

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Tvorba konfigurace terminálu pro chránění a ovládání
laboratorního modelu**

Creation of protection relay configuration for laboratory model

2019

Bc. Matouš Vrzala

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matouš Vrzala**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Tvorba konfigurace terminálu pro chránění a ovládání laboratorního modelu**
Creation of protection relay configuration for laboratory model

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Elektrické ochrany v distribuční a přenosové síti
- o Chránění vývodu venkovního vedení
- o Popis ochrany ABB a její zapojení do fyzikálního modelu
- o Nastavení a měření na ochraně ABB
- o Vypracování návodu měření a vzorového protokolu
- o Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- o Medvec, Z.: Poruchy a chránění elektrických sítí, VŠB-TU Ostrava 2014
- o Janiček, F.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava 2004, ISBN 80-227-2135-2
- o Technical Manual 630 series, ABB 2012. ID: 1MRS756508
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *30. dubna 2019*


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D. a Ing. Břetislavu Stachovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Kotulovi za představení laboratorního modelu a pomoc při prvních měřeních v laboratoři.

Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření laboratorní úlohy s využitím ochrany vývodu ABB REF630. Ochrana se nachází v laboratoři EB015 v budově fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB – TUO. V teoretické části je popsáno základní rozdělení elektrických ochranných systémů, dále jsou popsány nejčastější poruchy objevující se na venkovních vedeních a jejich řešení. Zvláštní prostor je věnován automatikám opětovného zapnutí a určení místa poruchy (lokátoru poruch). Práce také obsahuje popis ochrany REF630, konfigurace této ochrany pro laboratorní úlohu a zapojení ochrany do fyzikálního modelu vývodu v laboratoři.

Praktická část diplomové práce se týká vytvoření laboratorní úlohy, ve které studenti změří na laboratorním modelu hodnoty zkratových proudů pro různé druhy zkratů a srovnají je s teoretickými výpočty. Zároveň budou zaznamenávat ochranou vyhodnocené vzdálenosti do místa poruchy a opět je srovnají s výpočtem. Doplnujícími úlohami jsou měření závislosti hodnot zkratových proudů na odporu uzemnění a vliv odporu poruchy na přesnost vyhodnocení vzdálenosti do poruchy. Ve vzorovém protokolu na konci práce se nacházejí tabulky s naměřenými i vypočtenými hodnotami pro všechny části laboratorní úlohy.

Klíčová slova

Ochrana vývodu, REF630, laboratorní úloha, výpočet zkratových proudů, lokátor poruch, PCM600, ABB

Abstract

Goal of this thesis work is a creation of the laboratory task with use of the feeder protection relay ABB REF630. The protection is situated at the laboratory EB015 in the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science which is part of VŠB – TUO. In the theory part there is a basic division of electrical protections, next there is a description of common faults appearing on overhead lines and their solving. Special space is dedicated to the automatic recloser and the fault locator. Thesis also contains a description of the protection REF630, a configuration of the protection for the laboratory task and a connection of the protection to the physical model of a feeder at the laboratory.

The practical part of the thesis refers to the creation of the laboratory task in which students will measure values of short-circuit currents at the laboratory model and compare those values with theoretical calculations. They will also write down fault distances evaluated by the protection and they will also compare them with calculations. Additional tasks are a measuring of the dependence of short-circuit currents on the earth resistance and the influence of the fault resistance on the accuracy of the fault distance evaluation. In the sample protocol at the end of the work there are tables with measured and calculated values for all parts of the laboratory task.

Key words

REF630, laboratory task, calculation of short-circuit currents, fault locator, PCM600, ABB

Seznam použitých symbolů a zkratk

Zkratka/symbol	Význam
I_{k1}''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud (1-fáz. zkrat)
I_{k2}''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud (2-fáz. zkrat)
I_{k3}''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud (3-fáz. zkrat)
$\underline{Z}_{(1)}$	Sousledná složka impedance poruchové smyčky
$\underline{Z}_{(2)}$	Zpětná složka impedance poruchové smyčky
$\underline{Z}_{(0)}$	Nulová složka impedance poruchové smyčky
\underline{Z}_k	Celková impedance poruchové smyčky
X_v	Reaktance poruchové smyčky vedení
R_v	Odpor poruchové smyčky vedení
X_k	Reaktance vedení bez poruchy na jednotku délky
U_n	Jmenovité napětí sítě
U_f	Fázové napětí
S_{max}	Maximální třífázová zátěž
i_∞	Trvale dovolená velikost proudu
i_0	Nulový zemní proud
u_0	Nulová složka napětí
i_{0C}	Celkový nulový zemní proud
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
zvn	Zvlášť vysoké napětí
OZ	Opětné zapnutí
IED	Inteligentní elektrické zařízení
PSL	Logika fázové volby
LHMI	Místní rozhraní člověk-stroj
FLT DISTANCE	Vzdálenost do místa poruchy
R_F	Odpor poruchy
R_Z	Odpor uzemnění

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo obrázku	Název obrázku	Číslo stránky
Obr. 2.1	Vzájemná komunikace mezi obsluhou, ochranou a chráněným objektem.....	- 14 -
Obr. 3.1	Jednofázový zkrat.....	- 18 -
Obr. 3.2	Dvojfázový zkrat.....	- 19 -
Obr. 3.3	Dvojfázový zemní zkrat.....	- 19 -
Obr. 3.4	Trojfázový zemní zkrat (vlevo) a trojfázový zkrat (vpravo).....	- 20 -
Obr. 3.5	Dvojitý zemní zkrat (vlevo) a trojitý zemní zkrat (vpravo).....	- 20 -
Obr. 3.6	Charakteristika nadproudové závislé ochrany [1].....	- 25 -
Obr. 3.7	Charakteristika nadproudové polozávislé ochrany [1].....	- 25 -
Obr. 3.8	Charakteristika nadproudové nezávislé ochrany [1].....	- 25 -
Obr. 3.9	Charakteristika nadproudové mžikové ochrany [1].....	- 26 -
Obr. 3.10	Příklad charakteristiky distanční ochrany [1].....	- 26 -
Obr. 3.11	Příklad charakteristiky distanční ochrany dostupné pro REF630 [5].....	- 27 -
Obr. 3.12	Příčná rozdílová ochrana [6].....	- 27 -
Obr. 3.13	Podélná rozdílová ochrana [6].....	- 28 -
Obr. 3.14	Fázová srovnávací ochrana [6].....	- 28 -
Obr. 3.15	Petersonova cívka připojena k uzlu síťového napájecího transformátoru [17].....	- 29 -
Obr. 3.16	Petersonova cívka připojena k uměle vytvořenému uzlu sítě [17].....	- 29 -
Obr. 3.17	Úspěšnost působení opětného zapínání [20].....	- 33 -
Obr. 4.1	Ochrana REF630.....	- 34 -
Obr. 4.2	Příklad funkčního bloku.....	- 38 -
Obr. 4.3	Krátká zpráva o poruše.....	- 40 -
Obr. 4.4	Impedance poruchové smyčky při jednofázové zemní poruše [5].....	- 42 -
Obr. 5.1	Ukázka uživatelského prostředí softwaru PCM600.....	- 44 -
Obr. 5.2	Funkční blok pro měření proudů SMAI_20_1.....	- 44 -
Obr. 5.3	Funkční blok pro měření napětí SMAI_20_2.....	- 45 -
Obr. 5.4	Funkční blok pro pokročilé měření proudů a napětí.....	- 45 -
Obr. 5.5	Funkční blok lokátoru poruch SCEFRFLO.....	- 46 -
Obr. 5.6	Funkční bloky MVGGIO.....	- 47 -
Obr. 5.7	Funkční bloky poruchového zapisovače AxRADR.....	- 47 -
Obr. 5.8	Zobrazení průběhů proudů při dvojfázovém zkratu v softwaru Wavewin.....	- 48 -
Obr. 5.9	Fázory proudů před poruchou (vlevo) a po poruše (vpravo).....	- 48 -
Obr. 5.10	Funkční blok nezávislé nadproudové ochrany PHIPTOC.....	- 49 -
Obr. 5.11	Funkční blok GRP1_LED7.....	- 49 -
Obr. 5.12	Funkční bloky zajišťující vypnutí vedení.....	- 49 -
Obr. 5.13	Funkční blok FNKEYMD2.....	- 50 -
Obr. 5.14	Funkční bloky FNKEYMD1 a LEDGEN.....	- 50 -
Obr. 5.15	Funkční blok pro ovládání vypínače DAXCBR.....	- 51 -
Obr. 5.16	Schéma pro grafický displej.....	- 51 -
Obr. 6.1	Modul napájení.....	- 52 -
Obr. 6.2	Trojfázový autotransformátor.....	- 53 -

Obr. 6.3	Modul spínačového pole.....	- 53 -
Obr. 6.4	Ochrana REF630	- 54 -
Obr. 6.5	Modul simulace přenosových vedení.....	- 54 -
Obr. 6.6	Modul poruch	- 55 -
Obr. 7.1	Propojení autotransformátoru s modulem Spínačové pole 1	- 56 -
Obr. 7.2	Propojení modulu Spínačové pole 1 s ochranu REF630.....	- 57 -
Obr. 7.3	Propojení autotransformátoru s ochranu REF630	- 57 -
Obr. 7.4	Propojení modulu simulace přenosových vedení s ochranu REF630	- 57 -
Obr. 7.5	Propojení svorek odporníků na modulu simulace přenosových vedení	- 58 -
Obr. 7.6	Propojení modulu simulace přenosových vedení s modulech poruch.....	- 58 -
Obr. 7.7	Zapojení odporníků modulu zátěže pro měření závislosti zkratového proudu na odporu uzemnění.....	- 59 -
Obr. 7.8	Změna odbočky vedení	- 59 -
Obr. 7.9	Schéma zapojení.....	- 60 -
Obr. 7.10	Nastavení převodu měřících transformátorů v softwaru PCM600	- 61 -
Obr. 7.11	Nastavení funkčního bloku lokátoru poruch SCEFRFLO	- 63 -
Obr. 7.12	Nastavení funkčního bloku nezávislé nadproudové ochrany PHIPTOC.....	- 64 -
Obr. 7.13	Ovládání třífázového autotransformátoru.....	- 67 -
Obr. 7.14	Schéma zapojení.....	- 70 -
Obr. 7.15	Závislost hodnoty zkratového proudu na odporu uzemnění	- 73 -
Obr. 7.16	Závislost přesnosti určení vzdálenosti do místa poruchy na odporu poruchy	- 73 -

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
Tab. 3.1	Rozdělení napětí podle doby trvání a rychlosti čela [11]	- 22 -
Tab. 3.2	Vztah mezi událostmi a nejkritičtějšími typy vzniklých přepětí [12].....	- 23 -
Tab. 4.1	Zvolená předkonfigurovatelná verze REF630	- 35 -
Tab. 4.2	Binární vstupy a výstupy [5]	- 38 -
Tab. 4.3	Poruchové smyčky pro výpočet vzdálenosti do místa poruchy [5]	- 41 -
Tab. 4.4	Základní nastavení funkce lokátoru poruch [5].....	- 43 -
Tab. 7.1	Měření hodnot zkratových proudů pro různé typy zkratů	- 71 -
Tab. 7.2	Měření hodnot vzdálenosti do místa poruchy pro různé typy zkratů	- 71 -
Tab. 7.3	Měření vlivu uzemnění sítě přes odpor na hodnotu jednofázového zkrat. proudu.....	- 71 -
Tab. 7.4	Měření vlivu odporu poruchy na přesnost výpočtu vzdálenosti do místa poruchy ...	- 72 -

Obsah

1	Úvod.....	- 13 -
2	Elektrické ochrany v distribuční a přenosové síti	- 14 -
	2.1 Základní pojmy	- 14 -
	2.2 Požadavky kladené na ochrany	- 15 -
	2.3 Rozdělení elektrických ochran.....	- 16 -
	2.4 Rozdíly mezi ochranami ve vn a vvn sítích	- 17 -
3	Chránění vývodu venkovního vedení.....	- 18 -
	3.1 Druhy poruch na venkovním vedení	- 18 -
	3.1.1 Zkraty	- 18 -
	3.1.2 Zemní spojení	- 21 -
	3.1.3 Přepětí.....	- 21 -
	3.1.4 Další poruchové stavy na vedení.....	- 23 -
	3.1.5 Nenormální provozní stavy na vedení	- 23 -
	3.2 Řešení poruch na vedení	- 24 -
	3.2.1 Zkraty a nadproudy	- 24 -
	3.2.2 Zemní spojení	- 28 -
	3.2.3 Přepětí.....	- 30 -
	3.3 Automatiky opětného zapnutí	- 31 -
	3.4 Určení místa poruchy	- 33 -
4	Popis ochrany REF630.....	- 34 -
	4.1 Popis výrobku	- 34 -
	4.2 Aplikace	- 34 -
	4.3 Zvolená předkonfigurovaná verze IED	- 35 -
	4.4 Ochranné funkce	- 35 -
	4.5 Ovládání.....	- 37 -
	4.6 Měřicí funkce	- 37 -
	4.7 Analogové vstupy a výstupy	- 37 -
	4.8 Binární vstupy a výstupy.....	- 38 -
	4.9 Funkční bloky	- 38 -
	4.10 Poruchový zapisovač (Disturbance recorder)	- 39 -

4.11	Funkce určení místa poruchy	- 40 -
5	Nastavení ochrany REF630.....	- 44 -
5.1	Funkční blok pro měření proudů.....	- 44 -
5.2	Funkční blok pro měření napětí	- 45 -
5.3	Pokročilé funkce měření proudů a napětí.....	- 45 -
5.4	Funkční blok pro lokátor poruch.....	- 46 -
5.5	Zobrazení vypočtených veličin na grafickém displeji.....	- 47 -
5.6	Zaznamenání průběhu měřených a vypočtených veličin pomocí poruchového zapisovače	- 47 -
5.7	Časově nezávislá nadproudová ochrana.....	- 49 -
5.8	Funkční blok pro signalizaci pomocí LED	- 49 -
5.9	Vypínací logika	- 49 -
5.10	Manuální ovládání vypínače funkčním tlačítkem	- 50 -
5.11	Resetování zámků a LED signalizace	- 50 -
5.12	Signalizace stavu vypínače na grafickém displeji.....	- 51 -
6	Zapojení REF630 do fyzikálního modelu vývodu	- 52 -
6.1	Napájení	- 52 -
6.2	Spínačové pole	- 53 -
6.3	Ochrana REF630.....	- 54 -
6.4	Simulace přenosových vedení.....	- 54 -
6.5	Modul poruch.....	- 55 -
7	Vypracování návodu měření a vzorového protokolu	- 56 -
7.1	Návod měření.....	- 56 -
7.1.1	Návod zapojení laboratorní úlohy	- 56 -
7.1.2	Nastavení převodu měřících transformátorů	- 61 -
7.1.3	Nastavení funkčního bloku lokátoru poruch	- 61 -
7.1.4	Nastavení funkčního bloku nezávislé nadproudové ochrany	- 63 -
7.1.5	Teoretický rozbor	- 64 -
7.1.6	Zadání a postup měření	- 66 -
7.2	Vzorový protokol	- 69 -
7.2.1	Zadání.....	- 69 -
7.2.2	Schéma	- 70 -
7.2.3	Tabulky.....	- 71 -

7.2.4	Příklady výpočtů.....	- 72 -
7.2.5	Grafické vyhodnocení	- 73 -
7.2.6	Seznam použitých přístrojů.....	- 74 -
7.2.7	Kontrolní otázky.....	- 74 -
7.2.8	Závěr.....	- 74 -
8	Závěr	- 75 -
	Použitá literatura	- 76 -

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá elektrickými ochranami a jejich využitím při ochraně vývodu venkovního vedení. Cílem práce je vytvoření laboratorní úlohy s využitím ochrany REF630, při níž si budou studenti moci vyzkoušet změřit hodnoty zkratových proudů a vzdáleností do místa poruchy a porovnat je s teoretickými výpočty.

Druhá kapitola obsahuje základní pojmy týkající se ochrany, požadavky kladené na ochrany, rozdělení elektrických ochrany. Poslední část kapitoly se zabývá rozdíly mezi ochranami ve vn a vvn sítích a tím, jaké produktové řady ochrany ABB skupiny Relion se pro dané napěťové stupně používají.

Třetí kapitola se věnuje ve své první části nejčastějším poruchám, které se objevují na venkovním vedení. Největší prostor je zde věnován zkratům (jejich definicí, vlivem na elektrizační soustavu i vzorcům pro výpočet), protože měření a výpočty hodnot zkratových proudů jsou součástí laboratorní úlohy. Méně podrobně jsou zde rozebírány přepětí a zemní spojení. Druhá část této kapitoly se věnuje řešením těchto poruch, a to jednak jejich prevencí, tak také jejich eliminací. Opět jsou zde nejpodrobněji rozebírány ochrany, které působí při zkratech. Mezi ně patří i automatika opětového zapínání, která je kvůli její důležitosti podrobněji popsána v předposlední kapitole. V poslední části kapitoly se nachází úvod k problematice určení místa poruchy (lokátoru poruch), kterému se laboratorní úloha z velké části věnuje. Podrobněji je tato problematika rozebrána až v kapitole 4.6.

Čtvrtá kapitola obsahuje popis multifunkční ochrany vývodu REF630, která byla použita pro laboratorní úlohu. Tyto ochrany se označují také IED (Inteligentní elektronické zařízení), protože obsahují obrovské množství široce nastavitelných funkcí, které zdaleka nesouvisí pouze s chráněním. V kapitole jsou popsány ochranné funkce, které ochrana nabízí. Největší prostor je zde věnován funkci určení místa poruchy.

Pátá kapitola se zabývá nastavením ochrany REF630, což bylo realizováno pomocí softwaru PCM600. PCM600 je ABB software vytvořený speciálně pro nastavování ochrany firmy ABB. V kapitole jsou popisy použitých funkčních bloků a obrázky se jejich vzájemnými propojeními. Je zde také popsáno, jak nastavit zaznamenání průběhu měřených a vypočtených veličin a jak je zobrazit pomocí softwaru Wavewin, který je zpravidla nainstalován spolu s PCM600.

Šestá kapitola obsahuje popis zapojení ochrany do fyzikálního modelu v laboratoři včetně popisu všech zapojených modulů. Konkrétně to jsou modul napájení, modul spínačového pole, modul poruch, modul simulace přenosových vedení a modul zátěže.

Sedmá kapitola obsahuje ve své první části návod měření, ve kterém je podrobně popsán postup zapojení laboratorní úlohy včetně schématu a také jsou zde nastavení funkčních bloků, která lze provést přímo na ochraně pomocí LHMI a která jsou klíčová pro laboratorní úlohu. Dále je v první části kapitoly popsán postup měření pro všechny tři části laboratorní úlohy. Druhá část kapitoly obsahuje vzorový protokol včetně teoretického rozboru, výpočtů, tabulek s naměřenými hodnotami, grafů a zhodnocením v závěru.

2 Elektrické ochrany v distribuční a přenosové síti

2.1 Základní pojmy

Ochrana je zařízení, které kontroluje chod určité části energetického systému (např. generátoru, vedení, transformátoru apod.). Přes přístrojové transformátory proudu a napětí, případně z dalších čidel, získává informaci o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Úkolem ochrany je rozpoznat, zda je chráněný objekt v normálním, mimořádném nebo poruchovém stavu, a v případě poruchového stavu musí zamezit poškození chráněného zařízení (např. vyšle signál vypínači k vypnutí). Ochrana také vysílá signál o působení pro obsluhu do kontrolního střediska nebo signalizuje lokálně (např. rozsvícením LED). [2]

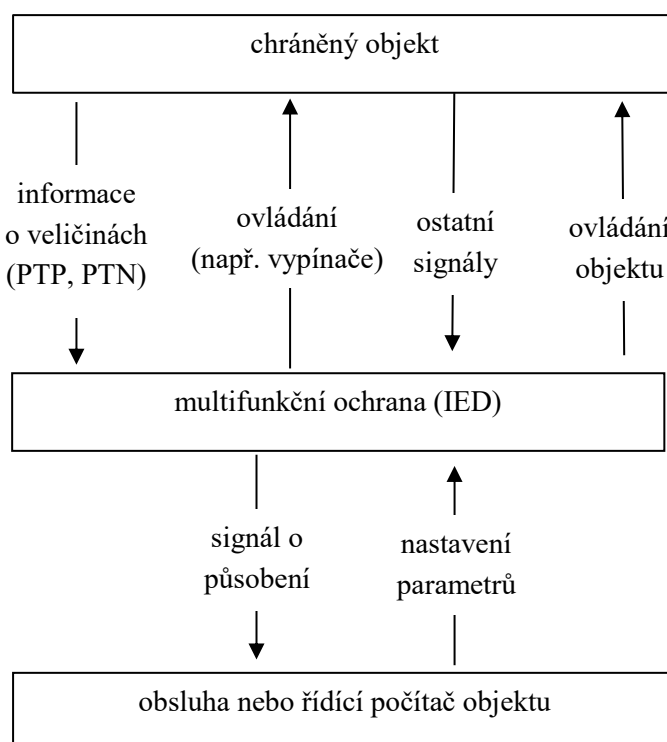
Chráněný objekt je fyzikální zařízení, které je chráněno ochranou, která zajišťuje, aby objekt při své funkci nepřekročil meze normálního působení.

Stavová veličina je fyzikální veličina chráněného objektu, jejíž velikost popisuje současné chování (stav) objektu.

Normální provozní stav je stav, při němž ochrana měří stavové veličiny, které nepřekračují zadané hodnoty, a proto ochrana nereaguje.

Mimořádný provozní stav je stav, při němž ochrana signalizuje překročení zadaných hodnot.

Poruchový stav je stav, při kterém dochází k překročení zadaných hodnot a ochrana odpojí chráněný objekt.



Obr. 2.1 Vzájemná komunikace mezi obsluhou, ochranou a chráněným objektem

2.2 Požadavky kladené na ochrany

Provoz energetické soustavy klade na ochrany určité požadavky. Podle toho, jak je ochrana splňuje, lze hodnotit její jakost a tím i vhodnost použití pro daný objekt. Obecně nelze určit, který z požadavků je důležitější než jiný. To záleží na druhu chráněného objektu, na způsobu provozu i na okolní soustavě. [2]

Například u zemní ochrany je důležitější citlivost než rychlost. Citlivost i na malé zemní proudy je nutná pro indikaci zemního spojení. Rychlost se nevyžaduje, neboť k odpojení vadného úseku vedení dojde až po zajištění náhradního napájení. Naopak zkratová ochrana krátkého kabelu s velkými zkratovými proudy nemusí být citlivá. Zkratové proudy jsou mnohem větší než provozní. Aby nedošlo k poškození kabelu, požadujeme rychlé působení ochrany a vypnutí zkratu. [2]

Selektivita znamená, že je ochrana schopna vypnout pouze prvek, na kterém vznikla porucha nereaguje na poruchy mimo chráněný objekt. Smysl selektivity je v tom, že je vypínán co nejmenší úsek energetické soustavy, který je postižen poruchou. Tímto se zvýší stabilita chodu elektrizační soustavy. Hlavní způsoby zajištění selektivity jsou tyto: [1]

- a) Časové odstupňování vypínacích časů (ve směru napájení se čas prodlužuje)
- b) Odstupňování úrovně nastavené veličiny
- c) Zpracování více veličin současně (např. impedanční ochrany)
- d) Zpracování informací z více míst (např. rozdílové a srovnávací ochrany)

Citlivost je dnes již méně významný parametr, protože moderní multifunkční ochrany umožňují přesné zadání hodnoty, při které ochrana vybaví. Citlivost znamená, že ochrana musí být dostatečně citlivá při poruchách a při nenormálním provozu v daném úseku elektrizační soustavy. Nelze říct, že čím bude citlivost ochrany vyšší, tím lépe. Příliš velká citlivost totiž vede k chybným působením ochrany např. při přetížení apod. Ochrana se zvětšenou citlivostí se použije jen v případech, nezhoršují-li se tím ostatní ukazatele (selektivita, rychlost, spolehlivost provozu apod.). [1]

Spolehlivost znamená, že ochrana nesmí při poruše selhat a při bezporuchovém chodu nesmí samovolně působit. Pro vysokou spolehlivost je důležitá vysoká technická kvalita všech součástí, a to zejména přístrojových transformátorů, mechanismů vypínačů apod. [1] [6]

Rychlost ochrany je důležitá zejména při zkratech. Ochrana má zajistit co nejrychlejší vypnutí zkratů. V případech, kdy porucha zanikne sama je zase rychlost na škodu. [1]

Zálohování ochran spočívá v tom, že kromě hlavní ochrany je použita záložní ochrana, která vypíná poruchu při selhání hlavní ochrany. Chránění dvěma hlavními ochranami se používá u zvláště důležitých částí elektrizační soustavy. Záložní ochrana může být buď místní (používá jiný princip než hlavní ochrana) nebo vzdálená (používá stejný princip jako hlavní ochrana, ale má např. delší vypínací čas). [1]

2.3 Rozdělení elektrických ochran

Ochrany dělíme: [2]

- a) Podle druhu chráněného objektu na ochrany:
 - Generátoru
 - Motoru
 - Transformátoru
 - Přípojnic
 - Vedení
 - Speciální

- b) Podle druhu poruchy na ochrany:
 - Zkratové
 - Proti přetížení
 - Podpět'ové
 - Přepět'ové
 - Podfrekvenční
 - Nadfrekvenční
 - Při zemním spojení
 - Při zpětném toku výkonu
 - Při ztrátě buzení
 - Při nesouměrnosti

- c) Podle doby působení na ochrany:
 - Mžikové
 - Časově závislé
 - Časově nezávislé

- d) Podle konstrukce na ochrany:
 - Elektromechanické
 - Statické
 - Digitální

- e) Podle funkčního principu a stavové veličiny na ochrany:
 - Proudové
 - Napět'ové
 - Distanční
 - Rozdílové
 - Srovnávací
 - Wattové
 - Jalové
 - Frekvenční
 - Při nesouměrnosti

Popis vybraných typů ochran:

Mžikové ochrany působí okamžitě po vzniku poruchy. Jejich rychlost je omezena pouze dobou zpracování informace uvnitř ochrany. Takto působí například zkratová ochrana.

