

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta Elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Studijní program: Elektrotechnika, energetika, management

Obor: Aplikovaná Elektrotechnika



Kontrola přístrojového vybavení 6kV rozvoden VS
z hlediska zkratové odolnosti

Checking of devices 6 kV switching station of power
station internal consumption with respect of short-
circuit resistance

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Michal Fenzel

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Bouček

Rok: 2015

České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Michal Fenzel**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Kontrola přístrojového vybavení 6kV rozvodn VS z hlediska zkratové odolnosti**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište EMĚ I včetně uvedení parametrů základních komponent a elektrického schéma.
- 2) Uveďte soupisy elektrických pohonů a transformátorů a jejich základních provozních parametrů pro jednotlivé VN rozvodny VS.
- 3) Pro základní provozní stavy vypočtete zkratové poměry v rozvodnách VS a SVS. 4) Na základě vypočtených hodnot proveďte kontrolu spínacích přístrojů instalovaných v rozvaděčích VS.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN 38 1120. Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren. ČNI, 1993.
- [2] Dočekal A., Bouček S.. Elektrárny II; ČVUT FEL, Praha 1995, ISBN 978-800-1012-796.
- [3] ČSN 381754. Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1974.
- [4] ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů, Český normalizační institut, 2002.

Vedoucí: Ing. Stanislav Bouček

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

Prohlášení:

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

V Praze dne

.....

Michal Fenzel

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Stanislavovy Boučkovy za cenné připomínky, jeho trpělivost a ochotu při vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl tímto poděkovat společnosti Energotrans a.s. za umožnění práce na této práci.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá elektrárnou Mělník 1, zvláště pak spínacími prvky v rozvodnách vlastní spotřeby a společné vlastní spotřeby, z hlediska jejich schopnosti vypínat zkratové proudy.

V první části se práce zabývá popisem elektrárny Mělník 1 (EMĚ 1), jejich prvků se zaměřením na cestu páry a vody.

V druhé části se práce zaměřuje na vlastní spotřebu (VS) a společnou vlastní spotřebu (SVS). Popisují se v ní jednotlivé rozvodny VS, jejich odběry a podobně. Také se v ní popisují transformátory a další prvky umístěnými mezi rozvodnami (jako například reaktory)

V třetí části se práce zabývá zkraty (hlavně trojfázovým), způsoby výpočtu velikosti zkratových proudů a výpočtu poměrných reaktancí pro prvky nacházející se v VS EMĚ 1. Ke konci této části se nacházejí výpočty velikosti zkratových proudů pro rozvodny VS a SVS pro různé napájení.

V poslední části práce porovnává vypočtené velikosti zkratových proudů s hodnotami zkratových proudů, které dokáží vypínače bezpečně vypnout.

Klíčová slova:

Elektrárna Mělník 1, zkrat, trojfázový zkrat, poměrná reaktance, nárazový zkratový proud, spínací prvky, počáteční souměrný rázový zkratový proud, výpočet zkratových proudů.

Abstract:

This thesis is focused on power plant Mělník 1, especially on switching devices in substation own consumption and shared own consumption, from the prospective being able to switch off short-circuit currents.

In the first part is thesis focused on description power plant Mělník 1 (EMĚ 1), their parts whit focus on way steam and water.

In the second part is thesis focused on own consumption (OC) and shared own consumption (SOC). Thesis describes individually substations OC, their motors etc. Also describes transformers and other parts between substations (such as reactors).

The third part is focused on short circuit (especially three-phase), ways of calculating the size of the short-circuit currents and calculation of the relative reactance for the parts in OC EMĚ 1. At the end of this part are calculations of the size of short circuit currents for substations OC and SOC with different the power supply.

In the last part thesis compares calculated size of short circuit currents with the size short circuit currents, which switching devices are able safely switch off.

Key worlds:

Power plant Mělník 1, short circuit, three-phase short circuit, the relative reactance, peak short circuit current, initial short circuit current, short circuit calculation

Obsah

Obsah.....	5
Úvod.....	8
1. Elektrárna Mělník 1.....	9
1.1 O EMĚ	9
1.2 Okruh páry EMĚ 1.....	9
1.2.1 Blokové schéma cesty páry a vody.....	10
1.3 Kotle.....	10
1.4 Palivo.....	11
1.5 Kouřové plyny.....	12
1.6 Elektrostatický odlučovač.....	12
1.7 Odpopílkování.....	12
1.8 Napájecí voda.....	13
1.8.1 Napájecí nádrž.....	13
1.9 Vysokotlaké ohříváky – VTO.....	13
1.10 Ohříváky vody - EKO (ekonomizéry).....	13
1.10.1 Ohřívák vody č. 1 - EKO 1.....	14
1.10.2 Ohřívák vody č. 2 - EKO 2.....	14
1.11 Varný systém.....	14
1.11.1 Buben.....	14
1.11.2 Odkal bubnu.....	15
1.11.3 Odluh.....	15
1.12 Přehříváky.....	15
1.13 Expandéry.....	15
1.14 Protitlaké turbíny 1 a 2.....	16
1.15 Nízkotlaká regenerace NTO turbín 1 a 2.....	16
1.16 Odběrové turbíny 3 a 4.....	16
1.17 Nízkotlaká regenerace NTO pro turbíny 3 a 4.....	16
1.18 Kondenzační turbíny 5 a 6.....	17
1.19 Alternátor.....	17
1.20 Ohřev topné vody.....	17
1.20.1 Topný okruh Mělník/Horní Počaply.....	17
1.20.2 Topný okruh Praha.....	17
2. Vlastní spotřeba EMĚ 1.....	18
2.1 Popis prvků vlastní spotřeby.....	19
2.1.1 Alternátory.....	19
2.1.2 Blokové transformátory.....	20
2.1.3 Transformátory pro napájení VS.....	22

2.1.4	Záskokový regulační transformátor.....	24
2.1.5	Transformátory pro rozvodny R0,4.....	24
2.1.6	Rozvodny vlastní spotřeby.....	26
2.2	Popis rozveden a jejich odběrů.....	27
2.2.1	Rozvodny R6-1 až R6-6.....	27
2.2.2	Rozvodny R0.4-1 až R0.4-6.....	30
2.2.3	Záskoková rozvodna a rozvodna SVS R6-0.....	31
2.2.4	Rozvodna SVS R0.4-0.....	32
2.2.5	Připojení EMĚ 1 do sítě, rozvodna R110.....	33
2.2.6	Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1.....	34
3.	Zkraty.....	35
3.1	Zkratový proud.....	35
3.2	Předpoklady výpočtu.....	36
3.3	Ekvivalentní zdroj v místě zkratu.....	37
3.4	Metoda výpočtu použitím souměrných složek.....	37
3.5	Výpočet pomocí poměrných hodnot.....	38
3.6	Trojfázový zkrat.....	38
3.7	Nárazový zkratový proud.....	39
3.8	Poměrná reaktance prvků vlastní spotřeby.....	39
3.8.1	Poměrná reaktance synchronního generátoru.....	39
3.8.2	Poměrná reaktance soustavy.....	39
3.8.3	Poměrná reaktance dvouvinutového transformátoru.....	40
3.8.4	Poměrná reaktance trojviutového transformátoru.....	40
3.8.5	Poměrná reaktance reaktoru.....	41
3.8.6	Poměrná reaktance asynchronního pohonu.....	42
3.8.7	Další impedance a reaktance.....	42
3.9	Výpočty zkratových proudů.....	42
3.9.1	Zkrat v rozvodně R6-1 při napájení z odbočkového transformátoru.....	43
3.9.2	Zkrat v rozvodně R6-1 při napájení ze záskokové rozvodny R6-0.....	45
3.9.3	Zkrat v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0 napájené z bloku 4.....	48
3.9.4	Zkrat v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0 napájené přes záskokový transformátor.....	51
4.	Kontrola spínacích prvků rozveden.....	53
4.1	Kontrola spínacích prvků pro první zkrat.....	54
4.2	Kontrola spínacích prvků pro druhý zkrat.....	54
4.3	Kontrola spínacích prvků pro třetí zkrat.....	54
4.4	Kontrola spínacích prvků pro čtvrtý zkrat.....	54
	Závěr.....	55
	Seznam zdrojů.....	55

Přílohy.....	56
A Obsah CD.....	56

Seznam tabulek:

Tab. 1 Alternátory.....	20
Tab. 2 Jmenovité hodnoty turboalternátorů.....	20
Tab. 3 Štítkové údaje blokových transformátor AUE 1 až AUE 3.....	21
Tab. 4 Štítkové údaje blokových transformátor AUE 4 až AUE 6.....	22
Tab. 5 Štítkové údaje transformátorů AUE11 a AUE 12.....	23
Tab. 6 Štítkové údaje transformátorů AUE15 a AUE 16.....	23
Tab. 7 Štítkové údaje transformátoru AUE 21.....	24
Tab. 8 Štítkové údaje transformátorů T 31, T 32 a T 33.....	25
Tab. 9 Štítkové údaje transformátorů T 34, T 35 a T 36.....	25
Tab. 10 Štítkové údaje transformátorů T 48, T 50 a T 51.....	26
Tab. 11 a) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6.....	28
Tab. 12 b) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6.....	28
Tab. 13 Tabulka jmenovitých hodnot rozveden R0.4-1 až R0.4-6.....	31
Tab. 14 Pohony napájené z rozvodny R6-0.....	31
Tab. 15 Odběry z R6-0.....	32
Tab. 16 Ztrátový výkon transformátoru T 48 a T 51.....	33
Tab. 17 Zkratový výkon rozvodny R110.....	33
Tab. 18 Zkratový výkony odběrů 3BBA1 a 4BBA1.....	34
Tab. 19 Jmenovité hodnoty reaktoru.....	34

Seznam obrázků:

Obr. 1 Blokové schéma cesty páry a vody.....	10
Obr. 2 Obecné schéma napájení rozveden VS.....	19
Obr. 3 Blokové schéma napájení VS a SVS.....	27
Obr. 4 Elektrické schéma rozveden R6-1 až R6-4.....	29
Obr. 5 Elektrické schéma rozveden R6-5 až R6-6.....	30
Obr. 6 Elektrické schéma rozvodny R6-0.....	32
Obr. 7 Elektrické schéma rozvodny R110.....	34
Obr. 8 Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky blízký.....	36
Obr. 9 Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky vzdálený.....	36
Obr. 10 Elektrické schéma trojfázového zkratu.....	39
Obr. 11 Složkové schéma náhradního obvodu.....	39
Obr. 12 Schéma poměrných reaktancí pro první zkrat.....	43
Obr. 13 Schéma poměrných reaktancí pro druhý zkrat.....	46
Obr. 14 Schéma poměrných reaktancí pro třetí zkrat.....	49
Obr. 15 Schéma poměrných reaktancí pro čtvrtý zkrat.....	52

Úvod

Zkrat je poruchový stav v elektrické soustavě, při kterém dochází k propojení dvou nebo více vodivých částí s různým (okamžitým) potenciálem. Vznik zkratu způsobí v síti vznik nadměrně velkých proudů, které mohou mít nežádoucí silové a tepelné účinky. Pro zabránění trvalému poškození soustavy anebo jejích prvků je nutné zkratový proud vypnout co nejdříve po jeho vzniku. V sítích vn a vvn k vypnutí zkratového proudu slouží výkonové vypínače iniciované příslušnými ochranami. Důvodů pro vznik zkratu může být několik, například porucha izolace způsobená vlivem soustavy, stárnutím, mechanickým poškozením ...

Elektrárna Mělník se nachází přibližně 10 km od města Mělník mezi vesnicemi Horní Počaply a Vlíněves, asi sto metrů od břehu Labe. Elektrárna se skládá ze tří provozních celků (EMĚ 1, EMĚ 2, EMĚ 3) o různém elektrickém a tepelném výkonu.

V první části se v práci zabývám popisem prvků elektrárny Mělník 1 s výjimkou popisu rozvoden, který následuje v další části.

V druhé a třetí části práce se zabývám rozvodnami VS a SVS, včetně prvků, které jsou pro výpočet zkratů zapotřebí (turboalternátory, motory, transformátory, reaktory). Následuje výpočet velikosti zkratového proudu pro běžné provozní stavy elektrárny. Výpočty jsem realizoval na jedné z rozvoden VS a na rozvodně SVS, pro různé provozní stavy (chod bloku, záskok

V poslední části porovnávám vypínací zkratový proud vypínačů v rozvodnách VS a SVS s vypočtenými velikostmi zkratových proudů a hodnotím, zda jsou vypínací prvky správně navrženy tak, aby došlo k bezpečnému vypnutí.

1. Elektrárna Mělník 1

1.1 O EMĚ 1 :

EMĚ 1 je jeden ze tří technologických celků Elektrárny Mělník, v současnosti s šesti výrobními turbínami, s celkovým elektrickým instalovaným výkonem 352 MW a tepelným výkonem až 700 MW a šesti kotly, každý o výkonu 230 t/h páry. Stavba EMĚ 1 byla zahájena roku 1956 jako kondenzační elektrárna spalující hnědé uhlí dopravované vlaky ze severočeských a západočeských dolů. Do provozu byl blok uveden v roce 1960. [3]

V roce 1984 byla zahájena dodávka tepla do města Mělník a obce Horní Počaply a v roce 1988 byly vyměněny čtyři kondenzační turbíny za dvě protitlaké a dvě odběrové turbíny. V tomtéž roce byla zahájena výstavba hlavního potrubí do Prahy [4]. V roce 1993 přešla EMĚ 1 z vlastnictví ČEZ, a. s. do vlastnictví vyčleněné společnosti Energotrans, a.s. [3]

Roku 1995 byla uvedena do provozu dodávka tepla pro hlavní město Prahu a v dalších letech se postupně rozšiřovala. [4] V roce 1998 bylo v elektrárně uvedeno do provozu nové odsiřovací zařízení. V tomto zařízení vzniká jako vedlejší produkt při čištění spalin energosádrovec, který se dále zpracovává v cementárnách. Součástí čistícího procesu je filtrace spalin, kde je zachycován popílek. Ten se shromažďuje v silech a následně je využíván ve stavebnictví. [3]

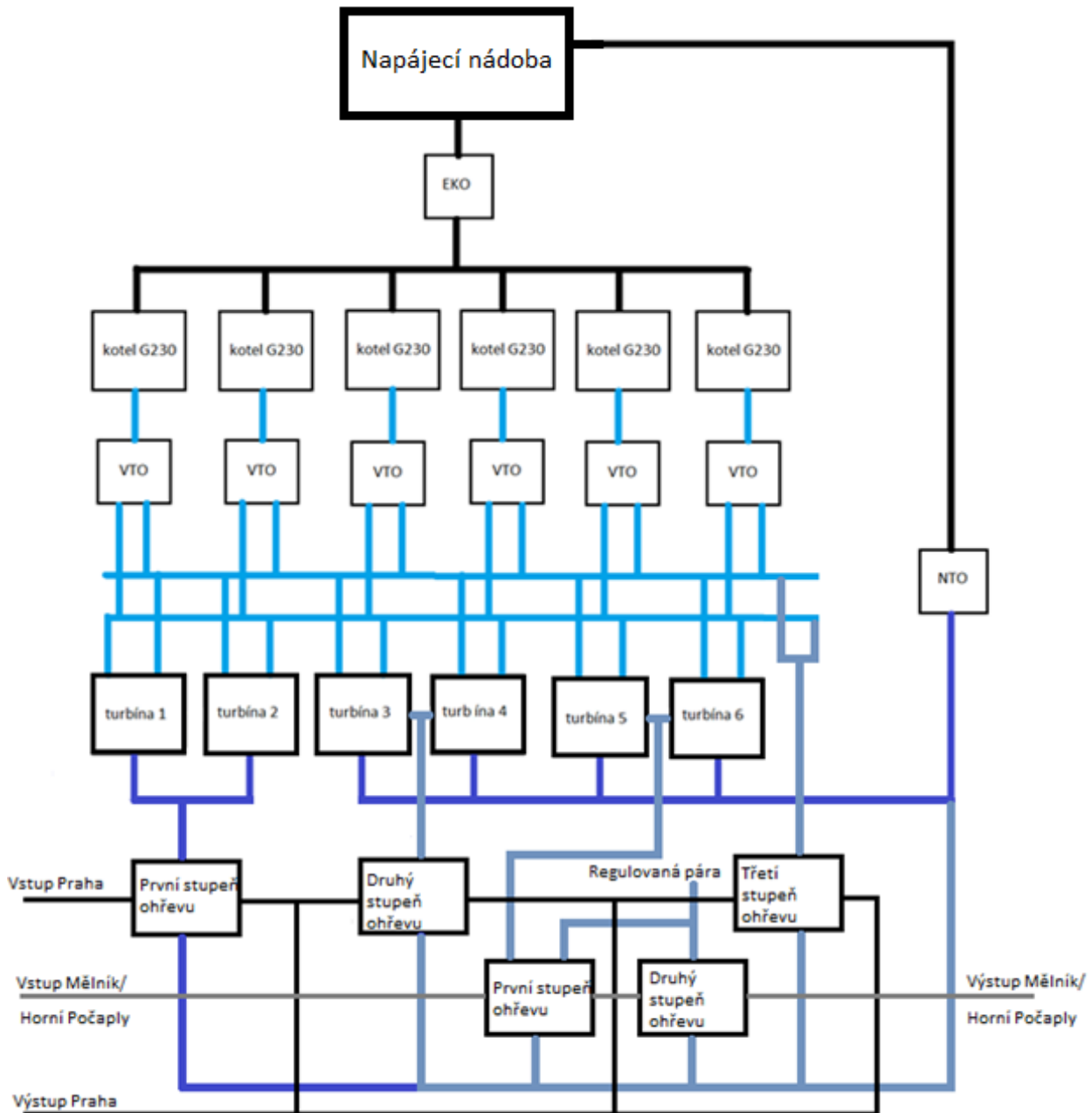
V roce 2003 došlo k napojení města Neratovice na tepelný rozvod [4]. V roce 2012 se ČEZ, a. s. stal stoprocentním vlastníkem akcií společnosti Energotrans, a.s. [3]

1.2 Okruh páry EMĚ 1 :

EMĚ 1 má společnou sběrnici páry a kotle stejně jako turbíny jsou na tuto sběrnici připojeny paralelně. Výhodou tohoto propojení je možnost použít jakýkoliv kotel pro pohánění jakékoliv turbíny, nebo použití několika kotlů pro pohánění jedné turbíny. Tohoto přístupu se hlavně využívá pro velké teplárenské turbíny, kterým na plný výkon nestačí jeden kotel samostatně. Také je možné nahradit jakýkoliv kotel pomocí jiného v případě jeho výpadku nebo odstávky.

