

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A
VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektrické ochrany v elektrizační soustavě ČR

Kopie zadání bakalářské prác

Kopie zadání bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o ochranách v elektrizační soustavě ČR. Stručně popisuje k čemu elektrizační soustava slouží a co znamená pojem ochrana. Dále se zabývá stručným popsáním o využívaných ochranách v české elektrizační soustavě. Práce pojednává o nových trendech, které se v dnešní době využívají firmou Siemens. V závěru se práce zabývá zpracováním měření na nadproudové ochraně Siprotc 7SJ8042 od firmy Siemens.

Klíčová slova

Ochrana, Proud, Nadproud, Napětí, Zkrat, Chráněný objekt, Protokol řízení, Distanční ochrana, Komunikace, Měření

Abstract

This Bachelor's dissertation focuses on protections in power system of Czech Republic. It sums up the power systems' practical use and defines the term protection. It also deals with describing the protections used in Czech electricity grid. The thesis addresses new trends that are currently used by Siemens. The conclusion is devoted to the processing of measurements on the overcurrent protection Siprotc 7SJ8042 from Siemens.

Key words

Protection, Current, Over current, Voltage, Short circuit, Protected objects, Management protocol, Distance Protection, Communication, Measurement

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Janu Bínovi za podporu při psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Zbyňkovi Bělinovi a panu Lubošovi Benediktovi za vřelou pomoc a možnost spolupráce s firmou Siemens.

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovával sám, z uvedené technické literatury jsem citoval.

V Plzni

Podpis

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
Úvod	10
1. Elektrizační soustava	11
1.1 Elektrizační soustava.....	11
1.2 Dělení ES	11
1.3 Poruchy na elektrizační soustavě	11
2. Ochrany	12
2.1 Ochrana	12
2.2 Chráněný objekt	12
2.3 Dělení ochran	12
2.4 Základní požadavky na ochrany.....	13
3. Typy ochran:	15
3.1 Nadproudová ochrana:	15
3.2 Jističe.....	16
3.3 Rozdílová ochrana.....	18
3.4 Závitová ochrana.....	18
3.5 Distanční ochrana.....	19
3.6 Ochrana proti tepelnému přetížení	20
3.7 Ochrana proti zpětnému výkonu	20
3.8 Nadproudová ochrana blokována podpětím.....	21
3.9 Podpětňová ochrana.....	21
3.10 Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana	21
3.11 Ochrana proti ztrátě buzení	22
3.12 Ochrana proti zpětnému proudu.....	22
3.13 Zemní ochrana statoru.....	22
3.14 Zemní ochrana rotoru.....	23
3.15 Ochrana proti přebuzení.....	23
3.16 Ochrana proti ztrátě stability (synchronismu)	24
3.17 Ochrana proti přepětí.....	24
4. Nové trendy	26
4.1 Komunikace	26
5. Měření:	29
5.1 Postup měření:.....	30
5.2 Zpracování:	30
5.3 Zhodnocení měření:	33
Závěr	34
Použitá literatura	35

Seznam symbolů a zkratek

Nn	nízké napětí
Vn	vysoké napětí
Vvn	velmi vysoké napětí
Zvn	Zvlášť vysoké napětí
U	Napětí [V]
Un	Jmenovité napětí [V]
I	Proud [A]
In	Jmenovitý proud [A]
L1 L2 L3	Fázové vodiče
N	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
t	čas [s]
t_{vyp}	Skutečná vypínací doba[s]
t_{nas}	Nastavená doba vypnutí[s]
$I_{>}$	Hodnota proudu pro první stupeň ochrany
$I_{>>}$	Hodnota proudu pro první stupeň ochrany

Úvod

Tuto práci jsem si vybral na základě toho, že její téma je dle mého názoru zajímavé a bude mít i praktické využití. Jedním z důležitých aspektů pro mne bylo i to, že obsahuje i praktickou část a nesoustřeďuje se pouze na teoretickou rešerši. Navíc možnost spolupráce s firmou Siemens, tudíž příležitost podívat se a nahlédnout do jedné z velmi uznávaných firem na poli elektrotechniky, byla velmi lákavým faktorem.

Tato práce pojednává o ochranách, které se používají u většiny zařízení v elektrizační síti České republiky. První část práce, zaměřené na první bod zadání, se bude věnovat rozboru toho, co pojem elektrizační soustava znamená, jaké obsahuje prvky a jak ji rozdělujeme. Budou zde popsány druhy poruch, které se v soustavě mohou vyskytnout. Bude zde osvětlen pojem ochrana a požadavky, které jsou na ochrany kladeny, spolu s rozdělením jednotlivých druhů ochran. Dále se v úvodní části objeví stručný popis a výpis ochran používaných v elektrizační soustavě České republiky.

Druhá část bakalářské práce se bude zabírat novými trendy v tomto odvětví. Budou zde zmíněny dva (dle mého názoru) nejdůležitější trendy, a to jednak oblast komunikace a jednak usnadnění využití ochran. Tato část je zaměřena na spolupráci s firmou Siemens a konkrétně pak na práci s Ing. Zbyňkem Bělinou.

Třetí a poslední část je provedení a zhodnocení měření nadproudové ochrany Siprotec 7SJ8042 od společnosti Siemens. Zde za pomoci pana Ing. Luboše Benedikta proběhlo ve zkušební laboratoři společnosti Siemens měření výše zmiňované ochrany. Měření je zde zdokumentováno, zpracováno a zhodnoceno.

1. Elektrizační soustava

1.1 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava (ES) je soubor zařízení určených pro výrobu, přenos a spotřebu elektrické energie. Hlavní provozovatel v ČR je převážně ČEZ, a.s. (České energetické závody). Zařízení pro přenos provozuje v ČR ČEPS, a.s. (Česká přenosová energetická soustava). [1,3]

1.2 Dělení ES

Přenosová síť - část ES tvořící přenosovou cestu pro napájení velkých stanic nebo uzlů

Distribuční síť - část ES sloužící pro dodávku el. energie odběratelům

Tabulka rozdělení 1.2.1

Přenosová síť	zvn	400 kV	Provoz s přímo uzeměným uzlem
	vvn	220 kV	
		110 kV	
Distribuční síť	vn	35 kV	Provoz s nepřímo uzeměným uzlem
		22 kV	
		10 kV	
		6 kV	
	nn	0,4 kV	Provoz s přímo uzeměným uzlem

1.3 Poruchy na elektrizační soustavě

Poruchou je buď vznik neočekávaného vodivého propojení sítě, což může znamenat např. zkrat nebo zemní spojení. Další poruchou může být rozpojení, což znamená přerušení dodávky. Oba typy těchto poruch mají za následek větší nebo menší škody na zařízení či výpadky dodávky elektrické energie. Při velké nesymetrii může dojít k přepětí a tím pádem i přetěžování sítě a zařízení s ní spjatá. Mnohem horší ale bývají poruchy způsobené při poruše izolace nebo chybnou manipulací – v tomto případě vzniká v síti zkrat, který může mít velmi destruktivní účinky jak na síť, tak na zařízení, která jsou k síti připojena. Kvůli těmto problémům je třeba správně využívat různé druhy ochrany, aby objekt a síť včas zabezpečily a v nejlepším případě škody snížily na minimum. [1]

2. Ochrany

2.1 Ochrana

Zařízení, které kontroluje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému. Pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, popř. čidel, získá informaci o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Ochrana musí rozlišit, je-li chráněný objekt v mezích normálního provozu, nebo zda se jedná o poruchu. Poruchou se rozumí taková fyzikální změna na objektu nebo veličinách, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního provozu. [2]

2.2 Chráněný objekt

Chráněný objekt je fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin. Stavová veličina je fyzikální veličina chráněného objektu, jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu. [1]

2.3 Dělení ochran

Podle typu chráněného objektu:

- Generátor
- Motor
- Transformátor
- Přípojnice
- Vedení
- Odporníku
- Kondenzátorové baterie
- kabelu

