



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

SYSTÉM PRO CHRÁNĚNÍ LABORATORNÍHO GENERÁTOROVÉHO SOUSTROJÍ

SYSTEM OF PROTECTION FOR LABORATORY GENERATOR SET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Viktor Jurák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Viktor Jurák

ID: 174322

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

System pro chránění laboratorního generátorového soustrojí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis laboratorního generátorového soustrojí a výběr vhodného zařízení pro chránění
2. Konfigurace a nastavení zvoleného ochranného terminálu
3. Provedení sekundárních testů jednotlivých ochranných funkcí
4. Technické řešení připojení ochranného terminálu do obvodu generátoru a ověření funkčnosti

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

JURÁK, V. *Systém pro chránění laboratorního generátorového soustrojí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Systém pro chránění laboratorního generátorového soustrojí* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 1.6.2017

.....

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem chránění synchronního alternátoru. Úvod práce je věnován popisu laboratorního generátorového soustrojí a srovnání zařízení – ochranných terminálů a měřicích příslušenství – které lze využít pro jeho chránění. V praktické části je navrženo chránění laboratorního generátoru pomocí zvoleného ochranného terminálu a způsob jeho připojení do obvodu generátoru, tak aby umožňoval odstavení generátoru v případě poruchy. Poslední část je věnována konfiguraci, parametrizaci a testování ochranného terminálu.

KLÍČOVÁ SLOVA: ochrany generátoru; synchronní generátor; terminál točivého stroje; testování ochran

ABSTRACT

This thesis deals with draft of protection synchronous generator. The introduction of this thesis is devoted to the description of the laboratory generator set and to the comparison of the devices – protection terminals and measuring devices - which can be used for its protection. In the practical part, it is designed to protect the laboratory generator by means of the selected protection terminal and the way it is connected to the generator circuit so as to enable the generator to be shut down in case of a fault. The last part is dedicated to the configuration, parameterization and testing of the protection terminal.

KEY WORDS: **generator protection; synchronous generator; machine terminal; testing of protection**

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD	11
2 POPIS ZAŘÍZENÍ	11
2.1 POPIS ZAŘÍZENÍ JAKO CELKU.....	11
2.2 SYNCHRONNÍ GENERÁTOR	12
2.2.1 REGULACE BUZENÍ.....	14
2.3 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY.....	15
2.3.1 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY NAPĚTÍ	15
2.3.2 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY PROUDU	16
2.4 OCHRANNÉ TERMINÁLY	18
2.4.1 REF 615	18
2.4.2 REM 543.....	18
2.4.3 REM 545.....	19
2.5 CAP 505.....	20
2.5.1 RELAY CONFIGURATION TOOL.....	21
2.5.2 RELAY SETTING TOOL	22
2.5.3 RELAY MIMIC EDITOR	22
2.5.4 RELAY DOWNLOAD TOOL	24
3 NÁVRH PŘIPOJENÍ OCHRANNÉHO TERMINÁLU DO OBVODU A REALIZACE	
ZAPOJENÍ	25
3.1 NÁVRH ZAPOJENÍ	25
3.1.1 MĚŘENÍ NAPĚTÍ.....	25
3.1.2 MĚŘENÍ PROUDU.....	26
3.1.3 ZAPOJENÍ OVLÁDACÍ ČÁSTI	26
3.2 REALIZACE ZAPOJENÍ.....	26
4 KONFIGURACE A TESTOVÁNÍ OCHRANNÉHO TERMINÁLU	28
4.1 KONFIGURACE MĚŘICÍCH VSTUPŮ	28
4.2 PŘEHLED JMENOVITÝCH HODNOT PRO NASTAVENÍ OCHRANNÝCH FUNKCÍ	32
4.3 NASTAVENÍ PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO TESTERU OMICRON CMC	32
4.4 PROGRAM PRO OVLÁDÁNÍ.....	33
4.5 PROGRAM PRO MĚŘENÍ	34
4.6 PROGRAM PRO CHRÁNĚNÍ.....	35
4.6.1 NADPROUDOVÁ OCHRANA NOC3 HIGH.....	36
4.6.2 NADPROUDOVÁ OCHRANA NOC3 Low.....	37
4.6.3 NADPROUDOVÁ OCHRANA ODBLOKOVANÁ PŘI PODPĚTÍ VOC6 HIGH	38
4.6.4 OCHRANA PŘI NESYMETRII 1. STUPEŇ NPS3 Low	39
4.6.5 OCHRANA PŘI NESYMETRII 2. STUPEŇ NPS3 HIGH.....	40

4.6.6 OCHRANA PŘI NADPĚTÍ OV3 HIGH.....	41
4.6.7 OCHRANA PŘI PODPĚTÍ UV3 HIGH	41
4.6.8 OCHRANA PŘI PODBUZENÍ OPOW6ST2	42
4.6.9 OCHRANA PŘI ZPĚTNÉM TOKU VÝKONU OPOW6ST1.....	43
4.6.10 OCHRANA STATORU GENERÁTORU NA NETOČIVOU SLOŽKU NAPĚTÍ ROV1 HIGH.....	44
4.6.11 OCHRANA NA NETOČIVOU SLOŽKU PROUDU NEF1 HIGH	44
5 ZÁVĚR.....	46
POUŽITÁ LITERATURA	47
OBRAZOVÁ PŘÍLOHA	48
OBSAH CD.....	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Stávající stav - schéma zapojení obvodu generátoru</i>	12
<i>Obr. 2-2 Schematické znázornění generátoru</i>	14
<i>Obr. 2-3 Zapojení regulátoru R250</i>	15
<i>Obr. 2-4 Křivky chyb nízkonapěťových transformátorů (převzato z [3])</i>	17
<i>Obr. 2-5 Úvodní obrazovka programu CAP 505 - Master Design View</i>	20
<i>Obr. 2-6 Stromová nabídka v okně Relay configuration tool</i>	21
<i>Obr. 2-7 Okno Relay Setting Tool</i>	22
<i>Obr. 2-8 Okno Relay Mimic Editor s vyznačením hlavních ovládacích prvků</i>	23
<i>Obr. 2-9 Okno nastavení vypínače v Relay Mimic Editor</i>	23
<i>Obr. 2-10 Okno Relay Download Tool</i>	24
<i>Obr. 3-1 Přehledové schéma zapojení ochranného terminálu do obvodu generátoru</i>	25
<i>Obr. 3-2 Schéma připojení svorkovnic v rozvaděči</i>	27
<i>Obr. 3-3 Schéma připojení ochrany na svorkovnice</i>	27
<i>Obr.3-4 Rozpojovací svorkovnice PHOENIX CONTACT URTK/SP - Převzato z: [https://www.phoenixcontact.com/assets/images_pr/product_photos/large/21380_1000_int_04.jpg]</i>	28
<i>Obr. 4-1 Nastavení analogových měřicích kanálů</i>	29
<i>Obr. 4-2 Nastavení proudového měřicího vstupu</i>	29
<i>Obr. 4-3 Nastavení napěťového měřicího vstupu</i>	30
<i>Obr. 4-4 Nastavení měřítek v Relay Setting Tool</i>	31
<i>Obr. 4-5 Nastavení objektu testu v Omicron QuickCMC</i>	33
<i>Obr. 4-6 Program pro ovládání</i>	34
<i>Obr. 4-7 Program pro měření</i>	35
<i>Obr. 4-8 Výřez z programu pro chránění</i>	36
<i>Obr. 4-9 Princip funkce ochrany VOC6 High v režimu „Voltage step“ (převzato z [7])</i>	38
<i>Obr. 4-10 Princip funkce ochrany při nesymetrii v módu „Inverse time“ (převzato z [7])</i>	39
<i>Obr. 4-11 Funkce ochrany OPOW6 (převzato z [7])</i>	42
<i>Obr. 4-12 Princip funkce OPOW6, pokud je „Power direction“ nastaven na „Reverse“ a „Angle“ = 0 (převzato z [7])</i>	43
<i>Obr. P-1 Plný program pro chránění</i>	48
<i>Obr.P-2 Provedené úpravy v rozvaděči</i>	49
<i>Obr.P-3 Celkový pohled na pracoviště</i>	49

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Parametry synchronního generátoru podle [1]</i>	13
<i>Tab. 2-2 Parametry proudových měřicích vstupů podle [6]</i>	19
<i>Tab. 2-3 Parametry napěťových měřicích vstupů podle [6]</i>	19
<i>Tab. 2-4 Parametry binárních vstupů podle [6]</i>	19
<i>Tab. 2-5 Parametry binárních výstupů podle [6]</i>	20
<i>Tab. 4-1 Změřené hodnoty skutečného sekundárního napětí transformátorů a vypočítané hodnoty korekčního faktoru</i>	30
<i>Tab. 4-2 Jmenovité hodnoty pro nastavení ochranných funkcí</i>	32
<i>Tab. 4-3 Nastavení funkce NOC3 High</i>	37
<i>Tab. 4-4 Nastavení funkce NOC3 Low</i>	37
<i>Tab. 4-5 Nastavení funkce VOC6 High</i>	38
<i>Tab. 4-6 Nastavení funkce NPS3 Low</i>	40
<i>Tab. 4-7 Nastavení funkce NPS3 High</i>	41
<i>Tab. 4-8 Nastavení funkce OV3 High</i>	41
<i>Tab. 4-9 Nastavení funkce UV3 High</i>	42
<i>Tab. 4-10 Nastavení funkce OPOW6st2</i>	43
<i>Tab. 4-11 Nastavení funkce OPOW6st1</i>	44
<i>Tab. 4-12 Nastavení funkce ROV1 High</i>	44
<i>Tab. 4-13 Nastavení funkce NEF1 High</i>	45

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

CT	Proudový transformátor (<i>Current Transformer</i>)
VT	Napěťový transformátor (<i>Voltage Transformer</i>)
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
MTN	Měřicí transformátor napětí
MTP	Měřicí transformátor proudu

Symbols:

U_b	Napětí na sekundární straně proudového transformátoru
R_b	Rezistance zátěže proudového transformátoru
I_b	Proud sekundárním vinutím transformátoru
$U_{\text{prim.}}$	Jmenovité primární napětí napěťového měřicího transformátoru
$U_{\text{sec.}}$	Skutečné sekundární napětí napěťového měřicího transformátoru při jmenovitém primárním napětí.
U_{sn}	Jmenovité napětí napěťového měřicího vstupu ochranného terminálu
U_n	Jmenovité fázové napětí generátoru pro nastavení ochranných funkcí
I_n	Jmenovitý proud generátoru pro nastavení ochranných funkcí
I_{sn}	Jmenovitý proud proudového měřicího vstupu ochranného terminálu
S_n	Jmenovitý zdánlivý výkon generátoru pro nastavení ochranných funkcí
I''_{kmin}	Minimální zkratový proud
$I_{\text{Lpeak max}}$	Vrcholová hodnota maximálního proudu zátěže
$I_{\text{L max}}$	Efektivní hodnota maximálního proudu zátěže
I_p	Hodnota proudu pro nastavení nadproudové ochranné funkce
t_{vyp}	Vypínací čas ochranné funkce
P	Činný výkon
Q	Jalový výkon
P_{zp}	Zpětný výkon na krytí ztrát generátoru
$I_{\text{R(p.u.)}}$	Rozběhový proud ochrany v poměrných jednotkách

1 ÚVOD

Generátory jsou jednou z nejsložitějších a nejdražších součástí elektrizační soustavy. Proto je potřeba je chránit jednak před poruchami které vzniknou uvnitř generátoru, tak proti poruchám které vniknou vně. Ani sebelepší ochrana neumí poruše předejít. Účelem ochrany je ale zmírnění škod způsobených poruchou a zabránění vniku sekundární poruchy (poruchy, která nastane v důsledku primární poruchy). Základními požadavky na ochrany obecně jsou především spolehlivost, selektivita, rychlost působení, jednoduchost obsluhy a ekonomická návratnost.

Ochrana měří stavové veličiny chráněného objektu (jako je například napětí, proud, frekvence, atd.), případně si z měřených hodnot žádané vstupní hodnoty vypočítává (např. činný výkon, účinník, podíl U/f , atd.) a porovnává, zdali jsou tyto hodnoty v nastavených dovolených mezích. Pokud tomu tak není, dává ochrana prostřednictvím popudového členu pokyn k vypnutí vypínače, snížení výkonu, nebo odstavení stroje.

Cílem bakalářské práce je navrhnout schéma zapojení ochrany k laboratornímu generátorovému soustrojí, provést její konfiguraci a parametrizaci na základě parametrů chráněného objektu - generátoru. Dále je cílem ochranu otestovat pomocí sekundárního testeru a nakonec ji otestovat v reálných podmínkách připojením ke generátoru a simulací poruchového stavu.

2 POPIS ZAŘÍZENÍ

2.1 Popis zařízení jako celku

Zařízení se skládá z ocelového rámu, na kterém je samotné rotační soustrojí a z rozvaděče, kde jsou vyvedeny kabely od rotačního soustrojí a kde je veškeré přístrojové vybavení.

Rotační soustrojí se skládá z asynchronního motoru, jehož hřídel je mechanicky spojena s hřídelí synchronního generátoru. Asynchronní motor má štítkový výkon 7,5kW a je napájen ze sítě přes frekvenční měnič, umožňující regulaci otáček a momentu. Měnič může podle [1] pracovat ve dvou režimech, které se volí přepínačem „předvolba SA5“:

1. Předvolba rychlost – V tomto režimu frekvenční měnič rozběhne motor po rozběhové rampě (cca 5s) až na otáčky nastavené potenciometrem „rychlost“. Tento režim měniče se hodí, pokud generátor pracuje do izolované zátěže, neboť umožňuje nastavení frekvence, kterou měnič udržuje stále stejnou.
2. Předvolba moment – V tomto režimu, pokud je hřídel motoru bez zátěže, pracuje měnič stejně jako v předchozím případě. Po připojení zátěže ale měnič drží konstantní hodnotu zatěžovacího momentu nastavenou potenciometrem „moment“. Tento režim se hodí pro chod generátoru do tvrdé sítě, neboť umožňuje nastavení konstantního činného výkonu dodávaného do sítě.

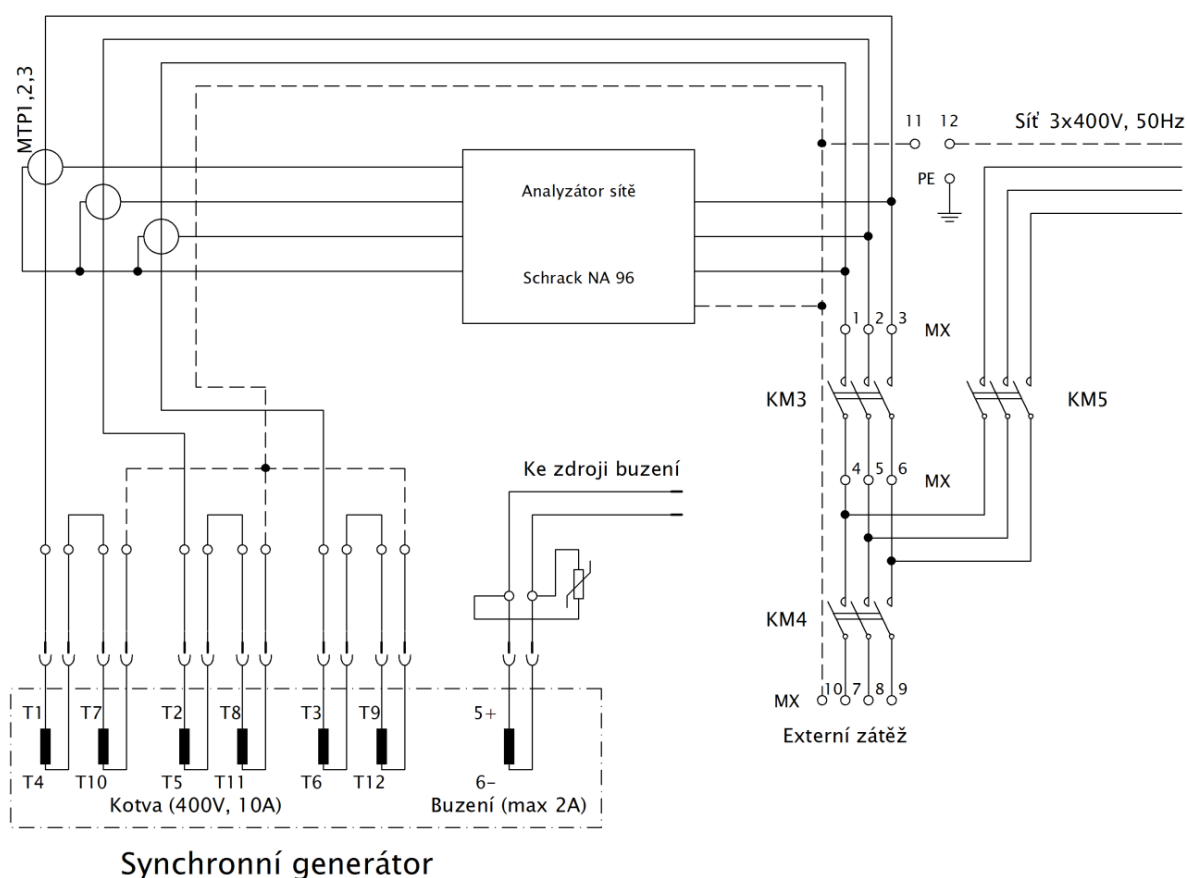
Dále má zařízení podle [1] dva režimy, které určují, zdali bude zátěž generátoru tvrdá síť, nebo externí zátěž (tvořená např. asynchronním motorem, sadou odporů, RL nebo RC zátěží, atd.). Tyto režimy se volí přepínačem „předvolba SA4“:

1. Režim autonomní provoz – V tomto režimu sepne stykač KM4, který propojuje výstupní svorky stykače zátěže se svorkami externí zátěže přes 20A pojistky. V tomto

režimu je možné jako zdroj buzení pro generátor použít jak regulátor R250, tak i externí zdroj STATRON, umístěný na rozvaděči.