Společná sběrnice je zdvojená pro možnost náhrady v případě výpadku jedné sběrnice. [5]

1.2.1 Blokové schéma cesty páry a vody:



Obr. 1: Blokové schéma cesty páry a vody

1.3 Kotle:

EMĚ 1 se skládá ze šesti kotlů bubnového typu G230. Mají navržený jmenovitý výkon 230 t/h a jsou přetypovány na 250 t/h. Byly testovány zkušebním přetlakem 14,7 MPa. Mají udaný konstrukční tlak 11,7 MPa při nejvyšším pracovním přetlaku

10 MPa. Pracovní tlak za přehřívákem je 9,3 MPa při pracovní teplotě páry 535°C. Nejvyšší pracovní teplota přehřáté páry je 543°C. Výrobce a dodavatelem kotlů je firma Vítkovice a.s.

Nosnou konstrukci kotle tvoří svařované nosníky umístěné vně kotlů, takže nejsou při provozu namáhány teplem. Varný systém bubnu, přehříváky páry a druhý ohřívák vody jsou na nosné konstrukci zavěšeny, takže při změnách teploty volně dilatují. Oba ohříváky vzduchu a první ohřívák napájecí vody jsou uloženy, nebo zavěšeny na příčných nosnících, které jsou v místech vyšších teplot chlazeny vzduchem.

Zazdívka kotlů je tvořena v lehkém provedení z velké části je tvořena matracemi izolační vaty, tremolitovými nebo šamotovými cihlami. Trubky spalovací komory a stěny druhých tahů jsou chráněny z vnějška šamotovým omazem. Kotle jsou opatřeny vzduchotěsným oplechováním a diletující části kotlů (spalovací komora, hořákové skříně, tahy kouřových plynů) jsou utěsněny sklo textilovými, nebo ocelovými ucpávkami. [5]

1.4 Palivo:

Kotle G230 byly naprojektovány na spalování severočeského hnědého uhlí o výhřevnosti 8.5 – 12.5 MJ/kg. V roce 1999 EMĚ 1 přešla na uhlí s vyšší průměrnou výhřevností 14,5 MJ/ kg.

Uhlí je dopravováno do zásobníku kotelny dvěma gumovými pásovými dopravníky o celkovém výkonu 1260 t/h. Pro každý kotel jsou v kotelně dva zásobníky uhlí o celkové kapacitě 700 tun. Provedení zásobníků je z železobetonu a vnitřní stěny zásobníků jsou vyhlazeny. Každý zásobník má dvě ocelové svodky se třemi výpustnými otvory zaústěnými do podavače paliva.

Uhlí dopravené do zásobníků často bývá vlhké a obsahuje jílovou složku, jejich působením se uhlí nalepuje na stěny zásobníku a tvoří klenby nad svodkami. To má za následek přerušování dodávky paliva a snížení výkonu kotle. Zásobníky jsou proto vybaveny tryskami umožňujícími uvolňování paliva tlakovým vzduchem (tzv. odstřelování) z centrálního rozvodu vzduchu o tlaku 1 MPa z kterého jsou vytvořeny odbočky vedoucí k pravé a levé straně zásobníků. Tam je vzduch napojen na pístové ventily, které jsou tryskami zaústěny do zásobníku uhlí. Ventily pro odstřelování jsou ovládané sušeným tlakovým vzduchem.

Každý kotel má instalovány 4 podavače, kterými je dopravováno palivo od zásobníků do sušiček a mlýnů. Pokud se zmenší vrstva uhlí na podavačích, tak je tato skutečnost oznámena na velín. Podavače dopraví uhlí k sušící šachtě, kde se při zvýšené teplotě uhlí předsouší.

Dále uhlí pokračuje do mlecího zařízení. Mlecí zařízení se skládá z čtyř šachtových mlýnů, po dvou na každé straně kotle. Jeden šachtový mlýn má výkon 28 t/h. Z mlýnů jde rozdrčené uhlí do spalovací komory kotle. [5]

1.5 Kouřové plyny:

Kouřové plyny (spaliny) jsou odsávány ze spalovací komory, přes ohříváky napájecí vody a vzduchu, elektrostatické odlučovače popílku kouřovým ventilátorem. Část tepla kouřového plynu se používá k ohřátí vzduchu a napájecí vody v ohřívácích. [5]

1.6 Elektrostatický odlučovač:

Používá se pro zachycení prachových částic ze spalin a jejich vyčištění. K tomuto procesu se používají elektrostatické síly. Spaliny po výstupu z kotle prochází komorou elektrostatického odlučovače (EO), která obsahuje vertikální ocelové desky. Ty slouží k zajištění rovnoměrného proudění spalin přes EO. V každé této cestě je rám obsahující vysokonapěťové sršící elektrody. Všechny rámy jsou vzájemně propojeny a vytvářejí pevnou nosnou konstrukci. Celá nosná konstrukce je umístěna na čtyřech nosných izolátorech, které jí elektricky izolují od všech součástí, které jsou uzemněny.

Mezi elektrody a ocelové usazovací desky je připojené stejnosměrné napětí 110 kV. Tím se vytváří mezi spirálovými elektrodami a ocelovými deskami usazovacích elektrod silné elektrické pole. Poblíž spirálových elektrod je pole nejsilnější a dochází v jejich blízkosti ke korónovému výboji. V této koróně se spaliny ionizují a dochází ke vzniku velkého množství kladných a záporných iontů. Kladné ionty jsou okamžitě silným polem přitahovány k záporným spirálovým elektrodám a záporné ionty musí překonat celou cestu od elektrod k nejbližší kladně nabitě usazovací desce. Tím vzniká proud záporných iontů od takzvaných vysokonapěťových sršících elektrod. Na cestě k usazovacím deskám ionty narážejí na částice ve spalinách a uchycují se na nich. Tím se částice stávají elektricky zápornými a začnou se pohybovat ve stejném směru jako ionty k usazovacím deskám. Popílek se usazuje na sběrných deskách ve vrstvách a periodickým oklepáváním se uvolňuje a padá do výsyvky popílku. [5]

1.7 Odpopílkování:

Z výsyvky popílku EO a z mechanických sběračů popílku se popílek automaticky přepravuje dopravním systémem. Popílek se skladuje v přefukovačích dokud nejsou splněny podmínky pro vyprazdňování. Jakmile podmínky nastanou, tak se popílek vypustí do dopravního vedení s nízkou dopravní rychlostí.

Dopravní systém je rozdělen mezisílem popílku. Z mezisíla pak popílek je dopravován pneumatickým dopravním systémem do koncového síla popílku nebo hydraulickým systémem do jímky bagrovací stanice. [5]

1.8 Napájecí voda:

Napájecí vodu tvoří z největší části kolující kondenzát admisní páry. Ztráty jsou doplňovány demineralizovanou vodou z chemické úpravy vody. Napájení kotle zajišťují dvě vysokotlaké napáječky z nich jedna je jako záložní. Voda do kotle může vest dvěma cestami - teplou cestou přes vysokotlaké ohříváky, nebo studenou cestou dále napájecím uzlem, napájecí předlohou a napájecí hlavou do kotle.

Složení napájecí a kotelní vody i čistotu páry kotlů při setrvačném provozu a normální hladině vody v kotli stanovuje norma ČSN 07 7401. Pro bubnové kotle připouští maximální strmost do 3 % jmenovitého výkonu kotle za minutu a pokles tlaku do 1 % jmenovitého tlaku za minutu. Norma předepisuje maximální hranice pro obsah plynů a kovů v napájecí a kotelní vodě a obsah látek v páře. Přídavná napájecí voda musí mít takový obsah látek, aby po svém přidání do napájecí vody zůstalo složení napájecí vody v mezích normy. [5]

1.8.1 Napájecí nádrž:

Napájecí nádrž je ležatá válcová nádoba s celkovým obsahem 94,5 m³ a užitečným obsahem 75 m³. Provozní tlak nádrže je 325 kPa při pracovní teplotě 143 °C. Ze spodní části nádoby vyústí sací potrubí k dvěma napáječkám kotle, a vypouštěcí potrubí NN buď do expandéru strojovny, nebo kotelny. K vrchní straně nádoby je přivedeno potrubí prohřívací páry a přívod kondenzátu z vysokotlakých ohříváčů. Pro kontrolu hladiny NN je nádrž opatřena stavoznakem a dálkovým přenosem stavu hladiny na dozornu. [5]

1.9 Vysokotlaké ohříváky - VTO :

Vysokotlaká regenerace slouží k ohřevu napájecí vody kotle. Ohřívák je vytápěný párou z odběru turbín, nebo z pomocné páry primárně sloužící pro ohřev vody v napájecí nádrži.

Napájecí vodu je možné vést přes VTO pro teplou cestu, nebo mimo ně pro studenou cestu. Úsek VTO lze oddělit šoupětem před VTO I, a šoupětem za VTO II. Kondenzát z VTO II je veden do pomocného expandéru topného kondenzátu. Pára z parního výstupu VTO II je vedena přímo do parního prostoru VTO I. Kondenzát je odváděn společným potrubím s kondenzátem VTO I do napájecí nádrže. [5]

1.10 Ohříváky vody - EKO (ekonomizéry):

Ohříváky vody jsou dvojstupňové, uložené v dodatkových plochách kotle. Každý stupeň je rozdělený na dvě větve. Napájecí voda, dodávaná vysokotlakou napáječkou a regulovaná ventily, vstupuje pravou a levou větví do prvního ohříváku

a prochází jím. Dále pak prochází závěsnými trubkami EKA II a doplňuje buben a varný systém. Z vnější strany trubek proudí kouřové plyny, které předávají vodě v trubkách teplo. [5]

1.10.1 Ohřívák vody č. 1 - EKO 1:

EKO 1 se skládá z vstupních a výstupních komor propojených „hady“ (vlnovité potrubí pro prodloužení cesty vody). EKO 1 je vybaveno čtyřmi odvzdušňovacími ventily, dva na levé a dva na pravé straně. Odvzdušňování je spojené s EKO 2. Odvodnění EKO 1 je provedeno přes ventily napájecí hlavy a vypouštěcí ventily. Odvodněním EKO 1 se současně vypustí i závěsné trubky EKA 2. Konstrukční přetlak EKA 1 je 13,5 MPa a teplota stěny trubky je konstruována na 270 °C. [5]

1.10.2 Ohřívák vody č. 2 - EKO 2:

EKO 2 se skládá z levého a pravého dílu. Každý díl má čtyři komory EK 3, 4, 5, 6 propojené soustavou dvojitých „hadů“. Z poslední komory EK 6 vede voda čtyřmi potrubími do bubnu. Odvzdušnění a odvodnění EKO 2 je přivedené do komor EK 3 a EK 5. Zapojení trubek do „H“ umožňuje vypustit vodu buď do expandéru strojovny, nebo do expandéru kotelny. EKO 2 je konstruována na provozní přetlak 11,8 MPa a teplotu stěny 340 °C. [5]

1.11 Varný systém:

Je určen k výrobě syté páry. Skládá se z bubnu, spádových a varných trubek, příslušných komor a drobných potrubí pro odluh a odkal. [5]

1.11.1 Buben:

Buben je silnostěnná svařovaná nádoba s lisovanými čely. Je konstruována na tlak 11,8 MPa a teplotu stěny 350 °C. Buben je zavěšen na nosné konstrukci nad stropem spalovací komory a je rozdělen na dva odpařovací stupně. Do prvního odpařovacího stupně je přivedena napájecí voda z druhého ohříváku vody EKO 2. Zavodňovací (spádové) trubky jsou připojené k spodní části bubnu a přivádí kotelní vodu po vnější stěně kotle do spodních komor. Cirkulační okruh se uzavírá varnými trubkami, které tvoří stěny spalovací komory a vrací se zpět do bubnu. V bubnu jsou varné trubky přivedeny do soustavy cyklonů, kde probíhá oddělení páry od neodpařené vody. Pára se zbavuje kapiček vody a je vedena do prvního přehříváku. Odloučená kotelní voda je vedena do druhého odpařovacího stupně. Z druhého stupně jde voda do rohových odpařovacích trubek, které jsou tepelně méně zatěžovány. Pára je vyčištěna stejným způsobem jako v prvním stupni a kotelní voda je navedena zpět do druhého stupně. Obsah druhého stupně je v určených intervalech odluhován. [5]

1.11.2 Odkal bubnu:

Na dno bubnu se usazují nečistoty. Ty jsou strhávány do děrovaného potrubí umístěného těsně nad dnem bubnu. Děrované potrubí je napojeno na odkalovací potrubí a na konci potrubí vedeno do expandéru kotelny. [5]

1.11.3 Odluh:

Odluhováním se z druhého odpařovacího stupně odvádí zahuštěná kotelní voda. Potrubí odluhu je vedeno z levé a pravé strany bubnu na levou stranu dodatkových ploch, kde je na každé straně uzavírací ventil. Odluh je veden do expandéru kotelny. [5]

1.12 Přehříváky:

Slouží k přehřátí syté páry na vyšší teplotu. Sytá pára zbavená kapiček jde potrubím z kotle na vstup sálavého přehříváku č. 1. Trubky tohoto přehříváku tvoří strop spalovací komory a všechny tři stěny a strop horní části zadního tahu. První přehřívák zvyšuje teplotu syté páry o cca 30 °C. Takto přehřátá pára je vedena k přehříváku č. 2, který je tvořen sálavou a konvexní částí v poměru zhruba 1:3. Je tvořen soustavou šesti svislých řad trubek, které jsou zhruba v jedné třetině ohnuty do spalovací komory, kde tvoří zúžení jejího průřezu (asi o 1/3). Druhý ohřívák zvyšuje teplotu páry zhruba o 30 °C. Mezi druhým a třetím přehřívákem je umístěn první vstřík pro regulaci teploty páry. Teplota páry se reguluje vstříky vody odebrané z prostoru mezi prvním a druhým ohřívákem napájecí vody. Třetí přehřívák je tvořen jedenácti šotovými přehříváky, volně zavěšenými na závěsných trubkách do spalovací komory. Ve třetím přehříváku se pára ohřeje zhruba o 100 °C. Mezi třetím a čtvrtým ohřívákem je umístěn druhý vstřík pro regulaci teploty páry tak, aby došlo k spolehlivému odpaření kapiček vody. Čtvrtý přehřívák je konvekčně souproudý. Je tvořen soustavou trubek, zavěšených nad šikmou částí spalovací komory, v něm je pára dále přehřívána o zhruba 60 °C a vystupuje o teplotě až 535 °C do parovodu. [5]

