

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta Elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky
Studijní program: Elektrotechnika, energetika, management
Obor: Elektroenergetika



Přepočítání zkratových poměrů ve vlastní spotřebě
elektrárny po rekonstrukci

Recalculating of short-circuit ratios in internal
consumption of power station after reconstruction

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Michal Fenzel
Vedoucí práce: Ing. Zbyněk Šlenc
Rok: 2015

České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fenzel** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **412003**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Přepočítání zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárny po rekonstrukci

Název diplomové práce anglicky:

Recalculating of short-circuit ratios in internal consumption of power station after reconstruction

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznámení s technologií elektrárny Mělník.
- 2) Výpočet symetrických a nesymetrických zkratových proudů, pro různá místa ve vlastní spotřebě elektrárny Mělník 1, se zanedbáním kabelových propojů.
- 3) Výpočet symetrických a nesymetrických zkratových proudů, pro různá místa ve vlastní spotřebě elektrárny Mělník 1, se započítáním parametrů kabelových propojů.
- 4) Zkoumání vlivu kabelových spojů na velikost vypočteného zkratového proudu.
- 5) Kontrola přístrojového vybavení vlastní spotřeby a nastavení ochran.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů, Český normalizační institut, 2002.
- [2] Dočekal A., Bouček S.. Elektrárny II; ČVUT FEL, Praha 1995, ISBN 978-800-1012-796.
- [3] Soubor technické dokumentace elektrárny Mělník 1, Energotrans,a.s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zbyněk Štenc MBA, ČEZ,a.s.

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

Datum zadání diplomové práce: **10.01.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

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 panu Ing. Zbyňkovi Šlencovi za cenné rady, jeho trpělivost a ochotu při vedení diplomové práce. Dále bych chtěl tímto poděkovat společnosti Energotrans, a.s. a společnosti Čez, a.s. za umožnění práce na této práci a za přístup k technickým údajům o elektrárně Mělník.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá zkoumáním zkratových poměrů na elektrárně Mělník 1. V začátku se práce zabývá elektrárnou Mělník, popisem její historie a popisem současné technologie. Podrobněji rozebírá technologický celek elektrárna Mělník 1 (EMĚ 1), popisuje její vlastní spotřebu a společnou vlastní spotřebu.

V další části práce probírá výpočet zkratových proudů různých typů a výpočet zkratových impedancí jednotlivých prvků vlastní spotřeby elektrárny.

Následuje část vlastních výpočtů zkratových poměrů jednotlivých bloků s a bez zanedbání kabelových propojů mezi rozvodnami.

V poslední části práce porovnává jednotlivé typy zkratů. Dále pak porovnává rozdíl velikostí vypočtených zkratových proudů případů s a bez zanedbání kabelových propojů. Následuje kontrola spínacích prvků v rozvodnách vn vlastní spotřeby a práci zakončuje kontrola nastavení ochran v těchto rozvodnách.

Klíčová slova:

Elektrárna Mělník, Elektrárna Mělník 1, zkrat, trojfázový zkrat, dvoufázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat, jednofázový zkrat, zemní spojení, zkratová impedance, nárazový zkratový proud, spínací prvky, počáteční souměrný rázový zkratový proud, výpočet zkratových proudů, kabelové vedení v elektrárně.

Abstract:

This thesis is focused on studying short circuit ratios in power plant Mělník 1. From the start is thesis focused on power plant Mělník, it's history and description of current technology. In more detail focused on technological unit power plant Mělník 1, describes it's own consumption and shared own consumption.

In the next part is thesis focused on ways to calculate different types of short circuit currents and ways to calculate short circuit impedance for the parts of own consumption in power plant. Next is the part of own calculations of short circuit ratios of individual blocks with and without neglecting cable connections between substations.

In the last part thesis compares different types of short circuit. Then compares the difference in size of calculated short-circuit current cases with and without neglecting cable connections. This is followed by checking the switching devices in hv substations own consumption and on the end of the thesis is checking of setting for safeguard devices in this substations.

Key words:

Power plant Mělník, Power plant Mělník 1, short circuit, three-phase short circuit, two-phase short circuit, two-phase ground short circuit, one-phase short circuit, ground connection, short circuit impedance, peak short circuit current, switching devices, initial short circuit current, short circuit calculation, cable connections in power plant.

Obsah:

1	Úvod:	14
2	Elektrárna Mělník:	15
2.1	O elektrárně Mělník:	15
2.2	Historie EMĚ:	15
2.3	Palivo:	16
2.4	Elektrárna Mělník 3:	16
2.4.1	Turbína:	16
2.4.2	Kotel:	17
2.5	Elektrárna Mělník 2:	17
2.5.1	Turbíny:	17
2.5.2	Kotle:	17
2.6	Elektrárna Mělník 1:	17
2.6.1	Okruh pára – voda EMĚ 1:	17
2.6.2	Kotle:	18
2.6.3	Turbíny:	19
2.6.4	Ohřev topné vody EMĚ 1:	19
2.6.5	Topný okruh Mělník/Horní Počaply:	19
2.6.6	Topný okruh Praha:	20
3	Prvky EMĚ 1 a její vlastní spotřeba:	20
3.1	Rozvodna 110 kV:	20
3.2	Záskokový transformátor:	21
3.3	Blokové transformátory:	21
3.4	Alternátory:	23
3.5	Odbočkové transformátory:	23
3.6	Rozvodna 6 kV:	24
3.7	Záskoková rozvodna a rozvodna společné vlastní spotřeby 6 kV:	26
3.8	Transformátory na 0,4 kV:	27
3.9	Rozvodny 0,4 kV:	29
3.10	Rozvodna společné vlastní spotřeby 0,4 kV:	30
3.11	Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1:	30
3.12	Odsíření:	30
3.13	Čerpací stanice:	31
3.14	Výměňíková stanice Praha:	32
3.15	Kabelové propoje a venkovní vedení v VS EMĚ 1:	32
3.16	Kapacita vůči zemi:	35
3.17	Přístrojové vybavení rozvoden:	35

3.18	Nastavení ochran ve VS:.....	36
4	Zkratky:.....	37
4.1	Zkratový proud:	37
4.2	Počáteční souměrný rázový zkratový proud:	39
4.3	Nárazový zkratový proud:.....	39
4.4	Souměrný vypínací proud:.....	39
4.5	Předpoklady výpočtu zkratových proudů:	40
4.6	Metoda ekvivalentního zdroje v místě zkratu:	41
4.7	Napěťový součinitel:.....	41
4.8	Souměrné složky:.....	42
4.9	Výpočet zkratů pomocí impedanční matice:	42
4.10	Trofázový zkrat:.....	43
4.11	Dvojfázový zkrat:	44
4.12	Jednofázový zkrat:	45
4.13	Zkratové impedance prvků vlastní spotřeby:.....	46
4.13.1	Impedance elektrické soustavy:	46
4.13.2	Impedance dvojvinuťového transformátoru:	47
4.13.3	Impedance trojvinuťového transformátoru:	47
4.13.4	Impedance synchronního generátoru:	48
4.13.5	Impedance reaktorů:	48
4.13.6	Impedance asynchronních strojů:.....	49
4.13.7	Impedance skupiny nn motorů:	49
4.13.8	Impedance asynchronních motorů se statickým měničem:.....	49
4.13.9	Impedance vedení a kabelů:	50
5	Zkoumané stavy:	50
5.1	Zkratové poměry při zanedbání vlivu kabelů v VS elektrárny:.....	50
5.1.1	Zkratové poměry na bloku 1 v normálním stavu:	51
5.1.2	Zkratové poměry na bloku 1, při napájení záskokově:	54
5.1.3	Zkratové poměry na bloku 3 v normálním stavu:	57
5.1.4	Zkratové poměry bloku 3 napájeného záskokově:.....	60
5.1.5	Zkratové poměry bloku 6 v normálním stavu:	63
5.1.6	Zkratové poměry v bloku 6 při napájení záskokově:.....	66
5.2	Zkratové poměry při zanedbání vlivu kabelů v VS elektrárny:.....	69
5.2.1	První případ s uvažování propojů:	69
5.2.2	Druhý případ s uvažováním propojů:.....	72
5.2.3	Třetí případ s uvažováním spojů:	75
5.2.4	Případ čtyři při uvažování propojů:	79

5.2.5	Případ pět při uvažování spojů:	82
5.2.6	Případ šest při uvažování propojů:	85
6	Závěrečné hodnocení:	88
6.1	Porovnání různých typů zkratů:	88
6.2	Porovnání vlivu zanedbání spojů:	88
6.3	Kontrola přístrojového vybavení:	90
6.3.1	Kontrola generátorových vypínačů:	90
6.3.2	Kontrola spínacích zařízení v rozvodnách R6-x:	91
6.3.3	Kontrola spínacích zařízení v rozvodně R6-0:	91
6.3.4	Kontrola spínací zařízení v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1:	91
6.4	Kontrola nastavení ochran:	91
6.4.1	Kontrola nastavení ochran v rozvodnách R6-x:	91
6.4.2	Kontrola nastavení ochran v rozvodně R6-0:	92
6.4.3	Kontrola nastavení ochran v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1:	92
6.4.4	Kontrola nastavení ochran turboalternátorů:	92
7	Závěr:	92
8	Seznam zdrojů:	93
9	Přílohy:	93

Seznam obrázků:

Obrázek 1:	Blokové schéma cesty páry a vody	18
Obrázek 2:	Schéma zapojení rozvodny R110	21
Obrázek 3:	Schéma rozvodny R6-1 až R6-6	25
Obrázek 4:	Schéma rozvodny R6-0	26
Obrázek 5:	Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky blízký [1]	38
Obrázek 6:	Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky vzdálený [1]	38
Obrázek 7:	Trojfázový zkrat	43
Obrázek 8:	Trojfázový zkrat - složkové soustavy	43
Obrázek 9:	Dvoufázový zkrat	44
Obrázek 10:	Dvoufázový zkrat - složkové soustavy	44
Obrázek 11:	Dvoufázový zemní zkrat	45
Obrázek 12:	Dvoufázový zemní zkrat - složkové soustavy	45
Obrázek 13:	Jednofázový zkrat	45
Obrázek 14:	Jednofázový zkrat - složkové soustavy	45
Obrázek 15:	Zemní spojení	46
Obrázek 16:	Zemní spojení - složkové soustavy	46
Obrázek 17:	Schéma impedancí sousledné a netočivé složky případu 1	51
Obrázek 18:	Schéma impedancí netočivé složky případu 1	52
Obrázek 19:	Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 1	52
Obrázek 20:	Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 1	52
Obrázek 21:	Diagonální matice viděných impedancí nulové složky případu 1	53
Obrázek 22:	Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 2	54
Obrázek 23:	Schéma impedancí zpětné složky případu 2	55

Obrázek 24: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 2	55
Obrázek 25: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 2.....	55
Obrázek 26: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 2.....	55
Obrázek 27: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 3	57
Obrázek 28: Schéma impedancí netočivé složky případu 3.....	58
Obrázek 29: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 4	60
Obrázek 30: Schéma impedancí netočivé složky případu 4.....	60
Obrázek 31: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 4	61
Obrázek 32: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 4.....	61
Obrázek 33: Diagonální matice viděných impedancí nulové složky případu 4	61
Obrázek 34: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 5	63
Obrázek 35: Schéma impedancí netočivé složky případu 5.....	64
Obrázek 36: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 5	64
Obrázek 37: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 5.....	64
Obrázek 38: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 5.....	65
Obrázek 39: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 6	66
Obrázek 40: Schéma impedancí netočivé složky případu 6.....	67
Obrázek 41: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 6	67
Obrázek 42: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 6.....	67
Obrázek 43: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 6.....	67
Obrázek 44: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 7	69
Obrázek 45: Schéma impedancí netočivé složky případu 7.....	70
Obrázek 46: Schéma impedancí sousledné a netočivé složky případu 8.....	72
Obrázek 47: Schéma impedancí netočivé složky případu 8.....	72
Obrázek 48: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 9	75
Obrázek 49: Schéma impedancí netočivé složky případu 9.....	76
Obrázek 50: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 10	79
Obrázek 51: Schéma impedancí netočivé složky případu 10.....	79
Obrázek 52: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 11	82
Obrázek 53: Schéma impedancí nulové složky případu 11	83
Obrázek 54: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 12	85
Obrázek 55: Schéma impedancí netočivé složky případu 12.....	85