2. Režim paralelní spolupráce – V tomto režimu je sepnut stykač KM5 a výstupní svorky stykače zátěže jsou spojeny se sítí přes 16A pojistky. V tomto režimu lze jako zdroj buzení použít pouze externí zdroj STATRON.

Sepnutí generátoru k zátěži pak zajišťuje stykač KM3, který je ovládán tlačítky SB6 a SB5. Změna zdroje buzení se provádí zastrčením příslušného kabelu zdroje do zásuvky buzení XC12. K měření výstupu z generátoru je použit analyzátor sítě Schrack NA96, který má napěťové vstupy připojeny na přímo a proudové vstupy přes měřicí transformátory proudu (MTP1, 2, 3), jejichž sekundární vinutí jsou zapojeny do hvězdy s vyvedeným středem, který je uzemněn a též připojen do analyzátoru.



Obr. 2-1 Stávající stav - schéma zapojení obvodu generátoru

2.2 Synchronní generátor

Synchronní generátor se vyznačuje tím, že točivé magnetické pole statoru a rotoru se otáčejí synchronně, tedy se stejnou frekvencí. Fázový posun těchto dvou točivých magnetických polí se nazývá zátěžný úhel a jeho velikost je závislá na činném výkonu. Trojfázové vinutí bývá obvykle na statoru a budící vinutí napájené stejnosměrným proudem na rotoru. Konstrukčně pak rozlišujeme synchronní stroje s hladkým rotorem a s vyniklými póly. Magnetická osa budícího vinutí se nazývá podélná a značí se písmenem d a osa k ní kolmá se nazývá příčná a označuje se písmenem q .

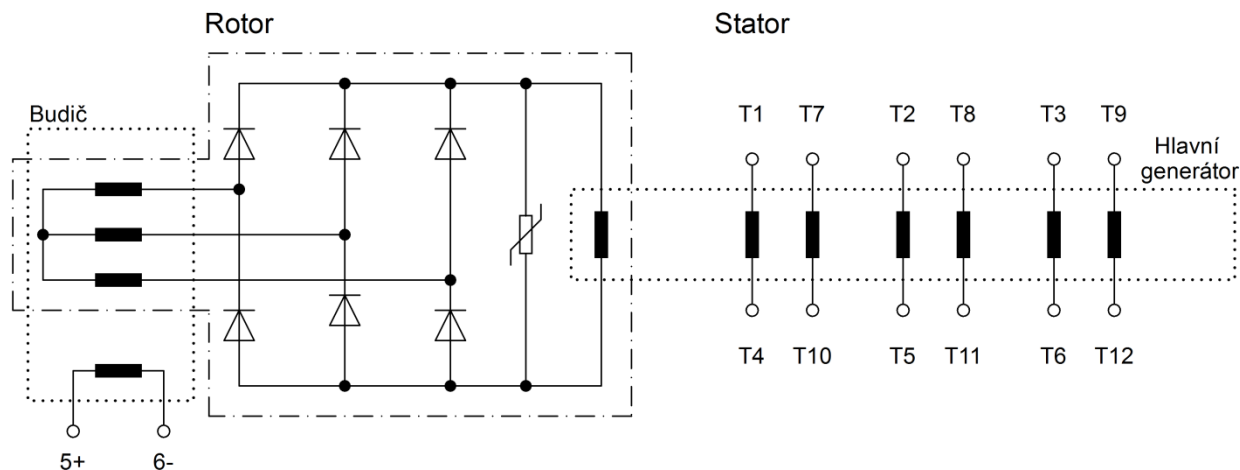
V našem laboratorním rotačním zdroji je použit generátor Partner LSA 37M5. Je to čtyřpólový synchronní generátor se synchronním budičem na společné hřídeli v bezkartáčovém provedení. To znamená, že budič má na statoru stejnosměrné budící vinutí, vyvedené na svorkovnici, a na rotoru má trojfázové vinutí. Na hřídeli je pak trojfázový šestipulsní usměrňovač, který usměrňuje proud indukovaný v rotoru budiče. Usměrněný proud pak napájí budící vinutí hlavního generátoru. Generátor je schematicky znázorněn na obrázku č. 2-2.

Trojfázové vinutí hlavního generátoru je pak provedeno jako dělené. Každá fáze má tedy dvě stejná vinutí, která jsou spojena do série. Fáze jsou pak spojeny do hvězdy. Sdružené napětí této konfigurace je 400V. Všechny konce všech vinutí jsou vyvedeny do rozvaděče na svorkovnici, takže je možné snadno změnit zapojení. Zapojení je znázorněno na obrázku č. 2-1.

Tab. 2-1 Parametry synchronního generátoru podle [1]

Typ	-	LSA 37M5
Jmenovité napětí	U_{ng}	3x400V
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_{ng}	7,5kVA
Jmenovitý proud	I_{ng}	10,83A
Jmenovitý účinník	$\cos\varphi$	0,8
Jmenovité otáčky	n	1500min ⁻¹
Jmenovitá frekvence	f	50Hz
Počet pólů	$2p$	4
Synchronní reaktance v podélné ose	x_d	140%
Synchronní reaktance v příčné ose	x_q	70%
Přechodná podélná reaktance	x_d'	9,9%
Přechodná podélná časová konstanty zkratu	T_d'	40ms
Rázová podélná reaktance	x_d''	4,9%
Rázová příčná reaktance	x_q''	8,5%
Rázová podélná časová konstanta zkratu	T_d''	3,7ms
Netočivá reaktance	x_0	9,9%
Zpětná reaktance	x_2	6,7%

Z tabulky je patrné, že se od sebe hodnoty příčné a podélné synchronní reaktance o polovinu liší. Z toho můžeme vyvodit, že se jedná o generátor s vyniklými póly, neboť u generátoru s hladkým rotorem jsou tyto reaktance téměř stejné.



Obr. 2-2 Schematické znázornění generátoru

2.2.1 Regulace buzení

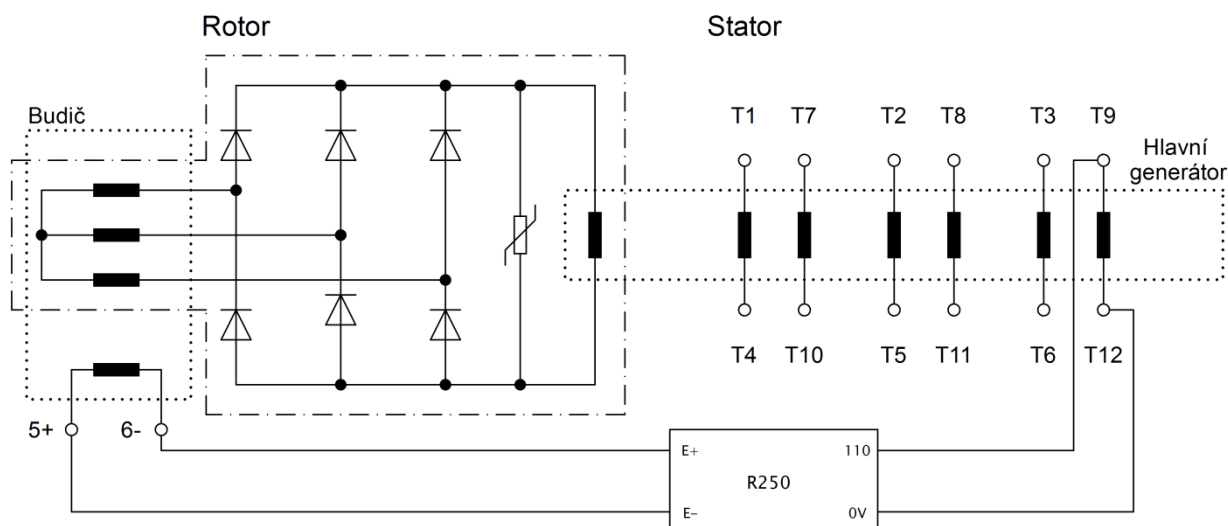
Rotační zdroj disponuje dvěma způsoby regulace buzení. Jednak regulátorem R250, nebo externím zdrojem STATRON. Dle [1] je maximální budicí proud generátoru bez zátěže 0,88A, při maximální zátěži pak 2,6A.

2.2.1.1 Regulátor R250

Tento regulátor je od výrobce Leroy Somer a je přímo určen pro tento generátor. Jedná se o regulátor konstantního výstupního napětí. Jeho vstup je připojen paralelně k jednomu vinutí generátoru (je napájen polovinou fázového napětí, tedy 115V), ze kterého si bere jednak proud pro budicí obvod a zároveň zde snímá napětí, které se snaží zregulovat na žádanou hodnotu zadanou ručně potenciometrem. Zapojení regulátoru je patrné z obrázku č. 2-3. Tento regulátor je vhodný pouze pro práci generátoru do izolované sítě, kde lze buzením napětí změnit. Pokud by byl tento regulátor připojen při provozu generátoru do tvrdé sítě, snažil by se zregulovat napětí na žádanou hodnotu zvětšením/zmenšením budicího proudu. Tím by se ale pouze zvětšovala hodnota jalového výkonu a při větší nastavené hodnotě napětí, než je napětí sítě by se přetěžoval budicí obvod. V opačném případě by regulátor podbuzoval generátor, až by nakonec stroj vypadl ze synchronismu. Další nevýhoda tohoto systému je ta, že pokud by byl remanentní magnetismus příliš malý, regulátor by neměl dostatečné napětí, ze kterého by napájel budicí obvod. Další nevýhodou je pak také to, že napětí je snímáno pouze z poloviny vinutí jedné fáze. Pokud by byla vlivem poruchy napětí nesymetrická, regulátor by to nijak nezjistil.

Parametry regulátoru podle [1]:

- Přesnost regulace napětí: $\pm 0,5\%$
- Napájecí napětí: 85 – 139V (50/60Hz)
- Jištění 8A pomalou pojistkou



Obr. 2-3 Zapojení regulátoru R250

2.2.1.2 Externí zdroj STATRON

Externí zdroj STATRON lze provozovat jako zdroj konstantního budicího napětí U_b (pokud není v oblasti proudového omezení) nebo jako zdroj konstantního budicího proudu I_b (pokud není v oblasti napěťového omezení). Tento typ regulace se vyznačuje nezávislostí na výstupních parametrech generátoru a je vhodný jak pro práci generátoru do izolované sítě, tak pro práci do tvrdé sítě.

Parametry zdroje STATRON 2224.1 podle [1]:

- Napájecí napětí: 230V AC
- Příkon: 300W
- Výstupní napětí: 0,006 – 48V
- Výstupní proud: 0 – 3,5A

2.3 Přístrojové transformátory

2.3.1 Přístrojové transformátory napětí

Podle [2] se přístrojový transformátor napětí vzhledem od klasického silového transformátoru příliš neliší. Svoji konstrukcí a způsobem výpočtu však ano. Zatímco silové transformátory jsou navrženy tak, aby při přenášení určitého výkonu nebyla překročena jeho dovolená maximální teplota, přístrojové transformátory jsou navrženy tak, aby při určitém přenášeném výkonu nebyla překročena chyba úhlu a chyba napětí.

K dispozici jsou dva transformátory IME BTV3 s hodnotou jmenovitého primárního napětí 400V, které lze použít k měření sdružených napětí. Tyto transformátory je možné použít i pro měření napětí pro účel výpočtu výkonu v Aronově zapojení, ale pouze v síti s izolovaným uzlem.

Parametry přístrojového transformátoru napětí IME BTV3 podle [4]:

- Jmenovité primární napětí: 400V
- Jmenovité sekundární napětí: 100V
- Třída přesnosti: 1
- Chyba napětí při 0,8 - 1,2 U_n : 1%

- Chyba úhlu při 0,8 - 1,2Un: 40 minut
- Jmenovitý zdánlivý výkon: 6VA
- Trvalá napěťová přetížitelnost: 1,2Un
- Jmenovitá frekvence: 50Hz
- Provozní rozsah frekvence: 47 - 63Hz

Protože ale u sítě s přímo uzemněným uzlem je potřeba pro výpočet výkonu měřit tři fázová napětí, bylo nutné dokoupit tři transformátory se jmenovitým primárním napětím 230V. Jelikož je ale měřicí transformátor finančně příliš nákladný a ochranný terminál umožňuje nastavení jmenovité hodnoty napěťového vstupu na hodnoty 100V, 110V, 115V nebo 120V a dále lze nastavit korekční činitel v rozsahu $\pm 10\%$ z nastavené jmenovité hodnoty, bylo rozhodnuto koupit transformátory výkonové, které stojí asi třetinu ceny oproti transformátorům měřicím.

Štítkové parametry zakoupeného výkonového transformátoru BREVE TUFVASSONS TMM30/A230/110V:

- Jmenovité primární napětí: 230V
- Jmenovité sekundární napětí: 110V
- Jmenovitý zdánlivý výkon: 30VA
- Jmenovitá frekvence: 50Hz

2.3.2 Přístrojové transformátory proudu

Podle zařízení připojených na sekundární stranu transformátoru rozeznáváme přístrojové transformátory.

- Měřicí – určené pro měření, regulaci nebo řízení objektu
- Jisticí – určené pro ochrany

Měřicí transformátory musí být přesné především ve své pracovní oblasti, která je dána okolím jmenovité hodnoty proudu. Při velkých nadproudech je vliv sycení magnetického obvodu žádoucí, neboť omezuje sekundární proud, jehož velké hodnoty by mohly poškodit měřicí přístroje. Na měřicí transformátory také nejsou kladeny nároky na rychlost odezvy.

U jisticích transformátorů je tomu naopak, ty musí zajišťovat dostatečně rychlý a přesný přenos (tj. přesnou transformaci přechodného jevu) i při velkých nadproudech. Stačí zde ale obvykle menší přesnost měření v okolí jmenovité hodnoty proudu než u transformátorů měřicích.

Sekundární vinutí přístrojového transformátoru proudu musí být při provozu vždy zatíženo rezistancí, která se blíží k nule. Napětí na sekundární straně přístrojového transformátoru proudu je dáno následujícím vztahem:

$$U_b = R_b \cdot I_b \quad (2.1)$$

Kde U_b je napětí na sekundární straně proudového transformátoru, R_b je rezistance zátěže proudového transformátoru a I_b je proud sekundárním vinutím transformátoru.

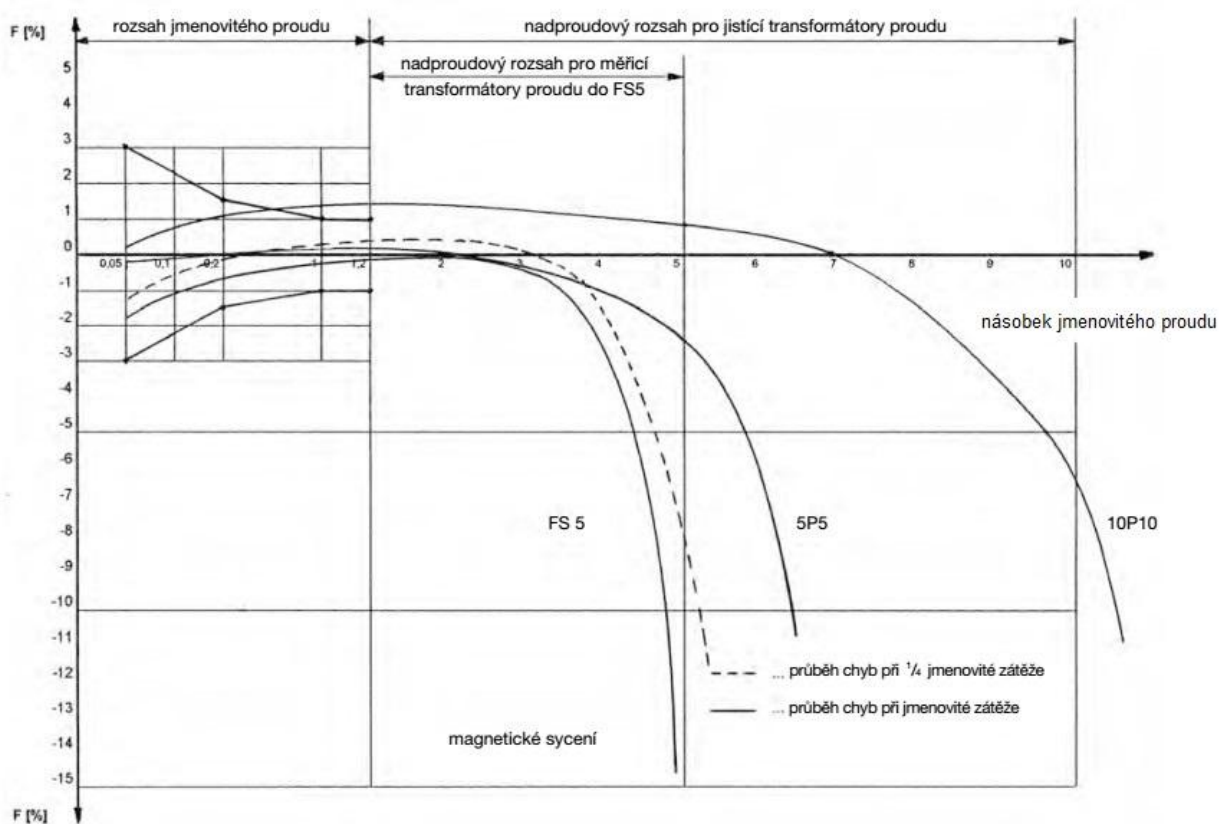
Pokud by rezistance zátěže $R_b \rightarrow \infty$ pak by i napětí $U_b \rightarrow \infty$. Kdyby došlo k rozpojení proudového obvodu, došlo by k špičkovému vzrůstu napětí na svorkách sekundárního vinutí, které by mohlo ohrozit obsluhu i izolaci samotného proudového transformátoru. Podle [2] by

velikost špičky napětí, která by vznikla rozpojením proudového obvodu, byla úměrná strmosti „kolene“ magnetizační charakteristiky.

Při zapojování PTP je také nutné dbát na polaritu svorek. Pokud primárním vinutím prochází proud ve směru od svorky K ke svorce L, pak sekundárním vinutím prochází proud od svorky k ke svorce l.