1.13 Expandéry:

Slouží k expanzi horké vody, nebo páry, která je do expandéru svedena z různých částí zařízení strojovny a kotelny ve formě odvodnění, odkalí, odluhu, nebo jejich vypouštění. Nádobu je opatřena vodoznakem, manometrem, teploměrem a průlezem. V expandéru strojovny dochází k upravení tlaku a teploty páry na parametry třetího odběru turbín. Následně je pára buď přivedena do třetího odběru, nebo vypuštěna do atmosféry nad střechou strojovny. V expandéru kotelny pára odchází výfukovým potrubím nad střechu mezistrojovny. Voda z expandéru odtéká potrubím, které je společné s vypouštěním varného systému sifonovou smyčkou do vychlazovací jímky splavovací vody. Sifonová smyčka je překlenuta šoupětem, sloužícím k vyprazdňování tělesa expandéru. Za provozu je toto šoupě trvale zavřeno. [5]

1.14 Protitlakové turbíny 1 a 2:

Ve strojovně jsou umístěny dvě turbíny typu R60-A0, pro pohon alternátoru, s přestavitelným protitlakem v rozsahu 0,03 MPa až 0,25 MPa s jmenovitým protitlakem 0,06 MPa. Jmenovitý výkon každé turbíny na svorkách alternátoru při $\cos \varphi = 0,8$ je 60 MW. Jmenovité otáčky turbín jsou 3000 ot/min. Jmenovité parametry vstupní páry na rychlozávěrných ventilech jsou teplota 535 °C a tlak 8826 MPa. Jmenovitý průtok vstupní páry je 266 t/h a maximální průtok páry turbín je 300 t/h. Turbíny jsou konstruované jako přetlakové, jednotělesové. Turbíny jsou vybaveny čtyřmi neregulovanými odběry páry sloužící pro zásobování pomocných zařízení párou. [5]

1.15 Nízkotlaká regenerace NTO turbín 1 a 2:

Slouží k ohřevu kondenzátu stroje pro napájecí nádobu. Pro NTO kondenzátu a demivody slouží jeden čtyřcestný ohřívák. Trubkový svazek je tvořen z teplosměnných trubek tvaru „U“. Do prostoru nádoby k trubkám je přivedena pára z druhého neregulovaného odběru turbíny. [5]

1.16 Odběrové turbíny 3 a 4:

Ve strojovně jsou umístěny dvě turbíny typu T60 - A0, s jedním regulovaným odběrem, pro pohon alternátoru, s přestavitelným tlakem regulovaného odběru v rozsahu 0,06 MPa až 0,4 MPa. Jmenovitý výkon každé turbíny na svorkách alternátoru při $\cos \varphi = 0,8$ je 60 MW. Jmenovité otáčky turbín jsou 3000 ot/min. Jmenovité parametry vstupní páry na rychlozávěrných ventilech jsou teplota 535°C a tlak 8826 MPa. Jmenovitý průtok vstupní páry je 320 t / h a maximální přípustný průtok páry je 325 t / h. Turbíny jsou dvoutělesové, přetlakové. Každá turbína je vybavena pěti odběry. Z nich odběry 5, 4 a 3 jsou neregulované a vyvedené z vysokotlaké části turbíny. Druhý odběr je regulovaný a je vyvedený z obou převáděcích potrubí mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí turbíny před nízkotlakými regulačními clonami. První odběr je neregulovaný a vyvedený z nízkotlakého dílu turbíny. Odběry slouží k zásobování parou pomocných systémů a špičkových ohříváků. [5]

1.17 Nízkotlaká regenerace NTO pro turbíny 3 a 4:

Je zařízení, které z důvodu zhuštění provozu turbíny využívá část páry vyexpandované v turbíně k ohřevu kondenzátu stroje a napájecí vody. Turbína v tomto případě vyrábí kombinovaně elektrickou a tepelnou energii a tím se zvyšuje její účinnost, protože teplo obsažené v páře využité pro regeneraci není odvedeno ve formě oteplení chladicí vody kondenzátorů. [5]

1.18 Kondenzační turbíny 5 a 6:

Ve strojovně jsou dvě parní turbíny VK 55. Každá z turbín je dvoutělesová s nízkotlakým dílem v dvouproudu. Turbína je vybavená pěti neregulovanými odběry, z nichž je první veden z nízkého tlaku. Jmenovitý výkon každé z turbín je 58 500 kW, normální teplota na vstupu turbíny je 535 °C a maximální teplota 545 °C. [5]

1.19 Alternátor:

Je elektrický stroj, který přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou. V našem případě je použito šest trojfázových turboalternátorů s budičem na stejné ose. Alternátory jsou upravené pro možnost hašení vodou v případě hoření vinutí. Jmenovité napětí statoru je 10,5 kV \pm 5 % a jmenovitý proud 4124 A. Generátory jsou vybavené vzduchovým chlazením s uzavřenou cirkulací vzduchu. Vzduchové ventilátory jsou umístěny na hřídeli generátorů v oblasti jejich čel. Ohřátý vzduch je ochlazován v chladiči vzduchu. [5]

1.20 Ohřev topné vody:

V současné době na EMĚ 1 probíhá ohřev topné vody pro tři topné okruhy. První okruh vede topnou vodu směrem na Prahu a zároveň se jedná o největší část ohřevu. Druhý a třetí okruh je trvale propojený a jedná se o ohřev vody do Mělníka a Horních Počaply. [5]

1.20.1 Topný okruh Mělník/Horní Počaply:

Topný okruh Mělník, trvale propojený s topným okruhem Horní Počaply, se skládá z dvou stupňů ohřevu vody. Prvním stupněm je základní ohřívák. Pro ohřev páry v základním ohříváku se používá pára z třetího odběru turbín 5 a 6, nebo redukovaná pára z redukční stanice.

Jmenovitá hodnota vstupní vody do základního ohříváku je 58,5 °C. Voda za základním ohřívákem dosahuje jmenovité hodnoty 90 °C. Za prvním stupněm ohřevu je možné vodu odvést do okruhu v případě letních dnů, nebo do druhého stupně ohřevu tvořeného špičkovým ohřívákem. Pro ohřev vody v špičkovém ohříváku se používá redukovaná pára z redukční stanice. Výstupní jmenovitá teplota topné vody za špičkovým ohřívákem je 122,5 °C.

Jmenovitý průtok okruhu Mělník a Horní Počaply je 540 kg.s⁻¹, celkový tepelný výkon je 150 MW. [5]

1.20.2 Topný okruh Praha:

Topný okruh Praha, se skládá z tří stupňů ohřevu vody. Jedná se o největší část ohřevu topné vody na elektrárně Mělník. První stupeň ohřevu topné vody se skládá ze základního ohříváku. Pro ohřev topné vody je využívána výstupní pára turbín 1

a 2. Vstupní jmenovitá teplota topné vody do prvního stupně ohřevu je 70 °C (max. 100 °C) a výstupní jmenovitá teplota topné vody je 120 °C.

Druhý stupeň ohřevu topné vody je tvořen špičkovým ohřívákem. Pro ohřev vody se využívá pára z regulovaného odběru turbín 3 a 4. Výstupní jmenovitá teplota topné vody z druhého stupně ohřevu je 140 °C.

Pro třetí stupeň ohřevu se používá přímo přehřátá pára, odebraná z parní sběrnice a lehce regulovaná, aby se snížilo zatížení ohříváku. Výstupní jmenovitá teplota topné vody je 150 °C. Pro letní provoz se používá pouze první stupeň ohřevu s vstupní teplotou topné vody 55 °C a výstupní teplotou 80 °C.

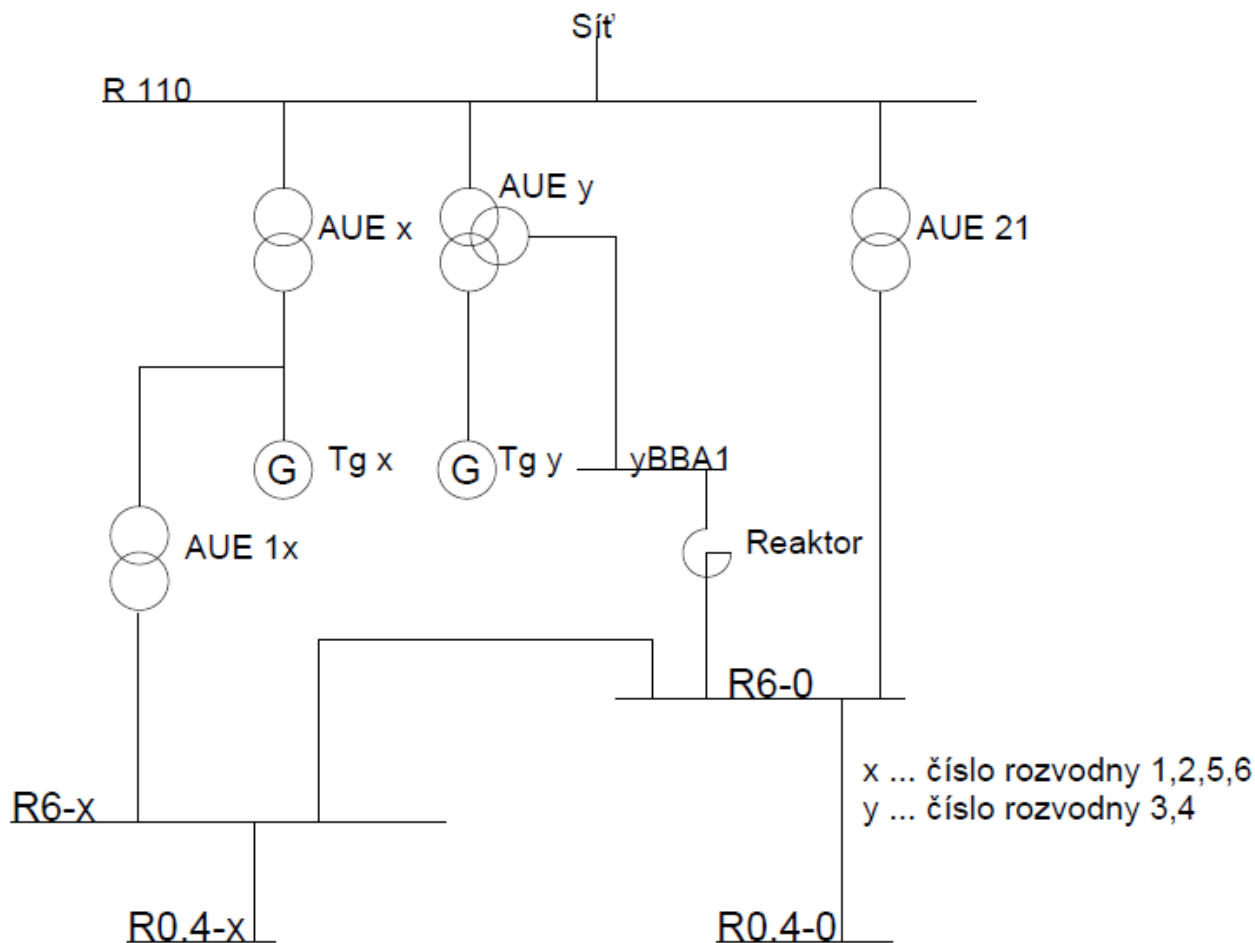
Jmenovitý průtok okruhu Praha je 1646 kg.s⁻¹ a celkový tepelný výkon je 551 MW. [5]

2. Vlastní spotřeba EMĚ 1

Vlastní spotřeba elektrárny je „spotřeba elektrické energie při výrobě elektřiny a tepla ve výrobním zařízení a pomocných provozech, včetně ztrát v rozvodu.“ [1]

Vlastní spotřeba bloku EMĚ 1 může být napájena několika způsoby v závislosti na pracovním stavu. Při rozběhu je VS napájena ze sítě přes rozvodnu R110, blokový transformátor a odbočkový transformátor. Po najetí VS a dosažení jmenovitých otáček a napětí na svorkách generátoru dojde k jeho přifázování. Postupným zvyšováním výkonu převezme generátor napájení VS. VS nelze rozbíhat přes záskokové napájení, které není dimenzované na nový kouřový ventilátor. Při odstavení bloku může být VS napájena jak přes záskokovou rozvodnu, tak ze sítě. Při běžném provozu může být VS napájena jak přes záskokovou rozvodnu, tak přes odbočkový transformátor. V případě poruchového stavu je možné napájet rozvodnu přes záskokovou rozvodnu a to buď celou VS nebo její polovinu, pokud se v druhé polovině nachází porucha.

V současné době se bloky 5 a 6 příliš nevyužívají a slouží jako záložní pro případ potřeby.



Obr. 2: Obecné schéma napájení rozveden VS

2.1 Popis prvků vlastní spotřeby:

Rozvody vlastní spotřeby se skládají z odbočkových transformátorů (AUE 11, AEU 12, AUE 15 a AUE 16), výjimku tvoří bloky 3 a 4, které jsou napájeny přímo z trojvintuřových blokových transformátorů, rozvoden 6kV (R6-0 až R6-6) a rozvoden 0,4 kV (R0,4-0 až R0,4-6). Z rozveden jsou vyvedeny odběry pro chod jednotlivých částí provozu bloku. Rozvodny R6-0 a R0,4-0 jsou rozvodny společné vlastní spotřeby a současně slouží jako záložní rozvodny.

Hlavní část každého bloku tvoří turboalternátor (TG1 až TG6). A mezi turboalternátory a sítí jsou umístěny blokové transformátory (AUE1 až AUE6)

2.1.1 Alternátory:

V EMĚ 1 je nainstalováno 6 alternátorů stejného provedení.

Pozice	Typ	Výrobní číslo	Rok výroby
TG1	6H6378/2	5775	1960
TG2	6H6378/2	5774	1960
TG3	6H6378/2	5776	1960
TG4	6H6378/2	5777	1960
TG5	6H6378/2	5778	1961
TG6	7H6378/2	051422	1977

Tab. 1: Alternátory

zdánlivý výkon S_n [MVA]	75
činný výkon P_n [MW]	60
$\cos \varphi$ [-]	0,8
otáčky n [ot/min]	3000
kmitočet f_n [Hz]	50
zapojení statoru	Y
napětí statoru U_n [V]	10500 +/-5%
proud statoru I_n [A]	4124
rázová reaktance x_d'' [%]	14,5
synchronní reaktance X_s [Ω]	5,09

Tab. 2: Jmenovité hodnoty turboalternátorů

Turboalternátory jsou původní generátory umístěné na místo při výstavbě elektrárny EMĚ 1, ale od té doby prošly převinutím a výměnou izolace. Později byly přetypovány z generátorů 55 MW na 60 MW, viz tabulka výše.

2.1.2 Blokové transformátory:

Transformátory 63 MVA jsou hlavní transformátory pro každý blok. Tyto transformátory transformují napěťovou hladinu 10,5 kV ze strany generátoru na 110 kV, síťové napětí. Výjimku tvoří blokové transformátory AUE 3 a AUE 4, které zároveň slouží pro napájení vlastní spotřeby svého bloku (z odbočky 6 kV) a zároveň pro napájení záskokové rozvodny a SVS.

Transformátory jsou označeny podle čísla bloku, a je jich šest. AUE 1, AUE 2, AUE 3, AUE 4, AUE 5 a AUE 6.

AUE 1	AUE 2	AUE 3
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: Škoda Plzeň
typ: 1E 35 M-1	typ: 1E 35 M-1	typ: ET1 35 M-0
výrobní číslo: 959862	výrobní číslo: 959862	výrobní číslo: 962759
výkon: 63 000 kVA	výkon: 63 000 kVA	výkon: 63 000/ 63 000/40 000 kVA
napětí: 110 000+5%/ 10 500 V	napětí: 110 000+5%/ 10 500 V	napětí: 110 000 + 8x2% / 10 500/6 300 V
kmitočet: 50 Hz	kmitočet: 50 Hz	kmitočet: 50 Hz
spojení: YNd1	spojení: YNd1	spojení: Ynd1/d1
chlazení: ODAF	chlazení: ODAF	chlazení: ONAN/ONAF
u _k : 10.45%	u _k : 10.45%	u _k : 110/10,5 kV 11,64% pro 63 MVA u _k : 110/6,3 kV 17,32% pro 40 MVA u _k : 10,5 kV/6,3 kV a) pro 40 MVA 9,25% b) pro 63 MVA 14,58%
hmotnost oleje: 14 800 kg	hmotnost oleje: 14 800 kg	hmotnost oleje: 29 000 kg
rok výroby: 1988	rok výroby: 1988	rok výroby: 1991

Tab. 3: Šítkové údaje blokových transformátor AUE 1 až AUE 3

AUE 4	AUE 5	AUE 6
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: ETD Plzeň	výrobce: ETD Plzeň
typ: ET1 35 M-0	typ: ETD E 35 M-0	typ: ETD E 35 M-0
výrobní číslo: 962760	výrobní číslo: 0968663	výrobní číslo: 0968651
výkon: 63 000/ 63 000/40 000 kVA	výkon: 63 000 kVA	výkon: 63 000 kVA
napětí: 110 000 + 8x2% / 10 500/6 300 V	napětí: 110 000+5%/ 10 500 V	napětí: 110 000+5%/ 10 500 V
kmitočet: 50 Hz	kmitočet: 50 Hz	kmitočet: 50 Hz
spojení: Ynd1/d1	spojení: YNd1	spojení: YNd1
chlazení: ONAN/ONAF	chlazení: ONAN/ONAF	chlazení: ONAN/ONAF
u_k 110/10,5 kV 11,64% pro 63 MVA u_k 110/6,3 kV 17,32% pro 40 MVA u_k 10,5 kV/6,3 kV a) pro 40 MVA 9,25% b) pro 63 MVA 14,58%	u_k : 10.45%	u_k : 10.45%
hmotnost oleje: 29 000 kg	hmotnost oleje: 12 900 kg	hmotnost oleje: 12 900 kg
rok výroby: 1991	rok výroby: 2008	rok výroby: 2007

Tab. 4: Štítové údaje blokových transformátor AUE 4 až AUE 6

2.1.3 Transformátory pro napájení VS:

Transformátory 10 MVA jsou regulační odbočkové transformátory pro napájení vlastní spotřeby bloků elektrárny. Tyto transformátory transformují napětíovou hladinu 10,5 kV na napětíovou hladinu 6 kV pro rozvodny R6-x. Výjimku zde tvoří bloky 3 a 4, které jsou napájeny přímo odbočkou z blokového transformátoru, viz výše v kapitole 2.1.2 Blokové transformátory.

