nezávislý vypínací čas. Pokud je motor zablokovaný, dojde po uplynutí tohoto času k vypnutí motoru. Zda motor stojí nebo se točí, určuje externí senzor otáček, který je připojen na binární vstup „>Festbrens“.

1.7.2 Blokování opětného zapnutí

Při vícenásobném rozběhu, při kterém dojde k vypnutí, může dojít k přehřátí rotoru. Děje se tak zvlášť tehdy, nastávají-li tyto děje v krátkém časovém horizontu. Musí se tedy zabránit novému zapnutí motoru, pokud lze očekávat během tohoto procesu překročení maximálního dovoleného oteplení rotoru. Protože nelze měřit rotorový proud přímo, využívá se k vypočtení oteplení Θ_L nejvyšší fázový proud statoru. Ochrana drží blokovací povel tak dlouho, dokud tepelný obraz není nižší než mez opětného zapnutí. Tuto mez značíme

$$\Theta_{WES} \text{ a vypočítá se následovně: } \Theta_{WES} = \left(\frac{I_a}{I_{b \cdot kl}} \right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{(nk-1) \cdot T_m}{\tau l}} \right)$$

Rov. 1. 4 Výpočet meze teploty, pod níž je opět možný rozběh motoru

Θ_{WES} – mez teploty, pod níž je opět možný rozběh

I_A – rozběhový proud

I_B – základní proud

k_L – činitel rotoru k , vypočítáván vnitřně

n_k – dovolený počet rozběhů ze studeného stavu

T_m – maximální doba rozběhu

τ_L – tepelná časová konstanta rotoru, vypočítávána vnitřně

1.8 Frekvenční ochrana

Frekvenční ochrana má za úkol sledovat odchylku frekvence od jmenovité hodnoty a případně oddělit generátor od sítě nebo snížit zátěž v síti. Za pokles frekvence v síti většinou může zvýšený odběr činného výkonu nebo chybná práce regulátorů otáček generátoru. Nadfrekvence je nejčastěji způsobená odlehčením zátěže.

Frekvence v síti je snímána přes sdružené napětí o minimální velikosti U_{MIN} . Pokud toto napětí nižší než stanovená mez U_{MIN} nelze frekvenci snímat.

Ochrana obsahuje 4 stupně. Tyto stupně jsou použitelné jak pro pokles, tak pro zvýšení frekvence. Parametrizace rozhoduje, pro co je daný stupeň použit:

- $f < f_N \Rightarrow$ podfrekvenční stupeň
- $f > f_N \Rightarrow$ nadfrekvenční stupeň
- $f = f_N \Rightarrow$ stupeň je mimo činnost

1.9 Ochrana proti přetížení

Tento druh ochrany slouží k nadměrnému zahřívání chráněného objektu, kterým nejčastěji bývají motory, generátory a transformátory. U těchto zařízení lze poměrně snadno kontrolovat jejich tepelný obraz. Zohledňuje se také předávání tepla do okolí a historie přetížení.

Přístroj SIPROTEC 7SJ63 vypočítává oteplení podle tepelného obrazu, který je daný

diferenciální rovnicí:
$$\frac{d\Theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \Theta = \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \left(\left(\frac{I}{k \cdot I_{nobj}} \right)^2 + \Theta u' \right)$$

Rov. 1. 5 Diferenciální rovnice, z níž vychází tepelný obraz chráněného objektu

Θ – aktuální oteplení, vztažené na konečné oteplení při maximálně dovoleném proudu $k \cdot I_{nobj}$

τ_{th} – tepelná časová konstanta oteplení chráněného objektu

I – aktuální efektivní proud

k – činitel k , který udává maximálně trvalý dovolený proud, vztažený na jmenovitý proud chráněného objektu

I_{Nobj} – jmenovitý proud chráněného objektu

$$\Theta u' = \frac{\Theta u - 40^{\circ}\text{C}}{k^2 - \Theta n}$$

Rov. 1. 6 Mezivýpočet do předešlé diferenciální rovnice

kde

Θu - měřená teplota okolí nebo chladiva

Θn - teplota při jmenovitém proudu objektu

Při dosažení nastavitelného výstražného stupně oteplení je vysláno varovné hlášení, aby se mohla včas zmenšit zátěž. Pokud se tak nestane a oteplení chráněného objektu překročí druhou nastavitelnou mez, je chráněný objekt odpojen od napájení. Výstražný stupeň je současně hodnotou návratu. Zadává se v procentech vypínacího oteplení. K dispozici je ještě proudový výstražný stupeň, zadávaný v ampérech. Tepelný výstražný stupeň může být nahrazen proudovým výstražným stupněm tím, že ho nastavíme na 100%.

1.9.1 Teplota chladiva (teplota okolí)

Ochrana může zohledňovat teplotu chladiva nebo okolí. Měření se provádí pomocí externího teploměru (termoboxu). Při poruše termoboxu nebo při přerušení spojení mezi termoboxem a ochranou je vydáno hlášení o nefunkčním měření a do tepelného modelu se použije hodnota $\Theta u = 40^{\circ}\text{C}$.

Pokud je z nějakého důvodu nutné rozběhnout stroj i přes maximální dovolené oteplení, (nouzový rozběh) lze všechny vypínací povely blokovat. Ochrana také umožňuje prodloužit tepelnou časovou konstantu τ_{th} . To se hodí v případě, kdy chladne motor v klidovém stavu. Bez cizího chlazení se totiž motor ochlazuje výrazně pomaleji.

1.10 Detekce zemních poruch (citlivá/necitlivá)

Na čtvrtém proudovém vstupu je ochrana vybavena citlivou, nebo necitlivou zemní ochranou. Citlivá ochrana nalézá využití v izolovaných nebo neúčinně izolovaných soustavách. Není vhodná k použití pro detekci zemních zkratů s velkými proudy, protože lineární rozsah pro citlivou detekci zemních proudů končí asi při 1,5 A na svorkách přístroje.

1.10.1 Napěťový stupeň

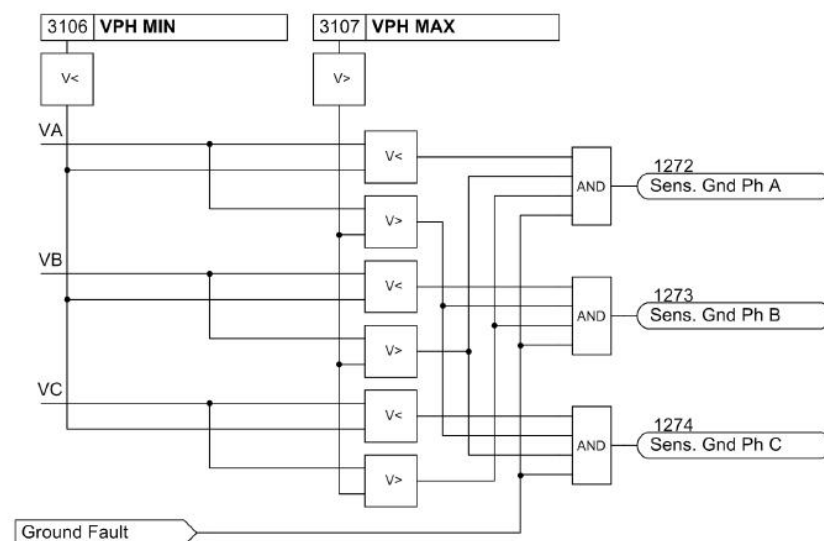
Napěťový stupeň nabíhá pomocí zbytkového napětí U_{en} , které buďto přímo připojeno nebo je vypočteno ze součtu $3 \cdot U_0$ tří fázových napětí. Pokud je získáváno zbytkové napětí U_{en} druhou uvedenou možností, musí být zapojeny tři napěťové vstupy do hvězdy a do uzemněného uzlu napěťových transformátorů.

Platí: $3 \cdot U_0 = U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}$

Náběh zbytkovým napětím je kritériem detekce zemního spojení a podmínkou uvolnění pro určení směru. Aby bylo docíleno práce s ustálenými veličinami, je náběh oproti výskytu zbytkového napětí opožděn o nastavitelnou hodnotu. Standardně je tato hodnota při dodání ochrany 1 s. Zpoždění je možné nastavit i jako nulové.

1.10.2 Určení fáze postižené poruchou

Určení postižené fáze není nikterak složité, vyžaduje však připojení všech tří napětí fáze-zem. Za poruchou postiženou fází je určena ta, u níž klesne napětí pod nastavitelnou mez $U_{Ph \min}$. Zbylé dvě fáze naopak překračují mez $U_{Ph \max}$. I tato mez je nastavitelná.



From Logic Diagram of the Sensitive Ground Fault Detection

Figure 2-62 Determination of Grounded Phase

Obr. 1. 12 Určení fáze postižené poruchou (převzato z [6])

1.10.3 Proudové stupně

Proudové stupně pracující s amplitudou zemního proudu mají smysl u účinně uzemněných sítí, neúčinně (přes odpor) uzemněných sítí a u elektrických strojů připojených do přípojnice v izolované síti. Zde zemní spojení stroje dodává veškerou kapacitu sítě. Proudové stupně mají smysl také v síti, kde je zemní proud zanedbatelný kvůli nepatrné kapacitě stroje. Zemní ochrana je nasazována většinou ve vysokoohmových sítích (účinně a neúčinně uzemněných), kde hrozí, že zkratová ochrana nemusí naběhnout.

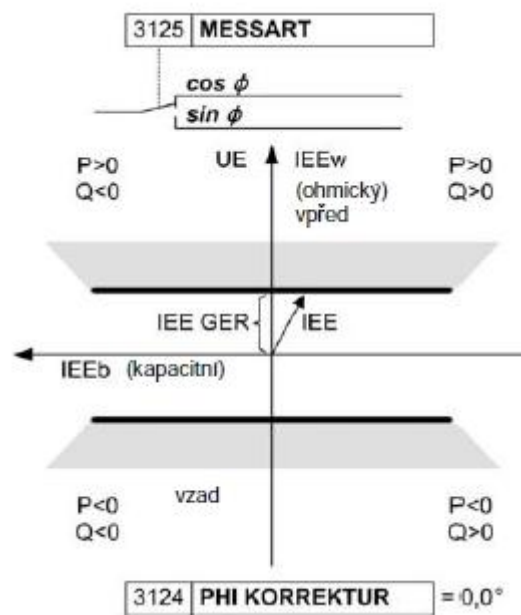
Pro detekci zemního proudu se může využít logaritmicko inverzní charakteristika, lomená logaritmicko-inverzní charakteristika nebo dvoustupňová proudově-časová charakteristika.

1.10.4 Určení směru

V izolovaných sítích je zemní proud kapacitního charakteru. Pro určení směru je tedy rozhodující kapacitní jalový proud.

V kompenzovaných sítích se kapacitní zemní proud kompenzuje Petersonovou tlumivkou, tedy induktivním proudem. Podle místa měření tudíž může být zemní proud jak induktivního, tak kapacitního charakteru. Z toho vyplývá, že pro měření směru zemního proudu v kompenzovaných sítích není vhodný jalový proud. Proto se využívá zbytkový činný proud ze ztrát Petersonovy tlumivky. Tento proud činí jen několik procent kapacitního zemního proudu. V praxi může být i 50krát menší. Zde proto vzniká požadavek na velkou přesnost měřících transformátorů. Vysoká přesnost algoritmů výpočtů nestačí.

Následující obrázek ukazuje příklad, kde je vypočítána činná složka I_{EEw} proudu I_{EE} . Vypočítaná složka je porovnávána s nastavitelnou hodnotou $I_{EE GER}$. Tento případ je tedy vhodný pro kompenzovanou síť, protože tam je rozhodující veličina $I_{EE} \cdot \cos \varphi$.



Obr. 1. 13 Směrová charakteristika měření $\cos \varphi$ (převzato z [1])

Pro měření $\sin \varphi$ (pro izolované sítě) platí:

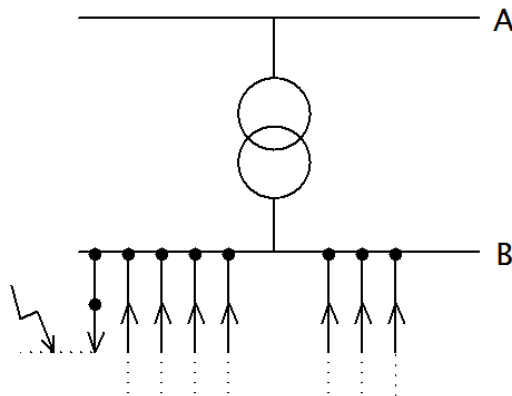
- Zemní porucha ve směru, pokud platí $Q_E < 0$ a $I_{Eb} >$ nastavená hodnota (FREIGABE RICHT)
- Zemní porucha v protisměru, pokud platí $Q_E > 0$ a $I_{Eb} >$ nastavená hodnota (FREIGABE RICHT)

Pro měření $\cos \varphi$ (pro kompenzované sítě) platí:

- Zemní porucha ve směru, pokud platí $P_E > 0$ a $I_{EEW} >$ nastavená hodnota (FREIGABE RICHT)
- Zemní porucha v protisměru, pokud platí $P_E < 0$ a $I_{EEW} >$ nastavená hodnota (FREIGABE RICHT)

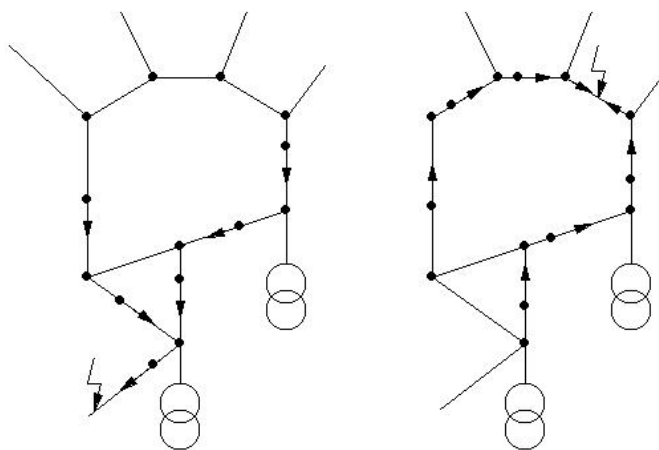
1.10.5 Určení místa poruchy

V paprskových sítích je určení místa zemního spojení relativně jednoduché. Protože všechny vývody jedné přípojnice dodávají kapacitní složku proudu, je v místě zemního spojení k dispozici téměř celý poruchový zemní proud. V kompenzovaných sítích teče v místě poruchy zbytkový činný proud kompenzační tlumivky. U postiženého kabelu je vydáváno hlášení „vpřed“, zatímco ve všech zbývajících zdravých vývodech je hlášeno „vzad“.



Obr. 1. 14 Určení místa poruchy v paprskové síti

Ve smíšených nebo kruhových sítích protéká místem poruchy rovněž maximum zemního proudu. Na obou koncích poruchou zasaženého vedení je hlášeno „vpřed“. Ve zdravých vedeních tomu tak není.



Obr. 1. 15 Určení místa poruchy ve smíšené síti

1.11 Ochrana přerušovaných zemních poruch

Přerušované zemní poruchy jsou charakteristické tím, že samy od sebe vznikají a také v krátkém čase zanikají. Důvodem k jejich vzniku může být poničená izolace vodiče nebo voda zateklá do kabelové spojky. Tyto poruchy mohou trvat několik sekund, dokonce milisekund. Takto krátká doba poruchy se může zdát jako zanedbatelná, ale není to tak, pokud se tyto krátké poruchy dějí rychle za sebou. Takto krátké poruchy nadproudová ochrana nedetekuje, nebo je detekuje neselektivně. Ochrana přerušovaných zemních proudů sčítá doby poruch, a pokud suma překročí nastavenou hranici, je obvod vypnut.

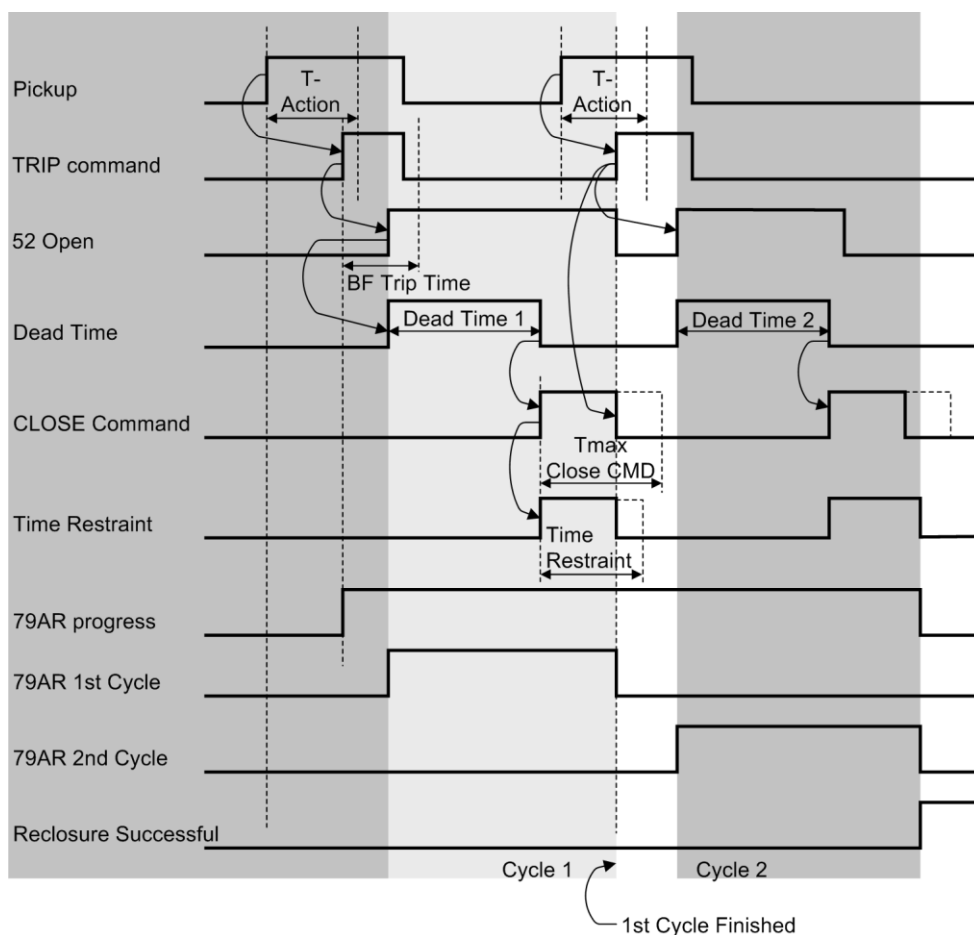
Přerušovaný zemní proud se může snímat normálním proudovým vstupem, citlivým proudovým vstupem nebo může být vytvořen součtem tří fázových proudů. Na rozdíl od zemní ochrany, která pracuje se základní harmonickou, přerušovaná ochrana využívá efektivní hodnoty proudu a porovnává s nastavenou hodnotou. Jsou zohledňovány vyšší harmonické až 400 Hz a stejnosměrné složka, která také přispívá k oteplení.

Automatika opětného zapnutí (OZ) zde nemá smysl. Dá se říci, že je nežádoucí. Ochrana přerušovaných zemních poruch vypíná až tehdy, když je vodič ohrožen z hlediska tepelného namáhání. Proto by automatické opětné zapnutí mohlo vodič ohrozit. Vypnutí ochranou přerušovaných zemních poruch není realizováno jako spouštěcí popud pro OZ.

1.12 Automatika opětného zapnutí

Na venkovním vedení 85 % obloukových zkratů po vypnutí samo zhasne. Je proto zbytečné aby vedení zapínal operátor ručně a prodlužovala se tak doba, po kterou je vedení vypnuté. Automatika opětného zapnutí slouží k automatickému zapnutí vedení po odeznění přechodového jevu. Pokud OZ zapne vedení do stále trvající poruchy, následuje vypnutí a po nastavitelném čase následuje další pokus o zapnutí vedení. Takových pokusů může být až 9. Integrovaná automatika opětného zapnutí v SIPROTEC 7SJ63 může být ve spolupráci s vnější OZ nebo může být zcela nezávislá.

Na následujícím obrázku je ukázán princip OZ. Je zde vidět dvojnásobný proces, přičemž druhý je úspěšný.



Obr. 1. 16 Schéma průběhu opětivního zapnutí (převzato z [5])

1.12.1 Programy opětivního zapnutí

- Program ERDE (zem) je platný, pokud všech zkratové ochrany, které rozbíhají OZ, hlásí jednofázovou poruchu
- Program PHASE (fáze) je platný, pokud je hlášena vícefázová porucha

Pro oba programy může být nastaveno až 9 opětivních zapnutí. První 4 mohou mít rozdílné časy pauzy. Zbylých 5 má čas pauzy stejný jako stupeň 4.

1.12.2 Opětivní zapnutí před selektivitou

Aby mohlo být OZ úspěšné, mělo by dojít k vypnutí poruchy na obou koních vedení ve stejném čase a co nejrychleji. Proto má přednost rychlé odstranění poruchy před selektivitou. Je upřednostněno vypnutí rychlou zkratovou ochranou.

Pokud se neočekává další OZ, vypíná ochrana zpožděně (selektivně) dle plánu. Není žádný důvod pro co nejkratší čas vypnutí.

1.12.3 Blokování

V blokovací době je kontrolováno, zda opětné zapnutí bylo úspěšné či nikoliv. Blokování se dělí na statické a dynamické.