K dispozici jsou tři přístrojové transformátory proudu od firmy MBS typu WSK40, které jsou již v rozvaděči instalovány a slouží k převodu proudu pro analyzátor sítě Schrack NA96.

Tyto transformátory jsou bohužel měřicí a pro chránění nejsou příliš vhodné. Na obrázku 2-4 je zobrazen průběh chyby přístrojových transformátorů v procentech v závislosti na průchodu n-násobku jmenovitého primárního proudu transformátoru. Z grafu na obrázku č. 2-4 lze vidět, že měřicí transformátor ve třídě FS5 má při pětinasobku jmenovitého proudu chybu přes 15%.



Obr. 2-4 Křivky chyb nízkonapěťových transformátorů (převzato z [3])

Parametry přístrojového transformátoru proudu MBS WSK40 podle [3]:

- Jmenovitý primární proud: 10A
- Jmenovitý sekundární proud: 1A
- Třída přesnosti: 0,5
- Chyba proudu při 1 - 1,2I_n: 0,5%
- Chyba úhlu při 1 - 1,2I_n: 30 minut
- Jmenovitý zdánlivý výkon: 2,5VA
- Nadproudové číslo: FS5
- Jmenovitý krátkodobý proud I_{th}: 60xI_n
- Jmenovitý dynamický proud I_{dyn}: 2,5xI_{th}

Bylo by tedy vhodné zakoupit jisticí transformátory. Pro účel původně zamýšlené rozdílové ochrany by ale byla potřeba 6 jisticích transformátorů, nejlépe všechny stejné a pokud možno i stejně zatížené na sekundární straně. Také tato skutečnost by vylučovala použití stávajících třech transformátorů a bylo by nutno koupit nových šest kusů transformátorů.

2.4 Ochranné terminály

Ochranné terminály jsou multifunkční zařízení sloužící k ochraně, řízení a monitorování stavu zařízení. Oproti dříve používaným releovým či později tranzistorovým ochranám mají tato zařízení spoustu nesporných výhod. Jednou z nich je úspora místa, neboť pro každou funkci dříve sloužilo jedno zařízení. Ochranný terminál může nahrazovat až několik desítek těchto zařízení. Další výhodou je nižší spotřeba elektrické energie a to jak pro napájení ochrany jako takové, tak spotřeba měřicích vstupů (jedno zařízení má nižší spotřebu než několik desítek zařízení). Další výhodou je snadný přenos dat do nadřazeného řídicího systému, snadné ovládání zařízení (výkonového vypínače, odpojovače, atd.) a zajištění blokování těchto zařízení proti chybné manipulaci.

Hlavními výrobci ochranných terminálů jsou například Siemens, General Electric či ABB. A právě terminály od ABB jsou dostupné v laboratoři ochran. Označení řady ochranných terminálů od této firmy začíná písmeny „RE“. Třetí písmeno pak udává konkrétní aplikaci, například „M“ pro motory a generátory, „T“ pro transformátory, „F“ pro vývody, atd...

Ochranné terminály, dostupné v laboratoři ochran a potenciálně vhodné pro chránění synchronního generátoru jsou popsány v následujících podkapitolách.

2.4.1 REF 615

Tento ochranný terminál slouží primárně jako ochrana vývodu. Ochrana je ze zatím nejnovější řady, kterou firma ABB vyrábí. Její konkrétní účel je dán „standardní konfigurací“, ta je dána třetím písmenem z objednávacího kódu (v laboratoři ochran je dostupný terminál v konfiguraci HBFFAEAGNBC3BAN1XC). V našem případě je písmeno standardní konfigurace „F“ a to podle [5] znamená, že je ochrana určena pro směrové nadproudové chránění a směrové zemní chránění s měřením fázového napětí a s podpětovou i přepětovou ochranou, monitorování provozních podmínek vypínače a ovládání vypínače. Ochrana má čtyři proudové vstupy, pět napětových, šestnáct binárních vstupů a deset binárních výstupů. Jako hlavní důvod proč tato ochrana nakonec nebyla vybrána je absence funkce synchro-check pro synchronizované spínání a absence některých funkcí, které jsou pro chránění generátoru důležité.

2.4.2 REM 543

Tento ochranný terminál je primárně navržen jako ochrana točivého stroje. Ochrana je ze starší, páté řady. Ochran z této řady mají všechny stejné funkce, které jsou dány použitou softwarovou knihovnou. Čím se však jednotlivé terminály liší, jsou počty napětových a proudových měřicích vstupů. Dále jsou odlišnosti v počtu a prahovém napětí u binárních vstupů a v počtu typu binárních výstupů. Terminály z této řady se programují z PC pomocí programu CAP 505 po sériové lince RS232. Ochranný terminál REM 543 212AAAA, dostupný v laboratoři ochran, má podle [6] čtyři proudové vstupy 1/5A, jeden citlivější proudový vstup 0,2/1A, čtyři napětové vstupy 100V, patnáct digitálních vstupů 80-256V DC, pět výkonových výstupů a sedm signálních výstupů. Výhodou oproti ochraně REF 615 jsou ochranné funkce, které jsou určeny

speciálně pro generátory, jako je třeba ochrana proti nesouměrnému zatížení, nebo ochrana proti zpětnému toku výkonu, ochrana při ztrátě buzení, atd...

2.4.3 REM 545

Tato ochrana je funkčně shodná s REM 543, která je uvedena v předchozím oddílu. Terminál je i ze stejné generace a programování probíhá stejným způsobem. Oproti REM 543 má REM 545 větší počet digitálních vstupů a výstupů a je novější. Terminál REM 545 224AAAA, který je dostupný v laboratoři ochrany, má podle [6] šest proudových vstupů 1/5A, tři napěťové vstupy 100V, dvacet pět binárních vstupů 80-256V DC, jedenáct výkonových výstupů a sedm signálních výstupů.

Pro účely chránění laboratorního generátoru byl nakonec vybrán tento ochranný terminál. Hlavní důvod byl větší počet binárních vstupů a výstupů a větší počet proudových vstupů 1/5A (v budoucnu bude možné použít například funkci rozdílové ochrany).

2.4.3.1 Parametry vstupů a výstupů ochranného terminálu REM 545

Napěťové a proudové měřicí vstupy jsou realizovány formou napěťového/proudového měřicího transformátoru. Parametry jsou uvedeny v tabulce 2-2 a 2-3.

Tab. 2-2 Parametry proudových měřicích vstupů podle [6]

Jmenovitý proud	1A	5A
Maximální trvale výdržný proud	4A	20A
Výdržný proud po dobu 1s	100A	500A
Impedance	<100mΩ	<20mΩ

Tab. 2-3 Parametry napěťových měřicích vstupů podle [6]

Jmenovité napětí	100/110/115/120 V
Maximální trvalé výdržné napětí	240V
Impedance	20kΩ

Binární vstupy na rozdíl od měřicích vyhodnocují pouze binární hodnotu na vstupu, čili logickou 1 nebo 0 (je na vstupu napětí/není na vstupu napětí). Tyto vstupy jsou použity například pro indikaci stavu výkonového vypínače, nebo pro ovládání ochranného terminálu externími hardwarovými tlačítky. Vstupy jsou galvanicky oddělené od ostatních obvodů ochrany. Z tabulky č. 2-4 lze vidět už první úskalí realizace signalizační části a to sice problematická dostupnost zdroje o tomto napětí, neboť 80V DC je příliš velké napětí pro obyčejný běžně dostupný laboratorní zdroj a 256V DC je příliš málo pro prosté usměrnění a filtraci fázového napětí sítě.

Tab. 2-4 Parametry binárních vstupů podle [6]

Jmenovité napětí	110/125/220 V DC
Provozní rozsah napětí	80 - 256 V DC
Odebíraný proud	2 - 25 mA

Ochranný terminál má binární výstupy realizovány pomocí relé. Výstupy jsou rozděleny na výkonové a signalizační. Z tabulky 2-5 lze vidět, že trvalý proud, který jsou schopny kontakty přenášet, jsou u výkonových výstupů stejné jako u signalizačních. Velké odlišnosti jsou však ve velikosti vypínacího proudu. Podle [6] se výkonové dále dělí na jednopólové a dvojpólové (single-pole/double-pole) a na obyčejné (PO - *Power Output*) a vysokorychlostní (HSPO - *High Speed Power Output*).

Podle [6] se signalizační výstupy dělí podle kontaktů, na v klidu rozepnuté (NO - *Normally Open*) a na dvojici v klidu rozepnutého a v klidu sepnutého kontaktu (NO/NC - *Normally Open/Normally Close*).

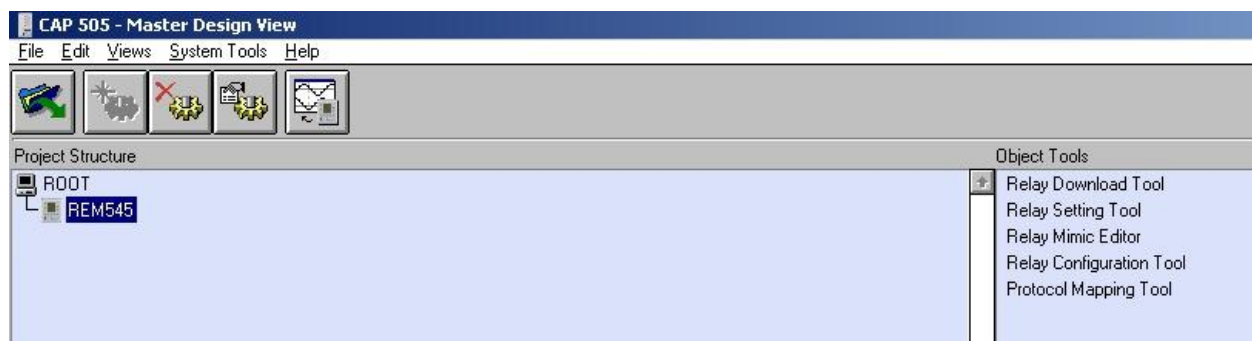
Tab. 2-5 Parametry binárních výstupů podle [6]

Výstup	Výkonový (<i>Power Output</i>)	Signální (<i>Signal Output</i>)
Maximální napětí	250V AC/DC	250V AC/DC
Maximální trvalý proud	5A	5A
Maximální proud po dobu 3s	15A	8A
Vypínací schopnost při časové konstantě obvodu L/R <40ms při 48/110/220 V DC	5A/3A/1A	1A/0,25A/0,15A

Volitelnou výbavou, kterou však žádný ochranný terminál dostupný v laboratoři ochrany nedisponuje, jsou podle [6] například analogové vstupy (např. pro připojení senzoru teploty), vstupy pro tzv. senzory (měření napětí děličem a měření proudu Rogowskiho cívkou), nebo analogové výstupy.

2.5 CAP 505

Po otevření programu CAP 505 se jako úvodní obrazovka objeví „Master Design View“ která je na obrázku č. 2-5. Na této obrazovce lze spravovat projekty (vytvářet, editovat, exportovat, importovat). Dále zde probíhá nastavení komunikace s terminálem, nastavení typu a produktového čísla terminálu a je to i určitý rozcestník pro programování terminálu. K tomu slouží nabídka „Object Tools“. Jejím obsahu budou věnovány následující oddíly.

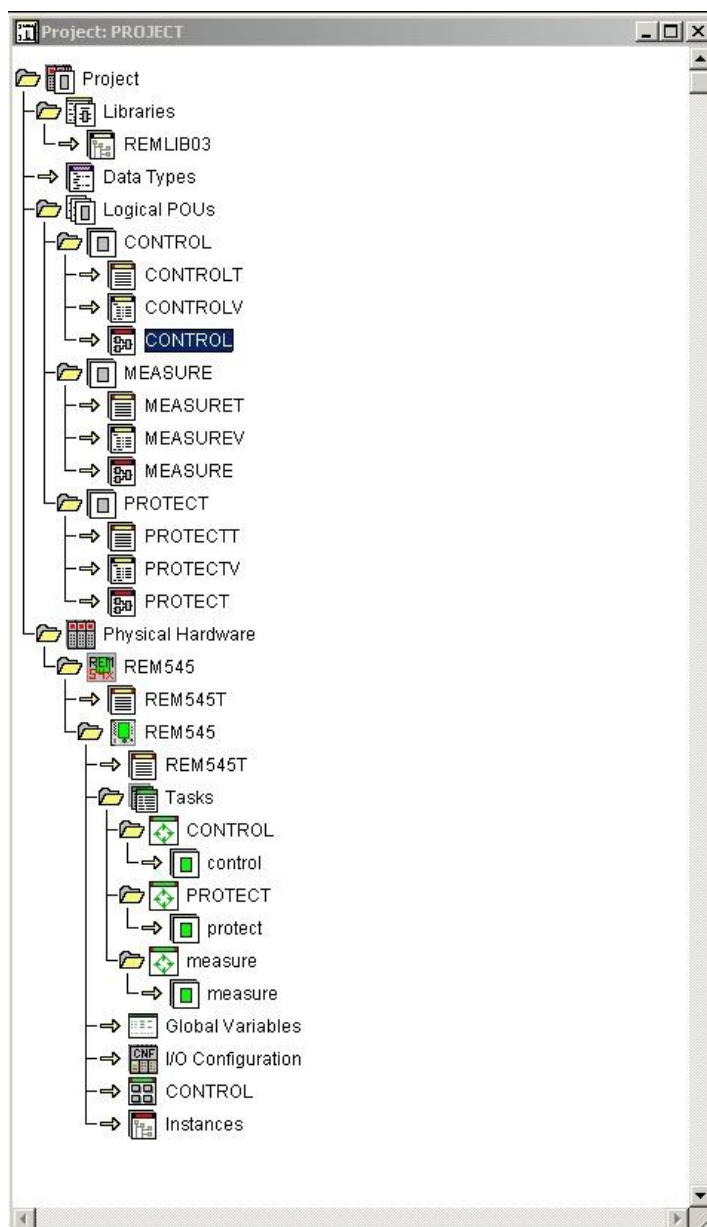


Obr. 2-5 Úvodní obrazovka programu CAP 505 - Master Design View

2.5.1 Relay configuration tool

V tomto okně se provádí vlastní programování terminálu. Na pravé straně je stromový adresář (obrázek č. 2-6), jehož jednotlivé položky je nutno vyplnit a nastavit. Nejprve je nutné do adresáře „Libraries“ nahrát vhodnou knihovnu (v našem případě REMLIB03), dále do adresáře „Physical Hardware“ přiřadit přesný typ, hardwarové a softwarové číslo terminálu a nastavit na něm používané vstupy, jejich rozsah, způsob měření, atd. Nastavení měřicích vstupů bude popsáno v kapitole „konfigurace a testování ochranného terminálu“. V adresáři „Logical POU“ pak lze vytvářet jednotlivé podprogramy. Pro přehlednost byly vytvořeny programy „CONTROL“ pro řízení vypínače, „MEASURE“ pro měření a „PROTECT“ pro chránění. Program se skládá z propojených funkčních bloků. Každá funkce je reprezentována blokem. Na pravé straně bloku jsou vstupy a na levé straně bloku jsou výstupy. Nastavení parametrů jednotlivých bloků už ale neprobíhá v tomto okně, ale v okně „Relay Setting Tool“.

Jednotlivé hotové programy budou ukázány v kapitole „Konfigurace a testování ochranného terminálu“



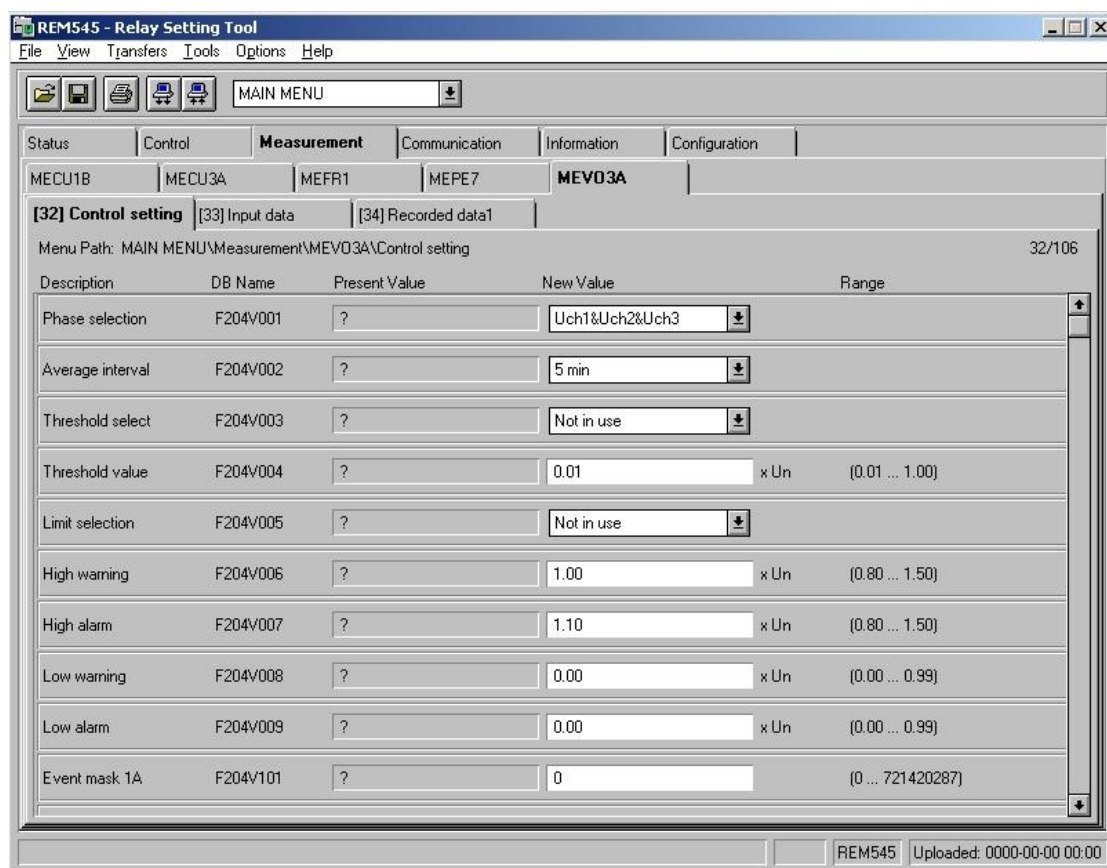
Obr. 2-6 Stromová nabídka v okně Relay configuration tool

2.5.2 Relay Setting Tool

V tomto probíhá nastavení jednotlivých funkcí. Vzhled této obrazovky je na obrázku č. 2-7 Stejně nastavení lze provést i přímo z obrazovky terminálu bez použití počítače. Nastavování tímto způsobem je ale velice nepohodlné a zdlouhavé.