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Souměrný rázový zkratový výkon rozvodny R110	20
Tabulka 2: Štítkové hodnoty transformátoru AUE 21	21
Tabulka 3: Ztráty nakrátko transformátoru AUE 21	21
Tabulka 4: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 1, AUE 2 a AUE 3.....	22
Tabulka 5: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 4, AUE 5 a AUE 6.....	22
Tabulka 6: Ztráty nakrátko blokových transformátorů	23
Tabulka 7: Turboalternátory.....	23
Tabulka 8: Štítkové hodnoty turboalternátorů	23
Tabulka 9: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 11 a AUE 12	24
Tabulka 10: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 15 a AUE 16	24
Tabulka 11: Ztráty nakrátko odbočkových transformátorů	24
Tabulka 12: a) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6	25
Tabulka 13: b) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6	25
Tabulka 14: Jmenovitý proud na straně 6 kV měniče pro napáječku 2	25
Tabulka 15: Motory na rozvodně R6-0.....	26
Tabulka 16: Pohony na zauhlování EMĚ 1	27
Tabulka 17: Štítkové hodnoty transformátorů T 31, T 32 a T 33	27

Tabulka 18: Štítkové hodnoty transformátorů T 34, T 35 a T 36	28
Tabulka 19: Štítkové hodnoty transformátorů T 48, T 50 a T 51	28
Tabulka 20: Štítkové hodnoty transformátorů T43 a T 44	28
Tabulka 21: Ztráty nakrátko transformátorů z 6 kV na 0,4 kV	29
Tabulka 22: Pohony na rozvodnách R0,4-1 a R0,4-2	29
Tabulka 23: Pohony na rozvodnách R0,4-3 a R0,4-4	29
Tabulka 24: Pohony na rozvodnách R0,4-5 a R0,4-6	30
Tabulka 25: Pohony na rozvodně R0,4-0.....	30
Tabulka 26: Jmenovité hodnoty reaktoru	30
Tabulka 27: Pohony na novém odsíření	31
Tabulka 28: Štítkové hodnoty nových transformátorů na čerpací stanici.....	31
Tabulka 29: Pohony na nové čerpací stanici na hladině 6 kV	31
Tabulka 30: Pohony na čerpací stanici na hladině 0,4 kV.....	32
Tabulka 31: Pohony na výměňkové stanici pro Prahu	32
Tabulka 32: Kabelové spoje vývodů na rozvodnách R6-x.....	33
Tabulka 33: Kabelové spoje vývodů na rozvodně R6-0	33
Tabulka 34: Kabelové spoje na novém odsíření	34
Tabulka 35: Kabelové spoje na nové čerpací stanici	34
Tabulka 36: Parametry kabelů 6-AYKCY z katalogu [8].....	35
Tabulka 37: Parametry kabelu N2XSEY z katalogu [9].....	35
Tabulka 38: Nastavení nadproudých ochran na rozvodnách R6-x.....	36
Tabulka 39: Nastavení ochran zemního spojení na rozvodnách R6-x	36
Tabulka 40: Nastavení nadproudých ochran na rozvodně R6-0	36
Tabulka 41: Nastavení ochran zemního spojení na rozvodně R6-0.....	37
Tabulka 42: Nastavení nadproudých ochran v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1.....	37
Tabulka 43: Nastavení ochran zemního spojení v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1	37
Tabulka 44: Napěťový součinitel.....	41
Tabulka 45: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 1.....	53
Tabulka 46: Výsledné dvojfázové zkratové proudypřípadu 1	53
Tabulka 47: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 1.....	53
Tabulka 48: Výsledný proud zemního spojení případu 1	53
Tabulka 49: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 1	53
Tabulka 50: Kapacity uzlů vůči zemi případu 1	53
Tabulka 51: Nárazové zkratové proudy případu 1	54
Tabulka 52: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 1	54
Tabulka 53: Minimální proudy zemního spojení případu 1	54
Tabulka 54: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 2.....	56
Tabulka 55: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 2	56
Tabulka 56: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 2	56
Tabulka 57: Výsledný proud zemního spojení případu 2	56
Tabulka 58: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 2	56
Tabulka 59: Kapacita uzlů vůči zemi případu 2.....	56
Tabulka 60: Nárazové zkratové proudy případu 2	56
Tabulka 61: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 2	57
Tabulka 62: Minimální proudy zemního spojení případu 2.....	57
Tabulka 63: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 3.....	58
Tabulka 64: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 3	58
Tabulka 65: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 3	59
Tabulka 66: Výsledný proudy zemních spojení případu 3.....	59
Tabulka 67: Výsledný jednofázový zkratový proudy případu 3.....	59
Tabulka 68: Kapacity uzlů vůči zemi případu 3	59

Tabulka 69: Nárazové zkratové proudy případu 3	59
Tabulka 70: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 3	59
Tabulka 71: Minimální proudy zemních spojení případu 3	60
Tabulka 72: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 4	61
Tabulka 73: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 4	61
Tabulka 74: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 4	62
Tabulka 75: Výsledný proud zemního spojení případu 4	62
Tabulka 76: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 4	62
Tabulka 77: Kapacity uzlů vůči zemi případu 4	62
Tabulka 78: Nárazové zkratové proudy případu 4	62
Tabulka 79: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 4	62
Tabulka 80: Minimální proud zemního spojení případu 4	62
Tabulka 81: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 5	65
Tabulka 82: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 5	65
Tabulka 83: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 5	65
Tabulka 84: Výsledný proud zemního spojení případu 5	65
Tabulka 85: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 5	65
Tabulka 86: Kapacita uzlů vůči zemi případu 5	65
Tabulka 87: Nárazové zkratové proudy případu 5	66
Tabulka 88: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 5	66
Tabulka 89: Minimální proud zemního spojení případu 5	66
Tabulka 90: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 6	68
Tabulka 91: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 6	68
Tabulka 92: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 6	68
Tabulka 93: Výsledný proud zemního spojení případu 6	68
Tabulka 94: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 6	68
Tabulka 95: Kapacita uzlů vůči zemi případu 6	68
Tabulka 96: Nárazové zkratové proudy případu 6	68
Tabulka 97: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 6	69
Tabulka 98: Minimální proud zemního spojení případu 6	69
Tabulka 99: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 7	70
Tabulka 100: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 7	70
Tabulka 101: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 7	71
Tabulka 102: Výsledný proud zemního spojení případu 7	71
Tabulka 103: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 7	71
Tabulka 104: Kapacita uzlů vůči zemi případu 7	71
Tabulka 105: Nárazové zkratové proudy případu 7	71
Tabulka 106: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 7	72
Tabulka 107: Minimální proud zemního spojení případu 7	72
Tabulka 108: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 8	73
Tabulka 109: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 8	73
Tabulka 110: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 8	73
Tabulka 111: Výsledné proudy zemního spojení případu 8	74
Tabulka 112: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 8	74
Tabulka 113: Kapacity uzlů vůči zemi případu 8	74
Tabulka 114: Nárazové zkratové proudy případu 8	74
Tabulka 115: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 8	75
Tabulka 116: Minimální proudy zemních spojení případu 8	75
Tabulka 117: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 9	76
Tabulka 118: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 9	77
Tabulka 119: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 9	77

Tabulka 120: Výsledné proudy zemních spojení případu 9.....	77
Tabulka 121: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 9	78
Tabulka 122: Kapacity uzlů vůči zemi případu 9	78
Tabulka 123: Nárazové zkratové proudy případu 9	78
Tabulka 124: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 9	79
Tabulka 125: Minimální proudy zemních spojení případu 9	79
Tabulka 126: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 10.....	80
Tabulka 127: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 10	80
Tabulka 128: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 10	80
Tabulka 129: Výsledné proudy zemního spojení případu 10.....	81
Tabulka 130: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 10	81
Tabulka 131: Kapacita uzlů vůči zemi případu 10.....	81
Tabulka 132: Nárazové zkratové proudy případu 10	81
Tabulka 133: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 10	81
Tabulka 134: Minimální proudy zemních spojení případu 10	82
Tabulka 135: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 11.....	83
Tabulka 136: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 11	83
Tabulka 137: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 11	84
Tabulka 138: Výsledný proud zemního spojení případu 11	84
Tabulka 139: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 11	84
Tabulka 140: Kapacita uzlů vůči zemi případu 11	84
Tabulka 141: Nárazové zkratové proudy případu 11	84
Tabulka 142: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 11	84
Tabulka 143: Minimální proudy zemních spojení případu 11	84
Tabulka 144: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 12.....	86
Tabulka 145: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 12.....	86
Tabulka 146: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 12	86
Tabulka 147: Výsledné proudy zemních spojení případu 12.....	87
Tabulka 148: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 12	87
Tabulka 149: Kapacity uzlů vůči zemi případu 12	87
Tabulka 150: Nárazové zkratové proudy případu 12	87
Tabulka 151: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 12	87
Tabulka 152: Minimální proudy zemních spojení případu 12	88
Tabulka 153: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 1 a 7.....	89
Tabulka 154: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 2 a 8.....	89
Tabulka 155: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 3 a 9.....	89
Tabulka 156: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 4 a 10.....	89
Tabulka 157: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 5 a 11.....	89
Tabulka 158: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 6 a 12.....	90

1 Úvod:

V této práci se budu zabývat přepočtem zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárny Mělník 1 a zkoumáním velikostí zkratových proudů různých typů zkratů pro různá místa ve vlastní spotřebě elektrárny. Dále se v práci budu zabývat zkoumáním vlivu zanedbání kabelových propojů na přesnost výpočtu velikosti zkratových proudů z oblasti vlastní spotřeby elektrárny. Součástí práce je i kontrola spínacích prvků a nastavení ochran ve vlastní spotřebě elektrárny.

Zkrat je poruchový stav elektrické soustavy, při kterém dochází k neplánovanému propojení dvou nebo více vodivých částí soustavy o rozdílném (okamžitým) potenciálu. Vlivem zkratů vznikají v soustavě nadměrně velké proudy, které mohou mít nežádoucí tepelné, nebo silové účinky. Je snaha tyto proudy vypnout co nejrychleji po vzniku zkratu. K tomu v sítích vn a vvn slouží výkonové vypínače iniciované příslušnými ochranami.

V první části práce se budu zabývat elektrárnou Mělník, její historií a obecně popíši technologické bloky elektrárny (EMĚ 1, EMĚ 2, EMĚ 3). Trochu podrobněji se v práci budu zabývat technologickým blokem EMĚ 1 ve kterém budu později v práci počítat zkratové proudy.

V další části se budu zabývat popisem vlastní spotřeby technologického bloku elektrárny Mělník 1 (EMĚ 1), včetně prvků vlastní spotřeby (VS) (jako například alternátory, motory...).

V třetí části se budu zabývat jednotlivými typy zkratů a výpočty velikosti zkratových proudů pro různá místa ve vlastní spotřebě se zanedbáním a bez zanedbání kabelových propojů.

V závěru práce zhodnotím rozdíly mezi velikostmi zkratových proudů jednotlivých typů zkratů vzhledem k místu zkratu ve VS, zhodnotím vliv zanedbání kabelových propojů v prostředí VS elektrárny na přesnost výpočtu zkratových proudů, provedu kontrolu přístrojového vybavení VS elektrárny a nastavení ochran pro stav elektrárny Mělník 1 po rekonstrukci.

2 Elektrárna Mělník:

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 technologických celků (EMĚ 1, EMĚ 2, EMĚ 3). Elektrárna Mělník je tepelná elektrárna/teplárna s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla.

2.1 O elektrárně Mělník:

EMĚ (elektrárna Mělník) se skládá ze tří technologických celků.

EMĚ 1 má v současnosti v provozu 4 výrobní turbíny s elektronickým výkonem 60 MW na turbínu a celkovým tepelným výkonem až 650 MW. Původně měla šest turbín tohoto výkonu, ale dvě nejstarší turbíny kondenzačního typu byly z provozu odstaveny. EMĚ 1 má k dispozici šest kotlů o výkonu 250 t/h páry a primárně slouží jako teplárna.

EMĚ 2 má v současnosti v provozu dva bloky o výkonu 110 MW s možností dodávky tepla vodou. EMĚ 2 je vybavená moderním řídicím systémem Westinghouse WPDF II.