Časově závislé ochrany mají dobu působení závislou na hodnotě některé měřené veličiny. Typickým příkladem je inverzní závislost doby působení na hodnotě proudu u nadproudové ochrany.

Časově nezávislé ochrany mají dobu působení konstantní. Tato doba působení je předem nastavená.

Elektromechanické ochrany jsou sestaveny ze souboru elektromagnetických jisticích relé, které elektricky a mechanicky spolupracují. Každá jejich část vykonává jen jednu funkci. Jsou to vývojově nejstarší analogové ochrany. [6]

Elektronické (statické) ochrany jsou analogové ochrany, které jsou sestaveny z polovodičových součástek. Nemají pohyblivé části. Velikost zpracovávané hodnoty je zobrazena spojitě. Oproti elektromechanickým ochranám jsou rychlejší, přesnější, lépe přizpůsobitelné, mají menší požadavky na údržbu, nižší vlastní spotřebu a delší životnost. Také umožňují realizaci složitějších algoritmů. Nevýhodou je nízká odolnost polovodičových součástek proti indukovaným napětím a vyšším teplotám. [6]

Digitální ochrany využívají ke své činnosti mikropočítače, což má za následek zdokonalení přesnosti a selektivity, komplexnější zpracování vstupních veličin a zvýšení uživatelského komfortu. Digitální ochrany mají funkci autokontroly, která umožňuje prodloužit interval mezi ručně vykonávanými revizemi až na několik roků. [6]

2.4 Rozdíly mezi ochranami ve vn a vvn sítích

Ochrana REF630 použitá v této diplomové práci je navržena pro použití v distribučních sítích vn. Teoreticky by ji bylo možné použít i u sítí vvn, protože na výstupech měřicích transformátorů proudu a napětí je v obou případech 1/5 A a 100 V. V takovém případě bychom ovšem narazili na určité problémy. Rozvodny vvn nemají na rozdíl od rozvaděčů vn vypínač ve výsuvném provedení, ale mají vypínač v kombinaci s odpojovačem. Celkový počet zařízení, která jsou ochranou monitorována a ovládána, je tak o dost vyšší. To znamená také zvýšení počtu potřebných analogových a digitálních vstupů a výstupů, na což by už ochrana REF630 nemusela stačit.

Pro použití v přenosových sítích jsou navrženy vývojové řady ochran ABB REx-650 a REx-670. Obsahují více digitálních a analogových vstupů a výstupů. Například ochrana REL-650 může mít až 96 digitálních vstupů a 40 analogových vstupů. Dále vzrůstá u těchto sítí délka vedení a roste tedy i důležitost distanční ochrany, která má u těchto ochran více funkcí. Tyto vývojové řady také nabízejí jednopólové vypínání. Nevypínají tedy všechny tři fáze ve stejný okamžik, čímž je zabráněno vzniku nežádoucích přepětí. [7]

3 Chránění vývodu venkovního vedení

3.1 Druhy poruch na venkovním vedení

Na venkovním vedení vznikají tyto poruchy:

3.1.1 Zkrat

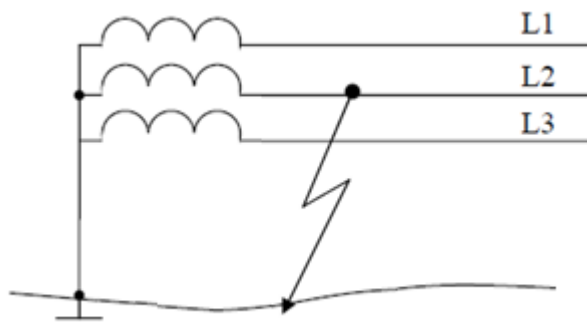
Zkrat je nežádoucí vodivé spojení mezi fázemi nebo fázemi a zemí (v soustavě s účinně uzemněným uzlem). Vede ke vzniku velkých zkratových proudů, které mohou vedení tepelně a mechanicky poškodit. Zkrat je nejčastější poruchou na venkovním vedení. [2]

V soustavě s účinně uzemněným uzlem zdroje může dojít k 7 typům zkratů: [6]

1. Jednofázový zkrat – spojení jedné fáze se zemí
2. Dvojfázový zkrat – spojení dvou fází mezi sebou
3. Dvojfázový zemní zkrat – spojení dvou fází se zemí v jednom místě vedení
4. Dvojité zemní zkrat – spojení dvou fází se zemí v různých místech vedení
5. Trojfázový zkrat – spojení tří fází mezi sebou
6. Trojfázový zemní zkrat – spojení tří fází se zemí v jednom místě vedení
7. Trojité zemní zkrat – spojení tří fází se zemí v různých místech vedení

Jednofázový zkrat je spojení jedné fáze se zemí. Dochází k němu často z důvodu přiblížení větve stromu na přeskokovou vzdálenost. Drtivá většina takových zkratů je však přechodného charakteru a jsou odstraněny automatikou opětného zapnutí. Je nejčastější poruchou vyskytující se v soustavě s účinně uzemněným uzlem zdroje. Z hlediska ohrožení dynamické stability a spotřebitelů však není tak nebezpečný jako vícefázové zkraty. V místě zkratu dochází k rychlému nárůstu proudu a poklesu napětí. Jeho velikost lze omezit uzemněním sítě přes odpor. Vzniká při něm sousledná, zpětná i netočivá složka proudu. Hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proudu vypočteme podle následujícího vztahu: [6] [8] [9]

$$I_{k1}'' = \frac{3}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (3.1)$$



Obr. 3.1 Jednofázový zkrat

Dvojfázový zkrat je spojení dvou fází mezi sebou. Může k němu dojít například v důsledku extrémní námrazy, pádu větve nebo přetrhnutí a vzájemného spojení dvou lanových vodičů. Jedná se o složitý druh zkratu a těžkou poruchu pro elektrizační soustavu. Zkratový proud však nikdy

nedosahuje hodnoty jako při trojfázovém zkratu. Vzniká při něm sousledná a zpětná složka proudu. Hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proudu vypočteme podle takto: [6] [8] [9]

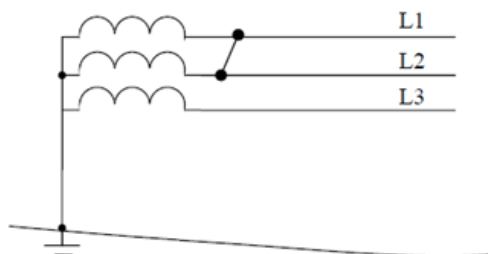
$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{|Z_{(1)}+Z_{(2)}|} \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

Pokud $Z_{(1)} = Z_{(2)}$ a $c = 1$, pak vypadá rovnice takto:

$$I_{k2}'' = \frac{U_n}{2 \cdot Z_{(1)}} \quad (3.3)$$

A poté lze vypočítat dvojfázový zkrat z trojfázového:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' \quad (3.4)$$

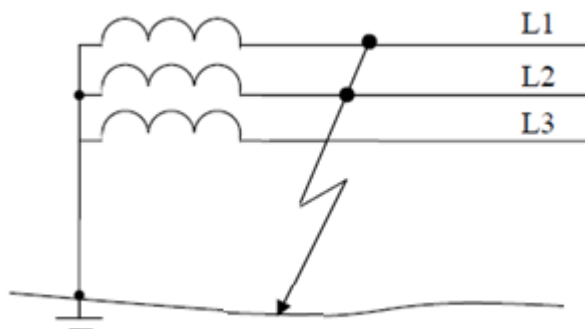


Obr. 3.2 Dvojfázový zkrat

Dvojfázový zemní zkrat je spojení dvou fází v jednom místě se zemí. Dochází k němu v případě pádu zemnicího lana na dvě fáze nebo pádu dvou fází na zem. Je také složitým druhem zkratu a způsobuje hluboký pokles fázových a sdružených napětí u postižených fází (v místě zkratu k nule). Zkratový proud může nabývat v případě velmi blízkého zkratu i vyšších hodnot než trojfázový zkrat. Vznikají při něj všechny tři složky proudu. Výpočet hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu je v tomto případě mnohem složitější než v případě předchozích zkratů, nicméně vzhledem k trojfázovému zkratovému proudu se jeho hodnota pohybuje mezi těmito mezemi: [6] [8] [9]

$$I_{k2N}''_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' \quad (3.5)$$

$$I_{k2N}''_{\max} = \sqrt{3} \cdot I_{k3}'' \quad (3.6)$$



Obr. 3.3 Dvojfázový zemní zkrat

Trojfázový zkrat a trojfázový zemní zkrat jsou nejvážnějšími typy poruch, které nejvíce ohrožují dynamickou stabilitu soustavy. Obvykle způsobuje nejvyšší zkratový proud ze všech typů zkratů. Také dochází k výraznému poklesu napětí. V případě nedokonalého zkratu vzniká sousledná i zpětná složka proudu z důvodu nesymetrie. Základní vztah pro výpočet trojfázového zkratu je tento: [6] [8] [9]

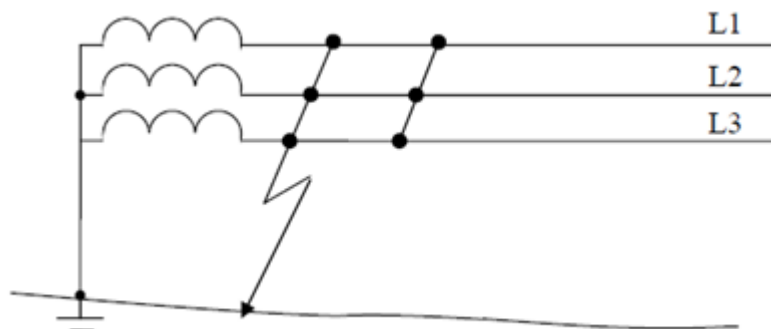
$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (3.7)$$

V ideálním případě vzniká pouze sousledná složka proudu, takže pro $c = 1$ se zkratový proud vypočítá podle následujícího vztahu:

$$I_{k3}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(1)}} \quad (3.8)$$

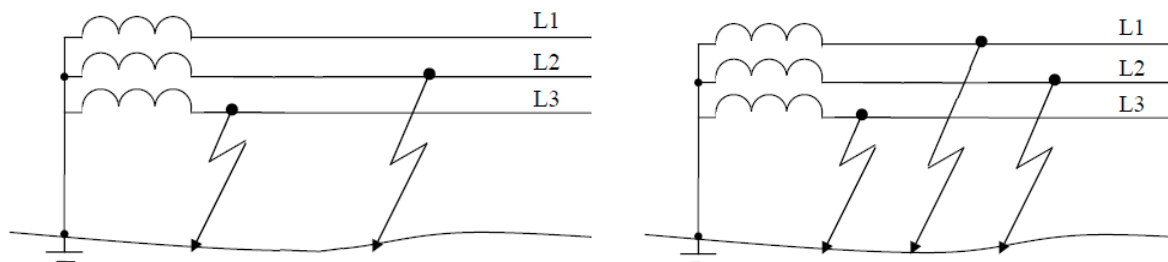
Pokud platí $U_n = \sqrt{3} \cdot U_f$, tak můžeme tento vztah dále zjednodušit takto:

$$I_{k3}'' = \frac{U_f}{Z_{(1)}} \quad (3.9)$$



Obr. 3.4 Trojfázový zemní zkrat (vlevo) a trojfázový zkrat (vpravo)

Dvojitý zemní zkrat a trojitý zemní zkrat jsou velmi vzácné typy poruch a nebudeme se jimi v této diplomové práci dále zabývat.



Obr. 3.5 Dvojitý zemní zkrat (vlevo) a trojitý zemní zkrat (vpravo)

3.1.2 Zemní spojení

Zemní spojení je spojení jedné nebo více fází se zemí v soustavě s izolovaným či neúčinně uzemněným uzlem zdroje (běžné u vedení vn v distribučních sítích). Je nebezpečné tím, že při zemním spojení vznikají přepětí a zvýšené namáhání zdravých zařízení, které často vede ke zkratu. Může dojít ke 4 druhům zemního spojení: [6] [8]

1. Jednofázové zemní spojení – spojení jedné fáze se zemí
 - Neznamená hned ohrožení provozu spotřebitelů, ale v okolí místa poruchy mohou být ohroženy i živé bytosti a dále vede ke vzniku malého proudu kapacitního charakteru. Při zemním spojení se navíc zvýší napětí na nepostižených fázích z fázové hodnoty na hodnotu sdruženou a napětí středu transformátoru stoupne při zemním spojení z nuly na hodnotu fázového napětí. Napětí postižené fáze hluboce klesne, případně až na nulu.
2. Dvojfázové zemní spojení – spojení dvou fází v jednom místě se zemí
 - Postižené fáze nabývají potenciálu země a nulový bod soustavy polovičního napětí nepostižené fáze.
3. Dvojité zemní spojení – spojení dvou fází se zemí v různých místech vedení
 - Vzniká v důsledku zvýšeného napětí nebo přepětí při jednofázových zemních spojeních v místech se zeslabenou izolací.
4. Trojitě zemní spojení – spojení tří fází se zemí v různých místech vedení

Přerušované zemní spojení (Intermittent earth fault) jsou mžiková nebo krátkodobá několikrát po sobě opakující zemní spojení. Mohou nastat například v místě zhoršené izolace, kde dojde k průrazu v okamžiku, kdy se okamžitá hodnota napětí blíží amplitudě. Poté, co klesne okamžitá hodnota napětí pod hodnotu průrazu, zemní spojení zaniká. V další periodě se však situace opakuje. Zvláště nebezpečná jsou tato zemní spojení, když jsou doprovázena hořením oblouku. Na zdravých fázích se poté může objevit 4 až 4,5násobek fázového napětí. Z tohoto důvodu se používají v průmyslových sítích vn uzemněné přes odpor omezující zemní poruchový proud na hodnotu v rozmezí 100 A až 1000 A, přičemž typickou hodnotou je 400 A, čímž je zabráněno vzniku tohoto typu zemního spojení. [13] [14]

3.1.3 Přepětí

Přepětí je napětí, které je vyšší než nejvyšší napětí sítě. Nejvyšší napětí sítě je dle normy nejvyšší efektivní hodnota provozního napětí fáze-fáze, která nastává při normálním provozu v libovolném okamžiku a v libovolném místě sítě. Nejvyšší napětí sítě nn je o 5% vyšší než jmenovité a o 10% v síti vn. Pokud je napětí vyšší než jmenovité, ale nižší než nejvyšší napětí sítě, tak se jedná o nadpětí, což není poruchový stav. [3] [11]

- Základní dělení přepětí:
- a) atmosférické
 - b) provozní
 - c) spínací

Atmosférické přepětí vzniká při úderu blesku do vedení nebo v jeho blízkosti. Jedná se o nejvyšší možná přepětí, která se na vedení mohou objevit. Úder blesku do vedení s uzemněnými konzolami způsobí vždy přeskoky vedení k zemi a zpravidla i mezi fázemi. Přeskoky k zemi sniží úroveň přepětí z řádu MV na stovky kV. Úder blesku do vedení na dřevěných sloupech bez uzemněných konzol může způsobit přepětí v řádu MV, které může být přeneseno na značné vzdálenosti díky vysoké izolační pevnosti proti zemi, která bývá 3 až 4 MV. Toto přepětí může způsobit velké škody na zařízení

i v místech vzdálených od úderu blesku. I když nedojde k přeskoku k zemi, tak zpravidla dojde k přeskoku mezi fázemi. [10]

Provozní přepětí vznikají při zemním spojení, zkratech, při zapínání a vypínání vypínačů a odpojovačů a při provozování vedení vvn naprázdno (Ferrantiův jev).

Spínací přepětí nazýváme takové napětí, které se objeví mezi vypínačem a sítí bezprostředně po přerušení proudu mezi kontakty vypínače. Přepětí vzniká vždy když výkonový vypínač nebo odpojovač přetrhne (odpojovač jen malý kapacitní) oblouk v jiném okamžiku než v nule proudu.

Dělení přepětí podle doby trvání (viz také tabulka 3.1): [11]

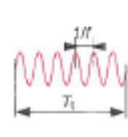
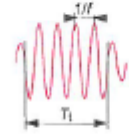
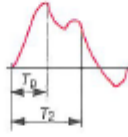
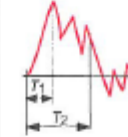
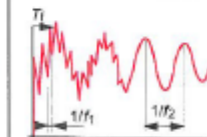
- a) dočasné
- b) přechodné s pomalým čelem
- c) přechodné s rychlým čelem
- d) přechodné s velmi rychlým čelem

Dočasné přepětí je přepětí síťového kmitočtu poměrně dlouhého trvání. Může být netlumené nebo slabě tlumené a jeho frekvence může být i několikanásobně vyšší nebo nižší než síťová frekvence.

Přechodné přepětí je krátkodobé oscilační nebo neoscilační obvykle silně tlumené přepětí, které trvá několik milisekund nebo méně. Vzniká při různých typech přepětí viz tabulka 3.2. Dělí se na:

- a) Přechodné přepětí s pomalým čelem je zpravidla unipolární s dobou do vrcholu 20 až 5000 μ s a trváním týlu pod 20 ms. Vzniká při různých typech přepětí viz tabulka 3.2.
- b) Přechodné přepětí s rychlým čelem je zpravidla unipolární s dobou do vrcholu 0,1 až 20 μ s a trváním týlu pod 300 μ s. Vzniká hlavně při úderu blesku.
- c) Přechodné přepětí s velmi rychlým čelem je zpravidla unipolární s dobou do vrcholu pod 0,1 μ s a se superponovanými oscilacemi s frekvencí 30 kHz až 100 MHz nebo bez nich. Může vzniknout v zapouzdřených rozvodnách a při manipulacích vakuovými vypínači v systémech vysokého napětí.

Tab. 3.1 Rozdělení napětí podle doby trvání a rychlosti čela [11]

Třída	S nízkým kmitočtem		Přechodné		
	Trvalé	Dočasné	S pomalým čelem	S rychlým čelem	S velmi rychlým čelem
Tvary napětí nebo přepětí					
Rozsah tvarů napětí nebo přepětí	$f = 50 \text{ Hz}$ nebo 60 Hz $T_1 \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_0 \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_1 \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$

Norma ČSN EN 60071 dále uvádí podrobnější dělení přepětí včetně informace o době trvání a rychlosti čel pro daný typ přepětí. Toto dělení lze vidět níže v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Vztah mezi událostmi a nejkritičtějšími typy vzniklých přepětí [12]

	Dočasná přepětí TOV	Přechodná přepětí		
		Přepětí s pomalým čelem SFO	Přepětí s rychlým čelem FFO	Přepětí s velmi rychlým čelem VFFO
Odepnutí zátěže (viz 2.3.2.2 v IEC 60071-2)	X			
Zapnutí transformátoru	X	X		
Paralelní rezonance vedení	X			
Nesoučasnost spínání pólů vypínače	X			
Zpětné napájení	X			
Vytvoření poruchy na vedení (viz 2.3.3.2 v IEC 60071-2)	X	X		
Odpojení poruchy (viz 2.3.3.2 v IEC 60071-2)	X	X		
Zapnutí vedení naprázdno (viz 2.3.3.1 v IEC 60071-2)	X	X		
Opětovné zapnutí vedení	X	X		
Vypnutí vedení naprázdno	X	X		
AIS spínání přípojnice			X	¹⁾
Spínání indukčních a kapacitních proudů (viz 2.3.3.4 v IEC 60071-2)	X	X	X	
Zpětný přeskok			X	
Přímý úder blesku (viz 2.3.3.5 v IEC 60071-2)			X	
Spínání v GIS				X
Spínání indukčních a kapacitních proudů vypínačem SF ₆	X	X	X	¹⁾
Přeskok v GIS				X
Spínání vakuovým vypínačem			X	X

¹⁾ V případě krátké vzdálenosti přípojnic a malého tlumení, přepětí s velmi rychlým čelem se mohou také vyskytnout.

3.1.4 Další poruchové stavy na vedení

Přetížení je průchod příliš velké energie zařízení. Způsobuje přehřívání izolace (např. u izolovaného venkovního vedení) a snížení mechanické pevnosti vodičů. [2]

Prerušení fáze může nastat při následujících situacích

- Při mechanické poruše – přetržení
- Působením zkratových proudů – přepálení části vedení
- Při činnosti jednofázového opětovného zapnutí, kdy u jedné z fází nedojde k zapnutí vypínače např. z důvodu poruchy vypínače

3.1.5 Nenormální provozní stavy na vedení

Nadproudy jsou proudy převyšující jmenovité hodnoty vedení. [1]

Kývání výkonu na vedeních jsou způsobené narušením synchronizmu paralelně pracujících synchronních generátorů v důsledku pulzování proudu a napětí. Tento stav nastává na vedení nejčastěji po pomalém vypnutí zkratu. [1]

Odchytky napětí a frekvence mohou vzniknout např. při vypnutí dlouhých vedení vvn nebo při náhlém odlehčení soustavy činným výkonem. [1]

3.2 Řešení poruch na vedení

- a) Zkraty a nadproudy:
 - Omezení zkratových proudů
 - Nadproudové ochrany
 - Distanční ochrany
 - Srovnávací ochrany
 - Automatiky opětného zapnutí
- b) Zemní spojení:
 - Kompenzace proudu zemního spojení
 - Zemní ochrany
- c) Přepětí: [15]
 - Přepět'ová ochrana
 - Ochranná jiskřiště
 - Zemnicí a výběhová lana
 - Ventilové bleskojistky na bázi SiC
 - Omezovače přepětí na bázi ZnO

3.2.1 Zkraty a nadproudy

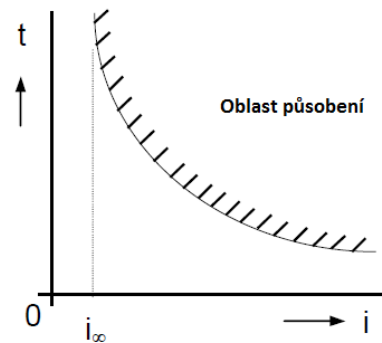
Omezení zkratových proudů

Hodnoty zkratových proudů lze snížit 2 způsoby: [1]

- Zvětšením zkratové impedance
 - Použitím transformátorů s větší impedancí
 - Použitím reaktorů
- Zmenšením výkonu zdrojů
 - Podélným dělením přípojníc
 - Příčným dělením přípojníc

Nadproudové ochrany jsou používány hlavně pro svou jednoduchost. Jejich funkce však není tak selektivní jako v případě distančních a rozdílových ochran. Používají se u méně důležitých zařízení (např. vedení vn) nebo jako záložní ochrany. Nejčastější použití je jako zkratové ochrany nebo ochrany proti přetížení. Podle časové závislosti se dělí na: [1]

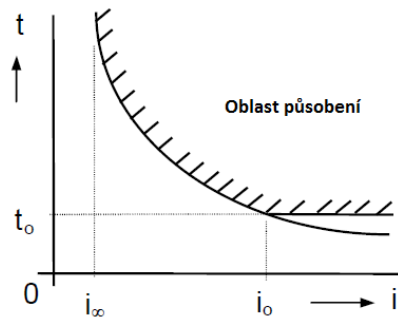
- Závislé ochrany
Pro tuto ochranu je typická jejich inverzní závislost času působení na proudu. Čím vyšší je proud, tím rychleji ochrana působí. Charakteristikou je inverzní křivka (viz Obr. 3.6), přičemž i_{∞} je trvale dovolená velikost proudu.



Obr. 3.6 Charakteristika nadproudové závislé ochrany [1]

- Polozávislé ochrany

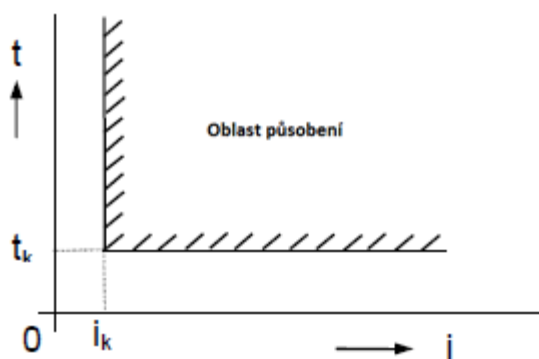
V tomto případě platí inverzní závislost času působení ochrany na velikosti proudu pouze do určité hodnoty proudu i_0 , od které je již čas působení konstantní (t_0).