Podle druhu poruchy:

- Zkratové
- Podpět'ové
- Přepět'ové
- Nadfrekvenční
- Podfrekvenční
- Při zpětném toku výkonu
- Při nesouměrnosti

- Při ztrátě buzení
- Při zemním spojení
- Při přetížení

Podle funkčního principu:

- Proudové
- Napět'ové
- Distanční
- Rozdílové
- Srovnávací
- Kmitočtové
- Při nesouměrnosti
- Wattové

Podle doby působení:

- Mžikové
- Časově závislé
- Časově nezávislé
- Polozávislé

Podle konstrukce:

- Elektromechanické
- Tranzistorové
- Číslicové

[1],[2]

2.4 Základní požadavky na ochrany

Spolehlivost

Schopnost vykonávat operace podle stanoveného algoritmu ochrany. Celková spolehlivost ochrany se dělí do dvou kategorií, těmi jsou funkčnost a bezpečnost. Funkčnost udává, zda ochrana správně zapůsobí, a bezpečnost udává, zda ochrana nezapůsobí správně. Omezení funkčnosti docílíme například zvýšeným paralelním řazením ochran. Naopak bezpečnost lze zvýšit pomocí sériového řazení ochran. [1],[2]

Odolnost ochrany při přerušení

Vyskytuje se mnoho vlivů, při kterých může být ochrana poškozena. Například prašné prostředí, obsah agresivních plynů v ovzduší elektrárny, otřesy, magnetické a elektrické pole při zkratech a podobně. [1],[2]

Selektivita

Schopnost ochrany vypnout pouze postiženou oblast. Důležité je, aby zareagoval prvek, který je blíže k poruše. Toto se řeší třemi principy:

- časové odstupnění: zapůsobí ochrana, která je nejbližší k postižené části
- amplitudové nebo fázové porovnání
- směrovost

[1],[2]

Rychlost působení ochrany

Rychlost působení ochrany definuje, jak je dlouhá doba působení ochrany od identifikace poruchy až do vyslání vypínacího impulsu. Požadavky na rychlost působení se mohou velmi lišit - ovlivňuje ji například selektivita, minimalizace rozsahu poškození, zachování dynamické stability soustavy nebo snaha o snižování nebezpečí úrazu osob. Celková doba vypnutí ochrany má rozhodující vliv na chráněné zařízení. [1],[2]

Jednoduchost obsluhy

System by měl být pro obsluhu co nejjednodušší a plnit všechny potřebné funkce. Jednoduchostí se rozumí maximální omezení chybné manipulace. [1],[2]

Ekonomická návratnost

Je nutno vybrat vhodný typ ochrany v závislosti na četnosti poruch, ceně chráněného zařízení a ztráty způsobené výpadkem dodávky elektrické energie. [1],[2]

Doba působení ochrany

Časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany.

Přetížitelnost ochrany

Maximální velikost vstupní veličiny, která působí definovanou dobu a ještě neohroží životnost ochrany. [1],[2]

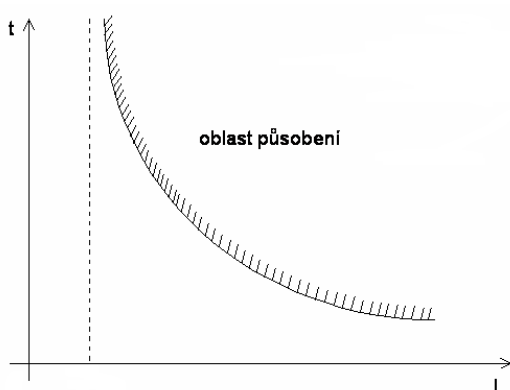
3. Typy ochran:

3.1 Nadproudová ochrana:

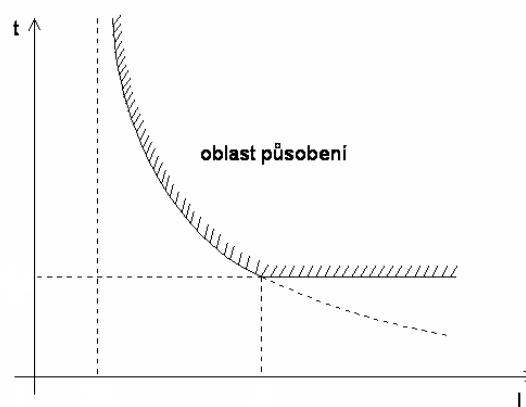
Chrání objekt před zkratem nebo vůči přetížení. Ochrana začíná působit při zvýšeném proudu. Velikosti nadproudů či hodnot, při kterých ochrana reaguje, je nutno nastavit. Nadproudové ochrany dělíme podle toho, kdy jsou schopny se vypínat v závislosti na čase - tudíž je dělíme na typy časově závislé, časově nezávislé, mžikové a časově polozávislé. Nadproudové ochrany mají velké využití a používají se u všech zařízení v elektroenergetice, jako například u transformátorů nebo generátorů motoru. Na hladině VN jsou používány jako hlavní ochrany a na hladinách VVN jako ochrany záložní. Jsou vhodné na dodržení selektivity chránění. Dosáhneme ho snadno za pomoci odstupňování vypínacích charakteristik. U časově nezávislých ochran volíme změnu vypínací doby.

Směrová nadproudová ochrana

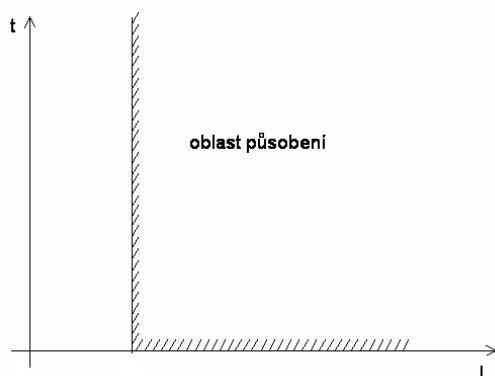
V aplikacích, které se liší od radiálního konceptu elektrické sítě, je pro nadproudové chránění nezbytná také informace o směru toku poruchového proudu. Zatímco u radiálně provozované sítě teče vždy proud od zdroje k místu poruchy jedinou cestou a je zbytečné mít informaci o jeho směru, je v ostatních konfiguracích sítí tato informace nutná, aby nedošlo k chybnému zapůsobení a odpojení. Nepostižené části sítě. Rozdíl je v tom, že působí pouze v předvolené fázové polovině. Pro měření fázoru proudu je tak nezbytný jak napěťový, tak proudový vstup (tedy přístrojový transformátor napětí i proudu). [1],[2]



Obr 3.1.1 Časově nezávislá charakteristika



Obr 3.1.2 Časově polo závislá charakteristika



Obr 3.1.2 Časově nezávislá charakteristika

3.2 Jističe

Jsou to samočinné nadproudové vypínače, které mají funkci spínací a jistící. Jistí proti nadproudům.

