



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Elektrické ochrany bloku VVER 1000

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Specializace: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. David Nesweda

Květen 2022

Bc. Michal Řehoř

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Řehoř** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **474455**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Elektrické ochrany bloku VVER 1000

Název diplomové práce anglicky:

Unit electrical protections of VVER 1000

Pokyny pro vypracování:

- 1) Teorie elektrických ochran.
- 2) Seznam, popis a parametry chráněného zařízení.
- 3) Koncepce a principy elektrického chránění bloku jaderné elektrárny. Schéma ochran.
- 4) Výpočet minimálních a maximálních zkratových proudů pro potřeby nastavení elektrických ochran.
- 5) Návrh nastavení vybraných elektrických ochran. Návrh základních algoritmů.

Seznam doporučené literatury:

- 1) GRYM, Rudolf. Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu. Havířov: Iris [Havířov], c2004. Pracovní a učební pomůcka. ISBN 80-903540-0-9
- 2) CHMELÍK, Karel. Chránění III: elektrická zařízení vysokého napětí. Havířov: Iris [Havířov], c2005. Pracovní a učební pomůcka. ISBN 80-903540-5-X.
- 3) Christophe Prévé. Protection of Electrical Networks. Wiley-ISTE. July 2006. ISBN 978-1-905-20906-4
- 4) Janiček, František. Digitální ochrany v elektrizační soustavě. Bratislava, 2004. ISBN 80-227-2135-2
- 5) ČSN 33 3051 (333051) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení; Listopad 1992

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. David Nesweda ÚJV Řež, a.s., - Energoprojekt, Oddělení Elektro a I&C

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.11.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

Ing. David Nesweda
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Tímto způsobem bych rád poděkoval především vedoucímu diplomové práce Ing. Davidovi Neswedovi za vytvoření odborného zázemí a podporu při tvorbě práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti ÚJV Řež, a. s. divizi Energoprojekt za možnost spolupráce na diplomové práci.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 19. května 2022

.....

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem elektrických ochran vyvedení výkonu pro blok jaderné elektrárny VVER 1000. Teoretická část práce se věnuje úvodu do elektrických ochran, kde je stručně popsán jejich vývoj a funkční principy. Dále je v této práci představeno elektrické schéma bloku a vlastnosti chráněných zařízení. Praktická část diplomové práce je zaměřena na návrh systému chránění bloku, provedení podpůrných výpočtů a návrh nastavení vybraných ochranných funkcí.

Klíčová slova: elektrické ochrany, jaderná elektrárna, VVER 1000, výpočty zkratů, koncepce chránění, návrh elektrických ochran, nastavení elektrických ochran, charakteristiky ochran

ABSTRACT

This work deals with the design of electrical protections for power output for the VVER 1000 nuclear power plant unit. The theoretical part of the thesis is devoted to the introduction to electrical protection, where their development and functional principles are briefly described. Further, the electrical scheme of the block and the characteristics of protected devices are presented in this work. The practical part of the diploma thesis is focused on the design of the block protection system, the execution of supporting calculations and the design of the settings of selected protective functions.

Keywords: electrical protection, nuclear power plant, VVER 1000, short circuit calculations, protection concept, design of electrical protections, setting of electrical protections, characteristics of protections

OBSAH

ÚVOD	1
KAPITOLA 1: ÚVOD DO PRINCIPU FUNKCE BLOKU VVER 1000	2
1.1 PRIMÁRNÍ OKRUH	2
1.2 SEKUNDÁRNÍ OKRUH	3
1.3 CHLADÍCÍ OKRUH	4
1.4 VYVEDENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU	4
KAPITOLA 2: ELEKTRICKÉ OCHRANY	6
2.1 HISTORIE ELEKTRICKÝCH OCHRAN	6
2.2 ÚVOD DO ELEKTRICKÝCH OCHRAN	7
2.2.1 Typy poruch v elektrické soustavě.....	7
2.2.1.1 Zkraty	8
2.2.1.2 Zemní spojení.....	8
2.2.1.3 Přepětí a podpětí	8
2.2.1.4 Přetížení	8
2.2.1.5 Zpětný tok výkonu	8
2.2.1.6 Ztráta buzení a podbuzení.....	9
2.2.1.7 Vysoká a nízká frekvence sítě	9
2.2.2 Dělení elektrických ochran.....	9
2.2.2.1 Podle typu zařízení.....	9
2.2.2.2 Podle principu činnosti.....	10
2.2.2.3 Podle druhu poruchy	10
2.2.2.4 Podle doby působení.....	10
2.2.2.5 Další kritéria	11
2.3 FUNKCE ELEKTRICKÝCH OCHRAN	11
2.3.1 Rozdílová ochrana.....	11
2.3.2 Impedanční ochrana.....	12
2.3.3 Výkonové ochrany.....	13
2.4 PRVKY ELEKTRICKÝCH OCHRAN	14
2.4.1 Vstupní člen	14

2.4.2	Popudový (rozběhový) člen	15
2.4.3	Měřicí člen.....	15
2.4.4	Logika.....	15
2.4.5	Koncový člen	16
2.4.6	Časový člen.....	16
2.4.7	Napájecí člen.....	16
2.5	PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY	16
2.5.1	Přístrojové transformátory proudu	16
2.5.1.1	Přesnost převodu a úhlu PTP	17
KAPITOLA 3: POPIS CHRÁNĚNÝCH ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ		19
3.1	TURBOGENERÁTORU 1SP.....	19
3.1.1	Funkční princip stroje.....	19
3.1.2	Technické parametry stroje.....	20
3.1.3	Vinutí statoru a rotoru	21
3.2	BUDÍCÍ SYSTÉM TURBOGENERÁTORU.....	21
3.2.1	Rozvaděč řídicí a regulační části.....	22
3.2.2	Budící generátor	22
3.3	BLOKOVÝ TRANSFORMÁTOR	23
3.4	TRANSFORMÁTORY VLASTNÍ SPOTŘEBY.....	23
3.5	BLOKOVÁ LINKA 400 KV	24
KAPITOLA 4: KONCEPCE ELEKTRICKÉHO KRÁNĚNÍ BLOKU VVER 1000		25
4.1	ZÁKLADNÍ FUNKCE A POŽADAVKY NA ELEKTRICKÉ OCHRANY	25
4.1.1	Požadavky na systém elektrických ochran.....	25
4.1.2	Požadavky na elektrické ochrany	26
4.1.3	Selektivita ochran	27
4.1.4	Zálohování ochran.....	27
4.2	NÁVRH ELEKTRICKÝCH OCHRAN PRO JEDNOTLIVÁ ZAŘÍZENÍ	28
4.2.1	Ochrany blokového transformátoru 1AT	28
4.2.2	Ochrany transformátorů vlastní spotřeby 1BT.....	30
4.2.3	Chránění turboalternátoru 1SP	31
4.2.4	Chránění budiče turboalternátoru 1SR	35

4.2.5	Chránění přípojníc 24 kV v různých režimech elektrárny	37
Kapitola 5: Zkratové výpočty pro nastavení ochran		39
5.1	MODEL BLOKU VVER 1000	39
5.2	VÝPOČET ZKRATŮ PRO NADPROUDOVOU OCHRANU 1AT-F11	41
5.3	VÝPOČET ZKRATŮ PRO OCHRANU TRANSFORMÁTORU V NULE 1AT-F14 A NÁDOBOVOU OCHRANU 1AT-F16	41
KAPITOLA 6: NASTAVENÍ ELEKTRICKÝCH OCHRAN A NÁVRH ALGORITMŮ.		43
6.1	NADPROUDOVÁ OCHRANA 1AT-F11	43
6.1.1	Nastavení prvního stupně ochrany 1AT-F11	44
6.1.2	Nastavení druhého stupně ochrany 1AT-F11	45
6.2	OCHRANY ZTRÁTY BUZENÍ	46
6.2.1	Nastavení ochrany podbuzení 1SP-F44	47
6.2.2	Nastavení ochran ztráty buzení 1SP-F451	48
6.3	ROZDÍLOVÁ OCHRANA 1AT-F302	49
6.3.1	Nastavení rozdílové ochrany	52
6.3.2	Přepínání charakteristik rozdílové ochrany	52
6.4	ZPĚTNÁ WATTOVÁ OCHRANA 1SP-F501	53
6.4.1	Nastavení zpětné wattové ochrany 1SP-F501	54
6.5	IMPEDANČNÍ OCHRANA 1SP-F25	55
6.5.1	Nastavení impedanční ochrany	56
6.6	ZEMNÍ OCHRANA STATORU 95 % 1SP-F421	60
6.6.1	Nastavení zemní ochrany	63
ZÁVĚR		65
POUŽITÁ LITERATURA		66
PŘÍLOHA A: SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK		67
PŘÍLOHA B: SCHÉMA ZKRATOVÝCH OCHRAN		68
PŘÍLOHA C: ZKRATOVÉ VÝPOČTY		69
C.1	MINIMÁLNÍ JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT V MÍSTĚ A	69
C.2	MAXIMÁLNÍ JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT V MÍSTĚ B	70
C.3	MINIMÁLNÍ JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT V MÍSTĚ B	71
C.4	MINIMÁLNÍ DVOUFÁZOVÝ ZKRAT V MÍSTĚ C	72

C.5	MAXIMÁLNÍ TŘÍFÁZOVÝ ZKRAT V MÍSTĚ D	73
	PŘÍLOHA D: NASTAVENÍ NADPROUDOVÉ OCHRANY 1AT-F11	74
	PŘÍLOHA E: NASTAVENÍ OCHRAN ZTRÁTY BUZENÍ	75
	PŘÍLOHA F: CHARAKTERISTIKA ROZDÍLOVÉ OCHRANY 1AT-F302.....	76
	PŘÍLOHA G: JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA OCHRAN	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Kontejnment reaktoru [8].....	2
Obr. 1-2 Primární okruh JE [8]	3
Obr. 1-3 Primární, sekundární a chladicí okruh JE [19].....	4
Obr. 1-4 Elektrické schéma vyvedení výkonu	5
Obr. 2-1 Charakteristika rozdílové ochrany [10] (Upraveno).....	12
Obr. 2-2 RX charakteristika impedanční ochrany [11].....	13
Obr. 2-3 Zpětná wattová ochrana [12].....	14
Obr. 3-1 Princip činnosti alternátoru [13].....	19
Obr. 5-1 NEPLAN: Schéma bloku JE.....	40
Obr. 5-2 NEPLAN: Schéma blokových linek a rozvodny 400 kV	41
Obr. 6-1 Schéma ochrany 1AT-F11	44
Obr. 6-2 Schéma ochran buzení	47
Obr. 6-3 Nastavení Zone 2 ochrany podbuzení SEL 400G [12].....	48
Obr. 6-4 Nastavení Zone 1 ochrany ztráty buzení SEL 400G [14].....	49
Obr. 6-5 Zapojení rozdílové ochrany 1AT-F302	50
Obr. 6-6 Charakteristika rozdílové ochrany SEL 400G [14].....	51
Obr. 6-7 Zapojení zpětné wattové ochrany 1SP-F501	54
Obr. 6-8 Charakteristika ochrany 1SP-F501	55
Obr. 6-9 Zapojení impedanční ochrany 1SP-F25	56
Obr. 6-10 Parametrizace impedanční ochrany SEL 400G [12].....	57
Obr. 6-11 Nastavení impedanční ochrany 1SP-F25	60
Obr. 6-12 Schéma zapojení ochrany 1SP-F421	61
Obr. 6-13 Zemní poruchy ochrany 1SP-F421 ..	62
Obr. 6-14 Zemní spojení v místě B	63
Obr. 6-15 Zemní spojení v místě A	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Parametry turboalternátoru 1250 MVA [14].....	21
Tab. 3-2 Parametry budicího alternátoru [14] ..	22
Tab. 3-3 Parametry jednofázové jednotky blokového transformátoru [15].....	23
Tab. 3-4 Parametry transformátoru vlastní spotřeby [15].....	24
Tab. 3-5 Parametry blokové linky.....	24
Tab. 4-1 Ochrany blokových transformátorů [9]	29
Tab. 4-2 Ochrany transformátorů v odbočce alternátoru [9]	31
Tab. 4-3 Ochrany turboalternátorů a alternátorů zdrojových soustrojí [9].....	32
Tab. 4-4 Ochrany budících alternátorů [9]	36
Tab. 6-1 Seznam vypočítaných ochranných funkcí	43

ÚVOD

Jaderné elektrárny jsou nedílnou součástí výroby elektrické energie nejen v České republice, ale na celém světě. Díky přechodu k bezemisní výrobě energie můžeme očekávat vzestup jejich významu. V České republice se můžeme setkat se dvěma typy jaderných bloků určených pro výrobu elektrické energie. Jedná se o VVER 440, jehož čtyři reaktorové bloky jsou provozovány v Jaderné elektrárně Dukovany a VVER 1000, jehož dva reaktorové bloky provozuje společnost ČEZ a. s. v Jaderné elektrárně Temelín. Typy VVER 1000 jsou provozovány především na území Ruské federace (Kalinin), nebo Ukrajiny (Zápороží). Na elektrické ochrany tohoto typu je diplomová práce zaměřena.

V temelínské elektrárně jsou v provozu konkrétně bloky VVER 1000 vývojového modelu 320. Jaderných bloků tohoto typu bylo uvedeno do provozu 25.

V roce 1980 bylo rozhodnuto o výstavbě dvou bloků v oblasti Temelína a o dva roky později bylo rozhodnutí doplněno o výstavbu další dvou bloků. Začaly projekční práce a v roce 1987 byla zahájena výstavba provozních objektů. V devadesátých letech bylo rozhodnuto o výstavbě pouze dvou reaktorových bloků. Stavba nabírala zpoždění kvůli změně politického zřízení v Československu a také negativním postojům Rakouské republiky k výstavbě této elektrárny. Přes tyto spory byl první blok 21. prosince 2000 připojen k elektrické soustavě a v létě 2002 začal jeho zkušební provoz. V prosinci 2002 byl k soustavě připojen druhý blok. Celá stavba byla zkolaudována v roce 2006. [1]

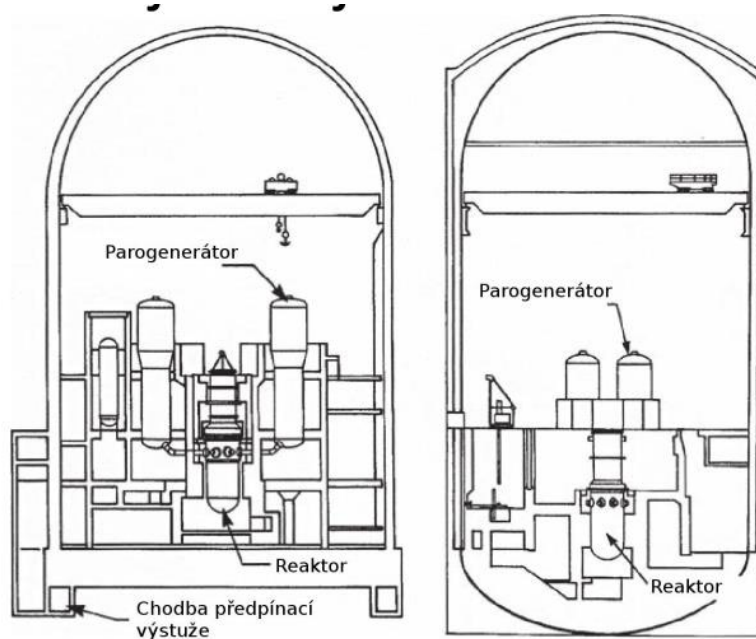
KAPITOLA 1: ÚVOD DO PRINCIPU FUNKCE BLOKU VVER 1000

Jaderné elektrárny se řadí mezi tepelné elektrárny, kde zdrojem tepla je jaderný reaktor. Voda se v uhelné elektrárně mění na přehřátou páru, která pohání turbínu. Následně voda kondenzuje a vrací zpět do kotle. V jaderné elektrárně se můžeme setkat s několika okruhy vody, které si navzájem teplo předávají, kdy poslední okruh je podobný okruhu uhelné elektrárny. Zdrojem tepla je zde parogenerátor. Jaderná elektrárna VVER 1000 disponuje třemi okruhy: primárním, sekundárním a chladícím.

Zkratka VVER označuje vodo-vodní energetický reaktor. V angličtině se můžeme setkat se zkratkou PWR. Jedná se o tlakovodní reaktor, jehož chladivem a moderátorem neutronů je lehká voda H_2O . Díky vysokému tlaku se voda v reaktoru nevaří a v celém okruhu je kapalná. [3]

1.1 Primární okruh

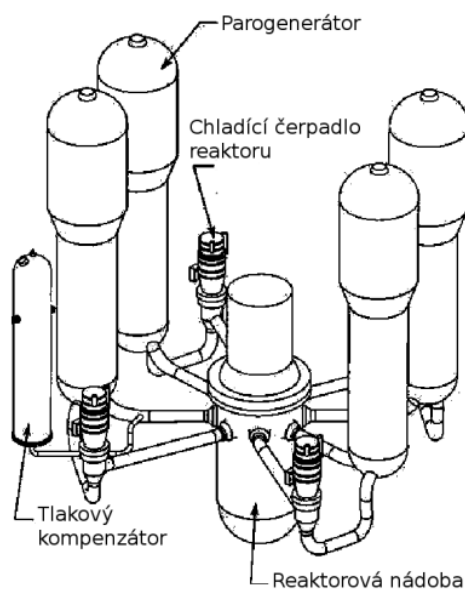
Primární okruh je celý z důvodu bezpečnosti umístěn v kontejnmentu jaderné elektrárny. Jedná se o vyztuženou budovu speciálně upravenou pro bezpečný provoz jaderného zařízení. Jaderný kontejnment zároveň slouží k minimalizaci škod v případě jaderné havárie.



Obr. 1-1 Kontejnment reaktoru [8]

Součástmi primárního okruhu jsou jaderný reaktor uložený v reaktorové nádobě, parogenerátory, hlavní cirkulační čerpadla, tlakové kompenzátory a potrubní armatury sloužící k propojení jednotlivých částí. Voda ohřátá v reaktoru putuje do parogenerátoru, kde chladne a předává teplo vodě v sekundárním okruhu. Ochlazená voda následně přes hlavní cirkulační čerpadla putuje zpět do reaktoru.

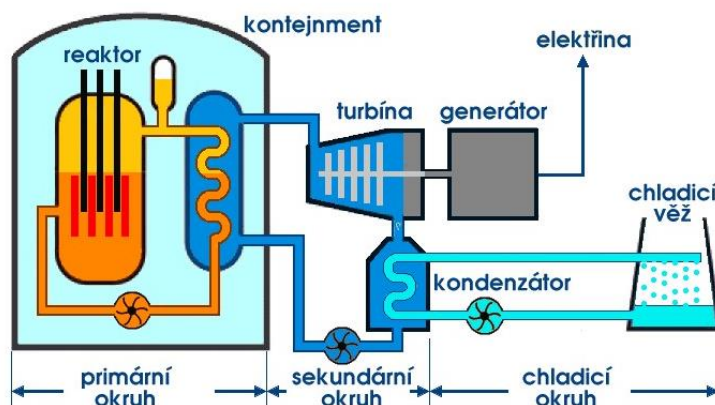
Po odstavení reaktoru je jeho tepelný výkon tak velký, že teplo musí být odváděno mimo reaktor a ten musí být stále chlazen. Z tohoto důvodu je celý systém z elektrického i mechanického pohledu několikrát zálohovaný a chráněný proti poruchám.[2]



Obr. 1-2 Primární okruh JE [8]

1.2 Sekundární okruh

Sekundární okruh je z principiálního hlediska podobný parnímu okruhu na uhelné elektrárně. Zdrojem tepla je parogenerátor, který slouží jako výměník tepla mezi primárním a sekundárním okruhem. Využitím sekundárního okruhu je omezen průtok kontaminované primární vody do dalších částí parního cyklu. [2]



Obr. 1-3 Primární, sekundární a chladicí okruh JE [19]

1.3 Chladicí okruh

Chladicí okruh slouží k odvádění tepla z kondenzátoru za parní turbínou. Ochlazení páry a její kondenzaci se vytváří za turbínou podtlak, který zvětšuje její účinnost. Ohřátá voda chladicího okruhu v kondenzátoru teče potrubím do chladících věží, kde je rozstříkována a chlazená proudem vzduchu. Část vody se ve věžích odpaří. Ochlazená voda je následně pomocí čerpadel čerpána zpět do kondenzátoru. [2]

1.4 Vyvedení elektrického výkonu

V předchozí kapitole byla stručně popsána přeměna tepelné energie vznikající v reaktoru na energii mechanickou. Na Obr. 1-3 můžeme jako poslední člen řetězce výroby elektrické energie vidět elektrický generátor. Elektrické schéma vyvedení výkonu je zobrazeno na Obr. 1-4. Základními prvky vyvedení elektrického výkonu jsou elektrický generátor, blokový transformátor, transformátory vlastní spotřeby a bloková linka spojující elektrárnu s rozvodnou. Bloková linka je provozována na napětí 400 kV a je propojena s přenosovou sítí ČR přes rozvodnu Kočín.

Elektrická zařízení a stroje v systému vyvedení výkonu značíme čísly a písmeny, které označují příslušnost zařízení k bloku, jeho unikátní kód a jeho pořadí na daném bloku. Můžeme uvést příklad generátoru na bloku 1, který značíme 1SP. Zařízení a funkční elementy související s tímto zařízením toto označení obsahují. Toto značení je používáno v celé práci a slouží pro lepší orientaci v zařízeních a funkcích elektrických ochran. Dále je uveden popis pro 1. hlavní výrobní blok (HVB).

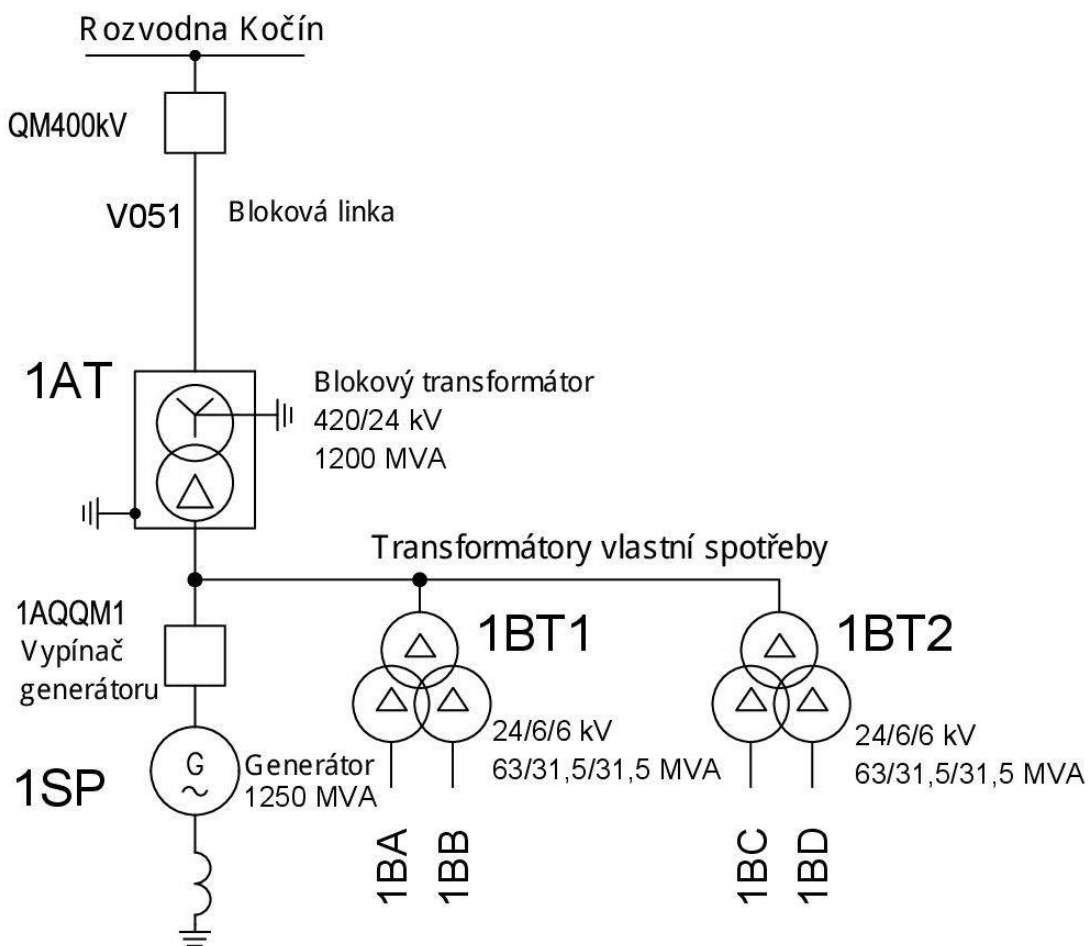
Blokový transformátor 1AT o výkonu 1200 MVA převádí napětí blokové linky na napětí generátoru 24 kV. Transformátor je složen ze tří jednofázových jednotek 3 x 400 MVA.

Na napětí 24 kV jsou provozována ostatní zařízení, která do systému vyvedení elektrického výkonu patří. Hlavním prvkem je turbogenerátor 1SP o výkonu 1250 MVA. Turbogenerátor (TG) je cize buzený synchronní elektrický generátor s hladkým rotorem o jmenovitých otáčkách 3000ot/min. TG je poháněn parní turbínou. Pro řízení a regulaci

budícího proudu slouží budící synchronní generátor 1SR. Budící generátor dodává a řídí střídavý proud, který je usměrňován a pomocí kroužků budí rotor synchronního generátoru 1SP. [14], [15]

Blok jaderné elektrárny využívá pro svůj chod poměrně velké množství elektrické energie. Velkou spotřebu mají jednak elektrické pohony pro čerpadlové systémy vodních okruhů, tak i provoz všech pomocných systémů a vnějších objektů. Z toho důvodu je na napěťové úrovni odbočka sloužící pro vlastní spotřebu. Každý blok má dva transformátory vlastní spotřeby 1BT1 a 1BT2 každý o výkonu 63 MVA. Tyto transformátory jsou trojvintuřové a transformují napětí 24 kV na 6 kV. Na tomto napětí jsou provozovány pohony s velkým výkonem. Napětí 6 kV je transformováno na hladinu 380 V. Odbočkové transformátory vlastní spotřeby tak spadají do celku elektrického vyvedení výkonu a jejich chránění je součástí oblasti s názvem elektrické ochrany bloku. [2]

Výše popsané stroje a prvky vyvedení výkonu jsou detailně popsány v Kapitola 3:. Přesná znalost jejich parametrů je důležitá pro bezchybné nastavení elektrických ochran.



Obr. 1-4 Elektrické schéma vyvedení výkonu

KAPITOLA 2: ELEKTRICKÉ OCHRANY

V předešlé kapitole byl velmi stručně popsán princip funkce jaderné elektrárny. Celé zařízení podléhá přísným provozním i kontrolním požadavkům včetně elektrické části vyvedení výkonu. Chránění elektrické části je hlavní téma této práce.

Elektrické ochrany jsou nedílnou součástí elektrické sítě. Zabezpečují její spolehlivý provoz v případech, kdy v části soustavy dojde k nežádoucím jevům, a to zejména k poruše. Elektrické ochrany na poruchy reagují a odstavují části sítě tak, aby zabránily šíření poruchy a minimalizovaly případné škody v místě poruchy. Elektrická ochrana je zařízení, které kontroluje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části elektrické sítě.

S elektrickými ochranami se můžeme setkat prakticky na každém místě, kde je využívána elektrická energie např. v našich domácnostech. Zde jde o použití jističů a chráničů a jedná se nejjednodušší formu ochrany. Stroje pro větší výkony a vyšší napěťové hladiny je nutné chránit dokonaleji a přesněji. Pro konkrétní specifikaci, jaké ochrany je nutno aplikovat, slouží norma ČSN 33 3051 - Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Pro návrh chránění v oblasti vyvedení výkonu bloku jsou v normě popsány požadavky na chránění blokových transformátorů, transformátorů odbočkových, turboalternátorů, budících alternátorů a vedení VN a ZVN. [6],[9]

2.1 Historie elektrických ochran

Nutnost chránění elektrických zařízení začala být potřebná během počátků provozování elektrických sítí v 80. letech 19. století. Hlavní funkcí bylo vypnout porušený obvod v případě zkratu pro minimalizaci škod. Pro chránění byla využívána tavná pojistka, později elektromagnetické proudové relé. S oběma přístroji se v mnoha aplikacích můžeme setkat i dnes.