Obr. 3.7 Charakteristika nadproudové polozávislé ochrany [1]

- Nezávislá ochrana

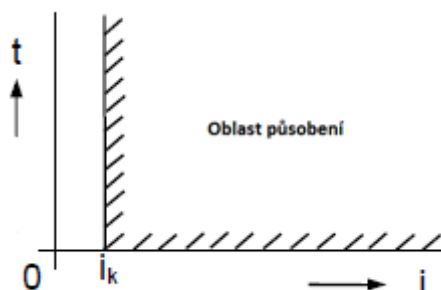
Ochrana působí v nastaveném čase t_k při překročení nastaveného proudu i_k .



Obr. 3.8 Charakteristika nadproudové nezávislé ochrany [1]

- Mžiková ochrana

Tato ochrana působí téměř bez zpoždění po překročení nastaveného proudu i_k . Zpoždění v řádu několika ms je způsobeno pouze vlastním časem ochrany.



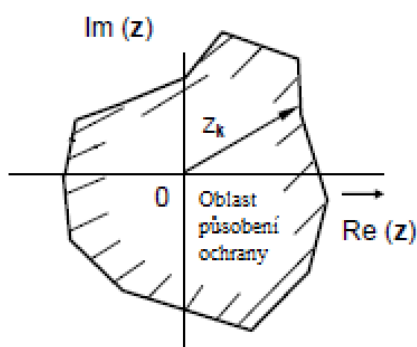
Obr. 3.9 Charakteristika nadproudové mžikové ochrany [1]

Distanční ochrany

Distanční neboli také impedanční ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Vychází z měření proudu a napětí, přičemž při zkratu vypočítá impedanci ze vztahu: [1]

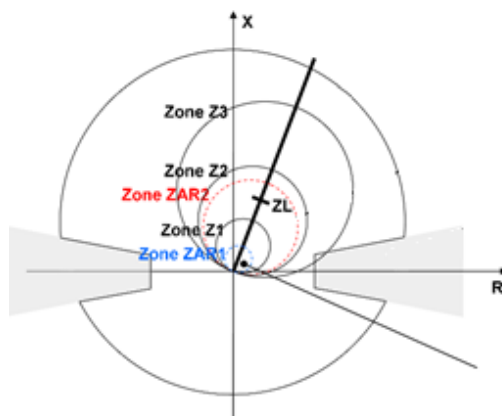
$$z_k = \frac{u_k}{i_k} \quad (3.10)$$

Je třeba si uvědomit, že tato impedance má činnou (odpor) a jalovou (reaktance) složku. Charakteristikou distanční ochrany je tedy uzavřená křivka v Gaussově komplexní rovině. V případě, že výsledná impedance bude ležet uvnitř charakteristiky, tak ochrana vybaví. V případě, že bude ležet vně charakteristiky, tak ochrana nepůsobí. [1]



Obr. 3.10 Příklad charakteristiky distanční ochrany [1]

Moderní digitální distanční ochrany mají široce nastavitelnou charakteristiku, která je rozdělena do několika zón, z nichž každá zóna lze nastavit. Zvláštní zóny jsou aktivní při použití v kombinaci s automatikou opětného zapnutí. Tvary takovýchto charakteristik mohou být téměř libovolné a obvykle bývají velmi složité. Ochrana REF630 použitá v praktické části této diplomové práce disponuje touto ochrannou funkcí. Je to však volitelná funkce, kterou nemají automaticky všechny modely REF630.



Obr. 3.11 Příklad charakteristiky distanční ochrany dostupné pro REF630 [5]

Srovnávací ochrany

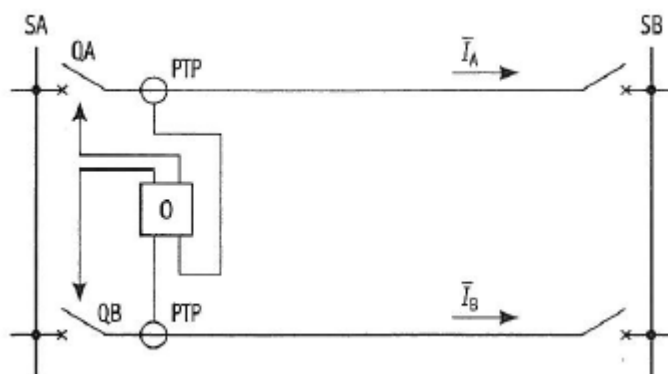
Tyto ochrany porovnávají veličiny na začátku a konci chráněného úseku vedení a z jejich rozdílu vyhodnocují, zda se porucha nachází na úseku chráněného vedení nebo mimo něj. V případě příčných rozdílových ochran porovnávají veličiny na začátku paralelních vedení. Jejich působení je velmi rychlé. Dělí se na ochrany s přímým srovnáním, kdy se porovnávají skutečné veličiny (např. proud, fázový posun mezi proudy) na obou koncích vedení, a na ochrany s nepřímým srovnáním, kdy se porovnávají pouze vzájemné polohy kontaktů např. měřících nadproudových směrových ochran. [1]

Mezi oběma srovnávacími místy je spojovací vedení, které přenáší informaci o měřené veličině nebo v případě nepřímého srovnání pouze binární signál. Přímé srovnání je možné jen do určité délky chráněného vedení. Při vyšších vzdálenostech je výhodnější použít nepřímého srovnání, které má výrazně nižší nároky na spojovací vedení. [1]

Moderní IED (Inteligentní elektrická zařízení) nevyužívají spojovacího vedení, ale využívají Ethernetové komunikace. Mezi tyto IED patří diferenciální ochrana ABB RED615, která může pomocí Ethernetového komunikačního kruhu komunikovat najednou až s 30 IED produktové skupiny Relion.

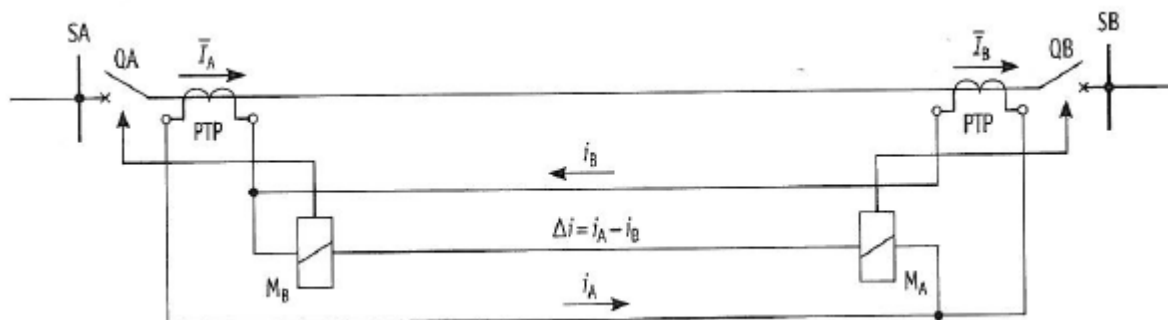
Ochrany s přímým srovnáním se dělí na:

- Příčné rozdílové (diferenciální) ochrany
Tyto ochrany porovnávají fázory proudů paralelních vedení. Pokud se je proud I_A tekoucí vedením A větší než proud I_B a vedením B není vypnuté, pak ochrana dá povel k vypnutí vedení A. [6]



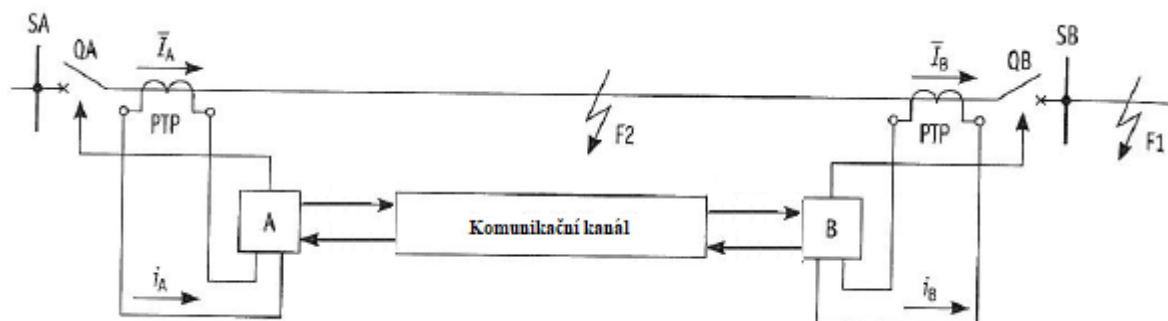
Obr. 3.12 Příčná rozdílová ochrana [6]

- Podélné rozdílové (diferenciální) ochrany
Tyto ochrany porovnávají fázory proudů na začátku a konci vedení (oblast je vymezena jisticími transformátory proudu). Za normálního provozu jsou fázory stejné, v případě poruchy však vznikne rozdíl a ochrana vedení odpojí. [6], [1]



Obr. 3.13 Podélná rozdílová ochrana [6]

- Fázové srovnávací ochrany
Tyto ochrany porovnávají pouze fázový posun mezi začátkem a koncem chráněného úseku vedení. To je výhodné při chránění dlouhých vedení, u kterých dochází k útlumu amplitudy přenášeného analogového signálu ve spojovacím vedení. V tomto případě je důležité, ať je správně přenesena fáze. V normálním stavu a při vnějších zkratech (F_1) pro zapojení na obrázku níže mají měřené proudy I_A a I_B opačnou fázi. Při vnitřním zkratu (F_2) se změní směr proudu I_B a tím pádem budou mít oba proudy stejnou fázi, načež ochrana mžikově zapůsobí a odpojí vedení na obou stranách. [6]



Obr. 3.14 Fázová srovnávací ochrana [6]

Automatiky opětného zapnutí

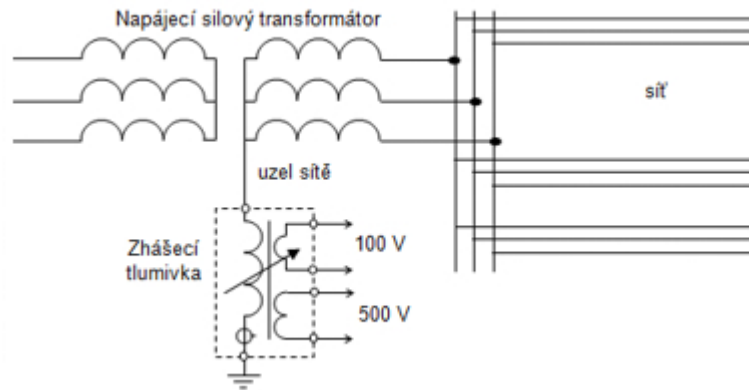
Automatiky opětného zapnutí jsou řešeny v samostatné kapitole č. 3.3.

3.2.2 Zemní spojení

Kompenzace proudu zemního spojení

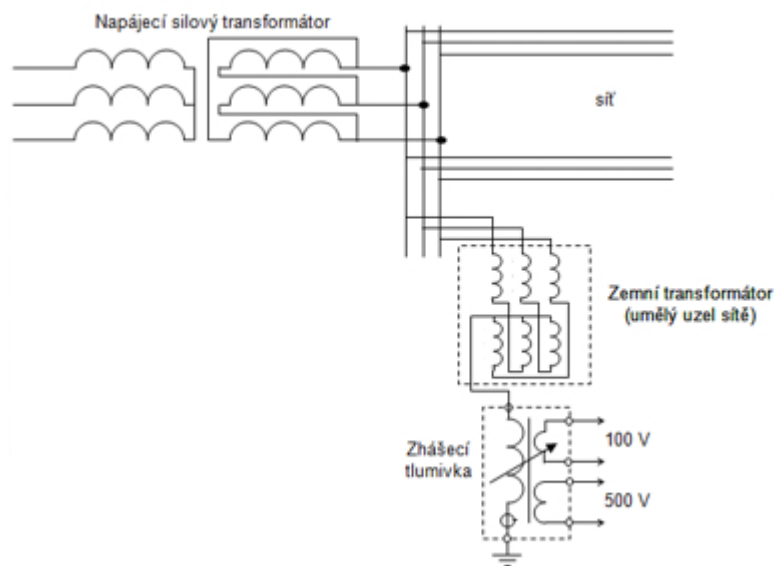
Petersonova cívka (zhášecí tlumivka) je nejpoužívanější způsob kompenzace proudu zemního spojení ve vn sítích v České republice. Při zemním spojení teče místem poruchy malý proud kapacitního charakteru, který se hůře vypíná než proud činného charakteru. Proto se používá zhášecí tlumivka, která po vyladění zajistí, že místem poruchy bude protékat převážně činný poruchový proud malé hodnoty (pouze několik % původní hodnoty), který má dobré samozhášecí vlastnosti. Se zemním

spojením lze síť poté dále provozovat až do nalezení poruchy. Obvykle jsou tyto Petersonovy cívky dimenzovány na provoz 30 min nebo 120 min. Díky kompenzaci zemního proudu je mnohem větší bezpečnost v místě zemní poruchy (malé dotykové a krokové napětí). [16]



Obr. 3.15 Petersonova cívka připojena k uzlu síťového napájecího transformátoru [17]

Bauchův transformátor se používá v případě, že transformátor, který napájí síť, nemá vyvedený uzel. V tomto případě se používá kombinace zemního transformátoru se zhášecí tlumivkou. Zemním transformátorem je vytvořen tzv. umělý uzel sítě, ke kterému je možné připojit zhášecí tlumivku.



Obr. 3.16 Petersonova cívka připojena k uměle vytvořenému uzlu sítě [17]

Zemní ochrany

V Česku se používají hlavně v sítích vn, protože tyto sítě jsou provozovány s izolovaným či neúčinně uzemněným uzlem zdroje. Zjištění vzniku zemního spojení je možné podle následujících jevů, kterými je doprovázeno: [1]

- a) výrazný pokles fázového napětí postižené fáze, případně až na nulu
- b) zvýšení fázových napětí ve zdravých nepostížených fázích přibližně na velikost sdruženého napětí
- c) vznik nulové složky napětí, tj. napětí mezi uzlem transformátoru a zemí, které může dosáhnout až fázové hodnoty napětí v bezporuchovém provozu
- d) vznik nulové složky proudu, jenž je třetina poruchového proudu tekoucí místem zemního spojení

Zemní ochrany se dělí na směrové a nesměrové zemní ochrany. Jejich vstupními vypínacími parametry jsou reziduální (zbytkový) zemní proud i_0 a nulová složka napětí u_0 . Měřený reziduální zemní proud je obvykle menší než celkový zemní proud i_{0c} , kterému se přibližně rovná pouze, pokud je měřen na koncovém vývodu vedení, na kterém došlo k zemnímu spojení. Směrem k napájecímu zdroji tohoto vedení pak měřená hodnota reziduálního proudu klesá. [18]

Nesměrové zemní ochrany fungují na principu napěťového relé, které působí při zvýšení nulové složky napětí. Pro zjištění nulové složky napětí je potřebné připojit k vedení jistící transformátor napětí, jehož sekundární napětí se zapojí do otevřeného trojúhelníku. Takto ale nezjistíme, na kterém vedení (vývodu) zemní spojení vzniklo. [1]

Směrové zemní ochrany využívají toho, že nulová složka zemního proudu teče za normálního stavu směrem do přípojníc, kdežto v případě zemního spojení teče ven z přípojníc. Směr toku nulové složky proudu se zjišťuje pomocí součinného měřicího členu, na jehož vstup přivádíme nulovou složku napětí a proudu. U nekompensovaných sítí se používá jalové relé měřící součin $u_0 \cdot i_0 \cdot \sin\varphi_0$. U kompenzovaných sítí je zbytkový proud velmi malý a má převážně činný charakter. Proto se používá wattové relé měřící součin $u_0 \cdot i_0 \cdot \cos\varphi_0$. [1]

3.2.3 Přepětí

Přepětíová ochrana je ochrana, která působí při vzrůstu napětí nad zadanou hodnotu. Může mít závislou, nezávislou nebo mžikovou charakteristiku. Charakteristiky jsou obdobné jako u nadproudových ochran s tím rozdílem, že na osu x vynášíme místo proudu napětí.

Ochranná jiskřiště vytvářejí po průrazu dielektrika přechodné zemní zkratové spojení. Snahou je však omezit procházející proud, což lze realizovat různým jiskřištěm, které má takový tvar, že dojde k rychlému prodloužení délky oblouku proudem horkého vzduchu a jeho definitivní přerušení při průchodu proudu nulou. Používají se často jako součásti izolátorů a přístrojů vn. Průrazná dráha vzduchu se posune od povrchu izolátoru, čímž je zabráněno zničení povrchu izolátoru tepelným účinkem oblouku. [3] [19]

Zemnicí lano je uzemněný nebo slabě izolovaný vodič, který je zpravidla umístěný nad fázovými vodiči vedení nebo elektrickou stanicí. Jeho hlavním úkolem je stínit fázové vodiče před přímým úderem blesku a snížit indukované přepětí. Zemnicí lano je umístěno na nejvyšším místě stožárů tak, aby vodiče chráněného vedení byly v prostoru vymezeném ochranným úhlem lana a spojuje se přímo nebo přes jiskřiště na více místech se zemí. Používá se pro napěťové hladiny 110 kV a výše. [3]

Výběhové lano je obdobou zemnicího lana pro napěťovou hladinu 35 kV. Není však použito na celé délce vedení, ale pouze 600 až 1000 m před rozvodnami. [3]

Ventilové bleskojistky na bázi SiC se skládají ze sériově řazených napěťově závislých odporů a sériově řazených jiskřišť. Výhodou je automatické zhášení následného proudu, který dosahuje řádově stovek ampérů. [3] [19]

Omezovače přepětí na bázi ZnO jsou dnes nejpoužívanější a nejúčinnější ochranou před atmosférickým přepětím. Napěťově závislé odpory na bázi ZnO zajišťují přibližně 100x menší následný proud (v řádu jednotek ampérů) než v případě bleskojistik na bázi SiC. Používají se bez sériově zapojených jiskřišť, což znamená, že jsou konstrukčně jednodušší, a proto také spolehlivější a mají delší životnost než bleskojistky na bázi SiC. [3] [19]

3.3 Automatiky opětného zapnutí

Pokud jsou použity, tak při poruše dojde k vypnutí a poté po určité nastavené době automatika opětného zapnutí provede jeden nebo více pokusů o opětné zapnutí. Takto lze odstranit přechodné poruchy na venkovních vedení, které tvoří 80 až 85 % poruch, čímž se zkracuje doba výpadku a zvyšuje stabilitu chodu elektrizační soustavy. [5]

Automatika opětného zapnutí je relé, které řídí proces automatického opětného zapnutí a zablokování střídavého vypínače. V číselném značení ANSI má číslo 79. Používá se velice často u vývodů venkovních vedení zvn, vvn a vn přenosové a distribuční soustavy. Opětné zapnutí je velmi důležitá funkce z důvodu stabilní dodávky elektrické energie. Většina zkratů na venkovním vedení je totiž krátkodobého charakteru. Jsou způsobeny např. úderem blesku do vedení, přeskokem, pádem větve. [1]

Takové zkraty můžeme dělit na:

I. Přechodný zkrat

V tomto případě po beznapěťové pauze porucha zmizí. Ochrana tedy zkrat vypne a poté dojde po nastaveném čase k pokusu o opětné zapnutí, po kterém se již porucha neprojeví. Jsou způsobeny např. náhodným přiblížením vodičů vlivem větru, atmosférickým přepětím apod. [1]

II. Semipermanentní zkrat

V tomto případě nezmizí porucha po první krátké beznapěťové pauze (1. opětné zapnutí bývá realizováno už po 0,2 až 0,3 s), a proto po prvním opětném zapnutí ochrana vedení vypne. Z toho důvodu se používá několikanásobného opětného zapnutí. Při semipermanentním zkratu tedy porucha zmizí až po několikanásobném vypnutí a zapnutí. Tomu odpovídá např. pád větve na vedení, větve položené na vedení pod tíhou sněhu, ptáci apod.. Větev po chvíli shoří a zkrat zmizí. Proto 2. pokus o opětné zapnutí bývá zpravidla

uskutečněn po delší beznapěťové pauze (cca 1 s) než při prvním pokusu. Při každém dalším pokusu se obvykle beznapěťová pauza dále prodlužuje. [1]

V případě trvalé poruchy po pokusu nebo pokusech o opětné zapnutí následuje definitivní vypnutí. Trvalá porucha musí být lokalizována a odstraněna, než dojde k dalšímu zapnutí. [5]

Spolupráce automatik opětného zapnutí a nadproudových ochran

Vedení vn je zpravidla chráněno před přetížením nadproudovou časově nezávislou ochranou se zpožděním 1 s a více. Ochrana před důsledky zkratů je realizována mžikovou nadproudovou ochranou nebo časově nezávislou nadproudovou ochranou s krátkým zpožděním (200 až 400 ms). Tyto ochrany však nedokáží rozpoznat, zda jde o krátkodobou nebo trvalou poruchu, což je důvod, proč jsou doplněny automatikou opětného zapínání. Nadproudové ochrany bývají s automatikou OZ sdruženy do jednoho terminálu. [20]

Působení OZ na více vedení současně

Rozdělení automatik OZ podle počtu vypínaných pólů:

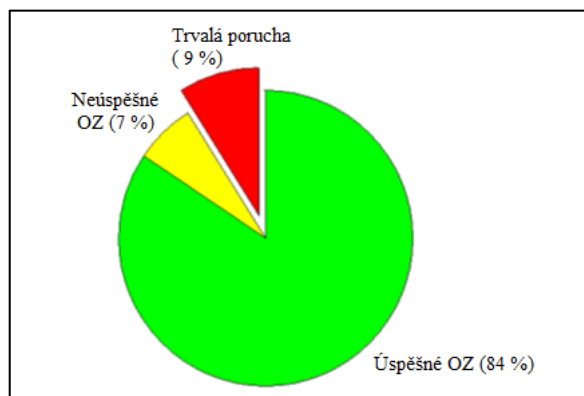
- a) Jednopolové
 - Vypínají pouze postiženou fázi.
 - Jsou velmi výhodné, protože většina zkratů je jednopólových.
- b) Trojpolové – vypínají všechny tři fáze

Nejčastěji dochází k poruše pouze na jedné fázi vedení, a proto není vhodné při krátkodobé poruše vypínat všechny 3 fáze najednou. Vypíná se obvykle pouze postižená fáze, poté proběhnou pokusy o opětné zapnutí a až následně se vypínají všechny 3 fáze. [20]

Podle statistických dat OZ ve středočeském kraji za období jednoho roku působilo OZ v 91 % pouze na 1 vedení. V 8 % případů však působilo OZ na 2 vedení současně. To však není způsobeno dvofázovým zkratem ani paralelní zkratem ve dvou fázích, ale nadproudem v nepostižené fázi, který vznikne při vypnutí postižené fáze. Tento nadproud může spustit cyklus OZ, pokud je OZ spouštěno nadproudovou ochranou proti přetížení. Tyto ochrany jsou totiž nastaveny na relativně nízké hodnoty nadproudů. Aby k tomu nedocházelo, tak by měla být automatika OZ spouštěna zkratovou ochranou. [20]

Úspěšnost působení automatik OZ

Za úspěšné působení se považuje, když je porucha krátkodobá a po opětném zapnutí dojde obnovení dodávky elektrické energie. Neúspěšné působení znamená to, že jsou všechny pokusy o opětné zapnutí neúspěšné, ale při pozdějším zapnutí dojde k obnovení dodávky. To znamená, že porucha byla krátkodobá, a přesto se jí nepodařilo odstranit pomocí automatiky OZ. To může být způsobeno například nastavením příliš krátké doby beznapěťové pauzy. Třetí situací jsou trvalé poruchy, při kterých automatika OZ neobnoví a ani nemá obnovit dodávku elektrické energie. Podle statistických dat ze dvou transformoven (Sedlčany a Příbram město) je v 84 % působení automatik OZ úspěšných, 7 % neúspěšných a v 9 % se jedná o trvalé poruchy (viz Obr. 3.17). Z toho vyplývá, že je opětné zapnutí je extrémně důležitá funkce. [20]



Obr. 3.17 Úspěšnost působení opětného zapínání [20]

Rozdělení automatik OZ podle cyklu:

- a) S jedním cyklem
 - Dojde k vypnutí, zapnutí a v případě trvání zkratu definitivní vypnutí
 - Vhodné pro přechodné zkraty
- b) S vícenásobným cyklem
 - Dojde k vícenásobnému vypnutí a zapnutí před definitivním vypnutím

Dopínání

Po neúspěšném cyklu automatiky OZ se někdy používá tzv. dopínání, kdy je celý cyklus po době 0,5 až 3 minut spuštěn znovu. V některém případech po této době už porucha zmizí a zapnutí vedení je úspěšné. [1]

3.4 Určení místa poruchy

Zejména v případě dlouhých venkovních vedení vvn a zvn je velmi užitečné znát co nejpřesněji místo poruchy. Servisní tým, který je vyslaný poruchu odstranit ji poté nemusí pracně hledat např. za pomoci vrtulníku, ale může se vydat přesně na dané místo. Funkce určení místa poruchy neboli funkce lokátoru poruch se používá jak k určení místa zemních poruch, tak k určení místa zkratů mezi fázemi. Lokátor poruch se v případě zemních poruch používá hlavně v účinně uzemněných sítích. Je to z toho důvodu, že v izolovaných sítích teče v případě zemního spojení pouze malý proud kapacitního charakteru, což komplikuje lokalizaci poruchy. V České republice jsou izolovanými sítěmi převážně distribuční sítě vn. Zato průmyslové sítě vn bývají často uzemněné přes odpor omezující zemní poruchový proud na hodnotu okolo 400 A, čímž je eliminován vznik nebezpečných přerušovaných zemních spojení. [14]

Podrobněji je tato problematika rozebrána v kapitole 4.6.