V horních záložkách jsou jednotlivé skupiny funkcí (Status, Control, Measurement, ...), v prostředních záložkách jsou nastavení jednotlivých funkčních bloků. V posledních záložkách je pak nastavení konkrétního bloku.

Jednotlivé veličiny se nastavují v poměrných jednotkách. Pomocí dvou tlačítek nalevo od nabídky „Main Menu“ lze stáhnout aktuální nastavení z ochrany nebo odeslat nastavení do ochrany.



Obr. 2-7 Okno Relay Setting Tool

2.5.3 Relay Mimic Editor

Nástroj slouží pro konfiguraci HMI rozhraní (*Human-Machine Interface*). Toto okno je zobrazeno na obrázku č. 2-8. Nastavuje se zde ovládání ochrany pomocí jejího čelního panelu, vzhled displeje, zobrazení alarmů, zobrazení schématu silového obvodu s interaktivními prvky, které dávají obsluze informace o stavu zařízení, lze zde zobrazit i měřené veličiny jako je napětí, frekvence, činný výkon, jalový výkon, účinník, atd.

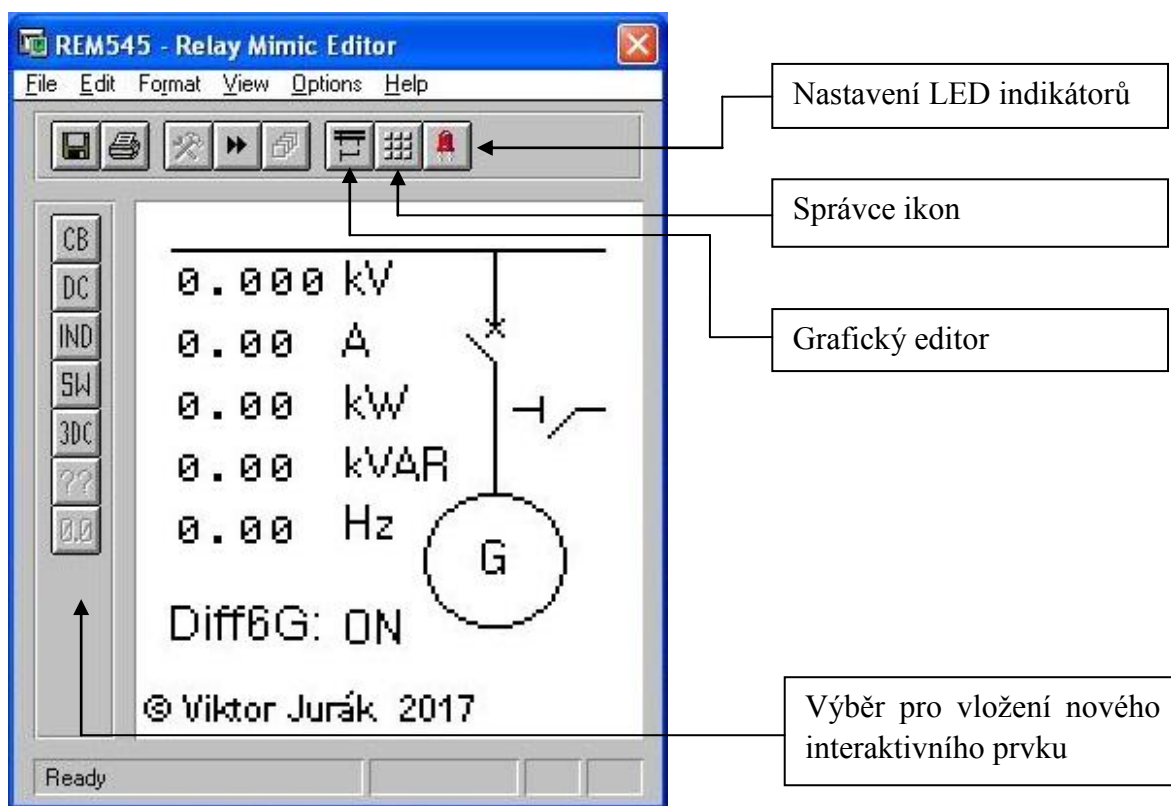
Každý vložený interaktivní prvek je ovládán v oknu „Relay Configuration Tool“ a to prostřednictvím funkčního bloku.

Přehled jednotlivých interaktivních prvků:

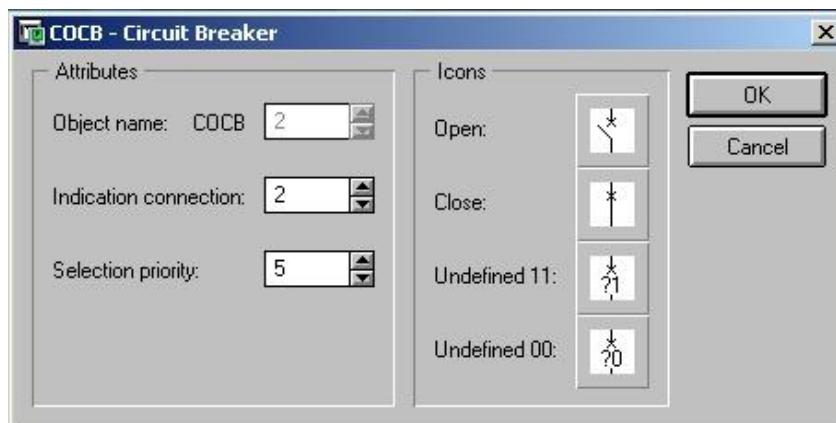
- CB - Výkonový vypínač (*Circuit Braker*)

- DC - Odpojovač (*Disconnector*)
- IND - Indikátor (jde pouze o indikaci stavu vypínače/odpojovače)
- SW - Logický spínač (*Switch*)
- 3DC - Třípolohový odpojovač
- 0.0 - Zobrazení číselné hodnoty

Na obrázku č. 2-9 je zobrazeno okno nastavení vypínače. V pravém bloku je nastavení vzhledu ikon. Zde si můžeme všimnout i dvojice ikon pro nedefinované stavy. Kvůli bezpečnosti je totiž indikace stavu realizována pomocí dvou binárních vstupů. Jeden je pro indikaci zapnutého stavu a druhý pro indikaci vypnutého stavu. Logicky musí mít oba vstupy rozdílnou binární hodnotu. Pokud jsou například na obou vstupech logické nuly („vypínač není ani zapnut ani vypnut“), stav je vyhodnocen jako „nedefinovaný“. Toto může nastat například ve chvíli, kdy je vypínač v mezipoloze.



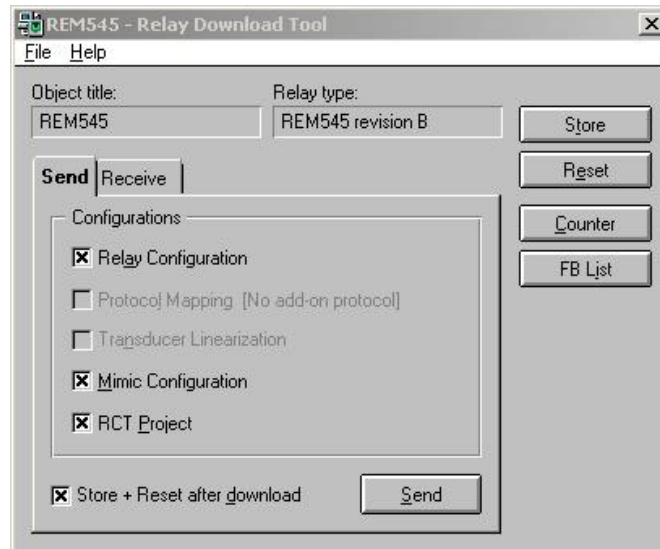
Obr. 2-8 Okno Relay Mimic Editor s vyznačením hlavních ovládacích prvků



Obr. 2-9 Okno nastavení vypínače v Relay Mimic Editor

2.5.4 Relay Download Tool

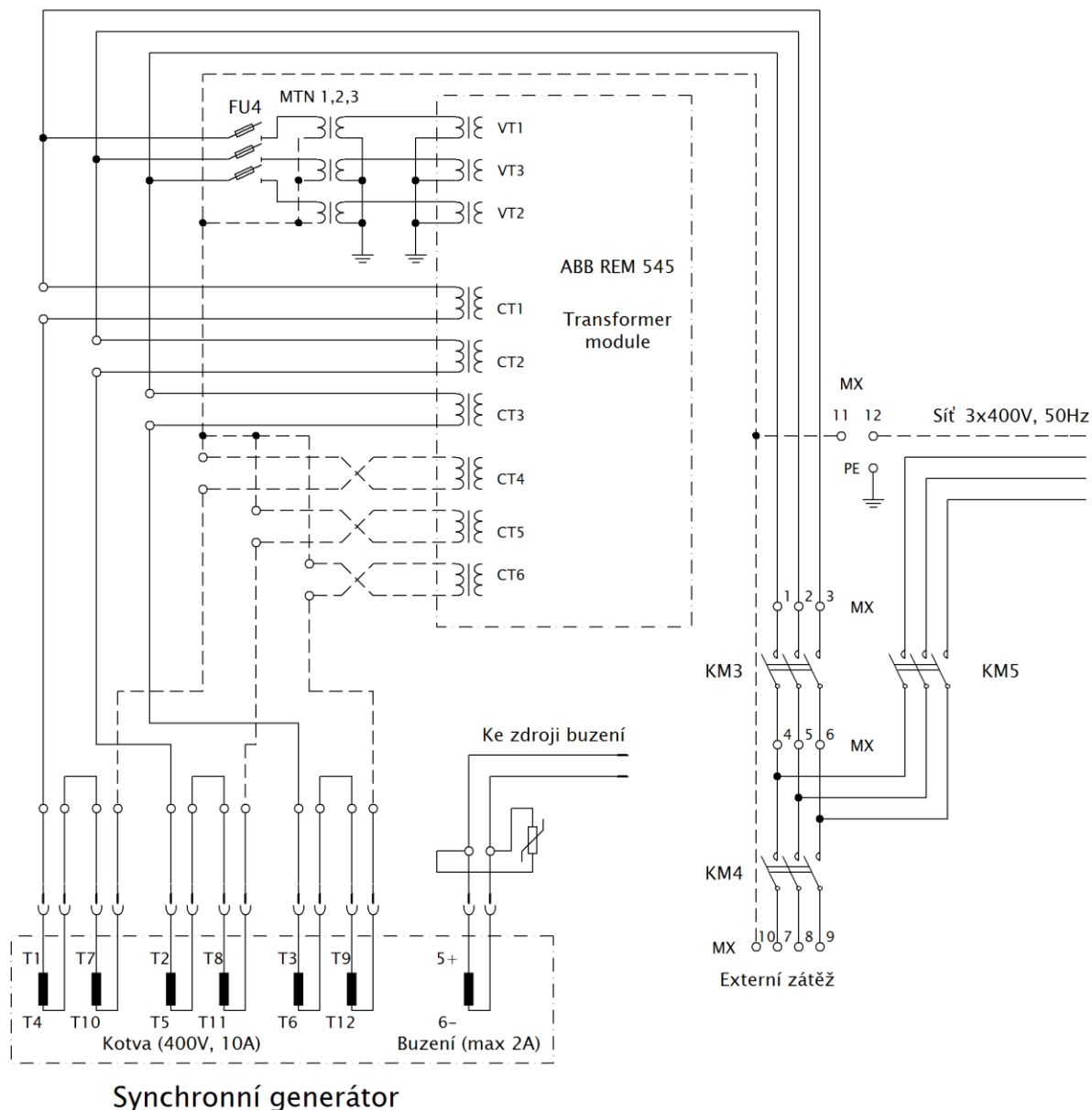
Pomocí tohoto nástroje probíhá nahrávání projektu do ochrany (záložka „Send“), nebo stahování aktuální konfigurace z ochrany (záložka „Receive“). Pro zajištění správné funkčnosti nahrané konfigurace je vhodné zaškrtnout políčko „Store + Reset after download“. Nahrávání se spustí kliknutím na tlačítko „Send“



Obr. 2-10 Okno Relay Download Tool

3 NÁVRH PŘIPOJENÍ OCHRANNÉHO TERMINÁLU DO OBVODU A REALIZACE ZAPOJENÍ

3.1 Návrh zapojení



Obr. 3-1 Přehledové schéma zapojení ochranného terminálu do obvodu generátoru

3.1.1 Měření napětí

Původně bylo plánováno použití již zakoupených dvou transformátorů pro měření sdružených napětí. Jak již bylo řečeno v kapitole 2.3.1, generátor pracuje do sítě s přímo uzemněným uzlem, proto je nutné pro výpočet výkonu měřit napětí fázová. Transformátory jsou jištěny 2A pojistkami, které slouží též pro jištění obvodu měření napětí analyzátoru sítě SCHRACK NA 96. Zapojení transformátorů je patrné z obrázků 3-1 a 3-2. Primární strany transformátorů jsou spojeny do hvězdy, uzel hvězdy je připojen k uzlu generátoru. Sekundární

strany jsou spojeny též do hvězdy. Uzel sekundární strany je uzemněn přes rozpojitelnou svorku. Výstupy z transformátorů jsou připojeny na nově vytvořenou svorkovnici OX (svorky 15 – 22).

3.1.2 Měření proudu

Jak již bylo řečeno v kapitole 2.3.2, měření proudů pro rozdílovou ochranu by vyžadovalo zakoupení šesti kusů nových jisticích transformátorů proudu. Po zvážení finančních nákladů a přínosu bylo rozhodnuto přístrojové transformátory vůbec nepoužít a měřit proud přímo ochranou a to pomocí 5A vstupů. K tomuto rozhodnutí vedl i fakt, že vstupy ochranného terminálu mají velkou přetížitelnost. Z tab. 2-2 je patrné, že 5A vstup vydrží trvale 20A a po dobu 1s až 500A. Jmenovitý proud generátoru je necelých 11A a vzhledem k riziku poškození stroje nebudou simulovány poruchy, u kterých by proud tekoucí generátorem 20A překročil.

Pro měření proudu nebyla v rozvaděči vytvořena nová svorkovnice, pouze byly nahrazeny stávající svorky na svorkovnici X za svorky typu URTK/SP.

3.1.3 Zapojení ovládací části

Ovládání stykače zátěže KM3 pomocí ochranného terminálu je realizováno připojením spínacího kontaktu BIO1_5_S02 terminálu paralelně ke spínacímu tlačítku SB6, které slouží k ručnímu sepnutí stykače. Rozpínací kontakt terminálu BIO1_5_SO3 je připojen sériově k rozpínacímu tlačítku SB5, které slouží k rozepnutí stykače.

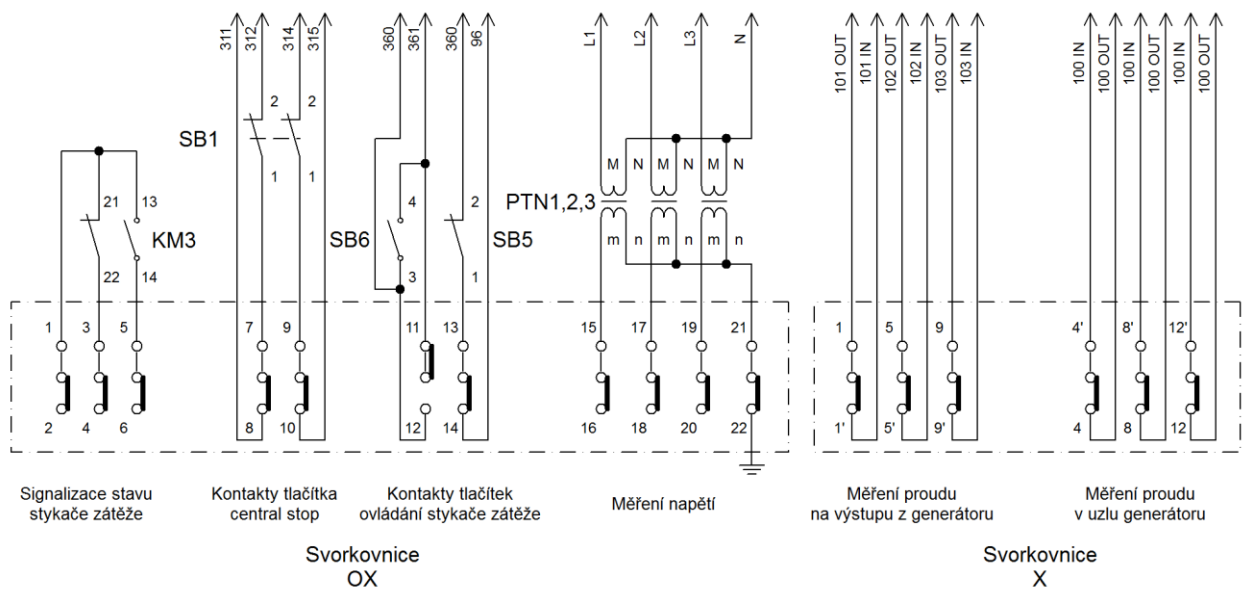
K bezpečnému vypnutí a zabrzdění soustrojí slouží hříbkové STOP tlačítko. Je tedy vhodné jeho obvod využít i pro odstavení po působení ochrany. Tlačítko mechanicky působí na dva rozpínací kontakty připojené do dvou proudových smyček bezpečnostního relé PREVENTA. Je tedy třeba využít dvou rozpínacích kontaktů ochranného terminálu (BIO1_5_SO4 a BIO1_5_SO5), které jsou do těchto smyček sériově připojeny.