Zmíněná proudová relé se začala používat v 90. letech 19. století. Elektromagnetické relé byla primární, což znamená, že byla připojena přímo na vysokém potenciálu napětí přívodu stroje, či přenosového prvku. Tato konstrukce byla však velmi náročná kvůli vysokým požadavkům na izolaci a tím vyvolaný veliký rozměr přístroje. Dalšími nevýhodami těchto přístrojů byly velké citlivosti a omezená nastavitelnost vypínacích parametrů. Tento pokrok byl významný, jelikož na rozdíl od tavných pojistek mají elektromechanická relé opakovatelnou funkci.[4]

Dalším vývojem prošly ochrany v roce 1901 objevem proudového diskového indukčního relé. Na tomto principu i dosud pracují starší typy elektroměrů. Tento typ relé dokázal pracovat s menšími hodnotami proudů a napětí, než byly jmenovité hodnoty v síti a na zařízení. Proto se s tímto přístrojem začaly používat měřicí transformátory, které měly za úkol snížit měřené veličiny pro potřeby ochran, které pak mohly být prostorově i materiálově méně náročné. Těchto principů se v měření a ochranách používá dodnes. Dalším posunem byla i nastavitelná doba vypínání. Z počátku disková relé umožňovala vypínání mžikové, později se začala vyrábět relé s časovým zpožděním.

Dosud se jednalo pouze o nadproudová relé reagující na zvýšený průtok proudu v případě zkratu. Po roce 1905 začala výroba diferenciálních proudových relé, a to nejprve na indukčním a později na elektromagnetickém principu. V počátku druhého desetiletí 20. století se začala objevovat směrová proudová relé a ke konci desetiletí distanční relé, která pracovala na indukčním principu. V roce 1924 počala výroba a užití relé srovnávacích.

Ve 20. letech začalo docházet ke tvorbě prvních systémů ochran. Některé firmy začaly relé sestavovat do stavebnicového systému, kde měřící články byly jednofázové a bez časového členu. Následně k nim byla připojena časová a vypínací relé. Ač ochrana nebyla tvořena jednou třífázovou ochranou s vypínáním a časováním, měla výhody ve využití stejných proudových článků pro nadproudové, diferenciální i distanční ochrany. [4]

Od let válečných až po 70. léta 20. století nedocházelo ve vývoji ochran k velkým změnám. Ač se vyráběné přístroje zdokonalovaly a zpřesňovaly, jejich elektromechanický princip zůstával stejný. V 70. letech začal rozvoj polovodičové techniky, který přinesl analogové statické ochrany. O tyto ochrany však nebyl zájem z důvodu použití nekvalitních součástí (odporů a kondenzátorů), kdy docházelo ke změnám charakteristik ochran během provozu, ač samotné ochrany byly konstruovány na vynikajícím principu.

V 80. létech začaly na trh přicházet mikroprocesorové ochrany, jejichž příchod na český trh byl kvůli komunistickému režimu opožděn a po roce 1989 se s nimi začaly projektovat ochrany zařízení. Mikroprocesorové neboli digitální ochrany se používají dodnes a můžeme se setkat s výrobcí, jako ABB, Siemens, SEL, Schneider, či Alstom. [5],[6]

2.2 Úvod do elektrických ochran

V předchozí kapitole byl nastíněn průběh vývoje elektrických ochran. Za toto necelé jedno a půl století došlo k významnému pokroku, ale i rozvětvení použití ochran do mnoha částí. Ať je to chránění velkých výkonových strojů v elektrárnách či provozovnách, nebo chránění rozvodných sítí ZVN, nebo chránění distribučních sítí VN a VVN, anebo základní ochrana rozvodů v budovách. Ve všech těchto i dalších oblastech se používají ochrany pro ně navržené a specifikované.

Elektrické ochrany jsou nedílnou součástí elektrické sítě. Zabezpečují její spolehlivý provoz v případech, kdy v části soustavy dojde k nežádoucím jevům zejména k poruše. Elektrické ochrany na poruchy reagují a odstavují části sítě tak, aby zabránily rozšíření poruchy a minimalizovaly případné škody v místě poruchy. Elektrická ochrana je zařízení, které kontroluje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému. Během vývoje došlo k rozšíření působností ochran, kdy zkrat už není jedinou poruchou, na kterou ochrana reaguje.

2.2.1 Typy poruch v elektrické soustavě

V této kapitole jsou popsány poruchy a stavy, které ohrožují bezpečnost provozu elektroenergetické sítě a elektrických zařízení a vůči kterým mají elektrické ochrany působit a předcházet jejich rozšířením.[4]

2.2.1.1 Zkraty

Zkratem se rozumí vodivé spojení mezi jednotlivými fázemi a mezi fázemi a zemí. Zkraty dělíme na souměrné a nesouměrné. Mezi souměrné zkraty řadíme trojfázový zkrat, kdy jsou vodivě spojeny všechny tři fáze. Nesouměrné zkraty jsou dvoufázový, dvoufázový zemní a jednofázový zkrat. K jednofázovému zkratu dochází v případě vodivého spojení fázového vodiče se zemí.

Během zkratu tečou postiženými vodiči zkratové proudy, které dosahují značně vyšších hodnot, než jsou hodnoty provozní. Díky těmto proudům dochází ke značnému tepelnému a silovému namáhání vodičů a elektrických zařízení. V síti dochází k poklesu napětí, který je závislý na elektrické vzdálenosti od zkratu.

Ke zkratu dochází většinou vlivem narušení izolace z důvodu mechanického poškození nebo únavě materiálu izolace. Zkrat lze způsobit též špatnou manipulací s prvky soustavy a stroji. [4], [6]

2.2.1.2 Zemní spojení

Zemním spojením se rozumí spojení jedné fáze se zemí v soustavě s izolovaným uzlem. Jedná se o síť IT. Uzel může být spojen se zemí přes zhášecí tlumivku nebo přes velkou impedanci zemnicí tlumivky. Zemní spojení zvyšuje riziko vzniku následného zkratu. Jde ovšem o poruchu, kdy soustava může být provozována s omezením.

2.2.1.3 Přepětí a podpětí

Přepětím se rozumí zvýšená hodnota napětí oproti dovolené provozní hodnotě. Přepětí může vzniknout úderem blesku do vedení či jeho blízkosti nebo provozními stavy prvků sítě. Tímto rozumíme napěťové spínací rázy v obvodech s indukčností, či kapacitou. Přepětí způsobuje zrychlení degradace izolace a tím zvýšení rizika vzniku zkratu. K přepětí může docházet při poruše napěťové regulace.

Podpětí je snížená hodnota napětí na zařízení, či v soustavě oproti provozním hodnotám. Dochází k nim při poruchách, chybné regulaci napětí, nebo při zvýšeném odběru v síti. Ochrana při provozu v podpětí odstaví stroj, jelikož je nebezpečné ho v tomto režimu provozovat. [4], [6]

2.2.1.4 Přetížení

Přetížení je zatížení vodičů, spotřebičů, zdrojů a prvků sítě proudem vyšším, než jsou povolené provozní hodnoty. Dochází tak k vyšším tokům energie, než jsou jmenovité hodnoty zařízení. Důsledkem přetížení je zvýšené tepelné namáhání, a to v případě, že přetížení trvá delší čas. Vlivem tepelného namáhání dochází k rychlejší degradaci izolací a materiálů. [4], [6]

2.2.1.5 Zpětný tok výkonu

Zpětným token výkonu na generátoru se rozumí stav, kdy soustrojí turbíny a alternátoru je poháněno energií z elektrické sítě. Stane se tak v případě poklesu výkonu turbíny, kdy její výkon nestačí pokrývat mechanické ztráty soustrojí a alternátor přejde do motorického režimu.

K těmto jevům může dojít i pokud je alternátor pozdě odpojen od sítě, nebo vlivem chyby poklesne budící proud rotoru alternátoru. [4], [6]

2.2.1.6 Ztráta buzení a podbuzení

Synchronní elektrické stroje disponují budící soupravou, která řídí budící proud v rotoru stroje. Pomocí budícího proudu se řídí v závislosti na výkonu poloha pracovního bodu v PQ diagramu stroje. Každý stroj má v PQ diagramu vymezenou pracovní oblast, ve které budící souprava stroj udržuje. Pokud dojde k selhání hlídače meze podbuzení (HMP), a pracovní bod se posune do oblasti za HMP, jedná se o podbuzení nebo ztrátu buzení. Při podbuzení dochází k oteplování železných plátů statoru stroje, především jeho čel a stroj není vhodné v tomto režimu provozovat delší dobu.

Ztráta buzení znamená úplný výpadek zdroje budícího proudu a stroj přechází do asynchronního režimu. Některé synchronní stroje v asynchronním režimu mohou pracovat. Pokud tento režim není povolen, je třeba stroj okamžitě vypnout.

2.2.1.7 Vysoká a nízká frekvence sítě

Výkyvy frekvence oproti normální hodnotě 50 Hz jsou především způsobeny výkonovou nerovnováhou v soustavě. Výkyvy frekvence jsou běžnou součástí provozu elektrické sítě. Při malém výkyvu regulují frekvenci automaticky systémy řízení elektráren.

V případě velkých změn v dodávkách a odběrech činného výkonu v elektrizační soustavě, kdy automatická regulace nemá dostatečné regulační schopnosti, dochází k velkým změnám ve frekvenci. Tyto poruchy v případě nízké frekvence způsobují zvýšení magnetizačních proudů a oteplování stroje a v případě vysoké frekvence nadměrné namáhání rotujícího soustrojí. [4] Dále jde o výpadek ze synchronních otáček, či kývání alternátoru vlivem okamžité změny činného, či jalového výkonu.

2.2.2 Dělení elektrických ochran

Díky dlouhému vývoji i značnému rozšíření elektrické sítě se elektrické ochrany vyskytují v mnoha aplikacích a plní různé úlohy. Z těchto důvodů můžeme elektrické ochrany rozdělit do několika skupin dle příslušných kritérií. V této kapitole jsou zmíněny kritéria dělení, která jsou nejpoužívanější. [4] - [6]

2.2.2.1 Podle typu zařízení

Každé zařízení je nutné chránit přesně definovanými ochranami. Jaké typy ochran má projektant použít specifikují provozní požadavky a norma ČSN, která klade minimální požadavky na chránění. Lze však navrhnout pro dané zařízení i větší počet ochran. Ochrany podle typu chráněného zařízení můžeme tak rozdělit na ochrany: [4]

- Generátoru
- Transformátoru
- Vedení
- Odporníku
- Kondenzátoru
- Přípojnic

- Motoru
- Kabelu

2.2.2.2 Podle principu činnosti

Ochrany lze dělit podle veličiny, kterou hlídají a na základě které se rozhodují o přítomnosti poruchy v systému. Funkce těchto ochranných jsou rozebrány v kapitole 2.3. Dle tohoto kritéria dělíme ochrany na: [4]

- Proudové
- Napěťové
- Distanční
- Rozdílové
- Srovnávací
- Wattové
- Jalové
- Frekvenční
- Nesymetrie

2.2.2.3 Podle druhu poruchy

Ochrany lze dále dělit podle typu poruchy, na kterou ochrany reagují. Elektrické poruchy jsou popsány v kapitole 2.2.1. Jedná se o typy: [4]

- Zkratové
- Při přetížení
- Podpěťové
- Nadpěťové
- Při zemním spojení
- Při zpětném výkonu
- Při ztrátě buzení
- Při nesymetrii
- Nadfrekvenční
- Podfrekvenční

2.2.2.4 Podle doby působení

Doba působení ochrany je čas od doby, kdy ochrana zjistí poruchu, do doby vydání signálu k vypnutí chráněného zařízení nebo signalizaci poruchy. V případě méně závažných poruch je možné volit delší časové zpoždění ochranných funkcí. Obsluhy jsou obvykle signalizovány popudy ochranných funkcí, aniž by došlo k odstavení nebo vypnutí zařízení. Dále se poruchy zpožďují z důvodu zajištění časové selektivity ochranných, která je popsána v kapitole 4.1.3.

Typy časových zpoždění jsou následující:

- Časově závislá ochrana: Od nastavené hodnoty poruchového proudu ochrana vypíná se zpožděním. S rostoucí naměřenou hodnotou se zkracuje doba vypnutí.
- Časově polozávislá ochrana: Doba vypnutí se snižuje stejně jako u časově závislé ochrany. Ochrana má nastavenou hodnotu poruchové veličiny, od které se doba vypnutí již nesnižuje.
- Nezávislá ochrana: Při naměření poruchové veličiny vypíná v nastaveném čase bez ohledu na velikost poruchové veličiny
- Mžiková ochrana: Jde o nezávislou ochranu, která vypíná bez zpoždění.

2.2.2.5 Další kritéria

Ochrany dále můžeme dělit dle konstrukce (elektromechanické, digitální), nebo dle připojení (primární, sekundární) nebo podle funkce (hlavní, záložní). Je možné najít mnohem více způsobů dělení, avšak ty nejdůležitější byly již zmíněny.

2.3 Funkce elektrických ochran

V kapitolách 2.2.2.2 a 2.2.2.3 bylo zmíněno dělení elektrických ochran podle principu činnosti a podle poruchy, na kterou reagují. Tato kapitola má za úkol vysvětlit funkční principy především složitějších ochranných funkcí, které poruchu vyhodnocují z více naměřených veličin a následně s nimi pracují.

Proudové a napěťové ochrany pouze hlídají měřenou veličinu, zda se nedostala nad, nebo pod zvolenou povolenou mez. Pokud tuto mez měřená veličina překročí, ochrana reaguje.

2.3.1 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana měří proudy tekoucí z a do chráněné oblasti. Na základě Kirchhoffova zákona součet proudů tekoucích z a do chráněného zařízení se v bezporuchovém stavu rovná nule. Rozdílová ochrana vyhodnocuje proudy tekoucí do chráněné oblasti a v případě nerovnováhy těchto proudů působí. PTP pro tuto ochranu jsou většinou umístěna na vývodech z chráněného zařízení, nebo v jejich blízkosti. Rozdílová ochrana může být dvoubodová (např. generátor) nebo tří i více bodová v případě transformátorů nebo rozveden. [6]

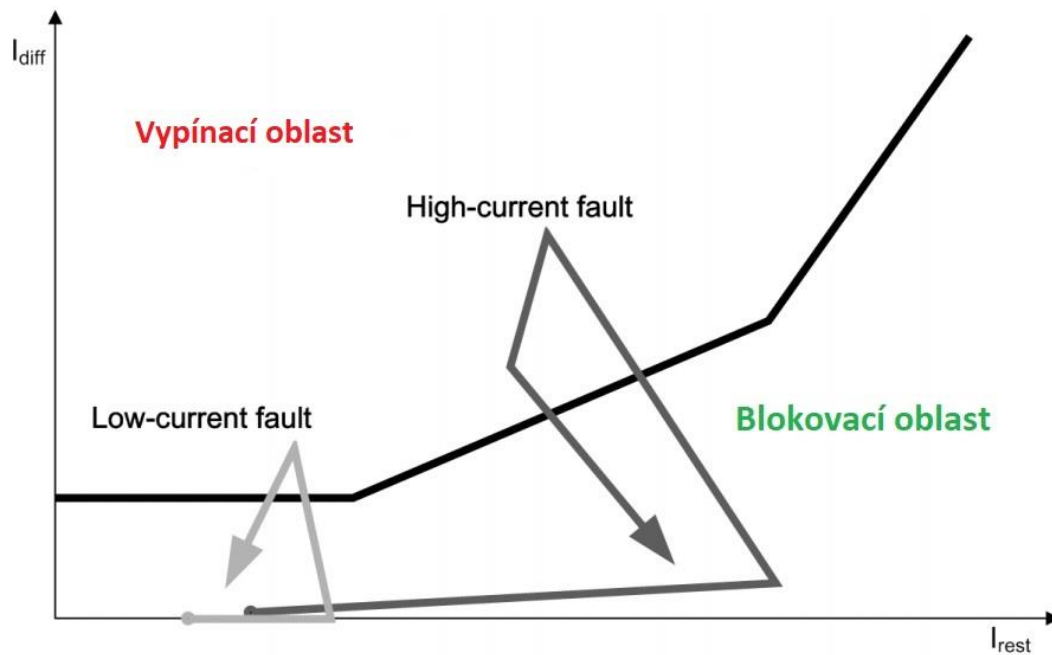
Ochrana je používána k identifikaci zkratu v chráněné zóně této ochrany. Zóna je ohraničená PTP, ke kterým je ochrana připojena. Z naměřených proudů počítá dvě hodnoty: diferenciální proud (I_{dif}) a blokovací (restraint) proud (I_{rest}). Následující rovnice představují výpočet těchto proudů pro dvojbodovou ochranu. Pokud je ochrana vícebodová, proudových členů je v nich analogicky více. Diferenciální proud se vypočítá

$$I_{\text{dif}} = |\bar{I}_1 + \bar{I}_2|, \quad (2-1)$$

kde proudy I_1 a I_2 jsou fázory proudů naměřené na PTP ohraničující chráněnou oblast. Blokovací proud se vypočítá ze vztahu

$$I_{\text{rest}} = |\bar{I}_1| + |\bar{I}_2|, \quad (2-2)$$

kde proudy I_1 a I_2 jsou fázory proudů naměřené na PTP ohraničující chráněnou oblast. Obr. 2-1 zobrazuje charakteristiku rozdílové ochrany. Křivka dělí oblast do dvou zón, a to blokovací a vypínací. Pokud se pracovní bod nachází v blokovací oblasti, ochranná funkce nevypíná. Pokud pracovní bod překročí křivku do vypínací oblasti, ochrana působí na vypnutí zkratu. Na obrázku jsou zobrazeny dva průběhy poruchových proudů. Po překročení křivky je vidět zásah ochrany a vypnutí zařízení. Následuje pokles proudu do blokovací oblasti. [7]



Obr. 2-1 Charakteristika rozdílové ochrany [10] (Upraveno)

2.3.2 Impedanční ochrana

Impedanční ochrana slouží k detekci zkratů v chráněné oblasti. Ochrana měří proud a napětí v soustavě a na základě těchto hodnot vypočítává impedanci soustavy dle rovnice (2-3)

$$\bar{Z} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}, \quad (2-3)$$

kde Z je fázor vypočítané impedance,

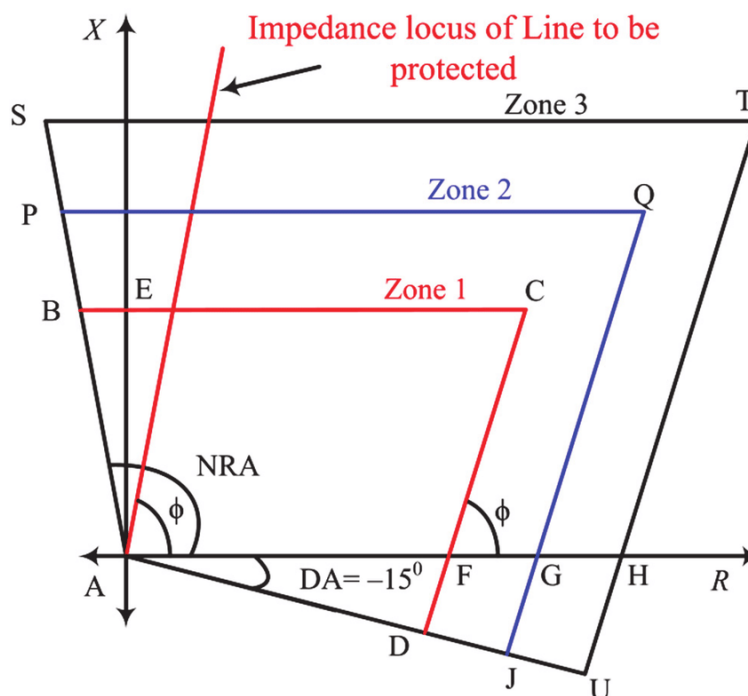
U je fázor napětí v soustavě a

I je fázor měřeného proudu.

Impedance soustavy je v bezporuchovém stavu vysoká. V případě zkratu impedance prudce klesne, jelikož v místě poruchy došlo k vodivému spojení. Zkrat se vyznačuje zvýšením proudu na proud zkratový a pokud je zkrat blízký, lze v místě měření pozorovat pokles napětí. Pokud tyto změny elektrických veličin vložíme do rovnice (2-3), dojdeme k poklesu hodnoty impedance.

Impedanční ochrana se nastavuje pomocí charakteristiky zobrazenou v RX diagramu. Jelikož u zařízení na vyvedení výkonu elektrárny a na blokové lince převažují jejich reaktance nad rezistancema, je využito charakteristiky s hodnotami rezistance (R) na vodorovné ose a reaktance (X) na ose svislé. Do této charakteristiky jsou na základě výpočtů umístěny zóny. Pokud se do některé ze zón dostane hodnota impedance, ochrana vyhodnotí zkrat v této zóně a příslušně reaguje.

Zóny v RX diagramu mohou být vytvořeny mnoha možnostmi. Ochrany umožňují vytvoření zón pomocí kružnic, či víceúhelníků, což je zobrazeno na Obr. 2-2. [4]



Obr. 2-2 RX charakteristika impedanční ochrany [11]

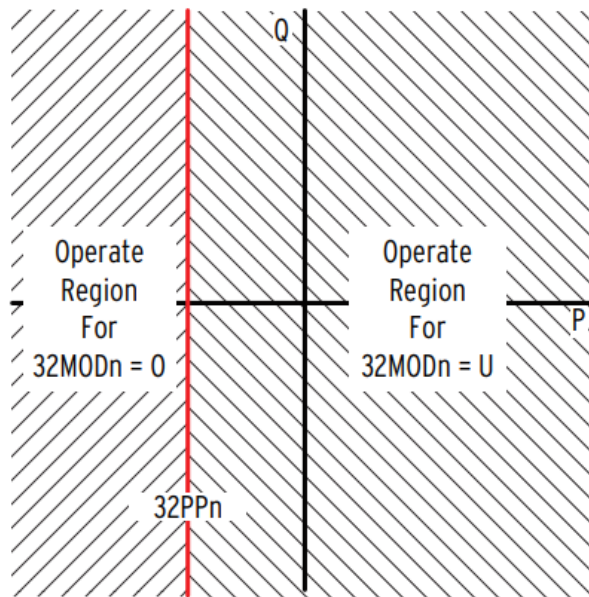
2.3.3 Výkonové ochrany

Výkonové ochrany měří proud a napětí chráněného zařízení. Z těchto veličin počítají fázor výkonu dle rovnice

$$\bar{S} = \bar{U} \cdot \bar{I}^*, \quad (2-4)$$

kde vektor U je napětí a
vektor I je proud zařízení.

Ochrana tento vektor výkonu porovnává s nastavenou hodnotou. Jedním z příkladů jsou wattové ochrany. Ochrana hlídá, zda činný výkon chráněného stroje nepřekročí nastavenou hranici. Příklad zpětné wattové ochrany, která vyhodnocuje zpětný činný výkon, je na Obr. 2-3. Stejným způsobem mohou ochrany hlídat mez jalového výkonu.



Obr. 2-3 Zpětná wattová ochrana [12]

Dalším typem výkonové ochrany mohou být ochrany buzení synchronního stroje. Zde se charakteristika nastavuje také v PQ diagramu, ale tvar křivky může být složitější. Při podbuzení, nebo dokonce ztrátě buzení dochází k odběru jalového výkonu a tyto ochrany na velikost odebíraného jalového a činného výkonu reagují. [7]

2.4 Prvky elektrických ochran

Princip zpracování signálu a následné reakce ochrany lze rozfázovat do několika částí. Celý proces vychází z historického vývoje ochran, kdy zdokonalováním techniky docházelo k přidávání dalších členů. Nyní se všechny procesy odehrávají v digitálním prostředí. Nicméně z hlediska projektování a návrhu ochran se stále vychází z tohoto členění a proces návrhu systému chránění to usnadní a především zpřehledňuje.

2.4.1 Vstupní člen

Úloha vstupního členu je zpracovat vstupní analogový signál na zpracovatelný tvar a úroveň. Vstupní analogové hodnoty v našem případě dosahují hodnot 1 A, nebo 5 A v případě měření proudu a 100 V v případě měření napětí. Jelikož se nejedná o jmenovité hodnoty, které je potřeba měřit, jsou měřené hodnoty snižovány pomocí přístrojových transformátorů proudů a napětí, ze kterých se signál přenáší do ochran. Vstupní člen tyto hodnoty snižuje na hodnoty voltů (milivoltů) a miliampérů a zároveň galvanicky odděluje vnitřní obvody od vnějších. Dalším snížením vstupních hodnot se dosahuje menší prostorové náročnosti ochran díky nižším nárokům na izolaci. [6]

V případě digitálních ochran je následně signál pomocí A/D převodníků navzorkován a zdigitalizován.

2.4.2 Popudový (rozběhový) člen

Popudový člen je nejvíce citlivý na měřenou hodnotu. Pokud dojde k poruše, dává signál měřicímu členu a logice ochrany a spustí tím reakci ochrany. O tom, zda ochrana zapůsobí na případnou poruchu, rozhodují až další členy. Působení poruchového členu může být signalizováno obsluze a jde o uvedení ochrany do „pohotovosti“. [6]

2.4.3 Měřící člen

Měřící člen rozhoduje, zda na chráněném objektu došlo k poruše. Stanovuje prostor, kde se měřené veličiny mohou pohybovat a na základě jejich aktuální hodnoty rozhoduje o poruše.

- Měřící členy můžeme rozdělit do 6 kategorií:
- Střídavý amplitudový člen
 - na střední hodnotu, na efektivní hodnotu
- Stejnoseměrný člen: měří střední hodnotu stejnosměrného průběhu
- Amplitudový měřící člen na maximální hodnotu: hledá maximální hodnotu měřeného průběhu
- Závislý měřící člen: měří závislost velikosti poruchové veličiny na době trvání poruchy
- Rozdílový měřící člen: porovnává amplitudu dvou vstupních členů a dále ji zpracovává
- Amplitudový komparátor: Jde o citlivou variantu rozdílového členu, kdy rozdíl amplitud se blíží k nule a komparátor je schopen identifikovat menší rozdíly.
- Součinný měřící člen: počítá součin vstupních veličin a dále jej zpracovává. Jeho využití je především pro výpočet výkonů ve wattových a jalových ochranách.
- Fázový komparátor: jde o součinný měřící člen s vyšší citlivostí. [4]

2.4.4 Logika

Logika ochrany již nepracuje se vstupním signálem do ochrany, ale pracuje s výstupy z popudových a měřících členů. Signál o poruše následně distribuuje do dalších prvků ochrany. Následně kombinuje další signály z ostatních ochran tak, aby při působení ochrany došlo k vypnutí požadovaných akčních členů a dodržení selektivity ochran.

Akčními členy se rozumí nástroje k přechodu na jiný režim chodu elektrárny a odstavení chráněného zařízení. Mezi ně se řadí vypínače, odbuzovače, rychlozávěrné ventily a další bezpečnostní prvky elektrárny. Každá ochrana má při zjištění poruchy přesně definované akční členy, pomocí kterých má zařízení se zjištěnou poruchou odstavit a elektrárnu převést do jiného režimu. Tyto návaznosti jsou graficky zobrazeny v tak zvané vypínací tabulce.

Logické operace probíhají pomocí Booleovy algebry. Strukturu lze tak vyjádřit pomocí operátorů AND, OR, negace a jejich kombinací. Dříve se tyto operace prováděly pomocí součtových relé, diod, tranzistorů, jazýčkových relé, či integrovaných obvodů. Aktuální digitální

ochrany vše provádějí pomocí softwaru, a lze je tak jednodušeji a přesněji programovat a nakombinovat.

2.4.5 Koncový člen

Úlohou koncového členu je zajistit, aby výstup z logiky správně a bezchybně zapůsobil na požadované akční členy a zároveň zajistil vznik signalizačních impulzů pro dozorující personál. V našem případě je toto realizováno pomocí výstupních relé. Ochrana při působení sepne požadované kontakty, které zajistí vznik signálu. Tímto impulzem je napájena budící cívka výkonového relé, z jehož výstupních svorek je impulz přenášen na akční člen. Další kontakty zabezpečují signalizaci spuštění akčního členu a působení ochrany. Dále může elektrická ochrana pomocí koncového členu signalizovat své provozní stavy.