Transformátory jsou čtyři a jsou označeny AUE 11, AUE 12, AUE 15 a AUE 16.

AUE 11	AUE 12
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: Škoda Plzeň
typ: ER 27 C-7	typ: ER 27 C-7
výrobní číslo: 967289	výrobní číslo: 967288
výkon: 10 000 kVA	výkon: 10 000 kVA
napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV	napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV
kmitočet: 50Hz	kmitočet: 50Hz
spojení: Dd0	spojení: Dd0
chlazení: ONAN	chlazení: ONAN
u _k : 7.6%	u _k : 7.63%
hmotnost oleje: 6470 kg	hmotnost oleje: 6470 kg
rok výroby: 1998	rok výroby: 1998

Tab. 5: Štítové údaje transformátorů AUE11 a AUE 12

AUE 15	AUE 16
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: Škoda Plzeň
typ: ER 27 C-7	typ: ER 27 C-7
výrobní číslo: 967035	výrobní číslo: 967036
výkon: 10 000 kVA	výkon: 10 000 kVA
napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV	napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV
kmitočet: 50Hz	kmitočet: 50Hz
spojení: Dd0	spojení: Dd0
chlazení: ONAN	chlazení: ONAN
u _k : 7.21%	u _k : 7.20%
hmotnost oleje: 6470 kg	hmotnost oleje: 6470 kg
rok výroby: 1996	rok výroby: 1996

Tab. 6: Štítové údaje transformátorů AUE 15 a AUE 16

2.1.4 Záskokový regulační transformátor:

Transformátor 16 MVA označený jako AUE 21, je záskokový transformátor sloužící pro napájení rozvodny společné vlastní spotřeby R6-0/A. Je připojen mezi rozvodnu R6-0 a rozvod 110 kV.

AUE 21
výrobce: Škoda Plzeň
typ: 5 ER 29 M
výkon: 16 000 kVA
napětí: 110 000 V+8%/6300 V
kmitočet: 50Hz
spojení: Yd1
chlazení: ORV
u _k : 10,446%
rok výroby: 1970

Tab. 7: Štítkové údaje transformátoru AUE 21

2.1.5 Transformátory pro rozvodny R0,4:

Transformátory sloužící pro napájení rozveden vlastní spotřeby R0.4-x. Jsou umístěny mezi rozvodny R6 a R0.4. Transformují napěťovou hladinu 6 kV na 0,4 kV.

Transformátory jsou označeny T 31, T 32, T 33, T 48, T 50, T 34, T 35 a T 36 a jako záskokový transformátor pro napájení rozveden R0.4-x ze záskokové rozvodny R6-0 je označen T 51.

T 31	T 32	T 33
výrobce: Škoda	výrobce: Škoda	výrobce: Škoda
typ: DG 2006-10	typ: DG 2006-10	typ: DG 2006-10
výrobní číslo:	výrobní číslo: 24576	výrobní číslo:
výkon: 2000 kVA	výkon: 2000 kVA	výkon: 2000 kVA
napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V
spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
uk: 6,2 %	uk: 6,3 %	uk: 6,2 %
celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg
rok výroby: 1997	rok výroby: 1997	rok výroby: 1997

Tab. 8: Štítkové údaje transformátorů T 31, T 32 a T 33

T 34	T 35	T 36
výrobce: Škoda	výrobce: Škoda	výrobce: Škoda
typ: DG 2006-10	typ: DG 2006-10	typ: DG 2006-10
výrobní číslo:	výrobní číslo:	výrobní číslo:
výkon: 2000 kVA	výkon: 2000 kVA	výkon: 2000 kVA
napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V
spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
uk: 6,3 %	uk: 6,3 %	uk: 6,2 %
celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg
rok výroby: 1997	rok výroby: 1997	rok výroby: 1997

Tab. 9: Štítkové údaje transformátorů T 34, T 35 a T 36

T 48	T 50	T 51
výrobce: SGB Německo	výrobce: SGB Německo	výrobce: Škoda
typ: DTTH 1000/6	typ: DTTH 1000/6	typ: DG 2006-10
výrobní číslo: 221471	výrobní číslo: 221472	výrobní číslo: 24578
výkon: 1000 kVA	výkon: 1000 kVA	výkon: 2000 kVA
napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V	napětí: 6000/ 400 V
spojení: Dyn1	spojení: Dyn1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
uk: 6,12 %	uk: 6,12 %	uk: 6,2 %
celková váha: 2 120 kg	celková váha: 2 120 kg	celková váha: 5700 kg
rok výroby: 2007	rok výroby: 2007	rok výroby: 1997

Tab. 10: Štítkové údaje transformátorů T 48, T 50 a T 51

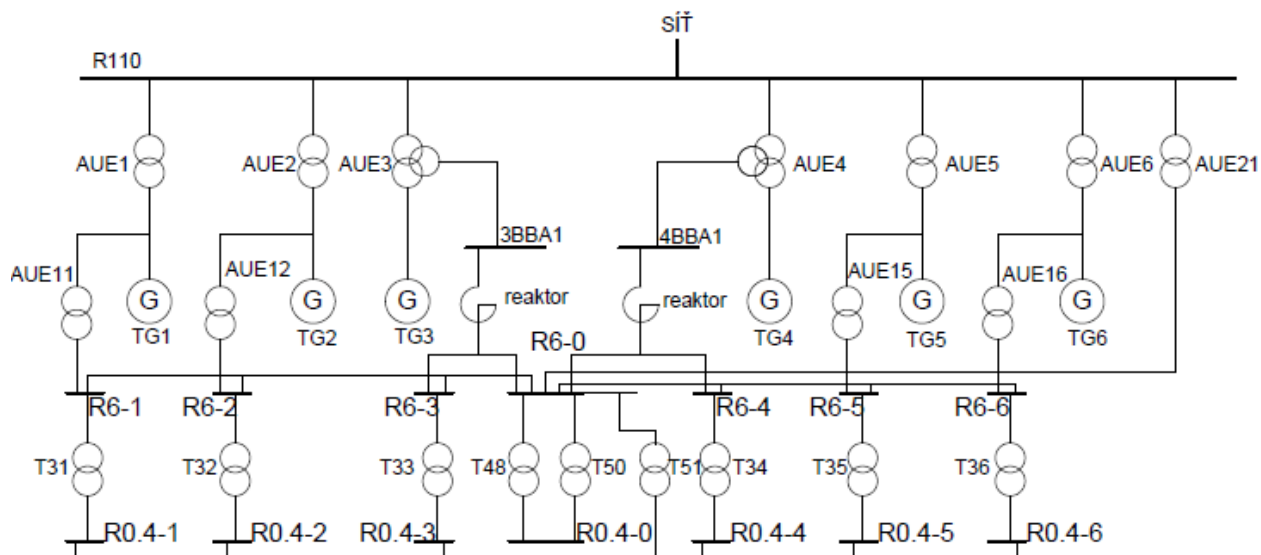
2.1.6 Rozvodny vlastní spotřeby:

Vlastní spotřeba EMĚ 1 je napájena ze dvou úrovní rozveden R6 a R0.4. R6-x jsou rozvodny 6 kV napájené přes odbočkové transformátory s výjimkou rozvodny R6-0, která je napájena z blokových transformátorů bloků 3 a 4 přes reaktor a v případě nutnosti přes záskokový transformátor. Z rozveden 6 kV jsou napájeny velké stroje, jako jsou např. mlýny a další.

Druhá napěťová úroveň se skládá z rozveden R0.4-x, s napětím 0.4 kV. Tyto rozvodny slouží k napájení menších strojů, světel....

Rozvodny R0.4-x, jsou napájeny přes transformátor z rozveden R6 a nebo přes záskokovou rozvodnu R0.4-0. Stejně jako v případě R6 rozveden i v druhé úrovni VS je sedm rozveden R0.4-x, jedna pro každý blok a R0.4-0 pro SVS a jako záskoková rozvodna.

Podrobnější rozepsání odběrů z rozveden viz níže.



Obr. 3: Blokové schéma napájení VS a SVS

2.2 Popis rozveden a jejich odběrů:

Následuje rozpis rozveden a jejich odběrů pro jednotlivé rozvodny.

2.2.1 Rozvodny R6-1 až R6-6:

R6-1 až R6-6 jsou rozvodny VS pro bloky EMĚ 1 na napěťové hladině 6 kV. Rozvodny jsou rozděleny na dvě části zapojené sériově s možností rozpojení. Rozvodny jsou napájeny buď z odbočkového transformátoru daného bloku (zapojeno do „A“ části rozvodny), nebo ze záskokové rozvodny R6-0 (zapojeno do „B“ části rozvodny). Jako vypínače se v blokových rozvodnách R6-x používají vakuové vypínače Siemens 3AH3, 1250 A, 40 kA, pro přívody napájení a spojky. A vakuovými vypínači Siemens 3AH3, 1250 A, 31,5 kA, pro vývody z rozvodny.

Odběry u všech rozveden jsou typově stejné. Pouze rozvodny R6-5 a R6-6 mají navíc dvě kondenzátní čerpadla.

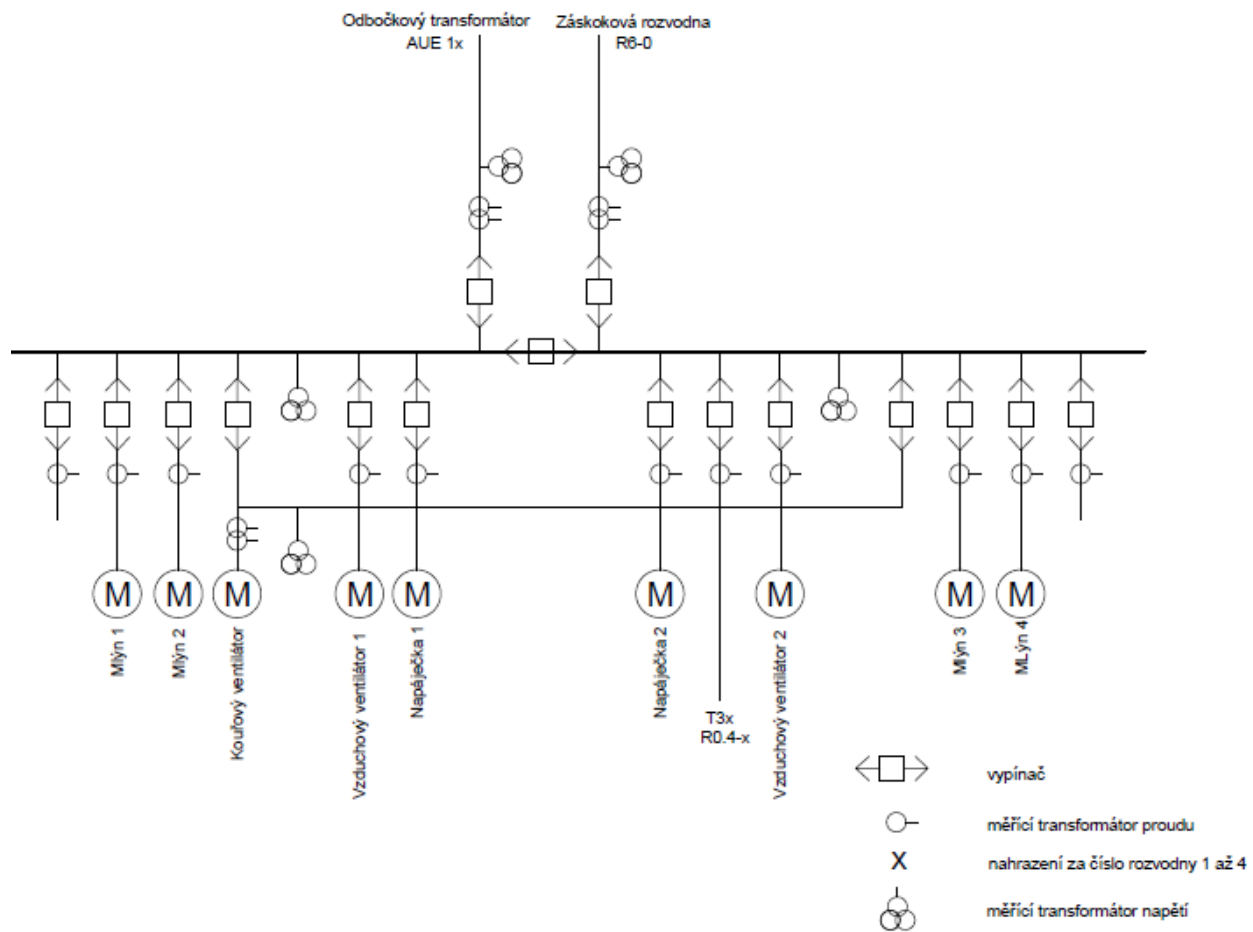
zařízení	počet odběrů	typ pohonu	výkon P (kW)	napětí U_s (kV)	jmenovitý proud I_n (A)	záběrový proud I_z (A)
mlýny	4	M880-6R	400	6	46,8	327
kouřový ventilátor	1	SAF20,6-14-1	1350	6	153	1071
vzduchový ventilátor	2	MT 880 4n	400	6	45,9	321
napáječky	2	E1055V2ND	1700	6	190	1330
kondenzátní čerpadlo	2	2N4355LK	160	6	19	133

Tab. 11: a) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6

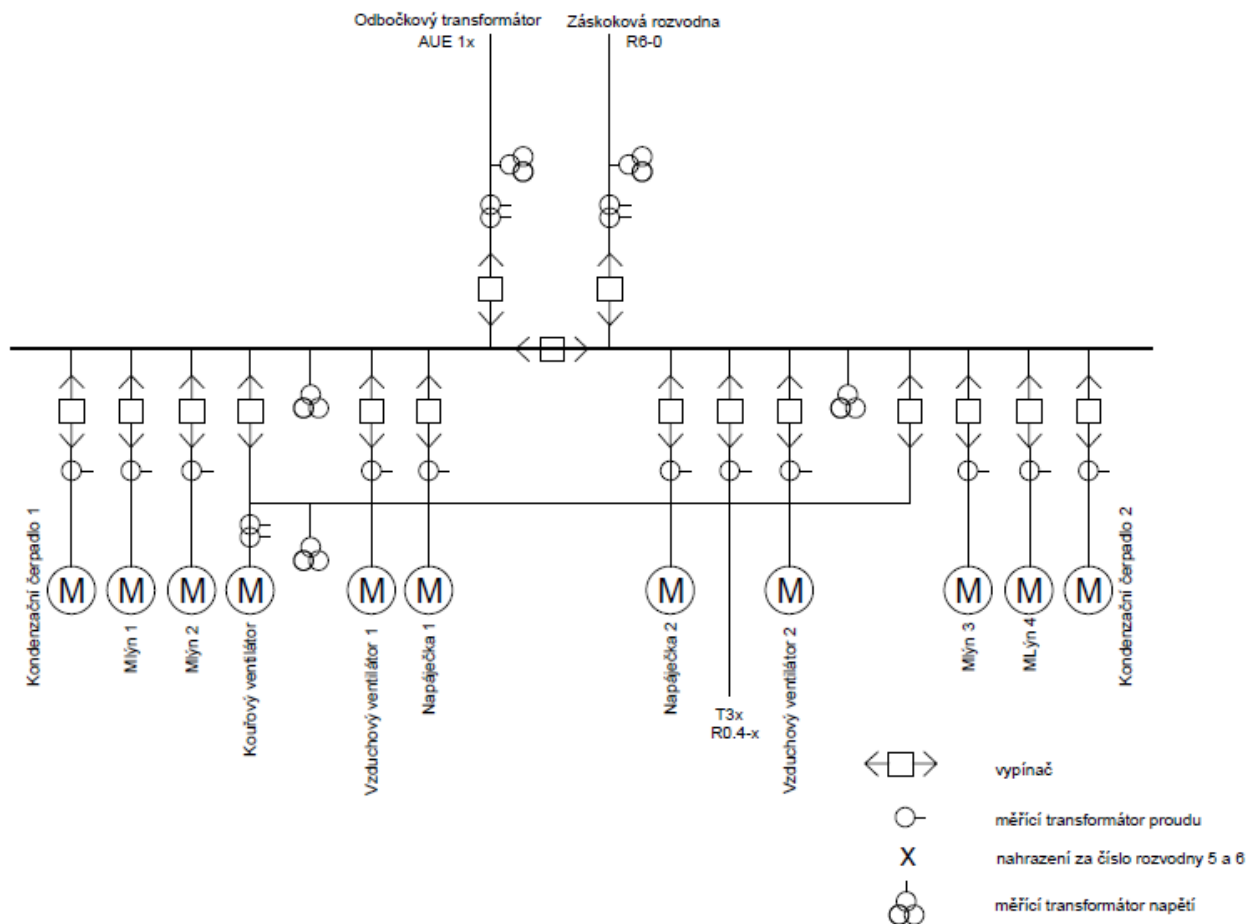
zařízení	koeficient soudobosti (-)	otáčky n (ot/min)	$\cos \varphi$ (-)
mlýny	1	980	0,82
kouřový ventilátor	1	1490	0,85
vzduchový ventilátor	0,5	1485	0,84
napáječky	0,5	2960	0,86
kondenzátní čerpadlo	0,5	1480	0,81

Tab. 12: b) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6

K odběrům v tabulce je ještě nutné dodat odběr dané rozvodny R0.4-x, napájené z rozvodu R6.