Pro signalizaci stavu stykače zátěže KM3 je pomocný rozpínací kontakt stykače připojen k binárnímu vstupu BIO1_5_BI1, spínací kontakt ke vstupu BIO1_5_BI2. Společný konec pomocných kontaktů je připojen na kladný pól zdroje 80 – 256V DC, společný konec binárních vstupů terminálu je připojen k zápornému pólu tohoto zdroje.

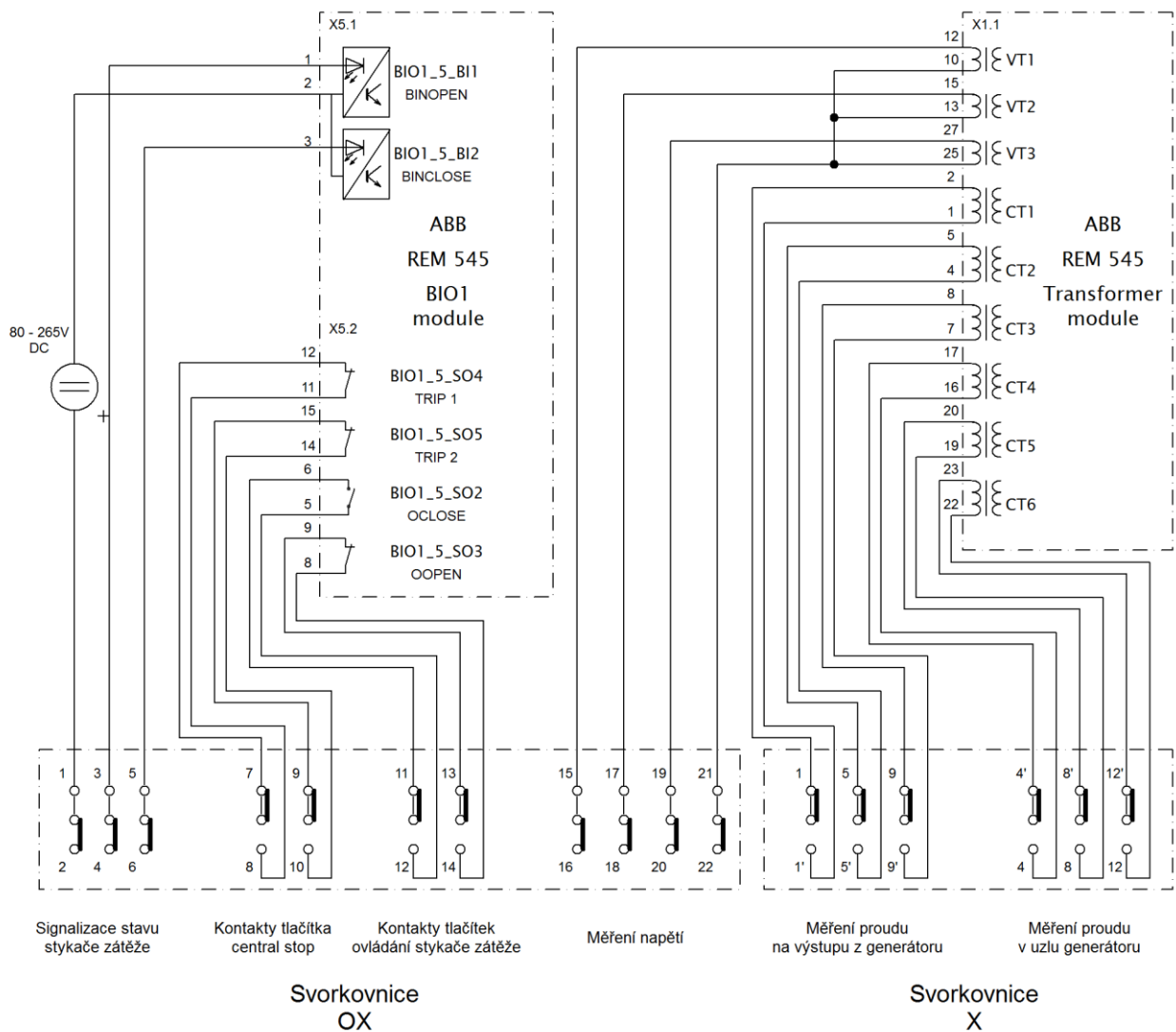
3.2 Realizace zapojení

Vyvedení jednotlivých kontaktů a měření je realizováno prostřednictvím rozpojitelné svorkovnice URTK/SP od firmy PHOENIX CONTACT. Tato svorkovnice umožňuje jak odpojení horní a spodní strany, tak i připojení laboratorních testovacích vodičů na obě strany do 4mm zdiřek. Svorkovnice je rovněž zabezpečená vůči dotyku živých částí hřbetem ruky nebo prsty. Svorkovnici lze osadit z obou stran pevnými nebo spínatelnými můstky (propojení dvou nebo více svorek vedle sebe).

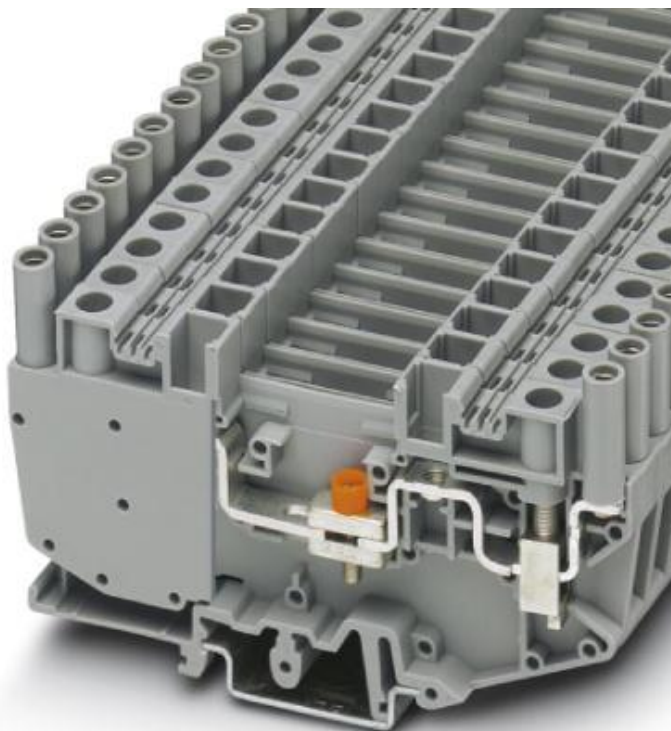
Pro zachování provozuschopnosti laboratorního soustrojí i bez připojeného ochranného terminálu musí být rozpojitelné svorky v poloze naznačené na schématu na obr. 3-2. Naopak pro zajištění funkčnosti při připojeném terminálu musí být rozpojitelné svorky v poloze naznačené na schématu na obr. 3-3.



Obr. 3-2 Schéma připojení svorkovnic v rozvaděči



Obr. 3-3 Schéma připojení ochrany na svorkovnice



Obr.3-4 Rozpojovací svorkovnice PHOENIX CONTACT URTK/SP - Převzato z:
[https://www.phoenixcontact.com/assets/images_pr/product_photos/large/21380_1000_int_04.jpg
g]

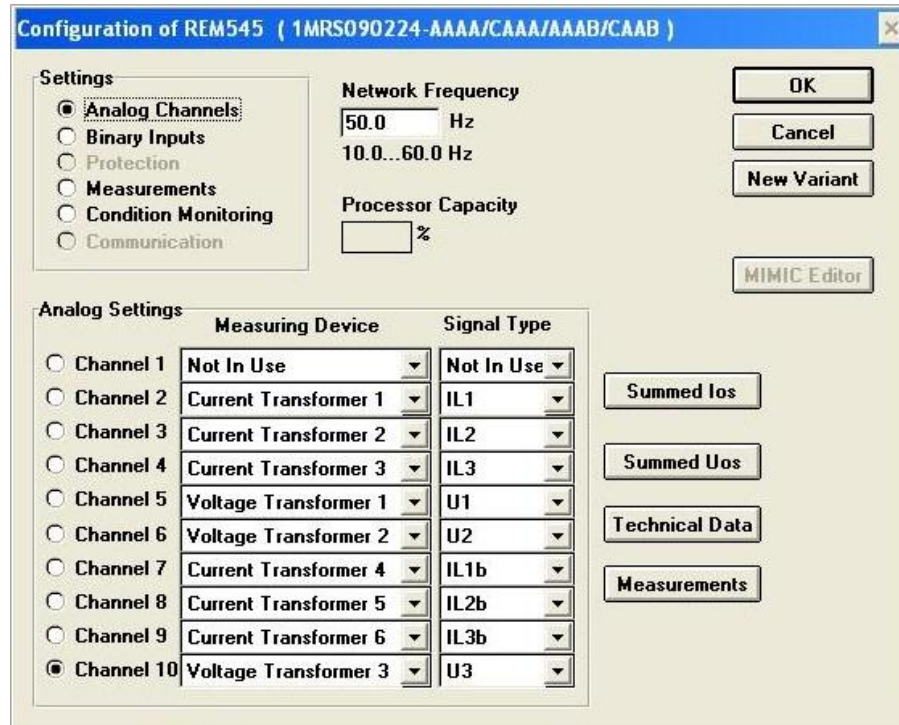
4 KONFIGURACE A TESTOVÁNÍ OCHRANNÉHO TERMINÁLU

Konfigurace probíhá v okně „*Relay configuration tool*“. Zde jsou vytvořeny programy „*MEASURE*“ pro měření, „*CONTROL*“ pro ovládání a „*PROTECT*“ pro chránění. Dále se zde provádí i konfigurace měřicích vstupů. Parametrizace jednotlivých bloků probíhá v okně „*Relay setting tool*“.

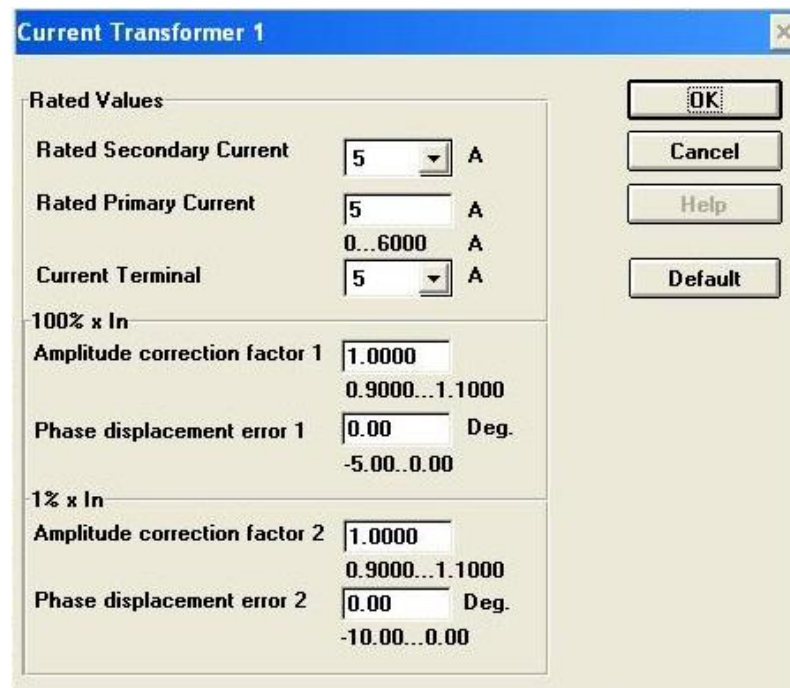
4.1 Konfigurace měřicích vstupů

Do ochranného terminálu je nutné nastavit, jakým způsobem budou měřeny hodnoty napětí a proudu. Toto nastavení se provádí v programu „*Relay Configuration Tool*“ pod položkou „*Physical Hardware*“. Po kliknutí na „*Analog Channels*“ se zobrazí nabídka dostupných měřicích kanálů (Obr. 4-1). V položce „*Measurements*“ je nastavení způsobu měření výkonů (zvoleno měření třech fázových napětí a třech proudů). Nastavení jednotlivých kanálů je pak pod položkou „*Technical Data*“.

Nastavení proudových vstupů je na Obr. 4-2. Pro měření proudu je použit 5A vstup (*Current Terminal = 5A*). Jak již bylo řečeno, přístrojové transformátory proudu nejsou použity a proud z generátoru prochází přímo měřicími vstupy terminálu. Primární i sekundární hodnota tedy musí být rovna jmenovité hodnotě proudového vstupu (*Rated Secondary Current = Rated Primary Current = 5A*). Pokud by byl pro měření proudu využit PTP, je možné korigovat chybu amplitudy proudu a chybu úhlu pomocí korekce „*Amplitude correction factor*“ a „*Phase displacement error*“.



Obr. 4-1 Nastavení analogových měřicích kanálů



Obr. 4-2 Nastavení proudového měřicího vstupu

Nastavení napěťových měřicích vstupů je na Obr. 4-3. Jak již bylo řečeno, pro měření napětí jsou použity výkonové transformátory. Jejich jmenovitá sekundární hodnota platí pouze přibližně a to navíc jen při jmenovitém zatížení. Jelikož má napěťový vstup ochrany relativně velký vstupní odpor (kolem 30kΩ), pracují transformátory ve stavu naprázdno. V tomto stavu je hodnota napětí na sekundární straně podstatně vyšší než jmenovitá (při jmenovitém napětí na primární straně).

Tento fakt je nutné do nastavení terminálu zahrnout. K tomu slouží korekční faktor amplitudy napětí „*Amplitude Correction Factor*“. Korekční faktor je číslo, kterým je vynásobena hodnota vstupního napětí.

K určení nastavovaných parametrů napětěvého vstupu je nutné provést měření na transformátorech. Na testeru Omicron bylo nastaveno jmenovité primární napětí $U_{\text{prim.}} = 230\text{V}$ (*Rated primary voltage*) o jmenovité frekvenci 50Hz, a k jeho svorkám byla připojena primární strana napětěvého transformátoru. Pomocí multimetru AMPROBE AM-530-EUR se změřila hodnota sekundárního napětí $U_{\text{sec.}}$. Z řady jmenovitých napětí vstupu terminálu (100-110-115-120V) se pak vybere hodnota U_{sn} (*Rated secondary voltage*), která je nejbližší změřenému skutečnému napětí $U_{\text{sec.}}$. Korekční faktor se pak vypočítá podle vztahu:

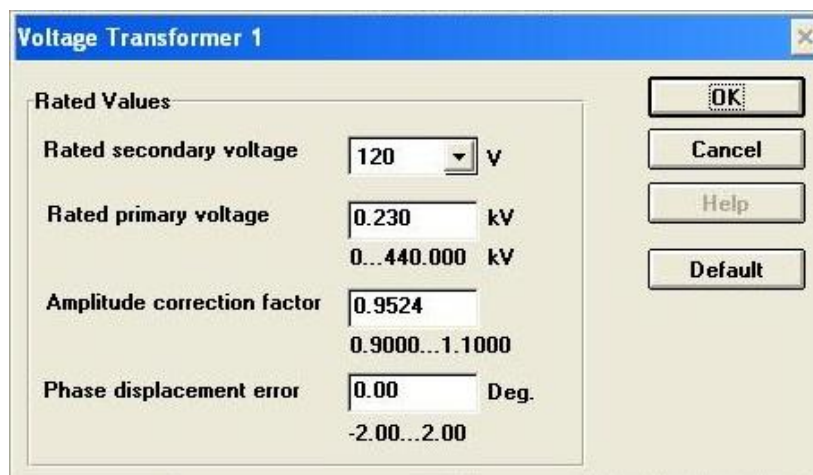
$$\text{Amplitude correction factor} = \frac{U_{\text{sn}}}{U_{\text{sec.}}} \quad (4.1)$$

Příklad výpočtu pro napětěvý transformátor připojený na fázi L1:

$U_{\text{prim.}} = 230\text{V}$, $U_{\text{sec.}} = 126\text{V}$. Nejbližší jmenovitá hodnota napětí vstupu $U_{\text{sn}} = 120\text{V}$

$$\text{Amplitude correction factor} = \frac{120}{126} = 0,9524 \quad (4.2)$$

Stejným způsobem je nutné postupovat i dalších dvou napětěvých transformátorů. Nastavené hodnoty sekundárních napětí a korekčních faktorů jsou uvedeny v Tab. 4-1.



Obr. 4-3 Nastavení napětěvého měřicího vstupu

Tab. 4-1 Změřené hodnoty skutečného sekundárního napětí transformátorů a vypočítané hodnoty korekčního faktoru.