EMĚ 3 má jeden blok o elektrickém výkonu 500 MW což byl jeden čas největší výkon bloku uhelné elektrárny. V současné době se tento blok blíží ke konci své životnosti a to i přes rekonstrukce za účelem jejího prodloužení. [3]

2.2 Historie EMĚ:

Stavba první 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 1971 se uvedly do provozu původní čtyři bloky EMĚ 2. V období 1971 – 1976 probíhala optimalizace výrobního procesu a modernizace technologií EMĚ 2. Současně došlo k rekonstrukci elektroodlučovačů na elektroodlučovače s účinnostmi nad hranicí 99 %.

V roce 1981 byla uvedena do provozu 500 MW turbína na EMĚ 3, až do zprovoznění nového zdroje v Ledvicích se jednalo největší uhelný blok v ČR. U EMĚ 3 se poprvé použila nová skladba řídicí techniky - volně programovatelné sekvenční automaty a počítačový informační a řídicí systém. Díky svojí technické koncepci se stala jedním z nejekonomičtějších energetických bloků uhelných elektráren. V počátku provozu EMĚ 3 byly řešeny problémy v ekonomii provozu (provoz turbonápáječky, vysokotlakých ohříváků a těsnost vakuového systému turbogenerátoru) a řešili se problémy vyplývající ze spalování méně hodnotného paliva. Blok dosahoval maximálního výkonu do 470 MW.

V roce 1984 byla na EMĚ 1 zahájena dodávka tepla do města Mělník a obce Horní Počaply a v roce 1988 došlo k výměně čtyř kondenzačních turbín za dvě protitlaké a dvě odběrové turbíny. V tomtéž roce došlo k zahájení výstavby hlavního potrubí do Prahy [2]. V roce 1993 přešla EMĚ 1 z vlastnictví ČEZ, a.s. do vlastnictví vyčleněné společnosti Energotrans, a.s. [3]

V rámci realizace útlumového programu zdrojů ČEZ došlo k rozhodnutí provozovat po nabytí nové ekologické legislativy (od 1.1. 1999) pouze dva bloky na EMĚ 2.

V letech 1994 - 1996 prošly dva bloky EMĚ 2, pokračující v perspektivním provozu, celkovou rekonstrukcí. Byly instalovány nové turbíny a nový řídicí systém, viz výše (kapitola 2.1). Zároveň došlo k velkým úpravám na kotlech (úprava spalovacích režimů - primární opatření pro redukci NO_x, úpravy dodatkových ploch). V roce 1998

došlo k zavedení nového odsíření na bázi mokré vápencové vypírky. Zbylé dva nerekonstruované bloky EMĚ 2 byly pak definitivně odstaveny z provozu k 31.12. 1998.

Současně v období 1994 – 1998 došlo k úpravám sloužících k prodloužení životnosti EMĚ 3 o dalších dvacet let. Bylo zapotřebí dosáhnout konkurenceschopnosti provozně-ekonomických parametrů výroby, ale i ekologicky šetrného provozu vůči životnímu prostředí. Došlo k rekonstrukci VT (vysokotlakého) tělesa turbíny. Po těchto úpravách blok bezpečně dosahuje naprojektovaný výkon 500 MW. Na kotli byla provedena primární opatření proti NO_x. Ke konci roku 1998 došlo k zavedení odsíření s účinností 95 %.

Jako vedlejší produkt při čištění spalin vzniká energosádrovec, který se dále zpracovává v cementárnách pro použití ve stavebnictví. [3]

Roku 1995 byla uvedena do provozu na EMĚ 1 dodávka tepla pro hlavní město Prahu a v dalších letech se postupně rozšiřovala. [2]

V roce 2003 došlo k napojení města Neratovice na tepelný rozvod EMĚ [2]. V roce 2012 se ČEZ, a.s. stal stoprocentním vlastníkem akcií společnosti Energotrans, a.s. [3]

2.3 Palivo:

Kotle 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), provozně bylo vyzkoušené palivo s výhřevností až 15 MJ/kg.

Uhlí je dopravováno do zásobníku kotelný 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. [4]

2.4 Elektrárna Mělník 3:

EMĚ 3 má jeden blok o výkonu 500 MW elektrických. Svého času se jednalo o největší výkon jaký měl blok tepelné elektrárny. Nyní se blíží ke konci své životnosti a je plánovaná jeho odstávka. [4]

2.4.1 Turbína:

Parní turbína je součástí blokového uspořádání bloku 500 MW. Zajišťuje přeměnu tepelné energie obsažené v páře na mechanickou a dále na elektrickou energii.

Turbína 500 MW od výrobce ŠKODA je čtyřtělesová, kondenzační se sedmi neregulovanými odběry. Pohání třífázový alternátor 500 MW a pomocný alternátor. [4]

2.4.2 Kotel:

EMĚ 3 má jeden průtočný kotel, pracující přímo do turbíny bloku. Kotel bloku má výkon 1600 t/h páry a parametry přehřáté páry: jmenovitý tlak přehřáté páry 17,45 MPa a jmenovitá teplota přehřáté páry 540 °C, při jmenovité teplotě napájecí vody 255 °C.

V soustavě kotle se nacházejí dva ekonomizéry, před výparníkem a za ním následují dva přehříváky, které jsou tvořeny kombinací stěnového přehříváku a vnitřních závěsných trubek. [4]

2.5 Elektrárna Mělník 2:

EMĚ 2 se skládá ze dvou bloků, každý o elektrickém výkonu 110 MW u kterých se uvažuje s budoucí teplofikací (aktivního zapojení do výroby tepla). [4]

2.5.1 Turbíny:

EMĚ 2 je vybavena dvěma kondenzačními turbínami vybavenými jedním regulovaným odběrem pro teplofikaci, šesti neregulovanými odběry pro ohřev kondenzátu a dvěma pro ohřev napájecí vody. Turbíny jsou třítělesové, konstruované pro čistě kondenzační provoz, nebo pro provoz s regulovaným odběrem páry pro teplofikaci.

Turbíny jsou konstruované na jmenovitý tlak vstupní páry 12,7486 MPa a jmenovitou teplotou vstupní (přehřáté) páry 535 °C. [4]

2.5.2 Kotle:

EMĚ 2 je vybavena dvěma kotli pracujícími přímo do turbíny svého bloku (bez společné parní sběrnice). Kotle prošli rekonstrukcí v letech 1994 -1996 od firmy ABB PBS Brno, s.r.o.

Parní kotle jsou bubnového typu s přirozenou cirkulací, pro přípravu paliva je každý kotel vybaven čtyřmi ventilátorovými mlýny s přímým foukáním uhelného prášku do hořáků.

Přehřívák je pětídílný, první díl je sálavý stěnový, druhý, čtvrtý a pátý je konvekční, třetí díl je sálavý deskový, přehřívák je dvoudílný. Teplota přehřáté a přehřáté páry je regulována vstříky napájecí vody.

Pro dosažení minimálních emisí NO_x je použito snížení přebytku spalovacího vzduchu v ohništi a odstupňovaná distribuce spalovacího vzduchu po výšce ohniště.

Kotel je navržen na jmenovité množství vyrobené páry 350 t/h (316 t/h při jmenovitém výkonu bloku), při jmenovitém tlaku přehřáté páry 13,63 MPa a jmenovité teplotě přehřáté páry 540 °C. [4]

2.6 Elektrárna Mělník 1:

V současné době EMĚ 1 slouží jako teplárna, která zásobuje teplou vodou Prahu, Mělník a další obytné oblasti (jako Neratovice), s kombinovanou výrobou elektrické a tepelné energie. [4]

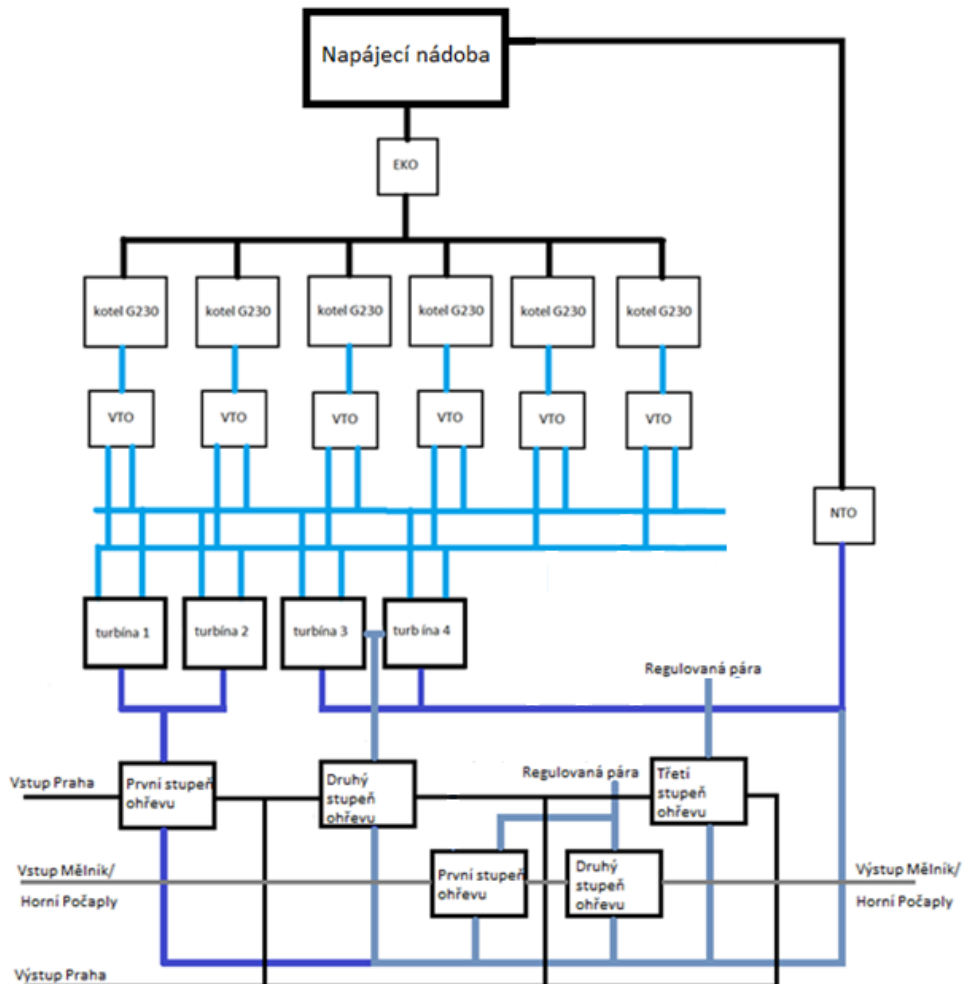
2.6.1 Okruh pára – voda EMĚ 1:

EMĚ 1 je vybavena společnou parní sběrnici páry, která je napájena ze šesti kotlů a slouží k napájení čtyř turbín a redukční stanice (pro vytváření redukované páry pro ohřev vody...)

Parní sběrnice je zdvojená z důvodu zvýšení spolehlivosti výroby energie. Společná sběrnice má výhodu v umožnění práce kteréhokoliv kotle do libovolné turbíny a nebo

práce několika kotlů do jedné turbíny. Toho se využívá hlavně pro velké teplárenské (odběrové) turbíny, kterým na plný výkon nestačí jeden kotel samostatně.

Dále je také možné nahradit jeden kotel jiným v případě poruchy na kotly, nebo odstávky kotle pro provedení kontroly stavu. [4]



Obrázek 1: Blokové schéma cesty páry a vody

2.6.2 Kotle:

Technologický blok EMĚ 1 je vybaven šesti granulačními kotli bubnového typu G 230. Kotle byly navrženy na jmenovitý výkon 230 t/h a byli přetypovány na 250 t/h.

Kotle jsou testovány zkušebním přetlakem 14,7 MPa. Mají od výrobce udaný konstrukční přetlak 11,7 MPa a nejvyšší pracovní přetlak 10 MPa.

Za přehříváky dosahují kotle pracovního tlaku 9,3 MPa při pracovní teplotě přehřáté páry 535 °C. Maximální teplota přehřáté páry pro kotle je 543 °C.

Výrobce a dodavatelem všech šesti kotlů je firma Vítkovice a.s.

Nosnou konstrukci kotle tvoří svařované nosníky umístěné vně kotlů, aby nebyli 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, eventuálně tvarovkami. Trubky spalovací komory a stěny druhých tahů jsou chráněny zvnějška 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. [4]

2.6.3 Turbíny:

EMĚ 1 je vybavena čtyřmi turbínami. Z turbín je odebíraná tepelná energie pro ohřívání topné vody a generují elektrickou energii v generátorech na společné hřídeli.