Obr. 4: Elektrické schéma rozveden R6-1 až R6-4



Obr. 5: Elektrické schéma rozvodu R6-5 a R6-6

2.2.2 Rozvodny R0.4-1 až R0.4-6:

Rozvodny R0.4-1 až R0.4-6 jsou rozvodny VS pro elektrárnu EMĚ 1 na napěťové hladině 0.4 kV. Rozvodny jsou rozděleny na dvě sběrnice zapojené vedle sebe do série s možností jejich rozpojení nebo spojení v případě potřeby.

Rozvodny R0.4 jsou napájené buď přes transformátory T4x z rozvodu R6, nebo z rozvodny R6-0, přes transformátor T50.

Z rozvodu R0.4 jsou napájeny menší stroje (například vývěvy, olejové čerpadlo, pro bloky 1 až 4 kondenzační čerpadla atd.) a velké množství dalších rozvodů sloužících pro napájení světel, počítačů

Pro naše použití nahradíme rozvodny R0.4 instalovaným výkonem a jmenovitým proudem na sekundárním vinutí transformátoru T3x. Pro všechny rozvodny R0.4 je jejich jmenovitý proud typově stejně velký.

zkratový výkon S_k (MVA)	99
zkratový proud I_{km} (kA)	143

Tab. 13: Tabulka jmenovitých hodnot rozveden R0.4-1 až R0.4-6

2.2.3 Záskoková rozvodna a rozvodna SVS R6-0:

Rozvodna R6-0 je rozvodna VS na napěťové hladině 6 kV sloužící jako záskoková rozvodna VS a rozvodna SVS. Tato rozvodna je rozdělena na tři části „A“, „B“ a „C“, které jsou navzájem propojené spojkami.

Část „A“ slouží jako záskoková pro blokové rozvodny R6. Je napájena z rozvodny R110 nebo přes záskokový transformátor AUE 21. Obsahuje i záskokové napájení rozveden 6 kV pro EMĚ 2.

Část „B“ je v běžném provozu napájena z transformátoru AUE 3 přes rozvodnu 3BBA1 a část „C“ je napájena z transformátoru AUE 4, přes rozvodnu 4BBA1. Na tyto části rozvodny R6-0 jsou přivedeny společné pohony EMĚ 1, jako například bagrovací čerpadla, splavovací čerpadla. Napájí se z nich také společná vlastní spotřeba jako zauhlování, chemická úpravna... a v sekci „B“ se nachází záskokové napájení rozveden R0.4-x přes transformátor T51.

Pro rozvodny zajišťující napájení pro zauhlování, chemická úpravna a hlavní světelný rozvaděč, nahradím jejich odběr zkratovým výkonem, který propustí jejich transformátory.

Vypínače v rozvodně R6-0. Pro odběry z rozvodny jsou použity třípólové vakuové vypínače Siemens 3AH5, 1250A, 31,5kA. Pro záskoky blokových rozveden, spojky v sekci „A“ a napájení z blokových transformátorů jsou použity třípólové vakuové vypínače Siemens 3AH3, 1250A, 40kA. Pro záložní napájení z EMĚ 2 a pro napájení z AUE 21 jsou použity třípólové vakuové vypínače Siemens 3AH3, 2500A, 50kA.

zařízení	počet odběrů	výkon P (kW)	napětí U_s (kV)	jmenovitý proud I (A)	záběrový proud I_z (A)	$\cos \varphi$ (-)	koeficient soudobosti
bagrovací čerpadla	2	400	6	45,6	319	0,84	0,5
splavovací čerpadla	3	190	6	27,3	191	0,67	1/3

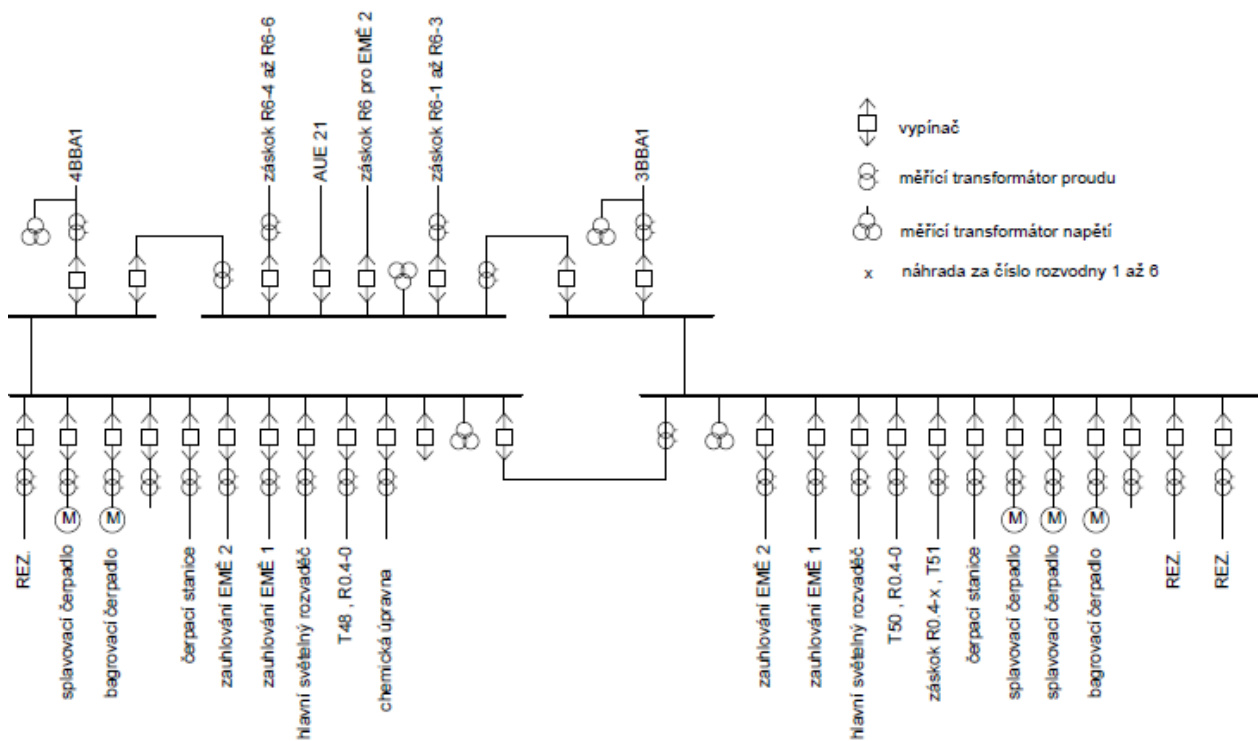
Tab. 14: Pohony napájené z rozvodny R6-0

Bagrovací a splavovací čerpadla se již dnes využívají pouze jako záskoková a místo nich se používají nové bagrovací čerpadla umístěná na R0.4-0.

odběr	počet	zkratový výkon S_k (MVA)	koeficient soudobosti
zauhlování EMĚ 2	2	11,1	0,5
zauhlování EMĚ 1	2	11,2	0,5
hlavní světelný rozvaděč	2	11,3	0,5
chemická úpravna	1	11,1	1
čerpací stanice	2	35,2	0,5

Tab. 15: Odběry z R6-0

K odběrům a pohonům z R6-0 se ještě musí přidat odběr R0.4-0, který je napájen z části „C“ přes transformátor T 48 nebo z části „B“ přes transformátor T 50.



Obr. 6: Elektrické schéma rozvodny R6-0

2.2.4 Rozvodna SVS R0.4-0:

Rozvodna R0.4-0 je rozvodna společné vlastní spotřeby. Slouží k napájení společných pohonů, světel, počítačů, dílen....

Rozvodna je napájena z rozvodny R6-0 přes transformátory T48 nebo T50 a je k ní připojen dieselagregát, který v případě výpadku napájení udrží v chodu mazání turbín a další funkce nutné pro dojetí bloků. Pro naše potřeby nahradíme rozvodnu zkratovým výkonem, který propustí transformátory T48 a T50. V případě napájení rozvodny z dieselagregátu jsem zkratové poměry neřešil, neboť agregát je chráněn vlastním systémem ochran. Tím se můžeme dopustit nepřesnosti ve výpočtu. Transformátory obvykle bývají naddimenzovány. Jelikož se mi však nepodařilo zjistit hodnotu zkratového proudu R0.4-0, tak lze tento způsob použít. Na výsledcích se to projeví v tom, že výsledný zkratový proud může být vyšší než by ve skutečnosti byl. Pokud vyhoví vypínače na tento zkratový proud, tak vyhoví i na skutečný.

Transformátor	zkratový výkon S_k (MVA)
T 48	16,34
T 51	16,34

Tab. 16: zkratový výkon transformátoru T 48 a T 51

2.2.5 Připojení EMĚ 1 do sítě, rozvodna R110:

EMĚ 1 je do rozvodné sítě připojena z rozvodny R110. Na tu jsou napojeny všechny bloky EMĚ 1 a je z ní napájena rozvodna R6-0 přes záskokový transformátor AUE 21.

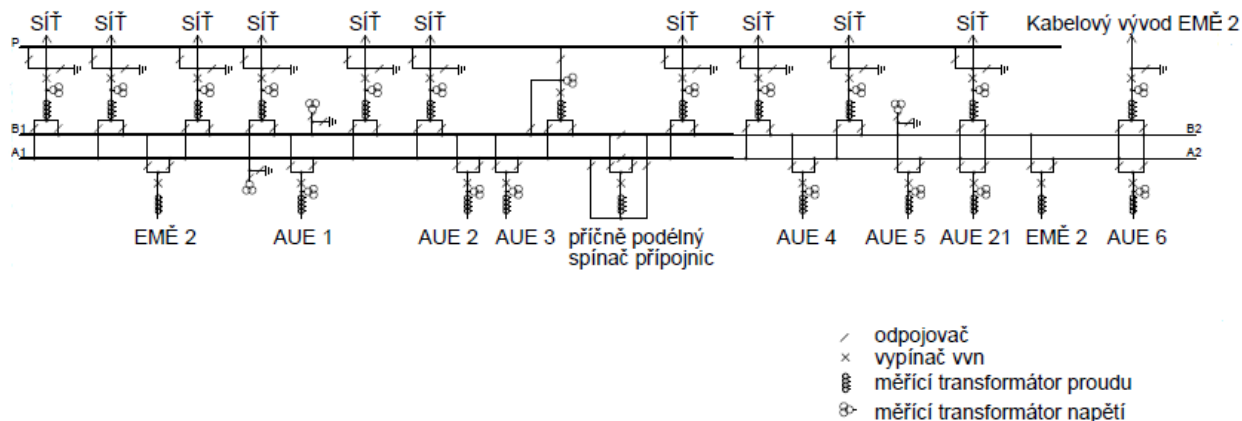
Rozvodna R110 se skládá z pěti přípojnic označených „A1“, „A2“, „B1“, „B2“ a „P“. Přípojnice „A“ a „B“ jsou k sobě paralelně a jsou rozděleny na dvě poloviny spínačem přípojnic. Přípojnice „P“ slouží jako záložní, pokud je z nějakého důvodu potřeba odpojit přípojnice „A“ a „B“.

Z R110 je vyvedeno deset vývodů do sítě. Pro příklad uvedu směry některých z vývodů: Praha-sever, Louny, Kralupy nad Vltavou, Štětí a další.

Rozvodnu R110 nahradíme zkratovým výkonem sítě, včetně elektrárny.

Zkratový výkon S_k (MVA)	3600
----------------------------	------

Tab. 17: zkratový výkon rozvodny R110



Obr. 7: Elektrické schéma rozvodny R110

2.2.6 Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1:

Tyto 6 kV rozvodny jsou umístěny hned za odbočkou blokového transformátoru 3 a 4. Slouží pro napájení vlastní spotřeby svých bloků (3 nebo 4) a zároveň s nimi napájí i SVS (rozvodna R6-0), přes reaktor omezující zkratový proud. Druhým vývodem z rozveden je napájení odsíření a třetím vývodem je záskokové napájení rozvodny výměňkové stanice Praha, pro ohřev vody okruhu Praha, ta je v normálním stavu napájena z EMĚ 2.

Napájení odsíření je rozděleno na dvě poloviny. Jedna polovina je trvale napájena z 3BBA1 a druhá polovina je trvale napájena z 4BBA1, při poruše jednoho z přívodů se poloviny přepojí na jeden z přívodů

Rozvodna je na výstupech vybavena vakuovými vypínači SIEMENS 3AH3 1250 A, 50 kA.