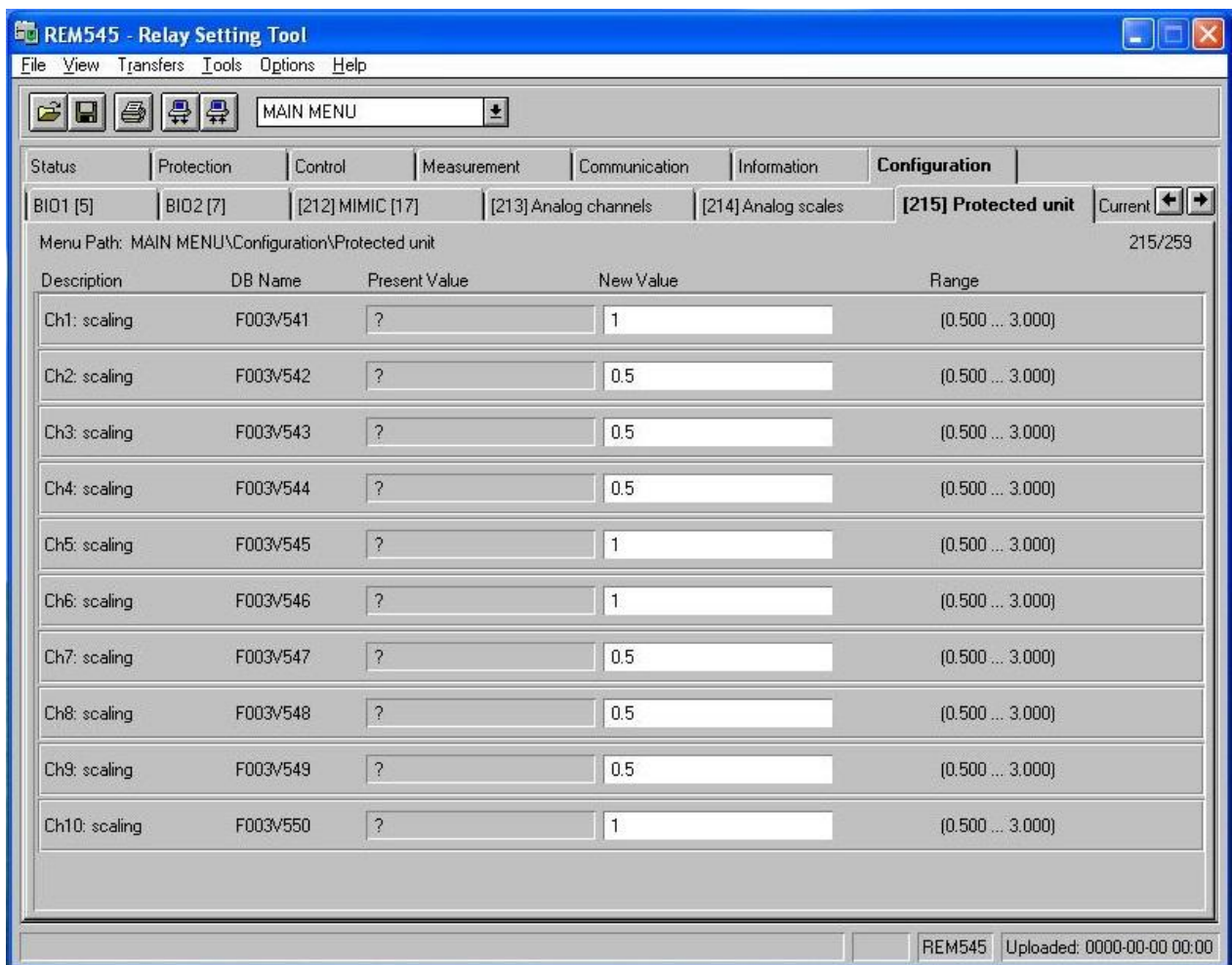
Fáze	U_{sn} [V]	$U_{\text{sec.}}$ [V]	Amp. corr. factor [-]
L1	120	126	0,9524
L2	120	125,8	0,9539
L3	120	126	0,9524

Další konstanty, které je nutno nastavit, aby terminál správně fungoval, jsou měřítka (*scaling*). Jsou to konstanty respektující odlišnosti mezi jmenovitým proudem přístrojového transformátoru proudu (v našem případě pouze vstupu terminálu) a jmenovitým proudem chráněného zařízení (v našem případě synchronního generátoru).

Vzorec pro výpočet těchto konstant je podle [6] následující:

$$scaling = \frac{I_{sn}}{I_n} \quad (4.3)$$

Kde I_{sn} je jmenovitý proud měřicího vstupu ochranného terminálu a I_n je jmenovitý proud chráněného zařízení. Vztah z manuálu k ochrannému terminálu je podíl jmenovitého primárního proudu PTP a jmenovitého proudu chráněného zařízení. V našem případě ale PTP v obvodu zapojený není a proud je měřen přímo přes vstupy ochrany. Obdobným způsobem jako u proudů je umožněn i „*scaling*“ napět'ových vstupů, avšak u nich je toto nastavení bezpředmětné.



Obr. 4-4 Nastavení měřítka v Relay Setting Tool

Z tab. 2-1 je patrné, že jmenovitý proud generátoru je 10,83A. Při dosazení této hodnoty do vzorce by vyšlo číslo menší než 0,5, což je mimo rozsah nastavení (Obr. 4-4 „*Range*“). Pro další výpočty tedy budeme uvažovat zjednodušení, že jmenovitý proud generátoru je 10A.

Po číselném dosazení do vztahu 4.3:

$$scaling = \frac{5}{10} = 0,5 \quad (4.4)$$

4.2 Přehled jmenovitých hodnot pro nastavení ochranných funkcí

Jmenovitý zdánlivý výkon se vypočte ze vztahu:

$$S_n = 3 \cdot U_n \cdot I_n = 3 \cdot 230 \cdot 10 = 6900VA \quad (4.5)$$

Tab. 4-2 Jmenovité hodnoty pro nastavení ochranných funkcí

Jmenovité fázové napětí	U_n	230V
Jmenovitý proud	I_n	10A
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_n	6900VA

4.3 Nastavení parametrů sekundárního testeru Omicron CMC

K testování jednotlivých funkcí ochranného terminálu byly využity testery Omicron CMC353 a CMC256+. Oba testery se ovládají pomocí počítače z programu Omicron Test Universe, který umožňuje používat stejné nastavení objektu testu (ochranného terminálu) pro oba dva testery. Vzhledem k vytíženosti testerů v laboratoři bylo použito to zařízení, které bylo v danou chvíli zrovna k dispozici. Funkce použité k testování ochranného terminálu mají totiž oba testery shodné.

Po otevření programu Test Universe se zobrazí nabídka programů pro nastavení testeru a programů pro samotné testování. Hned první v nabídce je program QuickCMC, ve kterém byly prováděny veškeré testy na ochranném terminálu. V tomto programu se v položce **nastavení hardware** se zvolí tester, který je právě připojen k PC a nastaví se používané vstupy a výstupy. Výhodou binárních vstupů testeru je, že jsou aktivní. Stačí tedy pouze připojit reléový výstup z ochrany k binárnímu vstupu testeru bez vnějšího zdroje napětí.

V položce **nastavení objektu testu** se pak nastaví parametry ochranného terminálu (jmenovité primární a sekundární hodnoty proudu a napětí). Při nastavování vycházíme z tab. 4-2 a z hodnoty $U_{sec.}$, zmíněné v kapitole 4.1. Nastavení testeru je na snímku z obrazovky počítače na Obr. 4-5.

Toto nastavení velice usnadní práci, jelikož poté lze nastavovat veličiny v primárních, nebo také v poměrných hodnotách. Tester má pak v programu QuickCMC několik režimů zadávání hodnot.

Pro testování byly využity tyto následující režimy:

- **Přímý** – umožňuje zadávání velikostí fázových napětí a proudů a jejich úhly
- **Výkony** – umožňuje nastavení velikostí činného a jalového výkonu v jednotlivých fázích.
- **Souměrné složky** – umožňuje nastavení souměrných složek napětí a proudů (sousedná, zpětná a netočivá) a jejich vzájemné úhly.

Ve výše uvedených režimech navíc tester umožňuje nastavení zadávání hodnot v následujících módech:

- **Sekundární hodnoty** – zadávají se hodnoty, které jsou skutečně na výstupních svorkách testeru
- **Primární hodnoty** – zadávají se hodnoty přepočítané přes převody měřicích transformátorů na jejich primární stranu.
- **Poměrné veličiny** – zadávají se hodnoty vztažené k jmenovitým.

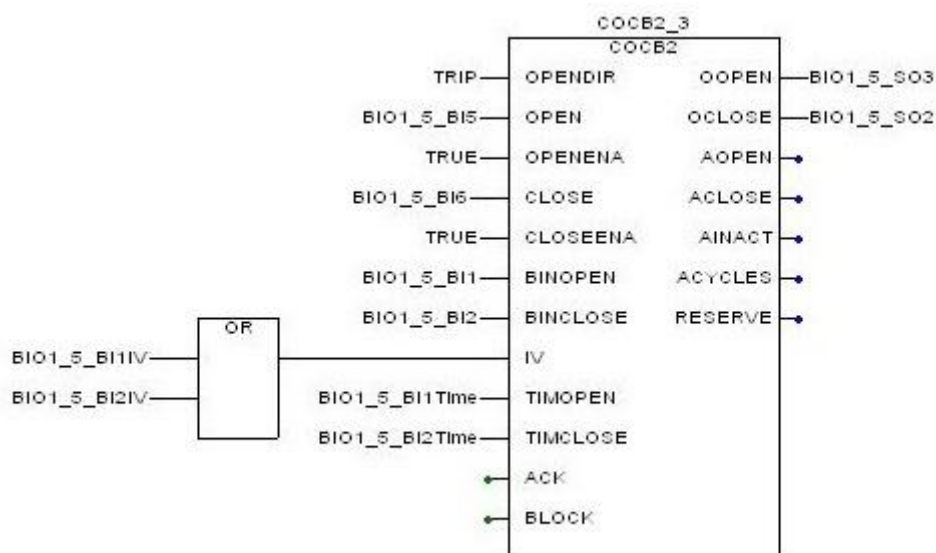
Obr. 4-5 Nastavení objektu testu v Omicron QuickCMC

Další nutností je nastavení stejnosměrného pomocného napětí pro binární vstupy ochrany. To se provádí programem AUX DC, který se spouští z úvodní obrazovky Omicron Test Universe. Toto pomocné napětí bylo nastaveno na 110V DC pomocí jezdce a kliknutím na tlačítko „uložit nastavení“ bylo nastavení odesláno do testeru.

4.4 Program pro ovládání

Program pro ovládání je na obrázku č. 3-1. Program funguje tak, že po přivedení logické 1 na vstup BIO1_5_BI5 dojde k rozepnutí vypínače (*open*), přivedením logické 1 na vstup BIO1_5_BI6 dojde k sepnutí vypínače (*close*). Dále je výstup z ochranných funkcí TRIP připojen ke vstupu pro okamžité rozepnutí vypínače (*opendir*). Tento vstup má prioritu před všemi ostatními a povel k rozepnutí vypínače je vyslán i v případě, že je rozepnutí blokováno vstupem

Open Enable (*openena*). Povel k rozeptnutí vypínače je vyslán na relé BIO1_5_SO3 (*oopen*), povel k sepnutí vypínače je vyslán na relé BIO1_5_SO2 (*oclose*). Zpětná vazba, tedy informace o stavu vypínače je očekávána při zapnutém vypínači logickou 1 na vstupu BIO1_5_BI2 (*binclose*), při vypnutém vypínači logickou 1 na vstupu BIO1_5_BI1 (*binopen*). Vstupy bloku vypínače (OpenEnable a CloseEnable) jsou připojeny na logickou 1 (*true*) aby nebylo vypínání/zapínání blokováno. Další vstupy (*IV*, *TimOpen* a *TimClose*) jsou zapojeny dle doporučeného zapojení z návodu k bloku vypínače [7].



Obr. 4-6 Program pro ovládání

Program byl otestován testerem Omicron CMC. Při přivedení napětí 110V DC z výstupu AUX DC testeru na svorky X5.1-1 (BI1) a X5.1-2 (BI2) se změnila ikona vypínače na displeji ochrany na „rozeptnuto“, naopak při připojení napětí na svorky X5.1-3 a X5.1-2 se změnila ikona na stav „sepnuto“. Obdobně byla vyzkoušena i funkce příkazu k sepnutí/rozeptnutí vypínače, kdy po přivedení napětí na binární vstupy BI5/B16 sepnulo relé SO2/SO3.

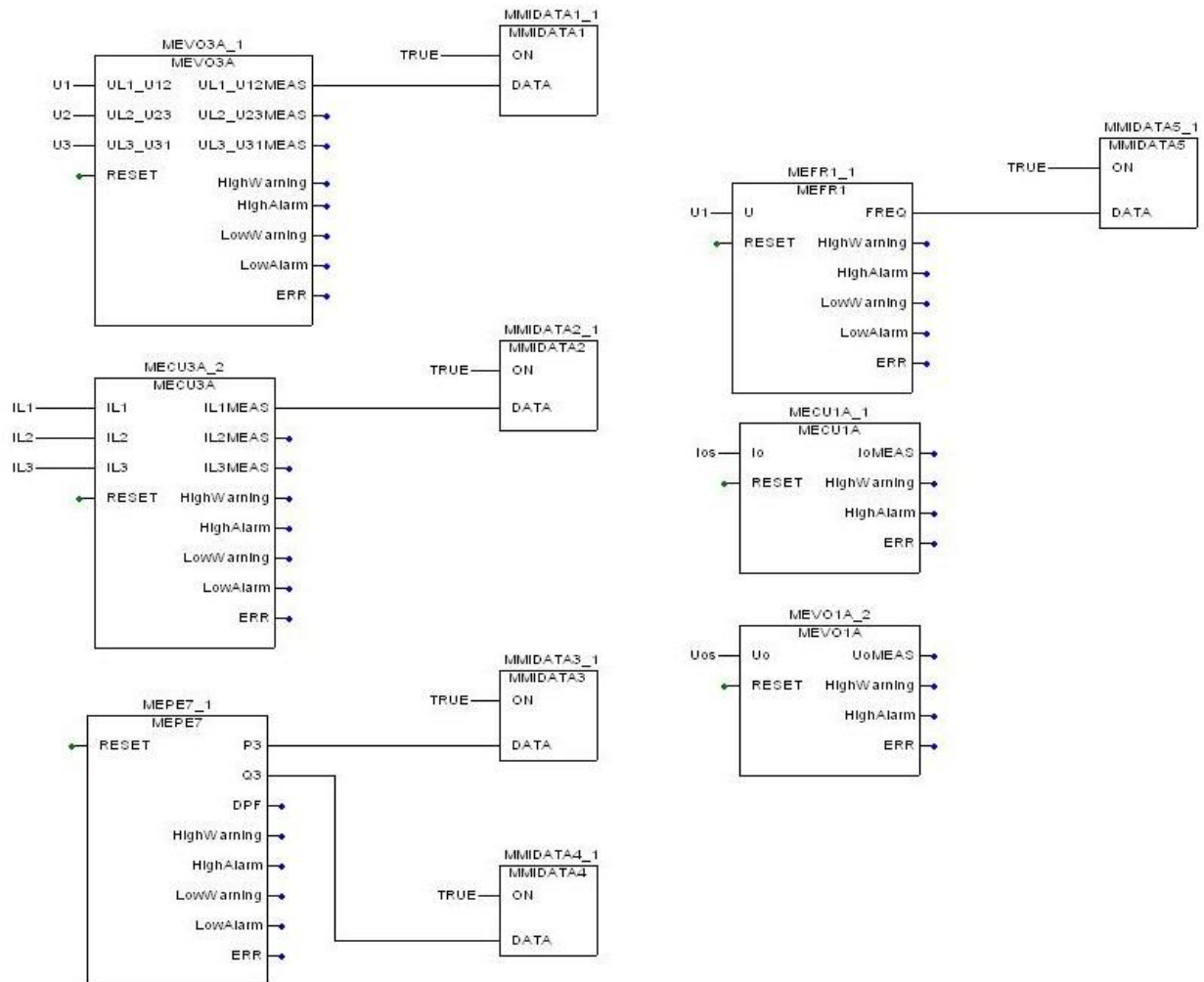
4.5 Program pro měření

Program pro měření je na obrázku č. 4-7. Na levé straně bloků jsou vstupy, na které jsou připojeny jednotlivé kanály měřicích vstupů, na pravé straně jsou pak výstupy. Výstupy jsou pak připojeny do bloku MMIDATA, který zprostředkovává zobrazování na úvodní obrazovce ochrany. Nevýhodou je, že například u napětí a proudu je zobrazena na úvodní obrazovce ochrany pouze hodnota z jedné fáze. Další nevýhodou je omezený počet údajů, které lze zobrazit na této obrazovce (max. 5). Pro zobrazení všech měřených hodnot na čelním panelu ochrany je nutné přepnout pomocí šipky na obrazovku „*measurement*“

Přehled použitých měřicích funkčních bloků:

- MEVO3A - Měření napětí
- MECU3A - Měření proudu
- MEPE7 - Měření výkonu
- MEFR1 - Měření frekvence

- MECU1A - Měření netočivé složky proudu (I_0)
- MEVO1A – Měření netočivé složky napětí (U_0)



Obr. 4-7 Program pro měření

Měřicí funkční bloky mají i výstupy (HighWarning, HighAlarm, LowWarning, LowAlarm), na kterých se objeví logická 1, pokud je měřená veličina menší nebo větší, než je limitní hodnota. Tato hodnota lze nadefinovat v „Relay Setting Tool“.

4.6 Program pro chránění

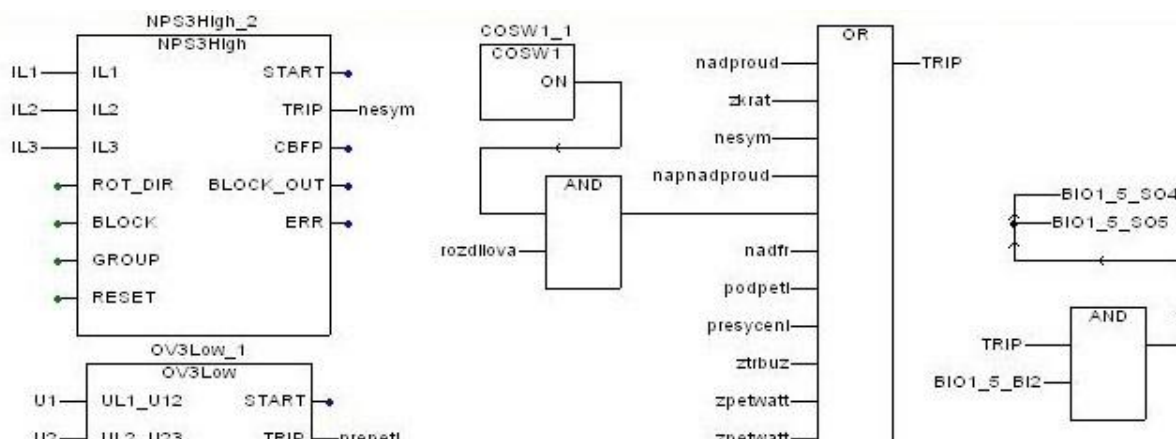
Program pro chránění se skládá z jednotlivých bloků ochranných funkcí (např. na Obr. 4-8 NPS3High). Na vstupy na pravé straně bloků jsou připojeny jednotlivé měřené veličiny (napětí, proudy) a na levé straně jsou výstupy (START, TRIP,...). Výstupy TRIP mají logickou 1 v případě, že daná ochranná funkce vybaví. Tyto výstupy všech ochranných funkcí jsou připojeny přes logické proměnné (např. nadproud, zkrat, nesym, ...) k logické funkci OR. Výstupem je pak proměnná TRIP. Funkce OR funguje tak, že pokud má libovolný vstup hodnotu logické 1, pak má i výstup hodnotu logické 1.