2.4.6 Časový člen

Působení jednotlivých ochran je individuálně zpožděno. Zpoždění se nastavuje především z důvodu zajištění selektivity. Jednotlivé ochrany se zálohují navzájem, tudíž záložní ochrany čekají, zda vybaví primární ochrana a poté případně zasáhne ochrana záložní. Pokud zasáhnou ochrany záložní, může dojít zbytečně k odstavení větší části sítě, než by bylo nutné. Dalším důvodem zpoždění je vyloučení poruchy krátkého trvání.

V případě digitálních ochran je zpoždění nastavováno softwarově.

2.4.7 Napájecí člen

Napájecí člen slouží k napájení samotných ochran a k napájení vnějších logických obvodů. Vnější logické obvody jsou napájeny obvykle stejnosměrným napětím 220 V DC. Některých typy ochrany jsou napájeny napětím 230 V AC. [4], [6]

2.5 Přístrojové transformátory

V kapitole 2.2.2.5 je mimo jiné zmíněno, že elektrické ochrany můžeme dělit na primární a sekundární. Primárním zapojením ochrany se rozumí, že ochrana je zapojena přímo do obvodu chráněného zařízení, nebo úseku. To ale přináší na konstrukci ochrany velké nároky v podobě požadavku odolat provozním a poruchovým proudům a napětím. Především pro chránění VVN a ZVN systémů rostou požadavky na elektrickou izolaci.

Z těchto důvodů se elektrické ochrany na vyšších napětích a výkonech připojují na přístrojové transformátory proudu (PTP) a přístrojové transformátory napětí (PTN). Tyto přístroje musí transformovat signály proudu a napětí s malou chybovostí a bez zkreslení. Z těchto důvodů jsou na ně kladeny následující požadavky.

2.5.1 Přístrojové transformátory proudu

PTP snižují proud v měřeném obvodu na proud bezpečný pro monitorování pomocí ochran. V navrhovaném schématu pro elektrické ochrany bloku VVER 1000 se můžeme setkat s nejčastějším převodem 27 000/5 A. Převod transformátoru je dán poměrem primárního a

sekundárního vinutí. Primární vinutí je spojeno sériově s obvodem, jehož proud měří, což znamená, že jím tečou jmenovité hodnoty proudů obvodu.

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1, \text{ kde} \quad (2-5)$$

I_1 je proud v primárním (měřeném) obvodu,

I_2 je proud v sekundárním obvodu,

N_1 je počet závitů v primárním okruhu a

N_2 je počet závitů v sekundárním okruhu.

Z rovnice můžeme vyvodit, že aby se poměr I_1/I_2 rovnal 27 000/5, musí být poměr počtu závitů N_1/N_2 5/27000. PTP se často konstruuje s jedním závitěm v primárním okruhu. Samotná konstrukce pak vypadá tak, že vodič, na kterém se proud měří, je obepnut magnetickým jádrem, na kterém je ovinut příslušný počet závitů odpovídající převodu. V našem případě jde o 5400 závitů. Sekundární proud následně teče do ochrany. Pokud je PTP nepoužívaný, je nutné jeho sekundární svorky zkratovat, jelikož se chová jako zdroj proudu. Při svorkách rozepnutých na prázdno by došlo k velkému přepětí na sekundární straně PTP a k jeho poškození.

Jak již bylo v úvodní kapitole řečeno na PTP se kladou přísné požadavky. PTP jsou charakterizovány těmito údaji: převodem již výše zmíněným, třídou přesnosti (5P, 10P), jmenovitou zátěží a nadproudovým číslem. Požadavky na PTP jsou kladeny:

- normami ČSN 33 3051, ČSN_EN_60 044
- požadavky stanovují výrobci ochrany.

Projektant následně musí zkontrolovat, zda použité PTP vyhovují všem požadavkům. Zároveň je kontrolováno samotné spojení transformátoru s ochranou a ochrana samotná.

Kontrola spolupráce PTP s ochranou zahrnuje následující oblasti kontroly PTP:

- Přesnost převodu a úhlu
- Kontrola přesycení
- Odolnost části ochrany proti tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů

2.5.1.1 Přesnost převodu a úhlu PTP

Primární vinutí je sériově spojeno s měřeným obvodem a tečou jím tak vynucené primární proudy, které nezávisí na zátěži PTP. Sekundární proudy jsou dané přesností PTP a mírou přesycení magnetického jádra PTP. V reálném modelu PTP je rovnice (2-5) idealizovaná, jelikož vzniká i budící proud I_e a tuto rovnici tak můžeme upravit

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1 - I_e . \quad (2-6)$$

Dle požadavků ČSN-EN 60 044 jsou pro PTP stanoveny výrobcem chyby převodu a chyby fáze. To znamená, že nám zde nevzniká zkreslení převodu amplitudy proudu, ale i zkreslení (posunu) úhlu. [6]

KAPITOLA 3: POPIS CHRÁNĚNÝCH ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ

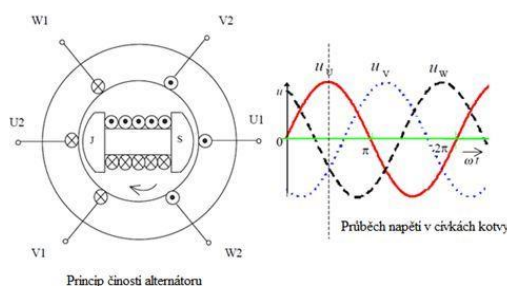
Tato kapitola volně navazuje na kapitolu 1.4. V této kapitole budou popsána chráněná zařízení vyvedení elektrického výkonu bloku VVER 1000. Mezi chráněná zařízení vyvedení výkonu řadíme turbogenerátor, budicí systém turbogenerátoru, blokový transformátor, odbočkové transformátory vlastní spotřeby, zapouzdřené vodiče VN a blokovou linku 400 kV.

3.1 Turbogenerátoru 1SP

Jaderný blok VVER 1000 obsahuje jeden turbogenerátor, který společně s pomocnými systémy vyrábí elektrickou energii, která je dodávána do přenosové soustavy 400 kV. Zároveň část vyrobené energie je použita v elektrárně v rámci vlastní spotřeby. Turbogenerátor je umístěn v rámu zakotveném do odpružené základové desky s parní turbínou. Jeho rotor je spojen hřídelí s rotorem parní turbíny. Celé elektrické soustrojí, tedy turbogenerátor a jeho budicí generátor, jsou umístěny v protihlukovém krytu, který je odvětráván.[14]

3.1.1 Funkční princip stroje

Turbogenerátor je synchronní generátor (alternátor) s tzv. hladkým rotorem, jehož úlohou je převést mechanickou energii na energii elektrickou. Stator generátoru je třípólový. Rotor je napájen stejnosměrným proudem z budiče generátoru, který vytváří dvoupólové magnetické pole. Při roztočení stroje je vytvořeno točivé magnetické pole, jehož vlivem se ve vodičích statoru indukují střídavé napětí a proud. Turbogenerátory jsou provozovány při otáčkách 3000 ot./min., čemuž odpovídá síťová frekvence 50 Hz.



Obr. 3-1 Princí činnosti alternátoru [13]

Zatěžování turboalternátoru činným výkonem řídíme pomocí regulátoru parní turbíny. Činný výkon může turbogenerátor do sítě pouze dodávat. Pokud výkon turbíny poklesne a turbogenerátor začne přecházet do motorického režimu, od soustavy je odpojen zpětnou wattovou ochranou. Dodávání elektrického výkonu do sítě se ve stroji projeví posunutím osy magnetického pole rotoru před osu magnetického pole statoru o zátěžný úhel. Pomocí všech zmíněných regulačních prostředků je nutné hlídat zátěžný úhel v mezích stability stroje. Pokud stroj přesáhne mez statické stability, dojde k prokluzu pólů. Výrobce je dovolen jeden prokluz pólů. Při druhém prokluzu je stroj odstaven ochranou při prokluzu pólů.

Jalový výkon může generátor dodávat i odebírat a řídíme jej pomocí regulátoru buzení. Síťový operátor určuje množství jalového výkonu, které má elektrárna vyrábět či odebírat. Při těchto regulacích je nutné udržet mez stability stroje. Meze stability stroje jsou zobrazeny v grafu v Příloha E:.

Při spuštění a připojování generátoru k síti dochází k fázování stroje. Generátor je obvykle fázován generátorovým vypínačem na hladině 24 kV. Aby mohl být stroj připojen k síti, je nutné splnit několik podmínek. Pokud by následující podmínky splněny nebyly, došlo by při připnutí k proudovým nárazům a hrozilo by, že se stroj do synchronních otáček nedostane. První podmínkou je stejný sled fází, kdy se svorky generátoru a sítě se musí točit ve stejném smyslu a pořadí. Další podmínkou je stejná frekvence stroje a sítě. V tomto případě to znamená, že generátor můžeme připojit k síti pouze při jmenovitých otáčkách 3000 ot/min. Následující podmínkou je stejná velikost napětí. Jak je v této kapitole popsáno, točivé magnetické pole rotoru indukuje napětí ve statorových vodičích, tudíž velikost napětí řídíme regulací budícího proudu. Poslední podmínkou je stejná fáze při sepnutí. Pro splnění této podmínky je nutné regulací otáček stroje docílit nulového fázového posunu fází stroje a sítě. Zjednodušeně to znamená, že rozdíl potenciálů v síti a na stroji bude nulový. Fázování generátoru zajišťuje automatický fázovač, který vydává povely na regulaci buzení. [13], [14]

3.1.2 Technické parametry stroje

Pro možnost řídit zatěžování stroje dle potřeby je nutné stroj řízeně chladit. Oteplování stroje je především zapříčiněno joulovými ztrátami protékajícím proudem v rotoru a statoru. Zároveň dochází k oteplení magnetických obvodů ztrátami v železe. Chlazení železa statoru, rotoru a vinutí rotoru je primárně zajištěno vysokotlakým plynným vodíkem. Pomocí regulace tlaku vodíku od 200 kPa do 600 kPa se mění intenzita chlazení. Vodík je následně ochlazován statorovou vodou.

Okruh statorové vody slouží k primárnímu chlazení statorového, tedy fázového vinutí a průchodek. Také odvádí tepelný výkon od vodíkového okruhu. Průtok statorové vody se mění v závislosti na režimu vodíkového okruhu. Rychlost proudění je navržena tak, aby vzniklý tlakový spád ve vinutí odpovídal požadavku na přetlak vodíku oproti vodě. V případě malé netěsnosti se vodík dostane do vodního okruhu, kde je monitorován. Průtok vody se pohybuje v rozmezí od 65 m³/h do 160 m³/h.

Statorové vinutí je zapojeno do hvězdy. Fázové vývody proudu jsou na spodku víka a pomocí zapouzdřených vodičů je výkon vyveden k vypínači generátoru a následně k transformátorům. Nulové svorky se nacházejí na vrchu víka a pomocí zapouzdřených vodičů je proud přiveden do nulového uzlu, který není uzemněn, ale je izolován od země vysokou impedancí. Z tohoto důvodu počítáme s uzlem izolovaným.

Zdánlivý výkon stroje je 1250 MVA, při jmenovitém účinníku 0,9 je jmenovitý činný výkon 1125 MW. Při jmenovitém napětí 24 kV a jmenovitém výkonu teče strojem jmenovitý statorový proud 30 070 A.

Maximální induktivní výkon stroje při jmenovitém napětí a $\cos \varphi = 0$ činí 780 MVar a při stejných podmínkách maximální kapacitní výkon stroje činí 350 MVar. Proud buzení stroje se pohybuje v závislosti na výkonu stroje od 2010 A při chodu na prázdko do 7416 A při jmenovitém zatížení. [14]

Tab. 3-1 Parametry turboalternátoru 1250 MVA [14]

Turboalternátor 1250 MVA			
Spojení vinutí statoru		Y	
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_n	1250	MVA
Jmenovitý činný výkon	P_n	1125	MW
Jmenovité statorové napětí	U_{sn}	24	kV
Jmenovitý statorový proud	I_{gn}	30070	A
Jmenovitý účinník	$\cos\varphi$	0,9	[-]
Jmenovitá frekvence	f_n	50	Hz
Jmenovité otáčky	n_n	3000	ot/min
jmenovité budící napětí stroje	U_{bn}	532	V
jmenovitý budící proud stroje	I_{bn}	7416	A
Podélná synchronní sycená reaktance	x_d	2,77	p.j.
Příčná synchronní sycená reaktance	x_q	2,71	p.j.
Přechodná sycená podélná reaktance	x_d'	0,385	p.j.
Rázová sycená podélná reaktance	x_d''	0,314	p.j.
Zpětná sycená reaktance	x_2	0,309	p.j.
Netočivá reaktance	x_0	0,199	p.j.

3.1.3 Vinutí statoru a rotoru

Statorové vinutí je složeno z měděných tyčí, kde tyče jsou složeny z měděných plných a dutých vodičů. Tyče jsou uloženy v drážkách magnetického obvodu železa a jsou zaklínované. Na koncích jedné fáze jsou spojeny spojkami, tím je vytvořen koš vinutí. Konce vinutí jsou následně vyvedeny na svorky stroje. Tyčemi vinutí protéká chladicí voda.

Rotorové vinutí je tvořeno z dutých měděných vodičů uložených v zaklínovaných drážkách. Vodiče jsou protékány chladicím vodíkem. Budící proud dodává budící systém turbogenerátoru přes sběrací kroužky. [14]

3.2 Budící systém turbogenerátoru

Budící systém slouží k napájení rotoru turbogenerátoru stejnosměrným budícím proudem. Umožňuje plynulou regulaci budícího proudu, díky které je možné regulovat napětí a jalový výkon generátoru. Zároveň regulace slouží pro správné najíždění, provoz a odstavování stroje.

Budicí systém je složen ze dvou hlavních částí: budicího generátoru a rozvaděčů budicí soupravy. Budicí soupravu napájí budicí generátor a nadále je napájena ze sítě vlastního napájení 380 V. Tento koncept má výhody pro nezávislý provoz budicí soupravy na turbogenerátoru, nebo na síti, do které pracuje. [14]

3.2.1 Rozvaděč řídicí a regulační části

Hlavním prvkem regulační části je řízený výkonový tyristorový měnič. Diagnostiku a regulaci budicí soupravy provádí mikropočítačový systém PRIMIS. Systém je vybaven funkcemi automatickým srovnávačem napětí turbogenerátoru a sítě, omezovačem proudu rotoru, omezovačem proudu statoru, hlídačem meze pobuzení, výkonovým stabilizátorem, omezovačem U/f a čidlem zátěžného úhlu.

V režimu regulace napětí pracuje budič v případě nepřifázovaného turbogenerátoru k síti. K tomuto stavu dochází při rozběhu soustrojí turbíny a turbogenerátoru a následnému fázování a také při režimu výroby elektrárny na vlastní spotřebu. V případě fázování turbogenerátoru je systém vybaven srovnávačem napětí na svorkách TG a sítě. Budič tak upraví napětí TG pro splnění podmínek fázování. Po nafázování je funkce srovnávání napětí vypnuta a buzení je regulováno dle činného výkonu TG a požadovaného jalového výkonu. [14]

3.2.2 Budicí generátor

Budicí generátor slouží k výrobě energie potřebné k buzení turbogenerátoru. Jde o dvoupólový třífázový synchronní generátor o výkonu 7700 kVA a jmenovitým činným výkonu 4370 kW. Jmenovitý účinník činí 0,57, jelikož stroj napájí rozvaděče buzení, které sestávají z řízených polovodičových součástí. Jmenovitý proud statoru činí 6440 A a jmenovité napětí 690 V. Jmenovité otáčky činí 3000 ot/min, což umožňuje stroj pohánět parní turbínou. Stroj je chlazený vzduchem.

Buzení budicího generátoru je zajištěno pomocí dvou identických systémů, které jsou napájené ze sítě 380 V 50 Hz. Regulace budicího proudu se při nájězdu soustrojí provádí pomocí diodových můstků a transformátorů, následně se během pvozu reguluje budicí proud generátoru pomocí transformátorů a tyristorových můstků. Regulací buzení se udržuje jmenovité napětí budicího generátoru. [14]

Tab. 3-2 Parametry budicího alternátoru [14]

Budicí alternátor			
Spojení vinutí statoru		D	
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_n	7,8	MVA
Jmenovité statorové napětí sdružené	U_{sn}	0,69	kV
Jmenovitý statorový proud	I_{gn}	6440	A
Jmenovitý účinník	$\cos\varphi$	0,56	[-]
Jmenovitá frekvence	f_n	50	Hz

3.3 Blokový transformátor

Blokový transformátor transformuje napětí 24 kV ze zapouzdřených vodičů na 400 kV blokové linky. Tok energie může být i opačný v případě odstavení turboalternátoru, kdy blokový transformátor zajišťuje napájení vlastní spotřeby elektrárny.

Blokový transformátor je složen ze tří olejových jednofázových jednotek. Schéma zapojení jednotek je YN/d1. Nádobu transformátoru je zvonového provedení a obsahuje průchodky 420kV a 123 kV na primární straně a 24 kV na straně sekundární. Přístrojové transformátory proudu jsou na průchodkách primární strany.

Jedná se o transformátory jednofázové dvouvinuťové se jmenovitým napětím 420/24 kV. Transformátor je neregulovatelný. V případě potřeby lze využít několik stupňů odboček, které je nutné přepínat ručně a mimo provoz. Jmenovitý proud činí 1650 A na primární straně. Jmenovitý výkon jednofázové jednotky je 400 MVA, tudíž celá sestava má celkový výkon 1200 MVA, což je pro chod bloku dostačující. [15]

Tab. 3-3 Parametry jednofázové jednotky blokového transformátoru [15]

Jednofázová jednotka blokového transformátoru			
jmenovitý výkon jednotky	S_{tn}	400	MVA
jmenovité napětí	U_{tn}	420 / 24	kV
jmenovitý proud	I_{tn}	1650 / 16666	A
proud naprázdno	I_{to}	0,005 + 30 %	I_{tn}
napětí nakrátko	U_k	0,14 + 10 %	[-]
ztráty nakrátko	P_{tk}	750+ 10 %	kW
ztráty naprázdno	P_{to}	240+ 15 %	kW
zapojení		YNd1	

3.4 Transformátory vlastní spotřeby

Jeden blok VVER 1000 obsahuje dva olejové odbočkové transformátory vlastní spotřeby. Odbočky k transformátorům jsou k obvodům vyvedení výkonu připojeny pomocí zapouzdřených vodičů mezi blokovým transformátorem a vypínačem generátoru na napětí 24 kV. Jsou určeny pro napájení rozveden 6 kV a pomocí regulace napětí požadovanou hladinu udržují. Z hladiny 6 kV jsou napájena vlastní spotřeba elektrárny.

Jedná se o třífázové trojvinuťové venkovní transformátory s regulací napětí na straně 24 kV. Jádra transformátorů jsou složena z orientovaných vzájemně odizolovaných plechů a chlazení transformátoru je olejové s nucenou cirkulací. Regulace je nastavena pro udržování napětí na sekundární a terciální straně $6,17 \text{ kV} \pm 2,1 \%$. (tj. 6,05 – 6,3 kV). Po překročení těchto mezí dojde k automatickému přepnutí odbočky. Jmenovitý výkon transformátoru je 63/31,5/31,5 MVA se jmenovitým proudem 1516/2887/2887 A. Zapojení transformátorů je D d_0/d_0 . [15]

Tab. 3-4 Parametry transformátoru vlastní spotřeby [15]

Transformátor vlastní spotřeby			
PRIMÁRNÍ VINUTÍ			
Jmenovitý výkon:	P_{t1n}	63	MVA
Jmenovité napětí:	U_{t1n}	24	kv
Jmenovitý proud:	I_{t1n}	1516	A
SEKUNDÁRNÍ A TERCIÁRNÍ VINUTÍ			
Jmenovitý výkon	P_{t2n}	31,5	MVA
Jmenovité napětí	U_{t2n}	6,3	kV
Jmenovitý proud	I_{t2n}	2887	A
Spojení:		Ddd	
Ztráty nakrátko	P_k	115	kW
Ztráty naprázdno:	P_0	47	kW
Napětí nakrátko vztaženo na výkon 16 MVA	e_{k12}	0,09	p.j.
	e_{k13}	0,09	p.j.
	e_{k23}	0,1	p.j.

3.5 Bloková linka 400 kV

Bloková linka V051 spojuje rozvodnu 400 kV bloku a rozvodnu Kočín. Linka má délku 2,94 km a její základní parametry nutné pro výpočty zkratů a ochran jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 3-5 Parametry blokové linky

Bloková linka 400 kV			
Jmenovité napětí	U_n	400	kV
Sousledná rezistance na kilometr	R_1	0,02043	Ω/km
Sousledná reaktance na kilometr	X_1	0,2792	Ω/km
Délka vedení	l	2,937	km

KAPITOLA 4: KONCEPCE ELEKTRICKÉHO KRÁNĚNÍ BLOKU VVER 1000

Prvním krokem pro bezpečný a spolehlivý návrh elektrických ochran je vytvoření koncepce elektrického chránění. Tento krok zahrnuje sestavit souhrn ochran pro chráněná zařízení, určit přístrojové transformátory, které budou sloužit pro získávání informací pro navržené ochrany, sestavit schéma elektrických ochran a určit selektivitu ochran.

Požadavky na koncepci elektrických ochran vyplývají z několika zdrojů. Základní požadavky určují technické normy, kde nejzásadnější normou je ČSN 33 3051 - Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Také je nutné brát v potaz specifické potřeby bloku VVER 1000. Dalšími zdroji jsou Kodex přenosové soustavy a provozní zkušenosti podobných bloků. [18]

4.1 Základní funkce a požadavky na elektrické ochrany

Systém ochran je důležitým systémem k plnění bezpečnostních funkcí na jaderné elektrárně. Z tohoto důvodu je nutné stanovit priority elektrických ochran:

- Ochrana zařízení vývodu reaktorového bloku a minimalizace důsledků poruch. Důsledkem je zajištění stability vývodu a vlastního napájení
- Jaderný blok je důležitým článkem ve výrobní části přenosové soustavy. Proto je kladen důraz i na spolehlivost dodávek ze strany přenosové soustavy.

Předešlé body kladou požadavky na systém elektrických ochran a na ochrany samotné. [4], [9]

4.1.1 Požadavky na systém elektrických ochran

Systém elektrických ochran je celek složený z mnoha zařízení, která vykonávají požadované funkce. Do systému můžeme řadit měřicí transformátory, terminály a skříně samotných ochran, propojovací komunikační, signalizační a analogové kabely, nebo vstupní a výstupní pomocná relé.

Hlavním koncepčním požadavkem je chránit celou chráněnou oblast při zkratu hlavní mžikovou ochranou. V systému nesmí existovat místo, které je pro ochrany neviditelné a případná porucha by zůstala nechráněná. Dále je nutné, aby zkratové ochrany byly zálohovány. Podrobněji je tato problematika popsána v kapitole 4.1.4. Dalšími systémovými požadavky jsou:

- Chránění bloku ve všech provozních režimech: Požadavky a nastavení ochran je nutné dodržet a nastavit na všechny projektové provozní režimy elektrárny. Dále je nutné zajistit stabilitu ochran.
- Selektivní vypínání ochran: selektivita ochran je vysvětlena v kapitole 4.1.3.
- Zajištění spolupráce elektrických ochran s regulacemi a ochranami souvisejících technologií. Terminály ochran vypínají a signalizují poruchy ve spolupráci s externími

koncovými relé ochran, která prostřednictvím vnější kabeláže vážou na externí akční členy a poruchovou signalizaci. Terminály ochran pomocí logik a ochranných funkcí působí na akční členy, pomocí kterých signalizují nebo vypínají poruchy. Elektrická ochrana dále komunikuje a přijímá signály z navazujících obvodů, především blokové linky, rozvodny Kočín, turbíny a technologických ochran zařízení (Bucholtzova relé transformátorů, nebezpečné teploty transformátorů). Díky těmto signálům je zajištěna selektivita, nebo vstupují do logických algoritmů ochran.

- Zamezení nesprávného působení: ochrany je nutné navrhnout tak, aby ochrana nepůsobila falešně nebo nadbytečně při přechodových jevech, či při poruchách mimo jejich chráněnou zónu. Při nadbytečném nebo neselektivním působení může dojít k narušení jaderné bezpečnosti. Zajištění jaderné bezpečnosti, zdraví a bezpečnosti osob je primárním cílem ve všech oblastech na jaderné elektrárně. Falešné působení ochran má vliv i na případnou nevýrobu bloku a na příslušné ekonomické dopady. [4], [9], [18]

4.1.2 Požadavky na elektrické ochrany

V kapitole 4.1.1 jsou popsány základní požadavky na systém ochran. V této kapitole jsou popsány požadavky na samotné ochrany. Navrhované ochrany bloku elektrárny jsou digitální. Jedná se o sestavu digitálních terminálů, které obsahují digitální komponenty, vstupní a výstupní stavové porty a komunikační porty. Ochrany jsou vyráběny přímo pro chránění určitého zařízení, či stroje a ochrana má pro to implementované konkrétní ochranné funkce. Na tyto ochrany se pak vztahují následující požadavky:

- Spolehlivost funkce ochrany – představuje pravděpodobnost nepůsobení ochran při poruše, nebo chybného působení. Výrobce dodává procento spolehlivosti ochran na základě zkoušek a dat získaných z předešlého provozu.
- Odolnost při rušení – ochrana by měla být přizpůsobena provozu v jaderné elektrárně. Musí být odolná vůči všem podmínkám vnějších vlivů, které se vyskytují na elektrárně.
- Rychlost ochrany – především u hlavních zkratových ochran je požadavek na mžikové vypínání zkratů. Z tohoto důvodu je nutné co nejrychlejší reakce ochrany. Dále v případě nastaveném zpoždění reakce je potřeba, aby ochrana reagovala přesně a synchronně s ostatními ochranami.
- Přesnost ochrany – ochrana musí být dostatečně citlivá pro snímání sekundárních hodnot proudů a napětí, aby vlivem transformace nedocházelo ke snížení rozlišovací schopnosti na vyšších hladinách.
- Nastavitelnost ochrany – nástupem digitálních ochran dochází k velké integraci ochranných funkcí v rámci jednotlivých terminálů ochran. Je proto požadována nastavitelnost v širokém rozsahu analogových veličin. [18]

4.1.3 Selektivita ochran

„Selektivní působení ochrany zajišťuje vypnutí pouze úseku (zařízení) postiženého poruchou a umožňuje další provoz zbylé (nepostižené) části soustavy [9].

Pro vytvoření selektivního systému je k dispozici několik nástrojů, které je možno využít:

- Časové odstupňování – tento nástroj představuje možnost časově zpozdít reakce záložních ochran. Při vzniku zkratu jsou záložní ochrany zpožděny za časy působení hlavních ochran. Pokud není porucha vypnuta ochranou hlavní reaguje následně ochrana záložní.
- Nastavení úrovně měřené veličiny – jedná se o přesné nastavení měřených napětí, a především proudů na základě provedených výpočtů. Zajistíme tak, aby zkratová ochrana určité části reagovala mžikově na poruchu ve své oblasti chránění a na poruchy v okolních oblastech buďto nereagovala, nebo reagovala se zpožděním. Podkladem pro užití tohoto nástroje selektivity je v této práci výpočet zkratových poměrů v Kapitola 5:.
- Zpracování více měřených veličin – v našem případě se jedná o využití impedančních a výkonových funkcí. Nastavením jednotlivých impedančních stupňů ochrany je možné zajistit selektivní působení na zkraty v jednotlivých oblastech schématu. Impedanční ochrany se obvykle používají jako ochrany záložní.
- Zpracování informací z více míst – v tomto případě se jedná o ochrany rozdílové a srovnávací. Tyto ochrany mají ohraničenou oblast své působnosti přístrojovými transformátory, od kterých získávají informace o proudech.
- Kombinace informací více ochran – ochrany si předávají informace o vzniklých poruchách. Umožní to tak zkrátit, nebo deaktivovat některé ochrany. Například můžeme vzít nadproudovou ochranu blokového transformátoru 1AT-F14, která reaguje na zkrat blokové linky nebo v oblasti transformátoru. První stupeň ochrany po uplynutí 1,5 s z důvodu selektivity s ochranami blokové linky a rozvodny vypne blokovou linku vypínačem v rozvodně Kočín. V případě odstranění poruchy blok reguluje výkon na vlastní spotřebu. V případě, že nedojde k odstranění poruchy ochrana v čase 1,8 s, vypíná a odstavuje turboalternátor a vypíná rozvodny 6 kV vlastní spotřeby. V případě, kdy ochrany blokové linky vyhodnotí poruchu na blokové lince, vyšlou signál i nadproudové ochraně, která při zjištění poruchy může odpínat turboalternátor a transformátory vlastní spotřeby mžikově. [4], [18]

4.1.4 Zálohování ochran

Zálohování elektrických ochran je založeno na několika principech. Systém ochran je pro zvýšení spolehlivosti rozdělen do dvou nezávislých systémů. Systémy označujeme A a B. V tomto návrhu nejsou systémy rozděleny na hlavní a záložní, ale oba systémy jsou rovnocenné. V případě ochran, které jsou zálohovány, je záložní ochrana umístěna vždy v jiném systému.