Pro naše potřeby nahradíme odsíření a výměňkovou stanici Praha jejich zkratovým výkonem.

odběr	zkratový výkon S_k (MVA)
výměňková stanice Praha	224
odsíření	132

Tab. 18: Zkratový výkon odběrů 3BBA1 a 4BBA1

jmenovitý proud I_n (A)	1000
jmenovitý napětí U_n (kV)	6
jmenovitý napětí nakrátko u_k (%)	6

Tab. 19: Jmenovité hodnoty reaktoru

3. Zkrat

Zkrat je „náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma, nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.“ [2]

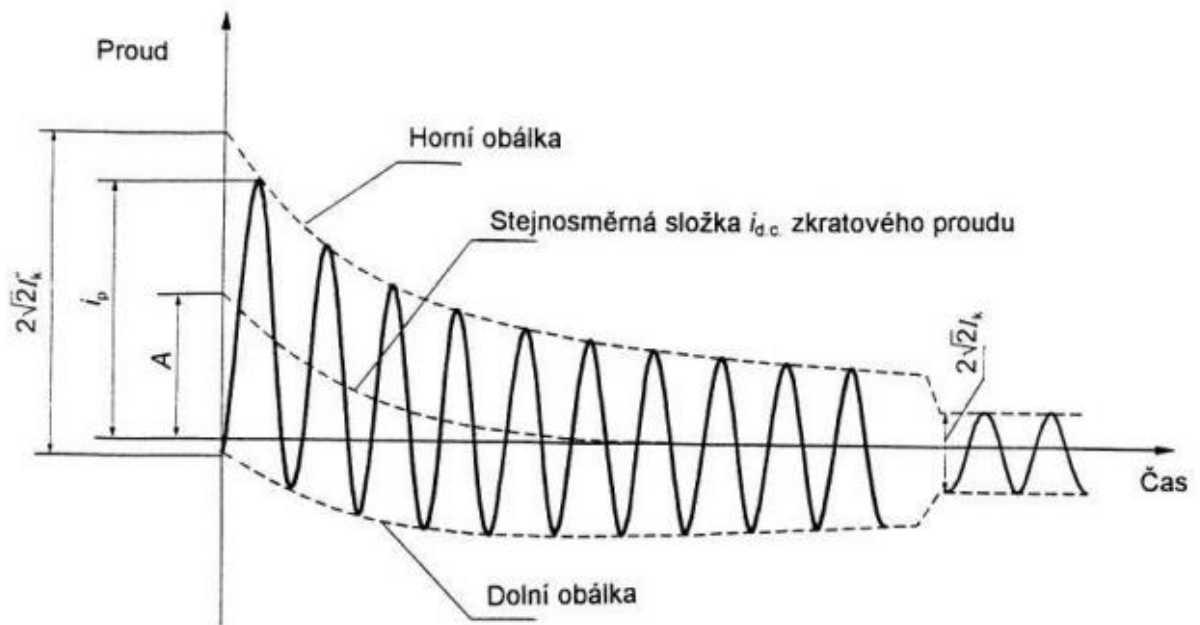
3.1 Zkratový proud:

Zkratový proud, který začne téct při vzniku zkratu, má charakteristický tvar, viz obrázky níže. Většinou v praxi není nutný výpočet celého tvaru proudu, ale zajímají nás pouze některé jeho části. „Podle použití výsledků nás zajímá efektivní hodnota souměrné střídavé složky a nárazový zkratový proud i_p zkratového proudu po vzniku zkratu.“ [2]

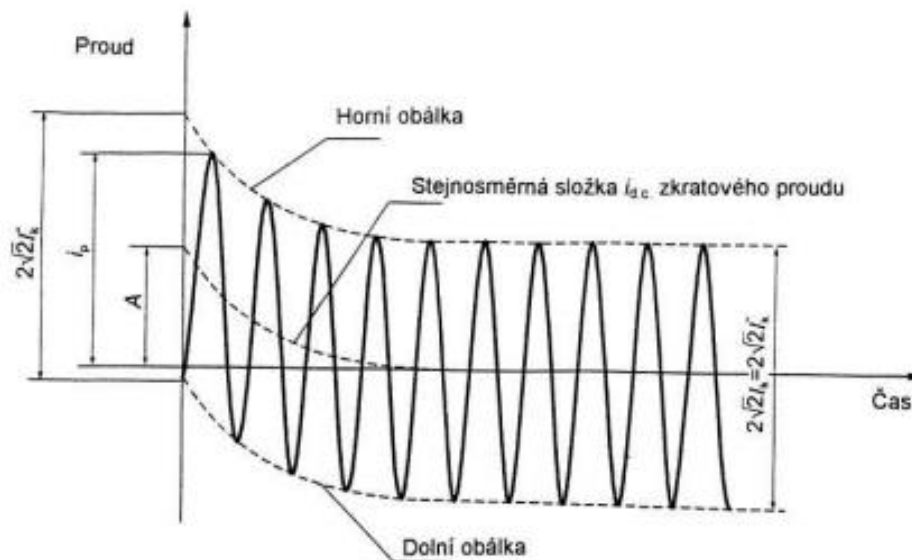
Nárazový zkratový proud závisí na zkratové impedanci a je nutné předpokládat, že vznikne ve chvíli, kdy napětí prochází nulou.

Rozlišujeme dva typy zkratu. Zkrat vzdálený nastává, pokud je místo zkratu dostatečně elektricky vzdáleno od zdrojů zkratového proudu, synchronní stroje, nebo pokud je podíl asynchronních strojů na počátečním zkratovém proudu zanedbatelný. Průběh proudu u vzdáleného zkratu je charakteristický přibližně konstantní velikostí souměrné střídavé složky zkratového proudu.

Zkrat blízký nastává, pokud příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo v případě, že příspěvky asynchronních motorů překračují 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu $I_{k''}$ bez motorů.



Obr. 8: Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky blízký [2]



Obr. 9: Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky vzdálený [2]

3.2 Předpoklady výpočtu:

Pro výpočty maximálních zkratových proudů se vychází z následujících zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratu se nezmění jeho typ, tj. trojfázový zkrat zůstane trojfázový a podobně.
- b) Po dobu trvání zkratu nedojde k žádné změně v síti.
- c) Impedance transformátorů se uvažují pro přepínače odboček v základní poloze.
- d) Neuvažují se odpory oblouku.
- e) Všechny kapacity vedení, paralelní admitance z netočivé statické zátěže se s výjimkou paralelních admitancí v netočivé soustavě zanedbávají.

„Výpočty zajišťují dostatečnou přesnost výsledků, i když tyto předpoklady pro uvažované elektrické neodpovídají zcela přesně dané skutečnosti.“ [2]

3.3 Ekvivalentní zdroj v místě zkratu:

Tato metoda pro výpočet se zakládá na zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Tento zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje se nahrazují jejich vnitřní impedancí. Pro velikost napětí ekvivalentního napěťového zdroje platí rovnice:

$$E = c * \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

Kde U_n je sdružená hodnota napětí sítě v místě zkratu

a c je napěťový součinitel (který je zaveden v důsledku kolísání napětí v závislosti na čase, různé poloze odboček transformátorů, zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí a chování generátorů a motorů při přechodném ději). Hodnotu c udává norma [2] pro sítě vn a vvn jako 1,1 pro maximální zkratové proudy a 1 pro minimální zkratové proudy.

3.4 Metoda výpočtu použitím souměrných složek:

Zjednodušení výpočtu hodnot zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách pro nesouměrné a souměrné zkraty. Předpokladem je, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu. Výsledky mají přijatelnou přesnost i při nesplnění této podmínky.

Při tomto postupu nahradíme nesymetrické fázory napětí třemi souměrnými složkovými soustavami: Sousedné, zpětné a netočivé (značených indexem 1,2,0, ve stejném pořadí jak jsou uvedeny).

Pokud vezmeme fázi A jako referenční tak potom platí:

$$\check{I}_A = \check{I}_1 + \check{I}_2 + \check{I}_0$$

$$\check{I}_B = \check{\alpha}^2 \check{I}_1 + \check{\alpha} \check{I}_2 + \check{I}_0$$

$$\check{I}_C = \check{\alpha} \check{I}_1 + \check{\alpha}^2 \check{I}_2 + \check{I}_0$$

S tím, že $\check{\alpha}$ je operátor natočení o 120° :

$$\check{\alpha} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Každá ze složek soustavy má vlastní impedanci. Pro výpočet zkratů spočteme jednotlivé impedance. Impedance sousledné složky a zpětná impedance se může lišit pouze v případě točivých strojů. [2]

3.5 Výpočet pomocí poměrných hodnot:

Pro výpočet zkratů použijeme hodnoty vztažené na domluvený základ. Vztažené sdružené napětí U_v je bráno v místě zkratu. Vztažený výkon S_v může být zvolen libovolně. Z těchto hodnot se vypočítá vztažený proud I_v . Zkratové impedance se nahradí vztažnou impedancí $z = \frac{Z}{Z_v}$ a z nich se následně vypočítá vztažná reaktance. Pro tuto metodu výpočtů zkratů se uvažují pouze reaktance, jedná se o zběžný výpočet zkratových proudů. Výsledný vypočtený zkratový proud je větší než skutečný. Samotný výpočet zkratového proudu se provádí postupným zjednodušováním.

Pokud by se stalo, že se někde vypočtený proud blíží k příliš mnoho k výdržnosti spínacích prvků, tak by se musel zkratový proud dopočítat přesnější metodou výpočtu při uvažování i odporů.

Počáteční rázový zkratový proud (pro trojfázový zkrat):

$$I''_{k0} = \frac{1}{Z_1} * I_v$$

A počáteční rázový zkratový výkon (pro trojfázový zkrat):

$$S''_{k0} = \sqrt{3} * U_v * I''_{k0}$$

Dalšími vzorci pro poměrné hodnoty jsou:

$$Z_v = \frac{U_{vf}}{I_v}$$

$$S_v = \sqrt{3} * U_v * I_v \Rightarrow I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} * U_v}$$

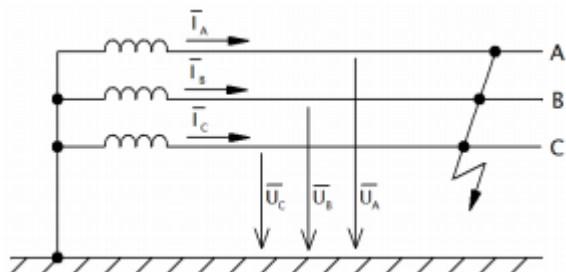
Kde: U_{vf} je fázová hodnota vztažného napětí. [6]

3.6 Trojfázový zkrat:

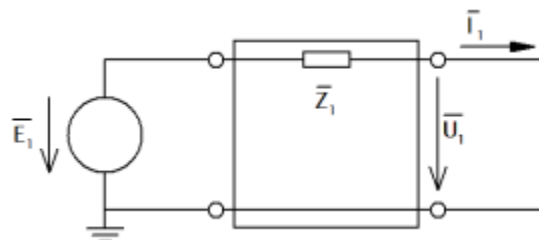
Při kontrole přístrojů budu počítat s trojfázovým zkratem. Budu brát trojfázový zkrat jako nejhorší variantu zkratu i když se může stát, například pokud se zkrat nachází

blízko transformátoru s vinutím zapojeným do trojúhelníka a nízkou zpětnou impedancí \bar{Z}_0 , že největší počáteční zkratový proud je větší při dvojfázovém zkratu a v tomto případě je i proud jednofázového zkratu větší než trojfázového.

Trojfázový zkrat se vyznačuje tím, že dojde k propojení všech tří fází mezi sebou a zemí, nebo jen mezi sebou. Pro trojfázový zkrat se projevuje pouze sousledná složková soustava a zbylé dvě (zpětnou a netočivou) nebudou dále uvažovat.



Obr. 10: Elektrické schéma trojfázového zkratu [7]



Obr. 11: Složkové schéma náhradního obvodu[7]

3.7 Nárazový zkratový proud:

Nárazový zkratový proud i_p , kterému se dříve říkalo dynamický proud, je maximální možná velikost okamžité hodnoty zkratového proudu, které se dá dosáhnout, pokud zkrat vznikne v okamžiku, kdy se vytvoří největší stejnosměrná složka zkratového proudu. Této hodnoty se obvykle dosáhne při první půlvlně zkratového proudu. Odvozují se z něj silové účinky zkratového proudu. V normě [2] je uveden vzorec:

$$i_p = \kappa * \sqrt{2} * I''_{k0}$$

Kde součinitel κ je závislý na poměru R/X a v normě [2] je uvedený přibližný vzorec jako:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3 R/X}$$

Jelikož používáme zběžnou metodu výpočtu zkratových proudů, kde zanedbáváme odpor, tak za R dosadíme nulu a vyjde nám:

$$\kappa = 2$$

3.8 Poměrná reaktance prvků vlastní spotřeby:

Následující vzorce pro výpočty poměrných reaktancí prvků VS, jsou přebrané z webu [6] a z normy [2].

3.8.1 Poměrná reaktance synchronního generátoru:

Pro poměrnou reaktanci synchronního generátoru platí vzorec:

$$x_G = \frac{x_d''}{100\%} * \frac{S_v}{S_{nG}} * \left(\frac{U_{nG}}{U_v}\right)^2 * p^2$$

Kde: x_G je poměrná reaktance generátoru

x_d'' je rázová reaktance generátoru v procentech

S_{nG} je jmenovitý zdánlivý výkon generátoru

U_{nG} je jmenovité napětí generátoru

p^2 jsou převody transformátorů mezi generátorem a místem zkratu na druhou

[6]

3.8.2 Poměrná reaktance soustavy:

Soustavy jsou v našem případě oblasti nahrazené jejich zkratovým výkonem, jako například R0.4-x. Pro jejich poměrné reaktance platí vzorec:

$$x_s = k * \frac{S_v}{S_{ks}} * p^2$$

Kde: x_s je poměrná reaktance soustavy

$k = 1,1$ „je koeficient respektující vnitřní napětí generátorů pracujících do soustavy s se zátěží $e = 1,1$, uvažujeme svorkové napětí generátoru $u_n = 1$, platí pro VN a VVN sítě, převzato z normy pro výpočet zkrat. proudů“ [6]

S_{ks} je zkratový výkon soustavy [6]

3.8.3 Poměrná reaktance dvouvinutového transformátoru:

V rozvodu VS EMĚ 1 se jedná o všechny transformátory s výjimkou transformátorů AUE 3 a AUE 4. Vzorec pro výpočet poměrné reaktance je:

$$x_T = \frac{u_k}{100\%} * \frac{S_v}{S_{nT}} * \left(\frac{U_{nT}}{U_v}\right)^2 * p^2$$

Kde: x_T je poměrná reaktance dvouvinutového transformátoru

S_{nT} je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

U_{nT} je napětí transformátoru blíže k místu zkratu [6]

3.8.4 poměrná reaktance trojvinutového transformátoru:

Norma [2] uvádí přepočtení trojvinutového transformátoru na náhradní Y schéma sousledných impedancí pomocí hodnot napětí nakrátko:

$$Z_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} ; Z_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} ;$$

$$Z_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}}$$

Kde: u_{Rr} je jmenovité činné napětí nakrátko v procentech

u_{Xr} je jmenovité indukční napětí nakrátko v procentech

Dále se v ní uvádí vzorec pro u_{Xr} jako:

$$u_{XrAC} = \sqrt{u_{krAC}^2 - u_{RrAC}^2}$$

Kde: u_{krAC} je celkové jmenovité napětí nakrátko v procentech. [2]

Protože je v transformátoru činná složka malá v porovnání s indukční složkou, tak ji zanedbám. Vzorec pro reaktanci tedy bude:

$$X_{AB} = \frac{u_{kr}}{100\%} * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} ; X_{AC} = \frac{u_{kr}}{100\%} * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} ; X_{BC} = \frac{u_{kr}}{100\%} * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}}$$

Následně reaktance přepočtu transfigurací na Y náhradní schéma:

$$X_A = \frac{1}{2}(X_{AC} + X_{AB} - X_{BC}) ; X_B = \frac{1}{2}(X_{BC} + X_{AB} - X_{AC}) ; X_C = \frac{1}{2}(X_{AC} + X_{BC} - X_{AB})$$

Pro přepočet reaktancí na poměrné hodnoty je ještě musím vydělit vztaznou impedancí:

$$x_A = \frac{X_A}{Z_v} ; x_B = \frac{X_B}{Z_v} ; x_C = \frac{X_C}{Z_v}$$

3.8.5 Poměrná reaktance reaktoru:

Norma [2] udává zkratovou impedanci jako:

$$Z_R = \frac{u_{kr}}{100\%} * \frac{U_n}{\sqrt{3} * I_{rR}}$$

Kde: U_n je napětí soustavy

I_{rR} je jmenovitý proud reaktoru

u_{kr} je jmenovité napětí nakrátko v procentech

Pro reaktory platí že: $R_R \ll X_R$ [2]

Z toho vyplývá, že můžeme odpor reaktoru zanedbat a uvažovat impedanci Z_R rovnou reaktanci X_R . Pak nám vyjde poměrná reaktance jako:

$$x_R = \frac{Z_R}{Z_v} * p^2$$

3.8.6 Poměrná reaktance asynchronního pohonu:

Pro výpočet velikosti zkratových proudů se musí uvažovat příspěvek asynchronních pohonů, které mohou být v danou chvíli v současném chodu. Norma [2] uvádí vzorce pro impedanci a reaktanci asynchronních strojů:

$$Z_M = \frac{1}{I_z/I_n} * \frac{U_{ns}}{\sqrt{3} * I_n} = \frac{1}{I_z/I_n} * \frac{U_{ns}^2}{S_n}$$

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + (R_M/X_M)^2}}$$

Kde: U_{ns} je jmenovité sdružené napětí motoru

S_n je jmenovitý zdánlivý výkon motoru

I_z je záběrný proud motoru

I_n je jmenovitý proud motoru

Norma uvádí, že s dostatečnou přesností je možné brát:

„ $R_M/X_M = 0,10$ s $X_M = 0,995 * Z_M$ pro motory vn o výkonu P_{rM} na dvojici pólů ≥ 1 MW;

$R_M/X_M = 0,15$, s $X_M = 0,989 * Z_M$ pro motory vn o výkonu P_{rM} na dvojici pólů ≤ 1 MW;” [2]

Z toho vyplývá, že pro poměrnou reaktanci lze použít vztah:

$$x_M = 0,995 * \frac{Z_M}{Z_v} * p^2 \text{ pro motory o jmenovitým výkonu na dvojici pólů } \geq 1 \text{ MW}$$

$$x_M = 0,989 * \frac{Z_M}{Z_v} * p^2 \text{ pro motory o jmenovitým výkonu na dvojici pólů } \leq 1 \text{ MW}$$

3.8.7 Další impedance a reaktance:

Norma [2] dále udává impedance dalších zařízení, které se v našem případě buď neobjevují (jako například synchronní motory, synchronní kompenzátory...) anebo je zanedbáváme vzhledem k velikosti jejich příspěvku oproti ostatním (jako například reaktance vedení).