V současné době je EMĚ 1 vybavena dvěma protitlakými turbínami typu R60-A0 s přestavitelným protitlakem v rozsahu 0,03 MPa až 0,25 MPa se jmenovitou hodnotou protitlaku 0,06 MPa. Při jmenovitých parametrech se turbína otáčí 3000 ot/min. Jmenovité otáčky turbín jsou 3000 ot/min. Jmenovité parametry vstupní páry na rychlozávěrných ventilech jsou teplota 535 °C a tlak 8 826 MPa. Turbíny mají jmenovitý průtok vstupní páry 266 t/h a maximální průtok páry turbín je 300 t/h. Turbíny jsou konstruované jako přetlakové, jednotělesové a jsou vybaveny čtyřmi neregulovanými odběry páry sloužící pro pomocné zařízení.

Dále je EMĚ 1 vybavena dvěma odběrovými turbínami typu T60 - A0, s jedním regulovaným odběrem s přestavitelným tlakem v rozsahu 0,06 MPa až 0,4 MPa. Při jmenovitých parametrech se turbína otáčí 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. [4]

2.6.4 Ohřev topné vody EMĚ 1:

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. [4]

2.6.5 Topný okruh Mělník/Horní Počaply:

Topný okruh Mělník, trvale propojený s topným okruhem Horní Počaply, se skládá ze dvou stupňů ohřevu vody. Prvním stupněm je základní ohřívák. Pro ohřev páry v základním ohříváku se používá redukováná 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 ve špičkovém ohříváku se používá redukováná pára z redukční stanice. Výstupní jmenovitá teplota topné vody za špičkovým ohřívákem je 122,5 °C.

Jmenovitý průtok okruhu Mělník a Horní Počaply je $540 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, celkový tepelný výkon je 150 MW. [4]

2.6.6 Topný okruh Praha:

Topný okruh Praha, se skládá ze 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 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ (max. $100 \text{ }^\circ\text{C}$) a výstupní jmenovitá teplota topné vody je $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro třetí stupeň ohřevu se používá regulovaná pára, odebraná z parní sběrnice, přes redukční stanici, aby se snížilo zatížení ohříváku. Výstupní jmenovitá teplota topné vody je $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro letní provoz se používá pouze první stupeň ohřevu s vstupní teplotou topné vody $55 \text{ }^\circ\text{C}$ a výstupní teplotou $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Jmenovitý průtok okruhu Praha je $1646 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a celkový tepelný výkon je 551 MW. [4]

3 Prvky EMĚ 1 a její vlastní spotřeba:

Vlastní spotřebou elektrárny se rozumí, „spotřeba elektrické energie při výrobě elektřiny a tepla ve výrobním zařízení a pomocných provozech, včetně ztrát v rozvodu.“ [6]

3.1 Rozvodna 110 kV:

Rozvodna R110 slouží na elektrárně Mělník k připojení elektrárny do sítě. Do této rozvodny jsou připojeny jednotlivé bloky elektrárny a záskokové napájení přes záskokový transformátor.

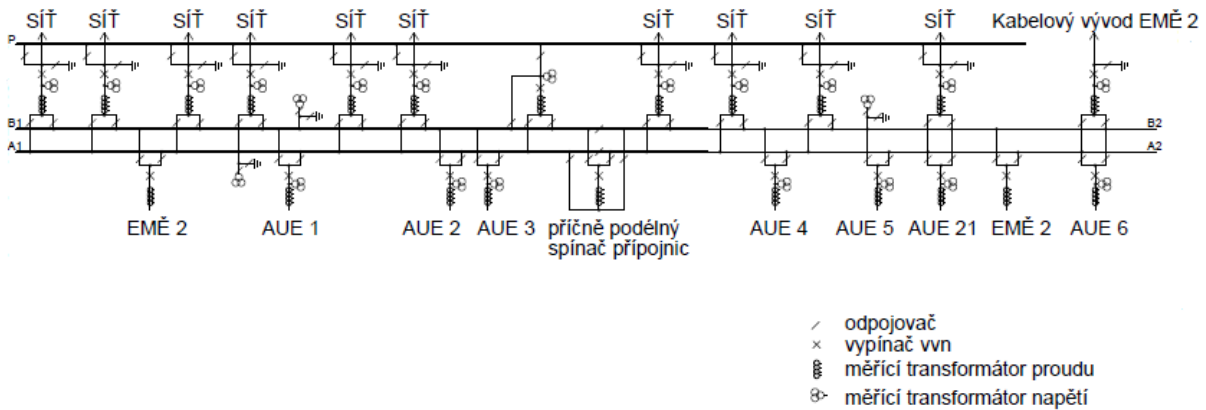
Rozvodna R110 je třípřípojnicová rozdělená na 5 částí označených „A1“, „A2“, „B1“, „B2“ a „P“. Přípojnice „A“ a „B“ se používají při normálním stavu pro vyvedení výkonu z bloků elektrárny a přípojnice „P“ slouží jako pomocná přípojnice pro případ poruchy hlavních přípojníc.

Rozvodna je ve vlastnictví a ovládaná Čezem Distribuce.

Z rozvodny je vyvedeno deset vývodů do sítě vedoucích do různých směrů, například Praha – Sever, Louny [4]

Souměrný rázový zkratový výkon S_k'' (MVA)	2400
--	------

Tabulka 1: Souměrný rázový zkratový výkon rozvodny R110



Obrázek 2: Schéma zapojení rozvodny R110

3.2 Záskokový transformátor:

Transformátor označený AUE 21 slouží pro záskokové napájení rozvodny R6-0. Transformátor je navržen pro záskok dvou rozveden při poruše jejich napájení spolu se společnou vlastní spotřebou elektrárny. Transformátor je vyveden do rozvodny R110. [4]

AUE 21
výrobce: Škoda Plzeň
typ: 5 ER 29 M
výkon: 16 000 kVA
napětí: 110 000 V \pm 8%/6300 V
proud: 84/1470 A
kmitočet: 50Hz
spojení: Yd1
chlazení: ORV
u_k : 11,4 %
rok výroby: 1970

Tabulka 2: Štítkové hodnoty transformátoru AUE 21

Označení transformátoru	Ztráty nakrátko při jmenovitém proudu P_k (kW/75°C)
AUE 21	110 + 15 %

Tabulka 3: Ztráty nakrátko transformátoru AUE 21

3.3 Blokové transformátory:

Jsou transformátory sloužící k transformaci napětí generátorů na napětí sítě (rozvodny 110 kV). Zároveň slouží pro napájení vlastní spotřeby bloků při rozběhu bloku (v běžném bezporuchovém chodu). EMĚ 1 obsahuje šest blokových transformátorů z nichž 4 jsou dvouvinuťové a bloky 3 a 4 mají trojvinuťové blokované transformátory, který současně slouží pro napájení společné vlastní spotřeby elektrárny.

Transformátory jsou označeny: AUE 1, AUE 2, AUE 3, AUE 4, AUE 5 a AUE 6. [4]

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: 0959862	výrobní číslo: 0959862	výrobní číslo: 0962759
výkon: 63 000 kVA	výkon: 63 000 kVA	výkon: 63 000/ 63 000/40 000 kVA
napětí: 121 000 \pm 5%/ 10 500 V	napětí: 121 000 \pm 5%/ 10 500 V	napětí: 110 000 \pm 8x2% / 10 500/6 300 V
jmenovitý proud: 301/ 3464 A	jmenovitý proud: 301/ 3464 A	jmenovitý proud: 331/ 3464/ 3666 A
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 : 10.5%	u _k : 10.6%	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
celková hmotnost: 86 620 kg	celková hmotnost: 86 620 kg	celková hmotnost: 121 000 kg
rok výroby: 1988	rok výroby: 1988	rok výroby: 1991

Tabulka 4: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 1, AUE 2 a AUE 3

AUE 4	AUE 5	AUE 6
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: ETD Plzeň	výrobce: ETD Plzeň
typ: ET1 35 M-0	typ: ETD E35M-0	typ: ETD E35M-0
výrobní číslo: 0962760	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 \pm 8x2% / 10 500/6 300 V	napětí: 121 000 \pm 5%/ 10 500 V	napětí: 121 000 \pm 5%/ 10 500 V
jmenovitý proud: 331/ 3464/ 3666 A	jmenovitý proud: 301/ 3464 A	jmenovitý proud: 301/ 3464 A
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 : 10.53%	u _k : 10.58%
hmotnost oleje: 29 000 kg	hmotnost oleje: 12 900 kg	hmotnost oleje: 12 900 kg
celková hmotnost: 121 000 kg	celková hmotnost: 70 100 kg	celková hmotnost: 70 100 kg
rok výroby: 1991	rok výroby: 2008	rok výroby: 2007

Tabulka 5: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 4, AUE 5 a AUE 6

Označení transformátoru	Ztráty nakrátko při jmenovitém proudu P_k (kW/75°C)
AUE 1	285 + 15 %
AUE 2	220 + 15 %
AUE 3	110/10,5 kV: 285 + 15 % 110/6,3 kV: 175 + 15 % 10,5/6,3 kV: 110 + 15 %
AUE 4	110/10,5 kV: 285 + 15 % 110/6,3 kV: 175 + 15 % 10,5/6,3 kV: 110 + 15 %
AUE 5	188 + 15 %
AUE 6	188 + 15 %

Tabulka 6: Ztráty nakrátko blokových transformátorů

3.4 Alternátory:

Alternátor je elektrický stroj, který slouží k přeměně mechanické energie turbíny (motoru, setrvačnicku) na elektrickou energii, která se následně dodává do sítě. EMĚ 1 je vybavena čtyřmi trojfázovými turboalternátory s budiči na stejné ose.

Alternátory jsou upraveny pro možnost zhášení vodou v případě hoření vinutí. Alternátory jsou vybaveni vlastním (závislým) vzduchovým chlazením s uzavřenou cirkulací vzduchu. Ohřátý vzduch je ochlazován v chladičích vzduchu. Alternátory jsou navrženy na jmenovitou hodnotu statorového napětí 10,5 kV.

Turboalternátory jsou původní z doby výstavby EMĚ 1. Za dobu své činnosti prošli převinutím a výměnou izolace. Také byli přetypováni z původních 55 MW na 60 MW. [4]

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

Tabulka 7: Turboalternátory

zdánlivý výkon S_n [MVA]	75
činný výkon P_n [MW]	60
$\cos \varphi$ [-]	0,8
otáčky n [ot/min]	3000
kmotočet 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

Tabulka 8: Štítkové hodnoty turboalternátorů

3.5 Odbočkové transformátory:

Jedná se o regulační transformátory sloužící pro napájení vlastní spotřeby bloků EMĚ 1. Jedinou výjimku tvoří bloky 3 a 4, u kterých je vlastní spotřeba napájena přímo z třetí odbočky blokového transformátoru přes rozvodny 3BBA1 a 4BBA1 (ze stejných rozveden je napájena i společná vlastní spotřeba elektrárny).

Tyto transformátory jsou čtyři označeny: AUE 11, AUE 12, AUE 15 a AUE 16. [4]

AUE 11	AUE 12
výrobce: Škoda Plzeň	výrobce: Škoda Plzeň
typ: ER 27 C-7	typ: ER 27 C-7
výrobní číslo: 0967289	výrobní číslo: 0967288
výkon: 10 000 kVA	výkon: 10 000 kVA
napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV	napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV
jmenovitý proud: 550/ 916 A	jmenovitý proud: 550/ 916 A
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
celková hmotnost: 24 600 kg	celková hmotnost: 24 600 kg
rok výroby: 1998	rok výroby: 1998

Tabulka 9: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 11 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: 0967035	výrobní číslo: 0967036
výkon: 10 000 kVA	výkon: 10 000 kVA
napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV	napětí: 10 500+8x2%/6,3 kV
jmenovitý proud: 550/ 916 A	jmenovitý proud: 550/ 916 A
kmitočet: 50Hz	kmitočet: 50Hz
spojení: Dd0	spojení: Dd0
chlazení: ONAN	chlazení: ONAN
u_k : 7.2%	u_k : 7.20%
hmotnost oleje: 6470 kg	hmotnost oleje: 6470 kg
celková hmotnost: 24 600 kg	celková hmotnost: 24 600 kg
rok výroby: 1996	rok výroby: 1996

Tabulka 10: Štítkové hodnoty transformátorů AUE 15 a AUE 16

Označení transformátoru	Ztráty nakrátko při jmenovitém proudu P_k (kW/75°C)
AUE 11	50 + 15 %
AUE 12	50 + 15 %
AUE 15	50 + 15 %
AUE 16	50 + 15 %

Tabulka 11: Ztráty nakrátko odbočkových transformátorů

3.6 Rozvodna 6 kV:

Rozvodny s označením R6-1 až R6-6 jsou rozvodny vlastní spotřeby daného bloku na napěťové hladině 6 kV. Slouží pro napájení velkých šestikilovoltových motorů potřebných pro provoz bloku (motorů vlastní spotřeby) jako jsou například mlýny, kouřový ventilátor a další.