Statické blokování

Statické blokování znamená, že automatika není připravena k opětnému zapnutí nebo nemůže být spuštěna, pokud existuje blokovací signál. Automatika OZ je blokována vždy když:

- Se na binárním vstupu objeví signál „>AWE blk!“ nebo z binárního vstupu zmizí signál „>LS bereit“, aniž by byla automatika rozběhnuta
- Počet cyklů OZ je nastaven na 0
- Žádná ochranná funkce nemá nastaven rozběh OZ
- Vypínač se hlásí jako vypnutý a není vypínací povel

Dynamické blokování

K dynamickému blokování dojde vždy během cyklu OZ za splnění blokovací podmínky. Dynamické blokování je spojeno s nastavitelným blokovacím časem. Podmínky blokování:

- Pokud je dosažen maximální počet cyklů OZ
- Pokud dojde k třífázové poruše a přístroj nemá vyvolat při třífázové poruše OZ
- Pokud běží vyčkávací čas T PAUSE VERZ
- Pokud uplyne činný čas, aniž by byl generován vypínací povel (činný čas kontroluje čas mezi náběhem a vypínacím povel)
- Pokud vypíná ochranná funkce, která má OZ blokovat
- Pokud selže vypínač
- Pokud bylo detekováno ruční zapnutí
- Binárním vstupem

1.12.4 Detekce stavu a kontrola vypínače

Stav vypínače

Pro chod automatiky opětného zapnutí je informace o stavu vypínače velmi důležitá. Informace o vypnutí nebo zapnutí jsou přivedeny dvěma binárními vstupy. Tím je přístroj schopen zjistit i to, zda se vypínač nenachází v mezipoloze. Pokud je detekována poloha zapnuto nebo je vypínač v mezipoloze, aniž by byl vyspán povel vypnout je OZ dynamicky zablokováno. Pokud OZ není v provozu, dojde ke statické blokaci.

Může nastat stav, kdy přístroj pracuje jen s jedním binárním vstupem. Pro příklad

uvedme stav, kdy přístroj bude pracovat s binárním vstupem oznamující VYPNUTO, pokud tento binární vstup není aktivní. Pokud aktivní je, znamená to ZAPNUTO. Jakmile ale nastane stav VYPNUTO (binární vstup není aktivní), přestože není vydán povel vypnout, dojde k statické nebo dynamické blokaci. Obdobný princip nastává při použití druhého binárního vstupu.

Pokud není využito ani jednoho binárního vstupu, ochrana nemůže zjistit, v jaké poloze se vypínač nachází a řízení OZ se děje jen pomocí náběhů a vypínacích povelů.

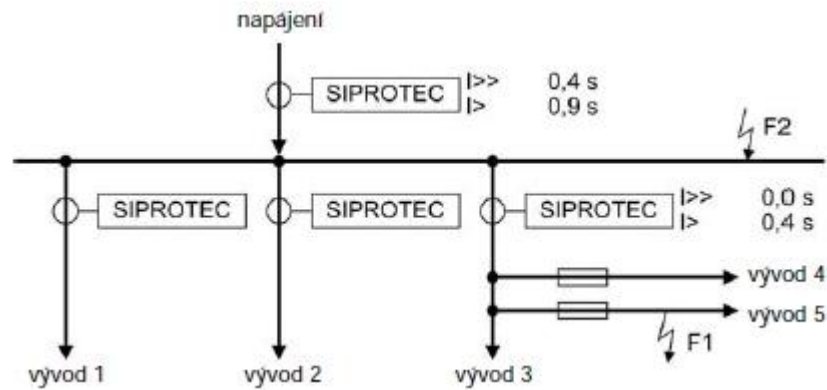
Kontrola vypínače

Předpokladem pro OZ je schopnost vypínače před začátkem vypínacího povelu realizovat alespoň jeden cyklus VYP-ZAP-VYP. Přístroji je tato informace předána pomocí binárního vstupu. Je vhodné, aby informace o vypínači přišly binárním vstupem přístroje nejen před prvním cyklem OZ, ale i před každým případným následujícím cyklem. Mezi jednotlivými cykly není informace o stavu vypínače známa, rozběhne se tzv. kontrolní čas. Pokud se v tomto čase informace objeví, může následovat další cyklus OZ. V opačném případě je OZ dynamicky blokováno. Jestliže není signál o stavu vypínače k dispozici, může být dotazování na jeho stav potlačeno v nastavení přístroje.

1.12.5 Koordinace chodu

Koordinace chodu má za úkol uvést v soulad interní OZ přístroje SIPROTEC s automatikou OZ jiného přístroje v síti. Tato funkce umožňuje mimo jiné provést skupinové krátké přerušení s radiální sítí. Koordinace chodu pracuje podle toho, v jaké fázi se OZ nachází a blokuje určité ochranné funkce.

Na následujícím obrázku si vysvětlíme funkci skupinového přerušení ve vývodu 3. Na ochraně jsou nastaveny 2 cykly OZ. Při poruše F1 ve vývodu 5 naběhne zkratový stupeň I>> (tedy v rychlém čase) v přívodu 3 a proběhne neselektivní vypnutí. Pokud se porucha neobjeví znovu, je porucha ukončena. Je-li ale porucha přetrvávající, je zkratový stupeň I>> ve vývodu 3 blokován a v činnosti je jen stupeň I> s časem vypnutí 0,4 s. Pojistka je ale rychlejší, a tak vypne dříve. Poté se resetují všechny přístroje. V napájení je I>> opožděn o 0,4 s, aby byl selektivní vůči ochranám ve vývodech a pojístkám. Při přetrvávající poruše a tedy druhém OZ však i tento stupeň musí být blokován, aby nejdříve zareagoval I> ve vývodu. K tomuto úkonu je potřeba, aby měl přístroj informaci o tom, že se jedná o druhý cyklus přerušení. U tohoto přístroje musí být zapnuta koordinace chodu: při návratu náběhu I> je cyklus přerušení připočítán. Trvá-li porucha i po druhém přerušení, je v záloze ochrana v přívodu napájení I> 0,9 s.



Obr. 1. 17 Koordinace chodu při poruše F1 (převzato z [1])

1.13 Lokátor poruch

Důležitým doplňkem ochrany SIPROTEC 7SJ63 je lokátor poruch. Tato funkce umožňuje zjistit polohu zkratové poruchy a tím ušetřit mnoho času s jejím hledáním a odstraňováním. To se pozitivně projeví v ekonomice provozu sítě.

Pokud zareaguje nadproudová ochrana a vydá vypínací povel, spustí se i lokace poruchy. Pro výpočet impedančních smyček R a reaktance X je k dispozici ve vyrovnávací paměti několik hodnot napětí a proudu. Z těchto vyfiltrovaných hodnot se vypočtou minimálně 3 dvojice výsledků. Pokud se vypočte méně než 3 hodnoty, k lokalizaci poruchy nedojde. Z výsledků se vypočte střední hodnota a standartní odchylka. Po eliminaci velmi odlišných hodnot se ještě jednou vypočte střední hodnota. Ta je považována za reaktanci poruchy, která je úměrná vzdálenosti poruchy. Pokud je reaktance vypočtena pro vedení s různou reaktancí, např. trasa kabel-vedení, je reaktance použita k separátním výpočtům.

Podle toho, jaká nadproudová ochrana vydá vypínací povel, jsou voleny měřící smyčky. Při připojeném napětí fáze-zem musí být napěťové i proudové transformátory zapojeny do hvězdy. Pokud je připojeno napětí fáze-fáze, transformátory budou zapojeny do V .

popud	možná smyčky	vyhodnocované smyčky
L1	L1 - L2, L3 - L1	nejmenší L - L
L2	L1 - L2, L2 - L3	nejmenší L - L
L3	L3 - L1, L2 - L3	nejmenší L - L
L1 - L2	L1 - L2	L1 - L2
L2 - L3	L2 - L3	L2 - L3
L1 - L3	L3 - L1	L3 - L1
L1 - L2 - L3	L1 - L2, L2 - L3, L3 - L1	nejmenší smyčka L - L

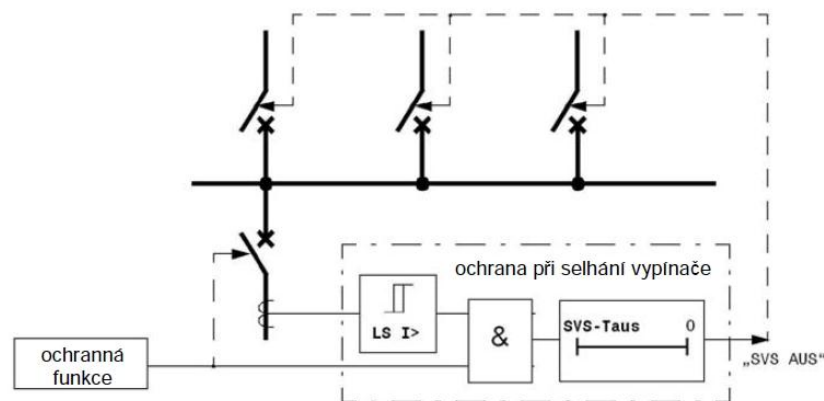
Tab. 1. 2 Výběr smyčky při připojeném napětí fáze-fáze

popud	možná smyčky	vyhodnocované smyčky
L1	L1 - N, L1 - L2, L3 - L1	L1 - N nebo L1 - N a nejmenší L - L
L2	L2 - N, L1 - L2, L2 - L3	L2 - N nebo L2 - N a nejmenší L - L
L3	L3 - N, L3 - L1, L2 - L3	L3 - N nebo L3 - N a nejmenší L - L
N	L1 - N, L2 - N, L3 - N	nejmenší L - N
L1, N	L1 - N	L1 - N
L2, N	L2 - N	L2 - N
L3, N	L3 - N	L3 - N
L1, L2	L1 - L2, L1 - N, L2 - N	L1 - L2
L2, L3	L2 - L3, L2 - N, L3 - N	L2 - L3
L1, L3	L3 - L1, L1 - N, L3 - N	L3 - L1
L1, L2, N	L1 - L2, L1 - N, L2 - N	L1 - L2 nebo L1 - L2 a L1 - N a L2 - N
L2, L3, N	L2 - L3, L2 - N, L3 - N	L2 - L3 nebo L2 - L3 a L2 - N a L3 - N
L1, L3, N	L3 - L1, L1 - N, L3 - N	L3 - L1 nebo L3 - L1 a L1 - N a L3 - N
L1, L2, L3	L1 - L2, L2 - L3, L3 - L1	nejmenší smyčka L - L
L1, L2, L3, N	L1 - L2, L2 - L3, L3 - L1	nejmenší smyčka L - L

Tab. 1. 3. Výběr smyčky při připojeném napětí fáze-zem

1.14 Ochrana při selhání vypínače

Tato ochrana slouží ke zjištění, zda je silový vypínač po vyslání vypínacího povelu skutečně vypnut. Pokud tomu tak není, může být vyslán vypínací povel na nadřazený vypínač, viz následující obrázek.



Obr. 1. 18 Ochrana při selhání vypínače (převzato z [1])

K detekci selhání vypínače slouží dvě kritéria:

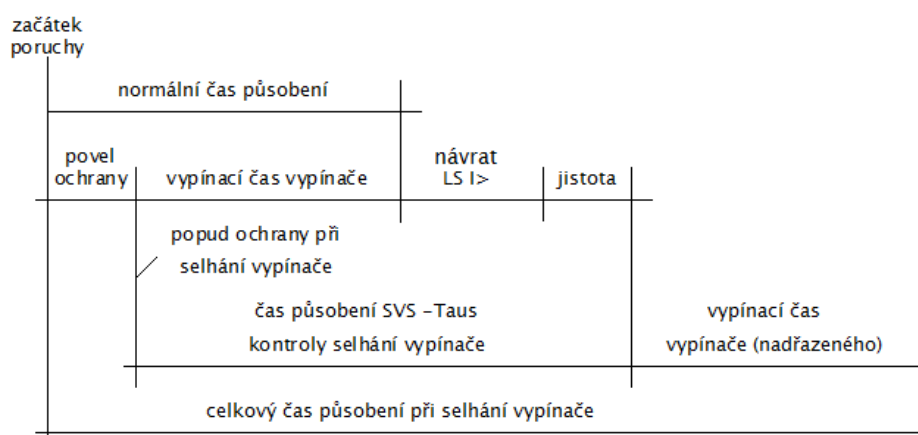
- Hodnota proudu je vyšší než 0
- Vyhodnocení pomocných kontaktů silového vypínače

Kritéria, které mají vyvolat popud, a tedy vypnutí vypínače, jsou volitelná. Například při vypnutí pomocí napěťové ochrany, nevytvoří proud jasné kritérium pro reakci silového vypínače. Proto zde může být vytvořen popud, který je závislý na pomocném kontaktu

silového vypínače. U zkratových ochranných funkcí naopak musí být splněno jak proudové kritérium, tak kritérium pomocného kontaktu. Proudové kritérium je splněno, překročí-li minimálně jedna fáze nastavenou mez proudu.

Vyhodnocení pomocných kontaktů vypínače probíhá v závislosti na tom, jaké binární vstupy jsou na ochranu přiřazeny. Mohou to být vstupy vypínač zapnut a vypnut, nebo pouze vstup vypnut, nebo také pouze vstup zapnut.

Pokud se rozběhne ochrana při selhání vypínače, je vydáno příslušné hlášení a rozběhne se čas působení. Jestliže jsou po jeho uplynutí stále platná náběhová kritéria, je vydán vypínací povel na nadřazený vypínač. Časové průběhy po poruše objasňuje následující obrázek.



Obr. 1. 19 Časový průběh při obvyklém průběhu poruchy a při selhání vypínače

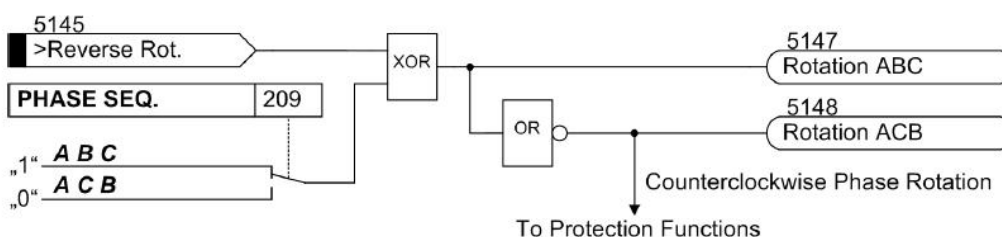
1.15 Termobox

Měření teploty bývá často požadováno u motorů, generátorů a transformátorů. U točivých strojů se nejčastěji kontroluje teplota ložisek. U transformátorů se kontroluje teplota oleje, ale čidla se rozmístí i na celou řadu jiných míst. Čidel může být až 12 a k přístroji SIPROTEC mohou být přivedeny přes dva termoboxy. Čidlem se rozumí odpor vyrobený z niklu nebo platiny (Pt100, Ni100, Ni120). Proud tekoucí přes tento odpor se převádí na °C nebo °F. Přepočítání se provádí v závislosti na použitém materiálu čidla. Zapojení může být dvoudrátové nebo třídrátové. Pokud je zapojení dvoudrátové, musí se nastavit odpor vodičů.

Termobox se umísťuje na montážní lištu. Pro komunikaci s přístrojem je použito rozhraní RS485. Komunikaci na delší vzdálenosti je vhodné zajistit optickým vodičem. Pokud dojde ke zkratu nebo přerušení měřícího obvodu, je vysláno poruchové hlášení. Při poruše v komunikaci je vysláno poruchové hlášení celého termoboxu.

1.16 Přepínání točivého pole

Aby ochrana proti nesymetrii, podpětová ochrana (zpracování sousledných složek), směrová nadproudová ochrana (směr s nepostíženým napětím) a kontrola měřených veličin pracovaly správně i při levotočivém poli, je ochrana vybavena funkcí přepínání točivého pole. Pokud je levotočivé pole trvalé, nastaví se směr při parametrizaci zařízení (adresa 209). Jestliže se ale směr otáčení v průběhu provozu mění, zavede se na příslušný binární vstup (>„Reverse Rot.“) signál nesoucí informaci o změně směru otáčení. Tento binární vstup vydá pomocí logického členu Exklusiv-OR povel pro opačný směr, než je trvale nastaven.



Obr. 1. 20 Logika přepínání směru otáčení (převzato z [6])

1.17 Řízení funkcí

Řízení funkcí uvádí v soulad chod ochranných a přídatných funkcí tím, že zpracovává jejich rozhodnutí dříve, než dorazí na zařízení. Týká se to zejména náběhové a vypínací logiky.

Generální náběh

Všechny náběhové funkce, a tím pádem i náběhové signály jsou spojeny navzájem členem OR a vedou ke generálnímu náběhu ochrany. Ten je spuštěn prvním z libovolných náběhů a ukončen návratem posledního náběhu. Generálním náběhem jsou odstartovány následné vnitřní a vnější funkce. Mezi vnitřní funkce patří:

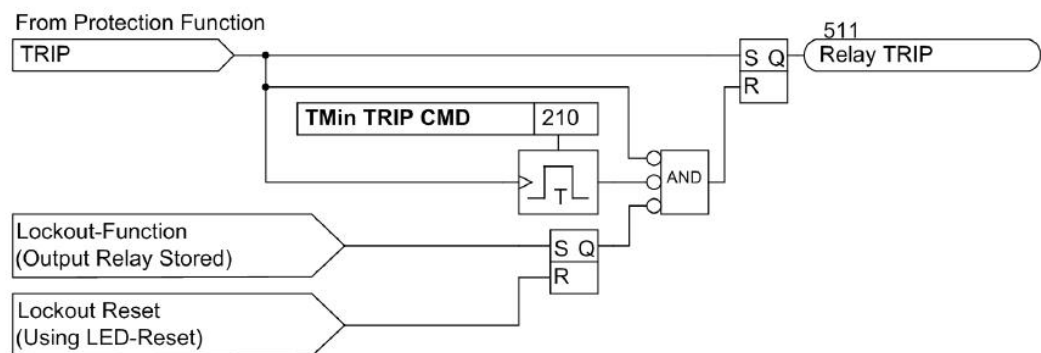
- Otevření poruchy – po dobu generálního náběhu jsou zaznamenávána všechna poruchová hlášení do poruchového protokolu
- Inicializace paměti poruchových záznamů

Výjimka je u některých ochranných funkcí, které jdou nastavit tak, aby nevydávaly vypínací povel, ale jen hlášení. Mezi vnější funkce se například řadí:

- Automatika opětného zapnutí
- Start dalších přídatných přístrojů

Generální vypnutí

Stejně jako náběhové signály jsou i vypínací povely spojeny logickým členem OR a vedou k hlášení přístroj VYP. Současně se spustí minimální přídržný čas vypínacího povelu. Tento čas zajistí, aby při brzkém výpadku vypínací ochranné funkce byl vypínací povel stále aktivní. Teprve když už není naběhnutá žádná funkce a minimální přídržný čas vypršel, mohou být vypínací povely resetovány. Je také možnost nastavit přídržný vypínací povel do doby, než je ručně odstaven. To zabrání opětovnému zapnutí, dokud není zjištěna příčina poruchy. Odstavení se může provést příslušným binárním vstupem nebo zmáčknutím tlačítka LED.



Obr. 1. 21 Odstavení vypínacího povelu (převzato z [6])

1.18 Přídavné funkce

1.18.1 Zpracování hlášení

Pro přesnou analýzu poruchy jsou důležité informace o měřených veličinách a informace o reakci ochrany. Informace jsou získávány třemi různými způsoby:

- Indikace LED a binární vstupy
- Informace na displeji přístroje nebo na PC
- Informace k řídicímu místu

LED a binární vstupy (výstupní relé)

Důležité informace jsou zobrazovány pomocí LED na čelní straně přístroje a dále přístroj obsahuje výstupní relé pro dálkovou signalizaci. Jak výstupní relé, tak LED se mohou provozovat s přídrží nebo bez přídrže. Odstavení může proběhnout stiskem klávesy led na přístroji, dálkově pomocí binárního vstupu, sériovým rozhraním a automaticky se začátkem dalšího rozběhu.

Informace na displeji přístroje nebo na PC

Události a stavy mohou být odečteny z displeje na přední straně přístroje. Přístroj disponuje několika paměťmi událostí pro – provozní hlášení, poruchová hlášení, hlášení zemních poruch, statistiku spínání apod. Všechna tato hlášení mohou být vyvolána na přední displej nebo mohou být přenesena do PC přes sériové rozhraní.

Informace k řídicímu místu

Výše zmíněné informace mohou být přeneseny též přes sériové rozhraní pomocí různých protokolů do řídicí jednotky.