4 Popis ochrany REF630

4.1 Popis výrobku

IED REF630 (IED = Inteligentní elektronické zařízení) je určeno pro chránění, ovládání, měření a monitorování vývodů distribučních rozveden energetických společností i průmyslových podniků. REF630 je jedním z výrobků produktové skupiny Relion® firmy ABB a zároveň je i součástí produktové řady 630, která je charakterizována funkční všestranností a flexibilní konfigurovatelností. IED REF630 je také vybaveno potřebnými ovládacími funkcemi, které vytvářejí základ ideálního řešení pro řízení pole vývodu. Ochrana podporuje celosvětově používaný komunikační protokol IEC 61850. [4]



Obr. 4.1 Ochrana REF630

4.2 Aplikace

IED REF630 zajišťuje hlavní chránění venkovních vedení a kabelových vývodů v distribučních sítích. IED je vhodné pro aplikace v sítích s izolovaným nulovým bodem i pro neúčinně (odporově nebo impedančně) uzemněné sítě, což v našich podmínkách odpovídá sítím vn. K dispozici jsou čtyři předdefinované konfigurace, které vyhovují typickým požadavkům na chránění a ovládání vývodů. Předdefinované konfigurace je možné použít tak, jak jsou navrženy, ale také je lze snadno přizpůsobit dané aplikaci, nebo je lze rozšířit o volně volitelné doplňkové funkce. Těmito funkcemi je možné IED

přesně 'vyladit' a konfigurovat tak, aby splňovalo specifické požadavky vaší aktuální aplikace. Doplnková funkce regulace napětí je jedním z příkladů přídavných funkcí. [4]

4.3 Zvolená předkonfigurovaná verze IED

IED řady 630 jsou nabízena s volitelnými a ve výrobním závodě nastavenými předkonfigurovanými verzemi, které jsou určeny pro různá aplikační použití. Tyto předkonfigurované verze mají menší nároky na inženýring IED a jejich uvedení do provozu je rychlejší. Nastavené konfigurace obsahují standardní funkce obvykle použité a potřebné pro specifické aplikace. Každou předkonfigurovanou verzi IED lze upravit prostřednictvím softwaru PCM600 (Protection and Control IED Manager). Přizpůsobením příslušné předkonfigurované verze je možné IED konfigurovat tak, aby vyhovělo dané aplikaci. [4]

Tato úprava předkonfigurované verze IED může podle požadavků specifické aplikace zahrnovat doplnění nebo zrušení ochranných, ovládacích nebo i jiných funkcí, změnu standardního nastavení parametrů, změnu konfigurace standardně definovaných výstrah (alarmů) i změnu nastavení zapisovače změnových stavů (událostí), včetně změn textů zobrazených na rozhraní LHMI, změnu konfigurace indikačních LED diod a funkčních tlačítek i modifikaci standardního jednopólového schématu. [4]

Změna předkonfigurované verze zařízení musí také vždy zahrnovat i komunikační inženýring, kterým je provedena úprava komunikace podle skutečné funkčnosti IED. Komunikační inženýring je prováděn konfigurací komunikačních funkcí softwaru PCM600. [4]

Tab. 4.1 Zvolená předkonfigurovatelná verze REF630

REF630 konfigurace: UBFNABBBBBZAZNBXC		
U	Řada IED a typ skříně:	IED řady 630, skříň 4U, polovina 19" a sada konektorů
B	Standard	IEC
F	Hlavní aplikace	Chránění a ovládání vývodu
N	Funkční aplikace, předkonfigurované verze:	Bez definované konfigurace
A	Konfigurace analogových vstupů	4 I (I0 - 1/5 A) + 1 I (I0 - 0,1/0,5 A) + 4 U
B		
A	Konfigurace binárních vstupů	23 BI + 18 BO
B		
B	Komunikační moduly (Sériová komunikace)	Sériové rozhraní pro plastové optické vlákno (zásuvný konektor)
B	Komunikační moduly (Ethernetová komunikace)	Ethernet 100Base-TX (RJ-45 konektor)
B	Komunikace (Protokol)	Protokol IEC 61850 a DNP3
Z	Jazyk	Angličtina a čínština
A	Čelní panel	Integrované rozhraní místního ovládání LHMI 1)
Z	Doplňkové vybavení 1 (Opce 1)	Všechny doplňkové funkce
N	Doplňkové vybavení 2 (Opce 2)	Bez doplňkového vybavení
B	Napájení	Napájení 110 – 250 V ss, 100 – 240 V st
X	Vyhrazeno (volné číslo kódu)	Nedefinováno
C	Verze	Verze 1.2

4.4 Ochranné funkce

Zkratová a nadproudová ochrana (ANSI 46, 50, 51, 67)

IED nabízí selektivní zkratové a nadproudové chránění včetně třífázové nesměrové nadproudové ochrany (50, 51) se čtyřmi nezávislými stupni a třífázové směrové nadproudové ochrany (67) se třemi nezávislými stupni. Nadproudová ochrana s dvěma nezávislými stupni, která vyhodnocuje zpětnou složku proudu (46), se využívá pro chránění při nesymetrických zatížení fází systému. IED také nabízí ochranu při fázové nevyváženosti. [4]

Tepelná ochrana (ANSI 49F)

Vestavěná ochranná funkce proti tepelnému přetížení využívá tepelné modely vhodné pro venkovní vedení a kabely. [4]

Detekce zapínacího proudu (ANSI 68)

IED je dále vybaveno třífázovou funkcí detekce zapínacího proudu, která je určena pro blokování zvolených stupňů nadproudových ochran nebo pro zvýšení nastavených hodnot těchto stupňů. [4]

Zemní ochrana (ANSI 50N, 51N, 67N, 32N, 21YN)

Další výbavou IED je selektivní zemní ochrana a ochrana pro dvoufázové zemní poruchy, které jsou určeny pro systémy s izolovaným nulovým bodem, pro odporové a impedančně uzemněné systémy i pro účinně uzemněné sítě. Chránění proti zemním poruchám je zajištěno nesměrovou zemní ochranou se čtyřmi nezávislými stupni (50N, 51N) a směrovou zemní ochranou se třemi nezávislými stupni (67N). Kromě klasických zemních ochran nabízí i zemní wattmetrickou ochranu (32N) a zemní admitanční ochranu (21YN). [5]

Implementovaná ochrana přechodné a přerušované zemní poruchy funguje na bázi detekce přechodových jevů při zemních poruchách, které souvisejí s trvalými nebo přerušovanými poruchami. [5]

Přepětová ochrana se třemi nezávislými stupni, která vyhodnocuje nulovou složku napětí, se využívá pro chránění při zemních poruchách na přípojnicích rozvodny, na přívodu do rozvodny a jako záložní ochrana vývodů. [5]

Distanční ochrana (ANSI 21)

V nabídce IED je i distanční ochrana, která je vybavena jak zónovými kruhovými (MHO) charakteristikami, tak i zónovými čtyřúhelníkovými charakteristikami. Distanční ochrana má tři nezávislé zóny se samostatně nastavitelnými dosahy měřících členů mezifázových i zemních poruch a dvě zóny pro řízení funkce automatického opětného zapnutí vypínače. IED také obsahuje logiku automatiky zapnutí do poruchy, u které je možnost zvolit princip detekce poruchy na bázi vyhodnocení napětí a proudu. [4]

Napětíová ochrana (ANSI 27, 47, 59)

Ve výbavě IED nalezneme napětíové ochranné funkce, například třífázovou podpětíovou (27) i přepětíovou (47, 59) ochranu, každou s třemi nezávislými stupni a s měřením jak sdruženého, tak i fázového napětí. [4]

Frekvenční ochrana (ANSI 81)

Nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana se také nachází v IED, dále také ochrana vyhodnocující rychlost změny frekvence, můžeme je použít v logikách funkce odpínání zátěže a v aplikacích opětného obnovení provozního stavu sítě. [4]

Automatika opětného zapnutí (ANSI 79)

Další funkcí IED je trojpólové vícenásobné automatické opětné zapnutí určené pro vývody venkovních vedení. Tato funkce může být použita v kombinaci s každým vypínačem vhodným k opětnému zapínání. To znamená, že použitý vypínač nemůže mít pružinový strádačový mechanismus, který by neumožňoval několikanásobné vypnutí v krátkém časovém intervalu. Funkce poskytuje až pět programovatelných pokusů o opětné zapnutí požadovaného typu a trvání. Například jedno velmi rychlé a jedno zpožděné opětné zapnutí. [4]

Ochrana při selhání vypínače (ANSI 51BF, 51NBF)

Pro případ selhání vypínače je IED vybavena ochrannou funkcí, která při selhání vypínače pošle opětovný příkaz k vypnutí daného vypínače nebo k záložnímu vypnutí nadřazeného vypínače. [4]

4.5 Ovládání

IED je vybaveno funkcemi pro místní i dálkové ovládání a současně nabízí značný počet volně konfigurovatelných binárních vstupů / výstupů a logických obvodů, které umožňují vytvářet funkce ovládání pole rozvodny i funkce blokovacích podmínek pro vypínače a pohony ovládané spínače – odpojovače. IED podporuje ovládání pole rozvodny v uspořádání jak s jednoduchou přípojnicí, tak i s dvojitou přípojnicí. Počet ovladatelných primárních prvků je závislý na počtu dostupných vstupů a výstupů v navolené konfiguraci IED. Pro výměnu signálů mezi jednotlivými IED lze kromě možnosti obvyklého propojení signálů vodiči také použít systém přenosu zpráv GOOSE podle standardu IEC 61850-8-1, a tímto způsobem realizovat požadované blokovací podmínky ovládání. [4]

IED je navíc vybaveno funkcí kontroly synchronního stavu (Synchrocheck), která kontroluje, zda hodnoty napětí, fázového úhlu i frekvence na obou stranách spínaného prvku splňují definované podmínky pro bezpečné spínání dvou sítí. [4]

4.6 Měřicí funkce

IED trvale měří fázové proudy, a to jejich souslednou, zpětnou i nulovou složku. IED současně měří i fázová nebo sdružená napětí a opět jejich souslednou, zpětnou i nulovou složku. IED kromě toho monitoruje činný, jalový i zdánlivý výkon, účinnost, hodnotu odběru (spotřeby) energie za časový interval, který je volitelný a přednastavený uživatelem, stejně jako narůstající celkovou spotřebu činné a jalové energie v obou směrech. IED také počítá hodnoty frekvence a teploty vedení i hodnotu fázové nesymetrie na bázi poměru mezi zpětnou složkou proudu a souslednou složkou proudu. [5]

Výpočty celkové i průměrné spotřeby jsou ukládány v energeticky nezávislé paměti IED. [5]

Měřené hodnoty jsou dostupné místně prostřednictvím uživatelského rozhraní na čelním panelu IED, nebo dálkově prostřednictvím komunikačního rozhraní IED. Místní i dálkový přístup k těmto hodnotám je také možný prostřednictvím uživatelského rozhraní, které pracuje na bázi internetového prohlížeče. [5]

4.7 Analogové vstupy a výstupy

IED REF630 umístěné v laboratoři VŠB má konfiguraci se 3 vstupy pro fázové proudy a jedním vstupem pro nulový proud, který je určen pro zemní ochranu. IED má vždy 1 vstup pro měření nulové složky napětí, který je určen pro zemní směrovou ochranu nebo pro ochranu vyhodnocující nulovou složku napětí. IED má dále 3 vstupy pro fázová napětí, které jsou určeny pro přepětovou a podpětovou ochranu i ostatní napětěvé ochranné funkce. Podle zvolené HW konfigurace je IED také vybaveno jedním napětěvým vstupem vyhrazeným pro funkci kontroly synchronního stavu (Synchrocheck). [5]

Vstupy pro fázové proudy mají jmenovitou hodnotu 1 / 5 A. IED je vybaveno jedním vstupem nebo dvěma vstupy pro nulový proud ve dvou alternativách, s jmenovitou hodnotou 1 / 5 A nebo 0,1 / 0,5 A. Vstup s rozsahem 0,1 / 0,5 A je obvykle použit v aplikacích, kde je požadována citlivá zemní ochrana a kde je k dispozici součtový transformátor proudu. [5]

Vstupy pro měření tří fázových napětí (s možností připojení jak fázového, tak i sdruženého napětí) a vstupy pro měření nulové složky napětí mají rozsah, který pokrývá hodnoty jmenovitých napětí 100 V, 110 V, 115 V a 120 V. Jmenovité hodnoty proudových i napěťových vstupů jsou navoleny v SW vybavení IED. [5]

4.8 Binární vstupy a výstupy

Zvolená verze IED REF630 obsahuje 23 binárních vstupů a 18 binárních výstupů. Všechny binární vstupy a výstupní kontakty IED jsou volně konfigurovatelné pomocí signálové matice (Signal Matrix), která je součástí aplikační konfigurační funkce v softwaru

PCM600. [5]

Tab. 4.2 Binární vstupy a výstupy [5]

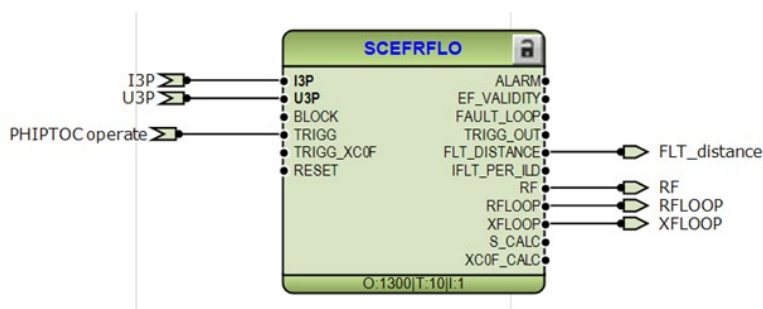
Popis	Hodnota
Provozní rozsah	Maximální vstupní napětí 300 V ss
Jmenovité napětí	24...250 V ss
Proudová spotřeba	1,6...1,8 mA
Výkonová spotřeba / vstup	<0,3 W
Prahová úroveň napětí	15...221 V ss (parametrizovatelné v daném rozsahu v krocích po 1% jmenovitého napětí)
Přesnost prahové úrovně napětí	±3,0%

4.9 Funkční bloky

Každá ochranná funkce má svůj funkční blok, který je nutné vložit do konfigurace aplikace (Application Configuration) v softwaru PCM600, aby mohla být funkce aktivní. Tyto funkční bloky mají vstupy a výstupy, kterými je lze propojovat. Signály, které vedou z bloků lze libovolně pojmenovávat a tvořit tzv. výstupní signály. Vstupní signály jsou ty, které vedou do bloků musí být pojmenovány stejně jako výstupní signály.

Na některé vstupy do funkčních bloků je nutné napojit vstupní signály, jinak daný funkční blok a tím pádem i ochranná funkce nebude aktivní. Tyto vstupy jsou označeny tučně. Použití ostatních vstupů je volitelné. Stejně to platí i pro výstupy funkčních bloků.

Svůj funkční blok mají i jiné než ochranné funkce (např. měřicí funkce). Mají jej také např. logické operátory.



Obr. 4.2 Příklad funkčního bloku

4.10 Poruchový zapisovač (Disturbance recorder)

V IED je integrován poruchový zapisovač s 40 analogovými kanály a 64 kanály binárních signálů. Analogové kanály je možné nastavit např. pro záznam průběhů měřených proudů a měřeného napětí. Všechny průběhy analogových a binárních signálů, které jsou připojeny do funkčních bloků poruchového zapisovače (viz Obr. 5.7), je možné stáhnout do počítače. Průběhy lze poté pomocí softwaru PCM600 nebo Wavewin zobrazit.

Analogové kanály lze nastavit tak, že spouštějí záznam v okamžiku, kdy měřená hodnota klesne pod nastavenou hodnotu, případně překročí nastavenou hodnotu. Kanály binárních signálů je možné nastavit tak, že záznam spouštějí náběžnou hranou nebo sestupnou hranou binárního signálu. Binární kanály jsou určeny a nastaveny pro záznam externích nebo interních signálů IED, například pro záznam popudových nebo vypínacích signálů ochranných funkcí nebo pro záznam externích blokovacích, případně ovládacích signálů. [5]

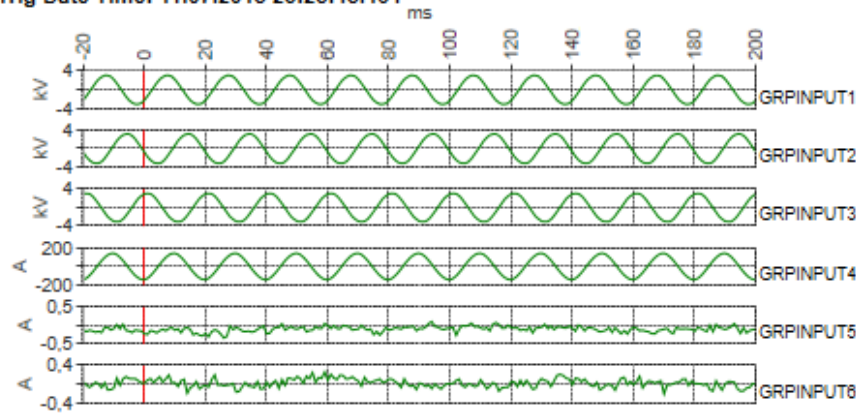
Nastavení poruchového zapisovače obsahuje parametr doby záznamu před spuštěním zapisovače i parametr doby záznamu po spuštění zapisovače. V paměti poruchového zapisovače je možné uložit až 100 záznamů. Počet záznamů je závislý na délce záznamu a na počtu monitorovaných signálů, takže skutečný počet záznamů se může od výše uvedeného počtu lišit. Poruchový zapisovač ovládá (aktivuje) LED diody ‘Start‘ (Popud) a ‘Trip‘ (Působení) na čelním panelu ochrany. Zaznamenané informace jsou uloženy v energeticky nezávislé paměti a tyto informace je možné načíst a použít při následné analýze poruchy. [5]

Zpracování záznamu poruch (Disturbance handling)

Zpracování záznamu poruch je možné v softwaru PCM600 po stažení dat z ochrany. To je typicky realizováno přes Ethernetové spojení. Přímo software PCM600 umí také data zjednodušeně zobrazovat v tzv. krátké zprávy o poruše (Short disturbance report) viz Obr. 4.3 . Pro pokročilejší práci s naměřenými daty je třeba otevřít záznam v softwaru Wavewin viz Obr. 5.8.

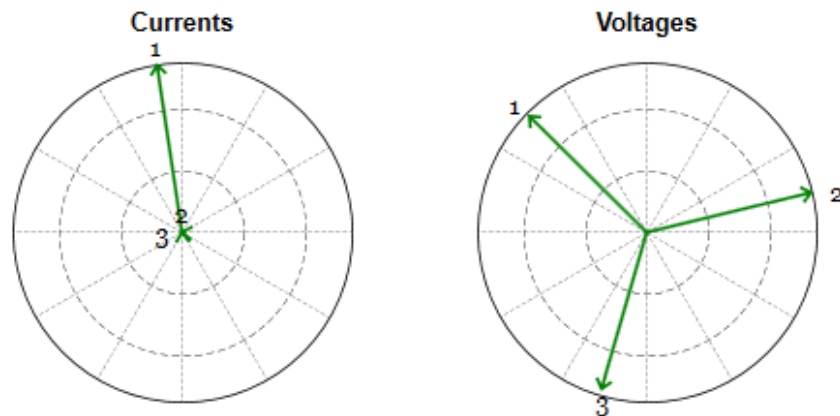
Analog Time Diagram

Trig Date Time: 11.07.2015 23:25:45.464



Vector Diagrams

Calculation Time Period : 0 ms to 19 ms



No.	Name	RMS	Angle	No.	Name	RMS	Angle
1	GRPINPUT4	99,456(A)	98,5°	1	GRPINPUT1	2222,286(V)	135,3°
2	GRPINPUT5	0,174(A)	99,3°	2	GRPINPUT2	2271,784(V)	13,6°
3	GRPINPUT6	0,098(A)	169,0°	3	GRPINPUT3	2186,216(V)	253,9°

Obr. 4.3 Krátká zpráva o poruše

4.11 Funkce určení místa poruchy

IED obsahuje funkci měřící impedanci, která je navržena pro určení místa poruchy. Takto je možné v účinně nebo odporově uzemněných sítích lokalizovat zkraty. Lokalizace zemních spojení v izolovaných sítích je možná, ale pouze v případě, že je poruchový proud stejný nebo vyšší než hodnota proudu zátěže. Funkce identifikuje typ poruchy, vzdálenost k poruše a možnou příčinu poruchy (na základě výpočtu přibližného odporu poruchy). [4]

Výpočet vzdálenosti do místa poruchy

Výpočet probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku je určen typ poruchy pomocí vestavěné funkce Phase Selection Logic (PSL). V druhém kroku je vypočtena samotná vzdálenost do místa poruchy. Výpočet vzdálenosti je založen na měření proudu a napětí. Pro plnou funkčnost je potřebné, aby byly měřeny proudy a napětí ve všech třech fázích. Z napětí a proudu je vypočten činný odpor

a reaktance poruchové smyčky. Následně je vypočtena vzdálenost do místa poruchy z reaktance vedení bez poruchy na jednotku délky a z naměřené hodnoty poruchové reaktance vedení. Vztah pro výpočet je následující: [5]

$$l = \frac{X_v}{X_k} \quad (\text{km}) \quad (4.1)$$

X_v – reaktance poruchové smyčky vedení (Ω)

X_k – reaktance vedení bez poruchy na jednotku délky (Ω / km)

Spuštění funkce lokátoru poruch

Spuštění může být externí, interní nebo průběžné. Externí spuštění znamená spuštění signálem, který je připojen na vstup TRIGG funkčního bloku lokátoru poruch. Naopak při interním spuštění není tento vstup použitý a funkce se spouští sama díky vestavěné logice PSL. Toto spuštění lze blokovat vstupním signálem BLOCK. Volba průběžného spuštění se používá pouze pro testovací účely. [5]

Určení typu poruchy

Určení postižených fází je nutné pro správnou funkci lokátoru poruch. Je to tak proto, že pouze jedna poruchová smyčka poskytuje správné výsledky pro danou poruchu. Jedinou výjimkou je třífázový zkrat, při kterém lze počítat s jakoukoliv poruchovou smyčkou. [5]

Tab. 4.3 Poruchové smyčky pro výpočet vzdálenosti do místa poruchy [5]

Fault type	Description	Output FAULT_LOOP
Phase A to Gnd	Phase A-to-earth fault	1
Phase B to Gnd	Phase B-to-earth fault	2
Phase C to Gnd	Phase C-to-earth fault	3
Phase A to B	Phase A-to-B short circuit fault	4
Phase B to C	Phase B-to-C short circuit fault	5
Phase C to A	Phase C-to-A short circuit fault	6
Three phase	Three-phase short circuit	7

Poruchová smyčka, která byla použita při výpočtu vzdálenosti do místa poruchy je indikována číslem 1 až 7 na výstupním signálu "FAULT_LOOP" funkčního bloku. [5]

Určení typu poruchy není třeba nijak nastavovat, je třeba pouze zadat maximální impedanci zatížené fáze "Z Max phase load" pro rozlišení trojfázové poruchy od velké symetrické zátěže. Tento parametr lze vypočítat následovně: [5]

$$Z_{\text{Max phase load}} = 0.8 \cdot \left(\frac{U_f^2}{S_{\text{max}}} \right) \quad (4.2)$$

kde: U_f – jmenovité fázové napětí

S_{max} – maximální třífázová zátěž

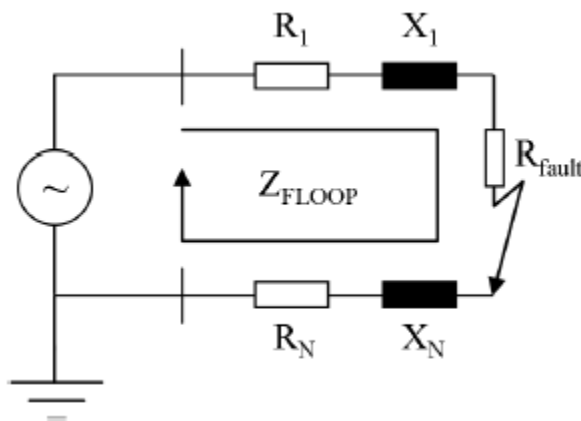
Při jednofázové zemní poruše ochrana vypočte odpor poruchové smyčky, reaktance poruchové smyčky a odpor poruchy. Ochrana při výpočtu vychází z následujících rovnic: [5]

$$R_{\text{FLOOP}} = R_1 + R_N + R_{\text{FAULT}} = R_v \quad (4.3)$$

$$X_{\text{FLOOP}} = X_1 + X_N = X_v \quad (4.4)$$

$$R_F = R_{\text{FAULT}} \quad (4.5)$$

kde: R_{FLOOP} – odpor poruchové smyčky
 X_{FLOOP} – reaktance poruchové smyčky
 R_F – odpor poruchy



Obr. 4.4 Impedance poruchové smyčky při jednofázové zemní poruše [5]

Čas před poruchou

Je to doba před vznikem poruchy, po kterou lokátor poruch využívá měřená data pro výpočet. Při výpočtu vzdálenosti do místa poruchy u jednofázových zkratů a jednofázových zemních spojení je potřebné nastavit tuto dobu vyšší než u ostatních typů poruch. [5]

Svodový odpor a kapacitní reaktance

V případě zemního spojení je pro správný výpočet vzdálenosti do místa poruchy nutné zadat také hodnotu svodového odporu jedné fáze a kapacitní reaktanci jedné fáze. [5]

Nastavení parametrů vedení

Pro trojfázové a dvojfázové zkraty je klíčovou hodnotou pro výpočet vzdálenosti do místa poruchy sousledná složka reaktance na jednotku délky, která se nastaví podle parametrů chráněného vedení. Pro jednofázové a dvojfázové zemní poruchy je kromě sousledné složky reaktance klíčové zadat korektně i nulovou složku reaktance na jednotku délky. Činný odpor na jednotku délky ovlivňuje výpočet vzdálenosti do místa poruchy jen málo. Tento parametr je důležitý hlavně pro správné určení odporu poruchy a odporu vedení do místa poruchy. [5]

Dalším parametrem, který lze nastavit je délka vedení. Tento parametr není moc důležitý, pokud není vedení tvořeno více sekcemi (úseky) s různými vodiči. V případě, že je vedení rozděleno na více sekcí, tak je třeba u každého úseku zadat délku vedení. Nastavení umožňuje zadat parametry pro 3 sekce vedení.