Spouště jističů:

-tepelná – je z bimetalového pásku, jistí proti přetížení

-zkratová – reaguje okamžitě dle nastavené hodnoty nadproudu („zkratová“), vypne v době od 0,1 až 0,2 s, elektromagnetická nebo elektrodynamická spoušť

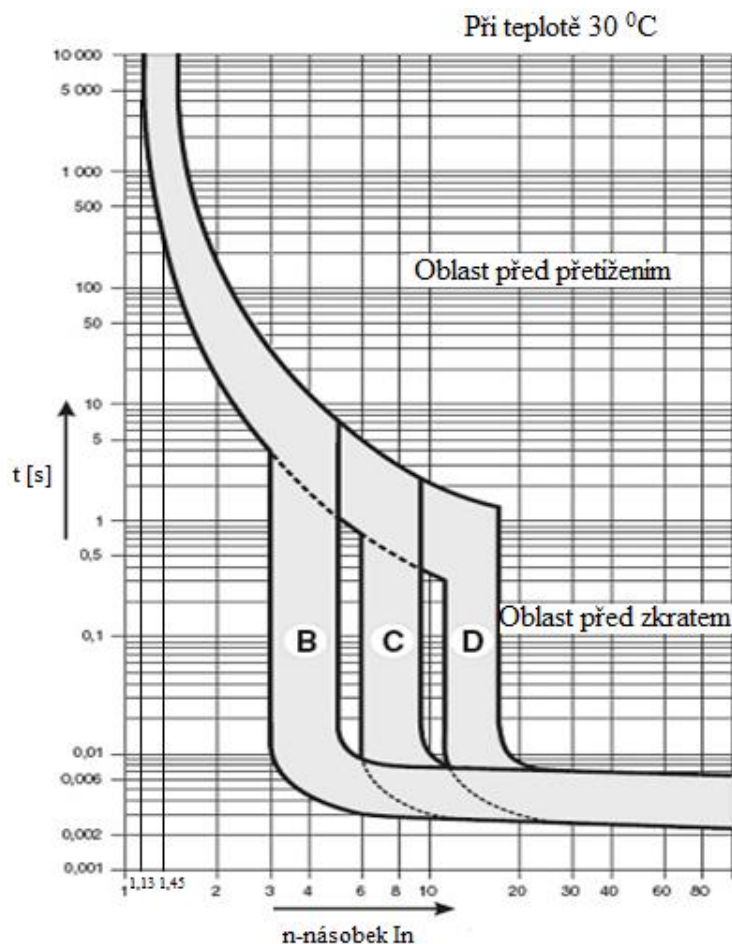
-kataraktová – elektromagnetická spoušť doplněná hydraulickým zpožděním (starší typy jističů)

Oblasti:

B – pro zařízení, které nezpůsobují proudové rázy a je třeba rychlé vypnutí, např. hlavní jistič bytu

C - pro zařízení, které způsobují proudové rázy například žárovkové skupiny a malé motory

D - pro zařízení s vysokými proudovými rázy převážně využity u transformátorů, 2-pólových motorů a u motorů s těžkým rozběhem [4]



Obr 3.1.2 Vypínací charakteristika

Tabulka 3.1.1 hodnoty z vypínací charakteristiky

	I1	I2	t	I4	I5	t
B	1,13xIn	/	≥ 1 hod.	3xIn	/	$\geq 0,1$ s
	/	1,45xIn	< 1 hod.	/	5xIn	$< 0,1$ s
C	1,13xIn	/	≥ 1 hod.	5xIn	/	$\geq 0,1$ s
	/	1,45xIn	< 1 hod.	/	10xIn	$< 0,1$ s
D	1,13xIn	/	≥ 1 hod.	10xIn	/	$\geq 0,1$ s
	/	1,45xIn	< 1 hod.	/	20xIn	$< 0,1$ s

Výhody:

- vypínají proudy ve všech fázích
- dokáží vypínat velké zkratové výkony
- po zapůsobení lze opět zapnout

Nevýhody:

- složitý mechanismus vypínání, tzn. menší spolehlivost
- vyšší cena
- neomezují zkratové proudy

Výkonové jističe:

rozsah působení: INJ = 10 až 4 000 A

vypínací schopnost: až 100 kA

3.3 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana je založena na předpokladu, že chráněným objektem procházejí provozní proudy, jejichž součet na všech vývodech a přívodech je za normálního stavu nulový. Je-li jejich součet nenulový, znamená to existenci nového svodu, kterým uniká poruchový rozdílový proud. V takovém případě se v chráněném objektu nachází vnitřní porucha a ochrana vybaví. Ve stavu bez poruchy je vždy přítomna malá hodnota unikajícího proudu a v ochraně je jeho hodnota navíc zatížena chybou měření. Proto je potřeba určit necitlivost ochrany, která bude záviset na:

- chybě měření přístrojového transformátoru
- nestejnosti poměru převodů přístrojových transformátorů na primární a sekundární straně
- neadaptovatelnosti převodů přístrojových transformátorů na převod silového

transformátoru s odbočkami (je-li chráněným objektem silový transformátor s odbočkami)

Z toho vyplývá, že část chyb bude nezávislá na provozním stavu objektu, a část bude úměrná průchozímu (provoznímu) proudu. Provozní proud v ochraně nahrazuje s ohledem na způsob měření součtovým (omezujícím) proudem. [3]

3.4 Závitová ochrana

Mezizávitový zkrat je zkrat mezi závity jednoho vinutí nebo zkrat mezi dvěma vinutími téže fáze. U generátorů s jedním vinutím na fázi představuje mezizávitový zkrat relativně malé riziko a proto se v těchto případech závitová ochrana nepoužívá. U generátorů s paralelními vinutími na fázi je již riziko opodstatněné a použití závitové ochrany vyžaduje norma. Principů této ochrany je několik. Má-li generátor vyvedeny dva statorové uzly, je možné tuto ochranu řešit pomocí kritéria napětí mezi oběma uzly. Další možností je speciální rozdílová ochrana využívající toho, že při mezizávitovém zkratu cirkulují mezi vinutími téže fáze

proudy. Protože MTP jsou umístěny u uzlu statorového vinutí, protékají jimi při poruše u nezátíženého generátoru proudy opačného směru. Naopak, v bezporuchovém stavu buď neprotékají proudy žádné anebo stejně veliké a stejně orientované. [2],[3]

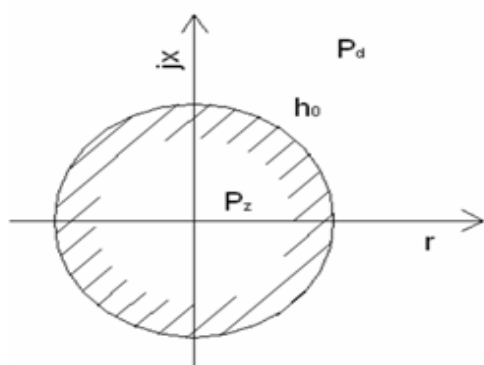
3.5 Distanční ochrana

Distanční ochrany nacházejí největší uplatnění pro chránění vedení, ale své využití mají i při chránění elektrárenských bloků jako záložní ochrana. Princip funkce distanční ochrany spočívá ve sledování impedance sítě z daného místa v síti. Vysoká hodnota této impedance znamená, že v chráněném úseku není porucha. Naopak nízká hodnota této impedance znamená poruchový stav. Hlavní výhodou distanční ochrany v porovnání s časově odstupňovanými nadproudovými ochranami je velmi rychlé vybavení pro poruchy a to zejména v první zóně ochrany, která chrání 80 ÷ 90 % délky vedení, vinutí transformátoru či statorového vinutí generátoru. Celková nejistota se pak může pohybovat v rozmezí 15 ÷ 20 %. Z tohoto důvodu není možné chránit distanční ochranou v první zóně 100 % délky vedení nebo vinutí, ale pouze 80 ÷ 85 % a v případech, kdy je impedance přesně změřena, maximálně 90 %.[2],[3]

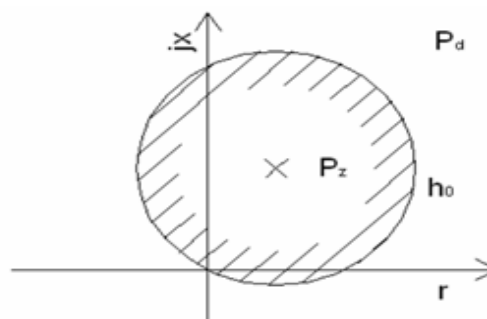
Měřicí členy distančních ochran:

Měřicí člen je základním prvkem distančních ochran, který na základě přivedených vstupních hodnot, tj. napětí a proudu v místě připojení ochrany, měří impedanci Z , určuje polohu a tvar charakteristiky ochrany. Při poklesu impedance pod nastavenou velikost dává popud k vypnutí.