1.18.2 Statistika

Tato přídavná funkce je nejvíce vhodná ke zjišťování počtu vypnutí a zapnutí sítě pomocí vypínače. Binární vstup, který nese informaci o vypnutém vypínači, musí být přiřazen na čítač impulsů. Paměti jsou zálohovány proti výpadku sítě pomocí baterie. Hodnota počtu vypnutí vypínače vypovídá o jeho skutečném opotřebením. To je výhodné z hlediska nastavení servisního intervalu pro kontakty vypínače, což má za následek úsporu nákladů. Metody na výpočet servisního intervalu jsou tři:

Metoda ΣI (součet vypínaných proudů)

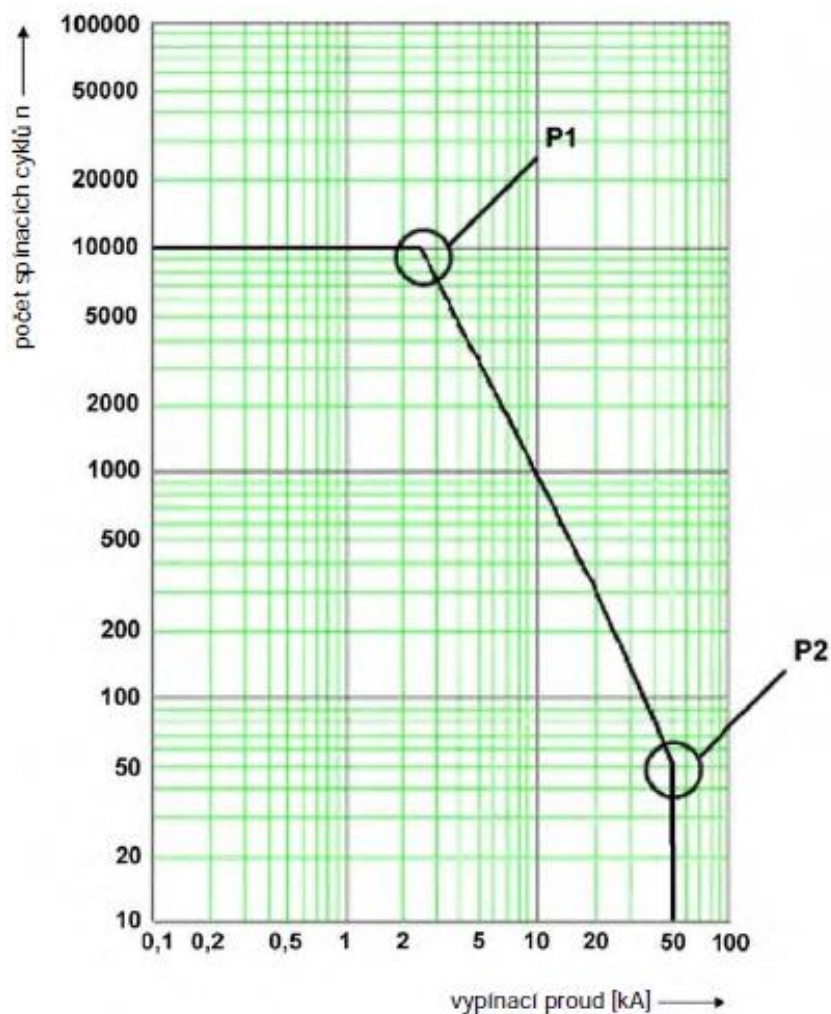
Tato metoda je v provozu vždy a nepotřebuje další nastavení. Na namáhání vypínače má vliv jak velikost vypínaného proudu, tak i doba jeho vypínání včetně zhasnutí oblouku. U této metody se pracuje s efektivními hodnotami základní harmonické. Proudů jsou načítány po fázích. Vypnutý proud je zobrazován v poruchových hlášeních a ukládán do paměti statických hlášení. Jakmile nasčítaný proud překročí mezní hodnotu, je vydáno příslušné hlášení.

Metoda ΣI^* (součet mocniny vypínaných proudů)

Pro výpočet vypínaných proudů je opět využita efektivní hodnota základní harmonické. Proudů jsou počítány pro každou periodu. Tato metoda pracuje podobně jako metoda ΣI , liší se však v umocňování vypínaných proudů a jejich reference na umocněný jmenovitý proud vypínačem. Touto metodou se v podstatě získá skutečné opotřebením vypínače vztažené na počet vypnutí jmenovitého proudu. Maximální počet vypnutí je udáván výrobcem.

Metoda 2P (dvoudobá metoda pro výpočet zbytkové životnosti vypínače)

Výrobcem vypínače je taktéž udáván dvojnásobně logaritmický diagram, viz následující obrázek. Bod 1 je dán počtem vypnutí při jmenovitém proudu. Bod 2 je dán počtem vypnutí při jmenovitém zkratovém proudu. Údaje dodané výrobcem vypínače jsou přepočteny a měřením vypínaných proudů lze dojít k závěru, kolik vypnutí daného proudu je ještě možné udělat.



Obr. 1. 22 Diagram cyklů pro metodu 2P (převzato z [1])

1.18.3 Hodnoty měřené, střední, maximální, minimální a mezní

Měřené hodnoty

Přístroj SIPROTEC 7SJ63 může zobrazovat nejen sekundární hodnoty, ale i primární a procentní hodnoty měřených veličin. Předpokladem pro správné zobrazení takovýchto hodnot je přesné zadání převodů měřících transformátorů proudu a napětí.

měřená hodnota	sekundár	primár	%
účinnost (odděleně po fázích)	$\cos \varphi$	$\cos \varphi$	$\cos \varphi \cdot 100 \text{ v } \%$
frekvence	$f \text{ v Hz}$	$f \text{ v Hz}$	$\frac{f \text{ v Hz}}{f_N} \cdot 100$

měřená hodnota	sekundár	primár	%
I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} I_1, I_2	I_{sek}	$\frac{IN-PTP PRIMÁR}{IN-PŘ. SEKUNDÁR} \cdot I_{sek}$	$\frac{I_{prim}}{IREF 100\% PRIM}$
$I_E = 3 \cdot I_0$ vypočteno	$I_{e sek}$	$\frac{IN-PTP PRIMÁR}{IN-PŘ. SEKUNDÁR} \cdot I_{e sek}$	$\frac{I_{e prim}}{IREF 100\% PRIM}$
$I_E =$ měřená hodnota ze vstupu I_E	$I_{e sek}$	$\frac{IEN-PTP PRIM}{IEN-PTP SEK} \cdot I_{e sek}$	$\frac{I_{e prim}}{IREF 100\% PRIM}$
I_{EE} (I_{EE_eff} , I_{EE_W} , I_{EE_b})	$I_{ee sek}$	$\frac{IEN-PTP PRIM}{IEN-PTP SEK} \cdot I_{ee sek}$	$\frac{I_{ee prim}}{IREF 100\% PRIM}$
U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} $U_0, U_1, U_2,$ U_{syn}	$U_{L-E sek}$	$\frac{UN-PTN PRIMÁR}{UN-PTN SEKUNDÁR} \cdot U_{L-E sek}$	$\frac{U_{prim}}{UREF 100\% PRIM / (\sqrt{3})}$
$U_{L1-L2}, U_{L2-L3},$ U_{L3-L1}	$U_{L-L sek}$	$\frac{UN-PTN PRIMÁR}{UN-PTN SEKUNDÁR} \cdot U_{L-L sek}$	$\frac{U_{prim}}{UREF 100\% PRIM}$
U_{en}	$U_{en sek}$	$U_{ph} / U_{en PTN} \cdot \frac{UN-PTN PRIMÁR}{UN-PTN SEKUNDÁR} \cdot U_{en sek}$	$\frac{U_{prim}}{\sqrt{3} \cdot UREF 100\% PRIM}$
P, Q, S (P a Q odděleně po fázích)	bez sekundárních měřených hodnot		$\frac{vykon_{prim}}{\sqrt{3} \cdot UREF 100\% PRIM \cdot IREF 100\% PRIM}$

Tab. 1. 4 Vzorce pro přepočítání mezi sekundárními, primárními a procentuálními hodnotami (převzato z [1])

Kromě těchto hodnot může ještě ochrana zobrazovat tepelnou měřenou hodnotu ochrany proti přetížení v procentech vypínacího oteplení, tepelnou měřenou hodnotu blokování OZ, mez opětného zapnutí funkce blokování OZ, čas k dovolenému opětnému zapnutí motoru a teplotu na termoboxech.

Střední hodnoty

V primárních hodnotách jsou vypočítávány střední hodnoty tří fázových proudů, sousledné složky tří proudů a činného, jalového a zdánlivého výkonu. Tyto střední hodnoty jsou vypočítávány a vyhodnocovány v intervalech, které jsou nastavitelné. Lze také nastavit četnost aktualizací. Pro příklad 15/3 znamená interval dlouhý 15 minut s četností aktualizace 3. To znamená, že každých 5 minut dostaneme aktuální hodnotu.

Maximální a minimální hodnoty

V měřících intervalech jsou vypočítávány maximální a minimální hodnoty výše uvedených dlouhodobých středních hodnot, tří fázových proudů, tří fázových napětí, sdružených napětí, sousledné složky I_1 a U_1 , napětí U_E , tepelné měřené hodnoty ochrany proti přetížení, činného výkonu, jalového výkonu, zdánlivého výkonu, frekvence a účinníku. Tyto hodnoty mohou být kdykoliv resetovány binárním vstupem, programem DIGSI nebo na čelním panelu přístroje.

Mezní hodnoty

U některých měřených veličin (výkon, teplota, proud, tlak, účinník) lze nastavit horní a dolní mez. Pokud je tato mez vícenásobně překročena, je vydáno příslušné provozní hlášení. Hlášení se může přiřadit na kontrolní LED na čelní straně přístroje, nebo může být hlášení zobrazováno v programu DIGSI. V tomto programu se hodnoty mezí můžou také nastavovat. Funkce pro hlídání překročení mezních hodnot není vhodná pro blokování ochranných funkcí, protože pracuje s menší prioritou. Jak již bylo řečeno, hlášení je vydáno až po několikanásobném překročení mezní hodnoty. Z tohoto důvodu funkce nemůže nabíhat při rychlých změnách měřených veličin.

1.18.4 Počítadla energií

Přístroj SIPROTEC 7SJ63 obsahuje funkci počítadla energií. V této funkci je počítána jalová a činná práce odděleně pro odběr (-) a dodávku (+). Hodnoty mohou být zobrazovány na panelu přístroje, mohou být sériovým rozhraním přivedeny do PC a zobrazeny v programu DIGSI nebo mohou být přeneseny systémovým rozhraním do centrály. Vypočítaná práce může být zobrazena v kilo-, Mega- nebo Gigawatthodinách. Také lze nastavit rozlišení čítače a to činitelem 10 a 100.

1.18.5 Nástroje pro uvádění do provozu

Před uvedením ochrany do provozu je nezbytné vyzkoušet její chod v testovací fázi. Ochrana má k dispozici pomůcky pro testování systémového rozhraní a binárních vstupů a výstupů. Pokud je přístroj připojen k centrálnímu řídicímu místu, mohou se cíleně ovlivňovat informace přenášené k tomuto místu. Přenášené informace mohou být označeny dodatkem „testovací provoz“. Tím je rozpoznáno, že se nejedná o skutečné poruchy.

Test systémového rozhraní

Pomocí programu DIGSI může být testováno, zda se informace pomocí systémového rozhraní přenášejí do řídicí centrály korektně či nikoliv. Ručně lze navolit, jaké hlášení bude z přístroje vysláno a to poté dohledat jak v provozních hlášeních přístroje, tak v řídicí centrále.

Zkouška stavů binárních vstupů a výstupů

Zkouška se provádí opět přes program DIGSI. V dialogovém okně jsou zobrazeny všechny vstupy, výstupy a LED diody, které jsou na přístroji k dispozici. Prvky je možné přepínat do opačného stavu, a tak vybudit každé jednotlivé relé. Tím je dosaženo kontroly zapojení zařízení.

Vytvoření testovacího zápisu o měření

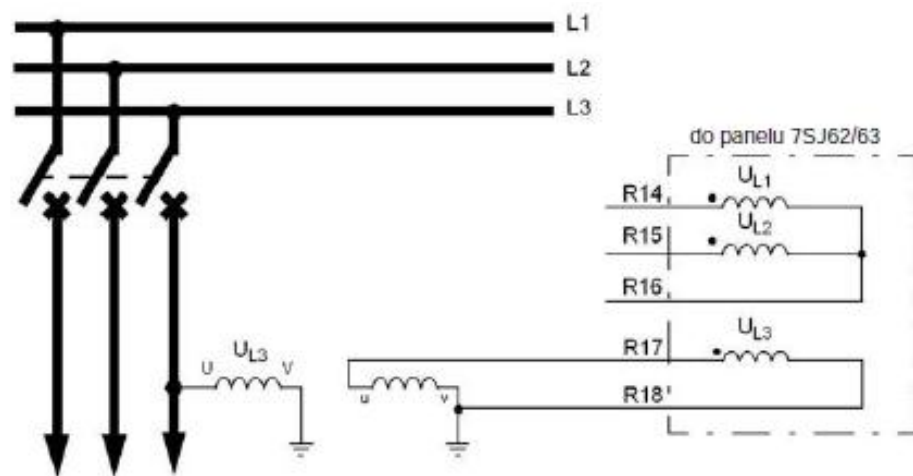
Při uvádění ochrany do provozu mohou být prováděny zapínací pokusy. Při vybavení

ochrany dojde k záznamu o poruše, v němž jsou obsaženy poruchové hodnoty a další užitečné informace. Záznamy však mohou být vyvolané externě pomocí programu DIGSI, sériovým rozhraním a binárním vstupem. Každý záznam je uveden pod svým číslem.

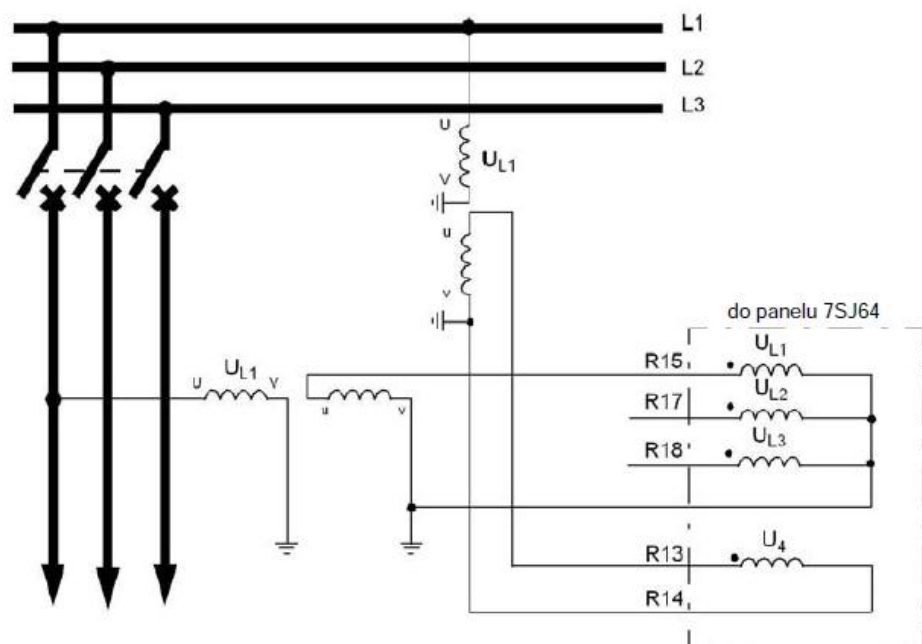
1.19 Ochrana při jednofázovém připojení PTN

Mohou nastat situace, kdy je možné na primární stranu napětí připojit pouze jeden napěťový transformátor. Takový transformátor měří obvykle fázové napětí. Může být ale připojen i tak, že měří napětí sdružené.

Příklady zapojení:



Obr. 1. 23 Příklad zapojení jednofázového napěťového transformátoru pro fázové napětí (převzato z [1])



Obr. 1. 24 Příklad zapojení jednofázového napěťového transformátoru pro sdružené napětí (převzato z [1])

Zapojení pouze jednoho napěťového transformátoru má samozřejmě vliv na některé ochranné funkce a ochrana se tomu musí přizpůsobit.

Podpět'ová a přepět'ová ochrana

Při chodu se třemi napěťovými transformátory pracuje ochrana vždy se sdruženými hodnotami. Pokud ale používáme pouze jeden napěťový transformátor, je nutné parametrizaci na adrese 240 nastavit, zdali má ochrana pracovat se sdruženým nebo fázovým napětím. Podle toho se odvíjejí nastavené napěťové meze.

Frekvenční ochrana

Podobně je na tom frekvenční ochrana, kde se taktéž musí nastavit, jaké napětí je k ochraně připojeno. Je to z toho důvodu, že může být nastaveno minimální napětí, pod nímž je frekvenční ochrana blokována.

Směrová nadproudová ochrana, lokátor poruch, kontrolní funkce

Tyto druhy ochrany jsou při použití pouze jednoho transformátoru mimo provoz.

Citlivá detekce zemních poruch

Zapojení jednoho transformátoru neumožňuje stupni zbytkového napětí a směrové funkci pracovat. Proudové stupně jsou funkční jako nesměrové.

Provozní měřené hodnoty

Hodnoty, které nejdou spočítat, jsou označeny za neplatné, nebo jsou nastaveny na nulu.

1.20 Zpracování povelů

Pomocí funkce zpracování povelů mohou být prováděny úkony v rozvodně. Podporovány jsou jednoduché i vícenásobné přípojnice. Po zadání hesla lze ovládat dané zařízení pomocí ovládacího panelu přístroje, programu DIGSI, dálkově ovládací řídicí technikou a binárním vstupem. Je např. možné zapínat a vypínat odpojovače, uzemňovače a vypínače, regulovat odbočky transformátorů nebo nastavovat zapínací čas u ovládací cívky. Tyto povely mohou být, pokud je tak nastaveno, blokovány. Všechny povely jsou protokolovány. Počet ovládaných prvků je omezen počtem binárních vstupů resp. výstupů.

1.21 Kontrolní funkce

Řídící obvod a procesor zkouší pomocí kontrolních funkcí jak hardware, tak software a to nepřetržitě. Také jsou kontrolovány měřené veličiny z hlediska věrohodnosti. Z toho vyplývá, že jsou zkoušeny také obvody proudových a napěťových transformátorů. Lze však tuto kontrolu vypnout.

1.21.1 Kontrola hardwaru

Pomocná a referenční napětí

Hardwarem je hlídáno napětí na procesu 5V. Pokud je napětí menší než tato hodnota, je přístroj odstaven mimo provoz. Výpadek nebo vypnutí napájecího napětí má za následek taktéž vypnutí přístroje. Jestliže je výpadek pomocného napětí kratší než 50 ms, přístroj je i nadále funkční. Procesor také hlídá offsetové a referenční napětí A/D převodníku. Při nedovolených odchylkách je přístroj zablokován.

Paměťová baterie

Nabití paměťové baterie je po určitých časových intervalech kontrolováno. Baterie je důležitá pro chod vnitřních hodin, paměť počítačů a hlášení při výpadku jak napájecího, tak pomocného napětí.

Vzorkování

Trvale kontrolována je frekvence vzorkování. Pokud se vyskytne odchylka a nedá se odstranit obnovením synchronizace, je procesorový systém restartován.

1.21.2 Kontrola softwaru

Watchdog

Pro nepřetržitou kontrolu programového chodu složí tzv. watchdog. Je to v podstatě časová kontrola hardwaru, která provede při výpadku procesoru resetování procesorového systému s kompletně novým rozběhem. Watchdog také kontroluje chyby při zpracovávání programu. Tento proces taktéž vyvolá resetování procesoru. Pokud není tato chyba odstraněna ani při třetím resetování, je automaticky přístroj uveden mimo provoz a je vydáno hlášení o poruše.

Kontrola offsetu

V datových kanálech se může projevit chyba způsobená offsetem A/D převodníků. Nasazením stejnosměrných filtrů ve vyrovnávací paměti se tyto případné chyby detekují. Pokud je překročena určitá mez, je vydáno varovné hlášení. Offset působí negativně na přesnost měření. Z tohoto důvodu není dobré v tomto stavu přístroj provozovat.

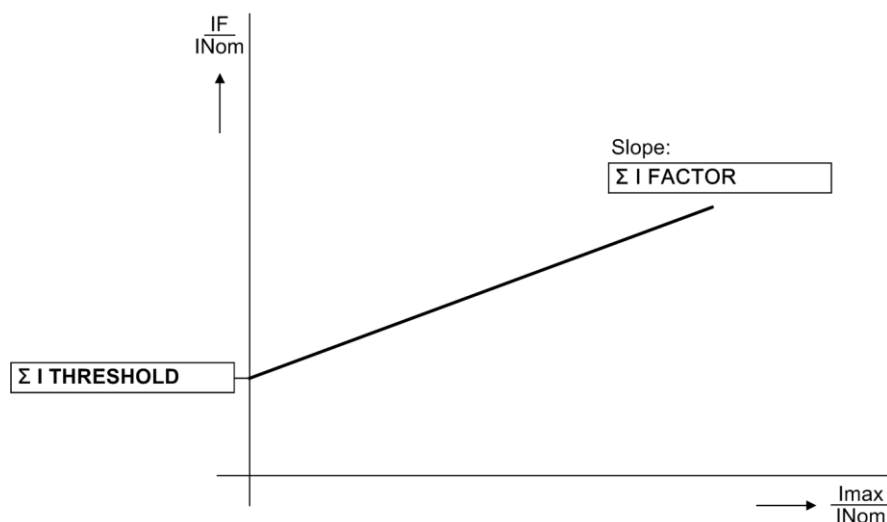
1.21.3 Kontroly sekundárních obvodů

Snímání proudových hodnot

Vektorový součet tří fázových proudů a zemního proudu z uzlu proudových transformátorů se musí rovnat nule. Přístroj detekuje poruchu, pokud:

$$I_F = |I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + k_I \cdot i_{IE}| > \sum I \text{ THRESHOLD} \cdot I_N + \sum I \text{ FACTOR} \cdot I_{MAX}$$

ΣI THRESHOLD a ΣI FACTOR jsou nastavitelné parametry, viz následující obrázek.