3.9 Výpočty zkratových proudů:

Následují výpočty zkratových proudů pro některé z rozveden VS a SVS.

3.9.1 Zkrat v rozvodně R6-1 při napájení z odbočkového transformátoru:

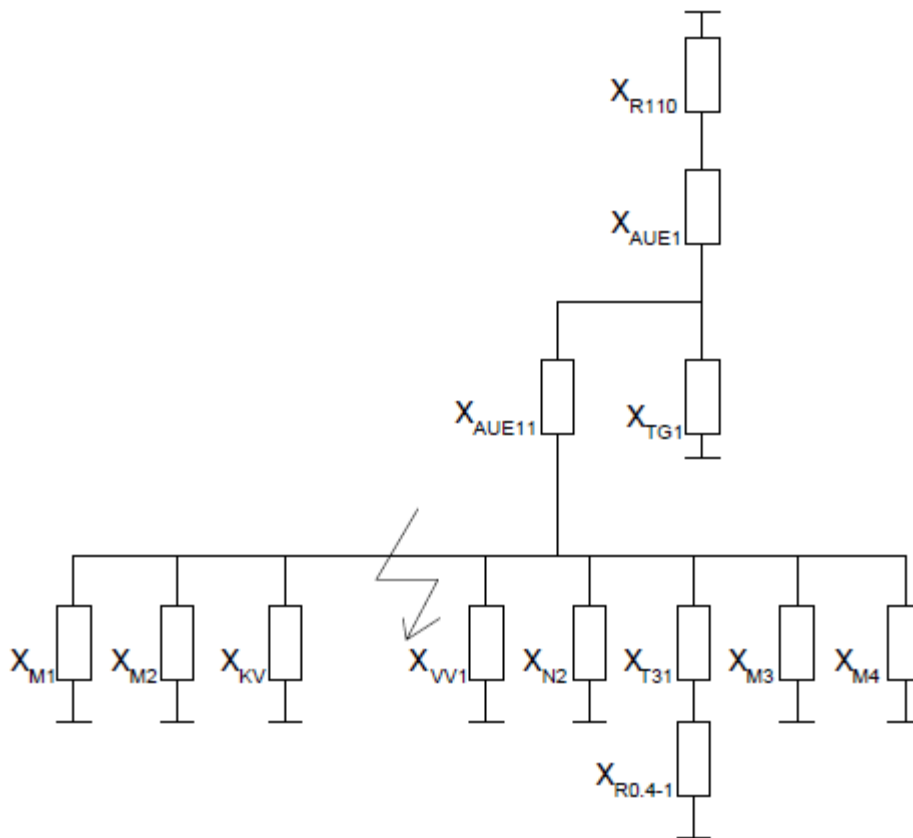
Prvním zkratem, který budu počítat je trojfázový zkrat v rozvodně R6-1. Zkrat provedeme v části „A“ rozvodny při napájení z blokového transformátoru. Vzduchový ventilátor VV2 a napáječku N1 nebudu uvažovat, neboť v tomto případě slouží jako záloha. Prvním krokem je nahrazení jednotlivých prvků v rozvodně jejich poměrnými reaktancemi a zakreslení jich do schématu.

Jako vztažné hodnoty jsem zvolil:

$$U_v = 6 \text{ kV} ; S_v = 10 \text{ MVA}$$

$$I_v = \frac{10 * 10^6}{\sqrt{3} * 6000} = 962,6 \text{ A}$$

$$Z_v = \frac{6000}{\sqrt{3} * 962,6} = 3,6 \Omega$$



Obr. 12: Schéma poměrných reaktancí pro první zkrat

Pro přepočítání na poměrné reaktance jsem použil vzorce z kapitoly 3.8:

Pro asynchronní motory:

- Mlýny (M):

$$Z_M = \frac{1}{327/46,8} * \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 46,8} = 10,59 \, \Omega$$
$$x_M = 0,989 * \frac{10,59}{3,6} = 2,91$$

- Kouřový ventilátor (KV):

$$Z_M = \frac{1}{1\,071/153} * \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 153} = 3,23 \, \Omega$$
$$x_M = 0,989 * \frac{3,23}{3,6} = 0,88$$

- Vzduchový ventilátor (VV):

$$Z_M = \frac{1}{321/45,9} * \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 45,9} = 10,79 \, \Omega$$
$$x_M = 0,989 * \frac{10,59}{3,6} = 2,96$$

- Napáječka (N):

$$Z_M = \frac{1}{1\,330/190} * \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 190} = 2,6 \, \Omega$$
$$x_M = 0,989 * \frac{2,6}{3,6} = 0,72$$

Pro transformátory:

- Transformátor pro R0.4-1 (T31):

$$x_{T31} = \frac{6.2}{100} * \frac{10 * 10^6}{2 * 10^6} = 0,31$$

- Odbočkový transformátor (AUE 11):

$$x_{AUE11} = \frac{7.6}{100} * \frac{10 * 10^6}{10 * 10^6} = 0,076$$

- Blokový transformátor (AUE 1):

$$x_{AUE1} = \frac{10.45}{100} * \frac{Sv}{63 * 10^6} * \left(\frac{10\,500}{6\,000}\right)^2 * \left(\frac{10\,500}{6\,000}\right)^2 = 0,16$$

Pro turboalternátor (TG1):

$$x_{TG1} = \frac{14.5}{100} * \frac{10 * 10^6}{75 * 10^6} * \left(\frac{10\,500}{6\,000}\right)^2 * \left(\frac{10\,500}{6\,000}\right)^2 = 0,18$$

Pro soustavy:

- R0.4-1:

$$x_s = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{99,1 * 10^6} * \left(\frac{6\,000}{400}\right)^2 = 24,97$$

- R110:

$$x_s = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{3\,600 * 10^6} * \left(\frac{110\,000}{10\,500}\right)^2 * \left(\frac{10\,500}{6\,000}\right)^2 = 1,03$$

Následuje úprava schématu metodou postupného zjednodušování a výpočtu celkové poměrné reaktance, kterou pak mohu dosadit do vzorce pro výpočet počátečního zkratového proudu:

$$x_{celk} = 0,1159$$

Následuje výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I''_{k0} = \frac{1}{0,1159} * 962,6 = 8\,305\,A$$

Počáteční rázový zkratový výkon:

$$S''_{k0} = \sqrt{3} * 6\,000 * 8\,305 = 86,31\,MVA$$

Výpočet nárazového zkratového proudu:

$$i_p = 2 * \sqrt{2} * 8\,305 = 23\,490\,A$$

3.9.2 Zkrat v rozvodně R6-1 při napájení ze záskokové rozvodny R6-0:

Druhý zkrat, která budu počítat je trojfázový zkrat v rozvodně R6-1. Tento zkrat bude umístěn stejně jako v předchozím případě, pouze nenapájíme VS přes odbočkový transformátor, ale přes záskokovou rozvodnu R6-0. Vzduchový ventilátor VV2 a napáječku N1 nebudu uvažovat, v tomto případě slouží jako záloha. V rozvodně R6-0 bude rozdělené napájení SVS a záskok napájení. SVS bude napájena z bloku 3 a záskok napájení pro R6-1 bude napájený z bloku 4 (rozvodnu R6-4 nahradím její poměrnou reaktancí, která je stejně velká jako pro rozvodnu R6-1).

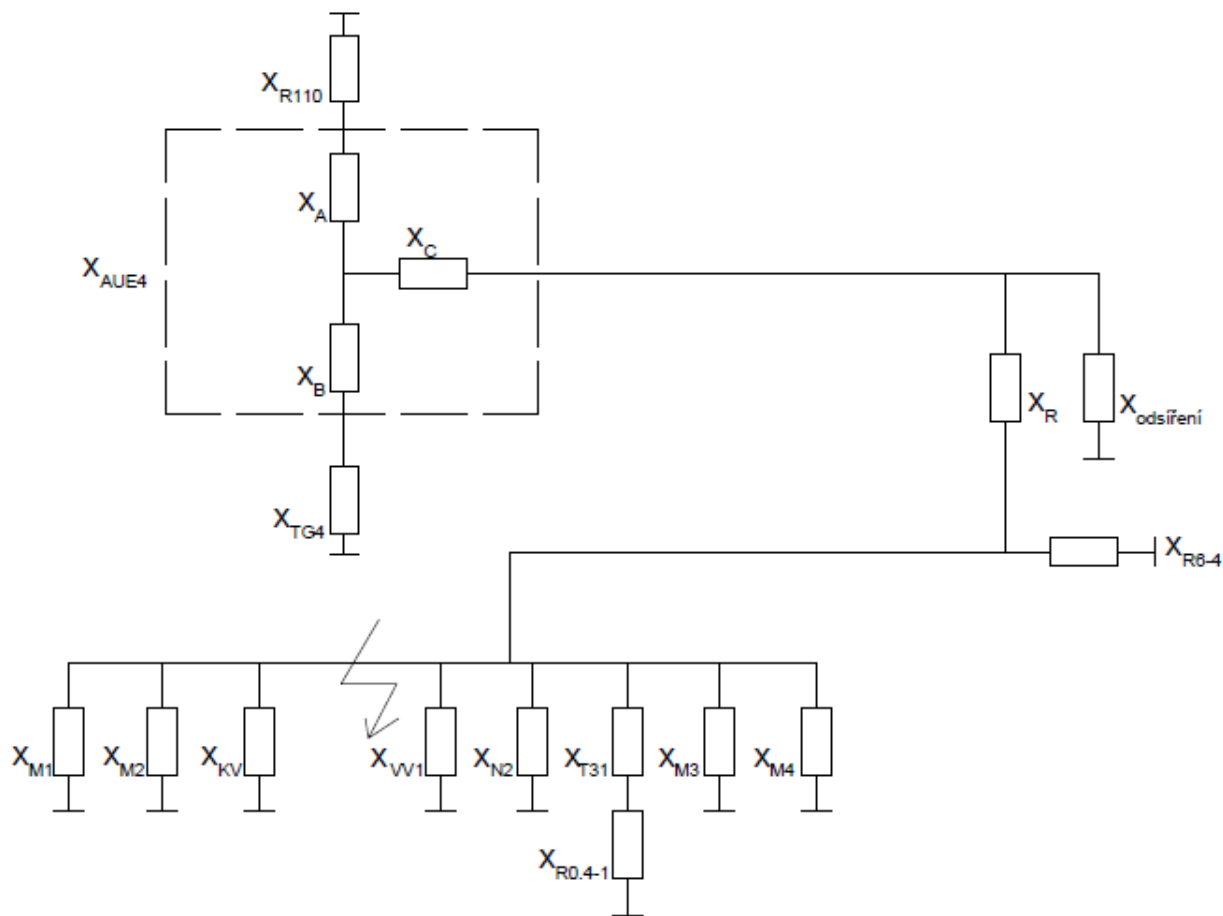
Nahrazení prvků poměrnými reaktancemi a zakreslení do schématu:

Vztažné hodnoty:

$$U_v = 6\,kV ; S_v = 10\,MVA$$

$$I_v = \frac{10 * 10^6}{\sqrt{3} * 6\,000} = 962,6\,A$$

$$Z_v = \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 962,6} = 3,6\,\Omega$$



Obr. 13: Schéma poměrných reaktancí pro druhý zkrat

Pro přepočítání na poměrné reaktance jsem použil vzorce z kapitoly 3.8:

Pro asynchronní motory:

- Poměrné reaktance vyjdou stejně jako v 3.9.1.

Pro transformátory:

- Transformátor pro R0.4-1 (T31):

$$x_{T31} = \frac{6.2}{100} * \frac{10 * 10^6}{2 * 10^6} = 0,31$$

- Pro blokový transformátor (AUE 4):

$$X_{AB} = \frac{11.64}{100} * \frac{110\,000^2}{63 * 10^6} = 22,35 \, \Omega; \quad X_{AC} = \frac{17.32}{100} * \frac{110\,000^2}{40 * 10^6} = 52,39 \, \Omega;$$

$$X_{BC} = \frac{9.25}{100} * \frac{110\,000^2}{40 * 10^6} = 27,98 \, \Omega$$

$$X_A = \frac{1}{2}(22,35 + 52,39 - 27,98) = 23,38 \Omega; X_B = \frac{1}{2}(22,35 + 27,98 - 52,39) = -1,03 \Omega;$$

$$X_C = \frac{1}{2}(27,98 + 52,39 - 22,35) = 29 \Omega$$

$$x_A = \frac{23,38}{3,6} = 6,49; x_B = \frac{-1,03}{3,6} = -0,29; x_C = \frac{29}{3,6} = 8,06$$

Pro reaktor (R):

$$Z_R = \frac{6}{100} * \frac{6\ 000}{\sqrt{3} * 1\ 000} = 0,21 \Omega$$

$$x_R = \frac{0,21}{3,6} = 0,058$$

Pro turboalternátor (TG4):

$$x_{TG4} = \frac{14.5}{100} * \frac{10 * 10^6}{75 * 10^6} * \left(\frac{10\ 500}{6\ 000}\right)^2 * \left(\frac{10\ 500}{6\ 000}\right)^2 = 0,18$$

Pro soustavy:

- R0.4-1:

$$x_{R0.4-1} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{99,1 * 10^6} * \left(\frac{6\ 000}{400}\right)^2 = 24,97$$

- R110:

$$x_{R110} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{3\ 600 * 10^6} * \left(\frac{110\ 000}{6\ 000}\right)^2 = 1,03$$

- Odsíření:

$$x_{odsíření} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{66 * 10^6} = 0,166$$

Pro rozvodnu R6-4: (výpočtu jako paralelní kombinaci reaktancí pohonů a R0.4-4 na R6-4)

$$x_{R6-4} = 0,234$$

Následuje úprava schématu metodou postupného zjednodušování a výpočtu celkové poměrné reaktance, kterou pak mohou dosadit do vzorce pro výpočet počátečního zkratového proudu:

$$x_{celk} = 0,0765$$

Následuje výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I''_{k0} = \frac{1}{0,115} * 962,6 = 12\ 588\ A$$

Počáteční rázový zkratový výkon:

$$S''_{k0} = \sqrt{3} * 6\,000 * 12\,588 = 130,8 \text{ MV}$$

Výpočet nárazového zkratového proudu:

$$i_p = 2 * \sqrt{2} * 12\,588 = 35\,604 \text{ A}$$

3.9.3 Zkrat v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0 napájené z bloku 4:

Třetím zkratem bude trojfázový zkrat v rozvodně R6-0 napájené z blokového transformátoru AUE 3, přes reaktor. Pro tento výpočet nebudu uvažovat odběry ze sekce „C“, které budou ponechané jako záložní, s výjimkou napájení chemické úpravy. Zkrat proběhne v době, kdy bude probíhat zauhlování EMĚ 1 i EMĚ 2. Budu počítat zkrat pro bezporuchový stav, to znamená, že na rozvodu nebude připojena žádná jiná rozvodna vlastní spotřeby a Pražská výměňková stanice nebude napájená z 3BBA1. Bagrovací a splavovací čerpadla nebudu uvažovat, slouží pouze jako záložní. Rozvodu R6-3 nahradím její poměrnou reaktancí.