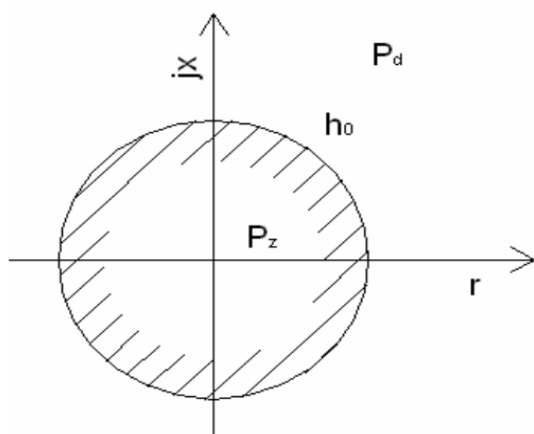
Charakteristiky nejvíce používaných měřících členů podle :



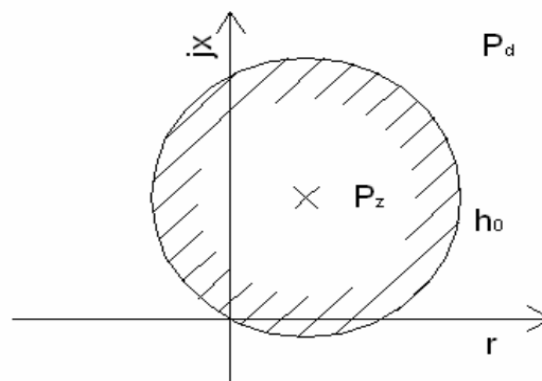
Obr 3.5.1 impedance char.



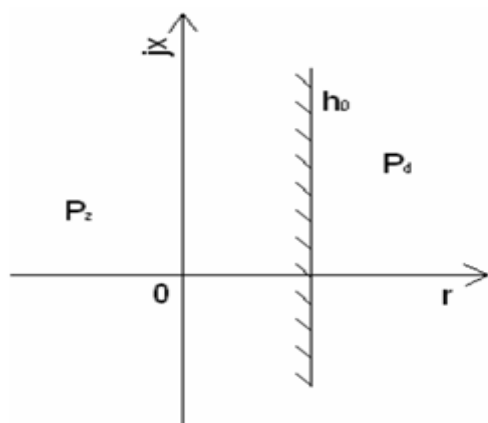
Obr 3.5.2 charakteristika mho



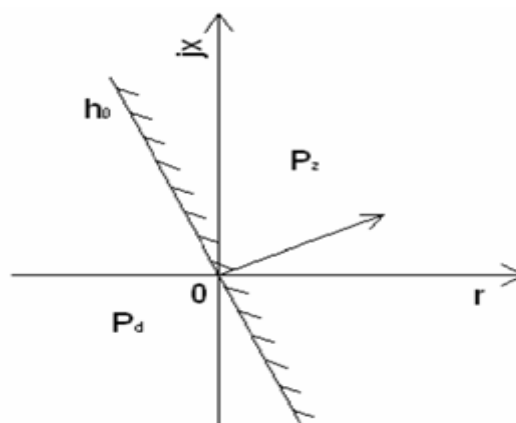
Obr 3.5.3 charakteristika ofset mho



Obr 3.5.4 reaktanční char.



Obr 3.5.5 odporová char



Obr 3.5.6 směrová char.

3.6 Ochrana proti tepelnému přetížení

Tento typ ochrany je typický pro generátory, velké motory v systému vlastní spotřeby elektrárny, ale i pro kabely. Tepelné účinky nadproudu u většiny chráněných zařízení omezuje nadproudová ochrana s časově závislou charakteristikou, která se vzrůstajícím nadproudem zkracuje dobu do vybavení. Pro velká zařízení, jejichž poškození vlivem nadproudu by znamenalo velké ekonomické ztráty, se instaluje ochrana přepočítávající proudové zatížení v čase na jejich teplotu, která je kritériem chránění. Základem ochrany je tzv. tepelný model zařízení. [2]

3.7 Ochrana proti zpětnému výkonu

Tento typ ochrany chrání generátory velkých elektrárenských bloků před přechodem z generátorického do motorického režimu. V tomto režimu synchronní generátor odebírá ze sítě činný výkon a roztáčí celé turbosoustrojí. Tento stav bezprostředně ohrožuje lopatky na

turbíně a je nutné generátor okamžitě odpojit ze sítě. Rozhodujícím parametrem pro vybavení je poměr zpětného výkonu ku jmenovitému výkonu generátoru. [2]

3.8 Nadproudová ochrana blokována podpětím

Podpět'ová ochrana se často využívá v kombinaci s nadproudovou ochranou u generátorů nižších výkonů. Základním problémem nadproudového chránění generátoru je odlišení poruchového proudu a proudu při přetížení. Zatímco při přetížení je napětí na svorkách blízké jmenovité hodnotě, při zkratu dochází k růstu synchronní impedance a postupnému poklesu proudu z 4 ÷ 6 násobku I_n až pod jmenovitou hodnotu. Zároveň prudce klesá napětí na svorkách. Tento děj se odehrává v řádu několika sekund. Samotná nadproudová ochrana by tedy nedokázala od sebe odlišit normální stav, přetížení a poruchový stav. Blokování nadproudové ochrany podpět'ovou ochranou toto umožňuje.

Existují dva způsoby:

- Napětím spouštěná nadproudová ochrana: Dochází k působení nadproudové ochrany při poklesu pod nastavené hodnoty podpětí (běžně $0,8U_n$).
- Napětím odstupňovaná ochrana: Doba reakce nadproudové ochrany je úměrná hodnotě dosaženého podpětí. [2],[3]

3.9 Podpět'ová ochrana

Samotná podpět'ová ochrana bývá téměř výlučně používána u velkých asynchronních motorů a generátorů a slouží k zamezení nestabilního chování stroje vlivem sníženého napětí.

3.10 Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana

Soustrojí generátor - turbína je navrhováno pro trvalý provoz v režimu síťové frekvence. Provoz se sníženou hodnotou frekvence má za následek zejména:

- zvýšené vibrace turbosoustrojí, a s tím související snížení lopatek turbíny
- snížení výkonu elektromotorů na vlastní spotřebě
- snížení chlazení

Negativní důsledky má také provoz se zvýšenou hodnotou frekvence. Pro provoz soustrojí turbína – generátor je proto výrobcem předepsané omezení maximální doby provozu v několika nad frekvenčních a pod frekvenčních pásmech, které se nalézají mimo rozmezí pro

stálý provoz. Při vybočení kmitočtu z tohoto rozmezí musí urychleně dispečer samostatně využít plného rozsahu regulace výkonu k účasti na navrácení kmitočtu do uvedeného rozmezí. Základním požadavkem je umožnit dočasný pokles frekvence při frekvenčním odlehčování, aniž by došlo k nepřijatelným stavům z hlediska provozu. Provozní omezení spočívají kromě pásma trvalého provozu i v dalších frekvenčních pásmech, ve kterých se může turbosoustrojí provozovat jen po určitou dobu. Ochrana se nastavuje tak, aby pokud možno tato pásma pokryla. [2]

3.11 Ochrana proti ztrátě buzení

Ke ztrátě buzení synchronního alternátoru může dojít v případě výpadku napájení či poškození budiče či zkratu na budičím vinutí. Ztráta buzení bez ohledu na příčinu představuje riziko poškození generátoru. V případě výpadku buzení proud budičího vinutí klesá exponenciálně k nule s časovou konstantou vinutí. Úměrně tomu klesá i vnitřní elektromotorické napětí stroje a elektromagnetická vazba mezi rotorem a statorem. Samotná ochrana pracuje na principu dvou zónové distanční ochrany. [2]