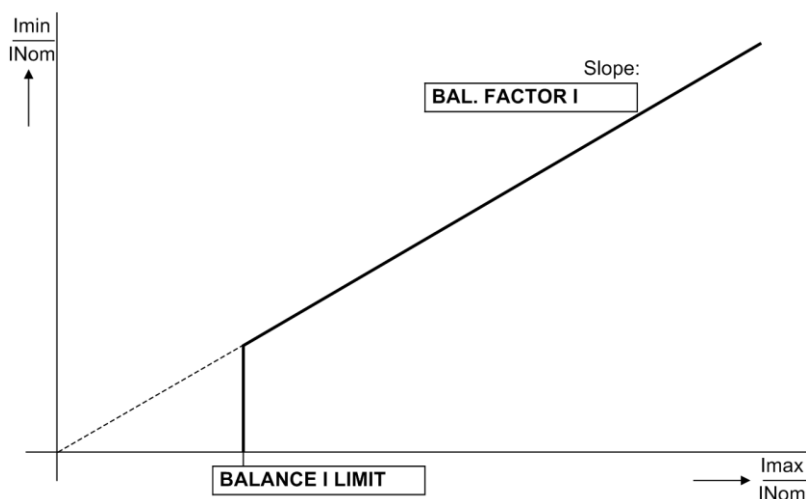
Obr. 1. 25 Kontrola součtu proudů (převzato z [5])

Proudová symetrie

V bezporuchovém stavu sítě se předpokládá určitá míra proudové symetrie. Provádí se kontrola velikosti fázových proudů a je porovnávána nejmenší hodnota s největší. Za nesymetrii je považován stav, kdy:

$$\left| I_{\min} \right| / \left| I_{\max} \right| < \mathbf{BAL. FACTOR I} \text{ nebo pokud } I_{\max} / I_N > \mathbf{BALANCE I LIMIT} / I_N$$

Činitel symetrie **BAL. FACTOR I** je měřítkem nesymetrie fázových proudů. **BALANCE I LIMIT** je dolní mez pracovního rozsahu této kontroly.



Obr. 1. 26 Kontrola proudové symetrie (převzato z [5])

Na podobném principu funguje taktéž kontrola napěťové symetrie.

Točivé pole napětí a proudů

V soustavě s nepostiženými napětími se předpokládá správný smysl otáčení sdružených napětí a fázových proudů za pravotočivý. Kontrola tohoto směru se provádí pomocí sledování sledu průchodů nulou. Napětí U_{L1} před U_{L2} před U_{L3} a stejně tak proudy I_{L1} před I_{L2} před I_{L3} . Takto se může snadno přijít na případnou záměnu fází. Kontrola se provádí, pokud sdružená hodnota napětí je větší než $40 \text{ V} / \sqrt{3}$ a hodnota fázového proudu je větší než $0,5 \cdot I_N$. Pokud je pole levotočivé, je vydáno příslušné hlášení. Pakliže je ovšem levotočivé pole v provozu potřebné, je nutné opačný směr otáčení nastavit za správný. Dochází-li v průběhu provozu k přepínání točivého pole, dochází uvnitř přístroje k záměně fází L2 a L3.

Detekce výpadku měřeného napětí

Tato funkce se také nazývá „Fuse Failure Monitor“ (FFM) a pracuje pouze tehdy, když jsou k přístroji připojena tři fázová napětí. Pokud v síti vznikne výpadek napětí např. vlivem zkratu, mohou některé ochranné funkce přestat fungovat správně (stupeň zbytkového napětí citlivé detekce zemních poruch, směrová nadproudová ochrana a podpěťová ochrana). Podle nastavení pracuje FFM s U_E nebo I_E . V případě, že se vyskytne nulové napětí a není registrován zemní proud I_E , dá se usuzovat, že se jedná o poruchu nesymetrickou v sekundárním obvodu napěťových transformátorů. FFM zablokuje výše zmíněné ochranné funkce. U vedení, u kterých je možná zemní porucha jen s malým I_E se FFM nesmí použít, protože by mohlo dojít k nežádoucím vyřazením ochranných funkcí.

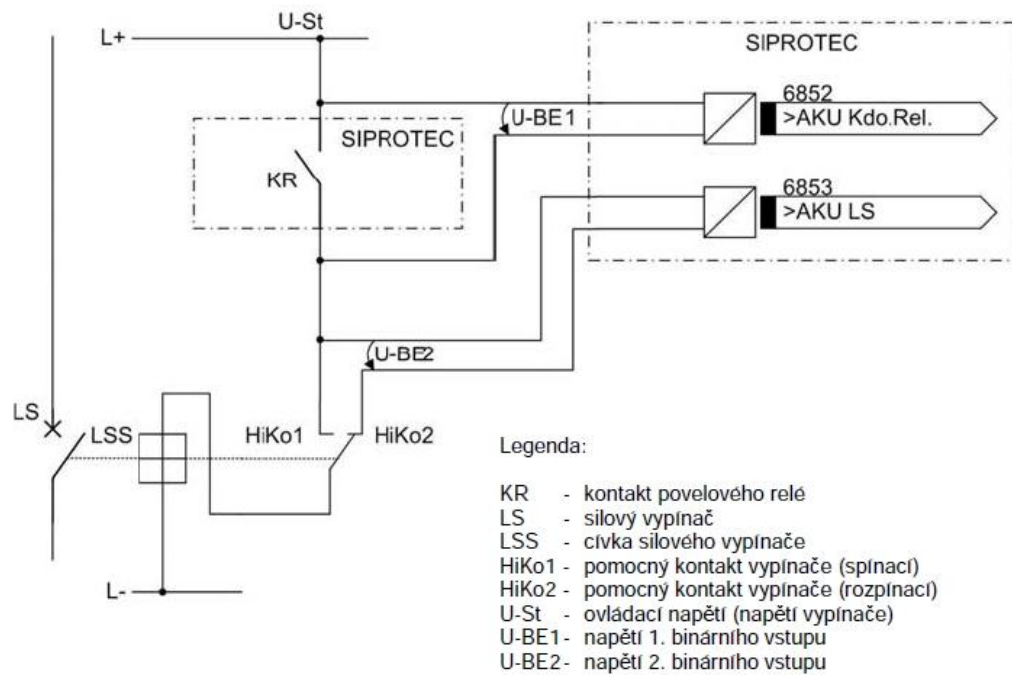
Kontrola měřených hodnot

Citlivost kontroly měřených hodnot je natavena z výroby podle předpokladů a zkušeností. V praxi jsou ovšem podmínky často velmi různorodé. Pokud se počítá s velkými proudovými a napěťovými nesymetriemi, kontrola by se měla nastavit méně citlivě.

1.21.4 Kontrola vypínacího obvodu

U tohoto typu ochrany může být kontrolována funkce vypínacího obvodu. Kontrola může být provedena jedním nebo dvěma binárními vstupy podle toho, kolik jich je neobsazených. Za použití dvou binárních vstupů lze zjistit poruchy ve vypínacím obvodu v každém stavu vypínače. Při použití pouze jednoho binárního vstupu nelze zjistit poruchy na samotném vypínači.

Kontrola s dvěma binárními vstupy

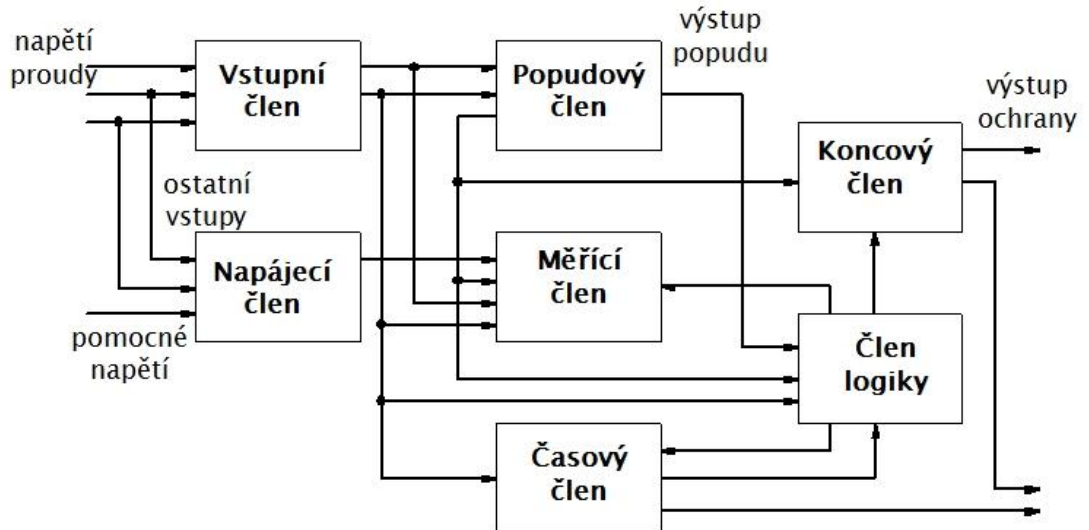


Obr. 1. 27 Princip kontroly vypínacího obvodu se dvěma binárními vstupy (převzato z [1])

Jak je vidět na obrázku 1. 27, jeden binární vstup je zapojen paralelně na kontakt povelového relé a druhý kontakt rovněž paralelně na pomocný kontakt silového vypínače. Tato kontrola rozezná nejen přerušení ve vypínacím obvodu a výpadek ovládacího napětí, ale i reakci silového vypínače podle polohy jeho pomocných kontaktů.

2 Návrh pro testování funkcí ochrany SIPROTEC 7SJ63 – nadproudová ochrana

2.1 Základní členy ochran



Obr. 2. 1 Schéma zapojení základních členů ochran

Vstupní člen – převádí vstupní napětí a proud na zpracovatelnou úroveň, získává informace o stavu objektu a zabraňuje vstupu nežádoucích vlivů

Popudový člen – slouží jako zdroj informací pro člen logiky a měřicí členu o poruše

Člen logiky – na jeho vstup přichází informace od měřicího členu, na základě vyhodnocené informace podá příkaz koncovému členu

Časový člen – dává ostatním členům informace o čase

Měřicí člen – tento člen rozhoduje o tom, zda se jedná o poruchu. Základním parametrem je citlivost. Ta udává velikost měřené veličiny, která je označena za poruchovou.

Koncový člen – je to nejčastěji relé s výkonovými kontakty

Napájecí člen – slouží k napájení ochrany přes stabilizátor

2.2 Požadavky kladené na ochrany

Spolehlivost - je to pravděpodobnost, že ochrana vykoná svoji funkci ve správné míře a čase, tzn. není třeba zasahovat, dokud to není nutné a zareagovat vždy, když je to nutné, a to ve správnou chvíli.

Odolnost proti rušení - v průmyslových závodech se velmi často objevuje elektromagnetické rušení. Elektromagnetická kompatibilita je proto u ochran velmi důležitá.

Rychlost - co nejkratší doba nutná pro vypnutí poruchy může omezit poškození chráněného objektu, a zabránit tak ekonomickým škodám, snížit ohrožení osob a zvýšit stabilitu soustavy.

Citlivost - velikost stavové veličiny, při které ochrana reaguje, musí být nastavena vyváženě tak, aby ochrana nepůsobila, kdy nemá, např. u nadproudových ochran při přetížení.

Přesnost - poměrná chyba citlivosti ochrany vyjádřena v procentech.

Selektivita - selektivní ochrana vypne jen nezbytnou část elektrizační soustavy a nepůsobí mimo chráněný objekt. Lze ji zajistit:

- **Absolutní selektivita** - nezáleží na časovém zpoždění, ale např. na principu porovnávání elektrických veličin na koncích vedení
- **Relativní selektivita** - zajišťuje se časovým odstupňováním vypínacích časů

Snadná údržba - pro zvětšení spolehlivosti se provádějí periodické revize ochran.

2.3 Druhy zkoušek ochran

2.3.1 Zkouška přejímací

Tento druh zkoušek se provádí po ukončení montáže elektrické ochrany, automatik a základního elektrického zařízení souvisejícího s principem chránění. Přejímací zkouška má za cíl prokázat schopnost namontovaného zařízení správně vykonávat svoji ochrannou funkci. Zkouška je prováděna za účasti dodavatele. Po ověření daných funkcí může být ochrana uvedena do provozu.

2.3.2 Zkouška pravidelná

Pravidelná zkouška se provádí, jak název napovídá, pravidelně podle řádu preventivní údržby nebo podle doporučení výrobce. V rozvodnách ZVN a VVN se zkoušky elektromechanických a statických elektronických ochran provádějí 1x za rok. Zkoušky ostatních digitálních ochran, vybavených autodiagnostikou se provádějí zpravidla 1x za 3 až 5 let. V rozvodnách s nižším napětím se zkoušky elektromechanických a statických elektronických ochran provádějí 1x za 2 roky. Digitální ochrany se testují stejně jako v rozvodnách ZVN a VVN 1x za 3 až 5 let.

2.3.3 Zkoušky příležitostné a mimořádné

Příležitostné zkoušky se provádí na příkaz technika provozu ochran, je-li zařízení přechodně mimo provoz. Mimořádné zkoušky se provádí po těžších poruchách a při nesprávné činnosti ochran.

2.3.4 Primární zkouška

Při primární zkoušce je otestována nejen soustava ochran, ale také přístrojové transformátory proudu a napětí a ostatní příslušenství jako jsou vypínače, odpojovače apod. Existuje několik způsobů jak tuto zkoušku provést.

2.3.4.1 Proudem jednofázového zdroje

Tento druh zkoušky je vhodný pro testování např. nadproudové ochrany. Provede se spojení primárních vinutí transformátorů proudu tak, aby proud protékal všemi transformátory proudu a sekundární proudy protékaly všemi fázemi a nulovým vodičem. Na primární straně transformátorů jsou připojeny ochrany.

2.3.4.2 Proudem trojfázového zdroje

Trojfázový zdroj se používá pro testování rozdílových ochran transformátorů a alternátorů. Jedno vinutí transformátoru se připojí na trojfázový zdroj a u ostatních vinutí se zkratují fáze. Transformátorem protéká proud:

$$I_k = \frac{U_{zk}}{Z_p + Z_{tr}} = \frac{U_{zk}}{Z_p + \frac{U_n^2}{100 \cdot S_{tr}} \cdot u_k}$$

Rov. 2. 1 Rovnice pro výpočet proudu tekoucím transformátorem

U_{zk} – zkušební napětí

Z_p – impedance přívodních kabelů

Z_{tr} – impedance transformátoru

S_{tr} – zdánlivý výkon transformátoru

U_n – jmenovité napětí transformátoru

u_k – napětí nakrátko transformátoru

2.3.4.3 Zkratovým proudem alternátoru

Při použití alternátoru mohou být provedeny zkoušky do umělého zkratu s malým nebo velkým proudem. Malý proud se využije při testování např. rozdílové ochrany. Při zkouškách alternátorem a nesymetrickém stavu je nutné kontrolovat zpětnou složku proudu. O zkouškách alternátorem pojednává norma ČSN 35 0220 a přidružené normy.

2.3.4.4 Pracovním proudem a napětím

Pracovním proudem a napětím se ochrana zkouší, pokud nemůže být zkoušena jinak. Zejména v případě, že ochrana je připojena k transformátoru proudu a napětí. Tento druh zkoušky se také provádí, pokud je zkouška prováděna na zapnutém silovém zařízení, na kterém je ochrana připojena. Tento způsob není časově náročný a je jednoduchý. Může se také zkoušet uměle vyvolaným zemním spojením u směrové zemní ochrany.

2.3.5 Sekundární zkouška

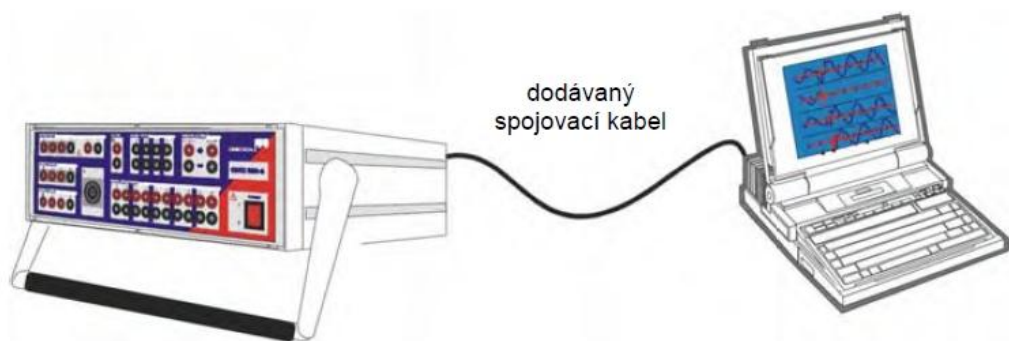
Při sekundární zkoušce se testuje ochranná soustava bez připojení přístrojových transformátorů proudu a napětí. Činnost ochranné soustavy se přezkouší podle instrukcí výrobce a požadavků provozovatele jištěného zařízení.

2.3.6 Zkouška činnosti automatik

Zkouška činnosti automatik se provádí za provozu příslušného základního zařízení. Tímto způsobem se otestuje jednak činnost daného zařízení a jednak algoritmus řízení. Zkoušku lze provést bez součinnosti se základním zařízením. V tom případě jsou výstupy odpojeny a vstupní podmínky jsou simulovány nějakým ze zkušebních přístrojů. Tento způsob je vhodný pro zkoušky příležitostní i pravidelné. Návrh na otestování ochrany SIPROTEC 7SJ63 obsažený v této diplomové práci se zabývá právě tímto druhem zkoušky.

2.4 Zkušební přístroj OMICRON CMC 256

Existuje celá řada zkušebních zařízení elektrických ochran. Za zmínku stojí jednofázový tester SVERKER 750/780, TESTER TZ03, FREJA 400 nebo Omicron CMC 256, který je v laboratořích fakulty elektrotechnické. Pomocí tohoto zařízení byla ochrana testována. Kromě elektrických ochran se jím dají zkoušet měřicí převodníky a elektroměry. Vedlejší funkcí je možnost měřit 10 analogových vstupů (0 Hz až 10 kHz). Tento přístroj je řízený přes PC pomocí programu OMICRON Test Universe. Dodávaný spojovací kabel je síťový kabel s konektorem RJ-45.



Obr. 2. 2 Přístroj Omicron CMC 256 propojený přes datový kabel s PC (převzato z [2])

Na přední straně přístroje nalezneme:

Napět'ové výstupy

Tyto čtyři napět'ové výstupy jsou galvanicky odděleny od všech dalších výstupů přístroje Omicron CMC 256 a jsou vztaženy na společný nulový vodič o dvou zdírkách. Napět'ové výstupy jsou realizovány ve dvou napět'ových rozsazích a to 0 – 150 V a 0 – 300 V. Všechny napět'ové výstupy jsou chráněny proti chodu naprázdno, zkratům a přetížením. Pokud k přetížení dojde, objeví se příslušné hlášení v programu OMICRON Test Universe.

Proudové výstupy

Na čelní straně se také nacházejí dva od sebe oddělené proudové výstupy, vždy o třech proudových zdírkách a jednomu nulovému vodiči. Proudové výstupy jsou realizovány jako lineární zesilovače s DC vazbou. Díky tomu mohou být věrně provedeny libovolné přechodové děje. Rovněž mají tyto výstupy dva provozní rozsahy $6 \cdot 1,25$ A a $6 \cdot 12,5$ A.

Binární vstupy

10 binárních vstupů je rozděleno do pěti skupin, které jsou navzájem galvanicky oddělené. Maximální vstupní frekvence činí 3 kHz. Binární vstupy jsou načínány oddělovacím zesilovačem s časovým rozlišením 100 μ s a vyhodnocovány měřicí jednotkou.

Analogové vstupy

Stejně jako binárních vstupů, má přístroj Omicron CMC 256 také 10 analogových vstupů, rozdělených do pěti skupin. Maximální snímatelná frekvence je 10 kHz. Vzorkovací frekvence je volitelná ze tří hodnot (10 Hz – 100 Hz, 10 Hz – 1 kHz, 10 Hz – 10kHz). A/D převodníkem digitalizované měřené hodnoty jsou dále zpracovávány signálovým procesorem a zobrazovány v PC. Vstupy jsou realizované jako napět'ové a mají 5 měřících rozsahů (100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 600 V). Pro měření proudu je nutné použít proudové kleště.

DC měřicí jednotka

Tato měřicí jednotka slouží k měření stejnosměrného proudu v rozmezí 0 – 1 mA nebo 0 – 20 mA a stejnosměrného napětí v rozmezí 0 – 10 V. Jako vstupní ochrana je použita pojistka. Měřené veličiny jsou taktéž digitalizovány.

Binární výstupy

Čtyři binární výstupy lze použít jako bezpotenciální reléové kontakty.