- Každá část schématu musí být vybavena hlavní ochranou.
- Pro chránění důležitých částí a pro chránění proti zkratům se použije záložní ochrana. Návrh zkratových ochran a jejich zálohování je zobrazen v Příloha B:.
- U hladinové ochrany (nastavované blízko nominální hodnoty veličiny chráněného zařízení) se záloha neuvažuje s výjimkou přepětí.
- V případě selhání hlavní ochrany zajistí likvidaci poruchy záložní ochrana.
- U záložní ochrany se toleruje zkrácení pásma zálohování.
- U záložní ochrany se připouští nižší kvalita chránění (delší doba působení, nižší selektivita, nižší koeficienty citlivosti a bezpečnosti). [18]

4.2 Návrh elektrických ochran pro jednotlivá zařízení

V této části je popsán návrh elektrických ochran pro jednotlivá zařízení. Zároveň je uvedeno, do jakého systému jsou ochrany navrženy a zda jde o hlavní, či záložní funkci. V systému je navrženo několik ochran, které slouží pro více zařízení, proto jsou zmíněny vícekrát. Zařízení budou popisována postupně od napojení k blokové lince. Hlavním zdrojem, který stanoví, jaké ochrany je nutno použít, je především norma ČSN 33 3051. Tato norma stanovuje požadované ochrany pro zařízení v závislosti na jejich výkonu.

V následujících podkapitolách jsou popsány požadavky na elektrické ochrany. Následně jsou použité ochrany stručně představeny a zmíněny některé zajímavosti. U ochran je uvedeno jejich používané značení v rámci bloku a také bude zmíněno značení ANSI.

Pro systém ochran je zaveden jednotný systém značení (SJZ), díky kterému má každá ochranná funkce jedinečné označení. Kód označení se skládá z čísla bloku, označení chráněného zařízení, písmene F s dvojcíslím, které charakterizuje typ ochranné funkce a pořadovým číslem, pokud je počet ochranných funkcí větší než jedna. Např. u funkce 1AT-F302 1AT označuje blokový transformátor prvního bloku, F30 značí rozdílovou funkci a 2 je pořadové číslo.

ANSI značení specifikuje norma IEEE C.37.1-1991, kde pro každý typ ochrany je použité číslo od 1 do 99. V případě potřeby lze pomocí těchto kódů rychle vyhledat typ ochrany.

Vybrané ochrany jsou do podrobností představeny v Kapitola 6:, kde je popsán postup při výpočtech pro nastavení těchto ochran. V rámci diplomové práce jsou vybrány určité typy ochran dle zadání. Podrobný popis není proveden pro všechny ochranné funkce.

Kompletní přehled zapojení elektrických ochran na přístrojové transformátory a rozdělení ochran do systémů je v Příloha G:.

4.2.1 Ochrany blokového transformátoru 1AT

Ochrany pro blokové transformátory norma rozlišuje dle výkonu. Následující Tab. 4-1 je v normě značená tabulka 7 a věnuje se ochranám blokových transformátorů.

Tab. 4-1 Ochrany blokových transformátorů [9]

ČSN 33 3051 Ochrany elektrických strojů a zařízení					
Tabulka 7 - Blokové transformátory					
Druh ochrany	Výkon S MVA				
	S < 1,7	1,7 ≤ S < 5	5 ≤ S < 50	50 ≤ S < 200	200 ≤ S
Nadproudová zkratová	X	X	X	X	X
Plynová	X	X	X	X	X
Rozdílová	(X)	X	X	X	X
Zemní nádobová			X	X	X
Nadproudová I _o			X	X	X
Při přesycení U/f				(X)	(X)
Zemní strany VN, VVN, ZVN			(X)	(X)	X
(X) ochrana se doporučuje			X ochrana se použije		

Blokový transformátor má výkon 1200 MVA, budeme se pohybovat ve sloupci $200 \leq S$. Dle normy je nutné použít nadproudovou zkratovou, plynovou, rozdílovou, zemní nádobovou, nadproudovou a zemní na straně ZVN. Norma doporučuje použít ochranu přesycení. [9]

Pro transformátor bereme možné poruchy zkratové a přetížení. U zkratů bereme v potaz tři oblasti. Následují výpis možných poruch na zařízení a na to použité ochrany:

Zkrat uvnitř transformátoru:

- **HLAVNÍ:** Rozdílová ochrana 1AT-F301 (87T), systém B – jedná se o rozdílovou dvoubodovou ochranu se mžikovým působením. PTP rozdílové ochrany jsou umístěny v průchodkách blokového transformátoru na straně 420 kV a v zapouzdřených vodičích 24 kV.
- **1. ZÁLOŽNÍ:** Rozdílová ochrana 1AT-F302 (87T), systém A – Rozdílová ochrana třibodová. PTP rozdílové ochrany jsou umístěny v průchodkách blokového transformátoru na straně 420 kV a v zapouzdřených vodičích 24 kV na straně generátoru a v odbočce na transformátor vlastní spotřeby.
- **2. ZÁLOŽNÍ:** Plynové relé 1AT-F24 – V případě vzniku zkratu uvnitř transformátoru dojde ke vzniku plynů díky elektrickému oblouku.

Zkrat na vývodu transformátoru:

Jedná se o zkrat na vývodu transformátoru, v rozvodně 400 kV na straně elektrárny a na blokové lince.

- HLAVNÍ: Rozdílová ochrany 1ACA1-F30 (87) – Jedná se o rozdílovou ochranu blokové linky. Tato ochrana bývá v gesci provozovatele přenosové soustavy a je zařazena mimo systém ochran A a B.
- 1. ZÁLOŽNÍ: Nadproudová ochrana v nule transformátoru 1AT-F14 (50P,G), systém A - Tato ochrana měří proud v nule transformátoru. Ochrana má za úkol působit při jednofázových zkratech na straně 400 kV.
- 2. ZÁLOŽNÍ: Impedanční ochrana 1SP-F25 (21), systém B – Jedná se o impedanční ochranu turboalternátoru, její druhý stupeň je využit pro ochranu transformátoru a blokové linky.

Zkrat na nádobu blokového transformátoru

- HLAVNÍ: Zemní ochrana nádoby 1AT-F16 (50), systém B – Nádobu transformátoru je izolovaná od země. PTP této ochrany se nachází na zemnicím pásku nádoby. Převod 200/5 A je malý, ale ochrana je určena pro zachycení malých rozvíjejících se proudů.
- 1. ZÁLOŽNÍ: Nadproudová ochrana v nule transformátoru 1AT-F14 (50P,G), systém A

Zvýšení proudového zatížení blokového transformátoru

- HLAVNÍ: Nadproudová ochrana při přetížení 40 % I_n 2AT-F131 (50), systém A a nadproudová ochrana při přetížení 40 % I_n 2AT-F133 (51), systém B – Tyto ochrany spínají automatiku chlazení transformátoru
- 1. ZÁLOŽNÍ: Termostat 80 °C 2AT-F80 – Při dosažení této teploty termostat zajistí pomalé odstavení bloku a chodu naprázdno.

4.2.2 Ochrany transformátorů vlastní spotřeby 1BT

Odbočkové transformátory vlastní spotřeby mají v normě samostatnou tabulku s požadavky na chránění. Použité ochranné funkce se výrazně neliší od funkcí blokového transformátoru. Z důvodu zapojení D0d0d0 nejsou požadovány nádobové ochrany.

Popisy ochranných funkcí pro určité typy poruch jsou vypsány stejně jako v předchozí kapitole. Ochrany jsou vypsány pouze pro transformátor 1BT1, transformátor 1BT2 má ochrany stejné. Níže je pro ilustraci znázorněna tabulky ČSN pro chránění transformátorů vlastní spotřeby.

Tab. 4-2 Ochrany transformátorů v odbočce alternátoru [9]

ČSN 33 3051 Ochrany elektrických strojů a zařízení			
Tabulka 8 - Transformátory v odbočce alternátoru			
Druh ochrany	Výkon S MVA		
	$S \leq 1$	$50 < S \leq 200$	$200 < S$
Nadproudová zkratová	X	X	X
Nadproudová při přetížení	X	X	X
Plynová	X	X	X
Rozdílová		X	X
Impedanční			X
Nadproudová zkratová na straně vl. spotřeby	(X)	(X)	X
(X) ochrana se doporučuje		X ochrana se použije	

Vnitřní zkrat transformátoru 1BT1

- **HLAVNÍ:** Rozdílová ochrana 1BT1-F30 (87T), systém A – Jedná se o tříbodovou diferenciální ochranu s mžikovým působením. Tříbodová ochrana je použita z kvůli trojvinuťovým transformátorům.
- **1. ZÁLOŽNÍ:** Impedanční ochrana 1BT1-F25 (21), systém B – První stupeň působí se zpožděním 0,05 s na zkrat v transformátoru, je nastaven na impedanci transformátoru 70 % z důvodu zajištění selektivního působení. Druhý stupeň je nastaven na 100 % impedance transformátoru a se zpožděním 0,9 s odstavuje blok. Toto časové zpoždění je z důvodu zajištění selektivity s ochranami hlavních přívodů rozvoden 6 kV.
- **2. ZÁLOŽNÍ:** Plynové relé nádoby 1BT1-F241 a plynové relé regulace odboček 1BT1-F242 – Obě plynová relé nejprve poruchy signalizují a ve druhém stupni odstavují blok.

Přetížení transformátorů vlastní spotřeby

- **HLAVNÍ:** Nadproudová ochrana 1BT1-F13 (51), systém B – ochrana kromě blokování přepínače odboček transformátor slouží k signalizaci nadproudu se zpožděním 10 s. Velké zpoždění je nastaveno z důvodu očekávaného přetížení při najížděný pohonů v elektrárně. Nadproudové ochrany jsou umístěny i na sekundární a terciální straně transformátoru.

4.2.3 Chránění turboalternátoru 1SP

Chránění turboalternátoru je nejrozsáhlejší skupinou ochran jednak z důvodu velkého množství provozní režimů, tak také z důvodu napojení na systém buzení. Požadované ochrany jsou zobrazeny ve výňatku z normy ČSN. Použité ochrany jsou popsány shodným způsobem jako v předchozích kapitolách. Jedná se o sloupec $200 \leq S$.

Tab. 4-3 Ochrany turboalternátorů a alternátorů zdrojových soustrojí [9]

ČSN 33 3051 Ochrany elektrických strojů a zařízení						
Tabulka 1 - Turboalternátory a alternátory zdrojových soustrojí						
Druh ochrany	Výkon S MVA					
	S < 1	1 ≤ S < 5	5 ≤ S < 10	10 ≤ S < 50	50 ≤ S < 200	200 ≤ S
Nadproudová zkratová časově nezávislá	X	X	X	X	(X)	(X)
Zkratová impedanční				X	X	X
Přetížení statoru	(X)	X	X	X	X	X
Rozdílová		X	X	X	X	X
Nadpěťová	(X)	X	X	X	X	X
Zemní statoru		X	X	X	X	X
Zemní rotoru		X	X	X	X	X
Závitová				(X)	(X)	X
Zpětná wattová		X	X	X	X	X
Nesouměrné zatížení				X	X	X
Při ztrátě buzení					X	X
Při podbuzení					X	X
Přetížení rotoru					(X)	X
Ložisková						X
Prokluz rotoru						X
Proti ztrátě stability						X
Podkmitočtová			(X)	(X)	(X)	X
Nadkmitočtová						X
Při přesycení					(X)	(X)
Proti asynchronnímu chodu soustavy						(X)
Při poklesu napětí a kmitočtu v ES					(X)	(X)
(X) ochrana se doporučuje			X ochrana se použije			

Vnitřní zkrat generátoru

- HLAVNÍ: Rozdílová ochrana generátoru 1SP-F301 (87G), systém A – Ochrana je připojena mezi generátorový vypínač a generátor a v nule generátoru. Působí mžikově.

- 1. ZÁLOŽNÍ: Rozdílová ochrana generátoru 1SP-F302 (87G), systém B – Ochrana je provedena shodně s 1SP-F301.
- 2. ZÁLOŽNÍ: Impedanční ochrana generátoru 1SP-F25, systém B – První stupeň impedanční ochrany vypíná zkraty v oblasti od generátoru až do 50 % blokového transformátoru. Při působení plně odstavuje blok. Druhý stupeň působí při zkratech v oblasti od generátoru až do 100 % blokové linky, Vzhledem k velkým impedancím ochrana vidí pouze malé procento odbočkových transformátorů a při působení je plně selektivní s ochranami těchto transformátorů.

Zemní spojení generátoru

- 1. HLAVNÍ: zemní ochrana statoru 95 % 1SP-F421, systém A – Ochrana počítá velikost nulové složky napětí generátoru. Kvůli nesymetriím magnetického obvodu generátoru existuje malé napětí uzlu oproti zemi. Z tohoto důvodu nemůže být ochrana nastavena na 100 % vinutí. Podrobně je ochrana popsána v kapitole 6.6.
- 2. HLAVNÍ: Zemní spojení generátoru 100 % 2SP-F422, systém A a B – Jedná se o ochranu s injektáží do sekundární strany, impedanční cívky v nulovém bodě generátoru. Ochrana odepíná pouze generátor. Díky principu injektáže cizího signálu do obvodů generátoru je necitlivá na nesymetrie v oblasti VN a ZVN a plně pokrývá chránění 100 % vinutí generátoru.

Kolísání frekvence

- Frekvenční automatika 1SP-F392 (81U,O) – Frekvenční automatika bloku je navržena jako čtyřstupňová ochrana. Frekvenční automatika zajišťuje především plnění frekvenčního plánu provozovatele přenosové soustavy, který je popsán v Kodexu.

První stupeň působí při poklesu frekvence pod 49,8 Hz. Regulaci výkonu se přepíná na ostrovní neboli otáčková regulace.

Druhý stupeň působí při překročení frekvence nad 50,2 Hz a přepíná regulaci výkonu na ostrovní.

Třetí stupeň působí při poklesu frekvence pod 47,9 Hz s časovým zpožděním 0,8 s. Při působení odepíná linku 400 kV a reguluje generátor na vlastní spotřebu

Čtvrtý stupeň působí při překročení frekvence 51,5 Hz. S časovým zpožděním 15,0 s odpíná linku 400 kV a reguluje blok na vlastní spotřebu.

- Nadfrekvenční ochrana generátoru 1SP-F396 (81), systém B – Ochrana působí při nárůstu frekvence nad 52,0 Hz se zpožděním 1,0 s. Hlavním úkolem je přepnout regulaci turbíny na otáčkovou v případě rychlého nárůstu frekvence.

Přepětí generátoru

- HLAVNÍ: Nadpětí ochrana generátoru 1SP-F361 (59), systém A – Tato funkce je časově nezávislá a dvoustupňová.

- 1. ZÁLOHA: Nadpěťová ochrana generátoru 1SP-F362 (59), systém B – Ochrana je nastavená stejně, jako ochrana hlavní.

Proudové přetížení generátoru

- HLAVNÍ: Nadproudová ochrana generátoru při přetížení 1SP-F13 (51), systém A – Ochrana je nastavena tak, aby umožnila reakci statorového omezovače proudu. První stupeň signalizuje proudové přetížení statoru alternátoru nad trvale povolenou hodnotu. Se zpožděním 10 s jej signalizuje.
Druhý stupeň je závislá ochrana a působí před pracovní charakteristikou stroje. Zapříčiňuje pomalé ostavení generátoru a chod naprázdno.

Nesymetrické zatížení generátoru

- HLAVNÍ: Ochrana při nesymetrii 1SP-F46 (46), systém A – Ochrana měří proudy v jednotlivých fázích a vyhodnocuje nesymetrii proudů. První stupeň ochrany je signální, druhý stupeň má logaritmickou závislost. Druhý stupeň následně odstavuje generátor.

Podpětí

- HLAVNÍ: Podpěťová ochrana generátoru U< 1SP-F371 (27), systém B – Ochrana slouží k signalizaci podpětí.

Ztráta hnacího stroje, odstavení turbíny – generátor odpojen od soustavy

- HLAVNÍ: Podfrekvenční ochrana generátoru F< 1SP-F391 (51), systém B – Tato ochrana představuje zálohu při odpojení linky 400 kV nebo vypínače generátoru, kdy nemohou generátor odstavit zpětné wattové ochrany. Ochrana je nastavená na frekvenci 47,0 Hz a působí na odstavení generátoru a chod naprázdno.

Ztráta hnacího stroje, odstavení turbíny – režim přifázováno

V tomto režimu je generátor přifázován k síti. Při ztrátě hnacího stroje, kdy je zavřena pára do turbíny je turbosoustrojí ohroženo zpětným tokem výkonu. Generátor se tak dostává do motorického režimu, což je nežádoucí.

- HLAVNÍ: Zpětná wattová ochrana 1SP-F501 (32), systém A – Zpětná wattová ochrana je nastavena na pokles činného výkonu stroje pod 2,0 % jmenovitého činného výkonu. Měření proudu a napětí musí být přesné, proto jsou použité PTP a PTN s třídou přesnosti 0,2 %.
- 1. ZÁLOŽNÍ: Zpětná wattová záložní 1SP-F502 (32), systém B – Tato ochrana má stejné provedení, jako ochrana hlavní.

Zemní spojení rotoru generátoru

- HLAVNÍ: Zemní ochrana rotoru generátoru 1SP-F431 (64R), systém A – Jedná se o ochranu s injektáží do obou pólů rotorového vinutí. Ochrana injektuje vlastní signál do rotorového vinutí. Měří proud a napětí tohoto signálu a vyhodnocuje velikost odporu

izolace rotoru proti zemi. Je nastavena na několik stupňů snížení odporu a v posledním stupni odstavuje generátor.

Podbuzení generátoru

- Hlavní: Ochrana při podbuzení generátoru 1SP-F44 (40), systém A – Tato ochrana slouží k signalizaci selhání hlídače meze podbuzení (HMP) a je nastavena za jeho nastavení ve směru záporných hodnot jalového výkonu pracovního PQ diagramu stroje. Ochrana je nastavena mezi statickou stabilitu stroje a HMP a je zpožděna o 10,0 s.

Ztráta buzení generátoru a ztráta statické stability

- Hlavní: Ochrana při ztrátě buzení 1SP-F451 (40), systém A – Ochrana působí při ztrátě buzení, kdy stroj vypadne ze synchronismu a chová se jako asynchronní generátor. Obrátí se tok jalového výkonu a dochází ke změně impedance stroje, na což ochrana reaguje. Výrobce nepovoluje asynchronní chod generátoru. Ochrana odstavuje generátor a převádí ho do chodu naprázdno.
- 1. ZÁLOHA: Ochrana při ztrátě buzení 1SP-F452 (40), systém B – Tato funkce je provedena stejně, jako ochrana hlavní.

Ztráta dynamické stability – prokluz pólů

- Hlavní: Ochrana při prokluzu pólů 1SP-F455 (78), systém A – Při prudkých změnách zátěže dochází ke kývání stroje. Ochrana nejprve jeden prokluz signalizuje a při druhém prokluzu vypíná generátor. K prokluzům obvykle dochází při elektricky blízkých zkratech, jejichž rychlým vypnutím dochází k velkému přebytku výkonu generátoru a následně jeho prokluzu.

Přesycení generátoru

- Hlavní: Ochrana při přesycení U/f 1SP-F49 (24), systém A – Při poklesu otáček regulátor udržuje napětí na U_n a dochází k přesycení. Regulátor tak udržuje stejný poměr U/f při poklesu kmitočtu. První stupeň signalizuje přesycení přes 1,1 U/f a druhý stupeň vypíná generátor. Ochrana je časově závislá.

Zemní spojení na vývodu generátoru 95 %

- Hlavní: Zemní spojení vývodu generátoru 2AQ-F41 (59N), systém A – Ochrana slouží pro signalizaci zemního spojení na přípojnicích 24 kV mezi vypínačem generátoru a blokovým transformátorem. Ochrana počítá nulovou složku napětí.

4.2.4 Chránění budiče turboalternátoru 1SR

Pro chránění budičového alternátoru norma ČSN požaduje nadproudovou zkratovou ochranu, ochranu proti přetížení statoru, rozdílovou ochranu a zemní ochranu. Norma pro výkon tohoto budiče nepožaduje impedanční ochranu. Vzhledem k důležitosti zařízení bude tato ochranná funkce využita.

Výkon budiče je 7700 kVA, tudíž je pro nás závazný sloupec $1 \leq S \leq 10$. Pod tabulkou X je proveden popis uvažovaných poruch budiče generátoru a ochranných funkcí, které jsou využity pro jeho chránění.

Tab. 4-4 Ochrany budících alternátorů [9]

ČSN 33 3051 Ochrany elektrických strojů a zařízení			
Tabulka 3 - Budící alternátory			
Druh ochrany	Výkon S MVA		
	$S \leq 1$	$1 \leq S < 10$	$10 \leq S$
Nadproudová zkratová časově nezávislá	X	X	X
Zkratová impedanční			X
Přetížení statoru	(X)	X	X
Rozdílová		X	X
Zemní rotoru		X	X
(X) ochrana se doporučuje X ochrana se použije			

Vnitřní zkrat budiče

- HLAVNÍ: Rozdílová ochrana 1SR-F30 (87), systém A – Ochrana slouží k rychlé identifikaci zkratu uvnitř budiče. Ochrana mžikové odstavuje generátor.
- 1. ZÁLOHA: Impedanční ochrana 1SR-F25, systém B – Ochrana je nesměrová, měří poměry absolutních hodnot rozdílů fázových napětí a rozdílů fázových proudů. Při působení ochrana odstavuje budič a alternátor.

Vnější zkrat budiče

- HLAVNÍ: Impedanční ochrana 1SR-F25, systém B – Ochrana je zmíněna výše.

Přepětí budiče při selhání regulace buzení

- HLAVNÍ: Nadpětěová ochrana 1SR-F36 (59), systém B – Jedná se o časově nezávislou dvoustupňovou ochranu. První stupeň je nastaven na hodnotu $1,1 U_n$ se zpožděním 10,0 s. Druhý stupeň je mžikový s nastavením $1,3 U_n$. Oba stupně působí na rychlé odstavení budiče a generátoru.

Proudové přetížení budiče

- HLAVNÍ: Ochrana proti proudovému přetížení 1SR-F13 (51), systém A – Ochrana je nastavena tak, aby působila až za pásmem působnosti omezovače rotorového proudu a zároveň aby působila před tepelnou odolností stroje. Toto nastavení zaručí, že při přetížení zapůsobí na odstavení alternátoru, protože zálohuje omezovač statorového proudu budiče a rotorového proudu generátoru 1250 MVA.

První stupeň slouží pro návěst přetížení budiče statorovým proudem se zpožděním 10 s.

Druhý stupeň vypíná budící alternátor při překročení statorové hodnoty proudu dovolené výrobcem. Ochrana musí působit pomaleji, než omezovač rotorového a statorového proudu a zároveň působení musí být rychlejší než tepelná odolnost stroje.

Zemní spojení rotoru budiče

- HLAVNÍ: Ochrana proti zemnímu spojení rotoru 1SR-F431 (64F), systém B – Ochrana měří izolační stav vinutí pomocí injektáže napětí. Injektážní jednotka je připojena na můstek zemního odporu a na svorky rotoru. Systémem je měřen zemní odpor vinutí. První stupeň ochrany je nastaven na zemní odpor 5 k Ω a druhý stupeň na odpor 2 k Ω . Ochrana zemního spojení poruchu pouze signalizuje.

4.2.5 Chránění přípojnic 24 kV v různých režimech elektrárny

Předchozí kapitoly jsou zaměřeny na ochranu jednotlivých strojů v oblasti vyvedení výkonu. Nedílnou součástí tohoto systému jsou přípojnice 24 kV, které slouží k propojení blokového transformátoru s transformátory vlastní spotřeby. Norma ukládá chránit všechna místa soustavy, která jsou pod napětím, před zkraty. Na chránění proti zkratu je nutné mít připravenou hlavní a záložní ochranu. Jako záložní ochrana je často použita impedanční ochrana generátoru 1SP-F25, která ovšem je v některých režimech chodu elektrárny vyřazena z činnosti (např. při vypnutém vypínači generátoru).

Pokud dojde ke zkratu ve vnitřní oblasti rozdílové ochrany zařízení např. mezi blokovým transformátorem a PTP jeho rozdílové ochrany, nazýváme tento zkrat v oblasti rozdílové ochrany bloku. V tomto případě je zapnutý generátorový vypínač.

Zkrat v oblasti rozdílové ochrany bloku

- HLAVNÍ: Rozdílová ochrana 1AT-F302 (87T), systém A – Nastavení ochrany je popsáno v kapitole 6.3.
- 1. ZÁLOHA: Impedanční ochrana generátoru 1SP-F25 (21), systém B – Ochrana je popsána v kapitole 4.2.3.

Pokud je generátorový vypínač rozepnutý, není možné, aby záložní ochranou pro tento zkrat byla impedanční ochrana generátoru. Z tohoto důvodu je použita nadproudová ochrana transformátoru, jako ochrana záložní.

Zkrat v oblasti rozdílové ochrany bloku – vypnutý vypínač generátoru

- HLAVNÍ: Rozdílová ochrana 1AT-F302 (87T), systém A – Tato ochrana je popsána v kapitole 6.3.
- 1. ZÁLOHA: Nadproudová ochrana transformátoru 1AT-F11 (51), systém B – Ochrana je blokována sepnutým stavem vypínače generátoru. Podrobně její nastavení je vysvětleno v kapitole 6.1.

Zkrat mimo oblast rozdílové ochrany

Oblast, která není chráněná rozdílovou ochranou, je úsek přípojnic 24 kV od PTP 1AQ-TA10 k PTP před transformátory vlastní spotřeby. Z tohoto důvodu je implementována nadproudová zkratová ochrana 1AQ-F11 pro rychlé vypínání zkratu v oblasti přípojnic.

- Hlavní: Nadproudová ochrana zkratová 1AQ-F11 (51), systém A – Jedná se o mžikovou nadproudovou ochranu, která musí působit na minimální zkrat na přípojnicích 24 kV, ale nesmí působit na zkrat za transformátorem vlastní spotřeby.
- 1. ZÁLOHA: V tomto případě je záložní ochrana volena stejně, jako při zkratu v oblasti rozdílové ochrany, tedy při sepnutém vypínači je záložní funkcí 1SP-F25 a při rozepnutém vypínači je záložní funkcí 1AT-F11.

Kapitola 5: Zkratové výpočty pro nastavení ochran

Nedílnou součástí správného nastavení ochran je simulace chování chráněného obvodu při poruše. V našem případě jde o poruchu, proti které je obvod nejvíce chráněn, a to zkrat. Zkratové výpočty jsou důležité pro správné nastavení proudových ochran z důvodu selektivity a citlivosti na poruchu. Pro potřeby nastavení ochran provádíme výpočty maximálních a minimálních proudů v různých částech schématu.