Výjimkou je výstup z rozdílové ochrany, který je připojen nejdříve k funkci AND spolu s výstupem z logického spínače (COSW), jehož logická hodnota lze měnit z displeje ochrany. Pokud je hodnota logického spínače logická 1 (na displeji je na prvku napsáno „ON“) a zároveň

působí i rozdílová ochrana, pak je i hodnota na výstupu z funkce OR, proměnná *TRIP* rovna logické 1. Toto opatření je kvůli tomu, aby při odpojení měření proudu v uzlu generátoru tato ochrana neustále nevybavovala a aby bylo možné otestovat jiné ochranné funkce.

Dalším opatřením je blokování výstupu ochrany na funkci STOP při rozepnutém stykači zátěže. Při najíždění generátoru by působila např. podpěťová ochrana a nebylo by možné generátor vůbec přifázovat. Naopak k vypínání stykače toto blokování potřeba není, jelikož ve chvíli jeho spínání musí být napětí na generátoru jmenovité. Výstup z ochranných funkcí, logická proměnná *TRIP* je připojena k bloku ovládání stykače k jeho vstupu „*opendir*“ (viz kapitola 4.4).

Jednotlivým ochranným funkcím, jejich nastavení a testování se budou věnovat následující podkapitoly. Výřez z tohoto programu je na Obr. 4-8, celý program je pak v příloze.



Obr. 4-8 Výřez z programu pro chránění

U každé funkce bylo provedeno nastavení v kartě „*Setting group 1*“ (skupina 1) a u každé funkce byl v kartě „*Control Settings*“ nastaven parametr „Reset registers“ na hodnotu „Reset“

V následujících podkapitolách budou podrobněji popsány jednotlivé ochranné funkce terminálu včetně jejich testování. Nastavení jednotlivých funkcí je vždy u popisu funkce v přehledné tabulce. Vzhled tabulky je částečně převzat z návodu k jednotlivým blokům [7], částečně z modulu „*Relay Setting Tool*“ programu CAP505.

Nastavení parametrů ochranných funkcí odpovídá obvyklému nastavení. Parametry byly upraveny s ohledem na dostupná technická data generátoru.

4.6.1 Nadproudová ochrana NOC3 High

Ochrana slouží k omezení proudu, tekoucího generátorem. Nastavení provozního módu na hodnotu „Instantaneous“ znamená, že ochrana vypne okamžitě po překročení hodnoty *Start current*, nehledě na to, jak dlouhou dobu nadproud trvá. Ochrana ale i tak nevypíná hned, ale až za dobu nutnou k detekci nadproudu a k rozepnutí relé. Tato doba se pohybuje okolo 40ms.

Ochrana chrání generátor před zkraty pouze částečně. U generátoru totiž podle [2] existují provozní stavy, kdy je ustálený zkratový proud menší, než je proud jmenovitý.

Dle [8] musí pro nastavení mžikové nadproudové ochrany platit vztah 4.6

$$I''_{k \min} > I_p > I_{Lpeak \max} \quad (4.6)$$

Kde I''_{kmin} je minimální zkratový proud (v tomto případě proud jednofázového zkratu), $I_{Lpeakmax}$ je vrcholová hodnota maximálního proudu zátěže a I_p je hodnota proudu pro nastavení ochranné funkce. Stejný zdroj také doporučuje alespoň nastavení $I_p \geq 1,5 \div 1,6 \cdot I_{Lpeakmax}$, pokud hodnota minimálního zkratového proudu dosáhne $I''_{kmin} \geq 2 \cdot I_p$

Tab. 4-3 Nastavení funkce NOC3 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Instantaneous	Selection of operation mode
Start current	0.10...40.00	x In	0.10	1.7	Start current
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	-	Operate time at DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v **přímém režimu** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována symetrickým trojfázovým proudem

Výsledek testu: NOC3 High vybaví při nadproudu **1,7In** v čase **41,6ms**.

4.6.2 Nadproudová ochrana NOC3 Low

Ochrana tvoří nízký stupeň k předchozí ochraně NOC3 High a chrání generátor před přetížením. Ochrana je nastavena jako nezávislá, s časovým zpožděním *Operate time* a rozběhovým proudem *Start current*.

Podle [8] musí pro nastavení nadproudové ochrany platit vztah 4.7

$$I_{Lpeakmax} > I_p > I_{Lmax} \quad (4.7)$$

Kde $I_{Lpeakmax}$ je vrcholová hodnota maximálního proudu zátěže, I_p je hodnota proudu pro nastavení ochranné funkce a I_{Lmax} je efektivní hodnota maximálního proudu zátěže.

Podle stejného zdroje je doporučená hodnota nastavení $I_p \geq 1,2 \div 1,4 \cdot I_{Lmax}$. Hodnota I_{Lmax} může být například u velkých strojů odvozena od nominálního výkonu S_n při napětí $0,95U_n$ tj. $1,05I_n$.

Tab. 4-4 Nastavení funkce NOC3 Low

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode
Start current	0.10...40.00	x In	0.10	1.3	Start current
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	5	Operate time at DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v **přímém režimu** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována symetrickým trojfázovým proudem

Výsledek testu: NOC3 Low vybaví při nadproudu **1,3In** v čase **5,021s**

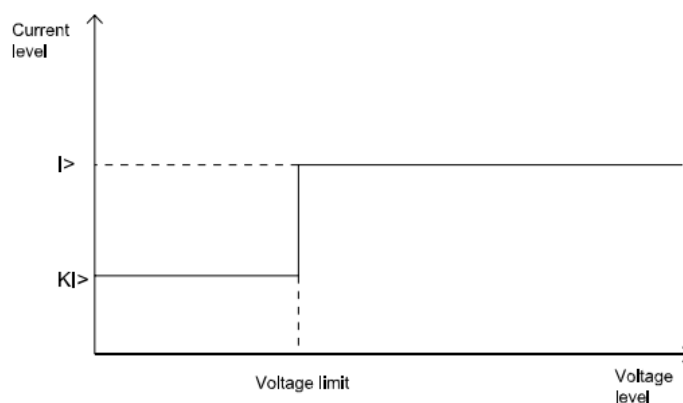
4.6.3 Nadproudová ochrana odblokovaná při podpětí VOC6 High

Funkce chrání generátor při blízkých zkratech, které bývají doprovázeny poklesem napětí. Ochrana je časově nezávislá, vypíná se zpožděním udaným proměnnou *Operate time*.

Princip funkce ochrany je na Obr. 4-9. Pokud je napětí menší, než *Voltage limit* ochrana je odblokovaná a vypíná při proudu *Start current* vynásobeným konstantou *Curr.multiplier*. Pokud je napětí větší, než *Voltage limit* vypíná ochrana při proudu *Start current*.

$$Curr.multiplier = \frac{I_{R(p.u.)}}{Start\ current} = \frac{1,2}{5} = 0,24 \quad (4.8)$$

Vztah 4.8 je vzorec pro výpočet konstanty *Curr.multiplier*, převzatý z [7], kde $I_{R(p.u.)}$ je požadovaný rozběhový proud v odblokovaném stavu. Hodnota *Start current* byla zvolena jako největší možná.



Obr. 4-9 Princip funkce ochrany VOC6 High v režimu „Voltage step“ (převzato z [7])

Tab. 4-5 Nastavení funkce VOC6 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode and inverse-time characteristic
Start current	0.10...5.00	x In	0.10	5	Start current
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	0.2	Operate time at DT mode
Time multiplier	0.05...1.00	-	0.05	-	Time multiplier at IDMT mode
Control mode	-	-	Voltage step	Voltage step	Selection of mode for voltage control
Voltage limit	0.10...1.00	x Un	0.10	0.85	Voltage setting value for voltage step mode
Voltage limit 1	0.60...1.00	x Un	0.60	-	Upper voltage setting value for voltage slope mode
Voltage limit 2	0.10...0.59	x Un	0.10	-	Lower voltage setting value for voltage slope mode
Curr.multiplier	0.05...1.00	-	0.05	0.24	Multiplier for lower start current value

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochrany OMICRON CMC 353 v **přímém režimu** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována symetrickým trojfázovým proudem, fázový posun mezi napětím a proudem byl roven nule.

Výsledek testu: funkce VOC6 High je odblokovaná při **0,849Un** a v odblokovaném stavu vybaví při **1,2In** v čase **223,8ms**.

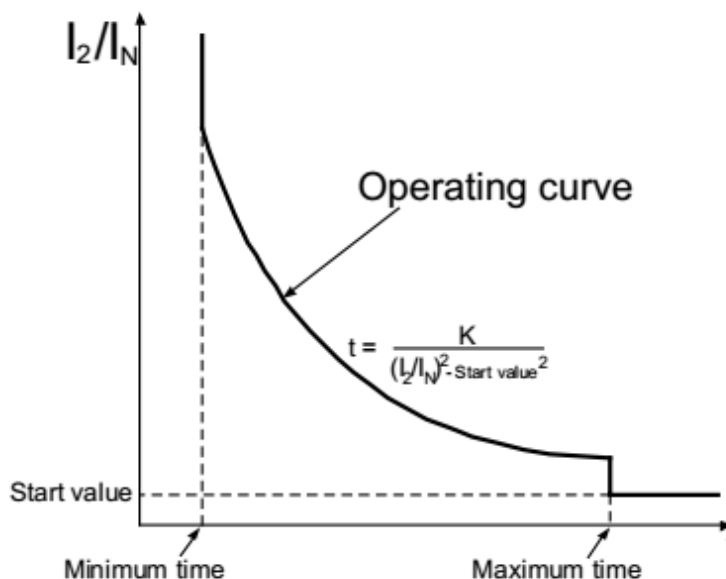
4.6.4 Ochrana při nesymetrii 1. stupeň NPS3 Low

Ochrana působí při vzniku zpětné složky proudu, která vzniká při nesymetriích. Tato složka tvoří magnetické pole, které se otáčí v opačném směru, tedy dvojnásobnou rychlostí oproti rotoru. V rotoru důsledkem toho vznikají vířivé ztráty a stroj se nadměrně zahřívá. Zpětná složka proudu vzniká například při dvojfázové zátěži, nebo při rozpojení vodiče jedné fáze.

Při nastavení ochranné funkce se vychází z maximální trvale dovolené hodnoty nesymetrického zatížení I_2 a z krátkodobě dovolené hodnoty nesymetrického zatížení $(I_2/I_n)^2 t$.

Podle [8] je pro synchronní generátory s vyniklými póly trvale dovolená hodnota $I_2 = 0,08I_n$. V nastavení se tato proměnná nazývá *Start value*. Krátkodobě dovolená hodnota nesymetrického zatížení je $(I_2/I_n)^2 t = 20s$. V nastavení terminálu se tato proměnná nazývá K . Čas vybavení se pak vypočítá podle vztahu 4.9. Tento vztah je převzat z [7].

$$t_{\text{vyp}} = \frac{K}{\left(\frac{I_2}{I_n}\right)^2 - \text{Start value}^2} \quad (4.9)$$



Obr. 4-10 Princip funkce ochrany při nesymetrii v módu „Inverse time“ (převzato z [7])

Tab. 4-6 Nastavení funkce NPS3 Low

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Inverse time	Selection of operation mode (definite- or inverse-time mode)
Start value	0.01...0.50	x I _n	0.20	0.08	Start value of negative-sequence current I ₂
Operate time	0.1...120.0	s	1.0	-	Operate time in definite-time mode
K	5.0...100.0	-	5.0	15	Operating characteristic constant
Start delay	0.1...60.0	s	1.0	1.0	Definite start time in inverse-time mode
Minimum time	0.1...120.0	s	0.1	2.0	Definite minimum operate time
Maximum time	500...10000	s	1000	1500	Maximum operate time regardless of the inverse characteristic
Cooling time	5...10000	s	50	50	Time required to cool the machine

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v režimu **souměrných složek** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Charakteristika byla testována ve dvou bodech, při $I_2 = 0,5I_n$ a při $I_2 = 1I_n$. Funkce byla testována proudem o čistě zpětné složce.

Pro výpočet času vybavení byl použit vztah 4.9.

- Bod 1: $I_2 = 0,5I_n$

$$t_{\text{vyp}} = \frac{K}{\left(\frac{I_2}{I_n}\right)^2 - \text{Start value}^2} = \frac{15}{\left(\frac{0,5}{1}\right)^2 - 0,08^2} = 61,576s \quad (4.10)$$

- Bod 2: $I_2 = 1I_n$

$$t_{\text{vyp}} = \frac{K}{\left(\frac{I_2}{I_n}\right)^2 - \text{Start value}^2} = \frac{15}{\left(\frac{1}{1}\right)^2 - 0,08^2} = 15,097s \quad (4.11)$$

Test ochranné funkce NPS3 High byl proveden pro dva body charakteristiky určené výpočtem (4.10), (4.11) na základě nastavení. Ochrana vypíná v bodě 1 při proudu zpětné složky $I_2 = 0,5I_n$ v čase **61,66s**. V bodě 2 vypíná ochrana při proudu $I_2 = 1I_n$ v čase **15,13s**.

4.6.5 Ochrana při nesymetrii 2. stupeň NPS3 High

Ochrana tvoří druhý stupeň k předchozí ochraně NPS3 Low. Ochrana je časově nezávislá a vypíná při překročení *Start value* se zpožděním *Operate time*.

Tab. 4-7 Nastavení funkce NPS3 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode (definite- or inverse-time mode)
Start value	0.01...0.50	x In	0.20	0.5	Start value of negative-sequence current I_2
Operate time	0.1...120.0	s	1.0	3	Operate time in definite-time mode
K	5.0...100.0	-	5.0	-	Operating characteristic constant
Start delay	0.1...60.0	s	1.0	-	Definite start time in inverse-time mode
Minimum time	0.1...120.0	s	0.1	-	Definite minimum operate time
Maximum time	500...10000	s	1000	-	Maximum operate time regardless of the inverse characteristic
Cooling time	5...10000	s	50	50	Time required to cool the machine

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v režimu **souměrných složek** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována proudem o čistě zpětné složce.

Výsledek testu: funkce NPS3 High vybaví při proudu zpětné složky $I_2 = 0,501I_n$ v čase **2,989s**.

4.6.6 Ochrana při nadpětí OV3 High

Tato ochrana chrání generátor před negativními účinky zvýšeného napětí na izolaci. Ochrana vypíná po překročení napětí *Start voltage* se zpožděním, nastaveným proměnnou *Operate time*. Nastavení je podle doporučených hodnot v tab. 9.22 v [8].

Tab. 4-8 Nastavení funkce OV3 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode
Start voltage	0.10...1.60	x Un	1.10	1.2	Start voltage
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	1.5	Operate time at DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v **přímém režimu** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována symetrickým trojfázovým napětím

Výsledek testu: OV3 High vybaví při napětí **1,2Un** v čase **1,527s**.

4.6.7 Ochrana při podpětí UV3 High

Ochrana se používá k zamezení nestabilního chodu generátoru při práci do izolované zátěže. Ochrana vypíná, pokud je napětí menší, než napětí nastavené proměnnou *Start voltage* se zpožděním, nastaveným proměnnou *Operate time*

Tab. 4-9 Nastavení funkce UV3 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode
Start voltage	0.10...1.20	x Un	0.90	0.8	Start voltage
Operate time	0.1...300.0	s	0.1	3	Operate time at DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochrany OMICRON CMC 353 v **přímém režimu** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována symetrickým trojfázovým napětím

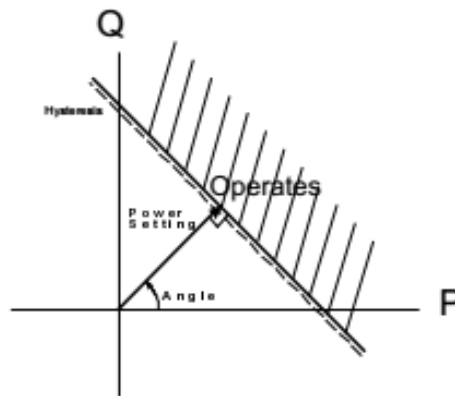
Výsledek testu: UV3 High vybaví při napětí **0,8Un** v čase **3,045s**.

4.6.8 Ochrana při podbuzení OPOW6st2

Při podbuzení generátoru může dojít ke ztrátě stability a stroj může vypadnout ze synchronismu.

Ochrana se nastavuje s ohledem na maximální přetížení generátoru vlivem odběru jalového výkonu v asynchronním chodu. Doporučené nastavení je 0,8 násobek jmenovitého výkonu S_n s úhlem -60° (záporný jalový výkon – dodávka jalového proudu kapacitního charakteru). Požadovanou hodnotu je nutno vynásobit odmocninou ze tří a stem, kvůli tomu, že je nastavení v procentech (vztah 4.12).

$$\text{Power setting} = \sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 100 = 138,6\% \quad (4.12)$$



Obr. 4-11 Funkce ochrany OPOW6 (převzato z [7])

Jelikož je vypínací charakteristika přímka se zadanou nejmenší vzdáleností od nuly *Power setting* a se zadaným úhlem *Angle* (dle Obr. 4-11) je nutné určit bod, ve kterém bude funkce testována. Pro jednoduchost byl vybrán bod, kde je činný výkon roven nule. Ze znalosti goniometrických funkcí lze odvodit vztah pro výpočet jalového výkonu Q , při nulovém činném výkonu, kdy ochrana vypne (vztah 4.13).

$$Q = \frac{\text{Power setting}}{\cos(90 - \text{Angle})} = \frac{0,8}{\cos(90 - (-60))} = -0,924 \quad (4.13)$$

Ochrana tedy má vypínat při jalovém výkonu $Q = -0,924S_n$

Tab. 4-10 Nastavení funkce OPOW6st2

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Power direction	-	-	Forward	Forward	Direction of power flow
Power setting	1.0...200.0	% S_n	100.0	138.6	Start power
Angle	-90...90	°	0.0	-60	Power direction
Operate time	0.04...300.00	s	0.5	3	Operate time

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 256+ v režimu výkonů v módu zadávání veličin v poměrných jednotkách. Funkce byla testována při jmenovitém napětí.