3.12 Ochrana proti zpětnému proudu

Zpětná složka statorového proudu vyvolává v rotorovém vinutí proudy o dvojnásobné frekvenci, než je síťová frekvence. Tyto proudy způsobují oteplení rotorového vinutí a mohou vést k jeho poškození. Generátory jsou ale samy o sobě zdrojem zpětné složky napětí. To vyvolává určitý podíl zpětné složky proudu i za běžného provozu, při kterém ochrana nesmí vybavit. [2]

3.13 Zemní ochrana statoru

Poškození izolace vinutí bývá hlavní příčinou většiny závažných poruch u alternátorů. V mnoha případech začíná zemním spojením nebo jako mezi závitový zkrat, který postupně v zemní spojení přechází. Zemní ochrana je proto velmi důležitým prvkem v souboru ochranného bloku. Nula statorového vinutí alternátoru může být obecně uzemněna následujícími způsoby:

1) generátor má uzemněný střed

a) generátor má nulu statoru spojenou se zemí přes vysokou impedanci

(proudy zemního spojení do 10 A)

b) generátor má nulu statoru spojenou se zemí přes nízkou impedanci

(proudy zemního spojení od 50 do 600 A)

c) generátor má nulu statoru spojenou přímo se zemí

2) generátor nemá uzemněný střed a pracuje do izolované soustavy

bez uzemněného středu

3) generátor nemá uzemněný střed a pracuje do izolované soustavy

s nízkoimpedančním uzemněním uzlu (proudy zemního spojení od

50 do 600 A)

Hodnota proudu zemního spojení však bude proporcionálně klesat s místem jeho vzniku, postupujeme-li po statorovém vinutí od vývodu směrem ke středu (uzlu), kde bude jeho hodnota nulová. Z výše uvedeného vyplývá, že není možné chránit oblasti statorového vinutí, které jsou blízko středu, protože teoreticky vypočítaná hodnota napětí je menší než chyba měření PTN. Prakticky to znamená, že tímto typem ochrany je možné chránit 90 ÷ 95 % statorového vinutí. Ke kompletnímu chránění statorového vinutí se dnes využívá tzv. 100 % zemní statorová ochrana. Při zemním spojení dochází totiž k poklesu kapacity části vinutí a tím i změně impedance. Je-li blok vybaven generátorovým vypínačem, připadá v úvahu ještě zemní spojení na přípojnicích VN. Toto zemní spojení se detekuje pomocí PTN umístěného za generátorovým vypínačem a narozdíl od zemního spojení statorového vinutí není důvodem k vypnutí bloku. [2]

3.14 Zemní ochrana rotoru

Zemní spojení obvodu rotorového vinutí se projevuje obdobně jako u statoru snížením kapacity proti zemi. Díky pohybu stroje se však kapacita neustále mění a dochází k rušení, které je třeba eliminovat. Pro vyhodnocení se využívá buď měření s přiloženým zdrojem napětí o systémové frekvenci, které dokáže odhalit odporové zemní spojení v řádu k Ω . Pro větší generátory se využívá přesnější metoda injektáže obdélníkového napětí (1 ÷ 3 Hz) a následná analýza náběžných a sestupných hran signálu. [2]

3.15 Ochrana proti přebuzení

Ochrana proti přebuzení se používá u elektrických strojů s magnetickým obvodem, tj. transformátorů i generátorů. Vybavuje, pokud dojde k nedovolenému sycení v železe. [2]

3.16 Ochrana proti ztrátě stability (synchronismu)

V normálních provozních podmínkách mají točivá pole synchronních alternátorů stejnou frekvenci jako má elektrizační soustava, přičemž magnetické póly rotoru jsou fixovány na točivá pole statoru elektromagnetickou vazbou. Tato vazba má elastický charakter, takže při malých skocích systémových veličin umožňuje kmitání úhlu mezi rotorem a točivým polem (*zátěžný úhel*). Je-li vazba příliš slabá nebo změny v soustavě příliš velké, úhel rotoru vůči točivému poli statoru se nevrátí zpět do své původní polohy, ale dojde k prokluzu tohoto úhlu o 360°. Dále vlivem setrvačnosti následují další prokluz. Rotor se potom dále pohybuje se skluzem vůči statorovému poli. Tento jev se nazývá ztráta stability (synchronismu). [2]

3.17 Ochrana proti přepětí

Přepětí

Přepětí je velikost napětí překračující dovolené provozní napětí sítě u 400 kV + 5%, u nižších napěťových hladin (220/110/35/22/6/0.4) +10%. Přepětí může vzniknout buďto náhlou změnou stavu sítě (zemní spojení), při chodu sítě na prázdno nebo při náhlém odlehčení sítě. U těchto poruch hovoříme o přepětí provozním. Dále může vznikat takzvané přepětí atmosférické, které se tvoří při přímém či nepřímém úderu blesku do vedení. Při nepřímém zasažení sítě dochází k elektrostatické a elektromagnetické indukci o velikosti až 300 kV. V případě přímého zasažení sítě tyto hodnoty dosahují velikosti až 10 000 kV. Četnost úderů blesků do vedení je poměrně značná – 30 až 40 úderů za rok na 100 km vedení.

Používaná ochrana před přepětím

- tyčové hromosvody
- zemnicí a výběhová lana
- ochranná jiskřiště
- bleskojistky
- rychlé opětivé zapínání

Zemnicí lano

Zemnicí lano je uzemněný nebo slabě izolovaný vodič, který slouží ke snížení indukovaného přepětí po úderu bleskem. Obvykle se zemnicí lano umísťuje na nejvyšším místě stožáru, aby vodiče chráněného vedení byly v prostoru vymezeném ochranným úhlem lana dle normy ČSN 380810. Spojuje se buď přímo, nebo přes jiskřiště.

Tabulka 3.17.1 Použití zemnicího lana pro různé napěťové hladiny

0,4 kV	6 kV	22 kV	35 kV	110 kV	220 kV	400 kV	750 kV
Bez zemnicího lana		Výběhové lano		Se zemnicím lanem			

Zemnicí lano nemusí sloužit pouze jako ochrana vedení, takzvaná kombinovaná zemní lana se využívají i pro přenos informace, jelikož v jejich jádře jsou uloženy optické kabely.

Ochranná jiskřiště

Nejjednodušším svodičem přepětí je ochranné jiskřiště, které je často součástí izolátorů a vysokonapěťových přístrojů. Jejich význam spočívá zejména v tom, že průrazná dráha vzduchu se posune od povrchu izolátoru, takže se zabrání zničení povrchu izolátoru tepelným účinkem oblouku. Představují jen hrubou přepěťovou ochranu a mají velký rozptyl zapalovacího napětí (přibližně 13%). [4]

Ventilové bleskojistky

Bleskojistky umožňují nejúčinnější ochranu před atmosférickým přepětím, zejména automatickým zhašením následného proudu. Ventilové bleskojistky jsou nejčastěji používanou ochranou proti přepětí. Klasické bleskojistky jsou na bázi silicium-karbid. Skládají se z mnohonásobného sériového jiskřiště, schopného okamžitého působení, a z jiskřiště napěťového.[4]

Automatika opětného zapínání

Ochrana působící na principu odpojení části sítě při poruchovém stavu a opětovného automatického připojení. Pokud porucha trvá, ochrana provede trvalé odpojení. Podle doby trvání opětovného zapnutí se tento typ ochrany dělí na rychlý a pomalý. Pro rychlé OZ platí zapnutí do jedné vteřiny, naopak pro pomalé OZ je doba zapnutí delší než jedna vteřina. Dále se OZ dělí na jednopólové (jednofázové VVN a ZVN) nebo třípólové (třífázové u vedení VVN). Pro jednopólové OZ mohou být použity pouze vypínače se samostatnými pohony pro jednotlivé póly vypínače [4]

Cyklus OZ

1. ochrana zjistí poruchu a v nejkratším čase dá povel k odpojení poškozeného úseku z obou stran
2. po krátkém časovém úseku dává systém OZ impuls k opětnému zapnutí vypínačů