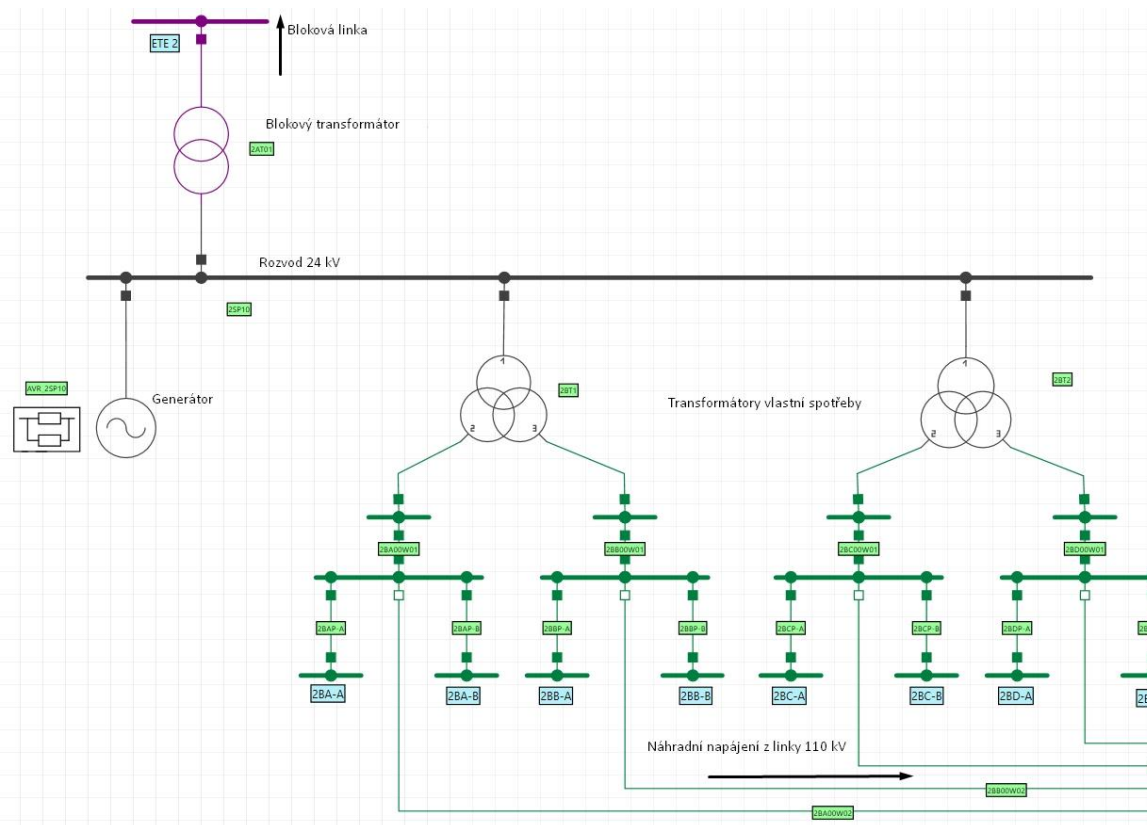
Hodnoty minimálních zkratových proudů slouží ke zjištění velikosti proudu, na kterou musí ochrana působit. Při výpočtech minimálních zkratů je nutné zvolit takovou konfiguraci schématu, ve které jsou připojeny minimální počty zdrojů a vychází proto nejmenší možné hodnoty. Konfigurace musí zároveň respektovat realitu a vycházet z projektových režimů. Při výpočtu minimálních zkratů jsou dle ČSN EN 60909-0 ed. 2 zanedbány. Rezistance vedení a kabelů je nutné počítat při vyšší teplotě, a to při teplotě na konci doby trvání zkratu. [16]

Hodnoty maximálních zkratů slouží k určení zkratových proudů, na které nesmí ochrany působit v případě, že se nejedná o oblasti jejich chránění. Při výpočtech je nutné nakonfigurovat výpočtové schéma tak, aby zkratové příspěvky sítě, generátoru a pohonů byly co největší a aby jejich příspěvky vedly k co největší hodnotě zkratového proudu. Příspěvky elektrických motorů je nutné zahrnout a rezistance vedení a kabelů se musí počítat při teplotě 20 °C. [16]

5.1 Model bloku VVER 1000

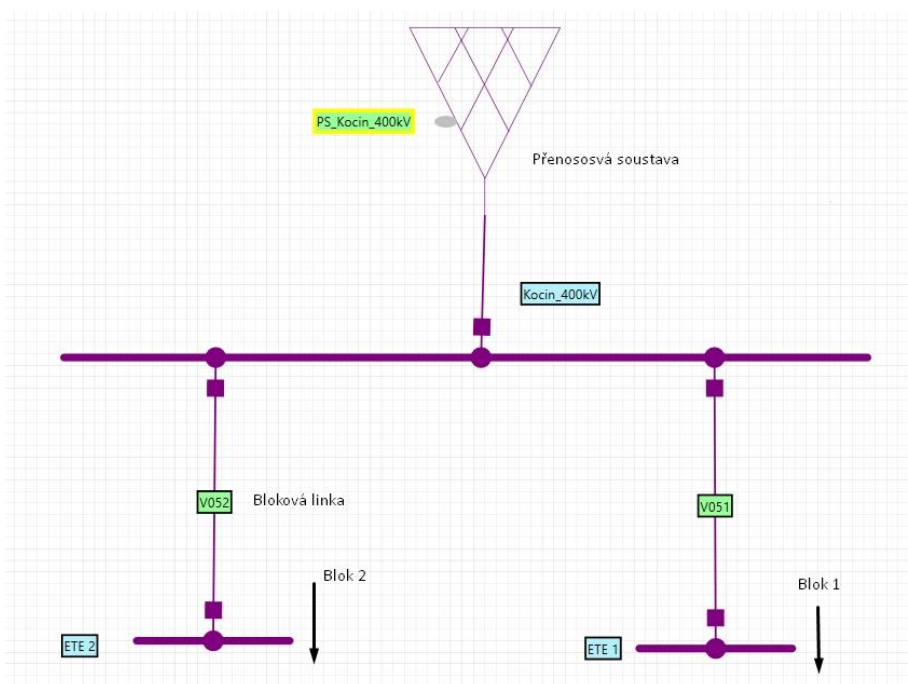
Tato práce není zaměřená na výpočet elektrických zkratů, ale pro využití vypočítaných hodnot v nastavení ochran. Z tohoto důvodu zde není detailně popsán princip výpočtu těchto hodnot.

Pro výpočty je využit švýcarský software NEPLAN 10, který slouží pro výpočty zkratů v nasimulovaných sítích a pro další dynamické simulace. Tento software provádí výpočty dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2 - Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů. Základem je vytvoření výpočtového modelu elektrického schématu elektrárenského bloku. Model bloku je zobrazen na Obr. 5-1.



Obr. 5-1 NEPLAN: Schéma bloku JE

Elektrické schéma jaderného bloku je sestaveno z částí, které jsou popsány v Kapitola 3:. V této kapitole jsou popsány základní parametry zařízení. Parametry zmíněné v Kapitola 3: jsou vkládány do vlastností simulovaných zařízení. Blokova vedení obou bloků a rozvodnu přenosové soustavy představuje následující Obr. 5-2.



Obr. 5-2 NEPLAN: Schéma blokových linek a rozvodny 400 kV

5.2 Výpočet zkratů pro nadproudovou ochranu 1AT-F11

Nadproudová ochrana 1AT-F11 slouží k vypínání zkratů v oblasti blokového transformátoru a oblasti přípojníc 24 kV při vypnutém vypínači generátoru. Dalším požadavkem na ochranu je, aby nepůsobila na zkrat v rozvodech 6 kV.

Z těchto důvodů je nutné pro ochranu spočítat dva zkraty. První zkrat v místě C je minimální dvoufázový zkrat, na který musí ochrana reagovat. Místo zkratu a zkratové proudy jsou zobrazeny v příloze C.4. Příspěvatelem tohoto zkratu je pouze přenosová soustava prostřednictvím blokové linky. V místě zkratu je vypočítán zkratový ustálený proud $I_{k2min} = 84,28$ kA. Pro nastavení ochrany je důležitý proud, který teče PTP 1AT-TA5, ke kterému je ochrana připojena. Tento ustálený zkratový proud je roven $I_{k2min} = 5,56$ kA.

Dalším zkratem pro nastavení této ochrany je maximální třífázový zkrat v místě D, tedy na rozvodně 6 kV. Schéma zkratu je zobrazeno v příloze C.5. Konfigurace sítě byla navolena tak, aby v místě PTP 1AT-TA5 bylo dosaženo nejmenší hodnoty ustáleného zkratového proudu. Příspěvatelem zkratu tak je přenosová soustava. Ustálený zkratový proud v místě PTP vyšel $I_{k3max} = 0,48$ kA a ochrana na něj nesmí působit. Detailní nastavení ochrany je popsáno v kapitole 6.1.

5.3 Výpočet zkratů pro ochranu transformátoru v nule 1AT-F14 a nádobovou ochranu 1AT-F16

Ochrana transformátoru v nule musí působit na minimální zkrat na konci blokové linky z pohledu elektrárny. Při výpočtu je nutné vzít v ohled všechny možné režimy stavů vypínačů a vybrat nejmenší možné řešení. Konfigurace s nejmenším možným zkratovým proudem je

zobrazena v příloze C.1. Jednofázový zkrat je napájen z generátoru a zkratový proud do uzlu transformátoru je roven $3I_{k(0)} = 4,7$ kA.

Nádobová ochrana 1AT-F16 musí působit na zkratový proud tekoucí nulou transformátoru při jednofázovém minimálním zkratu na nádobu. Tento zkrat je zobrazen v příloze C.3 a proud nulou transformátoru je roven $3I_{k(0)} = 4,783$ kA. Dále ochrana nesmí působit na proud tekoucí nádobou transformátoru při blízkém maximálním jednofázovém zkratu na blokovém vedení. V tomto případě se zkratový proud uzavírá nulou transformátoru, ale bylo vypočítáno, že 3 % tohoto proudu teče nádobou transformátoru. Proud nulou při tomto zkratu vyšel $3I_{k(0)} = 10,355$ kA a 3 % z této hodnoty je proud roven 310 A. Na tuto hodnotu nesmí ochrana působit.

KAPITOLA 6: NASTAVENÍ ELEKTRICKÝCH OCHRAN A NÁVRH ALGORITMŮ

V kapitole 4.2 je proveden kompletní návrh systému ochrany. Jsou zde zmíněny všechny použité ochranné elektrické funkce, které jsou požadované pro bezpečný provoz systému. Dalším krokem kompletního návrhu elektrických ochrany je konkrétně specifikovat spolupráce ochrany, a především provedení výpočtů nastavení jednotlivých ochranných funkcí.

V zadání práce byly pro výpočet nastavení vybrány následující ochranné funkce:

Tab. 6-1 Seznam vypočítaných ochranných funkcí

FUNKČNÍ OZN.	NÁZEV OCHRANY	ANSI
1SP-F421	Zemní ochrana statoru generátoru 95 %	59N
1SP-F501	Zpětná wattová ochrana	32
1SP-F25	Impedanční ochrana generátoru	21
1AT-F11	Nadproudová ochrana blokového transformátoru zkratová	51
1AT-F302	Rozdílová ochrana blokového transformátoru - 2 bodová	87T

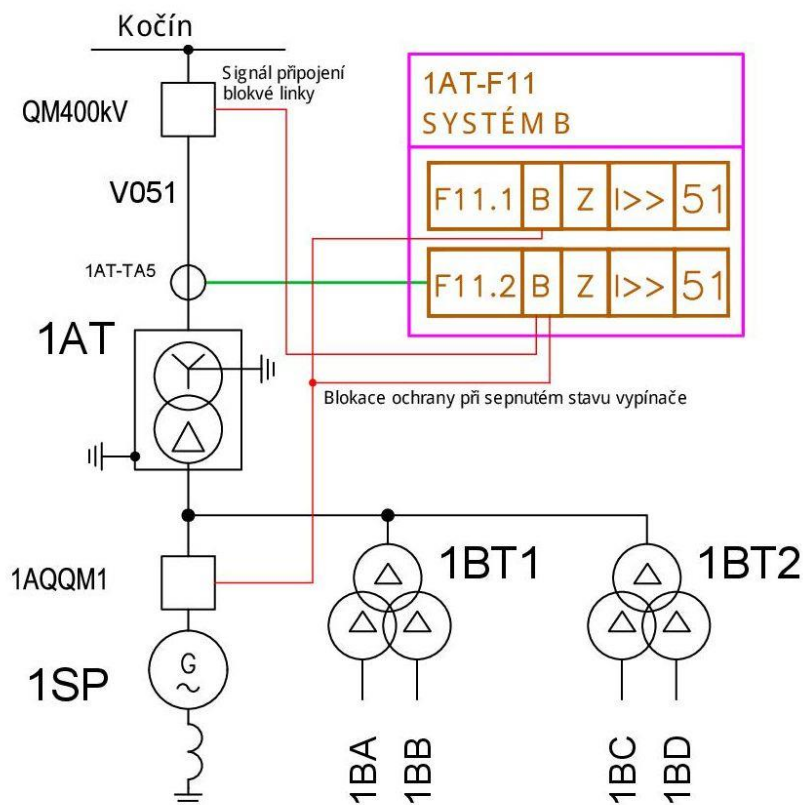
Výběr byl proveden tak, aby zahrnul co největší počet typů ochranných funkcí a aby svým nastavením a principem bylo jejich seřízení zajímavé.

6.1 Nadproudová ochrana 1AT-F11

Nadproudová ochrana 1AT-F11 je záložní ochrana pro zkrat v rozvodně 400 kV na straně elektrárny, v blokovém transformátoru a na přípojnicích 24 kV v režimech, kdy je vypnutý generátorový vypínač. Ochrana 1SP-F25, která pro tyto části slouží jako záložní ochrana, je umístěna za vypínačem generátoru. V případě vypnutého vypínače by záložní ochrana proti zkratům chyběla.

Ochrana 1AT-F11 je při vypnutém stavu vypínače uvolněna a je aktivní. Pře sepnutém stavu vypínače je ochrana blokována. Na Obr. 6-1 je znázorněn blokovací signál při sepnutém stavu vypínače. Dále je zde znázorněn signál blokující druhý stupeň této ochrany při zapínání blokové linky. Důvod blokování tohoto stupně je popsán v kapitole 6.1.2.

Ochrana měří proud na straně 400 kV pomocí PTP 1AT-TA5 s převodem 3 000/5 A.



Obr. 6-1 Schéma ochrany 1AT-F11

6.1.1 Nastavení prvního stupně ochrany 1AT-F11

Ochrana musí plnit tyto tři podmínky vycházející z požadavků na chránění:

1. Ochrana musí být citlivá s minimálním koeficientem citlivosti k_{cmin} na minimální zkrat na přípojnicích 24 kV. Jedná se o zkrat v místě C popsany v kapitole 5.2.
2. Ochrana nesmí působit s minimálním koeficientem bezpečnosti k_{bmin} na maximální zkrat na rozvodně 6 kV. Jedná se o zkrat v místě D popsany v kapitole 5.2.
3. Ochrana nesmí působit na zapínací ráz blokové linky s minimálním koeficientem bezpečnosti k_{bmin} .

První stupeň nadproudové ochrany nastavíme podle minimálního zkratu, na který má ochrana působit s minimálním koeficientem citlivosti $k_{cmin} = 2,0$. Ustálený zkratový proud tekoucí PTP ochrany při zkratu v místě C je dle kapitoly 5.2 $I_{k2min} = 5,56$ kA. Primární nastavení prvního stupně ochrany I_{set_min} vypočítáme dle vztahu

$$I_{set_prim} = \frac{I_{k2min}}{k_{cmin}} = \frac{5,56}{2,0} = 2,78 \text{ [kA]}. \quad (6-1)$$

Vypočítanou hodnotu zaokrouhlíme na hodnotu $I_{set_prim} = 2,80$ kA. Pro nastavení ochrany je třeba přepočítat proud na sekundárních hodnoty. Převod PTP vypočítáme dle rovnice

$$p = \frac{I_{\text{prim}}}{I_{\text{sek}}} = \frac{3\,000}{5} = 600 [-], \quad (6-2)$$

kde I_{sek} je sekundární proud PTP a

I_{prim} je primární proud PTP.

Pomocí převodu můžeme vypočítat sekundární hodnotu, na kterou nastavíme ochranu

$$I_{\text{set_sek_1st}} = \frac{I_{\text{set_prim}}}{p} = \frac{2800}{600} = 4,66 [A]. \quad (6-3)$$

Nyní je třeba zkontrolovat, zda vypočítaná hodnota vyhovuje požadavkům č. 2 a 3. V případě zkratu v místě D by PTP ochrany tekl proud $I_{k3\text{max}} = 0,48$ kA. Můžeme tak vypočítat koeficient bezpečnosti

$$k_{b\text{min}1} = \frac{I_{\text{set_prim}}}{I_{k3\text{max}}} = \frac{2,80}{0,48} = 5,83 [-], \quad (6-4)$$

což je vyhovující hodnota.

První stupeň ochrany je zpožděn o 0,3 s. V tomto čase hodnota zapínacího rázu dosahuje hodnoty $I_{\text{raz}} = 1,5$ kA. Můžeme tak spočítat minimální koeficient bezpečnosti pro proudový zapínací ráz

$$k_{b\text{min}2} = \frac{I_{\text{set_prim}}}{I_{\text{raz}}} = \frac{2,80}{1,5} = 1,87 [-], \quad (6-5)$$

což je vyhovující hodnota, pokud vezmeme v úvahu, že velikost rázu s postupujícím čase klesá.

Na základě těchto výpočtů můžeme konstatovat, že nastavení prvního stupně ochrany 1AT-F11 $I_{\text{set_prim}} = 2,8$ kA vyhovuje všem požadavkům.

6.1.2 Nastavení druhého stupně ochrany 1AT-F11

Dalším požadavkem na nadproudovou ochranu je nastavení citlivějšího stupně, který bude určen na základě minimálního koeficientu bezpečnosti. První stupeň je nastaven pomocí minimálního koeficientu citlivosti. Minimální koeficient bezpečnosti je roven $k_{b\text{min}} = 1,5$ se zpožděním 0,4 s. Nyní je třeba spočítat, nastavení ochrany pro podmínky č. 2 a 3 a tyto hodnoty mezi sebou porovnat.

Podmínka č.2 požaduje, aby ochrana nereagovala na maximální zkrat na rozvodně 6 kV, při kterém PTP ochrany teče proud $I_{k3\text{max}} = 0,48$ kA. Nastavení v primárních hodnotách lze spočítat rovnicí

$$I_{2\text{set_prim}} = I_{k3\text{max}} \cdot k_{b\text{min}} = 0,48 \cdot 1,5 = 0,72 [kA]. \quad (6-6)$$

Podmínka č. 3 požaduje nastavení s $k_{bmin} = 1,5$ od zapínacího rázu blokové linky. K dispozici je časový záznam zapínacího rázu transformátoru. Časová délka záznamu je rovna $t = 2,0$ s. Pro výpočet zvolíme velikost proudu zapínacího rázu v čase $t = 1,9$ s.

V tomto čase dle grafu v Příloha D: dosahuje hodnota proudu zapínacího rázu hodnoty $I_{raz_{1,9}} = 825$ A. Pomocí této hodnoty můžeme vypočítat nastavení ochrany

$$I_{3set_{prim}} = I_{raz_{1,9}} \cdot k_{bmin} = 825 \cdot 1,5 = 1\,237 \text{ [A]}. \quad (6-7)$$

Z rovnic (6-6) a (6-7) musíme vybrat vyšší hodnotu, což je hodnota $I_{3set_{prim}} = 1\,237$ A. Tuto hodnotu je potřeba přepočítat na sekundární stranu PTP pomocí převodu z rovnice (6-2) a získáme výpočet sekundárního nastavení

$$I_{set_{sek_{2st}}} = \frac{I_{3set_{prim}}}{p} = \frac{1\,237}{600} = 2,06 \text{ [A]}. \quad (6-8)$$

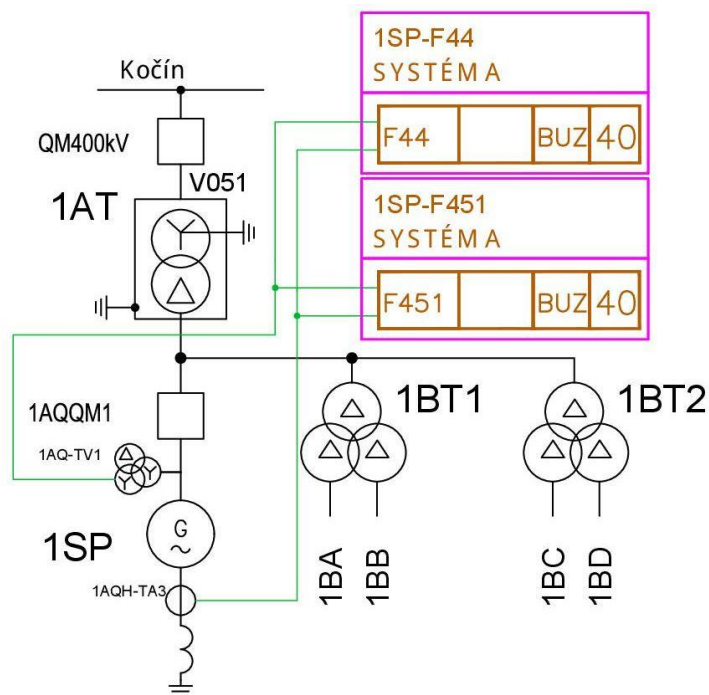
Takto nastavenou ochranu je nutné stabilizovat při zapínacím rázu transformátoru. Bude provedena blokáda při tomto ději. Tato blokáda bude provedena následujícími způsoby:

1. Samostatná detekce: nové ochrany umožňují pomocí vnitřní logiky detekovat zapínací ráz transformátoru díky vzniku druhé harmonické při zapnutí. Ochrana tak sama zablokuje druhý stupeň po dobu zapínání.
2. Příchod signálu: mezi elektrárnou a rozvodnou PS probíhá komunikace pomocí optických vláken v zemním lanu blokové linky. Mimo jiné takto komunikují ochrany blokové linky a zároveň lze touto cestou poslat signál o zapnutí blokové linky k soustavě. V rámci logiky je navrženo blokování ochranné funkce po dobu $t = 3,0$ s.
3. Pomocí přepínače: na skříň ochran bude umístěn přepínač, který obsluha před připojením vypínače blokové linky v Kočíně přepne a zablokuje ochrannou funkci v rámci logiky terminálu. V provozním předpisu bude popsána nutnost blokování a následného uvolnění po zapnutí linky.

6.2 Ochrany ztráty buzení

Pro správný a bezpečný chod generátoru je důležitá správná regulace buzení v závislosti na požadavcích výroby. V případě poruchy budícího systému, je nutné generátor 1250 MVA bezpečně odstavit, aby se jeho pracovní bod v PQ diagramu neposunul za konstrukční meze stroje nebo za jeho meze stability.

Pro tyto účely jsou navrženy dvě ochrany. Ochrana 1SP-F44 ochrana při podbuzení signalizuje selhání hlídače meze podbuzení a ochrana 1SP-F451 ochrana při ztrátě buzení odstavuje generátor 1250 MVA. Pro správné nastavení ochran buzení je nutné znát meze stroje v PQ diagramu. V Příloha E: je konstrukční mez stroje zobrazena modrou barvou a charakteristika HMP fialovou barvou.



Obr. 6-2 Schéma ochran buzení

6.2.1 Nastavení ochrany podbuzení 1SP-F44

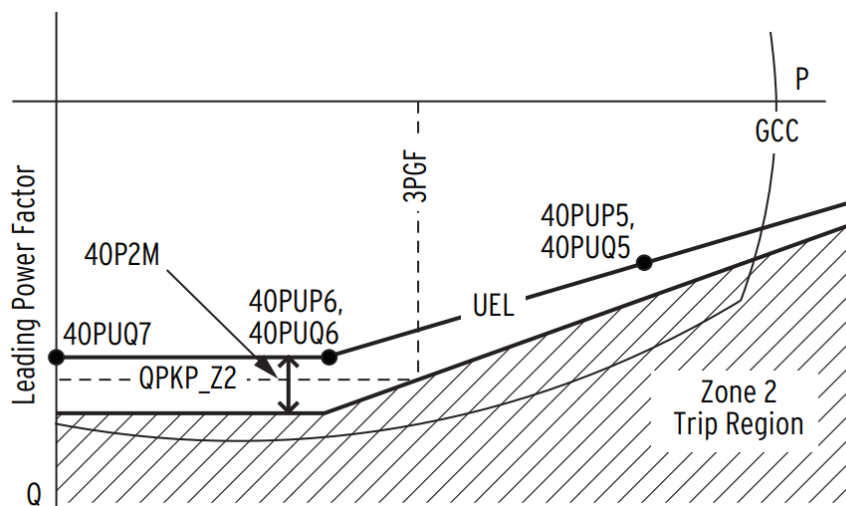
Tato ochrana chrání generátor před trvalým provozem v podbuzeném stavu. Při provozu v podbuzeném stavu dochází k přehřívání čelních plechů železa statoru. [4]

Ochrana měří napětí pomocí PTN 1AQ-TV1 s převodem 24 000/100 V a proud pomocí PTP 1AQH-TA3 s převodem 27 000/5 A. Zapojení ochrany je znázorněno na Obr. 6-2. Nastavení ochrany vyplývá z Obr. 6-3. Charakteristika ochrany se nastavuje za charakteristiku hlídače meze podbuzení (fialová křivka) ve směru vyšších hodnot záporného jalového výkonu. Tyto hodnoty byly dodány výrobcem stroje.

Dále se nastavuje před:

- Mez statické stability stroje (zelená křivka)
- Konstrukční meze stroje (modrá křivka)

Charakteristika ochrany je zobrazena červenou křivkou. Křivka ochrany je posunuta za mez HMP s koeficientem bezpečnosti $k_b = 1,2$.



Obr. 6-3 Nastavení Zone 2 ochrany podbuzení SEL 400G [12]

6.2.2 Nastavení ochrany ztráty buzení 1SP-F451

Pokud dojde k odbuzení generátoru v době, kdy generátor pracuje synchronně se soustavou, dochází ke ztrátě synchronismu a stroj se chová, jako asynchronní alternátor a dojde k prokluzu. Na rotorovém vinutí se indukují napětí ze statoru, kde dochází k poklesu napětí. Asynchronní chod není pro generátor na ETE povolen, tudíž při ztrátě buzení je nutné generátor odstavit. K tomu slouží ochrana 1SP-F451, která měří proudy a napětí pomocí stejných PTP a PTN, jako ochrana 1SP-F44. Nastavení ochranné funkce je zobrazeno na Obr. 6-4, kde křivka této funkce je charakterizována úhlem 40P1DIR a hodnotou jalového výkonu při činném výkonu rovnému nule 40P1P.