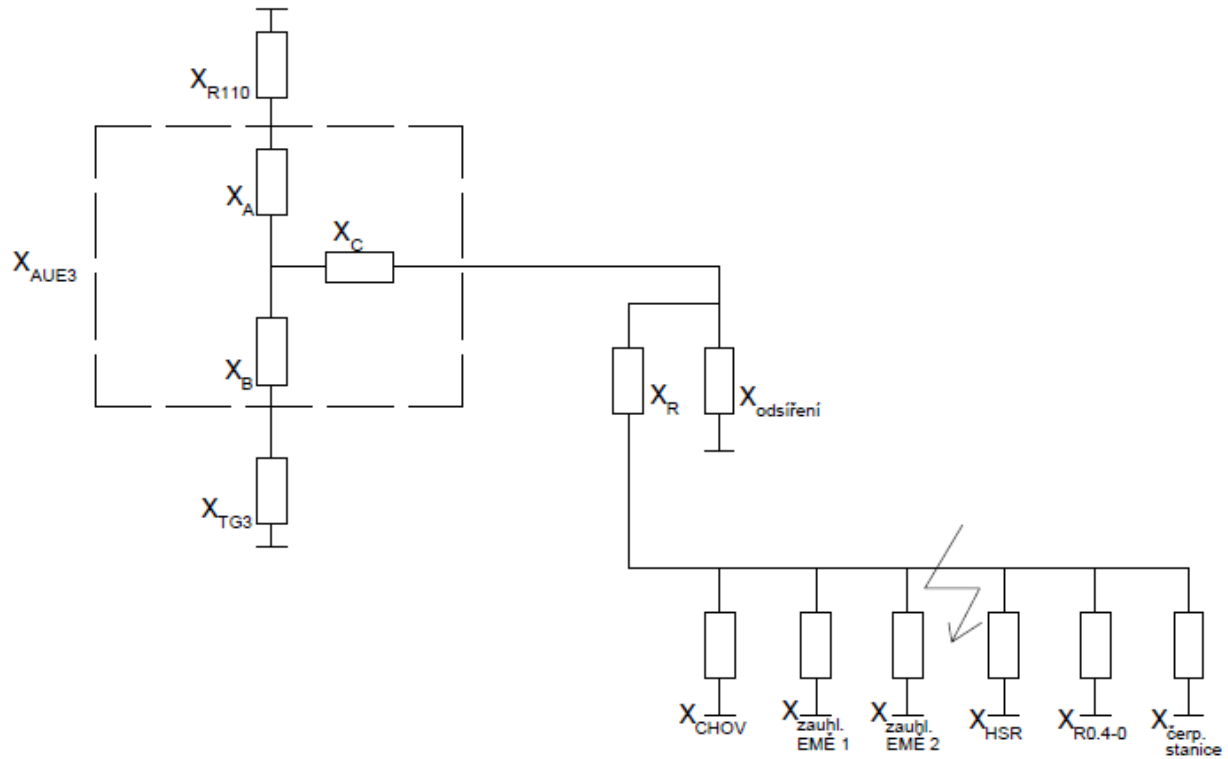
Nahrazení prvků poměrnými reaktancemi a zakreslení do schématu:

Vztažné hodnoty:

$$U_v = 6 \text{ kV} ; S_v = 10 \text{ MVA}$$

$$I_v = \frac{10 * 10^6}{\sqrt{3} * 6\,000} = 962,6 \text{ A}$$

$$Z_v = \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 962,6} = 3,6 \Omega$$



Obr. 14: Schéma poměrných reaktancí pro třetí zkrat

Přepočet na poměrné reaktance podle 3.8:

Pro transformátory:

- Blokový transformátor (AUE 3):

$$X_{AB} = \frac{11.64}{100} * \frac{110\,000^2}{63 * 10^6} = 22,35; \quad X_{AC} = \frac{17.32}{100} * \frac{110\,000^2}{40 * 10^6} = 52,39;$$

$$X_{BC} = \frac{9.25}{100} * \frac{110\,000^2}{40 * 10^6} = 27,98$$

$$X_A = \frac{1}{2}(22,35 + 52,39 - 27,98) = 23,38; \quad X_B = \frac{1}{2}(22,35 + 27,98 - 52,39) = -1,03;$$

$$X_C = \frac{1}{2}(27,98 + 52,39 - 22,35) = 29$$

$$x_A = \frac{23,38}{3,6} = 6,49; \quad x_B = \frac{-1,03}{3,6} = -0,29; \quad x_C = \frac{29}{3,6} = 8,06$$

Pro reaktor (R):

$$Z_R = \frac{6}{100} * \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 1\,000} = 0,21 \, \Omega$$

$$x_R = \frac{0,21}{3,6} = 0,058$$

Pro turboalternátor (TG3):

$$x_{TG3} = \frac{14.5}{100} * \frac{10 * 10^6}{75 * 10^6} * \left(\frac{10\ 500}{6\ 000}\right)^2 * \left(\frac{10\ 500}{6\ 000}\right)^2 = 0,18$$

Pro soustavy:

- R110:

$$x_{R110} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{3\ 600 * 10^6} * \left(\frac{110\ 000}{6\ 000}\right)^2 = 1,03$$

- Zauhlování EMĚ 1:

$$x_{zauhl.1} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,1 * 10^6} = 0,99$$

- Zauhlování EMĚ 2:

$$x_{zauhl.2} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,2 * 10^6} = 0,98$$

- Hlavní světelný rozvaděč (HSR):

$$x_{HSR} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,3 * 10^6} = 0,97$$

- R0.4-0:

$$x_{R0.4-0} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{16,34 * 10^6} = 0,67$$

- Chemická úpravna (CHOV):

$$x_{CHOV} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,1 * 10^6} = 0,99$$

- Čerpací stanice:

$$x_{\check{c}er.st.} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{35,2 * 10^6} = 0,313$$

- Odsíření:

$$x_{odsíření} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{66 * 10^6} = 0,166$$

Pro rozvodnu R6-3: (vypočtu jako paralelní kombinaci reaktancí pohonů a R0.4-3 na R6-3)

$$x_{R6-3} = 0,234$$

Následuje úprava schématu metodou postupného zjednodušování a výpočtu celkové poměrné reaktance, kterou pak mohu dosadit do vzorce pro výpočet počátečního zkratového proudu:

$$x_{celk} = 0,0823$$

Následuje výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I''_{k0} = \frac{1}{0,0823} * 962,6 = 11\,696\,A$$

Počáteční rázový zkratový výkon:

$$S''_{k0} = \sqrt{3} * 6\,000 * 11\,696 = 121,5\,MVA$$

Výpočet nárazového zkratového proudu:

$$i_p = 2 * \sqrt{2} * 11\,696 = 33\,081\,A$$

3.9.4 Zkrat v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0 napájené přes záskokový transformátor:

Čtvrtým zkratem je trojfázový zkrat v rozvodně R6-0 napájené přes záskokový transformátor AUE 21. Jako záskok budu tentokrát brát odběry z části „C“ rozvodny, s výjimkou chemické úpravny. Bagrovací a splavovací čerpadla nebudu uvažovat. Rozvodna nebude zaskakovat za žádnou z rozvodů VS a zauhlování EMĚ 1 a EMĚ 2 bude právě probíhat.

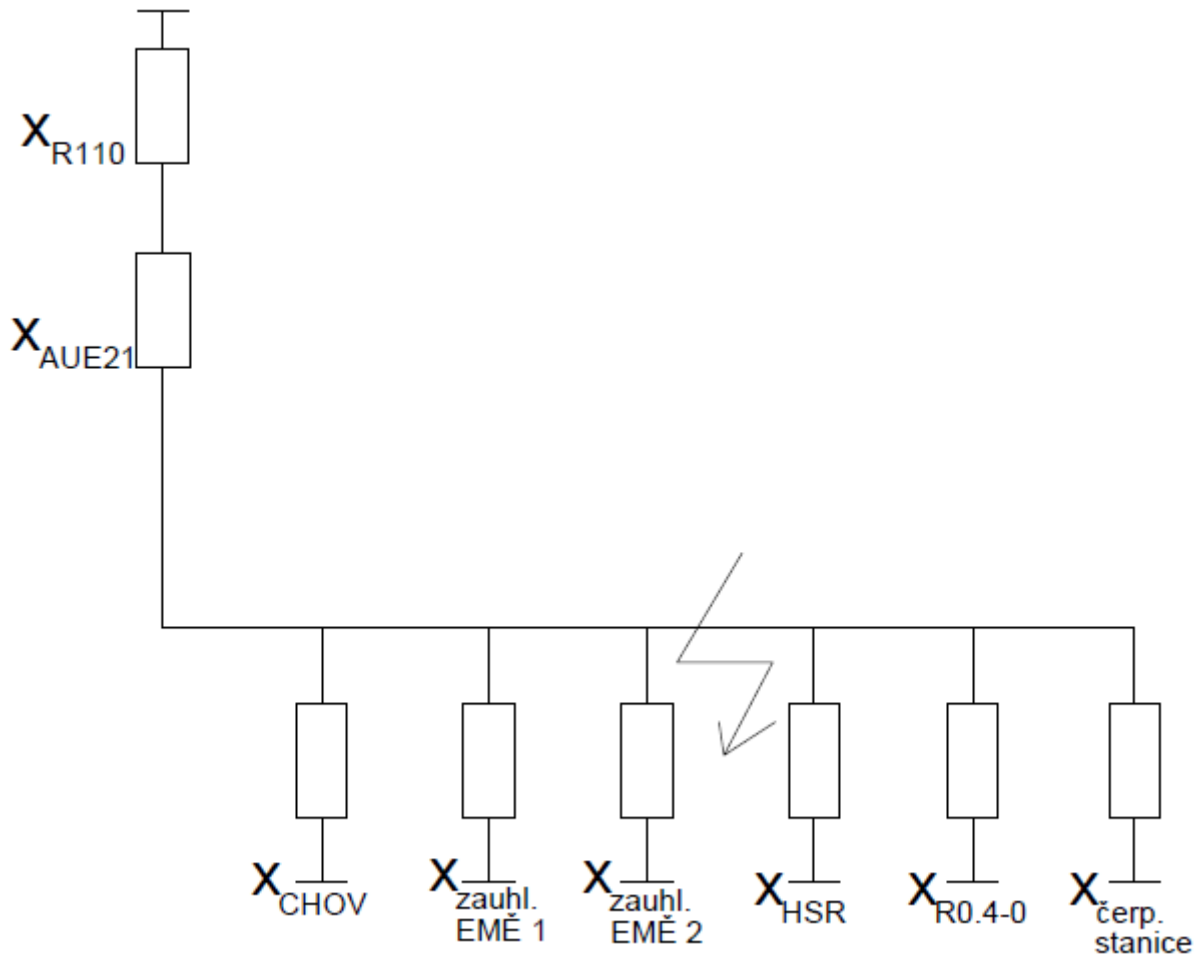
Nahrazení prvků poměrnými reaktancemi a zakreslení do schématu:

Vztažné hodnoty:

$$U_v = 6\,kV ; S_v = 10\,MVA$$

$$I_v = \frac{10 * 10^6}{\sqrt{3} * 6\,000} = 962,6\,A$$

$$Z_v = \frac{6\,000}{\sqrt{3} * 962,6} = 3,6\,\Omega$$



Obr. 15: Schéma poměrných reaktancí pro čtvrtý zkrat

Přepočítání na poměrné reaktance podle 3.8:

Pro transformátory:

- Záskokový transformátor (AUE 21):

$$x_{AUE21} = \frac{10,446}{100} * \frac{10 * 10^6}{16 * 10^6} = 0,065$$

Pro soustavy:

- R110:

$$x_{R110} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{3600 * 10^6} * \left(\frac{110000}{6000} \right)^2 = 1,03$$

- Zauhlování EMĚ 1:

$$x_{zauhl.1} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,1 * 10^6} = 0,99$$

- Zauhlování EMĚ 2:

$$x_{zauhl.2} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,2 * 10^6} = 0,98$$

- Hlavní světelný rozvaděč (HSR):

$$x_{HSR} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,3 * 10^6} = 0,97$$

- R0.4-0:

$$x_{R0.4-0} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{16,34 * 10^6} = 0,67$$

- Chemická úpravna (CHOV):

$$x_{CHOV} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{11,1 * 10^6} = 0,99$$

- Čerpací stanice:

$$x_{\check{c}er.st.} = 1.1 * \frac{10 * 10^6}{35,2 * 10^6} = 0,313$$

Následuje úprava schématu metodou postupného zjednodušování a výpočtu celkové poměrné reaktance, kterou pak mohu dosadit do vzorce pro výpočet počátečního zkratového proudu:

$$x_{celk} = 0,103$$

Následuje výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I''_{k0} = \frac{1}{0,103} * 962,6 = 9\,346\,A$$

Počáteční rázový zkratový výkon:

$$S''_{k0} = \sqrt{3} * 6\,000 * 9\,346 = 97,1\,MVA$$

Výpočet nárazového zkratového proudu:

$$i_p = 2 * \sqrt{2} * 9\,346 = 26\,434\,A$$

4. Kontrola spínacích prvků rozvoden

Nyní následuje kontrola spínacích prvků. Správné spínací prvky porovnáám s vypočtenými hodnotami rázového zkratového proudu a zhodnotím, zda jsou schopny zkratový proud bezpečně vypnout.

4.1 Kontrola spínacích prvků pro první zkrat:

První počítaný zkrat se nachází na rozvodně R6-1, napájené přes odbočkový transformátor. Velikost nárazového zkratového proudu pro tento případ vyšla 23 490 A.

Rozvodny R6-x jsou vybaveny vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 31,5 kA pro vývody a 40 kA pro přívody a spojky.

Z toho vyplývá, že v tomto případě mohou vypínače bezpečně vypnout zkratový proud.

4.2 Kontrola spínacích prvků pro druhý zkrat:

Druhý počítaný zkrat se nachází opět v rozvodně R6-1, ale tentokrát je napájena záskokově přes rozvodnu R6-0, která bude napájena z blokového transformátoru bloku 3. Velikost nárazového zkratového proudu pro tento případ vyšla 35 604 A

Rozvodny R6-x jsou vybaveny vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 31,5 kA pro vývody a 40 kA pro přívody a spojky.

Z toho vyplývá, že vypínače u odběrů nejsou schopny tento zkratový proud bezpečně vypnout. Ty ovšem mají nadřazený vypínač na přívodu do rozvodny, který už je schopen tento zkratový proud bez problémů vypnout což umožňuje vypínačům na vývodech být poddimenzované.

4.3 Kontrola spínacích prvků pro třetí zkrat:

Třetí počítaný zkrat se nachází v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0, která je napájena z jednoho z blokových transformátorů bloků 3 a 4. V tomto případě se jedná o blok 3. Velikost nárazového zkratového proudu pro tento případ vyšla 33 081 A.

Rozvodna R6-0 je vybavena vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 31,5 kA pro odběry, 40 kA pro napájení z blokových transformátorů, spoje v rozvodně a záskokové napájení z EMĚ 3 a 50 kA pro záskokový napájení EMĚ 2 a záskokový napájení z AUE 21.

Z toho vyplývá, že vypínače na vývodech z rozvodny nejsou schopny tento proud bezpečně vypnout. Ale nejbližší nadřazený vypínače na spojkách a přívodech jsou schopny tento proud bezpečně vypnout.

4.4 Kontrola spínacích prvků pro čtvrtý zkrat:

Poslední počítaný zkrat se nachází v záskokové rozvodně a rozvodně SVS R6-0, která je tentokrát napájena záskokově z transformátoru AUE 21. Velikost nárazového zkratového proudu pro tento případ vyšla 26 434 A.

Rozvodna R6-0 je vybavena vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 31,5 kA pro odběry, 40 kA pro napájení z blokových transformátorů, spoje v rozvodně a záskokové napájení z EMĚ 3 a 50 kA pro záskokové napájení EMĚ 2 a záskokové napájení z AUE 21.

Z toho vyplývá, že vypínače zvládnou tento zkratový proud bez problémů vypnout.

Závěr:

Moje výpočty potvrdily, že vypínací prvky pro rozvodny 6 kV jsou dostatečné a vhodně navržené pro zkrat v běžném provozu elektrárny EMĚ 1. Je nutné si uvědomit, že zkraty zde počítané jsou pro standardní provozní stavy. Například se zde nezabýváme otázkou, co by se stalo, kdyby byl provedený záskok za rozvodny 0,4 kV.

V této práci jsem taky zanedbal některé z parametrů, které se při výpočtech zkratů v praxi využívají, například jsem zanedbal odpory jednotlivých prvků a zanedbal jsem reaktance kabelů. Skutečné hodnoty proudů se z těchto důvodů mohou lišit od hodnot zde vypočítaných v bezpečném směru (budou nižší).

Seznam zdrojů:

[1] ČSN 38 1120: *Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren*,

Český normalizační institut 1993.

[2] ČSN EN 60909-0:2002. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů*, idt IEC 60909-0:2001/Cor. 1:2002-02. Český normalizační institut, 2002.

[3] ČEZ, a.s. *Elektrárna Mělník* [online]. 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/melnik.html>

[4] POLÁK, P. *Teplo z elektrárny Mělník pro vytápění částí Prahy* [online]. 29. 9. 2011 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/7875-teplo-z-elektrarny-melnik-pro-vytapeni-casti-prahy>

[5] *Soubor technické dokumentace EMĚ 1*, Energotrans a.s.

[6] ŠVEC, Jan. *Materiály pro předmět Elektroenergetika 2 (A1B15EN2)* [online]. Praha ČVUT 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/wiki/EN2>

[7] VYČÍTAL, V. *Výpočet zkratových poměrů dané sítě*. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2013, 67 stran. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D

Přílohy:

A Obsah CD:

Soubor: „bc- Kontrola přístrojového vybavení 6kV rozvoden VS z hlediska zkratové odolnosti“ ve formátu .docx obsahuje kompletní text bakalářské práce.

Soubor „bc- Kontrola přístrojového vybavení 6kV rozvoden VS z hlediska zkratové odolnosti“ ve formátu .pdf obsahuje kompletní text bakalářské práce