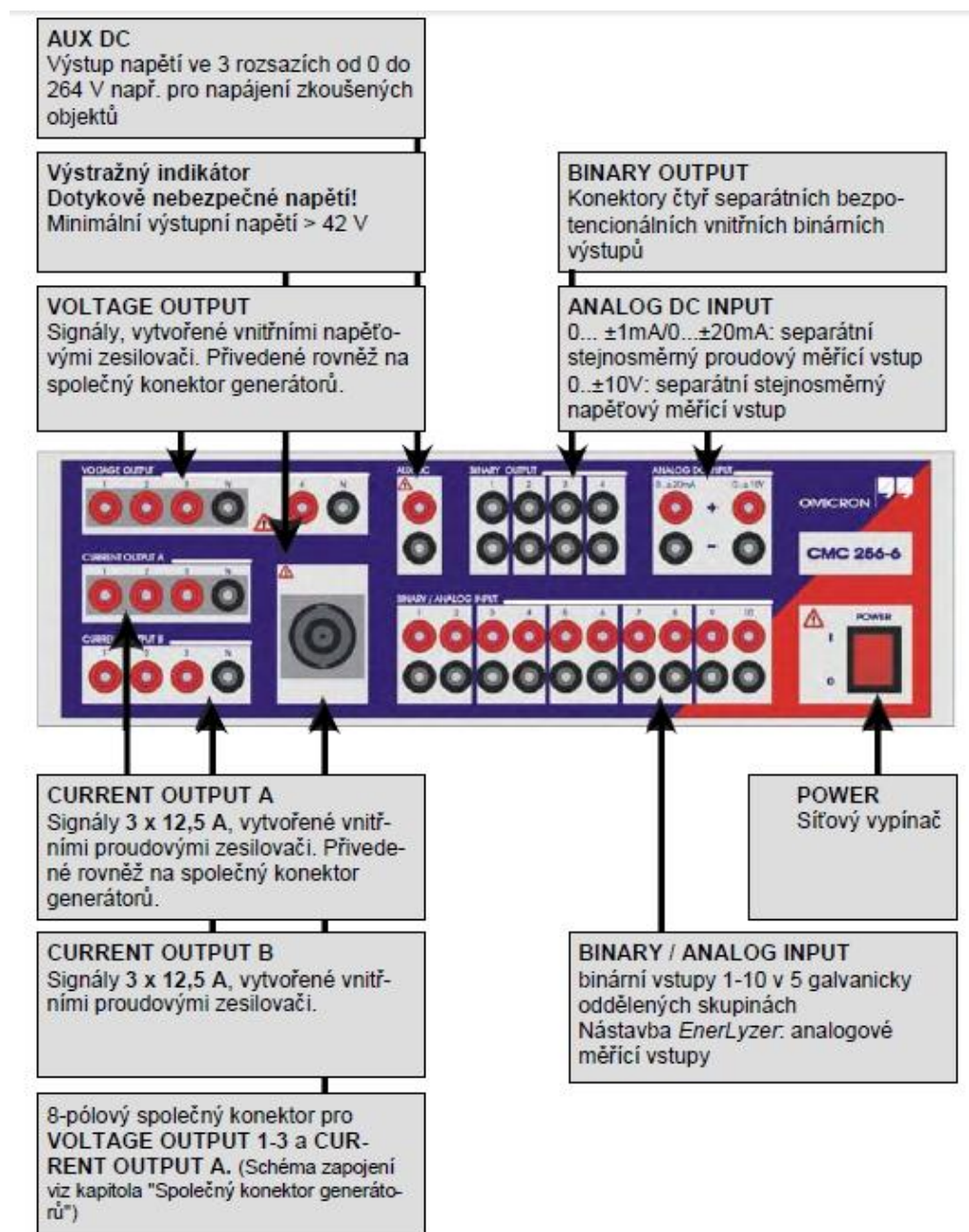
DC napájení pro zkoušené objekty

Některé zkoušené objekty (např. ochrany) vyžadují stejnosměrné pomocné napětí. To může být použito právě z přístroje Omicron CMC 256. Toto napětí se nastavuje pomocí

programu OMICRON Test Universe libovolně v rozmezí 0 – 264 V a hodnota může být trvale uložena do paměti přístroje. DC napětí je od jiných výstupů galvanicky odděleno.

Společný konektor napěťových a proudových výstupů

Tento konektor usnadňuje připojení testovaného zařízení k Omicron CMC 256. Obsahuje tři napěťové a tři proudové výstupy.



Obr. 2. 3 Čelní pohled na Omicron CMC 256 (převzato z [2])

Následující návrh pro otestování zemní a fázové nadproudové ochrany pomocí dvou metod je proveden tak, aby byl použitelný pro laboratorní měření v učebnách fakulty

elektrotechnické. Podobně jsou sestaveny i možnosti rozšíření testování, tj. kontrola na selhání vypínače a ochrana proti nesymetrii.

2.5 Návrh testování - úkoly měření

2.5.1 Měření bod po bodu

2.5.1.1 Pomocí pěti testovacích bodů (hodnot) pro každý stupeň $I_{E>}$ a $I_{E>>}$ (nadproud a zkrat) se ověří charakteristika zemní nadproudové funkce. Do ochrany SIPROTEC se nahraje vypínací charakteristika. Zvolí se jedna libovolná fáze a pro zkoušení se použije modul Quick CMC. Sestrojená charakteristika z naměřených hodnot se porovnává s charakteristikou nastavenou.

2.5.1.2 Pomocí pěti testovacích bodů (hodnot) pro každý stupeň $I_{>}$, $I_{>>}$ a $I_{p>}$ ($I_{p>}$ - časově závislý stupeň) se ověří charakteristika fázové nadproudové funkce. Do ochrany SIPROTEC se nahraje vypínací charakteristika. Pro zkoušení se použije modul Quick CMC. Testovací proud je třífázový symetrický. Pro časově závislý stupeň je vhodné spočítat očekávané hodnoty náběhu ochrany dle níže uvedeného vzorce 2. 2.

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

Rov. 2. 2 Rovnice pro výpočet inverzní vypínací charakteristiky

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

Rov. 2. 3 Rovnice pro výpočet silně inverzní vypínací charakteristiky

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

Rov. 2. 4 Rovnice pro výpočet extrémně inverzní vypínací charakteristiky

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

Rov. 2. 5 Rovnice pro výpočet dlouhodobé vypínací charakteristiky

t – vypínací čas

T_p – nastavené hodnota časového činitele

I – poruchový proud

I_p – nastavená hodnota proudu

Příklad výpočtu očekávané doby náběhu pro časově závislý stupeň fázové nadproudové funkce:

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p = \frac{0,14}{\left(\frac{1,4}{1}\right)^{0,02} - 1} \cdot 2 = 41,46 \text{ s}$$

Rov. 2. 6 Příklad výpočtu očekávané doby náběhu časově závislého stupně

2.5.2 Návrh testování - měření pomocí ucelené zkoušky

2.5.2.1 Charakteristiku zemní nadproudové funkce stupně IE> a IE>> (nadproud a zkrat) lze ověřit vytvořením ucelené zkoušky, tzn. po sobě následujícím automatickým proměřením několika bodů od každého stupně. Zvolí se jedna libovolná fáze a pro zkoušení se použije funkce – Nový zkoušený dokument. Naměřené hodnoty a výsledné grafy se prezentují ze získaného protokolu.

2.5.2.2 Stejně jako v předešlém případě se charakteristika fázové nadproudové funkce stupně I>, I>> a Ip> (Ip> - časově závislý stupeň) ověří vytvořením ucelené zkoušky, tzn. po sobě následujícím automatickým proměřením několika bodů od každého stupně. Pro zkoušení se použije funkce – Nový zkoušený dokument. Testovací proud je třífázový symetrický. Pro časově závislý stupeň je vhodné spočítat očekávané hodnoty náběhu ochrany dle výše uvedeného vzorce typu A. Naměřené hodnoty a výsledné grafy se prezentují ze získaného protokolu.

2.6 Návrh testování - postup měření

2.6.1 Podle návodu a schématu se zapojí nadproudová ochrana SIPROTEC 7SJ63 a měřicí přístroj Omicron CMC 256 a k oběma zařízením se připojí PC.

2.6.2 Zapne se ochrana, Omicron a na PC zapojenému k Omicronu se zapne program TEST UNIVERSE. Měřit se bude pomocí modulu Quick CMC. Na druhém PC se zapne program DIGSI, přes který se nakonfiguruje ochrana.

2.6.3 Měření zemní nadproudové funkce pomocí 5 bodů.

- A. Na jedné z fází se nastaví 0,95 násobek hodnoty proudu, který vyvolá zapůsobení ochrany ($0,95 \cdot 0,3 \text{ A}$). Dalšími zvolenými násobky se změří 5 bodů pro IE> a 5 bodů pro IE>>.
- B. Z naměřených hodnot se vytvoří tabulka a graf.

2.6.4 Měření fázové nadproudové funkce pomocí 5 bodů.

- A. Podle vzorce se vypočítají očekávané časy pro časově závislý stupeň (hodnoty proudu pro výpočet se volí vhodně tak, abychom nečekali příliš dlouho na zapůsobení).
- B. V modulu Quick CMC se nastavuje proud (**třífázový symetrický**, abychom se vyvarovali zapůsobení zemní ochrany). U časově závislého stupně se nastavují stejné proudy, které jsou použity pro výpočet očekávaných časů. U všech tří stupňů se změří pět bodů.
- C. Z naměřených hodnot se vytvoří tabulka a graf

2.6.5 Měření zemní nadproudové funkce pomocí ucelené zkoušky.

- D. Na PC se zapne Test Universe a v něm funkce Nový zkoušený dokument. Vloží se nový testovací modul pracující jako nadproudová ochrana. V záložce testovaný objekt se nastaví parametry nadproudového a zkratového stupně. Poté se v nadproudovém modulu zvolí body, které budou proměřeny, a zkouška se spustí.

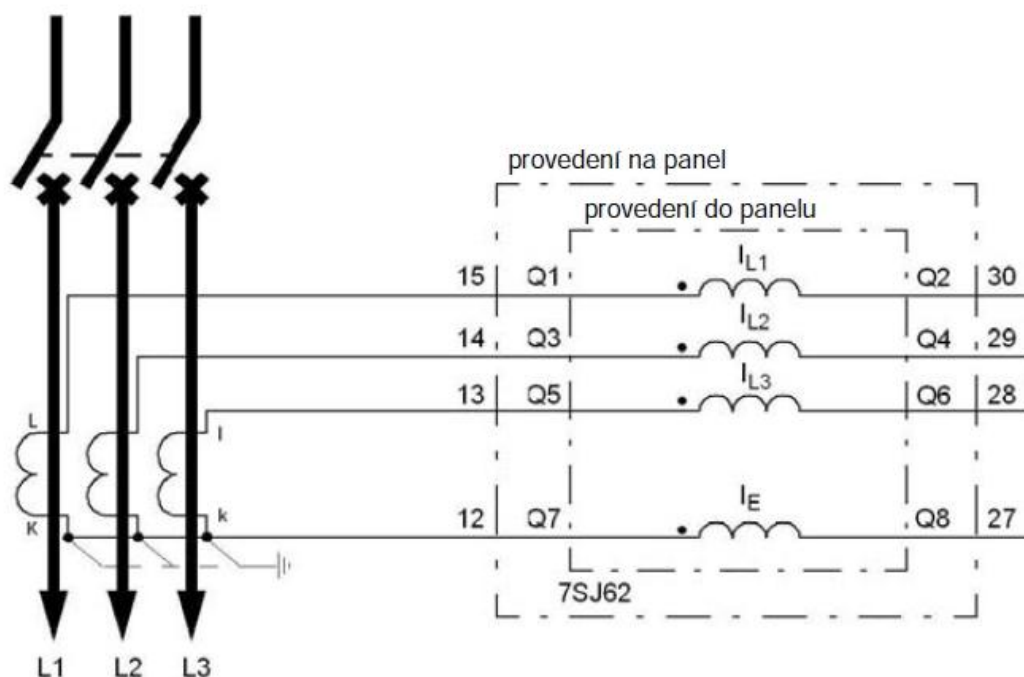
2.6.6 Měření fázové nadproudové funkce pomocí ucelené zkoušky.

- E. Postup je stejný jako u měření zemní nadproudové funkce. Odlišnost je pouze v nastavení testovací charakteristiky.

2.6.7 Po odměření všech hodnot je vhodné všechna zařízení vypnout a uvést úlohu do původního stavu.

2.7 Návrh testování – zapojení úlohy

Ochrana SIPROTEC 7SJ63 umožňuje napájení jak stejnosměrným, tak střídavým napětím. Z praktických důvodů byla ochrana přírodním kabelem zapojena do jednofázové zásuvky 230 V, 50 Hz střídavého napětí. Na proudové vstupy byl přiveden signál z testovacího zařízení Omicron CMC 256, konkrétně ze společného konektoru pro napětí a proud na čelní straně. Do tohoto testovacího zařízení byly zpět přivedeny výstupní signály z ochrany. Napájení testeru může být provedeno pouze střídavým napětím 110-240 V, 50/60 Hz. Komunikaci mezi PC a Omicron CMC 256 zajišťoval síťový kabel s konektorem RJ-45. Omicron bylo potřeba nastavovat v programu TEST UNIVERSE. Při měření úlohy byl použit ještě jeden PC. Ten byl spojen s ochranou SIPROTEC přes sériový port RS 232. Komunikace sloužila k nastavování parametrů ochrany, které se nastavovaly v programu DIGSI.



Obr. 2. 4 Zapojení se třemi proudovými transformátory a zemním proudem (převzato z [1])

2.8 Návrh testování - nastavení vypínacích charakteristik

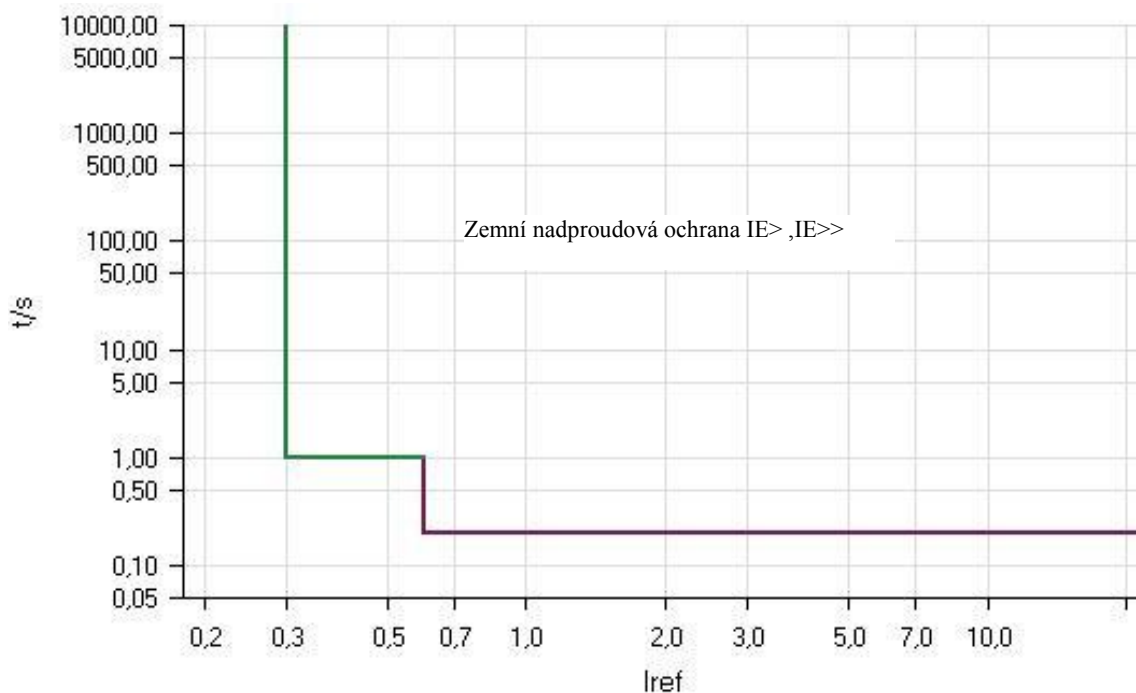
2.8.1 Zemní nadproudová ochrana

V elektrické ochraně SIPROTEC 7SJ63 se nastaví pomocí programu DIGSI hodnoty a časy pro vypínání dle následující tabulky:

stupeň	hodnota [A]	adresa v ochraně	čas [s]	adresa v ochraně
IE>	0,3	1304	1	1305
IE>>	0,6	1302	0,2	1303

Tab. 2. 1 Hodnoty a časy pro vypínání zemní nadproudové ochrany

Sestrojená charakteristika z naměřených hodnot se porovnává s charakteristikou nastavenou.



Obr. 2. 5 Vypínací charakteristika zemní nadproudové ochrany dle nastavených hodnot

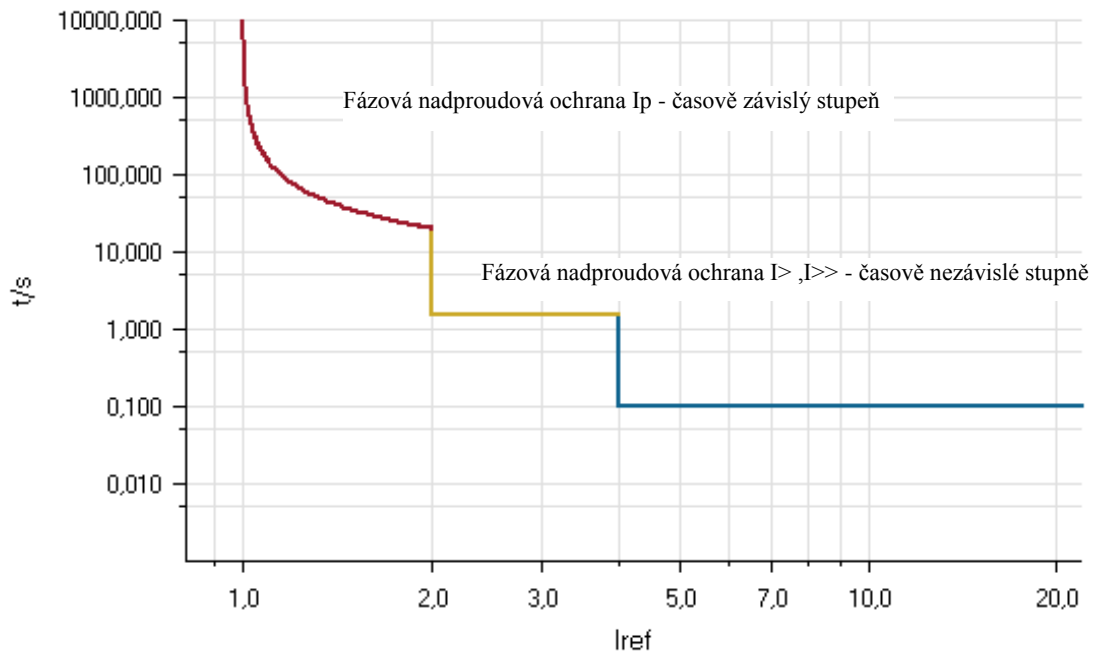
2.8.2 Fázová nadproudová ochrana

V elektrické ochraně SIPROTEC 7SJ63 se nastaví pomocí programu DIGSI hodnoty a časy pro vypínání dle následující tabulky:

stupeň	hodnota [A]	adresa v ochraně	čas [s]	adresa v ochraně	křivka	adresa v ochraně
I>	2	1204	1,5	1205		
I>>	4	1202	0,1	1203		
I _p >	1	1207	2	1208	IEC normal inverse	1211

Tab. 2. 2 Hodnoty a časy pro vypínání fázové nadproudové ochrany

Sestrojená charakteristika z naměřených hodnot se porovnává s charakteristikou nastavenou.