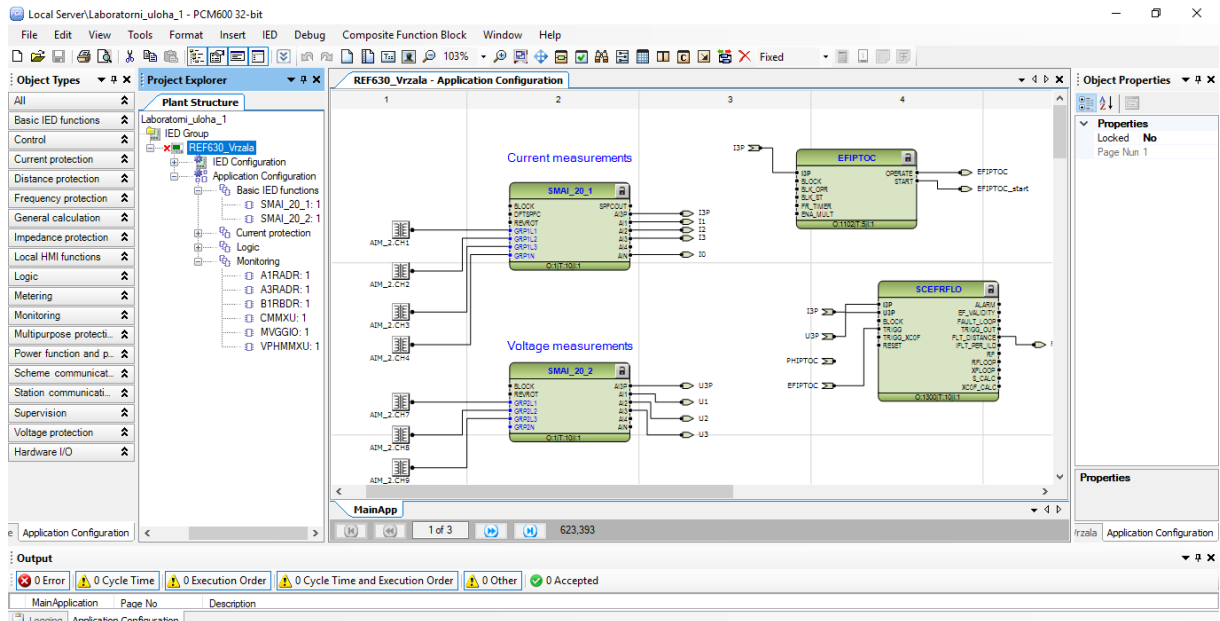
Tab. 4.4 Základní nastavení funkce lokátoru poruch [5]

Tabulka 38. Hlavní nastavení funkce lokátoru poruchy (SCEFRFLO)

Parametr	Funkce	Hodnota (rozsah)	Krok
Měření fázového napětí (Phase voltage Meas)	SCEFRFLO	Accurate PP without Uo (Přesné fázové nap.) (Mezifáz. nap. bez Uo)	-
Režim spuštění výpočtu (Calculation Trg mode)	SCEFRFLO	External Internal Continuous (Externí) (Interní) (Trvale aktivní)	-
Čas před poruchou (Pre fault time)	SCEFRFLO	0,100...300,000 s	0,001
Max. impedance zatížené fáze (Z Max phase load)	SCEFRFLO	1,00...10000,00 Ω	0,01
Svodový odpor 1 fáze (Ph leakage Ris)	SCEFRFLO	1...1000000 Ω	1
Kapacitní reaktance 1 fáze (Ph capacitive React)	SCEFRFLO	1...1000000 Ω	1
Sousledná složka odporu R1 sekce A vedení (R1 line section A)	SCEFRFLO	0,001...1000,000 Ω / p.j.	0,001
Sousledná složka reaktance X1 sekce A vedení (X1 line section A)	SCEFRFLO	0,001...1000,000 Ω / p.j.	0,001
Nulová složka odporu R0 sekce A vedení (R0 line section A)	SCEFRFLO	0,001...1000,000 Ω / p.j.	0,001
Nulová složka reaktance X0 sekce A vedení (X0 line section A)	SCEFRFLO	0,001...1000,000 Ω / p.j.	0,001
Délka sekce A vedení (Line Len section A)	SCEFRFLO	0,001...1000,000 p.j.	0,001

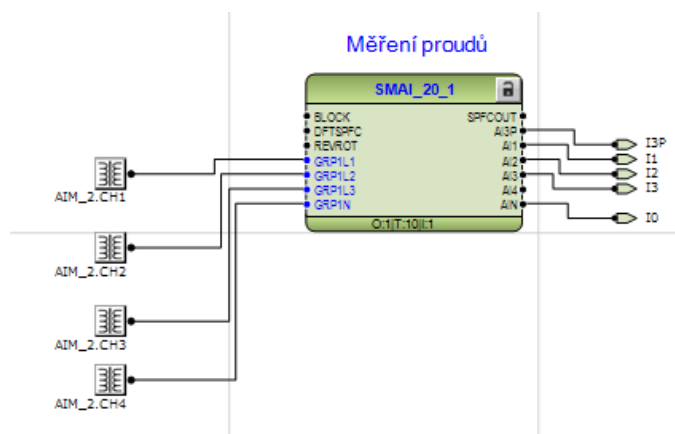
5 Nastavení ochrany REF630

K nastavení ochrany REF630 jsem použil software PCM600 od výrobce ochrany ABB. Parametry ochrany lze nastavit také lokálně přímo na ochraně pomocí LHMI nebo připojením k ochraně na bázi webového prohlížeče. Tyto možnosti, ale neumožňují nastavení všech parametrů a konfiguraci grafického displeje nebo konfiguraci aplikace (Application Configuration).



Obr. 5.1 Ukázka uživatelského prostředí softwaru PCM600

5.1 Funkční blok pro měření proudů

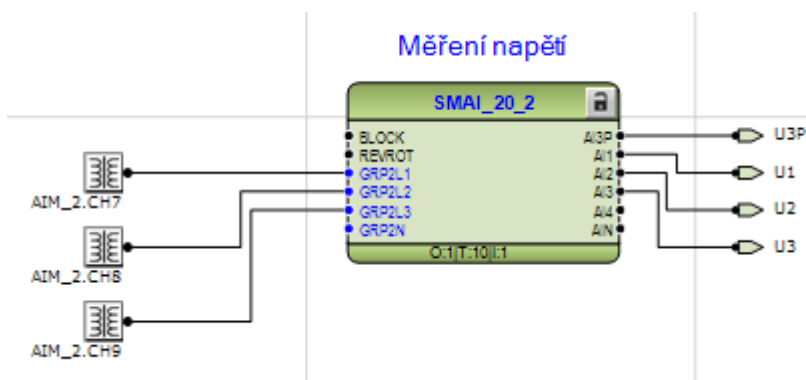


Obr. 5.2 Funkční blok pro měření proudů SMAI_20_1

Na Obr. 5.2 lze vidět zapojení funkčního bloku pro měření proudů. Na jeho vstupy jsou přivedeny analogové vstupy měřící tři fázové proudy a nulový proud. Výstup I3P sdružuje do jedné skupiny všechny analogové vstupy přivedené do tohoto funkčního bloku a dále se používá jako vstup

funkčních bloků ochranných funkcí, které potřebují ke své funkci měřené proudy (např. nadproudové ochranné funkce, ale také lokátor poruch). Výstupy A/1, A/3, A/4, A/N jsou napojeny do funkčního bloku zapisovače poruch, aby bylo možné zpracovávat průběhy těchto proudů v počítači.

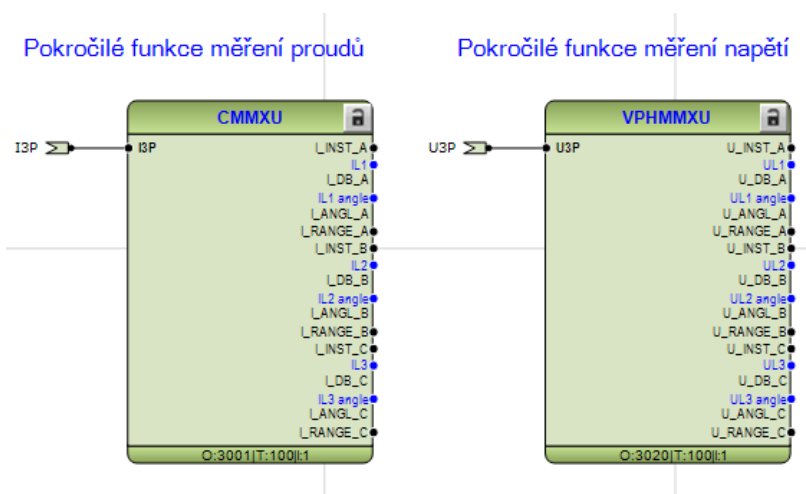
5.2 Funkční blok pro měření napětí



Obr. 5.3 Funkční blok pro měření napětí SMAI_20_2

Na Obr. 5.3 lze vidět zapojení funkčního bloku pro měření napětí. Na jeho vstupy jsou přivedeny analogové vstupy měřící tři fázová napětí. Výstup U3P sdružuje do jedné skupiny všechny analogové vstupy přivedené do tohoto funkčního bloku a dále se používá jako vstup funkčních bloků ochranných funkcí, které potřebují ke své funkci měřená napětí (např. lokátor poruch). Výstupy A/1, A/3, A/4 jsou napojeny do funkčního bloku zapisovače poruch, aby bylo možné zpracovávat průběhy těchto napětí v počítači.

5.3 Pokročilé funkce měření proudů a napětí



Obr. 5.4 Funkční blok pro pokročilé měření proudů a napětí

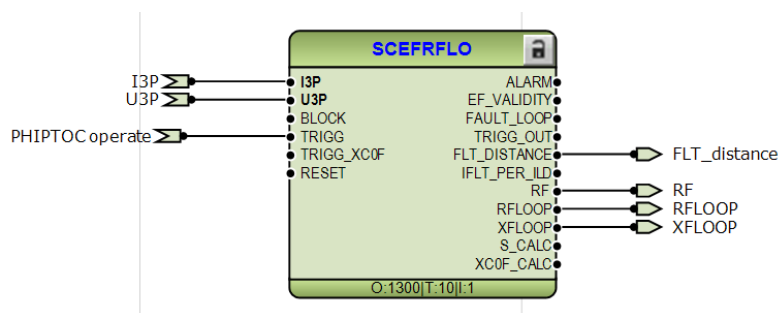
Funkční bloky CMXXU a VPHMMXU je nutné použít pro pokročilé funkce jako např. zobrazení měřené veličiny na grafickém displeji ochrany nebo pro pokročilá nastavení jako například

nastavení limitů, jejichž překročení bude signalizováno (k tomu slouží např. výstup I_RANGE_A). Výše uvedené funkční bloky SMAI_20_1 a SMAI_20_2 tato nastavení a funkce totiž neposkytují.

Další funkcí navíc je zaznamenávání hodnot, u něhož lze volit jeden ze tří způsobů zaznamenávání:

- Cyklické – měřená hodnota je zaznamenána vždy po uplynutí zadaného času
- Podle amplitudové šířky pásma – měřená hodnota je zaznamenána vždy při překročení zadané hodnoty šířky pásma (měřená hodnota klesne nebo vzroste oproti naposledy zaznamenané hodnotě o zadanou hodnotu)
- Podle integrální šířky pásma – měřená hodnota je zaznamenána vždy při překročení zadané hodnoty časového integrálu všech změn oproti naposledy zaznamenané hodnotě

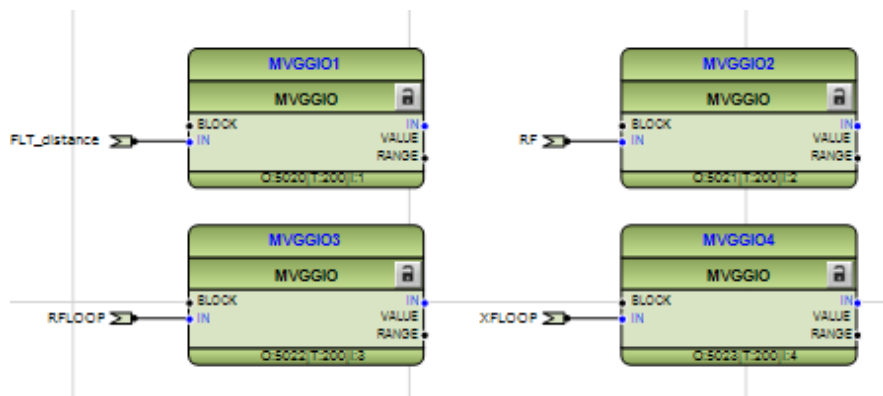
5.4 Funkční blok pro lokátor poruch



Obr. 5.5 Funkční blok lokátoru poruch SCEFRFLO

Tento funkční blok zajišťuje měření vzdálenosti do místa poruchy. Na vstupy je nutné přivést skupinové signály I3P a U3P, což jsou výstupy z měřících funkčních bloků. Dále je obvykle nutné na spouštěcí vstup "TRIGG" přivést signál o vybavení ochranné funkce (v tomto případě mžikové nadproudové ochrany). Výstupy není nutné použít žádné, protože všechny měřené veličiny lze zobrazit přímo na ochraně, ale vede k nim velmi složitá cesta skrze menu. Pro zobrazení těchto veličin přímo na úvodním grafickém displeji na ochraně je však nutné tyto výstupy přivést na vstupy funkčních bloků MVGGIO. Poté se signály objeví v seznamu položek, které lze zobrazit na grafickém displeji. Pro uložení měřených veličin do zapisovače poruch "Disturbance Recorder" je rovněž nutné přivést příslušné signály do funkčního bloku A3RADR.

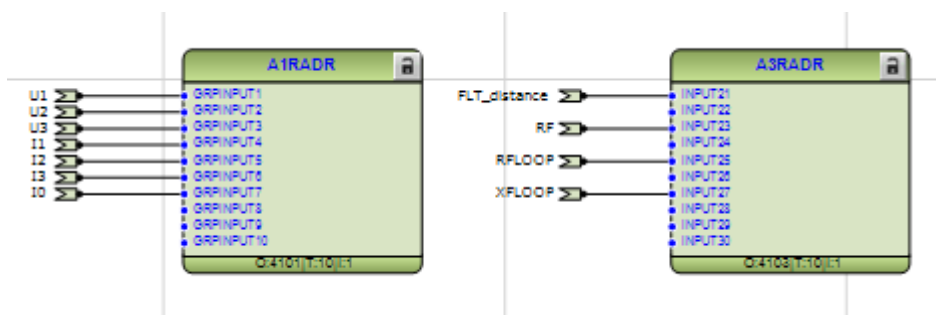
5.5 Zobrazení vypočtených veličin na grafickém displeji



Obr. 5.6 Funkční bloky MVGGIO

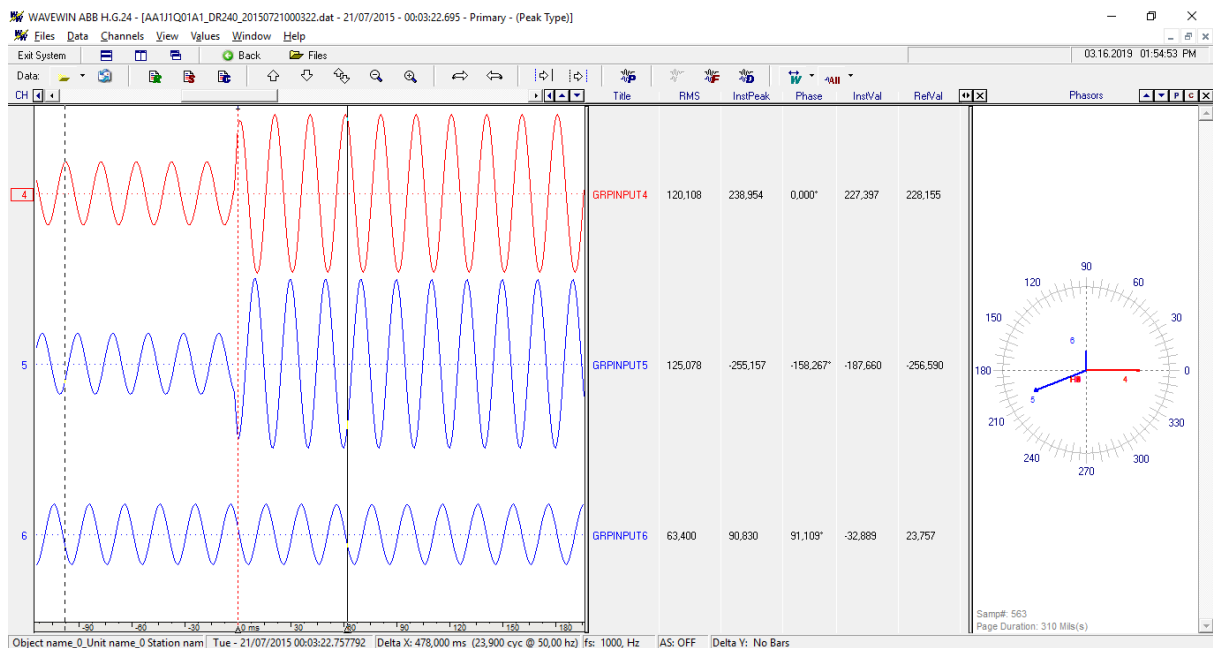
Tyto funkční bloky byly použity pro zobrazení vypočtených veličin lokátoru poruch přímo na grafickém displeji ochrany REF630. Zároveň je možné tento funkční blok použít pro odeslání analogového signálu pomocí komunikačního protokolu IEC61850 do jiných systémů či přístrojů rozvodny.

5.6 Zaznamenání průběhu měřených a vypočtených veličin pomocí poruchového zapisovače



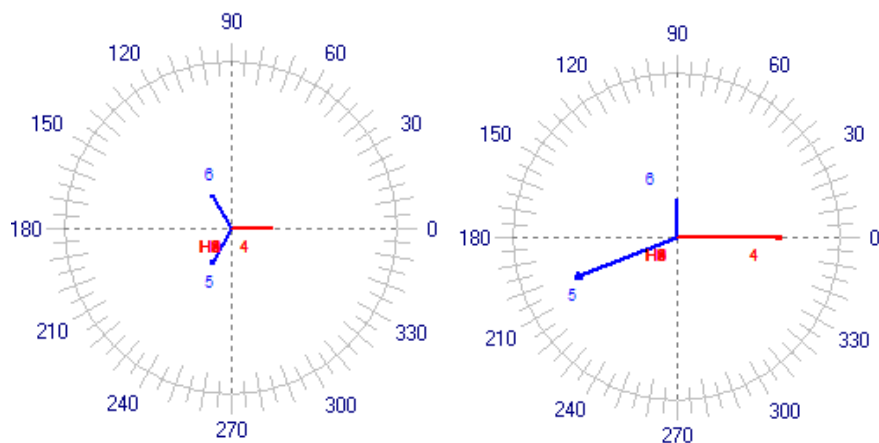
Obr. 5.7 Funkční bloky poruchového zapisovače AxRADR

Na vstupy těchto funkčních bloků jsou přivedeny analogové signály, jejichž průběhy jsou tímto zaznamenány do paměti IED a je poté možné stáhnout průběhy do počítače přes software PCM600 a zobrazit jejich průběhy v ABB softwaru Wavewin. Podobným způsobem lze zaznamenat průběhy jakýchkoli binárních signálů pomocí funkčních bloků BxRBDR, které ovšem v laboratorní úloze nebyly použity.



Obr. 5.8 Zobrazení průběhů proudů při dvojfázovém zkratu v softwaru Wavewin

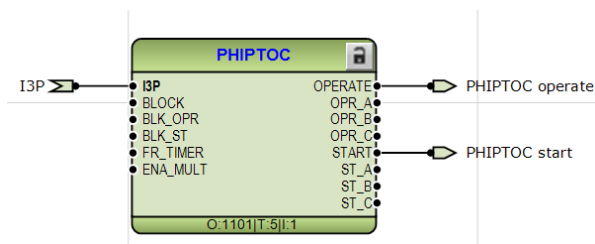
Na Obr. 5.8 lze vidět příklad zobrazení průběhů proudů při dvojfázovém zkratu v softwaru Wavewin. Je možné vybrat, jaké kanály budou zobrazeny. Nelze ovšem zadat meze os x a y. Lze pouze uměle zvyšovat či snižovat amplitudy a rozšiřovat či zhušťovat časovou osu. Graf lze tedy takto libovolně natahovat do šířky či výšky. Napravo od zaznamenaného průběhu jsou zobrazovány hodnoty podle aktuální pozice kurzoru.



Obr. 5.9 Fázory proudů před poruchou (vlevo) a po poruše (vpravo)

Na Obr. 5.9 jsou zobrazeny fázory proudů před a při dvojfázové poruše a lze z nich vyčíst, že se změnila nejen velikost fázorů u postižených fází, ale také se změnil fázový posun mezi fázemi.

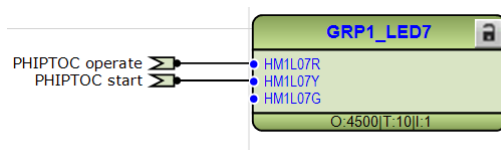
5.7 Časově nezávislá nadproudová ochrana



Obr. 5.10 Funkční blok nezávislé nadproudové ochrany PHIPTOC

Na vstup tohoto funkčního bloku je nutné přivést skupinový signál I3P, který sdružuje všechny měřené proudy. Funkční blok porovnává měřené proudy s nastavenou prahovou hodnotou a při překročení nejprve signalizuje poruchu logickou jedničkou na výstupu START. Pokud porucha přetrvává déle, než je zadaná doba, tak je vyslán signál k vypnutí prostřednictvím logické jedničky na výstupu OPERATE. Tyto výstupy jsou použity pro napojení do funkčního bloku GRP1_LED7, čímž je zajištěna signalizace pomocí LED diody. Výstup OPERATE je napojen jako signál "PHIPTOC operate" na vstup funkčního bloku SCEFRFLO, kde spouští výpočet lokátoru poruch. Tento signál je také použit pro vypnutí vypínače.

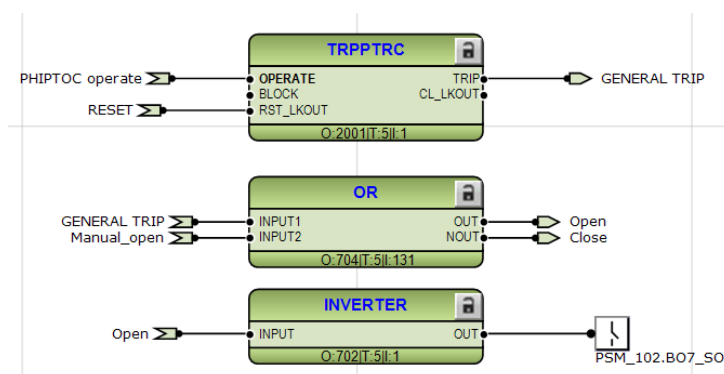
5.8 Funkční blok pro signalizaci pomocí LED



Obr. 5.11 Funkční blok GRP1_LED7

Tento funkční blok je použit pro LED signalizaci tak, že se v případě detekce poruchy rozsvítí dioda žlutě a v případě vypnutí poruchy červeně.

5.9 Vypínací logika



Obr. 5.12 Funkční bloky zajišťující vypnutí vedení

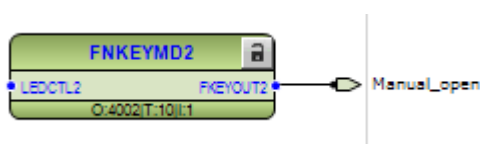
Na vstup OPERATE funkčního bloku TRPPTRC se přivádí OPERATE výstupy ze všech ochranných funkcí. V tomto případě je to pouze časově nezávislá nadproudová ochranná funkce

PHIPTOC. Výstup TRIP je dále použit jako signál "GENERAL TRIP", který vypíná a blokuje samotný vypínač před opětovným zapnutím.