Rozvodny jsou rozdělené na dvě části vypínačem umožňujícím rozpojení rozvodny a napájet v případě potřeby pouze část rozvodny. Rozvodny R6-X jsou napájeny ve standardním stavu z odbočkového transformátoru bloku a nebo v případě poruchy na transformátoru nebo kabelovém propoji je možné rozvodu napájet ze záskokové rozvodny R6-0.

Pro napáječku napájenou ze statického měniče potřebujeme znát jmenovitý proud přepočtený na vyšší napětí transformátoru měniče u výpočtu zkratových proudů se projeví pouze u trojfázového zkratu viz níže (Kapitola 4.13.8).

Rozvodny 6-ti kV bloků jsou si typově podobné. [4]

zařízení	počet odběrů	typ pohonu	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovité napětí U_s (kV)	jmenovitý proud I_n (A)
mlýny	4	M880-6R	400	6	46,8
kouřový ventilátor	1	SAF20,6-14-1	1350	6	153
vzduchový ventilátor	2	MT 880 4n	400	6	45,9
napáječka	1	E1055V2ND	1700	6	190
kondenzát-ní čerpadlo	2	2N4355LK	160	6	19

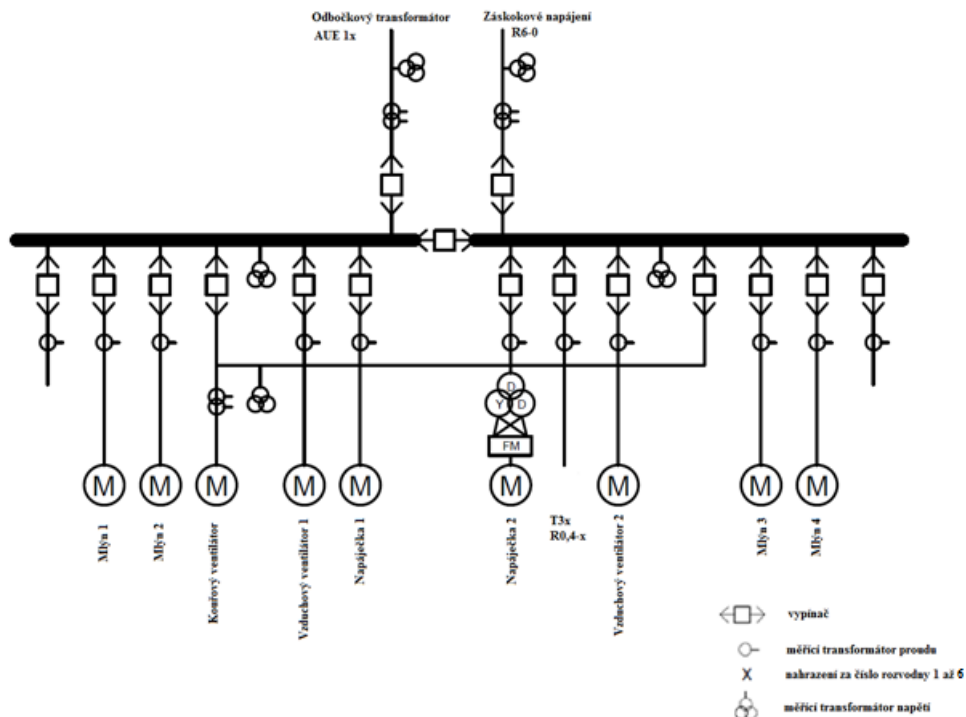
Tabulka 12: a) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6

zařízení	Poměrný záběrný proud I_z/I_n (-)	otáčky n (ot/min)	cos φ (-)
mlýny	5	980	0,82
kouřový ventilátor	6	1490	0,85
vzduchový ventilátor	5,4	1485	0,84
napáječky	4	2960	0,86
kondenzátní čerpadlo	5	1480	0,81

Tabulka 13: b) Pohony na rozvodnách R6-1 až R6-6

zařízení	Jmenovitý proud na straně 6 kV I_n (A)
napáječka napájená z statického měniče	152

Tabulka 14: Jmenovitý proud na straně 6 kV měniče pro napáječku 2



Obrázek 3: Schéma rozvodny R6-1 až R6-6

3.7 Zászkoková rozvodna a rozvodna společné vlastní spotřeby 6 kV:

Rozvodna označená R6-0 slouží jako zászkoková rozvodna pro rozvodny vlastní spotřeby bloků a současně slouží k napájení části společné vlastní spotřeby jako například bagrovací čerpadla, zauhlování, chemická úprava vody...

Zároveň slouží k napájení rozvodny společné vlastní spotřeby R0,4-0 a zászkovému napájení blokových rozvodů 0,4 kV, přes transformátor T51. Rozvodna je rozdělena na tři části s možností jejich vzájemného rozpojení v případě poruchy.

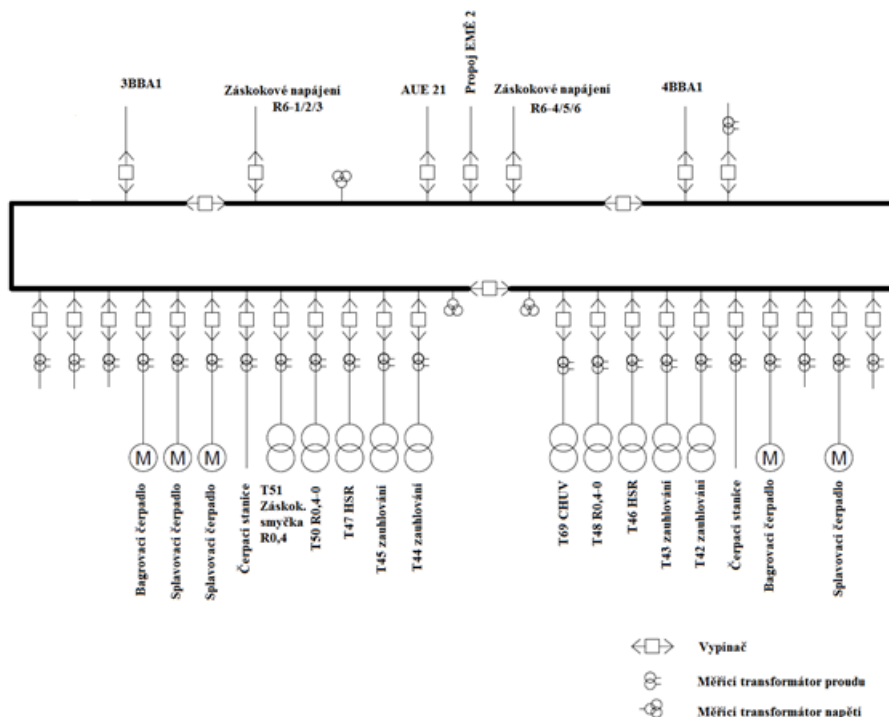
Rozvodna je napájena z třetí odbočky blokových transformátorů bloků 3 a 4, nebo v případě potřeby ze zászkového transformátoru AUE 21.

Hlavní světelný rozvaděč obsahuje pouze netočivou zátěž a z toho důvodu je při výpočtu zkratových poměrů zanedbán.

Chemickou úpravnu vody taktéž při výpočtu zanedbám, z důvodu vyřazení její velké části. V současné době se z ní napájí pouze jedna dílna se zanedbatelným vlivem na přesnost výpočtu. [4]

zařízení	počet odběrů	výkon P (kW)	napětí U_s (kV)	jmenovitý proud I (A)	poměrný záběrový proud I_z/I_n (A)	cos φ (-)	koeficient soudobosti
bagrovací čerpadla	2	400	6	48,5	6	0,84	1
splavovací čerpadla	3	190	6	26,6	6	0,67	2/3

Tabulka 15: Motory na rozvodně R6-0



Obrázek 4: Schéma rozvodny R6-0

Zauhlování EMĚ 1 je rozdělené na dvě rozvodny na hladině 0,4 kV a dvě podřízené rozvodny. Je napájené přes transformátory T43 nebo T44 s automatickým záskokem jednoho za druhý. V rámci této práce budeme uvažovat jedno zauhlování funkční a zahrneme jeho příspěvek do výpočtu a záložní napájení zauhlování EMĚ 2 budeme uvažovat za neaktivní.

zařízení	Počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I _n (A)	koeficient soudobosti (-)
pohon pásu	2	130	260	0,5
pohon pásu	2	95	200	0,5
pohon pásu	2	45	90	0,5
pohon pásu	6	20	38	0,5
pohon pásu	2	24	50	0,5
pohon pásu	2	30	60	0,5
pohon pásu	2	36	75	0,5
pohon pásu	2	16	35	0,5
pohon pásu	2	5,5	11	0,5
vynášecí pás	2	4	7,2	0,5
vynášecí pás	2	0,55	1,6	0,5
přední vyhrnovací vůz	4	7,5	13,5	0,5
přední vyhrnovací vůz	4	1,1	2	0,5
klapka přesypu	2	0,55	1,6	0,5
Součet všech motorů	-	2 * 463,8	2 * 936,4	-

Tabulka 16: Pohony na zauhlování EMĚ 1

3.8 Transformátory na 0,4 kV:

Transformátory označené T 31, T 32, T 33, T43, T44, T 48, T 50, T 34, T 35 , T 36 a T 51 slouží pro napájení rozveden vlastní spotřeby na hladině 0,4 kV z rozveden VS na hladině 6 kV. Z toho transformátory T50 a T48 jsou umístěny mezi rozvodnami R6-0 a R0,4-0, T51 slouží jako záskokový transformátor pro rozvodny 0,4 kV a je napájený z rozvodny R6-0 a T44 a T43 slouží k napájení zauhlování z rozvodny R6-0. [4]

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
jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A	jmenovitý proud: 192.4 / 2886,75 A	jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A
spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
u _k : 6,2 %	u _k : 6,3 %	u _k : 6,2 %
celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg
rok výroby: 1997	rok výroby: 1997	rok výroby: 1997

Tabulka 17: Štítkové hodnoty 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
jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A	jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A	jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A
spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
u _k : 6,3 %	u _k : 6,3 %	u _k : 6,2 %
celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg	celková váha: 5700 kg
rok výroby: 1997	rok výroby: 1997	rok výroby: 1997

Tabulka 18: Štítkové hodnoty 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
jmenovitý proud: 96/ 1440 A	jmenovitý proud: 96/ 1440 A	jmenovitý proud: 192.4 / 2886,7 A
spojení: Dyn1	spojení: Dyn1	spojení: Dyn 1
chlazení: AN	chlazení: AN	chlazení: AN
u _k : 6,12 %	u _k : 6,12 %	u _k : 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

Tabulka 19: Štítkové hodnoty transformátorů T 48, T 50 a T 51

T 43 / T 44
výrobce: SGB Německo
typ: DTTH 1000/6
výkon: 1000 kVA
napětí: 6000/ 400 V
jmenovitý proud: 96/ 1440 A
spojení: Dyn1
chlazení: AN
u _k : 6 %

Tabulka 20: Štítkové hodnoty transformátorů T43 a T 44

Označení transformátoru	Ztráty nakrátko při jmenovitém proudu P_k (kW/75°C)
T 31	16 + 15 %
T 32	16 + 15 %
T 33	16 + 15 %
T 34	16 + 15 %
T 35	16 + 15 %
T 36	16 + 15 %
T 43	8 + 15 %
T 44	8 + 15 %
T 48	8 + 15 %
T 50	8 + 15 %
T 51	16 + 15 %

Tabulka 21: Ztráty nakrátko transformátorů z 6 kV na 0,4 kV

3.9 Rozvodny 0,4 kV:

Rozvodny označené R0,4-x (kde x je číslo od 1 do 6) jsou rozvodny vlastní spotřeby na hladině 0,4 kV. Tyto rozvodny slouží pro napájení menších motorů bloků a dalších rozveden sloužících pro napájení dílen, počítačů....