Výsledek testu: OPOW6st2 vybvaví při jalovém výkonu $Q = -0,93S_n$, v případě, že je činný výkon roven nule, v čase **3,009s**.

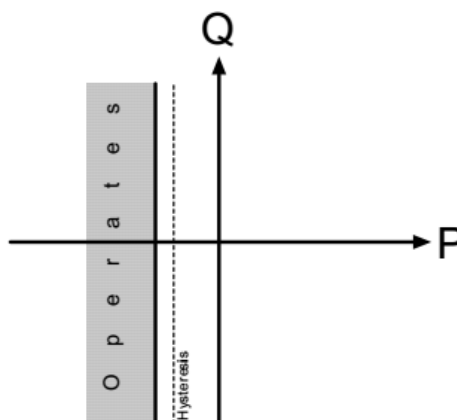
4.6.9 Ochrana při zpětném toku výkonu OPOW6st1

Ochrana vypíná v případě, že je moment na hřídeli generátoru záporný, tedy že se generátor chová jako motor. Ochrana se obvykle nastavuje podle výkonu potřebnému ke krytí ztrát naprázdno.

Ochrana se nastavuje obdobným způsobem jako ochrana při podbuzení. *Power direction* je nastaven na „Reverse“ (záporný činný výkon), úhel *Angle* na 0 (pouze činný výkon).

Podle dokumentace generátoru [1] jsou ztráty naprázdno 380W. Aby měla ochrana možnost působit (aby ji bylo možné vyzkoušet s připojenou ochranou ke generátoru), byla nastavena na 340W. Tuto hodnotu je potřeba nejdříve převést na procenta, vztáhnout k jmenovitému výkonu S_n , následně pak vynásobit odmocninou ze tří a stem, stejně jako u předchozí ochrany (vztah 4.14).

$$Power\ setting = \frac{P_{zp}}{S_n} \cdot \sqrt{3} \cdot 100 = \frac{340}{6900} \cdot \sqrt{3} \cdot 100 = 8,53\% \quad (4.14)$$



Obr. 4-12 Princip funkce OPOW6, pokud je „Power direction“ nastaven na „Reverse“ a „Angle“ = 0 (převzato z [7])

Tab. 4-11 Nastavení funkce OPOW6st1

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Power direction	-	-	Forward	Reverse	Direction of power flow
Power setting	1.0...200.0	% Sn	100.0	8,5	Start power
Angle	-90...90	°	0.0	0	Power direction
Operate time	0.04...300.00	s	0.5	1.5	Operate time

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 256+ v režimu výkonů v módu zadávání **primárních veličin**. Funkce byla testována při jmenovitém napětí.

Výsledek testu: OPOW6st1 vybaví při výkonu $P = -340W$ v čase **1,5s**

4.6.10 Ochrana statoru generátoru na netočivou složku napětí ROV1 High

Ochrana působí při vzniku netočivé složky napětí. Tato ochranná funkce může fungovat pouze, pokud není uzel generátoru vodivě spojen se středním vodičem sítě. Tato ochrana je primárně určena jako zemní, avšak jelikož je zemní vodič tažen z nadřazeného rozvaděče zvlášť a celý přívod k rotačnímu soustrojí je chráněn proudovým chráničem, po vodivém spojení vinutí s kostrou stroje dojde k jeho vybavení. Ochrana v tomto zapojení však podle [2] může zachytit například mezizávitové zkraty. Ochrana se nastavuje na 10% jmenovitého fázového napětí. Rozběhové napětí je ještě nutno vynásobit odmocninou ze tří (vztah 4.15).

$$Start\ voltage = \sqrt{3} \cdot 10 = 17,3\% \quad (4.15)$$

Tab. 4-12 Nastavení funkce ROV1 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode
Start voltage	2.0...100.0	% Un	2.0	17.3	Start voltage
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	2	Operate time in DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 256+ v režimu **souměrných složek** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována napětím o čistě netočivé složce.

Výsledek testu: funkce ROV1 High vybaví při napětí netočivé složky $U_0 = 0,102U_n$ v čase **2,026s**.

4.6.11 Ochrana na netočivou složku proudu NEF1 High

Ochrana působí při vzniku netočivé složky proudu. Tato ochranná funkce může fungovat pouze, pokud je uzel generátoru vodivě spojen se středním vodičem sítě. Tato ochrana slouží k zamezení nesymetrického chodu, například jednofázového odběru. Ochrana by měla vypínat i při mezizávitových zkratech. Ochrana se nastavuje na 10% jmenovitého proudu. Jelikož je proměnná *Start current* trojnásobek I_0 , je nutné ji nastavit na $3x0,1I_n$.

Tab. 4-13 Nastavení funkce NEF1 High

Parameter	Range	Unit	Default	Setting	Explanation
Operation mode	-	-	Definite time	Definite time	Selection of operation mode
Start current	0.10...12.00	x In	0.1	0.3	Start voltage
Operate time	0.05...300.00	s	0.05	2	Operate time in DT mode

Test ochranné funkce byl proveden pomocí funkce QuickCMC sekundárního testeru ochran OMICRON CMC 353 v režimu **souměrných složek** v módu zadávání veličin v **poměrných jednotkách**. Funkce byla testována proudem o čistě netočivé složce.

Výsledek testu: funkce NEF1 High vybaví při proudu netočivé složky $3xI_0 = 3x0,101In$ v čase **2,012s**.

5 ZÁVĚR

V praktické části bakalářské práce byl vybrán nejvhodnější ochranný terminál pro chránění laboratorního generátoru a byl vytvořen koncept jeho připojení do obvodu jak z hlediska silové části, tak z hlediska části ovládací a signalizační. Následně byl terminál nakonfigurován a proběhly jeho testy.

Dle vypracovaného konceptu bylo upraveno zapojení rozvaděče, proběhla montáž transformátorů pro měření napětí a byly vyvedeny vodiče důležité pro ovládání a pro signalizaci na nově vytvořenou svorkovnici.

Na nakonfigurovaném terminálu závěrem proběhly testy. Nejdříve bylo zařízení testováno pomocí sekundárního testeru, kterým bylo ověřeno, zda terminál správně měří vstupní veličiny. Následně proběhl test funkce signalizace stavu stykače připojením stejnosměrného pomocného napětí testeru na příslušné binární vstupy a sledováním ikony vypínače na displeji ochrany. Dále proběhlo testování jednotlivých ochranných funkcí, zda vybaví při nastavených veličinách v nastaveném čase. S tímto bylo testováno i ovládání, tedy zdali po působení ochranné funkce sepnou příslušné reléové výstupy.

Po úspěšných sekundárních testech bylo přistoupeno k testu ochrany v reálném provozu, tedy připojení k laboratornímu generátoru. Generátor byl s připojeným ochranným terminálem úspěšně přifázován ručními tlačítky k síti. Po přifázování bylo ověřeno, zda je ikona signalizující stav vypínače (v našem případě stykače) v sepnutém stavu. Rovněž byla ověřena funkce měření a to porovnáním veličin změřených ochranným terminálem s veličinami změřenými pomocí zabudovaného analyzátoru sítě SCHRACK NA96. Porovnáním napětí bylo zjištěno, že výkonové transformátory použité k měření napětí podávají překvapivě dobré výsledky, a to v celém provozním rozsahu napětí a frekvence generátoru. Dále bylo s generátorem manipulováno v rámci dovolených provozních stavů, aby bylo ověřeno, zda ochrany nepůsobí. Vyzkoušen byl provoz při jmenovitém činném a zdánlivém výkonu a provoz v přebuzeném a podbuzeném stavu. Po tomto úspěšném testu bylo přistoupeno ke zkoušce zakázaných provozních stavů, aby bylo ověřeno, zda budou působit ochranné funkce a zda je terminál schopen soustrojí odstavit. V reálných podmínkách byla testována ochrana při podbuzení a zpětná wattová ochrana. Obě ochrany působily při dosažení nastavených hodnot a u obou ochran jejich působení odstavilo generátor z chodu.

Zajímavým poznatkem z testování zpětné wattové ochrany je, že generátor lze provozovat v motorickém stavu s příkonem až cca 1kW. Asynchronní motor se chová jako asynchronní generátor, ale s frekvencí menší, než síťových 50Hz. Energie však není dodávána do sítě, ale spotřebovává se na odporu, který je připojen k frekvenčnímu měniči.

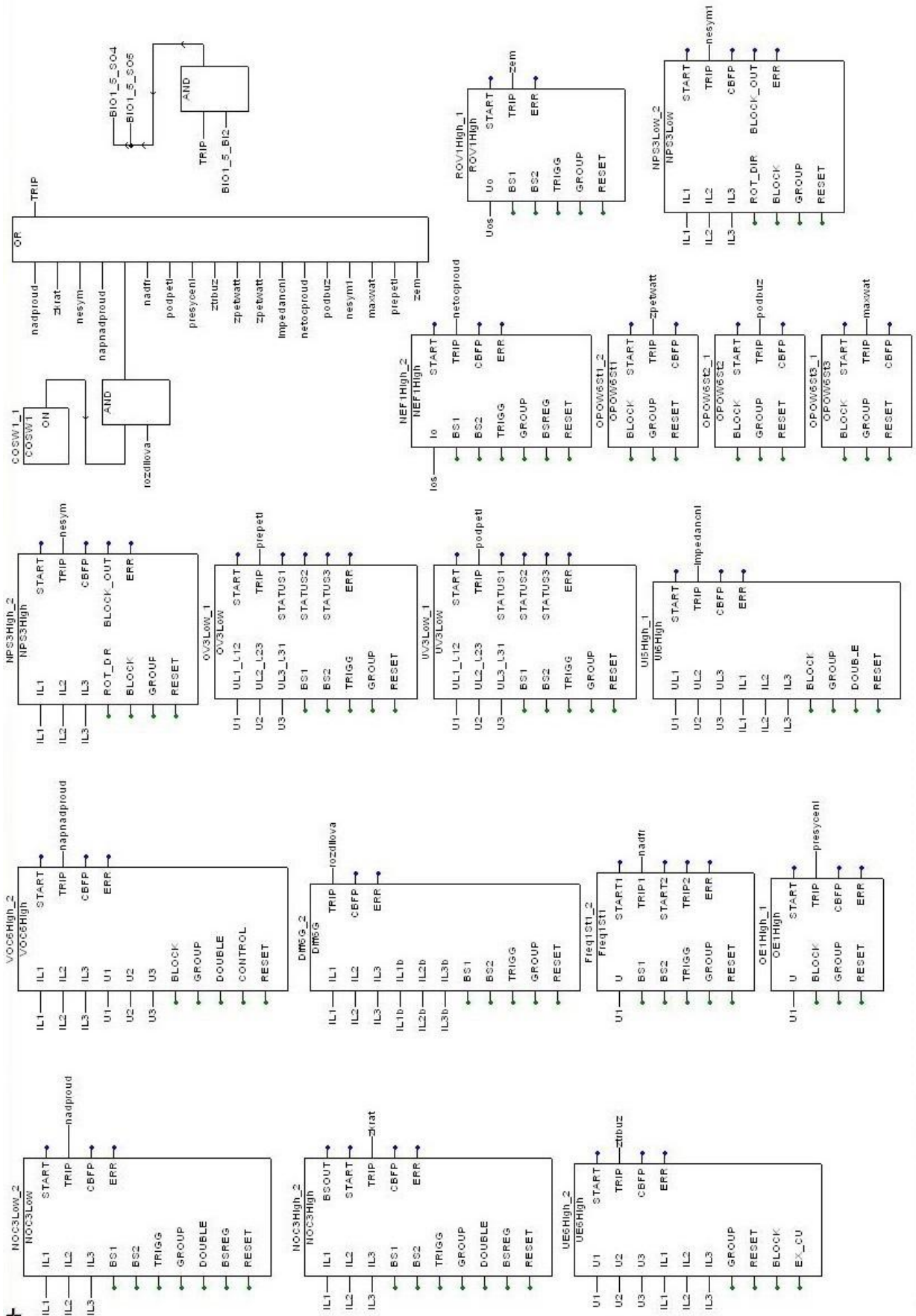
I přes všechnu snahu ale nebyly zprovozněny úplně všechny původně zamýšlené ochranné funkce. Na ochranném terminálu od zapnutí bliká kontrolka značící „internal fault“ tedy vnitřní poruchu. Ochrana, kterou se nepodařilo zprovoznit je například nadfrekvenční a podfrekvenční. I přes nastavení příznaku „in use“ (v chodu) a nastavení parametrů ochrana nefungovala. Obdobným způsobem se chovala i rozdílová ochrana. Tato skutečnost se bohužel podařila zjistit až v závěru práce, kdy bylo příliš pozdě použít jiný terminál. Nastavené ochrany popsané v kapitole 4.6 však fungují bezproblémově.

Práce může mít v budoucnu uplatnění například jako podklad při vytváření laboratorní úlohy. Na generátoru by se daly simulovat různé poruchy nebo abnormální provozní stavy. Rozvaděč je též připraven k připojení jiné rozdílové ochrany, například ochrany SPAD od ABB.

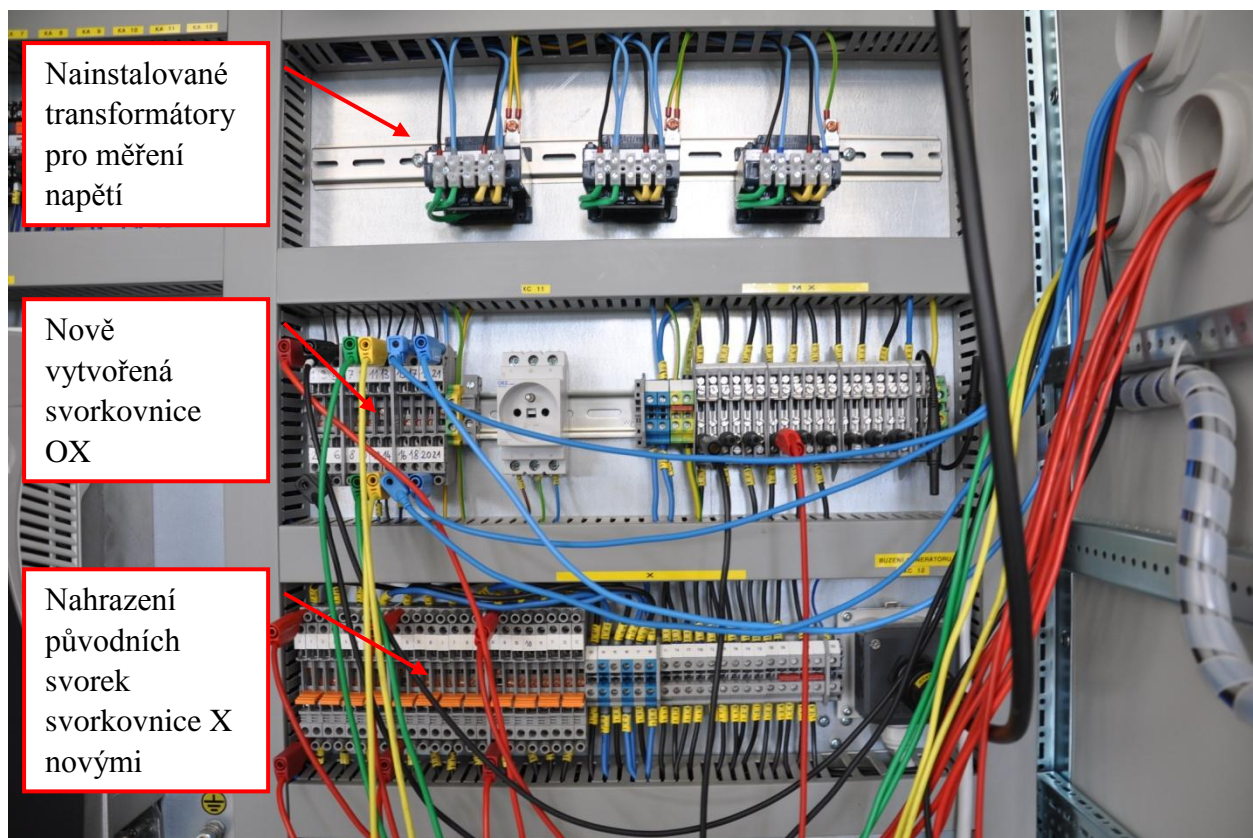
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Rotační zdroj: Projektová dokumentace. Control techniques*, 2009, 116 stran
- [2] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku. 2. přepr.vyd.* Praha: SNTL, 1991, 339 s. ISBN 8003006309.
- [3] *Přístrojové transformátory proudu nízkého napětí: Technické informace* [online]. 2016 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/download.php?fileid=1668>
- [4] *Voltage transformer for low-voltage network Measure* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <http://www.imeitaly.com/docs/NT733.pdf>
- [5] *IED pro chránění a ovládání vývodu REF615: Aplikační manuál* [online]. 2012 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/0f904438c7317b01c1257b500036486d/REF615_appl_757137_CZc.pdf
- [6] *Machine Terminal REM54_: Technical Reference Manual, General* [online]. 2010 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/8fc84dfe9d2058f9c12577c9002b74b1/REM54_tech_750915_ENn.pdf
- [7] *Technical Descriptions of Functions v2.10: Manuál k funkčním blokům* [CD-ROM]. ABB Distribution Automation [cit. 2017-04-29].
- [8] TLUSTÝ, Josef, Ladislav MUSIL, Jan KYNCL, Jan ŠVEC, Petr HAMOUZ, Zdeněk MÜLLER a Jan ŠPETLÍK. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.

OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Obr. P-1 Plný program pro chránění



Obr.P-2 Provedené úpravy v rozvaděči



Obr.P-3 Celkový pohled na pracoviště

OBSAH CD

- Projekt v programu CAP505
- Nastavení v programu Relay Setting Tool
- Obrázky a schémata
- Elektronická verze této práce