Na vstup RST_LKOUT je přiveden signál z funkčního tlačítka 1. Při stisknutí tlačítka na čelním panelu ochrany je zrušeno blokování vypínače a je poté možné vypínač opět zapnout.

Funkční blok INVERTER je logický operátor, který mění logickou jedničku na logickou nulu. Bylo jej nutné použít, protože pro vypnutí a blokování vypínače je nutné, ať je na digitálním výstupu ochrany logická nula. Logická nula bude poté i na pomocných kontaktech stykače, který je použit pro ovládání vývodu.

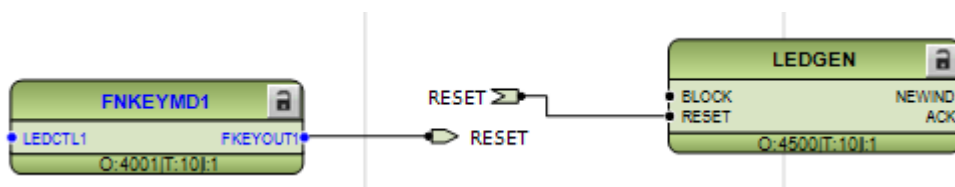
5.10 Manuální ovládání vypínače funkčním tlačítkem



Obr. 5.13 Funkční blok FNKEYMD2

Manuální ovládání vypínače je realizováno pomocí funkčního tlačítka 2. Při stisknutí tlačítka na čelním panelu ochrany je na výstupu tohoto funkčního bloku logická jednička a vypínač je vypnut, při dalším stisknutí tlačítka je na výstupu logická nula a vypínač je sepnut.

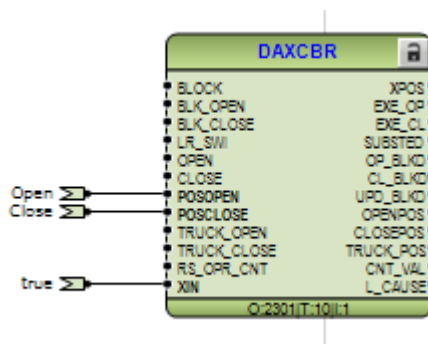
5.11 Resetování zámků a LED signalizace



Obr. 5.14 Funkční bloky FNKEYMD1 a LEDGEN

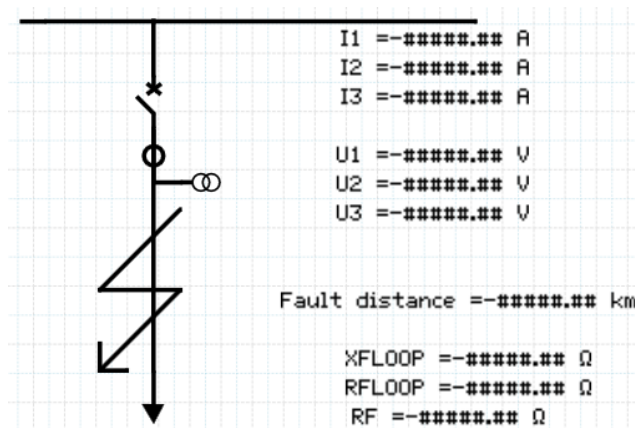
Funkční blok FNKEYMD1 je použit pro nastavení funkčního tlačítka 1. V tomto případě je výstup FKEYOUT1 použit jako vstup RESET funkčního bloku LEDGEN, což znamená, že stisknutím funkčního tlačítka 1 na čelním panelu ochrany budou resetovány všechny LED (přestanou svítit). Navíc je tento signál přiveden na vstup RST_LKOUT funkčního bloku TRPPTRC, čímž zruší blokování vypínače.

5.12 Signalizace stavu vypínače na grafickém displeji



Obr. 5.15 Funkční blok pro ovládání vypínače DAXCBR

Funkční blok pro ovládání vypínače DAXCBR je v laboratorní úloze použit pouze pro signalizaci stavu vypínače na grafickém displeji. Na vstupy POSOPEN a POSCLOSE jsou přivedeny signály Open a Close, které indikují působení ochrany a manuální ovládání vypínače. Na vstup XIN je potřeba přivést logickou jedničku, což je zpětná vazba, že byl skutečně proveden příkaz k zapnutí či vypnutí vypínače. V tomto případě byl na vstup přiveden signál s trvale nastavenou logickou jedničkou.



Obr. 5.16 Schéma pro grafický displej

6 Zapojení REF630 do fyzikálního modelu vývodu

Ochrana REF630 použitá v této diplomové práci se nachází v laboratoři EB015 v budově Fakulty elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské. Zde je ochrana vestavěna v laboratorním stole spolu s dalšími výměnnými moduly, kterých bylo také využito pro vytvoření laboratorní úlohy. Konkrétně to jsou modul napájení, modul spínačového pole, modul poruch, modul simulace přenosových vedení a modul zátěže. Modul simulace přenosových vedení a modul zátěže jsou jediné dva moduly, které nejsou vestavěné do laboratorního stolu, ale jsou to samostatné přenosné moduly. Jako zdroj pro napájení měřené úlohy byl použit třífázový autotransformátor, který byl připojen do třífázové zásuvky ve vedlejší laboratorním stole.

6.1 Napájení

Modul napájení (Obr. 6.1) slouží pro napájení vestavěných zařízení v laboratorním stole. Nebyl použit pro napájení samotné úlohy, protože neumožňuje regulaci napětí. Pro zajištění maximální bezpečnosti je na svém vstupu vybaven proudovým chráničem typu G s reziduálním proudem 30mA, který má zvýšenou odolnost proti proudovým rázům, což snižuje pravděpodobnost falešného vybavení při měření přechodových dějů. Napájení stolu je možné zapnout zeleným tlačítkem "Zap", které je nadepsáno "Napájení stolu" a jehož podsvícení zároveň indikuje stav zapnutí. Vypnutí veškerého napájení umožňuje hlavní vypínač v provedení bezpečnostního tlačítka ve tvaru hříbu.



Obr. 6.1 Modul napájení

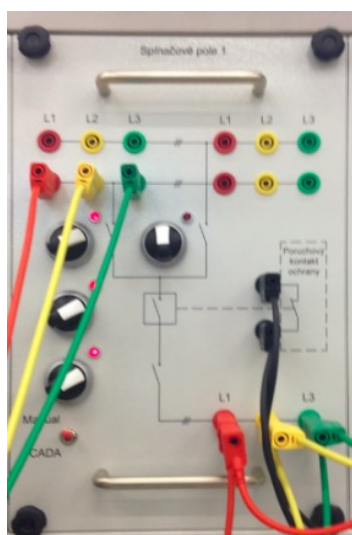
Pro napájení měřené úlohy slouží třífázový autotransformátor, který je zapojen do třífázové zásuvky ve vedlejším laboratorním stole. Na autotransformátoru lze nastavovat proudy v rozmezí 0-6 A a sdružené napětí 0-400 V. Všechny tři fáze jsou z autotransformátoru vyvedeny na modul přípojnic.



Obr. 6.2 *Trojfázový autotransformátor*

6.2 Spínačové pole

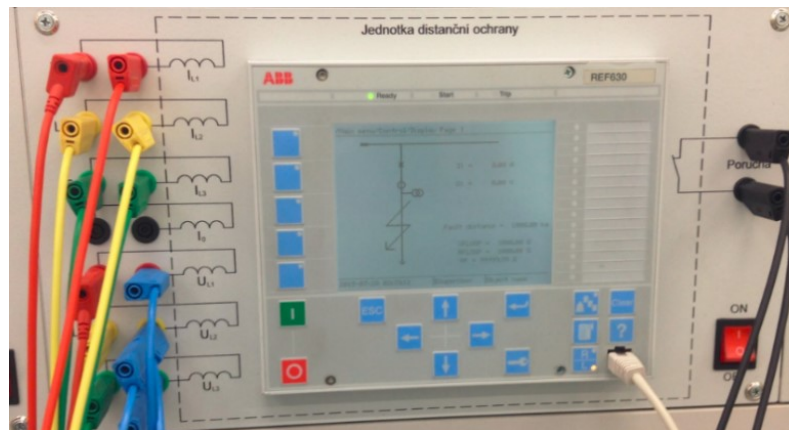
Modul spínačového pole simuluje vývod dvojpřípojnicového systému se třemi odpojovači a hlavním vypínačem. Obvod cívky hlavního vypínače je vyveden na svorky. Tyto svorky jsou propojeny s poruchovým kontaktem ochrany, která takto vypínač ovládá. Na svorky přípojnice jsou z autotransformátoru přivedeny všechny tři fáze. Ze svorek za vypínačem (na Obr. 6.3 vpravo dole) jsou vyvedeny fáze na proudové a napěťové vstupy ochrany.



Obr. 6.3 *Modul spínačového pole*

6.3 Ochrana REF630

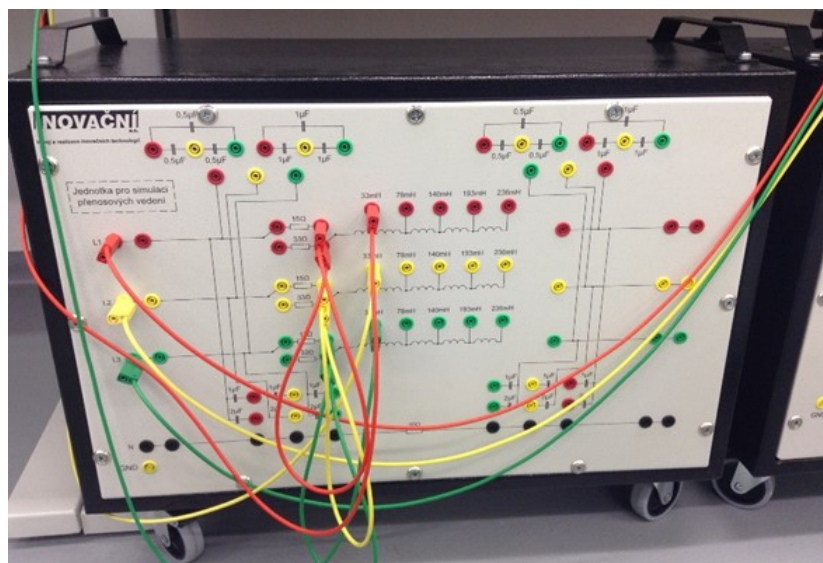
Ochrana REF630 (na Obr. 6.4) je spínána kolébkovým přepínačem. Při přepnutí kolébkového přepínače do polohy "ON" se ochrana automaticky ihned zapne. Vypnutí ochrany nelze realizovat pomocí LHMI rozhraní na ochraně, ale provádí se opět přepnutím kolébkového vypínače do polohy "OFF". Na stole jsou k dispozici čtyři proudové a tři napěťové vstupy, které jsou v laboratorní úloze použity pro měření proudů a fázových napětí. Dále z ochrany do laboratorního stolu vyvedený jeden digitální výstup použitý jako poruchový kontakt ochrany, kterým je ovládán vypínač v modulu spínačového pole.



Obr. 6.4 Ochrana REF630

6.4 Simulace přenosových vedení

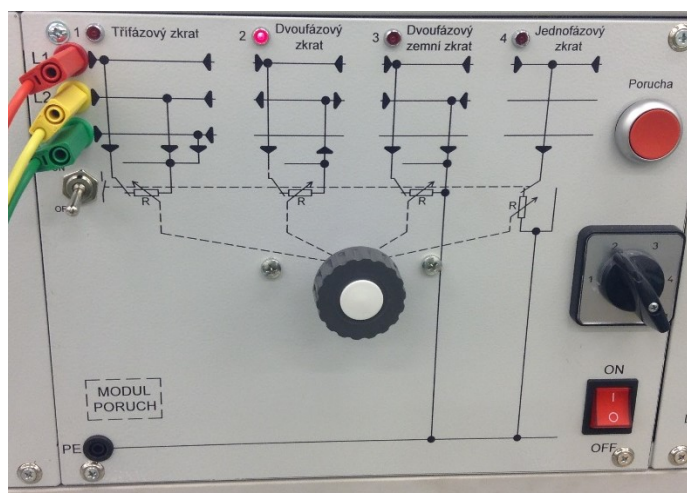
Proudové výstupy z REF630 jsou připojeny na modul simulace přenosových vedení. Přenosová vedení jsou simulována pomocí odporníků a indukčností. Lze volit celkem z 5 hodnot indukčností a ze 3 hodnot odporů. Modul umožňuje také simulaci kapacit mezi fázemi navzájem či mezi fázemi a zemí. Z příslušné odbočky určující indukčnost vedení jsou fáze připojeny na modul poruch.



Obr. 6.5 Modul simulace přenosových vedení

6.5 Modul poruch

Modul poruch umožňuje volbu ze čtyř druhů zkratů pomocí čtyřpolohového otočného přepínače. Takto je možno simulovat třífázový, dvoufázový, dvoufázový zemní a jednofázový zkrat. V levé části modulu je přepínač, kterým se volí, zda je zkrat odporový (poloha OFF) nebo dokonalý (poloha ON). Odporový zkrat je realizován pomocí dvou odporů v sérii, jeden má pevnou hodnotu $12\ \Omega$ a druhý odpor je nastavitelný v rozsahu 0 až $125\ \Omega$. Realizace předvolené poruchy je pak provedena stykačem, který je aktivován pomocí tlačítka "Porucha". Ovládání modulu je možné vypnout kolébkovým vypínačem ON/OFF.



Obr. 6.6 Modul poruch

7 Vypracování návodu měření a vzorového protokolu

Níže uvedený návod měření je určen pro použití při laboratorní úloze pro výuku některého z předmětů bakalářského studia oboru elektroenergetika. Návod měření bude sloužit obsluze, která bude laboratorní úlohu zapojovat. Návod obsahuje postup zapojení laboratorní úlohy, nastavení převodů měřících transformátorů, nastavení funkčních bloků ochranných funkcí, teoretický rozbor, zadání a postup měření.

Vzorový protokol obsahuje zadání, schéma zapojení, tabulky s naměřenými hodnotami, grafy a závěr.

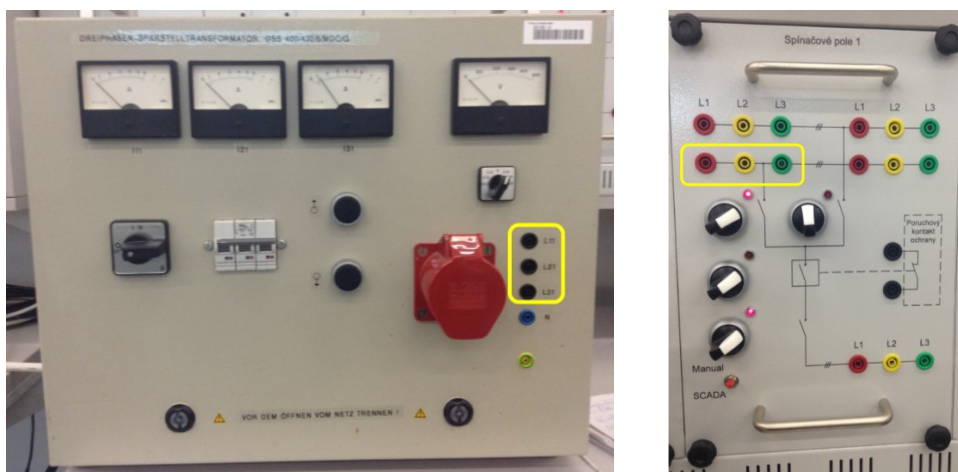
7.1 Návod měření

Návod obsahuje postup zapojení laboratorní úlohy, postup nastavení parametrů vedení ve funkčním bloku lokátoru poruch a parametrů funkčního bloku nezávislé nadproudové ochrany pomocí rozhraní LHMI přímo na čelním panelu ochrany. V poslední části návodu je uvedeno zadání a postup měření.

7.1.1 Návod zapojení laboratorní úlohy

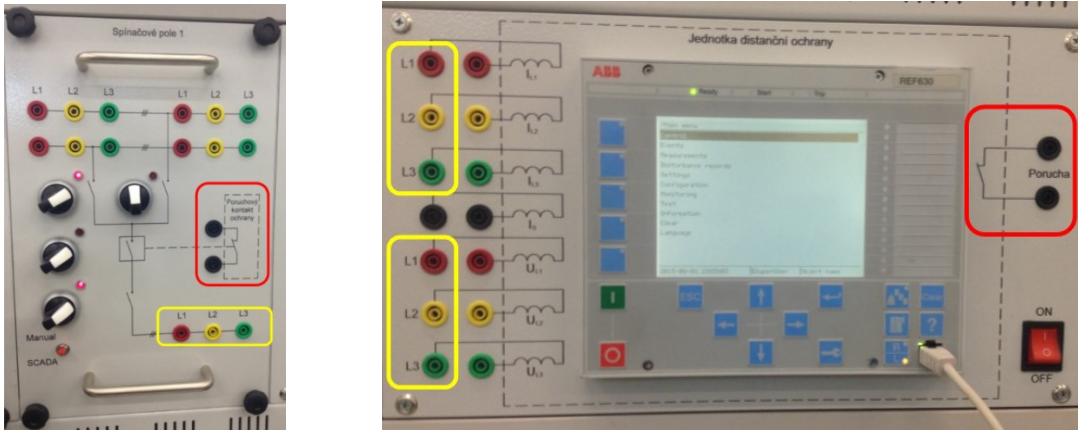
Postup zapojení laboratorní úlohy:

1. Všechny 3 fáze autotransfornátoru připojíme na levou dolní přípojnici na modulu "Spínačové pole 1" viz Obr. 7.1.



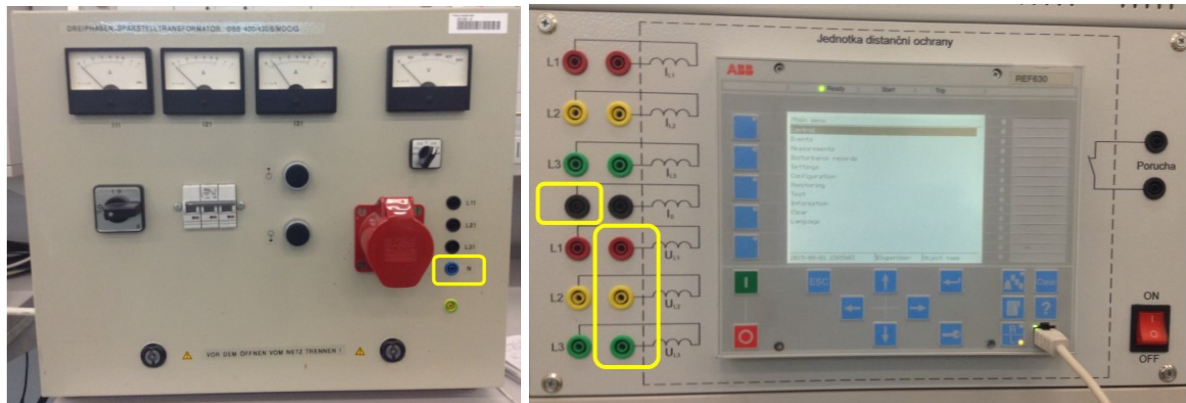
Obr. 7.1 Propojení autotransfornátoru s modulem Spínačové pole 1

2. Všechny 3 fáze z vývodu modulu spínačové pole 1 připojíme na proudové a napětové vstupy ochrany REF630 a svorky "poruchového kontaktu ochrany" připojíme na binární výstup "Porucha" na ochraně REF630 viz Obr. 7.2.



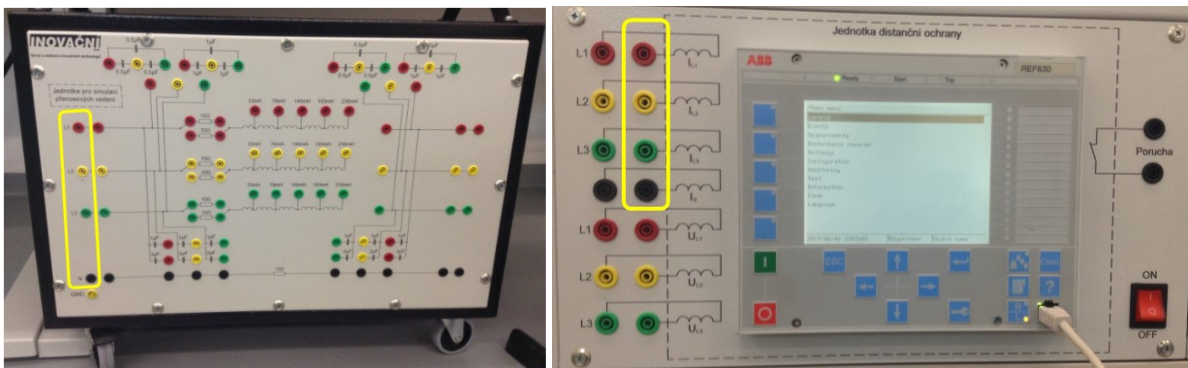
Obr. 7.2 Propojení modulu Spínačové pole 1 s ochranu REF630

3. Napětové výstupy ochrany REF630 a proudový vstup pro měření zemního proudu připojíme na svorku středního pracovního vodiče N autotransformátoru viz Obr. 7.3.



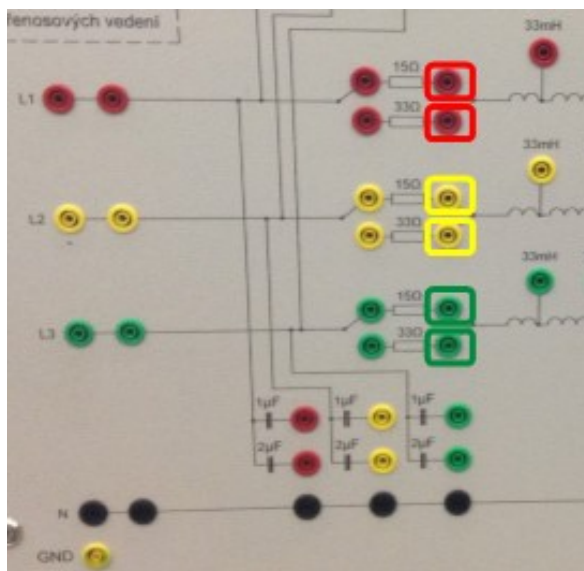
Obr. 7.3 Propojení autotransformátoru s ochranu REF630

4. Proudové výstupy ochrany REF630 připojíme na příslušné svorky modulu simulace přenosových vedení viz Obr. 7.4.



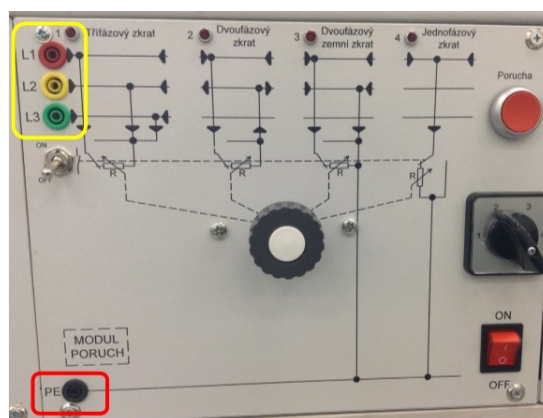
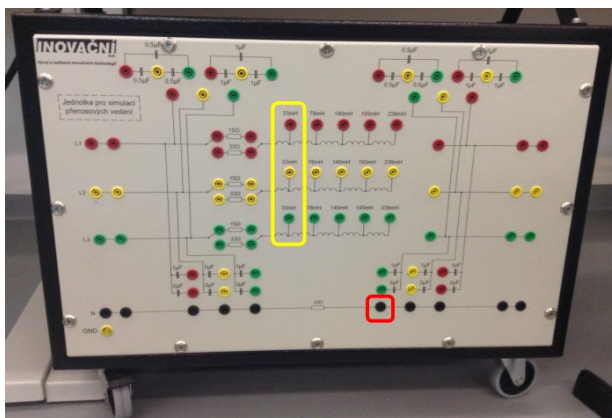
Obr. 7.4 Propojení modulu simulace přenosových vedení s ochranu REF630

5. Na modulu simulace přenosových vedení propojíme svorky odporníků podle požadované hodnoty odporu. Příklad propojení pro hodnotu odporu $15\ \Omega$ je znázorněn na Obr. 7.5.



Obr. 7.5 Propojení svorek odporníků na modulu simulace přenosových vedení

6. Propojíme odbočky vedení a pracovní střední vodič N modulu simulace přenosových vedení s modulem poruch viz Obr. 7.6. V případě měření vlivu odporu poruchy na přesnost měření se do obvodu nezapojuje $10\ \Omega$ odporník v modulu simulace přenosových vedení.