Úhel 40P1DIR je nastaven na 10° . Hodnota 40P1P je nastavena pomocí konstrukční meze stroje při $P = 0,0$ MW a podbuzení a koeficientu bezpečnost $k_b = 1,3$. Konstrukční mez stroje dodané výrobcem při $P = 0,0$ MW je rovna $Q_{P=0} = -360$ MVar. Následně je možné stanovit hodnotu v primárních hodnotách

$$40P1p_{prim} = Q_{P=0} \cdot k_b = -360 \cdot 1,3 = -468 \text{ [MVar]}, \quad (6-9)$$

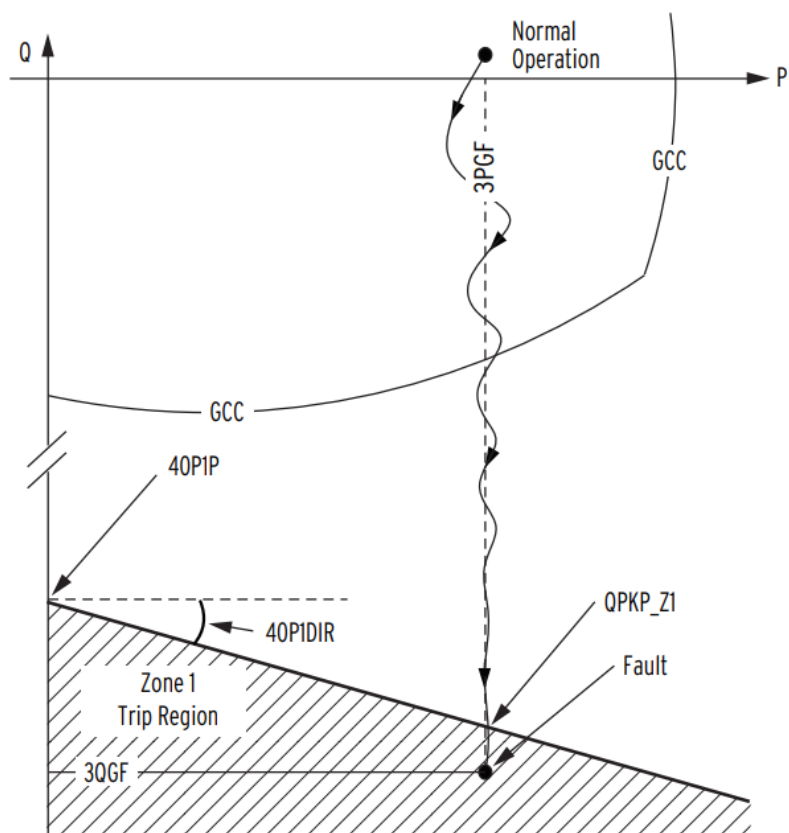
Pro přepočítání na sekundární hodnoty je nutné vypočítat převod výkonu, což je vypočítáno v rovnici (6-10)

$$p_s = \frac{S_{sek}}{S_{prim}} = \frac{U_{sek} \cdot I_{sek}}{U_{prim} \cdot I_{prim}} = \frac{100.5}{24\,000 \cdot 27\,000} = 0,77 \cdot 10^{-6} [-], \quad (6-10)$$

Kde U_{sek} a U_{prim} jsou hodnoty napětí převodu PTN a

I_{prim} a I_{sek} jsou hodnoty proudu převodu PTP. Nastavení hodnoty 40P1P v sekundárních hodnotách můžeme vyjádřit

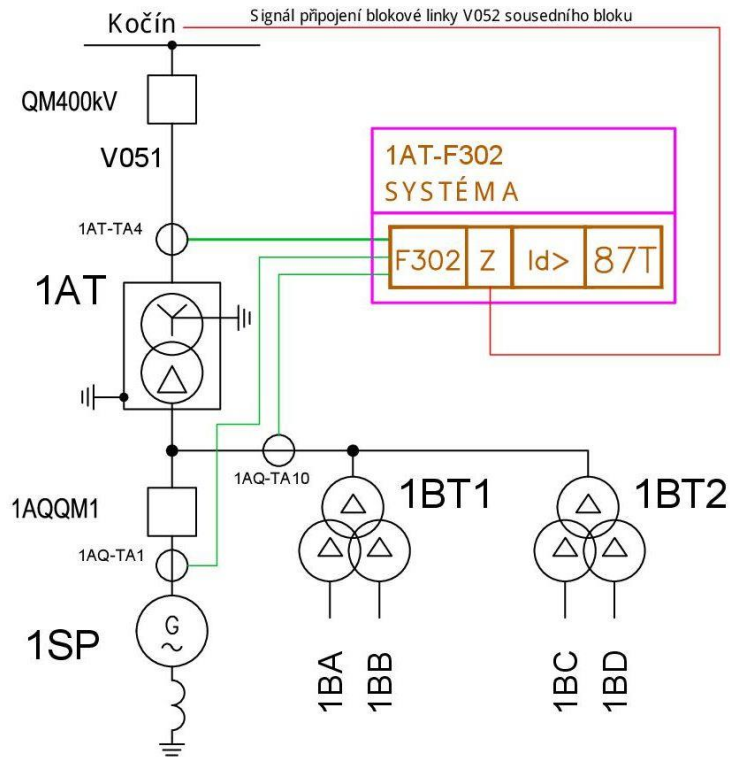
$$40P1P = 40P1p_{prim} \cdot p_S = -468 * 0,77 \cdot 10^{-6} = -361,1 \text{ [VAr]}. \quad (6-11)$$



Obr. 6-4 Nastavení Zone 1 ochrany ztráty buzení SEL 400G [14]

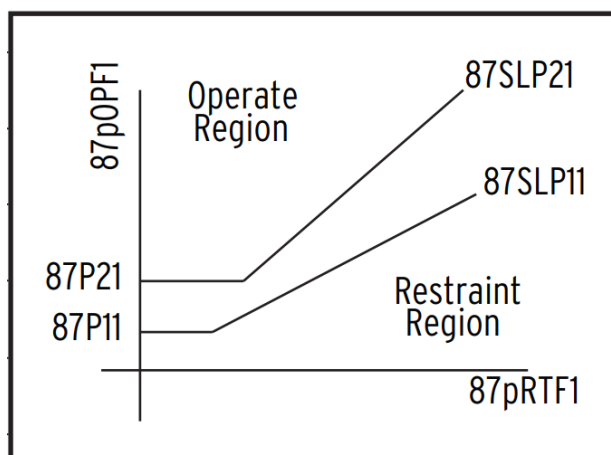
6.3 Rozdílová ochrana 1AT-F302

Rozdílová ochrana 1AT-F301 je 1. záložní ochrana při zkratu v transformátoru a přípojnicích 24 kV. Tato ochrana je zapojena jako třífázová na PTP 1AT-TA4 na straně 400 kV, 1AQ-TA10 v odbočce 24 kV na transformátory vlastní spotřeby a na 1AQ-TA1 na zapouzdřených vodičích ke generátoru. Zapojení ochrany je znázorněno na Obr. 6-5.



Obr. 6-5 Zapojení rozdílové ochrany 1AT-F302

Princip funkčnosti rozdílové ochrany je pro všechny typy shodný, ale nastavení a samotný výpočet rozdílové ochrany je závislý na výrobci elektrické ochrany, na typu chráněného zařízení a na napěťové hladině. V kapitole 2.3.1 je popsán obecný princip rozdílové ochrany. Výpočet v této kapitole je proveden pro výrobce SEL na typ ochrany 400G. Tento typ ochrany má dvě křivky, kdy každá z křivek má jeden lomový bod. Parametry, kterými se nastavují křivky, jsou zobrazeny na Obr. 6-6.



Obr. 6-6 Charakteristika rozdílové ochrany SEL 400G [14]

Na svislé ose jsou vyneseny hodnoty $87pOPF1$, což je diferenciální proud, který se vypočítá dle vztahu

$$87pOPF1 = |\sum_m 87pmF1| [-], \quad (6-12)$$

kde člen $87pmF1$ je normalizovaná hodnota proudu fáze p a vstupního terminálu m . Hodnoty p dosahují hodnot A, B a C a hodnoty m můžeme označit, jako proudy PTP pro tuto ochranu. Jelikož jde o ochranu trojbodovou, hodnoty m můžeme označit jako TA4, TA10 a TA1 dle zapojených PTP na Obr. 6-5. Rovnici (6-12) můžeme upravit pro náš případ, pokud proudy naměřené jednotlivými PTP nazveme I_{TA4} , I_{TA10} a I_{TA1} a rovnici napíšeme pro fázi A:

$$87AOPF1 = \frac{|I_{TA4A} + I_{TA10A} + I_{TA1A}|}{I_n} [-], \quad (6-13)$$

kde I_n je jmenovitý proud transformátoru.

Vodorovná osa představuje blokovací proud označený $87pRTF1$, který je počítán dle vztahu

$$87pRTF1 = \sum_m |87pmF1| [-], \quad (6-14)$$

kde indexy m a p mají stejný význam jako výše a analogicky můžeme tuto rovnici upravit do tvaru pro náš konkrétní případ

$$87ARTF1 = \frac{|I_{TA4A}| + |I_{TA10A}| + |I_{TA1A}|}{I_n} [-]. \quad (6-15)$$

Z hlediska polarity proudu je kladná polarita pro všechny proudy tekoucí do chráněného zařízení. Dále je nutné brát v potaz proudový převod v důsledku převodu napěťového a hodinový úhel transformátoru. [12]

6.3.1 Natavení rozdílové ochrany

Z Obr. 6-6 lze vyčíst, že každou charakteristiku specifikují dvě hodnoty. Hodnoty 87P11 a 87P21 udávají hranici diferenciálního proudu a hodnoty 87SPL11 a 87SLP21 udávají sklon charakteristiky, která prochází nulou. V této kapitole budou popsány výpočty těchto parametrů pro rozdílovou ochranu SEL 400G. V kapitole 6.3.2 je vysvětleno, kterou ze dvou charakteristik ochrana využívá pro vyhodnocení poruchy.

Pro výpočet hranice diferenciálního proudu je využita rovnice vycházející z manuálu výrobce:

$$87P11 = \frac{0,20 * I_{PTP_sek}}{TAP} [-] [12], \quad (6-16)$$

kde I_{PTP_sek} je jmenovitý proud PTP v Ampérech, který je v tomto případě roven 5 A a člen TAP je faktor měřítka PTP, který kompenzuje nepřesnost měření PTP a zpřesňuje tak výpočet.

TAP faktor se vypočítá dle rovnice

$$TAP = \frac{S_n \cdot 1000 \cdot C}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot CTR} [A] [17], \quad (6-17)$$

kde S_n je výkon transformátoru v MVA, C je konstanta rovná 1, pokud je měřící PTP zapojen do hvězdy, U_n je jmenovité napětí v kV a CTR je převod PTP roven 3000/5. Po dosazení do rovnic (6-16) a (6-17) získáváme následující výpočet

$$TAP = \frac{1200 \cdot 1000 \cdot 1}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot \frac{3000}{5}} = 2,75 [A] \quad (6-18)$$

a dále

$$87P11 = \frac{0,20 * 5}{2,75} = 0,36 [-]. \quad (6-19)$$

Toto je hodnota diferenciálního proudu v poměrných jednotkách pro první křivku ochrany. Dalším krokem pro kompletní výpočet první charakteristiky je výpočet sklonu křivky, pro který je nutné stanovit vliv případných odboček transformátoru. Jelikož blokový transformátor nedisponuje odbočkami, je možné dle manuálu výrobce stanovit procento sklonu koeficientem 87SLP11 = 20 %. Sklon druhé křivky 87SPL21 dle saturační faktoru PTP, kdy sklon musí být nejméně 90 %, nebo více v případě vlivu odboček transformátoru. Člen 87SLP21 tedy stanovují na 90 %. Graf s vypočítanými charakteristikami je zobrazen v Příloha F: [12]

Základní citlivost 87P1 pro 2. křivku bude nastaven s $k_{bmin} = 2,0$ na hodnotu 0,8.

6.3.2 Přepínání charakteristik rozdílové ochrany

Předchozí kapitola představuje výpočty pro dvě charakteristiky rozdílové ochrany. V této kapitole je představena logika a způsoby, kterými si ochrana volí, jakou charakteristiku používá. Během normálního provozu je aktivní první, tedy citlivější charakteristika.

Samotná ochrana má zabudovanou funkci rozpoznávání vnějších zkratů, která mimo jiné detekuje přítomnost druhé harmonické během vnějších zkratů. V tomto případě ochrana aktivuje druhou méně citlivou charakteristiku a zamezí tak nadbytečnému působení při zkratech mimo chráněnou oblast. Tato vnější porucha musí být detekována jinou hlavní nebo záložní ochranou.

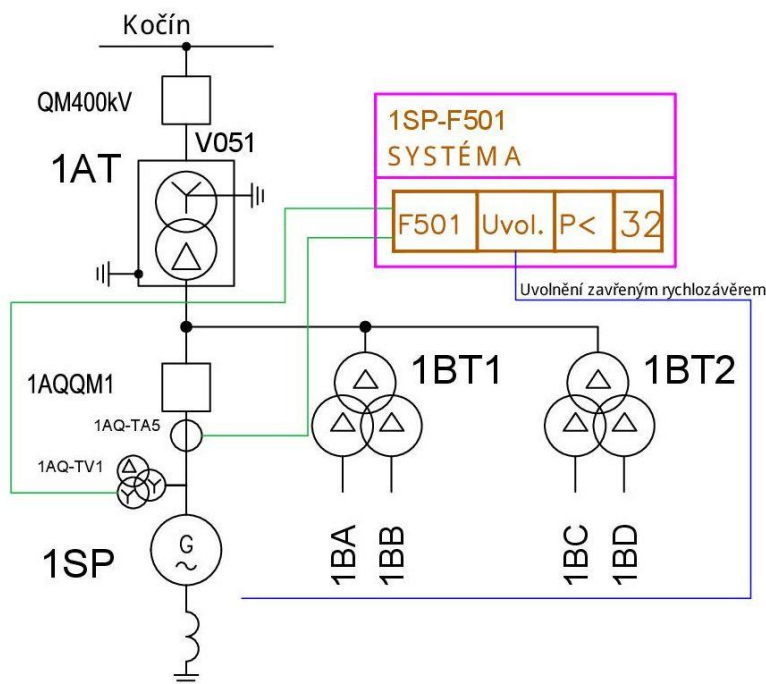
Dalším případem, kdy je méně citlivá charakteristika přepnuta je zapínání blokové linky sousedního reaktorového bloku (2. HVB) k přenosové soustavě, který je připojen svojí samostatnou blokovou do rozvodny Kočín. Schéma vyvedení výkonu obou HVB jsou analogická. V tomto případě může ochrana při zapínání sousedního blokového transformátoru falešně detekovat rozdílový proud a nadbytečně odstavit blok z provozu. V případě zapínání vypínače v rozvodně Kočín sousedního reaktorového bloku je do systému ochrany přiveden signál o tomto zapnutí a provedeno přepnutí charakteristiky. Tento signál je zobrazen na Obr. 6-5.

6.4 Zpětná wattová ochrana 1SP-F501

Zpětná wattová ochrana slouží k vypnutí generátoru 1250 MVA při zpětném toku činného výkonu, tedy při odběru energie ze sítě. Soustrojí turbíny a generátoru má mechanické ztráty, které při provozu pokrývá výkon turbíny. Pokud výkon turbíny klesne a generátor je přifázován k síti, začne soustrojí pohánět, protože udržuje synchronní otáčky 3000 ot/min. Tento stav se nazývá motorický režim generátoru a je pro stroj nežádoucí.

Činný výkon ochrana počítá z naměřeného napětí a proudu generátoru. Proud měří pomocí PTP 1AQ-TA5 s převodem 27 000/5 A. Tento PTP je charakteristický vysokou třídou přesnosti, a to 0,2 %. Přesný transformátor je potřebný z důvodu veliké citlivosti ochrany, která vypíná při zpětném výkonu o velikosti několika procent jmenovitého výkonu. Napětí ochrana měří pomocí PTN 1AQ-TV1 s převodem 24 000/100 V. Na Obr. 6-7 je znázorněno zapojení ochrany na přístrojové transformátory.

Na Obr. 6-7 je také znázorněno uvolnění ochrany zavřeným stavem rychlozávěrných ventilů turbíny. Při poruše na hnacím turbosoustrojí zavírají strojní ochrany rychlozávěrné ventily, výkon turbíny prudce klesá, ale generátor není odpojen ze sítě kvůli nežádoucímu proběhnutí rotoru se zbytkovým výkonem v případě odpojení. Ochrana 1SP-F501 je určena pro vypnutí generátoru po odeznění všech přechodových jevů v tomto režimu, a proto je uvolněna zavřeným stavem rychlozávěrů. Zároveň je ochrana zpožděna o 4,0 s z důvodu odeznění všech přechodových jevů.



Obr. 6-7 Zapojení zpětné wattové ochrany 1SP-F501

6.4.1 Nastavení zpětné wattové ochrany 1SP-F501

Zpětná wattová ochrana musí působit až v případě, kdy na soustrojí generátoru 1250 MVA, budícího generátoru a parní turbíny odezní všechny přechodové jevy po zavření rychlozávěrných ventilů. Pokud by byl generátor odpojen před přechodem do motorového režimu, zbytková energie v parním soustrojí by generátor nebezpečně urychlila. Z tohoto důvodu je ochrana zpožděna na 4,0 s a je nastavena na výkon, který odpovídá ztrátám v soustrojí.

Zpětný výkon je dán velikostí mechanických ztrát a ventilačních ztrát, které jsou závislé na tlaku v turbíně. Pro tento účel bylo provedeno měření a při vakuu byl naměřen výkon $P_{mot} = -13$ MW v motorickém režimu. Zároveň je požadováno, aby ochrana působila s minimálním koeficientem citlivosti $k_{cmin} = 1,35$. Zpětná wattová ochrana je popsána v kapitole 2.3.3, kde je na Obr. 2-3 zobrazena charakteristika této ochrany terminálu SEL 400G. Můžeme vypočítat nastavení této ochrany v primárních jednotkách

$$32PPn_{prim} = \frac{P_{mot}}{k_{cmin}} = \frac{-13}{1,35} = -9,6 \text{ [MW]}. \quad (6-20)$$

Pro přepočítání do sekundárních hodnot je potřeba spočítat převod výkonu PT

$$p_s = \frac{S_{sek}}{S_{prim}} = \frac{U_{sek} \cdot I_{sek}}{U_{prim} \cdot I_{prim}} = \frac{100,5}{24\,000 \cdot 27\,000} = 7,7 \cdot 10^{-7} [-], \quad (6-21)$$

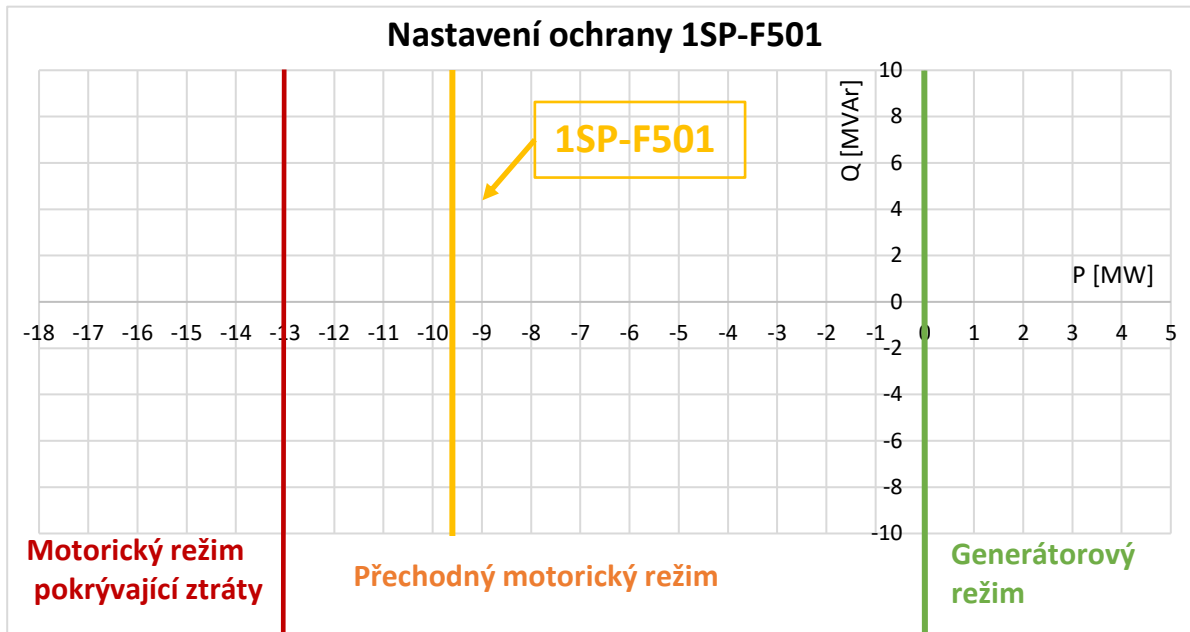
kde U_{prim} a U_{sek} jsou hodnoty napětí převodu PTN 1AQ-TV1 a

I_{prim} a I_{sek} jsou hodnoty proudů převodu PTP AT-TA5.

Pomocí předchozích výsledků je možné spočítat sekundární nastavení zpětné wattové ochrany 1SP-F501

$$32PPn = 32PPn_{\text{prim}} \cdot p_s = -9,6 \cdot 10^6 \cdot 7,7 \cdot 10^{-7} = -7,41 \text{ [W]}. \quad (6-22)$$

Primární nastavení ochrany je zobrazeno na následujícím grafu.

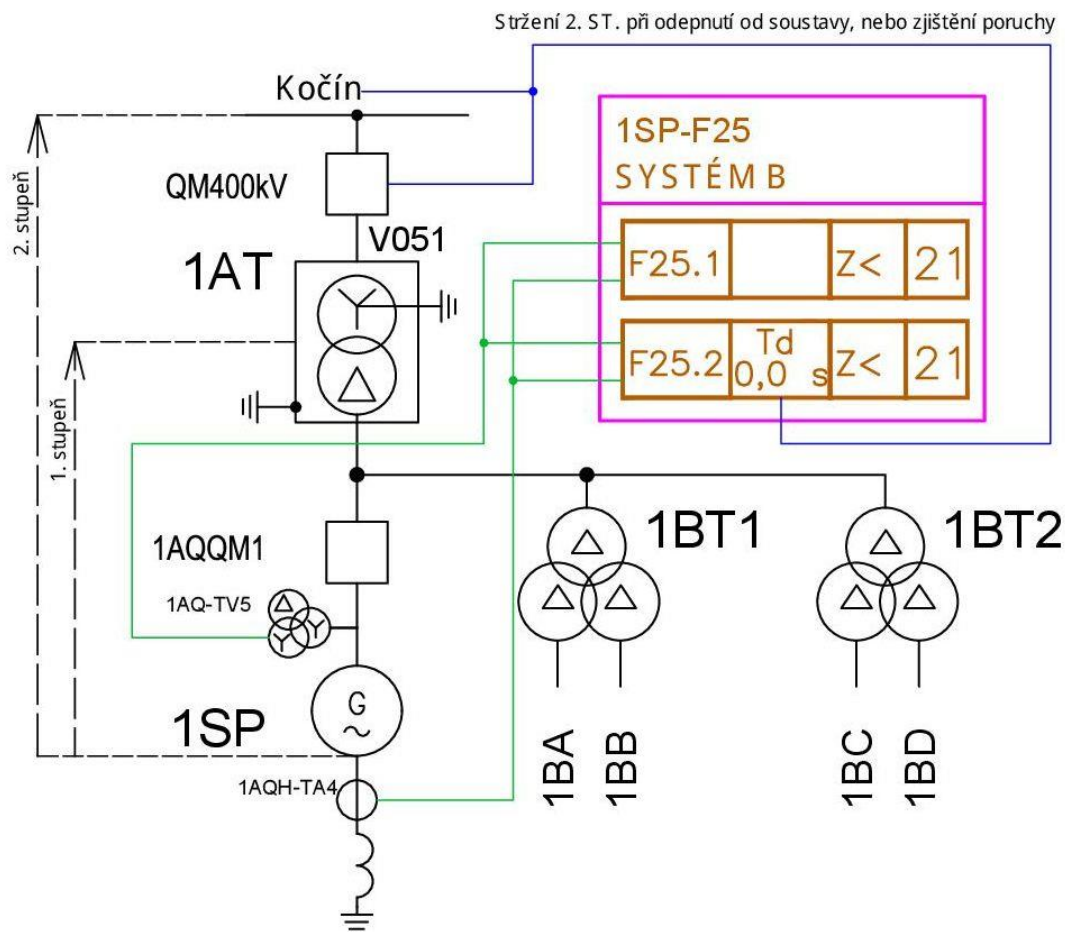


Obr. 6-8 Charakteristika ochrany 1SP-F501

6.5 Impedanční ochrana 1SP-F25

Impedanční ochrana generátoru slouží, jako záložní ochrana v případě zkratu generátoru, blokového transformátoru, přípojnicích 24 kV a na blokové lince ZVN. Proud měří z PTP 1AQH-TA4, který je umístěn mezi generátorem a uzlem. Převod tohoto transformátoru je 27000/5 A. Napětí je měřeno pomocí PTN 1AQ-TV5, který je umístěn mezi generátorem a generátorovým vypínačem. Převod tohoto transformátoru je 24000/100 V, který je na primární a zároveň na sekundární straně zapojen do hvězdy.

Impedanční neboli distanční ochrana měří pomocí proudu a napětí impedanci elektrické sítě. V případě běžného provozu sítě je naměřená impedance vysoká. V případě zkratu dojde k vodivému spojení v místě poruchy a impedance od bodu měření k místu poruchy vytváří pouze stroje, kabely a vedení nacházející se mezi těmito místy. Velikostí naměřené impedance je tak ochrana schopna identifikovat místo zkratu. Díky tomu můžeme ochranu 1SP-F25 rozdělit do dvou stupňů, které lze nastavit podle parametrů zobrazených na Obr. 6-10. Kompletní zapojení ochrany je zobrazeno na Obr. 6-9.



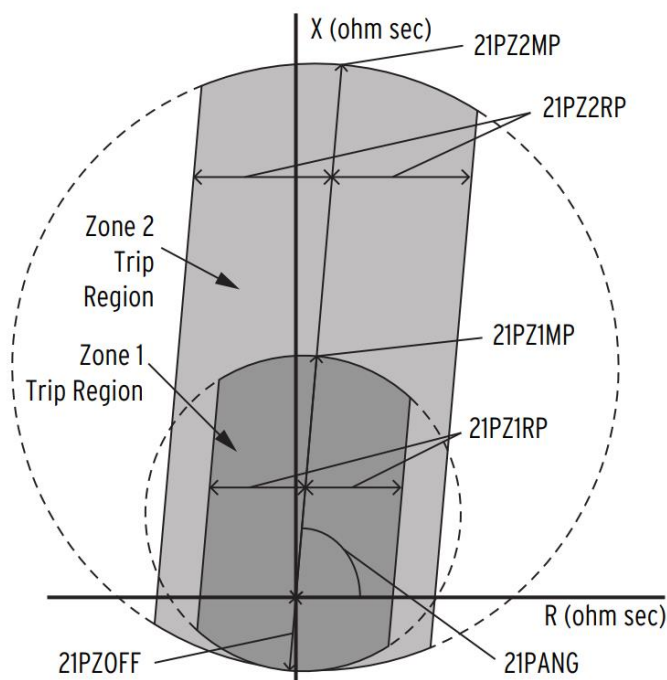
Obr. 6-9 Zapojení impedanční ochrany 1SP-F25

6.5.1 Nastavení impedanční ochrany

První stupeň této ochrany bude nastaven na vypínání zkratů v generátoru a do 50 % reaktance blokového transformátoru. Hodnota 50 % je vybrána z důvodu zajištění selektivity při zkratech na blokové lince. Zároveň se tímto nastavením zajišťuje působení ochrany při zkratech na přípojnicích 24 kV. Jelikož je tato ochrana navržena jako záložní, její zpoždění je nastaveno na 0,6 s. Hlavní ochranou je rozdílová ochrana generátoru, která je velmi selektivní, protože chrání pouze oblast generátoru a vypíná pouze jeho vypínač. Působení rozdílové ochrany je mžikové, a proto volíme časový odstup 0,6 s.

Druhý stupeň je nastaven pro zjištění poruchy oblastí od nuly generátoru 1250 MVA až na konec blokové linky. Do vzdálenosti 50 % reaktance vinutí blokového transformátoru je krytý prvním stupněm a po konec blokové linky v rozvodně Kočín působí stupeň druhý. Jeho zpoždění je nastaveno na 1,5 s z důvodu zajištění časové selektivity s rozdílovou a impedanční ochranou blokové linky. Dále je toto zpoždění takto nastaveno pro případ zkratu přímo v rozvodně Kočín, kdy příliš rychlé působení tohoto stupně by bylo nežádoucí a blok by nadbytečně odstavila.

Časové zpoždění druhého stupně je strženo na mžikové působení v době, kdy je blok odpojen od rozvodny Kočín vypínačem 400 kV v této rozvodně. Dále je stržen při působení elektrických ochran blokové linky. V těchto případech není nutné zajištění časové selektivity, protože se jedná o režimy, kdy dochází k odstavení bloku.



Obr. 6-10 Parametrizace impedanční ochrany SEL 400G [12]

Na Obr. 6-10 můžeme vidět nastavení impedanční ochrany výrobce SEL v terminálu 400G. Pro náš případ je nutné vypočítat několik parametrů pro správné nastavení této ochrany. Prvním parametrem jsou hodnoty 21PZ1MP a 21PZ2MP. Jedná se o hodnoty impedancí, podle kterých se určuje poloměr kružnic jednotlivých zón. Pro určení poloměru je třeba znát ještě 21PZOFF. Jedná se o velikost zpětné impedance a v našem případě půjde o hodnotu impedance generátoru. Posledním důležitým parametrem je určení sklonu přímek určující dopředné impedance 21PANG. Tento sklon lze určit výpočtem celkové impedance transformátoru a vedení a její zanesení do souřadnic X a R. Parametry 21PZ1RP a 21PZ2RP budou stanoveny na shodnou hodnotu jako reaktanční směry.