Obr. 2. 6 Vypínací charakteristika fázové nadproudové ochrany dle nastavených hodnot

3 Otestování nastavení ochrany a návrh rozšíření testování

3.1 Testování pomocí metody bod po bodu

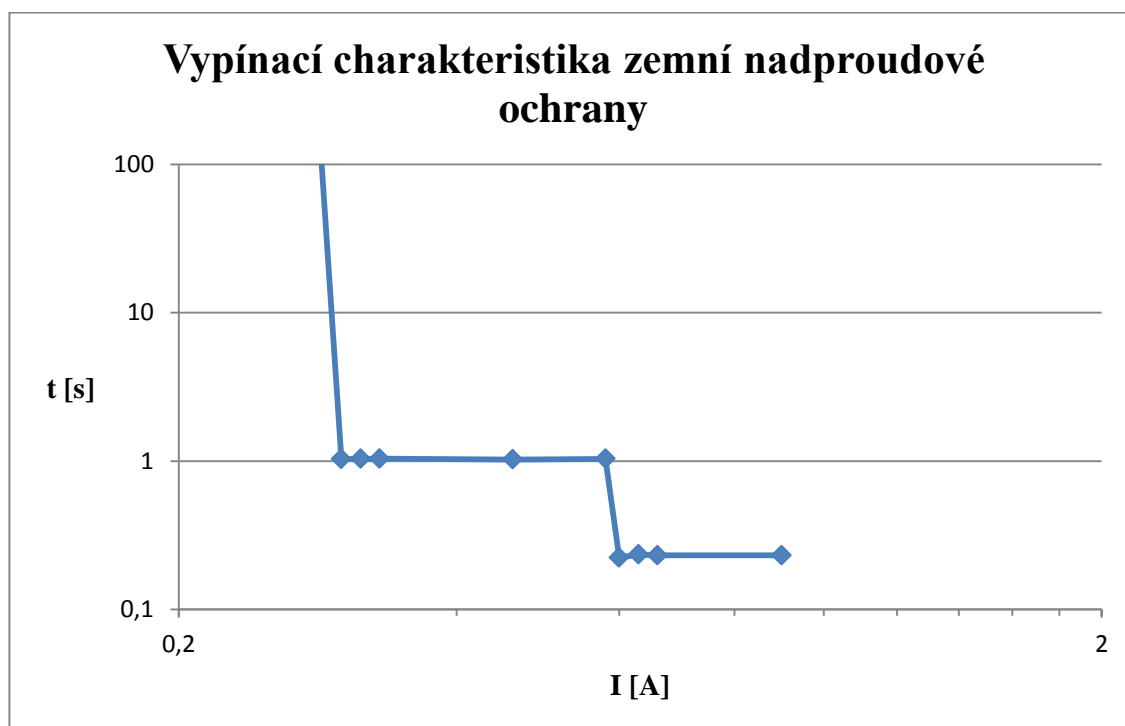
3.1.1 Zemní nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf

Násobky nastavené hodnoty	0,95	1	1,05	1,1	1,5
Zkušební hodnota $IE>$ [A]	0,285	0,3	0,315	0,33	0,46
Očekávaná hodnota [s]	∞	1	1	1	1
Naměřený čas působení [s]	∞	1,033	1,035	1,038	1,025

Tab. 3. 1 Nadproudový stupeň zemní nadproudové ochrany

Násobky nastavené hodnoty	0,95	1	1,05	1,1	1,5
Zkušební hodnota $IE>>$ [A]	0,58	0,6	0,63	0,66	0,9
Očekávaná hodnota [s]	1	0,2	0,2	0,2	0,2
Naměřený čas působení [s]	1,035	0,223	0,234	0,231	0,231

Tab. 3. 2 Zkratový stupeň zemní nadproudové ochrany



Obr. 3. 1 Vypínací charakteristika zemní nadproudové ochrany

3.1.2 Fázová nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf

Násobky nastavené hodnoty	0,95	1,4	1,6	1,7	1,8
Zkušební hodnota $I_{p>}$ [A]	0,95	1,4	1,6	1,7	1,8
Očekávaná hodnota [s]	∞	41,468	29,647	26,244	23,678
Naměřený čas působení [s]	∞	41,465	29,651	26,243	23,680

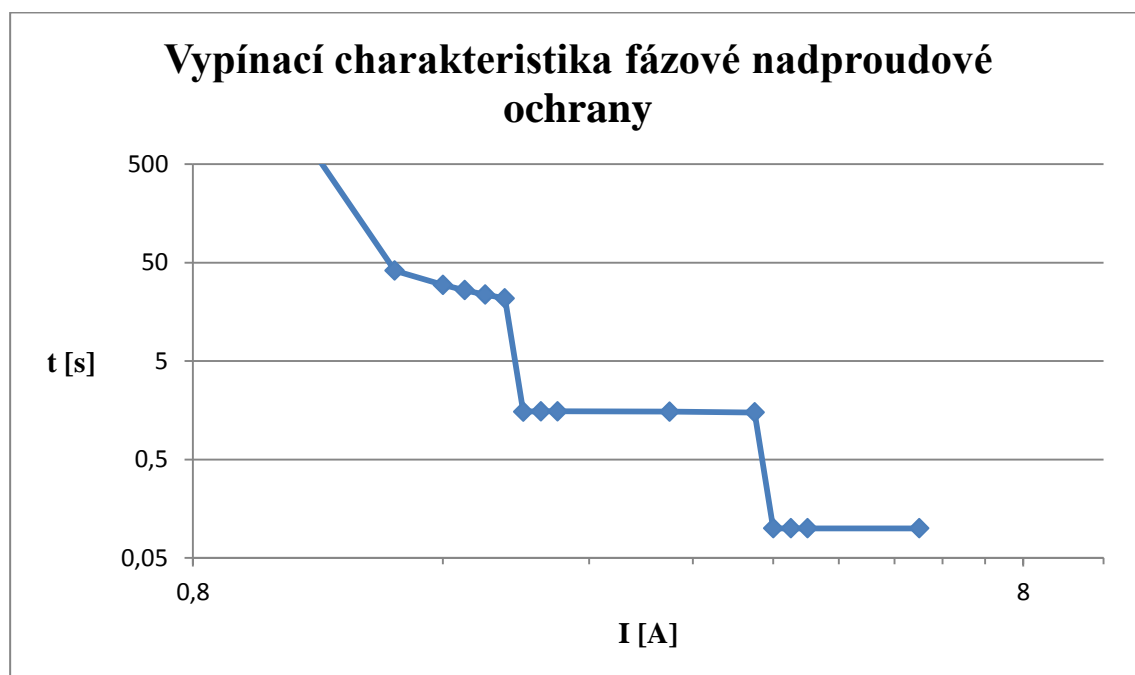
Tab. 3. 3 Časově závislý stupeň fázové nadproudové ochrany

Násobky nastavené hodnoty	0,95	1	1,05	1,1	1,5
Zkušební hodnota $I_{>}$ [A]	1,9	2	2,1	2,2	3
Očekávaná hodnota [s]	21,672	1,5	1,5	1,5	1,5
Naměřený čas působení [s]	21,71	1,533	1,542	1,543	1,530

Tab. 3. 4 Nadproudový stupeň fázové nadproudové ochrany

Násobky nastavené hodnoty	0,95	1	1,05	1,1	1,5
Zkušební hodnota $I_{>>}$ [A]	3,8	4	4,2	4,4	6
Očekávaná hodnota [s]	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1
Naměřený čas působení [s]	1,52	0,10	0,12	0,11	0,11

Tab. 3. 5 Zkratový stupeň fázové nadproudové ochrany



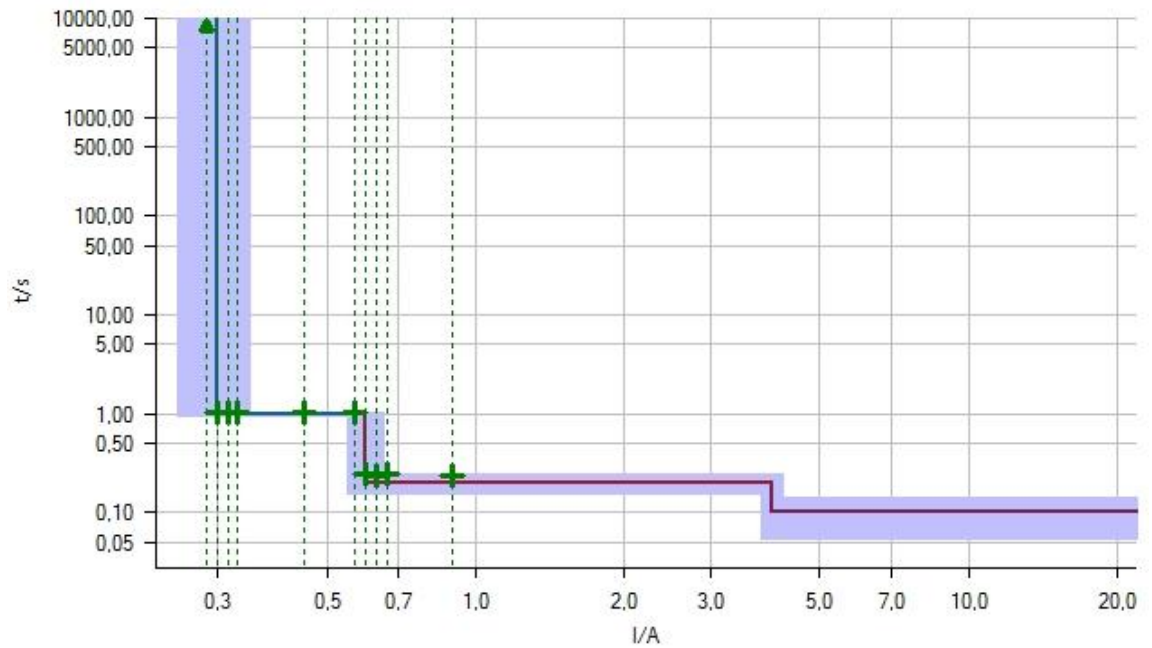
Obr. 3. 2 Vypínací charakteristika fázové nadproudové ochrany

3.2 Testování pomocí ucelené zkoušky

3.2.1 Zemní nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
L1-E	IE>	0,950	0,28 A	n/a	No trip	No trip
L1-E	IE>	1,000	0,30 A	n/a	1,00 s	1,03 s
L1-E	IE>	1,050	0,32 A	n/a	1,00 s	1,03 s
L1-E	IE>	1,100	0,33 A	n/a	1,00 s	1,04 s
L1-E	IE>	1,500	0,45 A	n/a	1,00 s	1,04 s
L1-E	IE>>	0,950	0,57 A	n/a	1,00 s	1,03 s
L1-E	IE>>	1,000	0,60 A	n/a	0,20 s	0,24 s
L1-E	IE>>	1,050	0,63 A	n/a	0,20 s	0,24 s
L1-E	IE>>	1,100	0,66 A	n/a	0,20 s	0,24 s
L1-E	IE>>	1,500	0,90 A	n/a	0,20 s	0,23 s

Tab. 3. 6 Zkratový a nadproudový stupeň zemní nadproudové ochrany

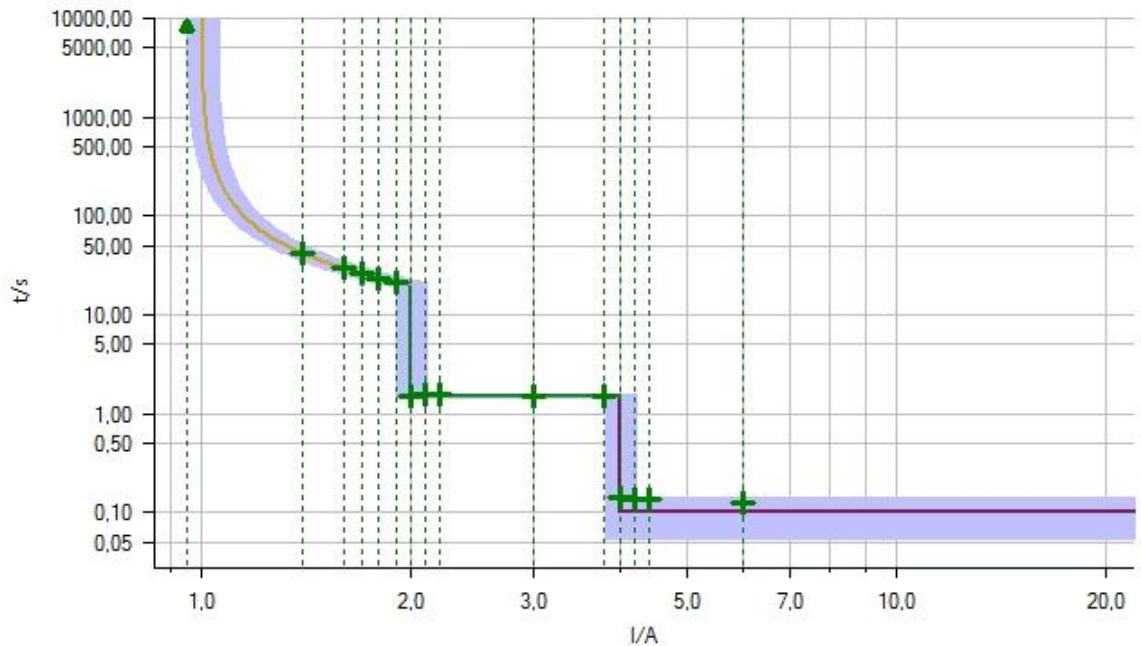


Obr. 3. 3 Vypínací charakteristika zemní nadproudové ochrany

3.2.2 Fázová nadproudová ochrana – naměřené hodnoty + graf

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
L1-L2-L3	l>	0,950	1,90 A	n/a	21,67 s	21,70 s
L1-L2-L3	l>	1,000	2,00 A	n/a	1,50 s	1,53 s
L1-L2-L3	l>	1,050	2,10 A	n/a	1,50 s	1,54 s
L1-L2-L3	l>	1,100	2,20 A	n/a	1,50 s	1,54 s
L1-L2-L3	l>	1,500	3,00 A	n/a	1,50 s	1,53 s
L1-L2-L3	l>>	0,950	3,80 A	n/a	1,50 s	1,53 s
L1-L2-L3	l>>	1,000	4,00 A	n/a	0,10 s	0,14 s
L1-L2-L3	l>>	1,050	4,20 A	n/a	0,10 s	0,13 s
L1-L2-L3	l>>	1,100	4,40 A	n/a	0,10 s	0,14 s
L1-L2-L3	l>>	1,500	6,00 A	n/a	0,10 s	0,13 s
L1-L2-L3	lp	0,950	0,95 A	n/a	No trip	No trip
L1-L2-L3	lp	1,400	1,40 A	n/a	41,47 s	41,68 s
L1-L2-L3	lp	1,600	1,60 A	n/a	29,65 s	29,70 s
L1-L2-L3	lp	1,700	1,70 A	n/a	26,24 s	26,33 s
L1-L2-L3	lp	1,800	1,80 A	n/a	23,68 s	23,68 s

Tab. 3. 7 Časově závislý, zkratový a nadproudový stupeň fázové nadproudové ochrany



Obr. 3. 4 Vypínací charakteristika fázové nadproudové ochrany

3.3 Zhodnocení naměřených výsledků

Měřicí metoda zvaná bod po bodu, určená pro ověření vypínací charakteristiky, je poměrně časově náročná. Naměřené hodnoty se však velmi podobají hodnotám předpokládaným. Jak je vidět z přiložených grafů, pro přesnější sestavení vypínací charakteristiky by bylo potřeba provést o mnoho měřících bodů více. To by ještě více prodloužilo měřicí dobu. Tato metoda je vhodná pro výukové a laboratorní účely.

Měření pomocí zkoušky, která vypínací charakteristiku pomocí předem definovaných hodnot automaticky prověří, se jeví jako výhodnější. Neklade tak velké časové nároky na dobu měření. Výsledek zkoušky uživatel obdrží z vygenerovaného protokolu. Z toho lze snadno odečíst naměřené hodnoty a bez dalších úkonů i prověřovanou charakteristiku, která je téměř totožná s nastavovanou vypínací charakteristikou. V protokolu lze mimo to nalézt nastavení, za jakého test probíhal. Tato metoda je používána v praxi.

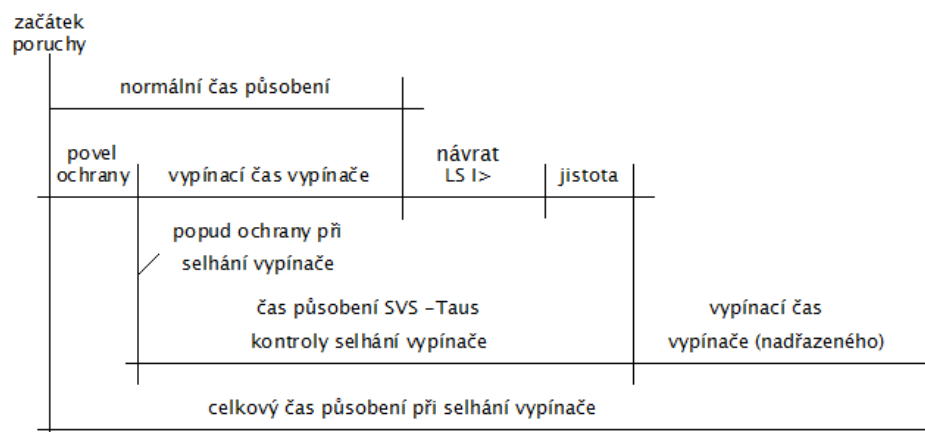
3.4 Možnosti rozšíření testování ochrany SIPROTEC 7SJ63 – kontrola na selhání vypínače

V praxi se může stát, že po vydání vypínacího povelu zůstane vypínač stále v poloze zapnuto. Může to být např. z důvodu mechanického poškození. K detekci selhání vypínače slouží dvě kritéria:

- Proud neklesne k nule
- Vyhodnocení pomocných kontaktů silového vypínače

3.4.1 Zadání

Ověří se funkce ochrany při selhání vypínače tak, že se nasimuluje nejprve nominální stav, ve kterém je ochrana v klidovém stavu. Poté nastane poruchová situace – nadproud a ochrana vydá vypínací povel na vypínač v určitém očekávaném čase. Hodnota proudu ale neklesne k nule. Ochrana by stále trvajícím proudem měla zaznamenat a vydat povel na nadřazený vypínač. Předpokládaný časový sled událostí je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 3. 5 Časový průběh při obvyklém průběhu poruchy a při selhání vypínače

3.4.2 Postup měření

3.4.2.1 Zapne se program TEST UNIVERSE a v něm funkci Nový zkoušený dokument. Vloží se testovací modul State Sequencer.

3.4.2.2 V testovaném objektu se nastaví příslušná vypínací charakteristika, např. zkratový časově nezávislý stupeň s nominálním vypínacím časem 100 ms při proudu 4 A.

3.4.2.3 V modulu State Sequencer se nastaví nominální stav a také stav, při kterém bude ochrana vydávat vypínací povel – v našem případě 5 A.

3.4.3 Výsledky testu a vyhodnocení

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact
I>> ASV	nominal I>>	I>> Trip 0>1	Trip 0>1 ASV 0>1	100,0 ms 200,0 ms	500,0 ms 500,0 ms	500,0 ms 500,0 ms	137,9 ms 250,1 ms

Tab. 3. 8 Výsledky testu na selhání vypínače

Jak je vidět z výsledné tabulky, k reakci na zvýšený proud nad povolenou mez došlo po čase 137,9 ms. Poté by měl proud ustát. Simulaci zablokovaného vypínače jsme docílili toho, že poruchový proud teče dál. Na to ochrana zareagovala po 250,1 ms a vydala vypínací povel na nadřazený vypínač, který vypnul a poruchový stav odstranil. Výsledek testu se tedy dá považovat za pozitivní.

3.5 Možnosti rozšíření testování ochrany SIPROTEC 7SJ63 – ochrana proti nesymetrii

Princip ochrany proti nesymetrii tkví ve vyhodnocování zpětné složky proudu. Ta má za následek, že při nesymetrické zátěži třífázového indukčního stroje působí na rotor magnetické pole s opačným směrem otáčení s dvojnásobnou frekvencí. Tento jev způsobuje brzdny moment, hluk, vibrace, a především oteplování konců rotoru a v klínech drážek. K zabránění těchto nežádoucích efektů slouží ochrana proti nesymetrii. Dále může být tato ochrana použita pro detekci přerušení a zkratů v zapojení proudových transformátorů.

Vypínání se může odvíjet podle časově závislé nebo časově nezávislé vypínací charakteristiky. Záleží na volbě uživatele.

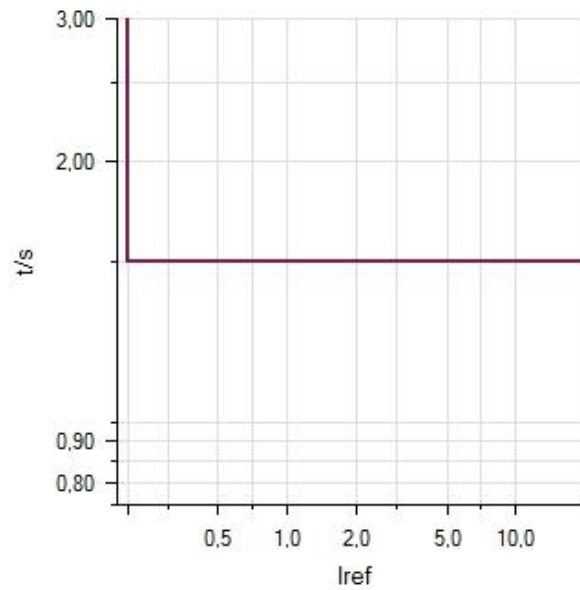
3.5.1 Zadání

Ověří se funkce ochrany proti nesymetrii tak, že se nastaví časově nezávislá vypínací charakteristika zpětné složky proudu. Nasimuluje se stav nesymetrie a proměří se několik bodů v oblasti nastavené vypínací hodnoty. Na závěr se zhodnotí výsledek testu.

3.5.2 Postup měření

3.5.2.1 Zapne se program TEST UNIVERSE a v něm funkci Nový zkoušený dokument. Vloží se testovací modul Overcurrent.

3.5.2.2 V testovaném objektu se nastaví příslušná časově nezávislá vypínací charakteristika pro zpětnou složku, např. s nominálním vypínacím časem 1,5 s při hodnotě zpětné složky 200 mA.



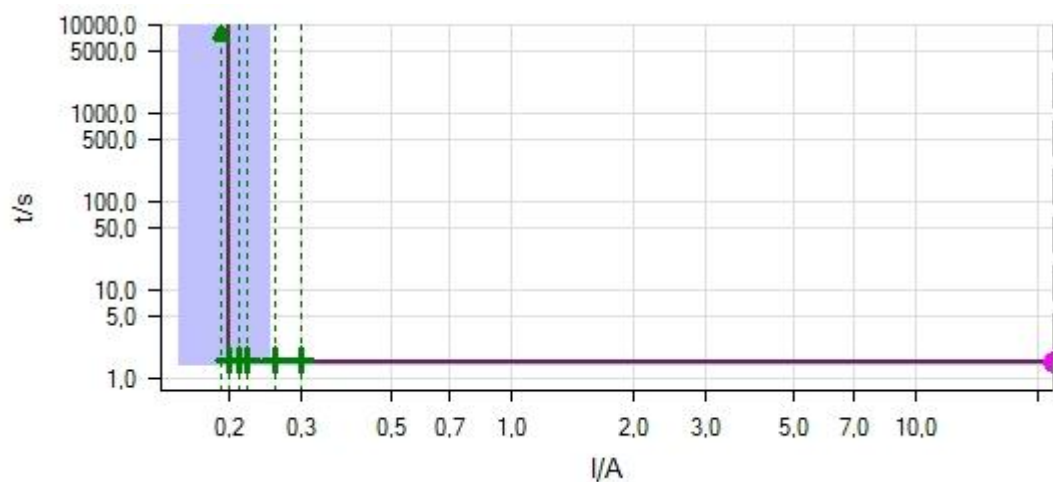
Obr. 3. 6 Vypínací charakteristika pro zpětnou složku proudu

3.5.2.3 V modulu Overcurrent se nastaví nesymetrie a pomocí násobků nominálního vypínacího proudu body, které se proměří a spustí se test.