3. pokud byla porucha v době beznapěťové pauzy zlikvidována, je vedení opět uvedeno do provozu a cyklus OZ je úspěšný

4. pokud porucha stále trvá, musí dát ochrana konečný impuls k vypnutí postiženého úseku

4. Nové trendy

Nejnovější trendy, kterými se momentálně zabývá celá řada výrobců elektrických ochran, se zaměřují převážně na dva důležité faktory. Jedním z nich je komunikace, v rámci které se řeší například problémy se zasíláním informací mezi ochranami a dispečinkem, případně zasílání informací a komunikace v rámci více ochran souběžně. Druhý, taktéž velmi podstatný trend je modulačnost ochran, kde se rozebírají různé kombinace ochran dle zákaznickových potřeb.[5]

4.1 Komunikace

U ochran je velmi důležitá komunikace mezi dispečinkem a řídicím systémem, nebo i mezi ochranami samotnými. Starší ochrany nám nedovolovaly tak dobré vzájemné propojení, jak systémem, kterým byly propojeny, tak samotným typem propojení. Dnešní technologie už dovoluje využívat jiné propojení než elektrickou cestu, která byla a stále je ztrátová, navíc lehce ovlivnitelná vnějším rušením. Proto se dnes využívá ve velkém množství optických cest pro komunikaci. Jejich výhodou je, že se dají vést až na vzdálenost kolem patnácti kilometrů, jsou rychlé a nedají se rušit tak snadno jako elektrický typ. Z větší části je potom cesta z řídicího centra k ochraně řešená optickým kabelem. Následné propojování menších úseků může být poté z úsporných důvodů řešeno klasickou elektrickou cestou, která je na kratší úseky cenově výhodnější.

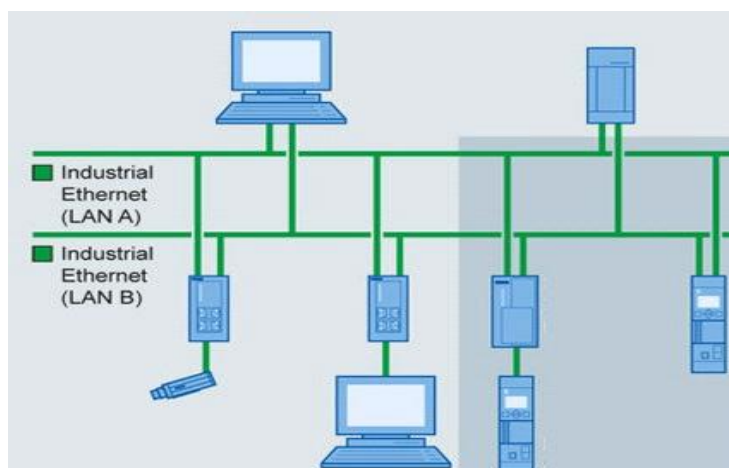
Dalším problémem, který se v rámci komunikace řeší, je typ propojení ochran s dispečinkem. Máme dva nejpoužívanější typy funkčních propojení - propojení hvězdicové a kruhové. Nejnovější trendy se zaměřují na zapojení kruhové, jelikož u kruhového spojení je možná komunikace mezi ochranami, navíc určování chyby je řešeno pomocí nových protokolů, určených právě pro kruhové zapojení.

Využívá se dvou hlavních protokolů, a to protokolu HSR a protokolu PRP, případně kombinace obou dvou zároveň.

4.1.1 Princip PRP – Parallel Redundancy Protocol

Protokol je založen na využití dvou paralelních sítí. Všechna zařízení jsou spolu propojena linkami A a B. Pro připojení jiného zařízení, které nevyužívá PRP se používá tzv. PRP-

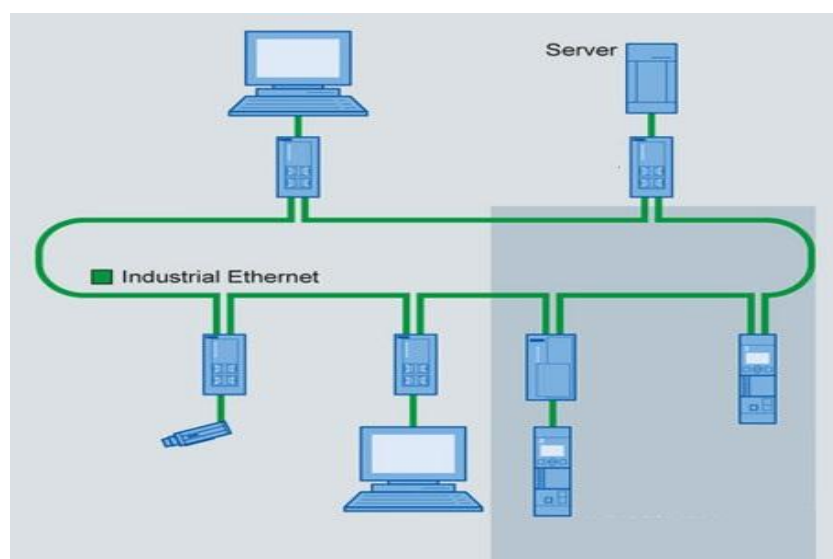
RedBox, což je spínací přístroj, který je schopen se k rozhraní PRP připojit. Tento protokol a způsob zapojení se používá zejména pro bezvýpadkovou rekonfiguraci, což znamená nulový čas přepnutí při poruše. Má nejvyšší úroveň redundance. Při nastavování má jednoduchý mechanismus a je schopen připojit běžná zařízení s jedním portem. Nicméně ke správnému chodu je zde třeba mít dva switche, což má za následek vyšší náklady. Další nevýhodou také je, že při propojení dvou oddělených sítí dojde k výpadku celé sítě. [5,6]



Obrázek 4.1.1.1 PRP obvod

4.1.2 Princip HSR – High available Seamless Redundancy

Funkční i pro kruhové struktury, kde je schopen zajistit plynulý převod komunikace. Je velmi flexibilní, tudíž není problém jej propojit i s protokolem PRP. Je schopný plynulého přenosu



Obrázek 4.1.1.1 HSR obvod

bez zpoždění i v případě vzniku chyby. Velkou výhodou je možnost propojení až padesáti zařízení v jedné kruhové struktuře. Podobně jako PRP má bez výpadkovou rekonfiguraci, tudíž nulový čas přepnutí. Při použití kruhové struktury jsme de facto na jedné společné síti, takže náklady na provoz velmi poklesnou. Pro připojení jiných síťových komponentů, jako je například počítač, je ale pořád nutno využít RedBoxu. [5],[6]

4.2 Modulačnost

Jedním z trendů se samozřejmě stala snaha usnadnit spotřebitelům přístup k ochranám a jejich funkčnost. Jedna z věcí, která umožňuje a usnadňuje tyto požadavky je modulačnost ochran. Znamená to, že máme základní část ochrany, takzvaný Base, tj. základní modul, od kterého se posléze vše odvíjí. K základnímu modulu, který obsahuje volně konfigurovatelný hardware, se přidávají rozšiřující moduly. Tyto moduly mohou obsahovat buďto jiný typ ochrany nebo rozšiřovací modul pro komunikaci, jako jsou například elektrické nebo optické vývody. Je možno připojit až čtyři komunikační sloty v libovolné kombinaci. Další část, která se může u modulu měnit je jeho vizuální stránka. Base moduly mohou obsahovat kontrolní LED diody, různé velikosti displejů a rozličné řídicí prvky.

Mezi další trendy či inovace patří například vyměnitelnost různých svorek, což doplňuje první komunikační trend. V tomto trendu jde převážně o to co nejvíc usnadnit obsluhu, práci a instalaci ochran.