Pro výpočet nastavení 21PZ1MP prvního stupně je potřeba vypočítat impedanci blokového transformátoru, která se spočítá pomocí rovnice

$$Z_{\text{prim}} = \frac{U_n^2 \cdot u_k}{S_n} = \frac{24000^2 \cdot 0,14}{1200 \cdot 10^6} = 0,0672 \text{ } [\Omega], \quad (6-23)$$

kde U_n je jmenovité napětí na straně připojení ochrany, S_n je jmenovitý výkon a u_k je napětí nakrátko transformátoru. První stupeň má chránit zkrat do 50 % blokového transformátoru, proto je výslednou impedancí potřeba vydělit 2 a vyjde nám 0,0336 Ω .

Tato hodnota je v primárních jednotkách. Jelikož je ochrana připojena k sekundárním stranám přístrojových transformátorů, je nutné výslednou impedanci přepočítat na sekundární hodnoty pomocí převodu. Rovnice pro zjištění převodu impedance vychází z převodu transformátorů

$$p = \frac{Z_{\text{sek}}}{Z_{\text{prim}}} = \frac{U_{\text{sek}} \cdot I_{\text{prim}}}{I_{\text{sek}} \cdot U_{\text{prim}}} = \frac{\frac{100}{\sqrt{3}} \cdot 27000}{5 \cdot \frac{24000}{\sqrt{3}}} = 22,5 [-]. \quad (6-24)$$

Hodnotu 0,0336 Ω vynásobíme převodem a vyjde konečná velikost impedance pro první stupeň v sekundárních jednotkách 21PZ1MP = 0,7560 Ω .

Pro stanovení druhého stupně ochrany je třeba vypočítat celkovou impedanci transformátoru a blokové linky. Jelikož budu sčítat dvě impedance, je třeba impedanci transformátoru rozdělit na reaktanci a rezistanci. Rezistance transformátoru se vypočítá podle následujícího vzorce

$$R_t = \frac{p_k}{3 * \left(\frac{S_n}{U_n \cdot \sqrt{3}} \right)^2} = \frac{750 \cdot 10^3}{3 * \left(\frac{1200 \cdot 10^6}{24 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3}} \right)^2} = 0,0003 [\Omega], \quad (6-25)$$

kde p_k jsou ztráty nakrátko transformátoru.

Reaktance transformátoru se spočítá z impedance a rezistance

$$X_t = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{0,0672^2 - 0,0033^2} = 0,0672 [\Omega], \quad (6-26)$$

Reaktance a rezistance linky je rovna $X_l = 0,85 \Omega$ a linky $R_l = 0,06 \Omega$. Hodnoty linky je potřeba přepočítat na stranu 24 kV, kam je ochrana připojena. Převod blokového transformátoru je roven

$$p_{trf} = \frac{U_{n2}}{U_{n1}} = \frac{420}{24} = 17,5 [-], \quad (6-27)$$

kde U_{n1} je primární napětí ze strany ochrany a

U_{n2} je sekundární napětí ze strany ochrany.

Přepočet hodnot linky na stranu 24 kV tak vychází

$$X_{l_prim} = \frac{X_l}{p_{trf}^2} = \frac{0,85}{17,5^2} = 0,0028 [\Omega] \text{ a } R_{l_prim} = \frac{R_l}{p_{trf}^2} = \frac{0,06}{17,5^2} = 0,0002 [\Omega]. \quad (6-28)$$

Celkovou impedanci tak můžeme spočítat

$$Z_c = \sqrt{X_c^2 + R_c^2} = \sqrt{(X_{l_prim} + X_t)^2 + (R_{l_prim} + R_t)^2} = \sqrt{(0,0028 + 0,0672)^2 + (0,0002 + 0,0003)^2} = 0,0700 [\Omega]. \quad (6-29)$$

Vynásobením impedance Z_c převodem impedance p získáváme hodnotu $21PZ2MP = 1,575 \Omega$.

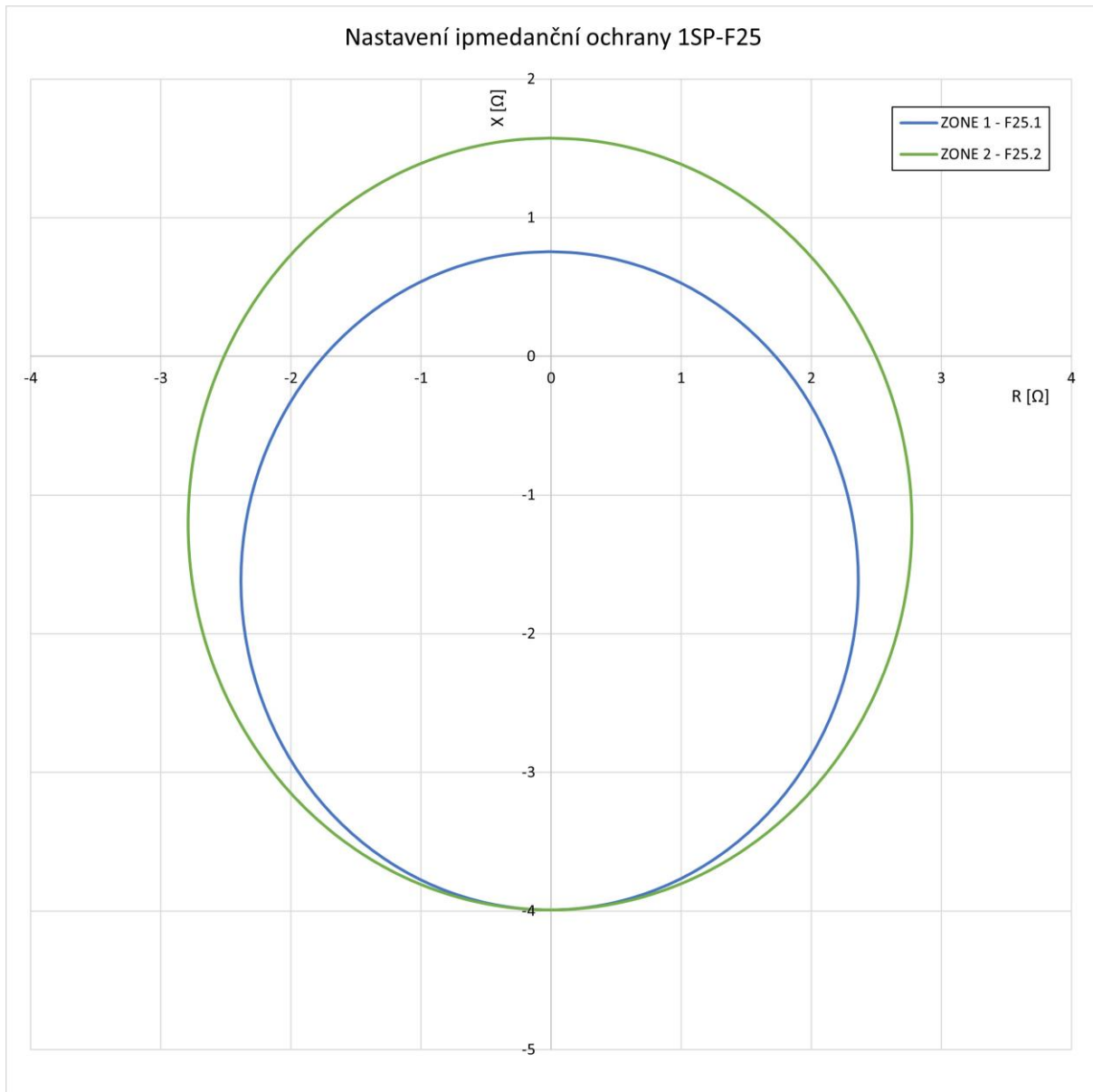
Úhel naklonění kružnic se spočítá

$$21PANG = \frac{\arctg\left(\frac{X_c}{R_c}\right) \cdot 180}{\pi} = 89,59^\circ. \quad (6-30)$$

Posledním parametrem, který je potřeba stanovit je $21PZOFF$, který se rovná přechodné reaktanci generátoru. Přechodná reaktance je stanovena v poměrných jednotkách $x'_d = 0,385$ p.j. Rovnice

$$X'_d = \frac{x'_d \cdot U_n^2}{S_n} = \frac{0,385 \cdot 24000^2}{1250 \cdot 10^6} = 1,774 [\Omega] \quad (6-31)$$

tuto hodnotu převádí na ohmy v primárních hodnotách. Následně tuto hodnotu převedeme pomocí převodu p na hodnoty sekundární a vychází hodnota $21PZOFF = 3,9917 \Omega$. Veškeré spočítané hodnoty vytvoří kružnice popisující impedanční ochranu a jsou zobrazeny na Obr. 6-11.



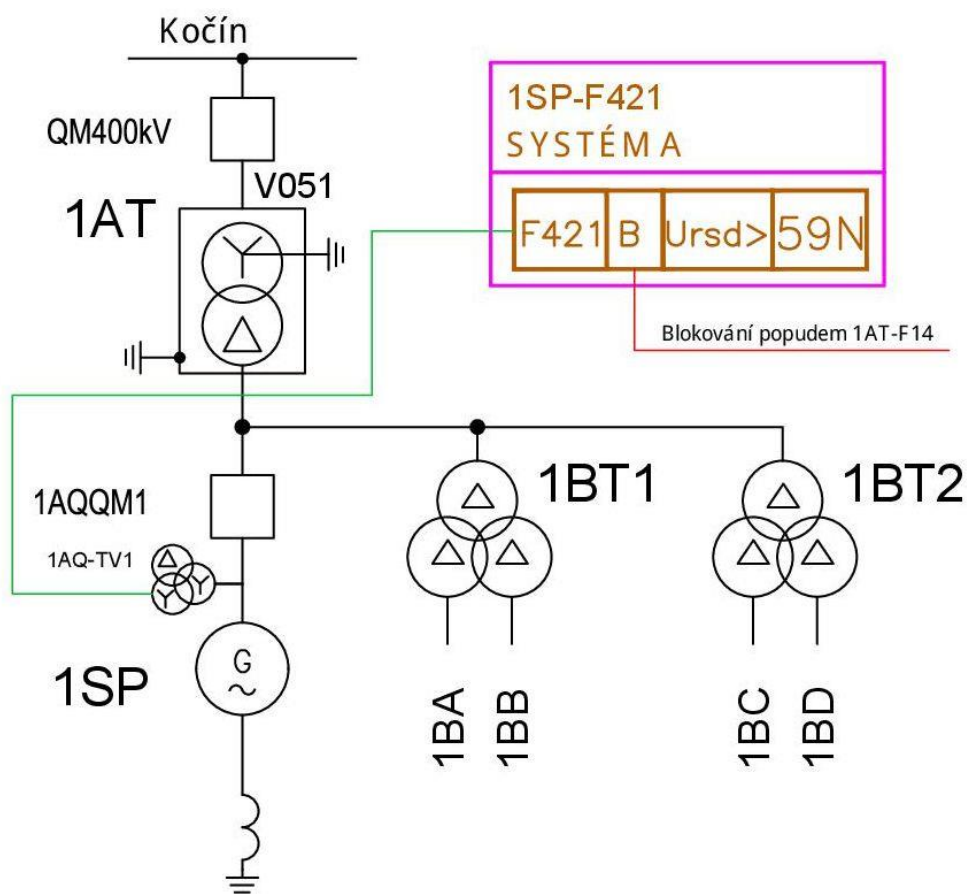
Obr. 6-11 Nastavení impedanční ochrany 1SP-F25

6.6 Zemní ochrana statoru 95 % 1SP-F421

Zemní ochrana statorového vinutí souží k chránění při zemním spojení na vinutí statoru generátoru. Během zemního spojení dochází k vodivému spojení jedné fáze se zemí. K této poruše dochází v soustavách s neúčinně uzemněným nebo izolovaným nulovým bodem.

Generátor 1250 MVA je neúčinně uzemněn přes zemnicí tlumivku s vysokou impedancí a jedná se tedy o soustavu IT.

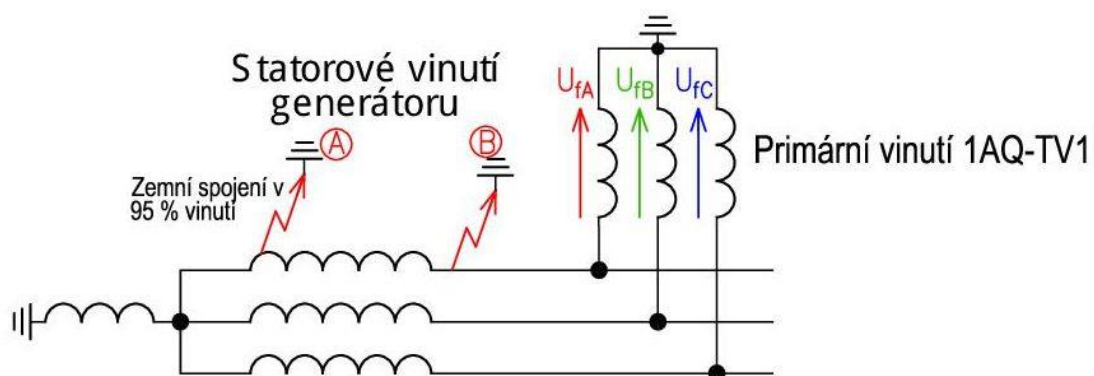
Ochrana je připojena k sekundárnímu vinutí zapojenému do hvězdy transformátoru 1AQ-TV1 s převodem 24000/100 V. Schéma zapojení ochrany včetně blokování popudem ochrany 1AT-F14 je na Obr. 6-12.



Obr. 6-12 Schéma zapojení ochrany 1SP-F421

Ochrana je blokována popudem transformátorové ochrany v nule 1AT-F14. Je to z toho důvodu, že při zemních poruchách v soustavě 400 kV, která je uzemněná (soustava TN), dochází k přenosu nulové složky napětí na hladinu 24 kV. Při tomto přenosu dochází k falešnému působení zemních ochrany založených na principu měření nulové složky napětí.

Ochrana měří napětí na všech fázích a počítá netočivou složku napětí pomocí rozložení napětí do složkových soustav. Pokud je systém bez poruchy, ideálně má zastoupení pouze sousledná složka a ostatní nejsou zastoupeny. Při vzniku zemní poruchy se napěťové poměry mění, což je popsáno v této kapitole. Na Obr. 6-13 jsou znázorněny dvě hraniční poruchy, na které musí ochrana reagovat a na nich lze přehledně vysvětlit, jak se napětí mění v závislosti na místě poruchy.



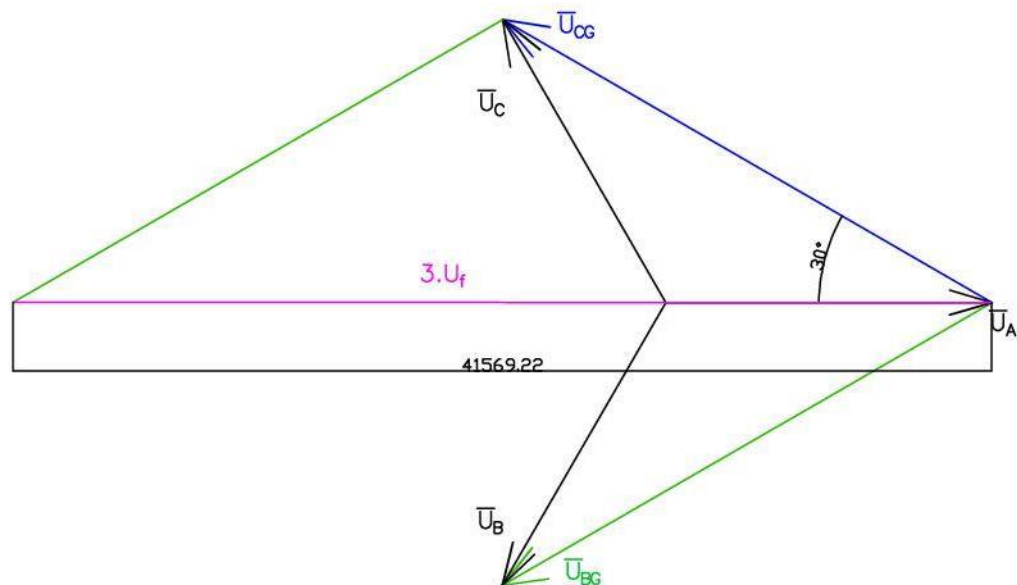
Obr. 6-13 Zemní poruchy ochrany 1SP-F421

První poruchou je zemní spojení na konci vinutí generátoru směrem k vypínači generátoru, což elektricky můžeme brát, jako zemní spojení v místě zapojení PTN. Na schématu je toto spojení označeno písmenem B. Při tomto zemním spojení ochrana napětí U_{fA} naměří rovno nule. Napětí U_{fB} a U_{fC} je rovno sdruženému napětí, která jsou v bezporuchovém stavu rovna hodnotě napětí fázovému. Na Obr. 6-14 je tato porucha zobrazena fázorově a ochrana na fázích B a C naměří napětí U_{BG} a U_{CG} .

Netočivá složka napěťové soustavy se počítá pomocí inverzní transformační matice, kde při vyjádření netočivé složky dostáváme

$$\overline{U}_0 = \frac{1}{3} \cdot (\overline{U}_A + \overline{U}_B + \overline{U}_C). \quad (6-32)$$

Tento výpočet je graficky proveden na Obr. 6-14 a při zemním spojení je v místě poruchy netočivá složka rovna napětí fázovému. V tomto případě je $U_0 = U_f = 13856,4$ V.



Obr. 6-14 Zemní spojení v místě B

6.6.1 Nastavení zemní ochrany

Pro nastavení zemní ochrany je nutné vypočítat netočivou složku napětí při zemním spojení v 95 % vinutí generátoru. Nastavení 95 % se volí z důvodu, aby nedocházelo k nadbytečnému odstavení generátoru v případě vzniku běžných provozních nesymetrií. Velikosti a směr fázorů při této poruše jsou znázorněny na Obr. 6-15. Tyrkysovou barvou je vyznačen grafický součet fázorů napětí a oranžovou fázor netočivé složky napětí.

Pro výpočet velikosti netočivé složky napětí jsou k dispozici dvě možnosti. První možnost představuje vypočítání úhlů a velikosti napětí pomocí goniometrických funkcí a přesné určení fázorů napětí. Následuje součet těchto fázorů a vyjádření netočivé složky.

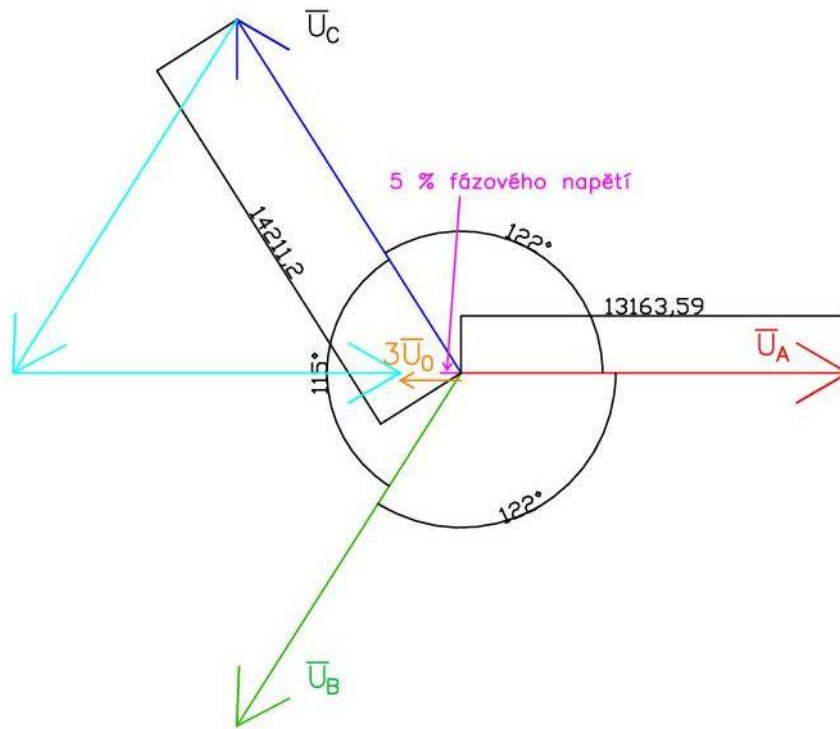
Jednodušší cestou je analyzovat velikost netočivé složky v závislosti na místě poruchy. Pokud je porucha u PTN, je $U_0 = 13856,4 \text{ V}$, což odpovídá fázovému napětí. Pokud by došlo k zemnímu spojení v uzlu, bude velikost netočivé složky blízká $U_0 = 0,0 \text{ V}$. Z geometrie je zřejmé, že netočivá složka má lineární závislost na místě poruchy

$$U_0 = 13856,4 \cdot \left(1 - \frac{x}{100}\right) [\text{V}], \quad (6-33)$$

kde proměnná x je místo poruchy vyjádřené v procentech. Po dosazení do této rovnice za x hodnotou 95 %, získáváme velikost netočivé složky napětí $U_0 = 692,82 \text{ V}$. Dále víme, že vektor netočivé složky má vždy opačný směr vůči vektoru napětí fáze, na které došlo k poruše.

Ochrana Je připojena na sekundární vinutí PTN, proto je nutné přepočítat primární napětí. Převod PTN 1AQ-TV1 je 24000/100 V, tudíž je potřeba primární hodnoty vydělit 240. Ochrana

bude nastavena na sekundární hodnotu netočivé složky při zemním spojení v 95 % vinutí
 $U_{0_set_sek} = 2,8868 \text{ V}$.



Obr. 6-15 Zemní spojení v místě A

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem elektrických ochran bloku pro jadernou elektrárnu typu VVER 1000. V úvodní kapitole je popsán princip funkce tohoto bloku. Následující kapitola se zabývá úvodem do teorie elektrických ochran, jejich vývojem a funkcemi. Je proveden popis elektrických poruch a jejich následky, které se ve vyvedení výkonu elektrárny vyskytují.

V další kapitole jsou představena zařízení sloužící pro výrobu a transport vyrobené energie. Jsou uvedeny jejich základní parametry nezbytné pro výpočet nastavení ochran. Následuje kapitola s návrhem systému elektrických ochran, jehož výsledkem je kompletní chránění výše zmíněných zařízení. Výsledkem je schéma zkratových ochran, které zobrazuje navázání a překryvy jednotlivých rozdílových ochran a jejich zálohování ochranami impedančními. Celková struktura chránění je zobrazena na jednopólovém schématu ochran, kde je zakresleno zapojení všech ochranných funkcí na jejich příslušné PT a rozdělení ochran do systémů.

Následuje výpočetní část práce, která se zabývá stanovením zkratových proudů, které se používají pro nastavení ochran.

Poslední částí je kapitola popisující návrh podrobného nastavení vybraných ochran. V rámci tohoto návrhu byly stanoveny charakteristiky ochran a jejich význačné body a hodnoty, které jsou využity pro nastavení ochranných funkcí. Dále jsou v této kapitole popsány logické algoritmy ochran, které slouží k blokování nebo změně působnosti ochran.

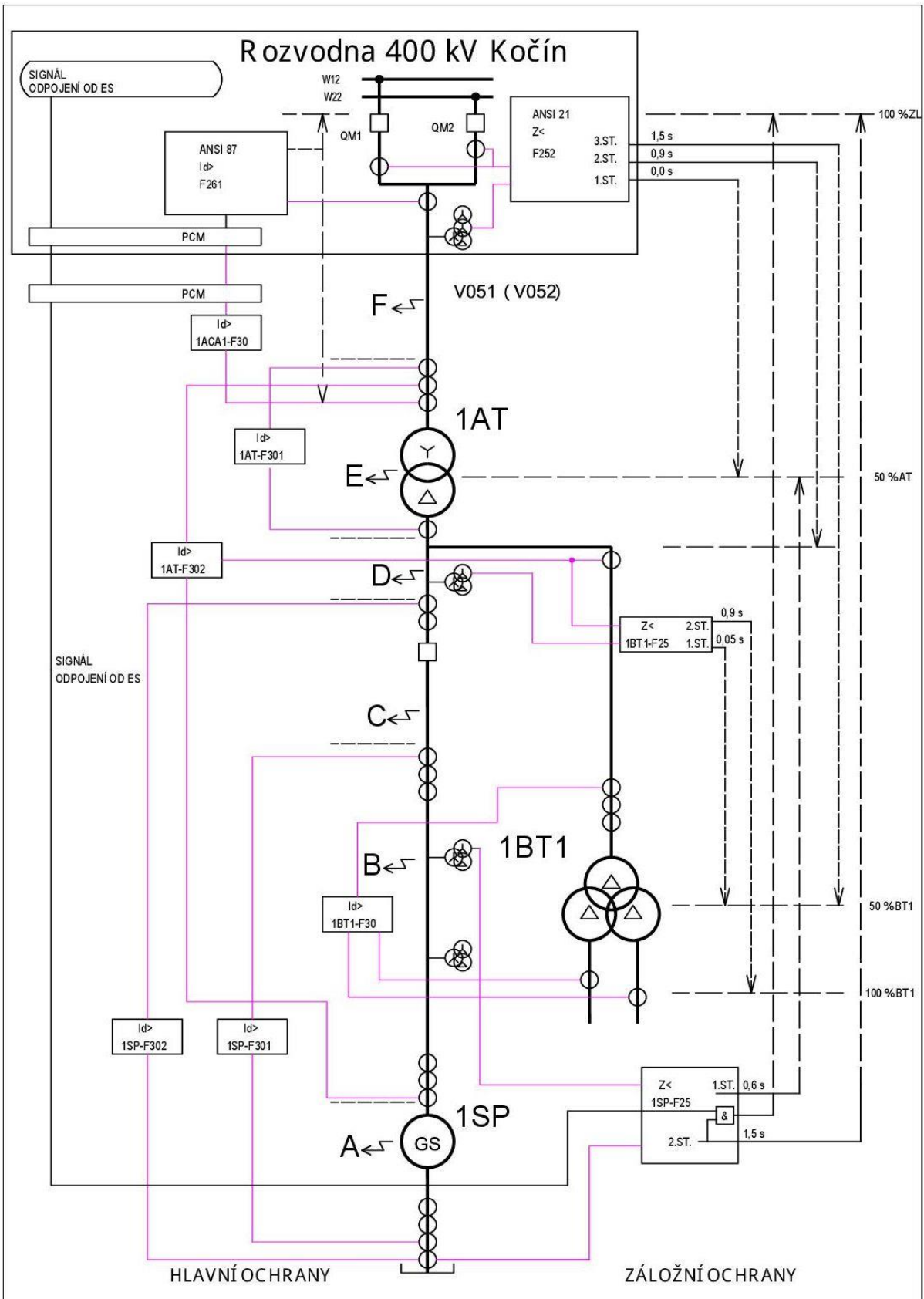
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VVER. Cs.wikipedia.org [online]. 2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER>
- [2] Jaderná elektrárna Temelín. www.cez.cz [online]. 2022 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/technologie-a-zabezpečeni-1>
- [3] BEČVÁŘ, Josef. Jaderné elektrárny. 2. oprav. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [4] GRYM, Rudolf. Chránění: Elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu. Havířov: IRIS, 2004. ISBN 9788090354005;8090354009;.
- [5] CHMELÍK, Karel. Chránění: Elektrická zařízení vysokého napětí. Havířov: IRIS, 2005. ISBN 809035405X;9788090354050;.
- [6] JANÍČEK, František. Digitální ochrany v elektrizační soustavě. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2135-2.
- [7] Christophe Prévé. Protection of Electrical Networks. Wiley-ISTE. July 2006. ISBN 978-1-905-20906-4
- [8] Jaderné elektrárny [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Jaderné%20elektrárny.pdf>
- [9] Český normalizační institut. ČSN 33 3051 Elektrotechnické předpisy: ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení = Protection equipment of electric machines and distribution switch gear.
- [10] SIPROTECT 5 Generator Protection 7UM85: V08.83 Manual. C53000-G5040-C027-A. 2021. Dostupné také z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742404/siprotec-5-7um85-generator-protection-manual?dti=0&lc=en-WW>
- [11] Stepped distance quadrilateral characteristic for all zones [online]. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/figure/Stepped-distance-quadrilateral-characteristic-for-all-zones_fig2_326804994
- [12] SEL-400G Advanced Generator Protection System: Instruction Manual. 20211203. Schweitzer Engineering Laboratories, 2021. Dostupné také z: <https://selinc.com/products/400G/docs/>
- [13] Synchronní stroje, Princip činnosti a konstrukce. Eluc.ikap.cz [online]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/791>
- [14] 1TS401 Systémový provozní předpis JE Temelín: PP Pro generátor - Vlastní zařízení včetně příslušenství.
- [15] 0TS402 Systémový provozní předpis JE Temelín: Provozní předpis pro transformátory - Blokové, odbočkové, rezervní, trafa 100kV ČSH, vzduchová trafa 6kV všech výkonů.
- [16] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ČSN EN 60909-0 ed. 2: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů. 2016
- [17] EDWARDS, Barker. Beyond the nameplate - Selecting transformer compensation settings for secure differential protection. IEEE, 2017. ISBN 978-1-5386-1581-2. ISSN 2474-9753.
- [18] PROCHÁZKA, Ing. J. Základní pojmy a požadavky na ochrany: Metodická příručka pro návrh a nastavení ochran. ÚJV Řež, a.s. - divize Energoprojekt, 2015.
- [19] Jaderné elektrárny: Princip činnosti JE. In: Www.maturitka.cz [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.maturitka.cz/en-ustni-16.php>