3.5.3 Výsledky testu a vyhodnocení

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
I2	I2	0,950	0,19 A	n/a	No trip	No trip
I2	I2	1,000	0,20 A	n/a	1,50 s	1,54 s
I2	I2	1,050	0,21 A	n/a	1,50 s	1,55 s
I2	I2	1,100	0,22 A	n/a	1,50 s	1,55 s
I2	I2	1,300	0,26 A	n/a	1,50 s	1,55 s
I2	I2	1,500	0,30 A	n/a	1,50 s	1,54 s

Tab. 3. 9 Výsledky testu ochrany proti nesymetrii



Obr. 3. 7 Vypínací charakteristika pro zpětnou složku proudu s otestovanými body

Naměřené hodnoty a graf z výsledného protokolu ukazují, že ochrana proti nesymetrii fungovala tak, jak měla. Nastavená vypínací hodnota zpětné složky proudu byla 200 mA. Při násobku 0,95 (190 mA) ochrana správně nezareagovala. Od násobku 1 však ochrana reagovala tak, jak měla v předem očekávaných časech. Ochrana byla správně nastavena a test vyšel podle předem uvažovaných výsledků.

3.6 Návrh ochrany motoru ventilátorového mlýna v elektrárně Pruněřov

Následující návrh ochrany motoru ventilátorového mlýna je reálným příkladem chránění v praxi. Motor je napájen kabelem 6-AYKCY 3x185 z blokového skříňového rozvaděče vlastní spotřeby s jedním systémem přípojnic. Výrobce rozvaděče i motoru je společnost Siemens. Provozní napětí činí 6 kV. Z tohoto rozvaděče jsou napájeny také oběhová čerpadla, motor kouřového ventilátoru, motor kompresoru oxidačního vzduchu, jsou zde vývody na transformátory 6/0,42 kV apod.

3.6.1 Systém chránění

Pro bezpečný chod ventilátorového mlýna je jeho motor o výkonu 750 kW chráněn systémem následujících sedmi ochranných funkcí:

- **nezávislý nadproudový stupeň ($I_{>}$)**

Tento stupeň popudem blokuje nadřazenou ochranu v přívodu. Chrání přívodní vedení a vinutí statoru motoru při zkratech.

- **proudová nesymetrie, dva nezávislé stupně ($I_{2>}$)**

Chrání před tepelným přetížením rotoru motoru vlivem zpětné složky proudu při výpadku jedné fáze napájení.

- **podpět'ová ochrana**

Vypíná vývody pro motory při děletrvajícím podpětí a neúspěšném zásoku napájení.

- **tepelný model (I_{th}) s pamětí**

Chrání před tepelným přetížením statoru vlivem zvýšeného mechanického zatížení na hřídeli motoru.

- **kontrola doby rozběhu**

Chrání před tepelným přetížením při překročení dovolené doby rozběhu vlivem mechanické zátěže na hřídeli motoru.

- **kontrola oteplení při restartu**

Zabraňuje opakovanému startu motoru při překročení tepelné kapacity motoru.

- **ochrana při selhání vypínače**

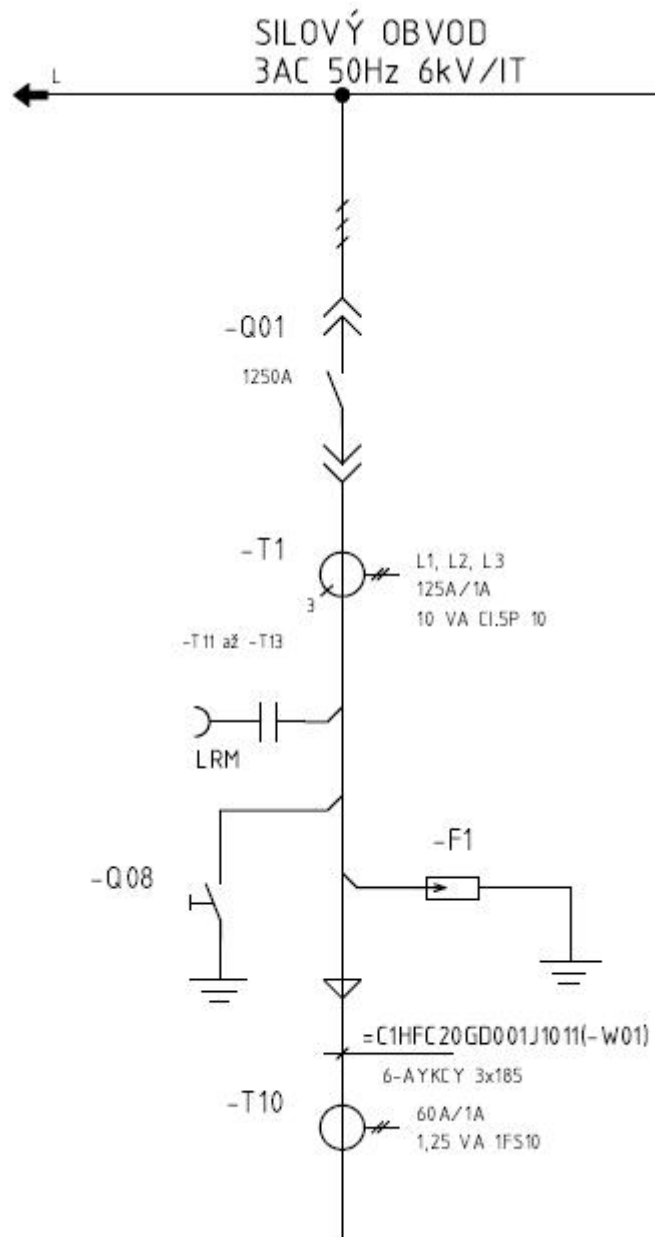
Kontroluje korektnost vypnutí připojeného silového vypínače.

3.6.2 Technické údaje motoru

výrobce motoru	SIEMENS
typ	1LA4 404-4AN60-Z
druh kotvy	nakrátko
jmenovitý výkon	750 [kW]
jmenovité napětí U_n	6000 [V]
jmenovitý kmitočet	50 [Hz]
jmenovitý proud I_n	88 [A]
maximální dovolený trvalý proud (násobek I_n)	1,1 [-]
proud naprázdno I_o	30 [A]
normální záběrový proud I_k	511 [A]
maximální záběrový proud I_{kmax}	790 [A]
poměrný záběrový proud I_k/I_n	5,8 [-]
doba normálního rozběhu	dle poháněného zařízení[s]
max. dovolená doba rozběhu	13 [s]
jmenovitý účinník	0,86 [-]
jmenovité otáčky	1489 [1/min]
jmenovitá účinnost	95,8 [%]
činný odpor fáze statoru	0,00559 [ohm]
rozptylová reaktance fáze statoru	0,1554 (s = 0,0073); 0,09092 (s = 1) [ohm]
poměrný moment zvratu	2,65 [-]
poměrný moment záběru	1,3 [-]
dovolený počet startů ze studeného stavu	3 [-]
dovolený počet startů z teplého stavu	2 [-]
teplota motoru při jmenovitém proudu	vinutí motoru 125 [°C]
časová oteplovací konstanta	70 [min]
doba zablokovaného rotoru ve studeném stavu při $6I_n$	21 [s]
doba zablokovaného rotoru v teplém stavu při $6I_n$	9 [s]

Tab. 3. 10 Technické údaje motoru

3.6.3 Jednopolové schéma vývodu k motoru ventilátorového mlýna



3.6.4 Výpočet nastavovaných hodnot

3.6.4.1 Nastavení nezávislého nadproudového stupně

$$\frac{k_b \cdot I_{rmax}}{p_{MTP}} < I_{nast} \leq \frac{I_{k"min}}{k_c \cdot p_{MTP}}$$

kde:

k_b - koeficient bezpečnosti, k_b se volí od 1,05 do 2

I_{rmax} - maximální rozběhový proud motoru

I_{nast} - proudové nastavení ochrany (sekundární hodnota)

$I_{k''\min}$ - minimální rázový zkratový proud - provoz bloku na vlastní spotřebu, bez příspěvku asynchronních motorů

k_c - koeficient citlivosti, $k_c = 2$

p_{MTP} - převod měřicího transformátoru proudu

Číselně:

$$\frac{1,5 \cdot 790}{125} < I_{nast} \leq \frac{14030}{2 \cdot 125}$$

$$9,48 < I_{nast} \leq 56,12$$

$$I_{nast} = 9,5 \text{ A}$$

Časové nastavení ochrany:

$$t_{zp1} \geq t_{mg}$$

$$t_{zp1} = 0,05 \text{ s}$$

kde:

t_{zp1} - nastavené časové zpoždění nadproudového stupně

t_{mg} - předpokládaná doba magnetizačního rázu stojícího motoru v prvním okamžiku rozběhu

3.6.4.2 Nastavení ochrany proudové nesymetrie

Impedance motoru je závislá na skluzu, je dána provozním stavem. Pro nastavení ochrany jsou uvažovány dva mezní provozní stavy, tj. dvě mezní hodnoty skluzu:

$s = 1$... rozběh motoru

$s \rightarrow 0$... chod naprázdno

Zpětná složka proudu při chodu na dvě fáze je pak:

$I_2 = 0,5 I_{3f}$ (50% proudu při trojfázovém chodu) pro $s = 1$

$I_2 = I_0$ (je rovna proudu naprázdno při trojfázovém chodu) pro $s \rightarrow 0$

Nastavení ochrany pak vychází z hodnoty proudu naprázdno I_0

$$I_{nast} = \frac{I_0}{k_c \cdot p_{MTP}}$$

kde:

I_{nast} - proudové nastavení ochrany (sekundární hodnota)

I_0 - proud motoru naprázdno

k_c - koeficient citlivosti, $k_c = 1$

p_{MTP} - převod měřicího transformátoru proudu

Číselně:

$$I_{\text{nast}} = \frac{30}{1 \cdot 125} = 0,24 \text{ A}$$

Časové nastavení ochrany:

$$t_{\text{zp}} > 2 t_{\text{zpl}}$$

$$t_{\text{zp}} = 2 \text{ s}$$

kde:

t_{zp} - nastavené časové zpoždění ochrany proti nesymetrii

t_{zpl} - nastavené časové zpoždění zkratové ochrany

3.6.4.3 Nastavení tepelného modelu

Přístroj SIPROTEC 7SJ63 vypočítává oteplení podle tepelného obrazu, který je daný

diferenciální rovnicí:
$$\frac{d\Theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{\text{th}}} \cdot \Theta = \frac{1}{\tau_{\text{th}}} \cdot \left(\left(\frac{I}{k \cdot I_{\text{N obj}}} \right)^2 + \Theta u' \right)$$

kde:

Θ - aktuální oteplení, vztažené na konečné oteplení při maximálně dovoleném proudu $k \cdot I_{\text{N obj}}$. Jako výstražný stupeň Θ_{v} je nastavována procentuální hodnota maximálního oteplení

τ_{th} - tepelná časová konstanta oteplení chráněného objektu udávaná výrobcem nebo může být vypočítána z maximální dovolené doby rozběhu $t_{\text{r max}}$ [sec] a rozběhového proudu I_{r} vztaženého k jmenovitému proudu $I_{\text{N obj}}$.

$$\tau_{\text{th}} = \frac{t_{\text{r max}}}{60} \cdot \frac{I_{\text{r}}}{I_{\text{N obj}}} [\text{min}]$$

Předpokládá se, že motory jsou vybaveny pouze vlastním nuceným chlazením, které je po odstavení neúčinné. Tím je časová konstanta ochlazování odlišná od oteplovací konstanty. Pro tepelný model je pak nastaven parametr prodloužení časové konstanty K_{T} .

I - aktuální efektivní proud

k - činitel k , který udává maximálně trvalý dovolený proud, vztažený na jmenovitý proud chráněného objektu

$I_{\text{N obj}}$ - jmenovitý proud chráněného objektu

$\Theta u'$ - oteplení zahrnující vliv teploty okolí

$$\Theta u' = \frac{\Theta_{\text{u}} - 40 \text{ °C}}{k^2 - \Theta_{\text{n}}}$$

kde

Θ_u - měřená teplota okolí nebo chladiva

Θ_n - teplota při jmenovitém proudu objektu

V našem případě nastavíme:

parametr	nastavení	komentář
k	0,77	k-faktor
τ_{th}	70 min	časová konstanta
Θ_v	90%	výstražný tepelný stupeň
I výstraha	0,65 A	výstražný nadproudový stupeň
K_T	5	čas. konstanta motoru v klidu
T nouz.	100 s	doba odpadu po nouz. startu
Tn	100 °C	teplota při jmenovitém proudu

Tab. 3. 11 Nastavení tepelného modelu

3.6.4.4 Nastavení kontroly doby rozběhu

Proudové nastavení maximálního dovoleného rozběhového proudu

$$I_{r \max} = \frac{I_{rn} \cdot k_u}{I_{1 \text{ MTP}}}$$

kde:

$I_{r \max}$ - nastavená hodnota maximálního dovoleného rozběhového proudu

I_{rn} - jmenovitá hodnota rozběhového proudu

k_u - koeficient zahrnující dovolené snížení napětí na přípojnicích;

pro 80 % U_n je $k_u = 0,8$

$I_{1 \text{ MTP}}$ - primární proud měřícího transformátoru proudu

Číselně:

$$I_{r \max} = \frac{511 \cdot 0,8}{125} = 3,27 \text{ A}$$

Proudové nastavení indikace rozběhu

$$I_{ri} = \frac{I_{r \max} + I_{\max}}{2}$$

kde:

I_{ri} - nastavená hodnota proudu indikace rozběhu

$I_{r \max}$ - nastavená hodnota maximálního dovoleného rozběhového proudu

I_{\max} - maximální dovolený trvalý proud

$$I_{\max} = \frac{1,1 \cdot I_n}{I_{1\text{MTP}}}$$

Číselně:

$$I_{\max} = \frac{1,1 \cdot 88}{125} = 0,77 \text{ A}$$

$$I_{ri} = \frac{3,27 + 0,7744}{2} = 2,0 \text{ A}$$

Časové nastavení doby rozběhu

$$t_{\text{nast}} = \left(\frac{I_{rn}}{I_{r\max}} \right)^2 \cdot t_{r\max}$$

kde:

t_{nast} - nastavená hodnota doby rozběhu

I_{rn} - normální hodnota rozběhového proudu

$I_{r\max}$ - nastavená hodnota maximálního dovoleného rozběhového proudu

$t_{r\max}$ - maximální dovolená doba rozběhu

$I_{1\text{MTP}}$ - primární proud měřícího transformátoru proudu

Číselně:

$$t_{\text{nast}} = \left(\frac{511}{\frac{125}{3,27}} \right)^2 \cdot 13 = 20,3 \text{ s}$$

3.6.4.5 Nastavení kontroly oteplení při restartu

Ochrana vypočítává tepelný model rotoru z hodnot statorových proudů. K výpočtu používá následující zadávané hodnoty:

I_{CB} - nastavená hodnota proudu indikace stavu vypínače-zapnut

I_{rn} - maximální dovolená hodnota rozběhového proudu

$t_{r\max}$ - maximální dovolená doba rozběhu

$K\tau_{\text{stop}}$ - prodloužení časové konstanty v klidu motoru

$K\tau_{\text{chod}}$ - prodloužení časové konstanty při provozu motoru

T_{ust} - blokovácí doba tepelného modelu pro vyrovnání teplot jednotlivých částí motoru

Na výstupu ochrany je generován blokovací povel, dokud vypočítaná hodnota teploty rotoru není pod dovolenou hranicí.

3.6.4.6 Nastavení podpět'ové ochrany

$$U_{\text{nast}} = \frac{U_{\text{min}}}{k_u \cdot p_{\text{MTN}}}$$

kde:

U_{min} - minimální dovolená hodnota napětí na přípojnicích. S ohledem na dovolený pokles napětí při startu jednotlivých motorů je volena hodnota 85 % jmenovitého napětí.

k_u - koeficient bezpečnosti, resp. přídržný poměr, $k_u = 1,2$

p_{MTN} - převod měřicího transformátoru napětí

Číselně:

$$U_{\text{nast}} = \frac{5100}{1,2 \cdot 60} = 70 \text{ V}$$

Časové zpoždění: zpoždění zajišťuje překlenutí doby automatického zásoku a samonajetí motorů.

$$t_{\text{zp}} = 5 \text{ s}$$

3.6.4.7 Proudové nastavení zemní ochrany

Soustava 6 kV je neúčinně uzemněna přes odporník připojený v uzlu napájecích transformátorů. Zemní poruchy vývodů jsou vypínány zemními proudovými ochranami.

$$\frac{k_b \cdot I_{\text{C vlastní max}}}{p_{\text{MTP}}} < I_{\text{nast}} \leq \frac{I_{\text{P min}}}{k_c \cdot p_{\text{MTP}}}$$

$$I_{\text{P min}} = 0,7 \cdot I_{\text{R}}$$

kde:

k_b - koeficient bezpečnosti, $k_b = 1,5$

$I_{\text{C vlastní max}}$ - maximální kapacitní proud chráněné odbočky

I_{nast} - proudové nastavení ochrany (sekundární hodnota)

$I_{\text{P min}}$ - minimální poruchový proud

k_c - koeficient citlivosti, $k_c = 2$

p_{MTP} - převod měřicího transformátoru proudu

I_{R} - proud jednopólového zemního spojení (daný proudem odporníku v uzlu soustavy)

Číselně:

$$I_{P \min} = 0,7 \cdot 38 = 26,6 \text{ A}$$

$$\frac{1,5 \cdot 1}{60} < I_{\text{nast}} \leq \frac{26,6}{2 \cdot 60}$$

$$0,025 < I_{\text{nast}} \leq 0,222$$

$$I_{\text{nast}} = 0,2 \text{ A}$$

Minimální poruchový proud sestává z vektorového součtu činného proudu odporníku a kapacitního proudu přispívajících zdravých vývodů.

Minimální činný proud odporníku:

$$I_{R \min} = 0,7 \cdot \frac{U_f}{(R_n + R_v)}$$

kde:

0,7 - koeficient zahrnující vliv elektrický oblouku v místě poruchy

U_f - fázové napětí soustavy

R_n - jmenovitý odpor zemního odporníku

R_v - odpor vedení k místu poruchy, vzhledem k malému rozsahu sítě lze zanedbat

Číselně:

$$I_{R \min} = 0,7 \cdot 38 = 26,6 \text{ A}$$

Minimální kapacitní proud sítě:

je určen z minimálního provozního stavu chráněné soustavy.

Nastavení časového zpoždění:

zemní ochrany jsou použity jen ve vývodech; působení ochrany není časově zpožděno.

3.6.5 Výsledky měření

Ochrana umístěna ve školních laboratořích nedisponuje motorovými funkcemi, tzn. kontrolou doby rozběhu a kontrolou oteplení při restartu. V této ochraně také není podpět'ová funkce. Z tohoto důvodu nemohly být zmíněné ochranné funkce odzkoušeny.

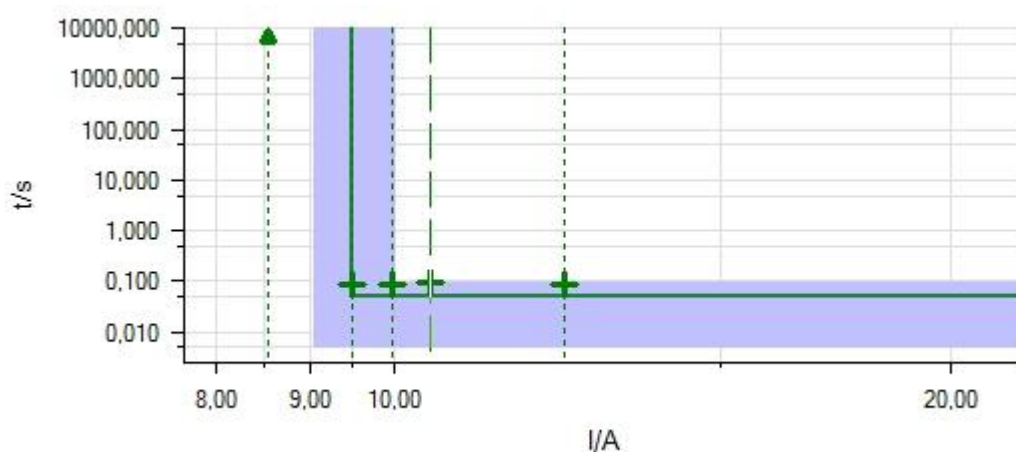
3.6.5.1 Nadproudová ochrana

Nastavovaná popudová hodnota proudu činí dle výpočtu 9,5 A. Časové zpoždění bylo nastaveno na 0,05 s. Proměřeny byly smyčky L1-L2, L2-L3, L3-L1 a L1-L2-L3.