5. Měření:

Měřená ochrana: Siprotc 7SJ8042 – 5EB96 – 3FE/CC (S.N. BF1209086168)



Obrázek 5.1 Siprotc 7SJ8042 – 5EB96 – 3FE/CC [7]

Měřicí přístroj: Omicron Electronics CMC156 (S.N. KB034C)

Input 110 – 240 V, 50/60 Hz, 600 VA

Output 3 x 125V / 50 VA, 3x 12,5 A /40 VA



Obrázek 5.2 Omicron Electronics CMC156

5.1 Postup měření:

Měřenou ochranu připojíme k napájecí síti pro její zapnutí a uvedení do provozu. Ke zkoušené ochraně Siprotec 7SJ8042 připojíme měřicí přístroj Omicron CMC156. Ochrana se k Omicronu připojuje přes proudové svorky. Připojí se fáze L1, L2, L3 a N. Pro komunikaci s ochranou se ochrana propojí pomocí USB rozhraní s PC a pomocí binárních propojek s měřicím Omicronem. Celé měření a testování následně probíhá přes počítačový program, kde se nastavují potřebné testovací hodnoty a přípustné procentuální hranice testovaného objektu. V našem případě to znamená nastavit různé testované velikosti proudu, časové odstupnění, typ charakteristiky a maximální dobu pro testované hodnoty.

5.2 Zpracování:

Časově nezávislá charakteristika

Nastavené hodnoty:

Tabulka 5.2.1 Nastavené hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku

Nastavený I	Velikost I [A]	t _{vyp}	typ charakteristiky
I> Yes	1,2	0,800 s	Definite time
I>> Yes	5,0	0,050 s	
I>>> No	10,0	0,050 s	

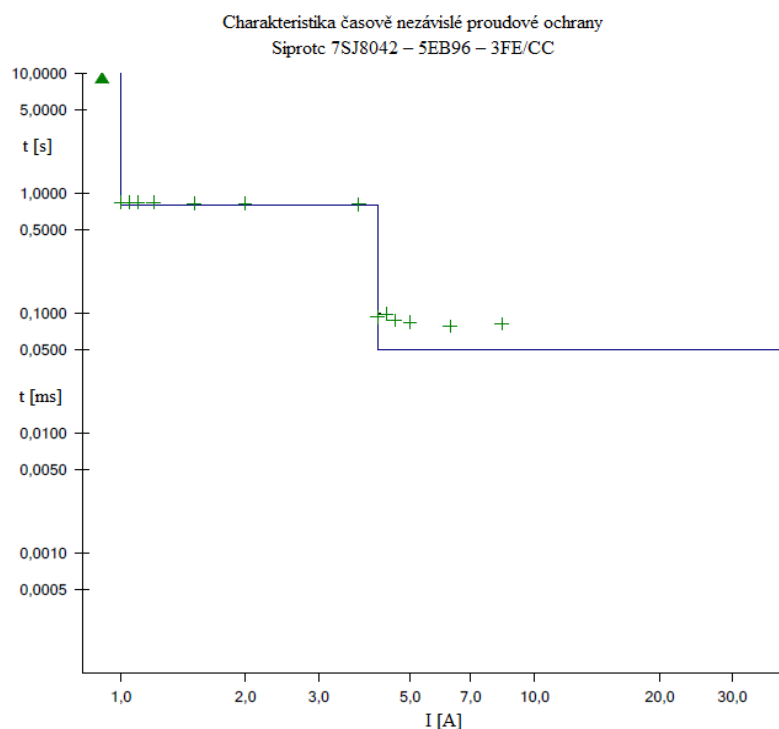
Naměřené hodnoty a graf pro L1:

Tabulka 5.2.2 Naměřené hodnoty

I>[%]	I>[A]	t _{nas} [ms]	t _{zkut} [ms]	Δt [%]
0,9	1,08	/	/	/
1	1,2	800	845,4	5,68
1,05	1,26	800	843,9	5,49
1,1	1,32	800	840,1	5,01
1,2	1,44	800	842,6	5,32
1,5	1,8	800	828	3,50
2	2,4	800	824,4	3,05

I>>[%]	I>>[A]	t _{nas} [ms]	t _{zkut} [ms]	Δt [%]
0,9	4,5	50	816,1	2,01
1	5	50	92,6	85,2
1,05	5,25	50	98,1	96,2
1,1	5,5	50	87,5	75
1,2	6	50	83,9	67,8
1,5	7,5	50	77,8	55,6
2	10	50	81,4	62,8

Graf:



Graf 5.2.1 Výsledný graf časově nezávislé charakteristiky

Časově polo závislá charakteristika

Nastavené hodnoty:

Tabulka 5.2.3 Nastavené hodnoty pro časově polo závislou charakteristiku

Nastavený I	Velikost I [A]	t_{vyp}	typ charakteristiky
I> Yes	1,0	0,5 s	IEC Normal inverse
I>> Yes	2,0	0,50 s	
I>>> No	10,0	0,050 s	

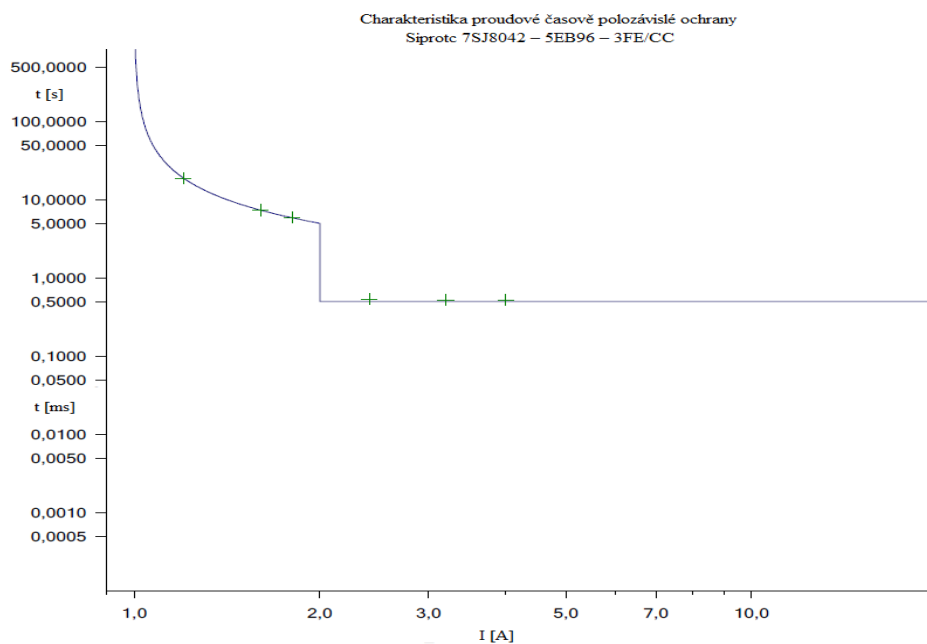
Naměřené hodnoty a graf pro LI:

Tabulka 5.2.4 Naměřené hodnoty

I>[%]	I>[A]	t_{nas} [s]	t_{zkut} [s]	Δt [%]
1,2	1,2	19,16	18,88	-1,47
1,6	1,6	7,412	7,385	-0,36
1,8	1,8	5,92	5,895	-0,41

I>>[%]	I>>[A]	t_{nas} [ms]	t_{zkut} [ms]	Δt [%]
1,2	2,4	500	535,9	7,18
1,6	3,2	500	523,3	4,66
2	4	500	525,2	5,04

Graf:



Graf 5.2.2 Výsledný graf časově polo závislé charakteristiky

Časově závislá charakteristika

Nastavené hodnoty:

Tabulka 5.2.5 Nastavené hodnoty pro časově závislou charakteristiku

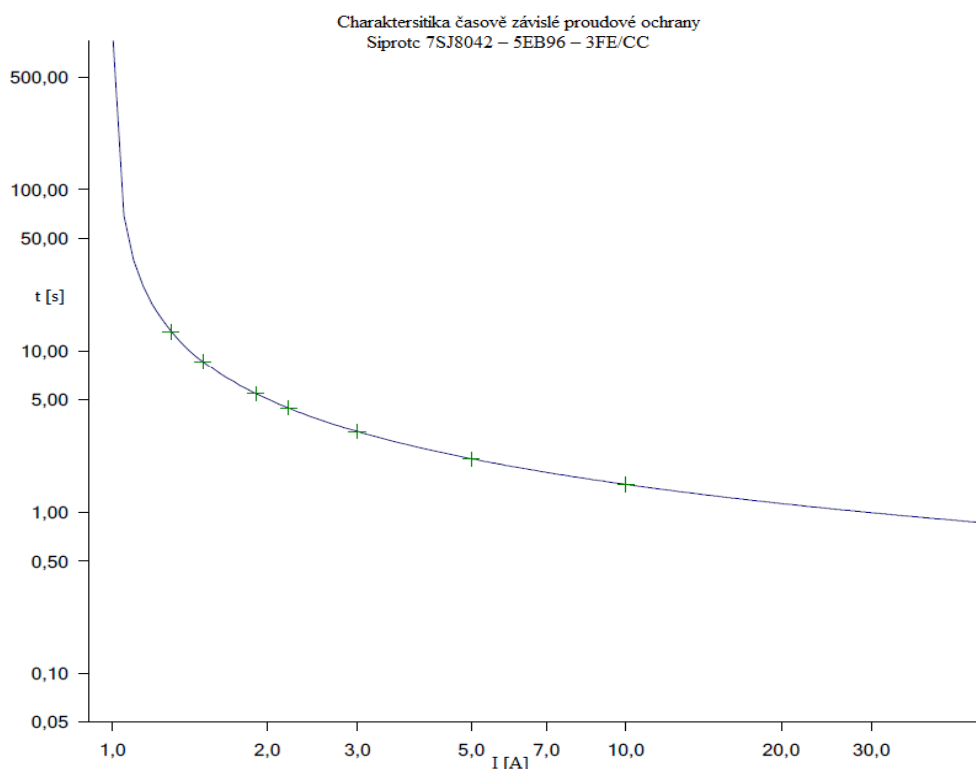
Nastavený I	Velikost I [A]	t _{vyp}	typ charakteristiky
I > Yes	1 A	0,500 s	IEC Norml Inverse
I >> No	5,0A	0,050 s	
I >>> No	10,000 A	0,050 s	

Naměřené hodnoty a graf pro L1:

Tabulka 5.2.6 Naměřené hodnoty

I > [%]	I > [A]	t _{nas} [s]	t _{zkut} [s]	Δt [%]
1,3	1,3	13,31	13,17	-1,04
1,5	1,5	8,597	8,546	-0,6
1,9	1,9	5,418	5,404	-0,25
2,2	2,2	4,404	4,404	-0,01
3	3	3,151	3,153	-0,07
5	5	2,14	2,133	-0,3
10	10	1,485	1,483	-0,17

Graf:



Graf 5.2.3 Výsledný graf časově závislé charakteristiky

5.3 Zhodnocení měření:

Testovanou nadproudovou ochranu Siprotc 7SJ8042 – 5EB96 – 3FE/CC jsme podrobili třem druhům charakteristik. Postupně jsme je nastavili a přes USB rozhraní nahráli do ochrany. Každý typ charakteristiky jsme zkousěli pro L_1 , L_2 , L_3 , L_{1-2} , L_{2-3} , L_{1-3} a L_{123} zde jsou kvůli obsáhlosti, vybrány pouze jedny hodnoty a to pro L_1 . Při porovnávání ochrany se testuje, jak přesně respektive v jaký čas ochrana působí. Při časově nezávislé charakteristice je největší odchylka pouze pro hodnoty $I > = 5,68\%$ naopak pro hodnoty $I \gg$ je tato chyba procentuálně větší což činí 96,2 % nicméně z časového hlediska je zpoždění stále stejné kolem 40ms což může být zapříčiněno mechanikou vypínacího kontaktu. Tyto chyby se vyskytují i nadále u časově polozávislé charakteristiky a to pouze v časově nezávislé části. Naopak v části časově závislé se procentuální odchylka pohybuje v záporných hodnotách. Což pro nás znamená, že ochrana působí dříve než by měla. Tuto chybu může zapříčinit například špatný výpočet křivky působení. Nicméně tato chyba je prý podle odborníka ze siemensu mnohem závažnější než chyba při pozdním sepnutí. Dle mého názoru je nepřijatelné aby ochrana působila dříve než je přednastavená hodnota. Znamenalo by to vypínání ochrany zbytečně čímž by se mohla ochrana zbytečně mechanicky opotřebovávat. Celý chráněný úsek by se zbytečně vypínal

čímž by se mohlo zdát, že je úsek poškozen aniž by to byla pravda. Tudíž chyba může být buď v nastavení ochrany, nebo v její hardwarové části.

Závěr

Úvod práce obsahuje stručné informace o elektrizační síti ČR a popis různých ochran, které se používají jak na vedení, tak při ochraně transformátorů a jiných prvků v elektrizační síti. Tato část je provedena formou rešerše a informace by nám měly pouze přiblížit danou problematiku.

Druhá část bakalářské práce se zabývá novými trendy, které jsou použity firmou Siemens. Nejdůležitější trendy, kterými se firma Siemens momentálně zabývá, jsou modulačnost a komunikace. Modulačnost ochran zejména z důvodu usnadnění přístupu a zjednodušení jejich instalace. U komunikace se zaměřuje na využíváním optických kabelů pro celkové usnadnění a zrychlení chodu chráněných úseků a využití nových řídicích protokolů Parallel Redundancy Protocol (PRP) a High available Seamless Redundancy (HSR), které celkově usnadňují celý chod ochran.

Při vypracovávání třetí a zároveň poslední části jsme proměřovali a testovali ochranu Siprotc 7SJ8042. Proměřili jsme za asistence pana Ing. Luboše Benedikta nadproudovou ochranu za použití třech různých ochranných charakteristik: časově závislou, časově polo závislou a časově nezávislou. Měření proběhlo formou simulace za pomoci měřicího přístroje Omicron Electronics CMC156, navrženého přímo pro testování ochran. Spolu s programem, který je dodáván s měřicím přístrojem, jsme schopni simulovat výše zmíněné charakteristiky. Při měření jsme docílili poměrně úspěšných výsledků. Jedinou chybu, kterou jsme při proměřování objevili, bylo předčasné vypínání ochrany, respektive ochrana působila dříve, než byla dosažena hraniční hodnota, a to pouze u časově závislé charakteristiky. Chyba byla sice v jednotkách desetin procent, nicméně i tato chyba je nepřijatelná a je zhodnocena v kapitole 5.3 Zhodnocení měření.

Použitá literatura

- [1] R. GRYM, P. HOCHMAN, J. MACHON, J. BERMANN a B. CICHONĚ. *Chránění II*. Havířov: IRIS, 2004. ISBN 80-903540-0-9.
- [2] TLUSTÝ, Josef, Jan KYNCL, Ladislav MUSIL, Jan ŠPETLÍK, Jan ŠVEC, Petr HAMOUZ, Zdeněk MÜLLER a Miroslav MÜLLER. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [3] R. GRYM, P. HOCHMAN, J. MACHON, J. BERMANN a B. CICHONĚ. *Chránění III*. Havířov: IRIS, 2004. ISBN 80-903540-5-X.
- [4] M. TESAŘOVÁ, Citace z prezentace *Pojistky a jističe*, Ochrany proti přepětí “Elektroenergetika 2” , 2012
- [5] Z. Bělina, Citace z prezentace Trendy v redundanci komunikačních protokolů “Hortovice 2013 ”, Siemens, 2013
- [6] Redundant Network Access – RNA. [Http://www.automation.siemens.com/](http://www.automation.siemens.com/) [online]. 2012 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/ie/ie_switches_media-converters/scalance-x-200-managed/pages/rna.aspx
- [7] Nadproudová ochrana Siprotc 7SJ8042 – 5EB96 – 3FE/CC, technický manuál