PŘÍLOHA A: SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

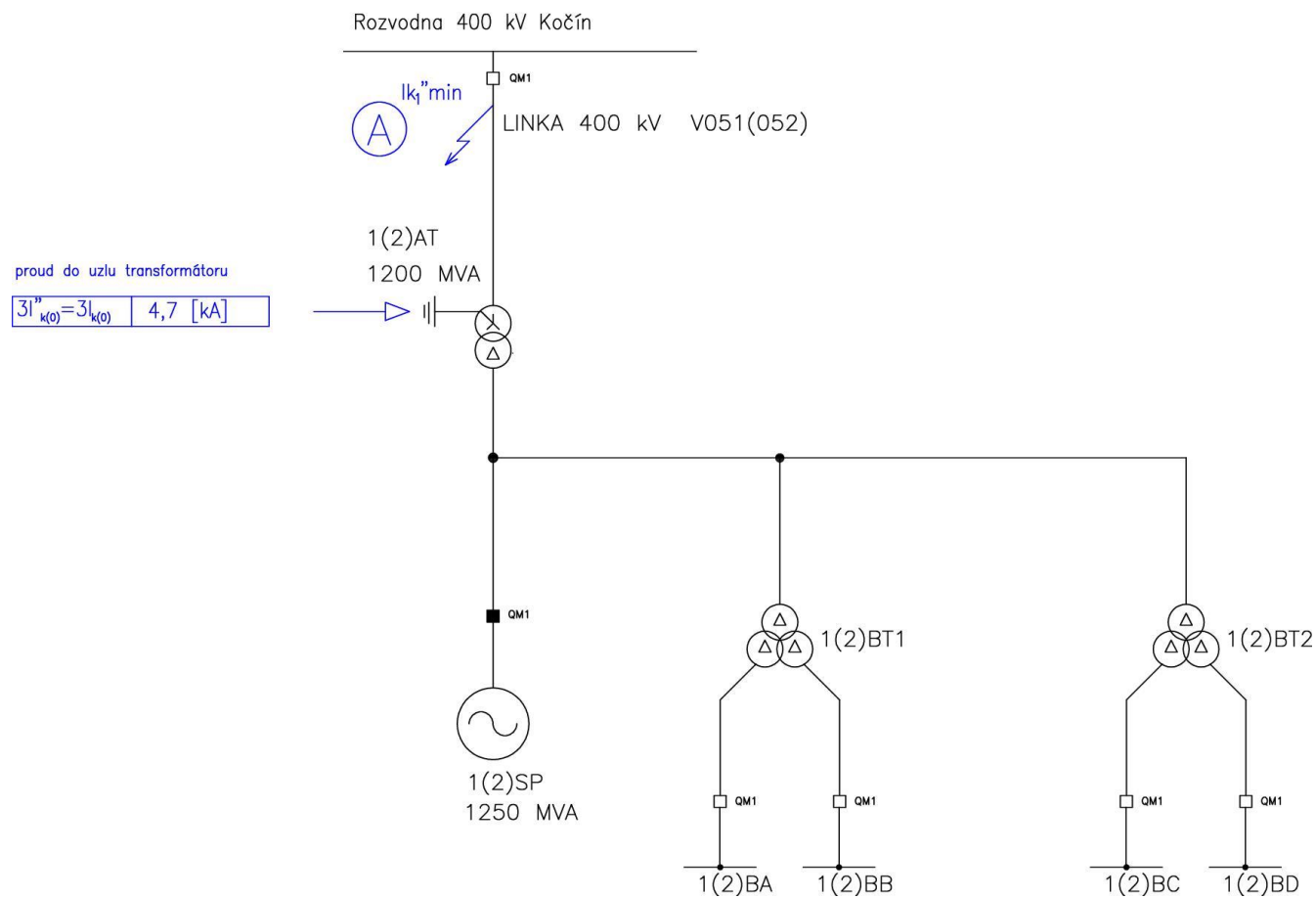
JE	Jaderná elektrárna
HVB	Hlavní výrobní blok
TG	Turbogenerátor 1250 MVA
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvláště vysoké napětí
HMP	Hlídač meze podbuzení
PT	Přístrojový transformátor
PTP	Přístrojový transformátor proudu
PTN	Přístrojový transformátor napětí
SJZ	Systém jednotného značení

PŘÍLOHA B: SCHÉMA ZKRATOVÝCH OCHRAN

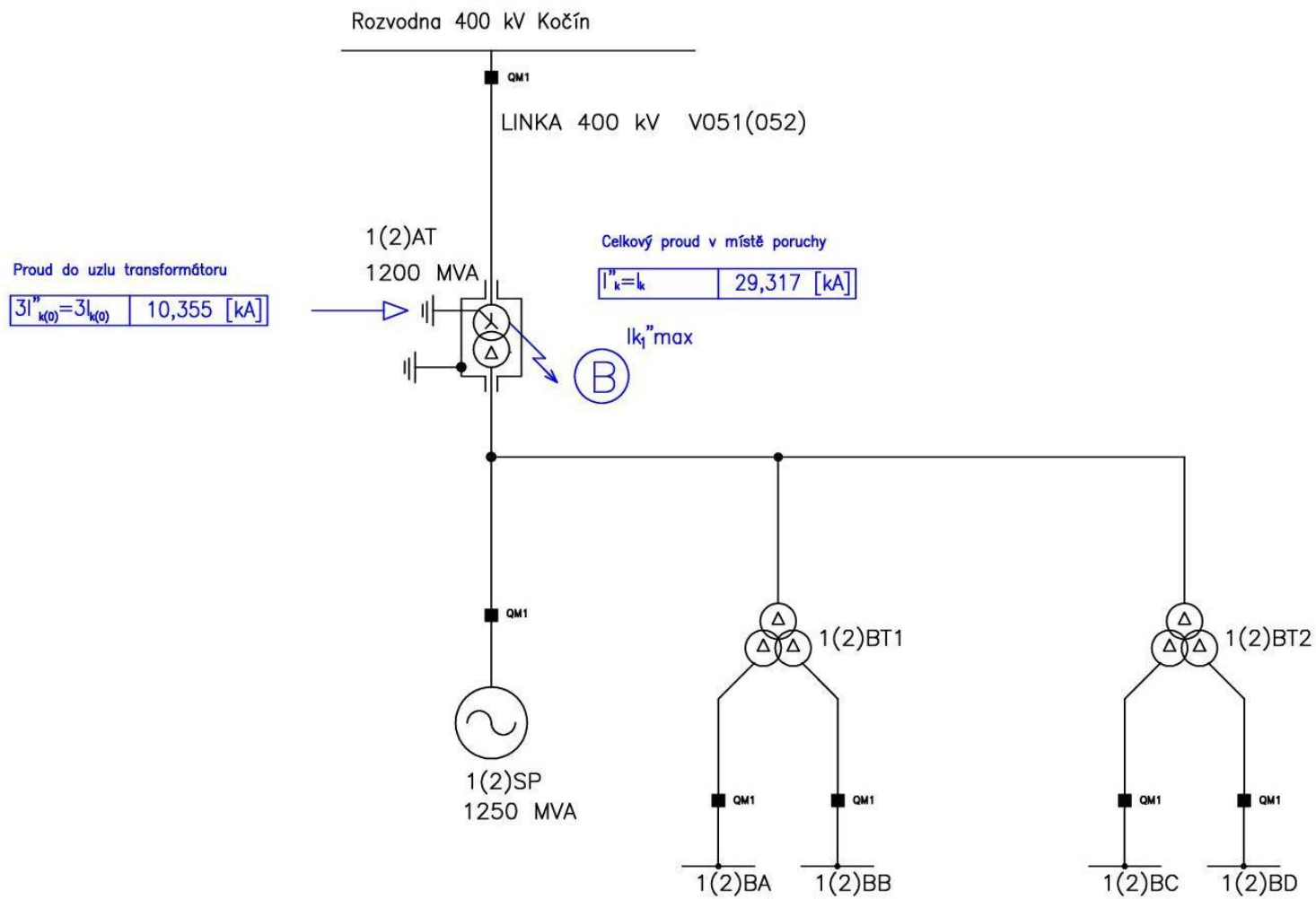


PŘÍLOHA C: ZKRATOVÉ VÝPOČTY

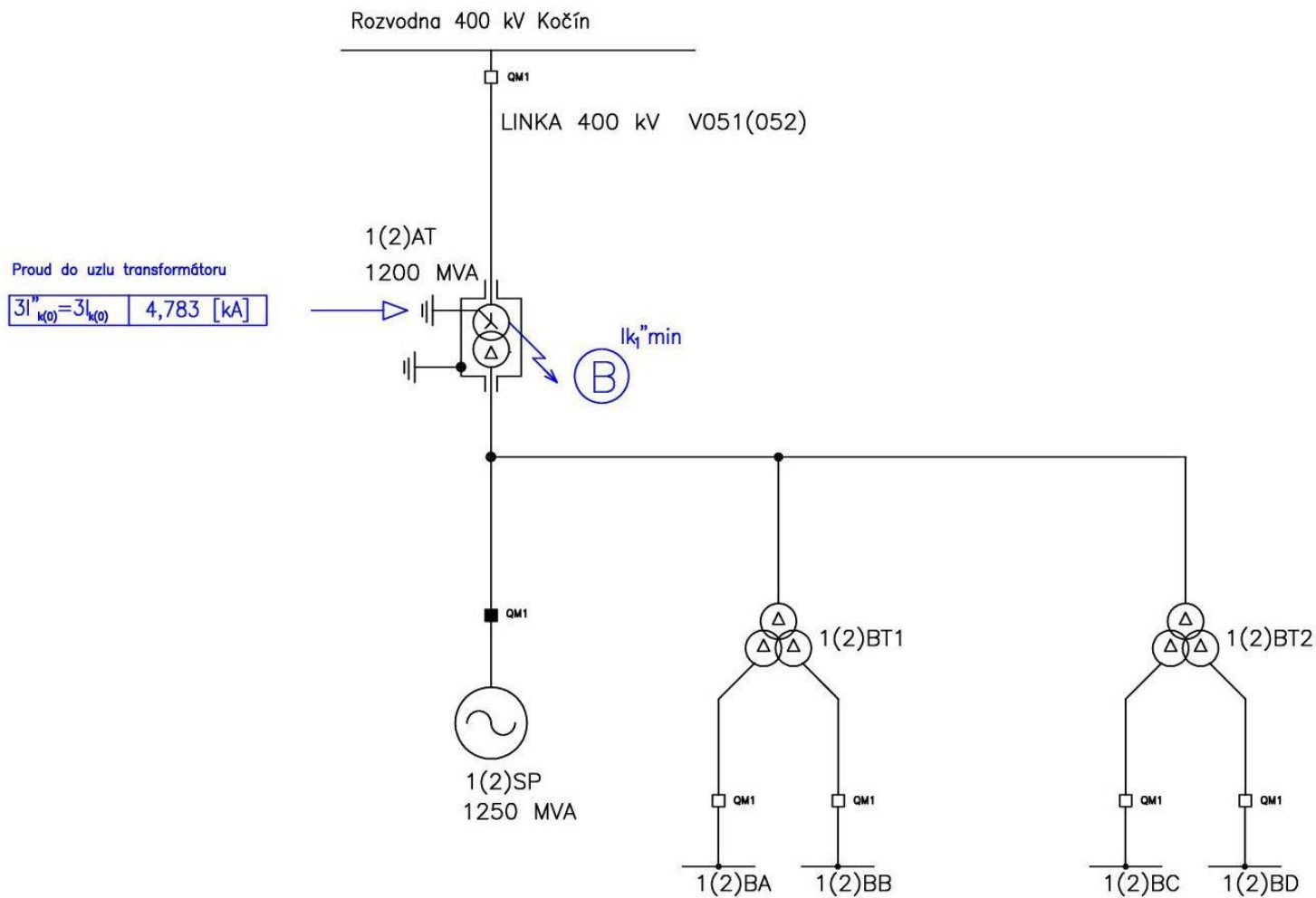
C.1 Minimální jednofázový zkrat v místě A



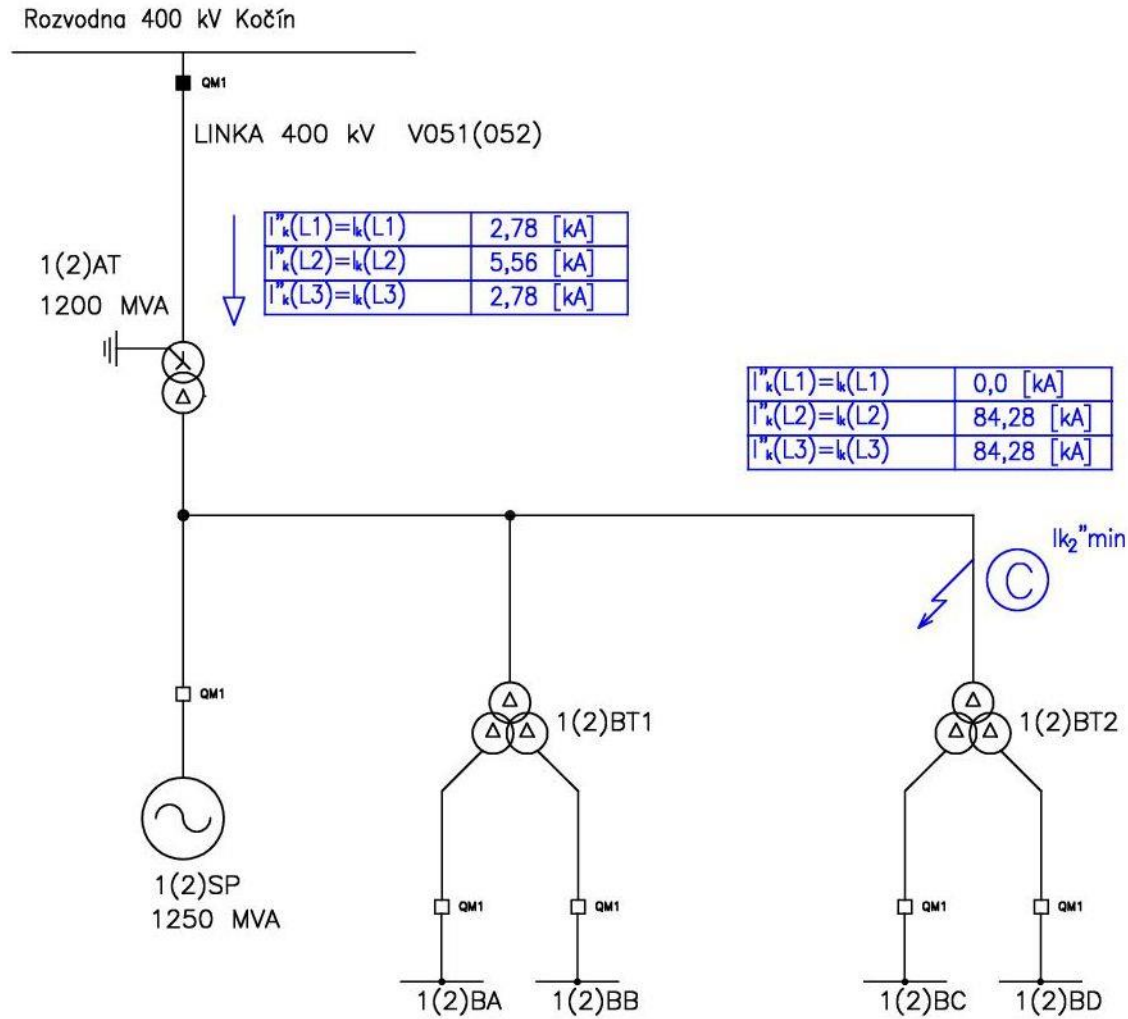
C.2 Maximální jednofázový zkrat v místě B



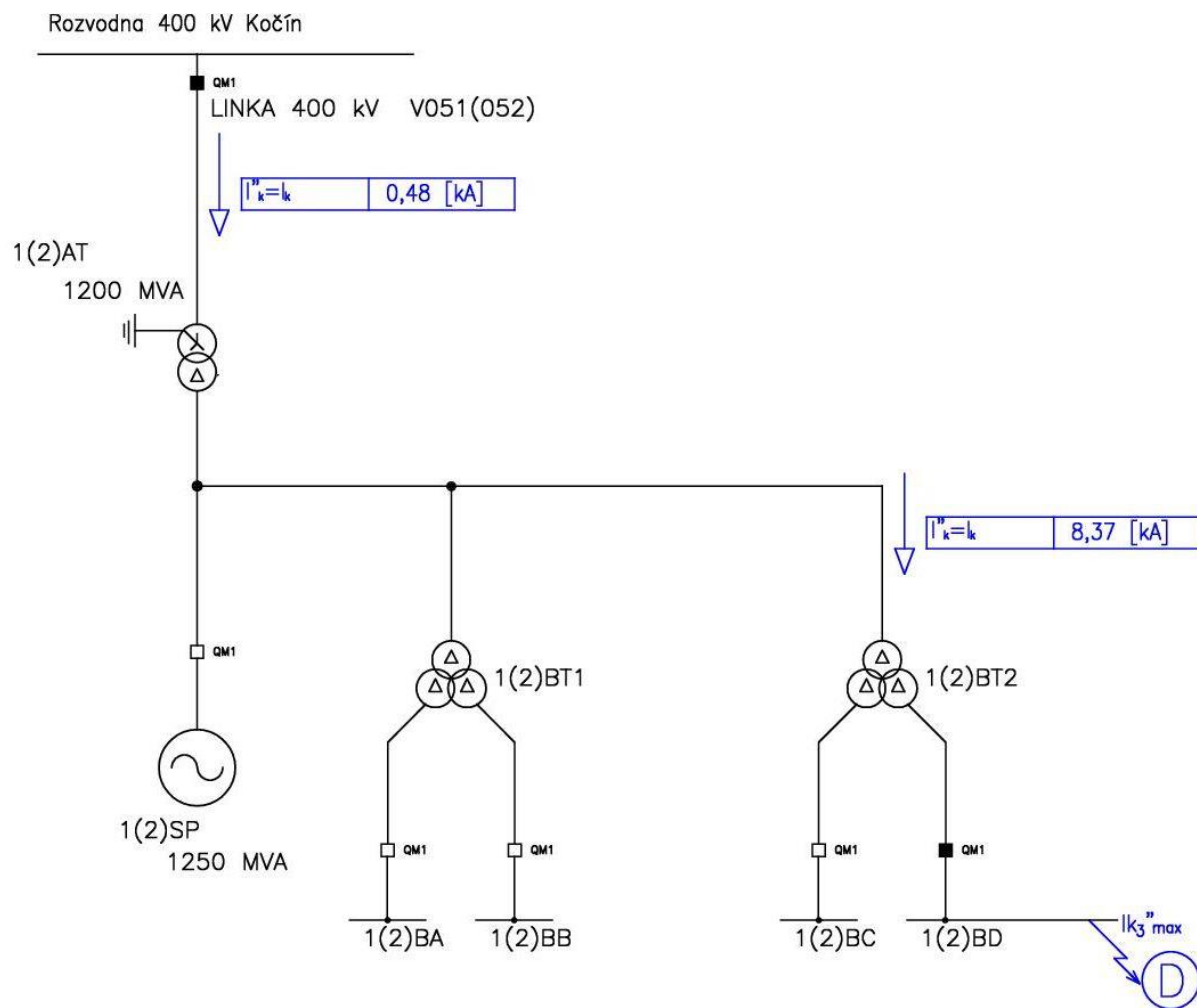
C.3 Minimální jednofázový zkrat v místě B



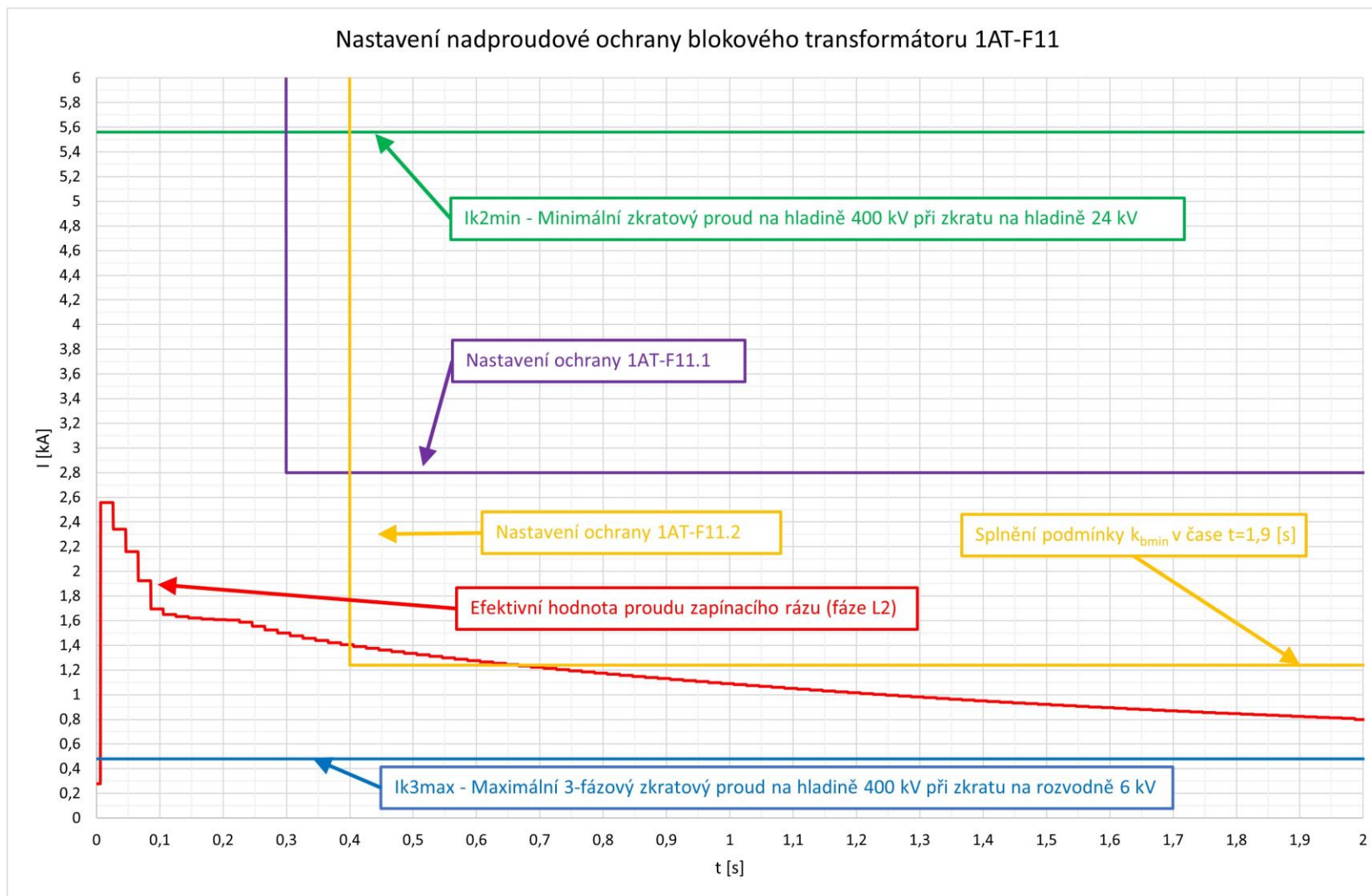
C.4 Minimální dvoufázový zkrat v místě C



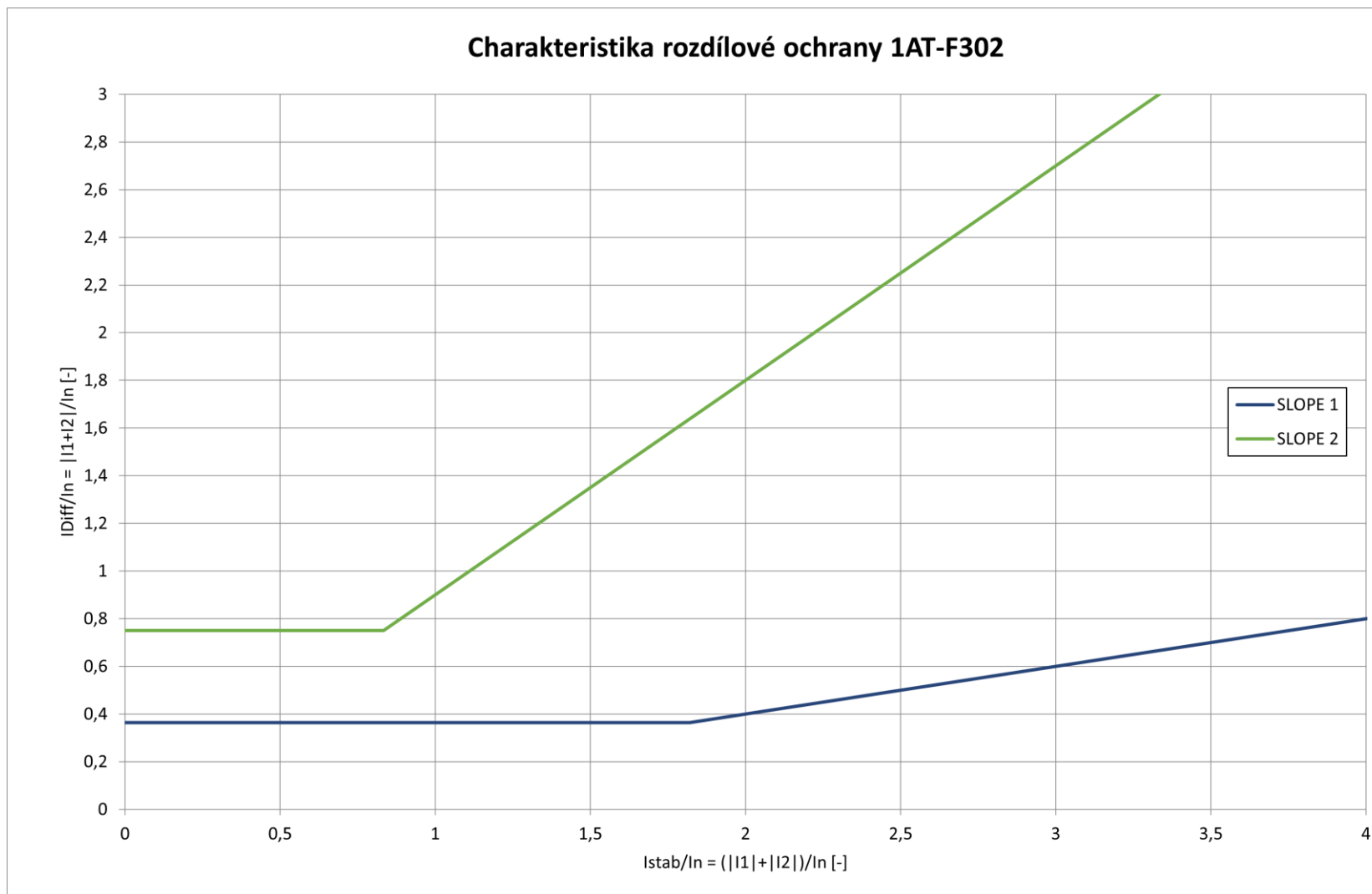
C.5 Maximální třífázový zkrat v místě D



PŘÍLOHA D: NASTAVENÍ NADPROUDOVÉ OCHRANY 1AT-F11



PŘÍLOHA F: CHARAKTERISTIKA ROZDÍLOVÉ OCHRANY 1AT-F302



PŘÍLOHA G: JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA OCHRAN

Jednopólové schéma ochran je dodáno k diplomové práci ve formátu A1.