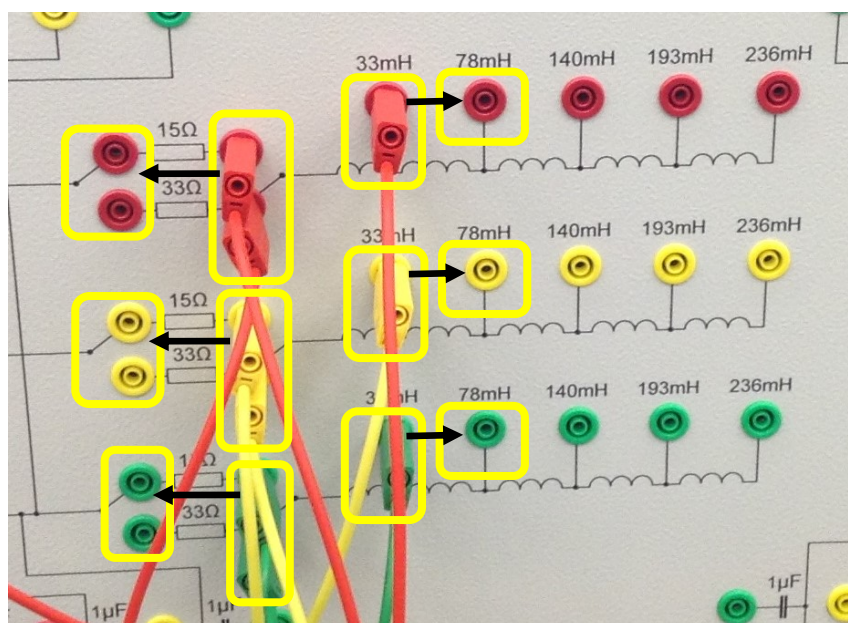
Obr. 7.6 Propojení modulu simulace přenosových vedení s modulem poruch

7. V případě zapojení pro měření závislosti zkratového proudu na odporu uzemnění sítě se připojuje proudový výstup pro měření zemního proudu z ochrany REF630 na modul zátěže a výstup z modulu zátěže se připojuje na pracovní střední vodič N modulu poruch. Na Obr. 7.7 je zobrazeno zapojení s odporem uzemnění $150\ \Omega$.

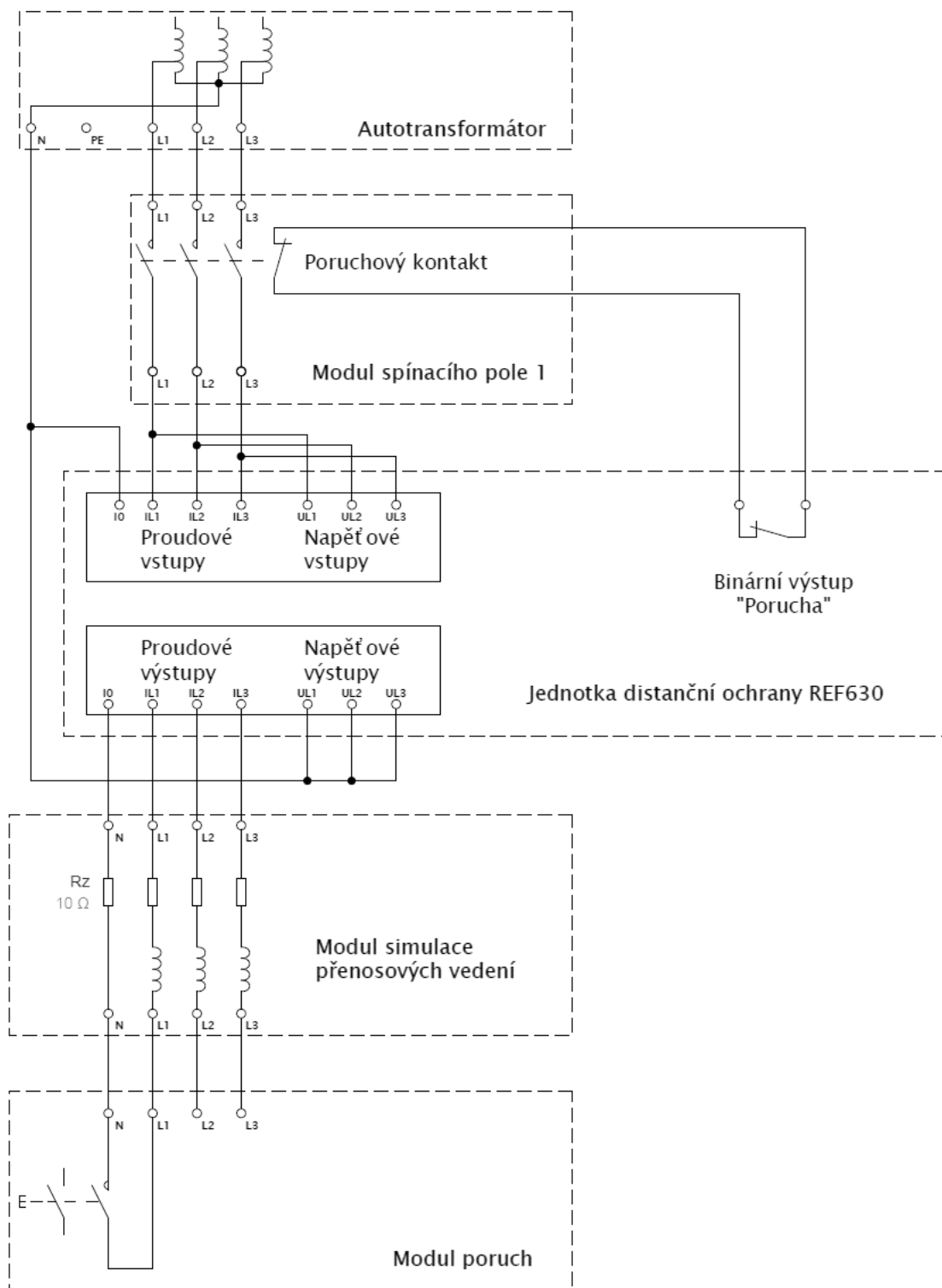


Obr. 7.7 Zapojení odporníků modulu zátěže pro měření závislosti zkratového proudu na odporu uzemnění

Změna odbočky na vedení je realizována změnou zapojení vodičů na modelu simulace přenosových vedení. Příklad této změny zapojení je znázorněn na Obr. 7.8.



Obr. 7.8 Změna odbočky vedení



Obr. 7.9 Schéma zapojení

7.1.2 Nastavení převodu měřících transformátorů

Prahová hodnota proudu nadproudových ochranných funkcí se nastavuje v jednotce "za jednotku" (p.u. - per unit), a proto je nutné nastavit tuto základní jednotku. Základní jednotky se nedají nastavit pomocí LHMI, lze je nastavit pouze v softwaru PCM600, ve kterém vybereme funkci nastavení parametrů a v HW konfiguraci (hardwarové konfiguraci) vybereme blok AIM_2 (Obr. 7.10). Zde nastavíme jmenovité hodnoty primárního a sekundárního proudu a napětí měřících transformátorů. Pro tuto laboratorní úlohu byly základní hodnoty nastaveny v poměru 1:100 od hodnot napětí a proudu generovaných autotransformátorem. Tím simulujeme situaci, kdy je 100x vyšší napětí a proud, než je ve skutečnosti v laboratorní úloze. Základní jednotka primárního proudu je tedy 100 A základní jednotka primárního napětí je 10 kV. Pokud chceme nastavit nadproudovou ochranu, ať působí při hodnotě 200 A, tak v jejím nastavení zadáme prahovou hodnotu "start value" 2,0.

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ AIM_2					
✓ NAMECH1		CH1			13 characters
✓ InputType1		Current			
✓ ReversePolarity1		No			
✓ CTsec1		1,0	A	0,1	10,0
✓ CTprim1		100	A	1	99999
✓ NAMECH7		CH7			13 characters
✓ InputType7		Voltage			
✓ VTsec7		100,000	V	0,001	999,999
✓ VTprim7		10,000	kV	0,001	9999,999

Obr. 7.10 Nastavení převodu měřících transformátorů v softwaru PCM600

7.1.3 Nastavení funkčního bloku lokátoru poruch

- Seznam parametrů bloku lokátoru poruch "SCEFRFLO" je na Obr. 7.11
- Změnu parametrů bloku lze provést pomocí LHMI:

Main menu/Settings/Settings/Current protection/SCEFRFLO

- Pro aktivaci této funkce je nutné na řádku "Operation" nastavit hodnotu "On".
- Režim spuštění výpočtu se nastaví na řádku "Calculation Trg mode" a je třeba zadat "External" pro externí spuštění výpočtu vybavením nezávislé nadproudové ochrany.
- Čas před poruchou, který lokátor poruch využije pro výpočet se nastaví na řádku "Pre fault time". Stačí zde nastavit čas 0,2 s. Při výpočtu vzdálenosti do místa poruchy u jednofázových zkratů nebo zemních spojení může být potřebné nastavit tuto dobu vyšší.
- Pro rozlišení trojfázového zkratu od velké trojfázové zátěže je třeba správně zadat maximální impedanci zatížené fáze na řádku "Z Max phase load". V této úloze se měří pouze poruchy, které nastanou v okamžiku, kdy je vedení naprázdno, takže tento parametr nemá vliv na výpočet.

- Pro správný výpočet vzdálenosti do místa poruchy v případě zemního spojení je třeba zadat také hodnotu svodového odporu jedné fáze "Ph leakage Ris" a kapacitní reaktanci jedné fáze "Ph capacitive React". Pro tuto úlohu není třeba tyto parametry nijak měnit.
- Pro trojfázové a dvojfázové zkraty je klíčovým parametrem pro výpočet vzdálenosti do místa poruchy **sousledná složka reaktance** na jednotku délky, která se nastaví na řádku "**X1 line section A**". Pro tuto úlohu byly zvoleny parametry typického venkovního vedení 11 kV, kterému odpovídá reaktance 0,373 Ω /km.
- Pro jednofázové a dvojfázové zemní poruchy je kromě sousledné složky reaktance klíčové zadat korektně i **nulovou složku reaktance** na jednotku délky, která se nastaví na řádku "**X0 line section A**". V tomto případě je tato složka stejná jako sousledná složka – tedy 0,373 Ω /km.
- Činný odpor na jednotku délky není až tak důležitý parametr pro výpočet vzdálenosti do místa poruchy, protože výpočet ovlivňuje jen mírně. Tento parametr je důležitý hlavně pro správné určení odporu poruchy a odporu vedení do místa poruchy, což jsou hodnoty, které lokátor poruch také vypočítává. V tomto případě je sousledná "R1 line section A" i nulová složka "R0 line section A" odporu vedení nastavena na 0,532 Ω /km, což vzhledem k omezenému počtu odporníků na modulu Simulace přenosových vedení se shoduje s nastavenou reaktancí pouze u prvních dvou odboček.
- Délka vedení se nastavuje na řádku "Line Len section A". Tento údaj moc neovlivňuje výpočet vzdálenosti do místa poruchy, když má vedení jen jednu sekci. Pokud se však nastaví jeho hodnota na 1, tak výsledky výpočtu nebudou udávány v kilometrech, ale v procentech z celkové délky vedení.

✓ SCEFRFLO: 1					
✓ General settings					
✓ Operation		On			
✓ Phase voltage Meas		Accurate			
✓ Calculation Trg mode		External			
✓ Pre fault time		0,200	s	0,100	300,000
✓ Setting Group1			<input checked="" type="checkbox"/>		
✓ Z Max phase load		167,00	ohm	1,00	10000,00
✓ Earth fault localization					
✓ Setting Group1			<input checked="" type="checkbox"/>		
✓ Ph leakage Ris		210000	ohm	1	1000000
✓ Ph capacitive React		7000	ohm	1	1000000
✓ Line parameters					
✓ Setting Group1			<input checked="" type="checkbox"/>		
✓ R1 line section A		0,532	ohm/pu	0,001	1000,000
✓ X1 line section A		0,373	ohm/pu	0,001	1000,000
✓ R0 line section A		0,532	ohm/pu	0,001	1000,000
✓ X0 line section A		0,373	ohm/pu	0,001	1000,000
✓ Line Len section A		250,000	pu	0,001	1000,000

Obr. 7.11 Nastavení funkčního bloku lokátoru poruch SCEFRFLO

7.1.4 Nastavení funkčního bloku nezávislé nadproudové ochrany

- Seznam parametrů bloku nezávislé nadproudové ochrany "PHIPTOC" je na Obr. 7.12
- Změnu parametrů bloku lze provést pomocí LHMI:

Main menu/Settings/Settings/Current protection/PHIPTOC

- Pro aktivaci této ochranné funkce je nutné na řádku "Operation" nastavit hodnotu "On".
- Pro to, aby ochrana dala povel k vypnutí vypínače, tak je nutné, aby na řádku "Start value" byla hodnota nižší, než která poteče vedením při zkratu. Pro tuto lab. úlohu je to 0,25, protože při měření závislosti hodnoty zkratového proudu na odporu uzemnění bude pro odpor 300 Ω zkratový proud velmi nízký a to cca 27 A (reálně modelem poteče 0,27 A).
- Modul simulace přenosových vedení má jmenovitou hodnotu proudu 2 A, a proto by měla hodnota "Start value" být při jakémkoliv měření nižší než 2 A.
- Zpoždění ochrany "Operate delay time" je doporučené nastavit na 2 s. Příliš nízké hodnoty by mohly způsobit, že funkce lokátoru poruch nebude mít dostatek dat pro vyhodnocení vzdálenosti do místa poruchy (porucha bude vypnuta příliš rychle).

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
PHIPTOC: 1					
Operation		On			
Base value Sel phase		Phase Grp 1			
Num of start phases		1 out of 3			
Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
Setting Group1					
Start value		0,25	pu	0,10	40,00
✓ Start value Mult		1,0		0,8	10,0
Operate delay time		2,00	s	0,02	200,00

Obr. 7.12 Nastavení funkčního bloku nezávislé nadproudové ochrany PHIPTOC

7.1.5 Teoretický rozbor

IED REF630 (IED = Inteligentní elektronické zařízení) je komplexní IED řízení vývodu, které je určeno pro chránění, ovládání, měření a monitorování vývodů distribučních rozveden energetických společností i průmyslových podniků. REF630 je jedním z výrobků produktové skupiny Relion® firmy ABB a zároveň je i součástí produktové řady 630, která je charakterizována funkční všestranností a flexibilní konfigurovatelností. IED REF630 je také vybaveno potřebnými ovládacími funkcemi, které vytvářejí základ ideálního řešení pro řízení pole vývodu. Ochrana podporuje celosvětově používaný komunikační protokol IEC 61850.

IED trvale měří fázové proudy, a to jejich souslednou, zpětnou i nulovou složku. IED současně měří i fázová nebo sdružená napětí a opět jejich souslednou, zpětnou i nulovou složku.

Výpočet zkratových proudů pro různé druhy zkratů

Vzhledem k tomu, že známe reaktanci i odpor poruchové smyčky, tak lze použít impedanční metodu výpočtu.

Základní vztah pro výpočet trojfázového zkratu je dle normy IEC 60909-0 tento:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

V ideálním případě vzniká pouze sousledná složka proudu, takže pokud se $a = c = 1$ zkratový proud se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$I_{k3}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(1)}}$$

Pokud platí $U_n = \sqrt{3} \cdot U_f$, tak můžeme tento vztah dále zjednodušit takto:

$$I_{k3}'' = \frac{U_f}{Z_{(1)}}$$

Příčemž v případě této laboratorní úlohy můžeme za souslednou impedanci dosadit parametry vedení a výsledný vztah bude vypadat takto:

$$I_{k3}'' = \frac{U_f}{\sqrt{R_v^2 + X_v^2}}$$

Poznámka: Při zapojení odporníku 15 Ω je potřeba počítat s hodnotou $R_v = 18,5 \Omega$, protože je třeba připočíst všechny odpory kabelů atd. Podobně při zapojení odporníku 33 Ω je třeba počítat s hodnotou $R_v = 39 \Omega$.

Pro dvojfázový zkrat platí dle normy IEC 60909-0 tento vztah:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{|\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)}|} \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$$

Pokud $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ a $c = 1$, pak vypadá rovnice takto:

$$I_{k2}'' = \frac{U_n}{2 \cdot \underline{Z}_{(1)}}$$

Pokud platí $U_n = \sqrt{3} \cdot U_f$, tak poté lze vypočítat dvojfázový zkrat z trojfázového:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}''$$

Vztah pro výpočet jednofázového zkratu vypadá dle normy IEC 60909-0 takto:

$$I_{k1}'' = \frac{3}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(0)}} \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$$

V případě této laboratorní úlohy platí, že $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ a $\underline{Z}_{(0)} = \underline{Z}_{(1)} + 3\underline{Z}_N$ a poté lze vztah pro výpočet jednofázového zkratu upravit takto:

$$I_{k1}'' = \frac{3 \cdot U_f}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(1)} + (\underline{Z}_{(1)} + 3\underline{Z}_N)} = \frac{3 \cdot U_f}{3(\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_N)} = \frac{U_f}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_N} = \frac{U_f}{\sqrt{(R_v + R_z)^2 + X_v^2}}$$

Výpočet vzdálenosti do místa poruchy

Zejména v případě dlouhých venkovních vedení vvn a zvn je velmi užitečné znát co nejpřesněji místo poruchy. Servisní tým, který je vyslaný poruchu odstranit ji poté nemusí pracně hledat např. za pomoci vrtulníku, ale může se vydat přesně na dané místo.

IED obsahuje funkci měřící impedanci, která je navržena pro určení místa poruchy. To je možné v účinně nebo odporově uzemněných sítích a také v sítích IT, ale pouze v případě, že je poruchový proud stejný nebo vyšší než hodnota proudu zátěže. Funkce identifikuje typ poruchy, vzdálenost k poruše a možnou příčinu poruchy (na základě výpočtu přibližného odporu poruchy).

Funkce lokátoru poruch (SCEFRFLO) umožňuje určení vzdálenosti do místa poruchy na základě výpočtu impedance. Takto lze v distribučních sítích lokalizovat zkraty a za splnění určitých podmínek také zemní spojení. Vztah pro výpočet je následující:

$$l = \frac{X_v}{X_k} \quad (\text{km})$$

X_v – reaktance poruchové smyčky vedení (Ω)

X_k – reaktance vedení bez poruchy na jednotku délky (Ω /km)

Na modelu simulace přenosového vedení je u každé odbočky vedení uvedena indukčnost L . Reaktanci vedení vypočteme podle velmi dobře známého vztahu:

$$X_v = 2\pi fL \quad (\Omega)$$

Průmyslové sítě vn uzemněné přes odpor

Distribuční sítě vn jsou v České republice zpravidla provozovány s izolovaným uzlem zdroje. V průmyslových sítích vn bývá ovšem z důvodu zamezení vzniku přerušovaného zemního spojení uzemněn uzel zdroje přes odpor omezující zemní poruchový proud na hodnotu v rozmezí 100 A až 1000 A, přičemž typickou hodnotou je 400 A.

7.1.6 Zadání a postup měření

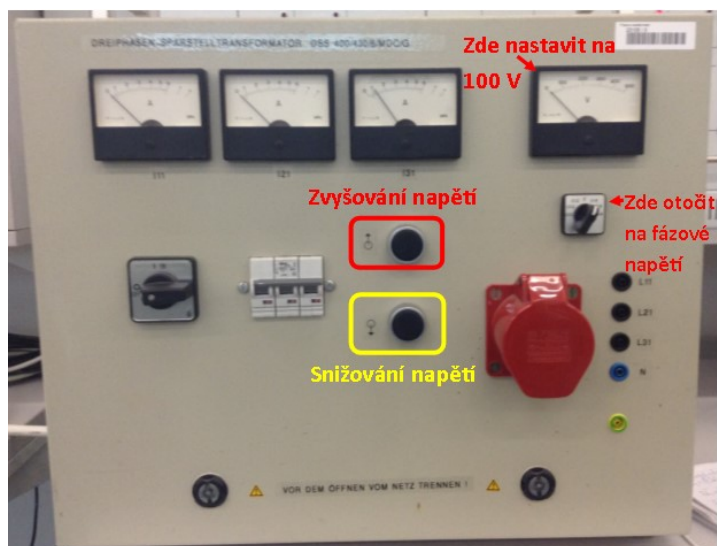
Zadání:

- 1) Zapojte měřený obvod podle schématu na Obr. 7.9.
- 2) Změřte hodnoty zkratových proudů pro jednofázový, dvoufázový a trojfázový zkrat pro 5 různých míst vzniku zkratu při hodnotě zemního odporu $R_z = 10 \Omega$. Zároveň zaznamenejte vzdálenosti do místa zkratu vyhodnocené ochranou.
- 3) Vypočtěte hodnoty zkratového proudu pro jednofázový, dvoufázový a trojfázový zkrat na základě rovnic uvedených v teoretickém rozboru pro 5 různých míst vzniku zkratu při hodnotě zemního odporu $R_z = 10 \Omega$.
- 4) Pro každé z 5 míst vzniku zkratu vypočtěte vzdálenost místa zkratu od zdroje pro zadanou reaktanci vedení na jednotku délky $X_k = 0,373 \Omega/\text{km}$ na základě rovnic uvedených v teoretickém rozboru.
- 5) Změřte, jak ovlivňuje odpor uzemnění sítě zkratový proud při jednofázovém zkratu. Změřenou závislost vynesete do grafu.
- 6) Změřte vliv odporu poruchy na přesnost výpočtu vzdálenosti do poruchy při jednofázovém zkratu pro 6 hodnot odporu poruchy (0, 15, 45, 75, 105 a 135 Ω). Naměřené hodnoty vynesete do grafu.
- 7) Vyhodnoťte výsledky měření.

Na začátku měření:

- Na modulu napájení stolu 1 tahem k sobě zapněte hlavní vypínač a zapněte napájení stolu stisknutím tlačítka "Zap", které je nadepsáno "Napájení stolu".
- Na modulu napájení stolu 2 tahem k sobě zapněte hlavní vypínač a zapněte napájení stolu stisknutím tlačítka "Zap", které je nadepsáno "Napájení stolu".
- Zapněte jednotku distanční ochrany (kolébkovým spínačem do stavu "On").

- Zapněte modul poruch (kolébkovým spínačem do stavu "On").
- Zapněte autotransformátor otočným přepínačem do stavu "On" a zvyšujte fázové napětí stiskem horního černého tlačítka na hodnotu 100 V viz Obr. 7.13



Obr. 7.13 Ovládání třífázového autotransformátoru

Postup měření pro 2. bod zadání:

- Otočným přepínačem na modulu poruch (viz Obr. 6.6) vyberte požadovaný typ zkratu. Přepínač odporu poruchy musí být ve stavu "ON" – to znamená nulový odpor poruchy.
- Stiskněte tlačítko porucha a držte jej, dokud ochrana nevybaví.
- Odečtěte zkratový proud a vzdálenost do místa poruchy (FLT DISTANCE) z displeje ochrany.
- Odblokujte hlavní vypínač modulu spínačového pole a resetujte LED diody na ochraně, které indikují start a působení ochrany. Toho dosáhnete stisknutím funkčního tlačítka č.1. V levé části displeje se nejprve objeví seznam funkčních tlačítek. Stiskněte opět funkční tlačítko č.1, čímž se přepne do stavu "ON" a vypínač se tak odblokuje.
- Opakujte postup a) až d) pro další typy zkratu.
- Na modulu simulace přenosového vedení přesuňte poruchu na další odbočku vedení. To provedete změnou zapojení (viz Obr. 7.8) – zvýšíte indukčnost a odpor vedení (ten zůstane pro odbočky 3 až 5 stejný).
- Opakujte postup a) až f) pro další odbočky vedení.

Poznámka k bodu c):

Pokud nestihnete odečíst zkratový proud z displeje ochrany nebo se vám zobrazená hodnota nezdá správná, tak můžete najít hodnotu proudu při vybavení v menu ochrany. Cesta k hodnotám je: Main menu/Disturbance records/Recordxxx/Trip values. Zde se pak šipkou dolů posuňte na kanál neboli GRPINPUT4 (5, 6), kde je zaznamenána hodnota proudu v 1. (2., 3.) fázi.

Vzdálenost do místa poruchy a další veličiny vyhodnocené lokátorem poruch lze najít také v menu, a to tři poslední záznamy. Vede k nim ovšem složitá cesta: Main menu/Monitoring/IO status/Protection/Current protection/SCEFRFLO/Recorded data/Recorded data 1 (2, 3). Proto je ochrana nakonfigurována tak, že jsou hodnoty viditelné přímo v sekci: Main menu/Control

Postup měření pro 5. bod zadání:

- a) Na modulu simulace přenosového vedení přesuňte poruchu na 1. odbočku vedení.
- b) Otočným přepínačem na modulu poruch vyberte jednofázový zkrat. Přepínač odporu poruchy musí být ve stavu "ON" – to znamená nulový odpor poruchy.
- c) Nastavte požadovanou hodnotu odporu uzemnění pomocí sériového zapojování odporníků na modulu zátěže (viz Obr. 7.7)
- d) Stiskněte tlačítko porucha a držte jej, dokud ochrana nevybaví.
- e) Odečtěte zkratový proud z displeje ochrany.
- f) Odblokujte hlavní vypínač modulu spínačového pole a resetujte LED diody na ochraně, které indikují start a působení ochrany. Toho dosáhnete stisknutím funkčního tlačítka č.1. V levé části displeje se nejprve objeví seznam funkčních tlačítek. Stiskněte opět funkční tlačítko č.1, čímž se přepne do stavu "ON" a vypínač se tak odblokuje.
- g) Opakujte postup c) až f) pro různé hodnoty odporu uzemnění (0, 37, 75, 150 a 300 Ω).