U bloků 1, 2, 3 a 4 se z ní napájí hlavně vývěvy, hlavní olejové čerpadlo a čerpadla kondenzátu z turbín. U bloků 5 a 6 se z ní napájí navíc olejové čerpadlo a kompresor.

Rozvodny jsou, jako i R6-x, rozděleny na dvě poloviny, které jsou v běžném stavu sepnuty a v případě potřeby umožňují odpojení části rozvodny od napětí, pro opravy.

Rozvodny jsou napájeny buď z rozveden VS bloku (na hladině 6 kV) přes transformátor T3x, nebo záskokově přes transformátor T51. [4]

Motory na těchto rozvodnách budeme ve výpočtu nahrazovat ekvivalentním motorem podle normy [1]. Pro jeho výpočet potřebujeme znát součet jmenovitých proudů těchto motorů.

zařízení	Počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I_n (A)
čerpadlo kondenzátu z kondenzátoru turbíny	3	100	200
hlavní olejové čerpadlo	1	30	63
vývěva	2	15	32
Součet všech motorů	-	360	727

Tabulka 22: Pohony na rozvodnách R0,4-1 a R0,4-2

zařízení	Počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I_n (A)
čerpadlo kondenzátu z kondenzátoru turbíny	3	100	200
vývěva	2	125	250
čerpadlo kondenzátu z OTV ZTMP	3	100	200
hlavní olejové čerpadlo	1	30	63
čerpadlo kondenzátu z OTV-HP	2	30	63
Součet všech motorů	-	940	1889

Tabulka 23: Pohony na rozvodnách R0,4-3 a R0,4-4

zařízení	Počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I _n (A)
kompensátor dopravního vzduchu popítku	1	250	500
vývěva	2	125	250
čerpadlo regulačního oleje	1	37	77
čerpadlo kondenzátu	4	30	63
Součet všech motorů	-	657	1329

Tabulka 24: Pohony na rozvodnách R0,4-5 a R0,4-6

3.10 Rozvodna společné vlastní spotřeby 0,4 kV:

Rozvodna označená R0,4-0 slouží k napájení společných motorů, světel, dílen, čerpadel mazacího oleje... na hladině 0,4 kV.

Rozvodna je napájena z rozvodny R6-0 přes transformátory T48 a T50. Napájení je zálohované propojem na EMĚ 2. K rozvodně je připojen dieselagregát, který nabíhá v případě výpadku napájení a udržuje v chodu nejdůležitější zařízení pro odstávku bloku (olejová čerpadla). Částečně i přispívá k napájení řídicího systému, ale ten je přednostně napájen z nouzových bateriových systémů. [4]

zařízení	Počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I _n (A)
čerpadlo mazacího oleje turbíny	4	30	55
čerpadlo regulačního oleje turbíny	4	11	22
bagrovací stanice	3	200	265
Součet všech motorů	-	764	1103

Tabulka 25: Pohony na rozvodně R0,4-0

3.11 Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1:

Rozvodny jsou napájeny z třetí odbočky blokových transformátoru AUE3 resp. AUE4 a slouží k napájení VS a SVS elektrárny.

Z těchto rozvodn jsou přes reaktor, omezující zkratový proud, napájeny blokové rozvodny VS bloků 3 resp. 4 a rozvodna SVS R6-0. Z nich jsou pak dále napájeny rozvodny pro odsíření a výměňková stanice pro Prahu. [4]

jmenovitý proud I _n (A)	1000
jmenovitý napětí U _n (kV)	6
jmenovitý napětí nakrátko u _k (%)	6

Tabulka 26: Jmenovité hodnoty reaktoru

3.12 Odsíření:

V elektrárně Mělník je odsířeno prováděno mokrou vápencovou vypírkou. S výrobou energosádrovce jako vedlejším produktem. Ten je zpracováván v blízké firmě Rigips, kde se z něj vyrábí sádrokartón.

V následujícím roce je naplánovaná renovace odsíření. V rámci této práce budu pracovat s předběžnými plány nového odsíření. Pokud tedy z této práce vyjde potřeba vyměnit některá spínací zařízení a nastavení ochran, tak to bude sloužit jako upozornění na místa na které si je potřeba dát pozor před spuštěním nového odsíření.

V plánu nejsou zaznamenané veškeré hodnoty pohonů, které tam fyzicky budou. V rámci práce je nahradím přibližnými hodnotami, určenými na základě porovnání s reálnými motory ve vlastní spotřebě elektrárny a odborným odhadem.

Rozvodna odsíření je napájena z rozveden 3BBA1 nebo 4BBA1. Rozvodna je na napěťové hladině 6 kV a slouží k napájení šestikilovoltových motorů odsíření. Záložně je možné ji napájet z hladiny 0,4 kV ze záložních bateriových systémů, nebo z diesel-agregátu. [4]

zařízení	počet odběrů	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovité napětí U _s (kV)	jmenovitý proud I _n (A)	Poměrný záběrný proud I _z /I _n (-)	koeficient soudobosti (-)
vývěva	2	250	6	30	5	0,5
oxidační dmychadlo	2	250	6	30	5	0,5
oxidační dmychadlo	3	355	6	42,7	5	2/3
čerpadlo abs.	2	900	6	108,3	5	0,5
čerpadlo abs.	4	800	6	96,2	5	0,5

Tabulka 27: Pohony na novém odsíření

3.13 Čerpací stanice:

Stejně jako v případě odsíření je naplánovaná v následujícím roce i rekonstrukce čerpací stanice, mimo jiné při ní v rámci optimalizace provozu budou nainstalovány motory s frekvenčními měniči.

V rámci této práce budu opět pracovat s předběžným plánem rekonstrukce, který je v době psaní této práce ve schvalovací části procesu. Jako u odsíření i zde nahradím prozatím nedostupné informace o zařízeních odborným odhadem jejich parametrů.

Čerpací stanice je napájena z rozvodny R6-0 dvěma přívody. Z rozvodny čerpací stanice (R6-01) jsou napájeny čtyři čerpadla chladicí vody 6 kV (viz tabulka) a dále je z ní napájena rozvodna čerpací stanice na hladině 0,4 kV přes suché transformátory T52 a T53. [4]

T52 a T53
výrobce: Siemens
výkon: 630 kVA
napětí: 6000 V _{+2,5%} /400 V
proud: 60,6/909 A
kmitočet: 50Hz
spojení: Dyn1
u _k : 6 %
ztráty nakrátko: 5 kW + 15 %
třída izolace: F/F

Tabulka 28: Štítkové hodnoty nových transformátorů na čerpací stanici

motor	činný výkon P _n (kW)	jmenovité napětí U _s (kV)	jmenovitý proud* I _n (A)	poměrný záběrný proud I _z /I _n (-)	počet (-)	koeficient soudobosti (-)
čerpadlo bez FM měniče	700	6	84,2	5	2	0,5
čerpadlo s FM měničem	900	6	108	-	2	0,5

Tabulka 29: Pohony na nové čerpací stanici na hladině 6 kV

* U motoru s FM se jedná o jmenovitý proud na straně 6 kV transformátoru měniče.

zařízení	počet (-)	jmenovitý výkon P (kW)	jmenovitý proud I _n (A)
zvyšovací čerpadlo	3	45	85
ostřikovací čerpadlo	2	22	44,5
kalové čerpadlo	2	22	44,5
šoupě sání chladícího čerpadla	6	5,5	11
šoupě výtlaku chladícího čerpadla	5	5,5	11
propojovací šoupě	2	5,5	11
šoupě sání zvyšovacího čerpadla	2	1,5	4,1
šoupě výtlaku zvyšovacího čerpadla	2	1,5	4,1
šoupě sání	4	1,5	4,1
šoupě přepouštěcí chlad. vody	2	2,2	5,6
ventilátory pro větrání	6	1,1	3,3
Součet všech motorů	-	317,5	639,8

Tabulka 30: Pohony na čerpací stanici na hladině 0,4 kV

3.14 Výměníková stanice Praha:

Výměníková stanice Praha slouží pro předávání tepla z teplárny EMĚ 1 do horkovodu vedoucím k severu Prahy.

Tato rozvodna napájí pohony čerpadel potřebné pro tuto činnost. Na hladině 6 kV je rozvodna vybavena několika velkými pohony a další jsou řízeny z frekvenčního měniče.

Rozvodna je primárně napájena z rozvodů 3BBA1 a 4BBA1 a záložní napájení s automatickým přeskokem je přivedeno z EMĚ 3.

motor	činný výkon P _n (kW)	jmenovité napětí U _s (kV)	jmenovitý proud* I _n (A)	poměrný záběrný proud I _z /I _n (-)	otáček n (ot/min)	počet (-)
čerpadlo bez FM měniče	1250	6	141,5	6	1498,6	5
čerpadlo s FM měničem	1250	6	130	-	1498,6	5

Tabulka 31: Pohony na výměňkové stanici pro Prahu

* U motoru s FM se jedná o jmenovitý proud na straně 6 kV transformátoru měniče.

V rámci výměňkové stanice bude současně na jednu rozvodnu běžet pouze pět z deseti, z motorů výše uvedených a v různém poměru. Pro tuto práci jsem se rozhodl počítat s pěti motory bez FM měniče, který budou mít větší dopad na výsledek. [4]

3.15 Kabelové propoje a venkovní vedení v VS EMĚ 1:

V rámci vlastní spotřeby EMĚ 1 jsou kabelové spoje tažené kabelem 6-AYKCY o průměrech které jsou níže. V rámci různých bloků jsou vzdálenosti propojů téměř totožné (se zanedbatelnou odchylkou). To je způsobené uložením jejich částí ve stejných oblastech v elektrárně.

Vývod z generátoru na blokový transformátor je tvořen 50-ti metry pásů ke generátorovému vypínači a dalšími 50-ti metry přetahu venkovního vedení. Z důvodu těžké dostupnosti údajů zanedbám v práci vliv pásových propojů.

Rozdílné jsou bloky 3 a 4 kde je propoj od generátoru k blokovému transformátoru tvořen pouze pásovým propojem bez venkovního vedení.

Přívod do rozvodny VS na hladině 6 kV (R6-x) z odbočkového transformátoru bloku je složen ze 100 metrů kabelového vedení o průřezu 3x240 mm² a venkovního přetahu

50 metrů k odbočkovému transformátoru. Výjimku zde tvoří blok 3 a 4. Kde je přívod tvořen 150 metry kabelového vedení k reaktoru na omezení zkratových proudů, a dalších 30 metrů kabelového vedení do rozvodny 3BBA1 nebo 4BBA1. Z reaktoru je vedeno i kabelové vedení do rozvodny R6-0 o délce 150 metrů a průřezem 3x240 mm².

Záložní přívod do rozvodny R6-x z rozvodny společné vlastní spotřeby a záskokové rozvodny R6-0 je tvořen kabelovým vedením o průřezu 3x240 mm² a délce 180 metrů.

Vývody z rozvodny VS R6-x na motory a transformátor T3x jsou tvořeny kabelovými vedeními s parametry (průřez a délka vedení) uvedenými v tabulce:

přívod k:	průřez S (mm ²)	délka l (m)
mlýn pravý přední	3x120	47
mlýn levý přední	3x120	35
mlýn pravý zadní	3x120	67
mlýn levý zadní	3x120	56
kouřový ventilátor	3x185	185
pravý vzduchový ventilátor	3x120	82
levý vzduchový ventilátor	3x120	75
napáječka 1	3x185	185
napáječka 2 k měniči	3x185	20
T3x	3x185	50

Tabulka 32: Kabelové spoje vývodů na rozvodnách R6-x

Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1 jsou napájeny z třetí odbočky blokových transformátorů bloků 3 resp. 4. Přívod je tvořen zapouzdřenými vodiči s parametry 10 kV a 4000 A. Z důvodu těžké dohledatelnosti údajů o tomto přípoji bude v práci zanedbán.