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
L1-L2	▽	0,900	8,55 A	n/a	No trip	No trip
L1-L2	▽	1,000	9,50 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L1-L2	▽	1,050	9,97 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L1-L2	▽	1,100	10,45 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L1-L2	▽	1,300	12,35 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L2-L3	▽	0,900	8,55 A	n/a	No trip	No trip
L2-L3	▽	1,000	9,50 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L2-L3	▽	1,050	9,97 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L2-L3	▽	1,100	10,45 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L2-L3	▽	1,300	12,35 A	n/a	0,05 s	0,08 s
L3-L1	▽	0,900	8,55 A	n/a	No trip	No trip
L3-L1	▽	1,000	9,50 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L3-L1	▽	1,050	9,97 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L3-L1	▽	1,100	10,45 A	n/a	0,05 s	0,08 s
L3-L1	▽	1,300	12,35 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L1-L2-L3	▽	0,900	8,55 A	n/a	No trip	No trip
L1-L2-L3	▽	1,000	9,50 A	n/a	0,05 s	0,08 s
L1-L2-L3	▽	1,050	9,97 A	n/a	0,05 s	0,09 s
L1-L2-L3	▽	1,100	10,45 A	n/a	0,05 s	0,08 s
L1-L2-L3	▽	1,300	12,35 A	n/a	0,05 s	0,09 s

Tab. 3. 12 Výsledky z měření nadproudové ochrany

Výsledky vyšly dle daných předpokladů. Při faktoru $k = 0,9$ ochrana správně nevybavovala. Od faktoru $k = 1$ a vyšší přišlo zapůsobení ochrany do 0,09 s.



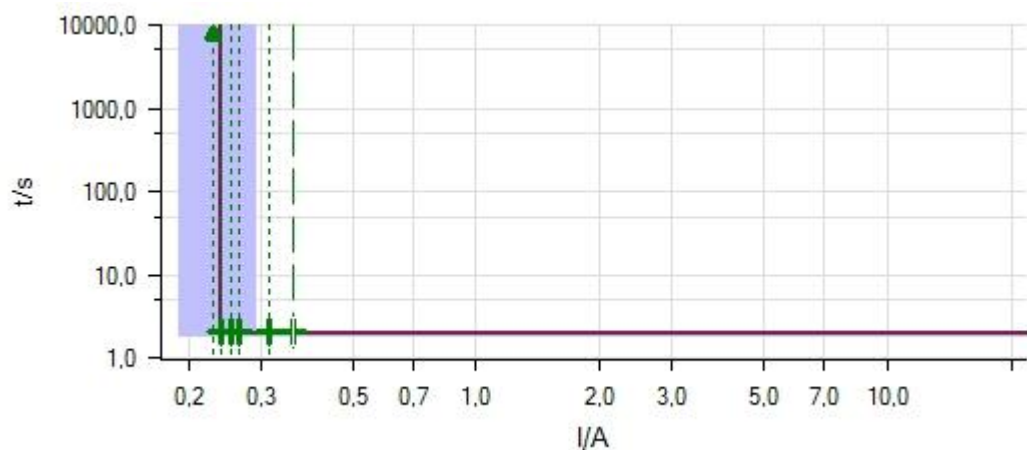
Obr. 3. 8 Vypínací charakteristika nadproudové ochrany pro smyčku L1-L2

3.6.5.2 Ochrana proti nesymetrii

Nastavovaná popudová hodnota proudu činí dle výpočtu 0,24 A. Časové zpoždění bylo nastaveno na 2 s. Z následující tabulky a grafu je vidět, že měření opět vyšlo tak, jak mělo. Ochrana fungovala správně.

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
I2	I2	0,950	0,23 A	n/a	No trip	No trip
I2	I2	1,000	0,24 A	n/a	2,00 s	2,04 s
I2	I2	1,050	0,25 A	n/a	2,00 s	2,05 s
I2	I2	1,100	0,26 A	n/a	2,00 s	2,05 s
I2	I2	1,300	0,31 A	n/a	2,00 s	2,05 s
I2	I2	1,500	0,36 A	n/a	2,00 s	2,03 s

Tab. 3. 13 Výsledky z měření ochrany proti nesymetrii



Obr. 3. 9 Vypínací charakteristika ochrany proti nesymetrii

3.6.5.3 Ochrana proti tepelnému přetížení

Štart	Stop	Tnom	Todch-	Todch+	Takt	Todch	Hodnotenie
tepelné přetížení	Trip 0>1	753,5 s	1,500 s	1,500 s	751,5 s	-2,042 s	x

Tab. 3. 14 Výsledky z měření ochrany proti tepelnému přetížení

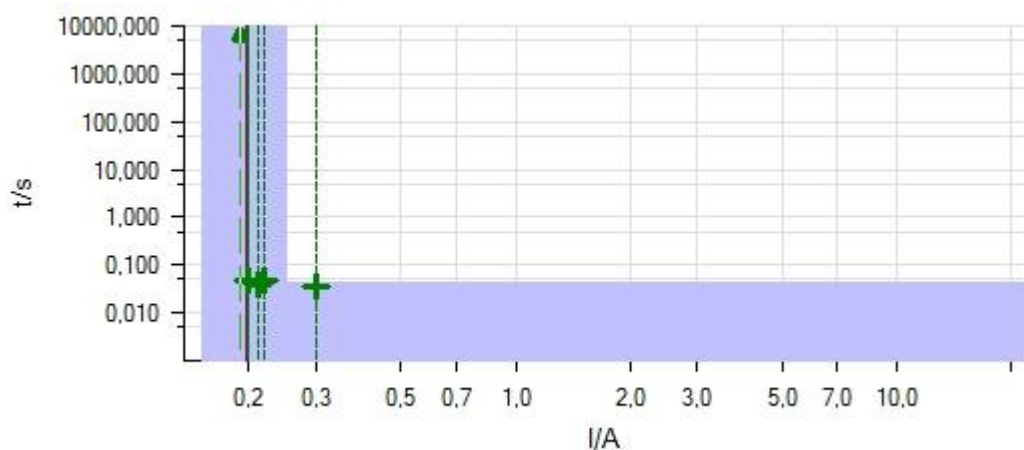
Při nastavení parametrů dle tabulky 3. 11 mělo k vypnutí motoru dojít po 753,5 s. Odchylka byla nastavena na 1,5 s. K vypnutí motoru však došlo o 2,042 s dříve a tak byl test vyhodnocen jako nevyhovující. Ve skutečnosti se jedná o odchylku 0,27 %, která je způsobena přesností měřících a testovacích zařízení. V tomto případě by bylo vhodné nastavit větší časovou odchylku.

3.6.5.4 Zemní nadproudová ochrana

Z předešlých výpočtů vyšla nastavovaná popudová hodnota proudu 0,2 A. Působení zemní nadproudové ochrany není časově zpožděno. Test proběhl úspěšně.

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact
L1-E	IE>	0,950	0,19 A	n/a	No trip	No trip
L1-E	IE>	1,000	0,20 A	n/a	0,00 s	0,05 s
L1-E	IE>	1,050	0,21 A	n/a	0,00 s	0,04 s
L1-E	IE>	1,100	0,22 A	n/a	0,00 s	0,05 s
L1-E	IE>	1,500	0,30 A	n/a	0,00 s	0,04 s

Tab. 3. 15 Výsledky z měření zemní nadproudové ochrany



Obr. 3. 10 Vypínací charakteristika zemní nadproudové ochrany

3.6.5.5 Ochrana při selhání vypínače

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev
I>	nominal	I>	Trip 0>1	50,00 ms	500,0 ms	500,0 ms	84,70 ms	34,70 ms
ASV	I>	Trip 0>1	ASV 0>1	200,0 ms	500,0 ms	500,0 ms	200,4 ms	400,0 μs

Tab. 3. 15 Výsledky z měření ochrany při selhání vypínače

Jak je vidět z výsledné tabulky, k reakci na zvýšený proud nad povolenou mez došlo po čase 84,7 ms. Poté by měl proud ustát. Simulací zablokovaného vypínače jsme docílili toho, že poruchový proud teče dál. Na to ochrana zareagovala po 200,4 ms a vydala vypínací povel na nadřazený vypínač, který vypnul a poruchový stav odstranil. Výsledek testu se tedy dá považovat za pozitivní.

Závěr

Tato diplomová práce představuje možnosti konfigurace a nastavení ochrany SIPROTEC 7SJ63. Dosaženým cílem bylo navrhnout nejen její nastavení, ale i testování. Navržené testování je určeno pro účely výuky jako laboratorní úloha. Navržená úloha je doplněná o výpočet systému chránění motoru ventilátorového mlýna v elektrárně Pruněřov a jeho testování. První část diplomové práce seznamuje čtenáře s principem ochrany, možnostmi jejich nastavení a další teorií, týkající se obsažených funkcí v přístroji SIPROTEC 7SJ63. K pochopení a názorné ukázce zmíněné problematiky slouží odborný text, obrázky, tabulky a grafy. První část práce je poměrně rozsáhlá, což je ale základem k úspěšnému zavedení čtenáře do problematiky multifunkčních ochrany.

V druhé části je schéma se základními členy ochrany a je zde popsána úloha každého členu. Dále jsou zde zpracovány jednotlivé požadavky, které jsou kladeny na ochrany a druhy zkoušek, které se na ochranách provádí. Obsahem druhého bodu je dále návrh na otestování funkcí zmíněné ochrany. Konkrétně se jedná o otestování zemní a fázové nadproudové ochrany, která je obsažena v přístroji SIPROTEC 7SJ63, nacházející se ve školní laboratoři na fakultě elektrotechnické. Návrh na otestování této funkce je proveden ve dvou různých variantách. Buďto metodou bod po bodu nebo pomocí ucelené zkoušky. V návrhu je obsažen úkol měření, postup měření, schéma zapojení, nastavení vypínacích charakteristik a také je zde popis přístroje OMICRON CMC 256, pomocí něhož je ochrana zkoušena. Třetí část obsahuje výsledky z provedeného otestování. Z metody bod po bodu jsou zde uvedeny naměřené hodnoty a z nich sestavené grafy jak pro zemní nadproudovou ochranu, tak pro fázovou nadproudovou ochranu. Grafy odpovídají nastaveným vypínacím charakteristikám. Dále třetí část obsahuje naměřené hodnoty a grafy z výsledného protokolu o měření pomocí ucelené zkoušky. Tato metoda je rychlejší a vhodnější pro užívání v praxi.

Poslední bod zadání se týkal možností rozšíření testování. Proto čtenář může v této práci nalézt návrh na otestování ochrany proti nesymetrii a návrh na otestování ochrany proti selhání vypínače. Oba tyto návrhy jsou provedeny obdobně jako návrh na otestování nadproudové ochrany. To znamená, že návrh obsahuje zadání, postup měření a vyhodnocení výsledků. Na závěr je v práci proveden výpočet nastavení ochrany motoru ventilátorového mlýna z elektrárny Pruněřov. Hodnoty z teoretického výpočtu jsou použity pro následné otestování.

Seznam symbolů a zkratek

A/D.....	analogově - digitální
Apod.....	a podobně
Atd.	a tak dále
FFM	Fuse – Failure – Monitor (detekce výpadku měřeného napětí)
OZ.....	opětné zapnutí
Tj.....	to je
Tzv.	takzvaný
A.....	ampér
$\cos \varphi$	účinník
$^{\circ}\text{C}$	stupňů Celsia
$^{\circ}\text{F}$	stupňů Fahrenheita
f	frekvence
Hz.....	hertz
ms.....	milisekunda
P	činný výkon
Q.....	jalový výkon
R.....	odpor
X.....	reaktance
U_S	syťící napětí
V.....	vol
%	procento
IEC, ANSI.....	označení pro normy
$I_{>}$	nadproudový stupeň
$I_{>>}$	zkratový stupeň
I_E, I_0	zemní proud
I_P, I_{EP}	proudově závislý nadproudový stupeň
U_0, U_E	zemní napětí
φ	úhel
Θ	aktuální oteplení
τ_{th}	tepelná časová konstanta chráněného objektu
k	činitel udávající maximální trvalý dovolený proud, vztažený na I_N
I_N	jmenovitý proud

Seznam literatury a informačních zdrojů

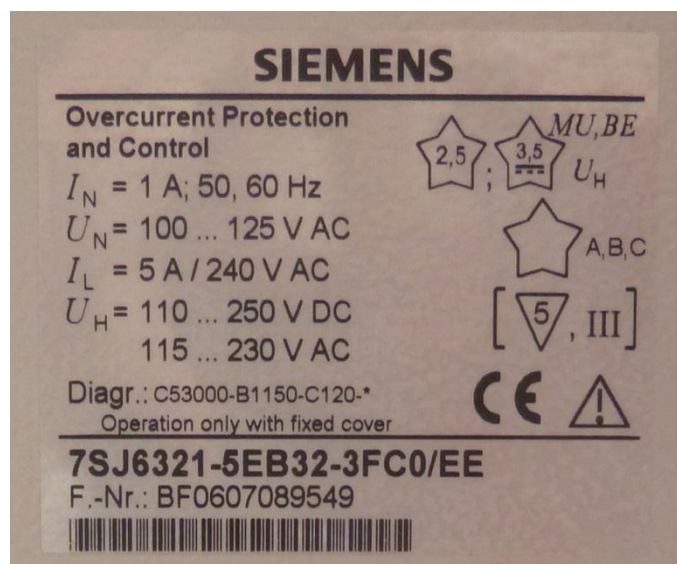
- [1] SIEMENS S. R. O. *SIPROTEC: Multifunkční ochrana s řízením 7SJ62/63/64*. V. 4.6. Milan Blokša. 2007. ISBN C53000-G1100-C147-7.
- [2] *OMICRON: CMC 256*. C256.GE.3. Milan Blokša. OMICRON electronics GmbH, 2007. ISBN VESD 1002 – verze C256.GE.3.
- [3] NIEHAGE, Dr. Udo a Ralf CHRISTIAN. SIEMENS S. R. O. *Průvodce energetikou: Technická příručka pro energetiky*. 2012. 6.1.
- [4] PROCHÁZKA Karel a BÁRTA Jaroslav. ČEPS, ČEZ, E.ON, ZSE. *PROVOZ, NAVRHOVÁNÍ A ZKOUŠENÍ OCHRAN A AUTOMATIK: Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie*. 3. vydání. 2008. ISBN PNE 38 4065. Dostupné z: csres.cz/Upload/PNE384065%203.vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf
- [5] SIEMENS S. R. O. *SIPROTEC: Multi-Functional Protective Relay with Local Control 7SJ62/63/64*. V. 4.6. 2005. ISBN C53000-G1140-C147-7.
- [6] SIEMENS S. R. O. *SIPROTEC: Overcurrent Time Protection 7SJ80*. V. 4.6. 2010. ISBN E50417-G1140-C343-A4.
- [7] GRYM Rudolf, HOCHMAN Petr, BERMAN Jiří, MACHOŇ Josef a CICHONĚ Břetislav. *Chránění 2: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu*. Havířov: Irena Satinská - IRIS, 2004. ISBN 80-903540-0-9.
- [8] GRYM, HOCHMAN, MACHOŇ, CHMELÍK, HANUŠ a TOMAN. *Chránění 3: Elektrizacího zařízení vysokého napětí*. Havířov: Irena Satinská - IRIS, 2005. ISBN 80-903540-5-X.

Přílohy

Zapojení úlohy



Štítek přístroje SIPROTEC 7SJ63



Laboratorní úloha

Zadání – měření bod po bodu

1) Ověřte charakteristiku zemní nadproudové funkce stupně IE> a IE>> (nadproud a zkrat) pomocí pěti testovacích bodů (hodnot) pro každý stupeň. Nahrajte do ochrany SIPROTEC vypínací charakteristiku. Zvolte jednu libovolnou fázi a pro zkoušení použijte modul Quick CMC. Z naměřených hodnot sestrojte charakteristiku a porovnejte ji s charakteristikou nastavenou.

2) Ověřte charakteristiku fázové nadproudové funkce stupně I>, I>> a Ip> (Ip> - časově závislý stupeň) pomocí pěti testovacích bodů (hodnot) pro každý stupeň. Nahrajte do ochrany SIPROTEC vypínací charakteristiku. Pro zkoušení použijte modul Quick CMC. Testovací proud použijte třífázový symetrický. Pro časově závislý stupeň spočítejte očekávané hodnoty náběhu ochrany dle níže uvedeného vzorce:

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

Rovnice pro výpočet inverzní vypínací charakteristiky

t – vypínací čas

T_p – nastavené hodnota časového činitele

I – poruchový proud

I_p – nastavená hodnota proudu

Zadání - měření pomocí ucelené zkoušky

1) Ověřte charakteristiku zemní nadproudové funkce [stupně IE> a IE>> (nadproud a zkrat) vytvořením ucelené zkoušky, tzn. po sobě následujícím automatickým proměřením několika bodů od každého stupně. Zvolte jednu libovolnou fázi a pro zkoušení použijte funkci – Nový zkoušený dokument. Ze získaného protokolu prezentujte naměřené hodnoty a výsledné grafy.

2) Ověřte charakteristiku fázové nadproudové funkce [stupně I>, I>> a Ip> (Ip> - časově závislý stupeň) vytvořením ucelené zkoušky, tzn. po sobě následujícím automatickým proměřením několika bodů od každého stupně. Pro zkoušení použijte funkci – Nový zkoušený dokument. Testovací proud použijte třífázový symetrický. Pro časově závislý stupeň spočítejte očekávané hodnoty náběhu ochrany dle výše uvedeného vzorce typu A. Ze

získaného protokolu prezentujte naměřené hodnoty a výsledné grafy.

Postup měření

1) Podle návodu a schématu zapojíme nadproudovou ochranu SIPROTEC 7SJ63 a měřicí přístroj Omicron CMC 256 a k oběma zařízením připojíme PC.

2) Zapneme ochranu, Omicron a na PC zapojenému k Omicronu zapneme program TEST UNIVERSE. Měřit budeme pomocí modulu Quick CMC. Na druhém PC zapneme program DIGSI, přes který nakonfigurujeme ochranu.

3) Měření zemní nadproudové funkce pomocí 5 bodů.

C. Na jedné z fází nastavíme 0,95 násobek hodnoty proudu, který vyvolá zapůsobení ochrany ($0,95 \cdot 0,3$ A). Dalšími zvolenými násobky změříme 5 bodů pro IE> a 5 bodů pro IE>>.

D. Z naměřených hodnot vytvoříme tabulku a graf.

4) Měření fázové nadproudové funkce pomocí 5 bodů.

F. Podle vzorce vypočítáme očekávané časy pro časově závislý stupeň (hodnoty proudu pro výpočet volíme vhodně tak, abychom nečekali příliš dlouho na zapůsobení).

G. V modulu Quick CMC nastavujeme proud (**třířázový symetrický**, abychom se vyvarovali zapůsobení zemní ochrany). U časově závislého stupně nastavujeme stejné proudy, které jsme použili pro výpočet očekávaných časů. U všech tří stupňů změříme pět bodů.

H. Z naměřených hodnot vytvoříme tabulku a graf

5) Měření zemní nadproudové funkce pomocí ucelené zkoušky.

I. Na PC si zapneme Test Universe a v něm funkci Nový zkoušený dokument. Vložíme nový testovací modul pracující jako nadproudová ochrana. V záložce testovaný objekt nastavíme parametry nadproudového a zkratového stupně. Poté si v nadproudovém modulu zvolíme body, které chceme proměřit a zkoušku spustíme.

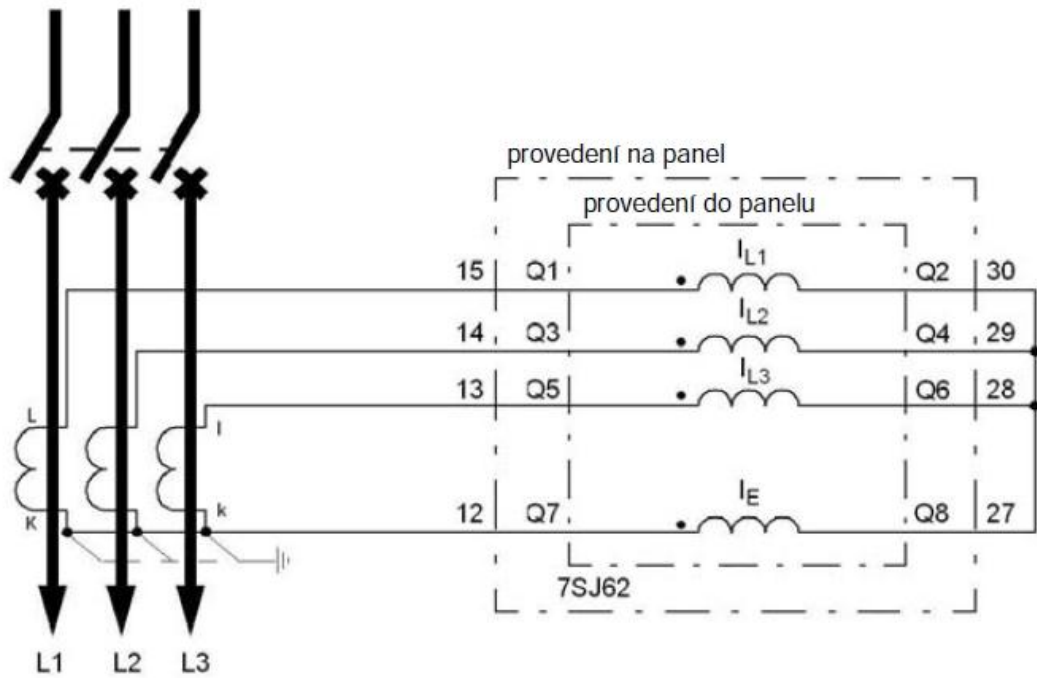
6) Měření fázové nadproudové funkce pomocí ucelené zkoušky.

J. Postup je stejný jako u měření zemní nadproudové funkce. Odlišnost je pouze v nastavení testovací charakteristiky.

7) Po odměření všech hodnot vypneme všechna zařízení a uvedeme úlohu do původního

stavu.

Schéma zapojení



Zapojení se třemi proudovými transformátory a zemním proudem