Postup měření pro 6. bod zadání:

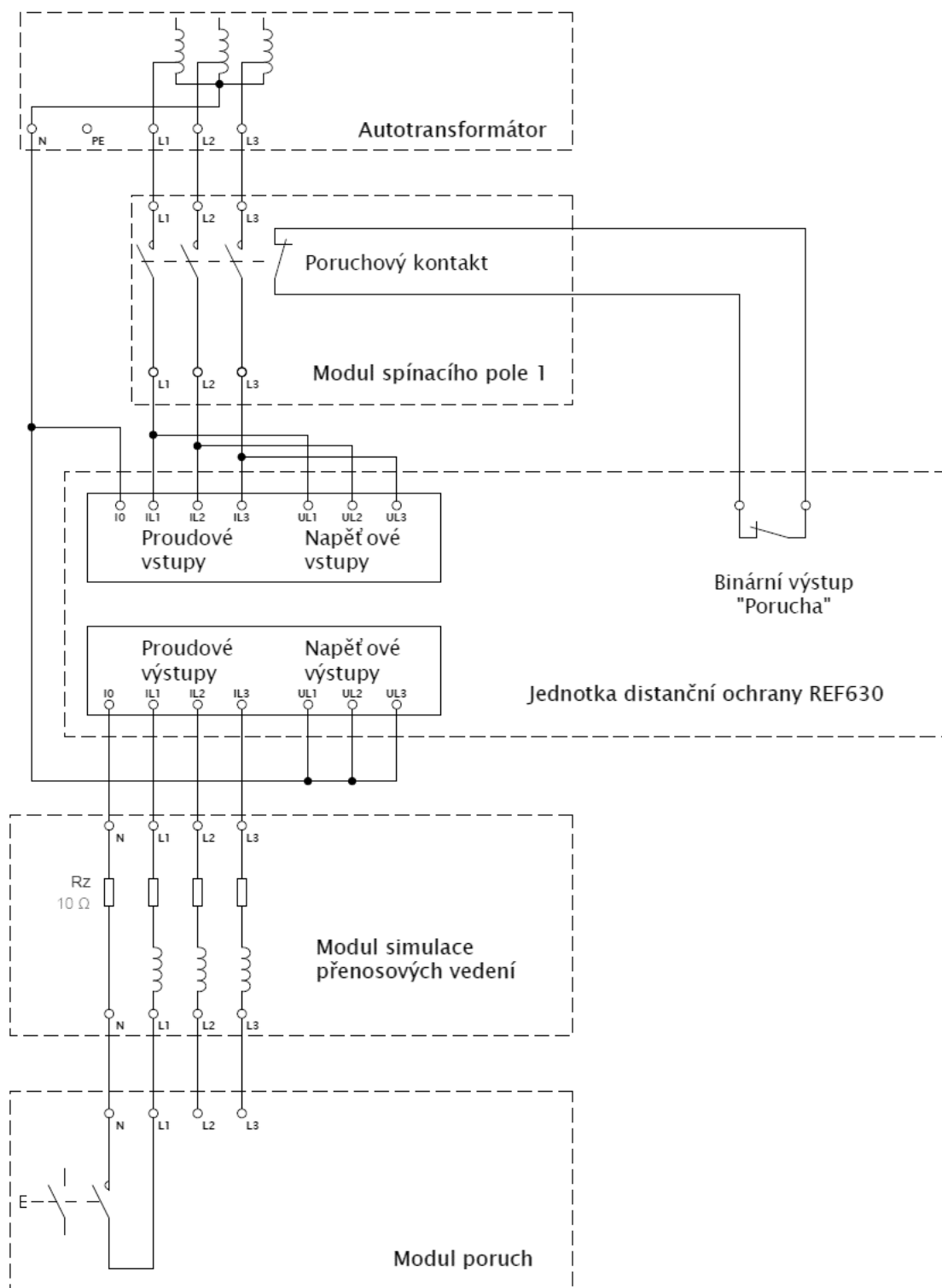
- a) Na modulu simulace přenosového vedení přesuňte poruchu na 2. odbočku vedení.
- b) Otočným přepínačem na modulu poruch vyberte jednofázový zkrat.
- c) Přepínačem odporu poruchy a potenciometrem nastavte požadovaný odpor poruchy. Pokud je přepínač ve stavu "ON", tak není potenciometr do obvodu zapojen a odpor poruchy je nulový. Když je přepínač ve stavu "OFF", tak je potenciometr zapojen a lze pomocí něj regulovat odpor poruchy rozsahu 12 až 140 Ω . Pro regulaci odporu odpojte od svorek L1 a N modulu poruch vodiče připojené z modulu simulace přenosových vedení a připojte ke svorkám multimetr, stiskněte a držte tlačítko porucha a regulujte podle multimetru odpor.
- d) Stiskněte tlačítko porucha a držte jej, dokud ochrana nevybaví.
- e) Odečtěte vzdálenost do místa poruchy (FLT DISTANCE) z displeje ochrany.
- f) Odblokujte hlavní vypínač modulu spínačového pole a resetujte LED diody na ochraně, které indikují start a působení ochrany. Toho dosáhnete stisknutím funkčního tlačítka č.1. V levé části displeje se nejprve objeví seznam funkčních tlačítek. Stiskněte opět funkční tlačítko č.1, čímž se přepne do stavu "ON" a vypínač se tak odblokuje.
- g) Opakujte postup c) až f) pro různé hodnoty odporu poruchy (0, 15, 45, 75, 105 a 135 Ω).

7.2 Vzorový protokol

7.2.1 Zadání

- 1) Zapojte měřený obvod podle schématu na Obr. 7.14.
- 2) Změřte hodnoty zkratových proudů pro jednofázový, dvoufázový a trojfázový zkrat pro 5 různých míst vzniku zkratu při hodnotě zemního odporu $R_Z = 10 \Omega$. Zároveň zaznamenejte vzdálenosti do místa zkratu vyhodnocené ochranou.
- 3) Vypočtete hodnoty zkratového proudu pro jednofázový, dvoufázový a trojfázový zkrat na základě rovnic uvedených v teoretickém rozboru pro 5 různých míst vzniku zkratu při hodnotě zemního odporu $R_Z = 10 \Omega$ a fázového napětí $U_f = 10 \text{ kV}$.
- 4) Pro každé z 5 míst vzniku zkratu vypočtete vzdálenost místa zkratu od zdroje pro zadanou reaktanci vedení na jednotku délky $X_k = 0,373 \Omega/\text{km}$ na základě rovnic uvedených v teoretickém rozboru.
- 5) Změřte, jak ovlivňuje odpor uzemnění sítě zkratový proud při jednofázovém zkratu. Změřenou závislost vynesete do grafu.
- 6) Změřte vliv odporu poruchy na přesnost výpočtu vzdálenosti do poruchy při jednofázovém zkratu pro 6 hodnot odporu poruchy (0, 15, 45, 75, 105 a 135 Ω).
- 7) Vyhodnoťte výsledky měření.

7.2.2 Schéma



Obr. 7.14 Schéma zapojení

7.2.3 Tabulky

V tabulkách jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty zkratových proudů. Naměřené hodnoty jsou přepočtené na primární stranu měřících transformátorů proudu. Ve skutečnosti však v laboratorní úloze měřící transformátory použity nebyly, ale v ochraně byl nastaven převod $p = 100$, čímž byla simulována situace zapojení měřících transformátorů.

Tab. 7.1 Měření hodnot zkratových proudů pro různé typy zkratů

Měření zkratových proudů					
	odbočka 1	odbočka 2	odbočka 3	odbočka 4	odbočka 5
Reaktance vedení	$X_v (\Omega)$	$X_v (\Omega)$	$X_v (\Omega)$	$X_v (\Omega)$	$X_v (\Omega)$
	13,2	28,3	50,9	70,3	85,4
Odpor vedení	$R_v (\Omega)$	$R_v (\Omega)$	$R_v (\Omega)$	$R_v (\Omega)$	$R_v (\Omega)$
	18,5	39,0	57,5	57,5	57,5
	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$
1-fáz. zkrat měřený	309	175	119	101	90
1-fáz. zkrat vypočtený	318	177	118	103	92
2-fáz. zkrat měřený	372	177	112	94	82
2-fáz. zkrat vypočtený	381	180	113	95	84
3-fáz. zkrat měřený	435	206	132	108	95
3-fáz. zkrat vypočtený	440	208	130	110	97

Tab. 7.2 Měření hodnot vzdálenosti do místa poruchy pro různé typy zkratů

Měření vzdálenosti do místa poruchy					
	odbočka 1	odbočka 2	odbočka 3	odbočka 4	odbočka 5
	$l (km)$	$l (km)$	$l (km)$	$l (km)$	$l (km)$
1-fáz. zkrat	35,6	74,6	133,8	183,7	224,4
2-fáz. zkrat	35,2	75,0	134,4	185,6	226,7
3-fáz. zkrat	35,0	75,1	134,8	186,1	227,7
Vypočtená hodnota	35,4	75,8	136,4	188,6	229,0

Tab. 7.3 Měření vlivu uzemnění sítě přes odpor na hodnotu jednofázového zkrat. proudu

	odbočka 1	odbočka 2	odbočka 3	odbočka 4	odbočka 5
$R_z (\Omega)$	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$	$I (A)$
0	435	209	132	110	96
37	168	121	92	83	76
75	103	83	70	65	62
150	58	52	46	45	43
300	31	29	28	27	27

Tab. 7.4 Měření vlivu odporu poruchy na přesnost výpočtu vzdálenosti do místa poruchy

Měření vzdálenosti do místa poruchy pro odbočku 2					
R_f (Ω)	Měření 1 (km)	Měření 2 (km)	Měření 3 (km)	Měření 4 (km)	Měření 5 (km)
0	73,76	73,75	73,88	73,85	73,87
15	75,29	75,07	75,22	75,28	75,27
45	75,99	75,47	75,67	75,83	75,46
75	75,42	75,27	74,87	75,58	75,72
105	75,42	74,27	74,54	73,79	74,81
135	72,72	72,28	74,09	72,95	73,68

7.2.4 Příklady výpočtů

$$I_{k3}'' = \frac{U_f}{\sqrt{R_v^2 + X_v^2}} = \frac{10\,000}{\sqrt{18,5^2 + 13,2^2}} = 440 \text{ A}$$

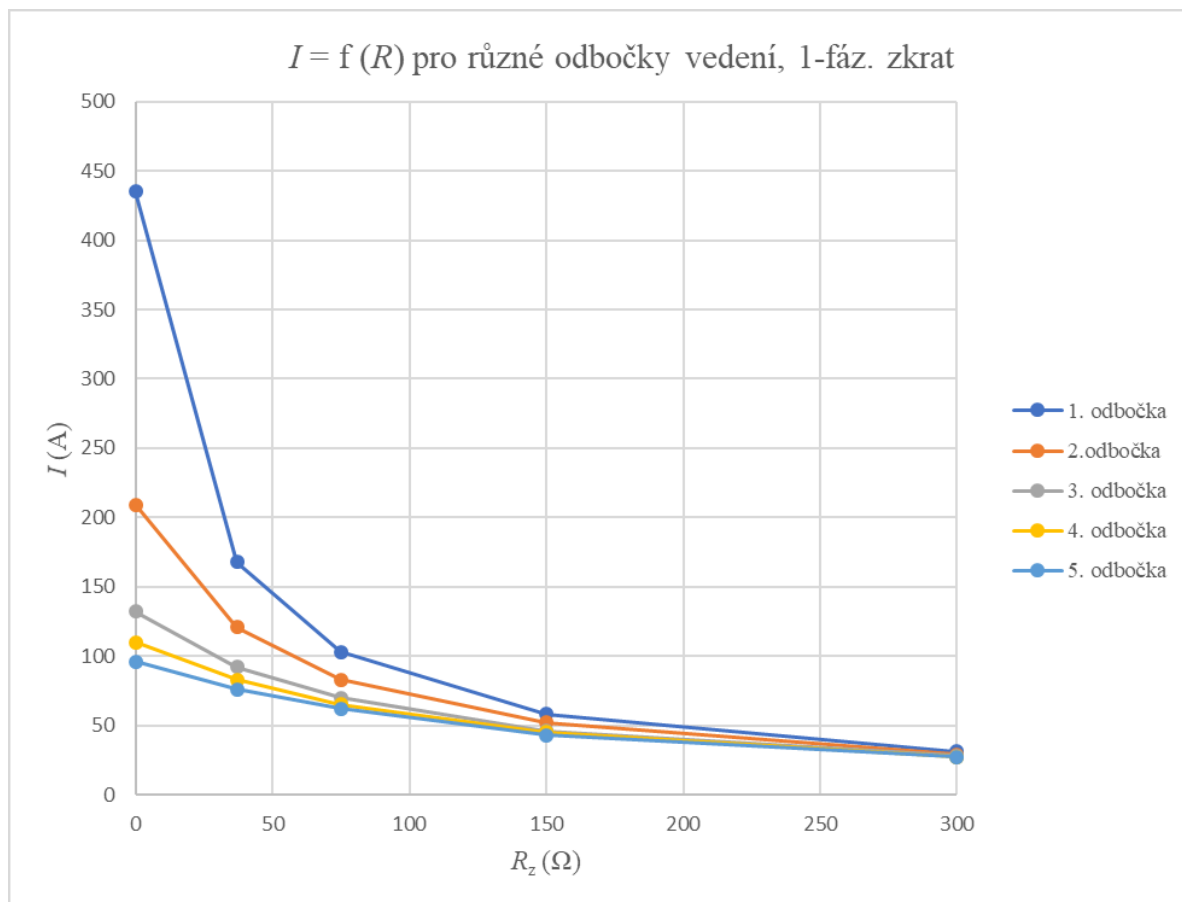
$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 440 = 381 \text{ A}$$

$$I_{k1}'' = \frac{U_f}{\sqrt{(R_v + R_z)^2 + X_v^2}} = \frac{10\,000}{\sqrt{(18,5 + 10)^2 + 13,2^2}} = 318 \text{ A}$$

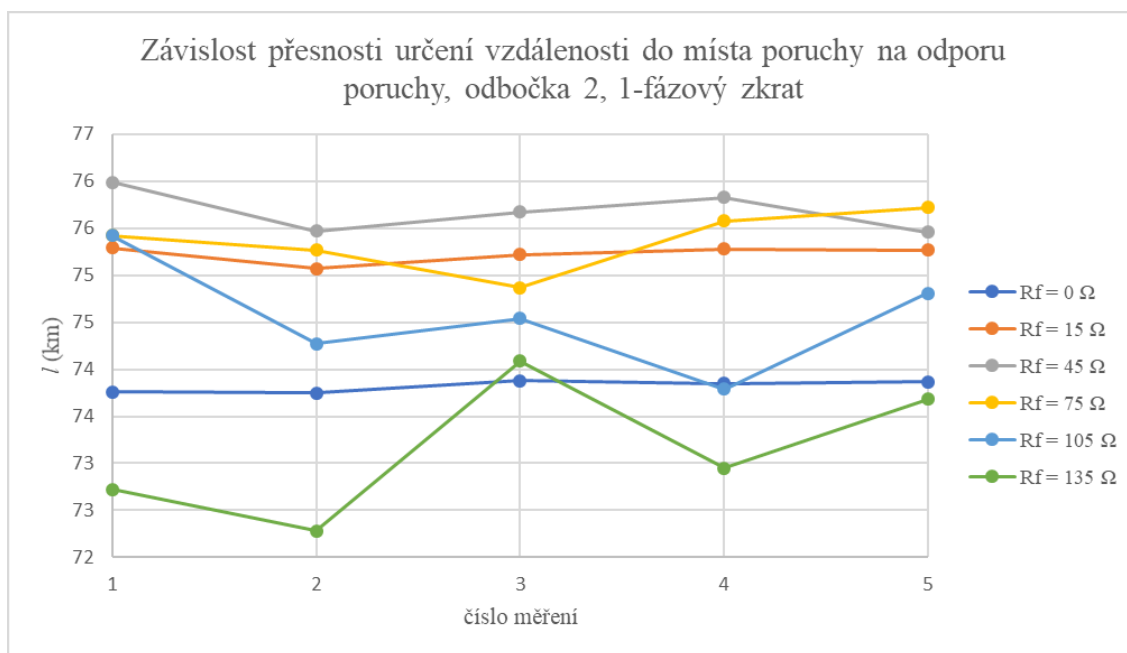
$$X_v = 2\pi fL = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,042 = 13,2 \Omega$$

$$l = \frac{X_v}{X_k} = \frac{13,2}{0,353} = 35,4 \text{ km}$$

7.2.5 Grafické vyhodnocení



Obr. 7.15 Závislost hodnoty zkratového proudu na odporu uzemnění



Obr. 7.16 Závislost přesnosti určení vzdálenosti do místa poruchy na odporu poruchy

7.2.6 Seznam použitých přístrojů

- Ochrana REF630
- Třífázový autotransformátor DSS 400/430/6/MDC/G
- Modul spínačového pole 1
- Modul napájení
- Modul poruch
- Modul simulace přenosových vedení
- Modul zátěže

7.2.7 Kontrolní otázky

- 1) Jakou klíčovou hodnotu je nutné nastavit v ochraně pro správný výpočet vzdálenosti do místa poruchy?

Reaktanci vedení na jednotku délky.

- 2) Proč bývá u průmyslových sítí vn uzemněný uzel zdroje přes odpor?

Z důvodu zabránění vzniku přerušovaného zemního spojení a omezení zkratového proudu.

- 3) Pro jaký zkrat je nejnáročnější přesně určit vzdálenost do místa poruchy a odchylka od vypočtené hodnoty je proto nejvyšší?

Pro jednofázový zkrat.

7.2.8 Závěr

Cílem této úlohy bylo simulovat různé druhy zkratů, změřit je a vypnout pomocí ochrany REF630 a porovnat s teoretickými vztahy pro výpočet těchto zkratů. Dalším cílem bylo změřit závislost zkratového proudu na zemním odporu a závislost přesnosti výpočtu vzdálenosti do místa poruchy na odporu poruchy.

Z naměřených a vypočtených hodnot uvedených v tabulce 7.1 je patrné, že naměřené hodnoty zkratových proudů se téměř přesně shodují s vypočtenými. Drobné odchylky jsou způsobeny tím, že neznáme úplně přesné hodnoty odporu všech zapojených součástí reálného modelu. Z tabulky 7.2 vyplývá, že nejpřesnější výpočty vzdálenosti do místa poruchy dává ochrana v případě trojfázového zkratu (kromě odbočky 1) a naopak nejméně přesné v případě jednofázového zkratu. Z grafu na Obr. 7.15 vyplývá, že čím blíže nastane zkrat ke zdroji, tím větší vliv má odpor uzemnění na zkratový proud. Při tomto zapojení je pro hodnotu zemního odporu 150Ω zkratový proud téměř stejný pro všechny odbočky vedení. Graf na Obr. 7.16 ukazuje, že s rostoucí hodnotou odporu poruchy se zvyšuje rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší vypočtenou hodnotou a tím pádem stoupá i nejistota měření.

8 Závěr

V rámci diplomové práce jsem zpracoval teorii k výpočtům zkratů, elektrickým ochranám, poruchám na venkovním vedení a jejich řešení. Dále jsem vytvořil laboratorní úlohu pro studenty, která navazuje na laboratorní úlohu vytvořenou v minulém roce Ing. Michalem Kotullou.

Pro laboratorní úlohu jsem využil ochranu REF630 vestavěnou v laboratorním stole v laboratoři EB015 spolu s dalšími vestavěnými nebo přenosnými moduly. Vytvořil jsem nové zapojení, přičemž schéma a postup zapojení jsou uvedeny v této diplomové práci. Nakonfiguroval jsem ochranu pomocí softwaru PCM600 tak, aby bylo možné využít ochranné funkce – konkrétně lokátor poruch a nezávislou nadproudovou ochranu. Dále jsem nakonfiguroval grafický displej ochrany, aby zobrazoval měřené veličiny a stav vypínače. Konfiguraci jsem naimportoval do ochrany a otestoval jsem funkčnost této konfigurace.

Modul simulace přenosových vedení má chybně označené indukčnosti vedení u všech odboček, a proto se zpočátku neshodovaly ochranou vyhodnocené vzdálenosti do místa poruchy s výpočty. Posléze byly zjištěny správné hodnoty, které změřil Ing. David Škráček ve své diplomové práci z roku 2016. Poté se již vyhodnocené vzdálenosti shodovaly s vypočtenými.

Všechny části měření pro laboratorní úlohu byly změřeny a jsou vyhodnoceny ve vzorovém protokolu. Měřené hodnoty se shodují s vypočtenými hodnotami. Úloha je tedy odzkoušená a připravená pro použití ve výuce.

Vytvořené zapojení lze použít pro další laboratorní úlohy při použití dalších ochranných nebo jiných funkcí a to např. automatiky opětného zapnutí, vzájemné blokování odpojovače a uzemňovače apod. Bude však zapotřebí udělat některé změny v jednotlivých modulech. V modulu spínačového pole by bylo vhodné vyvést na stůl svorky stykačů, které ovládají odpojovače. Pokud to stávající stykače neumožňují, tak je bude potřeba nahradit jinými. Dále by bylo vhodné vyvést na stůl další digitální vstupy a výstupy ochrany pro ovládání stykačů. Modul poruch je možné vylepšit přidáním dalších odporníků, aby bylo možné nastavovat 5 různých hodnot odporu fáze vedení, když je možné nastavovat 5 různých hodnot indukčnosti fáze vedení. Těmito tématy se může zabývat další diplomová či disertační práce.

Použitá literatura

- [1] MEDVEC, Zdeněk. Poruchy a chránění elektrických sítí: Učební texty pro bakalářské studium kombinované formy. Ostrava, 2013.
- [2] DOHNÁLEK, Petr. Ochrany pro průmysl a energetiku: určeno [také] pro posl. pomaturitního inovačního studia oboru zařízení silnoproudé elektrotechn. a studia postgraduálního. Praha: SNTL, 1978. Řada elektrotechnické literatury. ISBN 9788003006304.
- [3] KOSTKA, Tomáš. Poruchové stavy vedení. In: Střední škola, Havířov-Šumbark, Sýkorova 1/613, příspěvková organizace [online]. Havířov-Šumbark [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: https://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/poruch_stav_vedeni.pdf
- [4] IED pro chránění a ovládání vývodu REF630: Popis a technická data výrobku. In: ABB Library [online]. Trutnov, 2012, 29.8.2012 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757075&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [5] RELION® protection and control 630 series Technical Manual. In: ABB Library [online]. VAASA, Finland: ABB Distribution Solutions Distribution Automation, 2019, 25.2.2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS756508%20&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [6] JANÍČEK, František. Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2135-2.
- [7] KULAS, Stanislaw J. SYNCHRONOUS SWITCHING OF POWER SYSTEMS. In: Proceedings of the 2nd IASME / WSEAS International Conference on Energy & Environment (EE'07), Portoroz, Slovenia, May 15-17, 2007 [online]. Athens: WSEAS, 2007, [cit. 2019-04-17]. ISBN 9789608457621. Dostupné z: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2007portoroz/papers/555-216.pdf>
- [8] PNE 38 4065. Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik. 3. Praha: ČSRES Komise pro normalizaci, 2017. Dostupné také z: https://www.csres.cz/Upload/PodnikoveNormy/pne-38-4065_ed4-provoz-navrhovani-a-zkouseni-ochran-a-automatik.pdf
- [9] IEC60909. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents. 2. Geneva, Switzerland: IEC, 2016.
- [10] PNE 33 0000-8. Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1 kV do 45 kV. Praha: ČSRES Komise pro normalizaci, 2005. Dostupné také z: <https://www.csres.cz/Upload/PodnikoveNormy/pne-33-0000-8-navrhovani-a-umistovani-svodicu-prepeti-v-distribucnich-sitich-nad-1-kv-do-45-kv.pdf>
- [11] ČSN EN 60071-1. Koordinace Izolace: Část 1: Definice, principy a pravidla. 2. Brusel, Belgium: CENELEC, 2006.
- [12] ČSN 33 0419-4. Koordinace Izolace: Část 4: Průvodce výpočty koordinace izolace a modelováním elektrických sítí. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [13] Zemní spojení - text. In: PowerWiki [online]. Praha: ČVUT, 2008 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>
- [14] WATERER, Frank. Efektivní pospojování a uzemnění. Řízení a údržba průmyslového podniku [online]. Český Těšín: Trade Media International, 2013, 14.03.2013 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/efektivni-pospojovani-a-uzemneni/>

- [15] Slovník pojmů. Skupina ČEZ [online]. Praha: ČEZ, 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/caste-dotazy/slovník-pojmu.html
- [16] MATULJAK, Ivan. Moderní systémy kompenzace zemních poruch v rozvodné soustavě s využitím výkonové elektroniky. Plzeň, 2013. Dostupné také z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/13690/1/final_disertacni_prace_matuljak.pdf. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [17] Zemní spojení v kompenzovaných sítích. EGE - zapouzdřené vodiče, zhášecí tlumivky, ocelové konstrukce [online]. České Budějovice: EGE, 2013 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: www.ege.cz/cz/vyrobni-sekce-ege/sekce-elektrotechnika/zemni-spojzeni-v-kompenzovanych-sitich
- [18] LUKÁŠ, Bernard. Ochrany vedení v sítích IT. Časopis Elektro [online]. FCC Public, 2008, (03) [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ochrany-vedeni-v-sitich-it--11747>
- [19] MACH, Veleslav. Technika vysokého napětí. 2., přeprac. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 978-80-248-1161-8.
- [20] VÁPENÍK, René. Opětne zapínání v distribuční soustavě vysokého napětí. *Elektro revue* [online]. Brno, 2010, (2) [cit. 2019-04-17]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/opetne-zapinani-v-distribucni-soustave-vysokeho-napeti/>