Vývody jsou na reaktor a pak dále na rozvodny VS bloku a na rozvodnu R6-0. Další vývod je na odsíření a je tvořen čtyřmi kabelovými vedeními o průřezu 3x240 mm² a délce 520 metrů. Posledním vývodem je na výměňkovou stanici Praha, který je tvořen kabelovým vedením o průřezu 3x240 mm² a délkou 600 metrů.

Přívod z záskokového transformátoru AUE 21 do záskokové rozvodny R6-0 je tvořen kabelovým vedením o délce 180 metrů a průřezu 3x240 mm².

Vývody z R6-0 jsou v následující tabulce:

přívod k:	průřez S (mm ²)	délka l (m)
bagrovací čerpadla	3x120	250
splavovací čerpadla	3x120	250
T50 /T48/ T43/ T44	3x185	170
2x čerpací stanice	3x185	800

Tabulka 33: Kabelové spoje vývodů na rozvodně R6-0

Přívod do blokové rozvodny VS na hladině 0,4 kV (R0,4-x) z transformátoru T3x je tvořen kabelovým vedením o průřezu 3x95 mm² a délce 20 metrů.

Přívod do rozvodny společné VS R0,4-0 z transformátorů T50 a T48 je tvořen kabelovým vedením o průřezu 3x95 mm² a délce 20 metrů.

Přívod pro zauhlování EMĚ 1 od transformátoru T44 a T43 je tvořen kabelovým vedením o průřezu 3x95 mm² a délce 1000 metrů.

Motory na výměňkové stanice pro Prahu jsou z rozvodny výměňkové stanice napájeny kabelovým vedením o průřezu 3x185 mm² a délce 170 metrů.

V rámci nového odsíření jsou vývody k motorům v následující tabulce:

přívod k:	průřez S (mm ²)	délka l (m)
vývěva	3x150	120
oxidační dmychadlo	3x150	65
čerpadlo ABS.	3x150	170

Tabulka 34: Kabelové spoje na novém odsíření

Mezi hlavní rozvodnou odsíření a vedlejší rozvodnou je 10-ti metrové kabelové vedení o průřezu 3x240 mm² oddělující dvě 800 megawatové čerpadla ABS.

Čerpací stanice má dva kabelové přívody ze záskokové rozvodny R6-0 o průřezu 3x185 mm² a délce 800 metrů viz. tabulka vývodů z R6-0. Vývody z rozvodny 6 kV čerpací stanice jsou uvedeny v následující tabulce:

přívod k:	průřez S (mm ²)	délka l (m)
čerpadlo bez FM měniče	3x150	120
čerpadlo s FM měničem*	3x120	30
T52/T53	3x150	50

Tabulka 35: Kabelové spoje na nové čerpací stanici

* Pozn. zde není kabel 6-AYKCY, ale N2XSEY 3x120 RM/16 od výrobce Helukabel s.r.o.

Přívod do rozvodny čerpací stanice na napětí 0,4 kV je provedeno kabelovým vedením a průřezu 95 mm² a délce 100 metrů

Venkovní vedení je použito pro přetahy k velkým transformátorům viz výše a dále k napojení na rozvodnu 110 kV.

Vedení od generátorového vypínače k blokovému transformátoru je tvořeno třemi vodiči na jednu fázi o průřezu 750 mm² a délce 50 metrů. Mezi vodiči jednotlivých fází je vzdálenost tří metrů.

Za blokovým transformátorem vedení pokračuje k rozvodně R110 již jednoduchým vedením. Průřez tohoto vedení je 50 mm² a délka 40 metrů.

Propoj na odbočkový transformátor je tvořen jednoduchým vedením (jeden vodič na fázi) o průřezu 50 mm² a délce 20 metrů.

Přetahy od odbočkových transformátoru AUE 1x a záskokového transformátoru AUE 21 jsou tvořeny jednoduchým vedením o průřezu 240 mm² a délce 50 metrů.

Propoj mezi záskokovým transformátorem AUE 21 a rozvodnou R110 je tvořen jednoduchým venkovním vedením o délce 40-ti metrů a průřezem 50 mm². [4]

Parametry kabelu 6-AYKCY jsou pro tuto práci převzaté z katalogu firmy Nkt cables s.r.o [8].

Počet a průřez žil (mm ²)	Průměr inf. (mm)	Hmotnost inf. (kg/km)	Činný odpor (Ω/km)	Kapacita (μF/km)	Indukčnost (mH/km)
3x95/16	50	3 014	0.320	0.670	0.310
3x120/16	54	3 489	0,253	0,720	0,300
3x150/25	57	3 986	0,206	0,760	0,290
3x185/25	61	4 590	0,164	0,800	0,290
3x240/25	66	5 373	0,125	0,860	0,280

Tabulka 36: Parametry kabelů 6-AYKCY z katalogu [8]

A parametry kabelu N2XSEY jsou pro tuto práci převzaté z katalogu firmy Helucabel s.r.o. Tento kabel je v provedení s odstíněním na každém vodiči, jeho netočivá reaktance X_0 je rovná sousledné reaktanci X_1 .

Počet a průřez žil (mm ²)	Průměr inf. (mm)	Hmotnost inf. (kg/km)	Činný odpor (Ω/km)	Kapacita (μF/km)	Indukčnost (mH/km)
3x120 rm/16	61	6 700	0.197	0.345	3x0.311*

Tabulka 37: Parametry kabelu N2XSEY z katalogu [9]

* Indukčnost uvedená na jeden vodič.

3.16 Kapacita vůči zemi:

Kapacita vůči zemi v místě zkratu je potřebná pro výpočet zemního spojení v izolované elektrické soustavě (IT), nebo v soustavě kompenzované, kdy je kapacita paralelně k složkové zkratové impedanci (více v kapitole o jednofázovém zkratu).

Kapacitu místa zkratu v této práci určím součtem kapacit aktivních (v dané situaci využívaných) kabelových vedeních vedoucích do místa zkratu. Při zkratu v rozvodně budu zanedbávat kapacitu rozvodny samotné (pásového propoje mezi skříněmi) z důvodu jeho malé významnosti této kapacity vůči ostatním.

Jednotlivé kapacity pro místa ve vlastní spotřebě elektrárny EMĚ 1 budou vypsány u jednotlivých případech níže.

3.17 Přístrojové vybavení rozvoden:

V práci jsem se zaměřil na kontrolu spínacích přístrojů v rozvodnách vlastní spotřeby na úrovni vn.

Rozvodny VS jsou vybaveny na vývodech vakuovými vypínači Siemens 3AH3, 1250 A, 31,5 kA a na přívodech a spojkách v rozvodnách jsou vybaveny vakuovými vypínači Siemens 3AH3, 1250 A, 40 kA. Vypínače jsou typově stejné pro všechny rozvodny VS na hladině 6 kV.

Záskoková rozvodna a rozvodna SVS R6-0 je vybavená na vývody třípólovými vakuovými vypínači Siemens 3AH5, 1250A, 31,5kA. Záskoky blokových rozvoden VS, přívody napájení z rozvoden 3BBA1 a 4BBA1 a spojky v rozvodně, jsou vybaveny vakuovými vypínači Siemens 3AH3, 1250A, 40kA a záložní napájení EMĚ 2 a přívod z transformátoru AUE 21, jsou vybaveny vakuovými vypínači Siemens 3AH3, 2500A, 50kA.

Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1 jsou vybaveny na svých vývodech vakuovými vypínači SIEMENS 3AH3 1250 A, 50 kA.

Generátory jsou vybaveny generátorovými vypínači. Parametry vypínačů se liší mezi bloky 1, 2 a bloky 3, 4. Na bloku 3 a 4 je generátorový vypínač s typu 3AH37113-4 od

SIEMENS 5000 A, 63 kA a na bloku 1 a 2 je generátorový vypínač SIEMENS typu 3AF1588-3, 4000 A, 63 kA. [4]

3.18 Nastavení ochran ve VS:

Ochrany ve VS slouží k iniciování vypínacích přístrojů a k vypínání zkratových proudů. Mimo nadproudové funkce a funkce sledování zemního proudu jsou dále vybaveny i dalšími funkcemi, které v rámci této práce nebudu uvádět.

Na rozvodně vlastní spotřeby bloků R6-x jsou ochrany nastavené podle následujících tabulek.

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I (A)	Doba působení (s)
Mlýn	420	0,05
Kouřový ventilátor	1375	0,05
Vzduchový ventilátor	417	0,05
Napáječka 1	1714	0,05
Měnič pro napáječku 2	306	0,4
Měnič pro napáječku 2	918	0,05
Hlavní přívod	4200	0,6
Spojka	3450	0,4
Záložní přívod	3750	0,6
T3x	384	0,4
T3x	1152	0,05

Tabulka 38: Nastavení nadproudých ochran na rozvodnách R6-x

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I_0 (A)	Doba působení (s)
Mlýn	1	1
Kouřový ventilátor	1	1
Vzduchový ventilátor	1	1
Napáječka 1	1	1
Měnič pro napáječku 2	1	1
T31	1	1

Tabulka 39: Nastavení ochran zemního spojení na rozvodnách R6-x

Na záskokové rozvodně R6-0 jsou ochrany nastavené podle následujících tabulek.

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I (A)	Doba působení (s)
Přívod od reaktoru	3600	1,5
Záskoková smyčka R6-1 až 3	3900	0,8
Přívod od AUE 21	1500	1,8
Záskoková smyčka R6-4 až 6	3900	0,8
Bagrovací čerpadlo	436,5	0,05
Splavovací čerpadlo	239,4	0,05
Čerpací stanice	2700	1,1
T50	192	0,4
T50	576	0,05
T44	192	0,4
T44	576	0,05

Tabulka 40: Nastavení nadproudých ochran na rozvodně R6-0

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I_0 (A)	Doba působení (s)
Záskoková smyčka R6	2,5	0,5
Bagrovací čerpadlo	1	1
Splavovací čerpadlo	1	1
Čerpací stanice	2	0,5
T50	1,25	1
T44	1,25	1

Tabulka 41: Nastavení ochranných zemního spojení na rozvodně R6-0

Na rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1 jsou ochrany nastavené podle následujících tabulek.

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I (A)	Doba působení (s)
Odsíření (ochrana kabelu)	1 250	0,2
Odsíření	10 500	0,65
Reaktor a VS	4 400	3
Výměňníková stanice	3 000	0,05

Tabulka 42: Nastavení nadproudových ochranných v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1

Ochrana pro:	Nastavení ochrany I_0 (A)	Doba působení (s)
Odsíření	10	0,5
Reaktor a VS	10	0,5
Výměňníková stanice	Chráněn napěťovou zemní ochranou	

Tabulka 43: Nastavení ochranných zemního spojení v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1

Nadproudové ochrany alternátorů jsou nastavené na $1,66 \cdot I_{nG}$ pro bloky 1, 2 a $1,5 \cdot I_{nG}$ pro bloky 3 a 4. [4]

4 Zkrat:

Zkrat je „náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma, nebo více vodivými částmi vedoucími k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.“ [1]

Rozlišujeme typy zkratu na souměrné (trojfázový zkrat) a nesouměrné zkraty (jednofázový zkrat, dvoufázový nebo dvoufázový zemní zkrat, u jednofázového dále rozlišujeme mezi jednofázovým zkratem a zemním spojením).

4.1 Zkratový proud:

Zkratovým proudem rozumíme nadproud, který vznikne v elektrické soustavě v důsledku vzniku zkratu. Tento proud má charakteristický tvar, viz obrázky níže. Většinou se nesnažíme spočítat celý tvar proudu, ale zajímáme se jen o některé jeho části. Podle nich pak dimenzujeme prvky elektrizační soustavy.

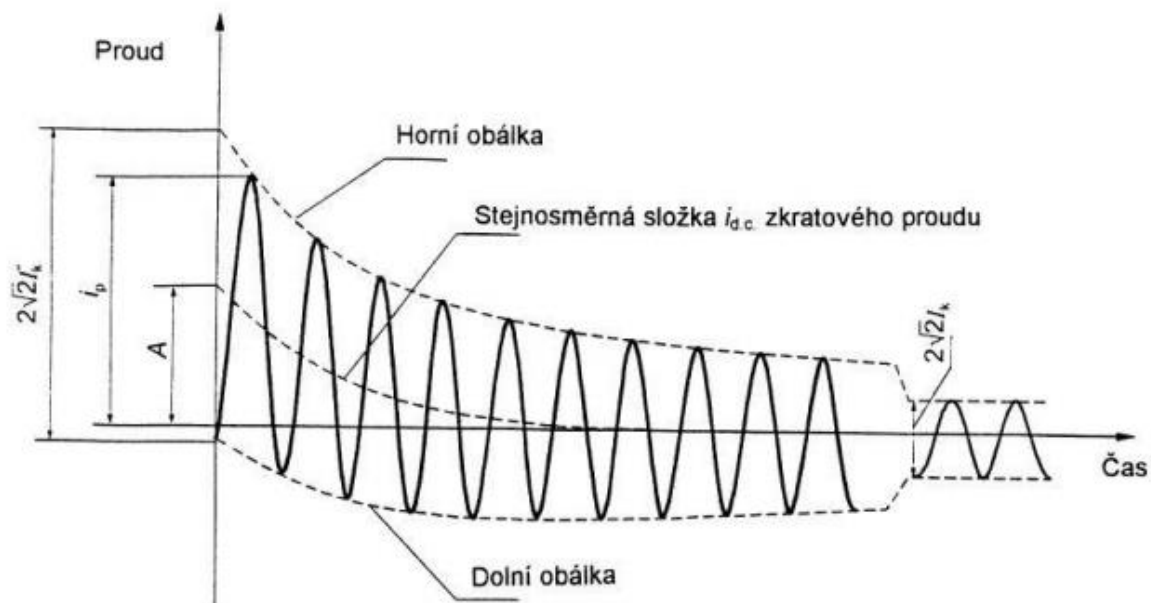
Velikost nárazového zkratového proudu (viz níže) závisí na zkratové impedanci. Při vzniku zkratu vzniká stejnosměrná složka zkratového proudu, která následně odeznívá, velikost stejnosměrné složky proudu závisí na okamžiku vzniku zkratu. Při výpočtu je nutné předpokládat, že zkrat vznikne ve chvíli průchodu napětí nulou.

Rozlišujeme dva charakteristické průběhy zkratu. Zkrat elektricky vzdálený a zkrat elektricky blízký.

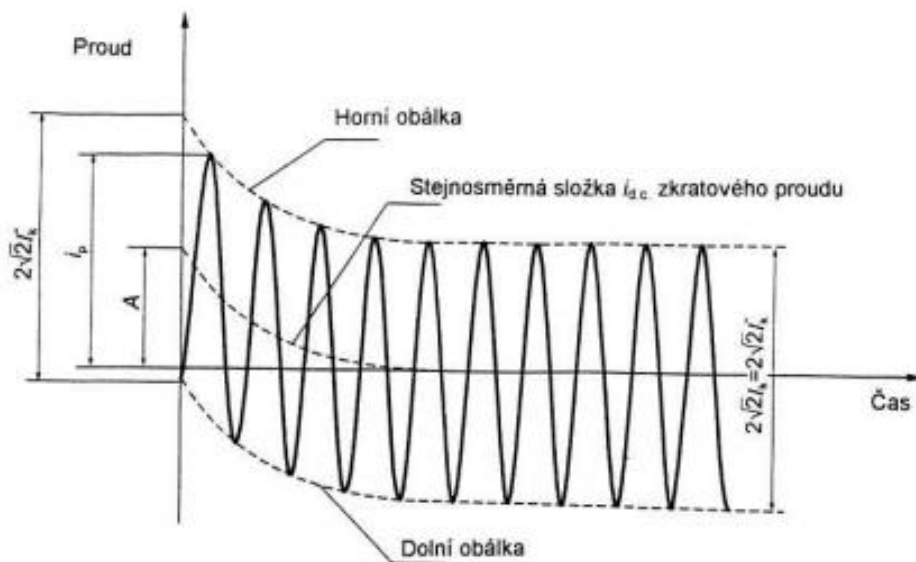
Zkrat vzdálený nastává ve chvíli kdy je místo zkratu dostatečně vzdáleno od zdrojů zkratového proudu, synchronních strojů, nebo je podíl asynchronních strojů na počátečním zkratovém proudu zanedbatelný. Průběh proudu u vzdáleného zkratu je

charakteristický přibližně konstantní velikostí souměrné střídavé složky zkratového proudu.

Zkrat blízký nastává v případě kdy 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. [1]



Obrázek 5: Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky blízký [1]



Obrázek 6: Běžný průběh zkratového proudu pro zkrat elektricky vzdálený [1]

4.2 Počáteční souměrný rázový zkratový proud:

Je „efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.“ [1]

Jedná se o hodnotu, kterou označujeme I''_k a slouží k výpočtu dalších složek zkratového proudu. Výpočet této složky se liší podle typu zkratu (více u popisu jednotlivých typů zkratu).

4.3 Nárazový zkratový proud:

Nárazový zkratový proud i_p , kterému se dříve říkalo dynamický proud, je „maximální možná okamžitá hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.“ [1]

Rozumíme tomu tak, že se jedná o maximum zkratového proudu při vzniku největší stejnosměrné složky zkratového proudu. Tato hodnota se používá pro dimenzování spínacích přístrojů a odvozují se z něj silové účinky zkratového proudu. Norma [1] uvádí výpočet:

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

Kde součinitel κ je závislý na poměru R/X a v normě [1] je uvedený přibližný vzorec jako:

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

4.4 Souměrný vypínací proud:

Souměrný vypínací proud I_b je definovaný jako „efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení.“ [1]

Souměrný vypínací proud se využívá pro dimenzování spínacích zařízení (pro vypínání). Výpočet se provádí při maximálních hodnotách předpokládaného zkratového proudu.

V mé diplomové práci ho počítat nebudu, ale budu kontrolovat dimenzování vypínačů podle vyšší hodnoty nárazového zkratového proudu.

Souměrný vypínací proud pro generátor se spočítá podle vzorce:

$$I_b = \mu * I''_k$$

Kde I''_k je počáteční souměrný rázový proud

a μ je součinitel závislý na poměru I''_{kG}/I_{nG} a minimální době vypnutí zkratu t_{\min} .

Součinitel μ je možný získat odečtením z grafů v normě [1], nebo výpočtem z následujících rovnic:

$$\mu = 0,84 + 0,26 * e^{-0,26 I''_{kG}/I_{nG}} \quad \text{pro } t_{\min} = 0,02 \text{ s}$$

$$\mu = 0,71 + 0,51 * e^{-0,30 I''_{kG}/I_{nG}} \quad \text{pro } t_{\min} = 0,05 \text{ s}$$

$$\mu = 0,62 + 0,72 * e^{-0,32 I''_{kG}/I_{nG}} \quad \text{pro } t_{\min} = 0,10 \text{ s}$$

$$\mu = 0,56 + 0,94 * e^{-0,38 I''_{kG}/I_{nG}} \quad \text{pro } t_{\min} = 0,25 \text{ s}$$

Za předpokladu že poměr I''_{kG}/I_{nG} není větší než 2, v tom případě platí $\mu = 1$ pro všechny minimální doby vypnutí.

Souměrný vypínací proud pro asynchronní motory se spočítá podle vzorce:

$$I_b = \mu * q * I_k''$$

Kde μ se vypočte stejně jako u synchronních generátorů pouze s poměrem I_{kM}''/I_{nM} .

a součinitel q lze určit jako funkci minimální doby vypnutí z rovnic:

$$q = 1,03 + 0,12 * \ln(P_{nM}/p) \quad \text{pro } t_{\min} = 0,02 \text{ s}$$

$$q = 0,79 + 0,12 * \ln(P_{nM}/p) \quad \text{pro } t_{\min} = 0,05 \text{ s}$$

$$q = 0,57 + 0,12 * \ln(P_{nM}/p) \quad \text{pro } t_{\min} = 0,10 \text{ s}$$

$$q = 0,26 + 0,10 * \ln(P_{nM}/p) \quad \text{pro } t_{\min} = 0,25 \text{ s}$$

Kde P_{nM} je jmenovitý činný výkon v MW a p je počet pólových dvojic asynchronního motoru.

V případě kdy by výpočet z rovnic vyšel q vyšší než 1, tak se použije $q = 1$.

Pro nesouměrné zkraty se předpokládá souměrný vypínací proud roven počátečnímu souměrnému rázovému proudu:

$$I_{bnesym} = I_k''$$

[1]

4.5 **Předpoklady výpočtu zkratových proudů:**

Pro výpočty maximálních a minimálních zkratových proudů se vychází z následujících zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratu se nezmění jeho typ, tj. trojfázový zkrat zůstane trojfázový a podobně.
- Po dobu trvání zkratu nedojde k žádné změně v síti.
- Impedance transformátorů se uvažují pro přepínače odboček v základní poloze.
- Neuvažují se odpory oblouku.
- 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.“

Pro výpočty maximálních zkratových proudů musí dále platit:

- Musí být použit napěťový součinitel c_{\max} .
- Použijí se korekční součinitelé s výjimkou impedancí mezi uzlem a zemí.
- Motory musí být zahrnuty podle potřeby.

Pro výpočty minimálních zkratových proudů musí dále platit:

- Musí být použit napěťový součinitel c_{\min} .
- Korekční součinitelé musí být rovni 1.
- Příspěvky větrných a fotovoltaických elektrárenských bloků musí být zanedbány.
- Musí být zanedbány příspěvky motorů

[1]

4.6 Metoda ekvivalentního zdroje v místě zkratu:

Jedná se o výpočetní metodu použitou pro výpočet zkratů. Je to jediná metoda popsaná v normě [1], i když norma povoluje i použití jiných metod výpočtu jako například metodu superpozice pokud jejich použitím bude dodržena minimálně stejná přesnost.

Metoda funguje na principu zavedení ekvivalentního napěťového zdroje do místa zkratu. Tento zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje se nahrazují jejich vnitřní impedancí. Při použití této metody „provozní údaje o odběrech, o poloze přepínače odboček transformátorů, buzení generátorů, atd. jsou postradatelné; odpadá nutnost provádět výpočty toků výkonů v různých stavech před zkratem.“ [1]

Pro tuto metodu se zanedbává vliv kondenzátorů a netočivé zátěže.

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 viz níže. [1]

4.7 Napěťový součinitel:

Tento součinitel je definován jako „poměr mezi napětím ekvivalentního napěťového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$.“ [1]

Napěťový součinitel c se zavádí z důvodů:

- Kolísání napětí v závislosti na čase a místě
- Různé přepnutí odboček transformátorů
- Zanedbání netočivé zátěže a kapacitních reaktancí při výpočtu
- Chování generátorů a motorů při přechodném ději

Napěťový součinitel c se odečítá z tabulky v normě [1]:

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	Maximálních zkratových proudů c_{max}^a	Minimálních zkratových proudů c_{min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
Vysoké napětí ^b >1 kV až 230 kV	1,10	1,00
Velmi (zvláště) vysoké napětí ^{b,e} >230 kV	1,10	1,00

a $c_{max} * U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav
b Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{max} * U_n = U_m$ nebo $c_{min} * U_n = 0,90 * U_m$
c Pro soustavy s tolerancí $\pm 6 \%$, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V
d Pro soustavy s tolerancí $\pm 10 \%$
e Pro jmenovité napětí týkající se $U_m > 420$ kV, nejsou napěťové součinitele v této normě definovány

Tabulka 44: Napěťový součinitel

4.8 Souměrné složky:

Pro výpočty hodnot zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách se pro zjednodušení výpočtu používá transformace do souměrných složek. Je předpokladem, že elektrická zařízení mají symetrickou strukturu. Tohoto předpokladu je v běžných trojfázových sítích dodrženo dostatečně na dosažení dostatečné přesnosti výpočtu.

Použitím této metody se zjišťují proudy v každé fázi superponováním proudů tří souměrných složkových soustav (sousedná, zpětná a netočivá soustava, značených indexem 1,2,0, ve stejném pořadí jak jsou uvedeny)

Pokud vezmeme fázi A jako referenční tak potom platí:

$$\begin{aligned}\hat{I}_A &= \hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_0 \\ \hat{I}_B &= \hat{a}^2 \hat{I}_1 + \hat{a} \hat{I}_2 + \hat{I}_0 \\ \hat{I}_C &= \hat{a} \hat{I}_1 + \hat{a}^2 \hat{I}_2 + \hat{I}_0\end{aligned}$$

S tím, že \hat{a} je operátor natočení o 120° :

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

[1]

4.9 Výpočet zkratů pomocí impedanční matice:

Jedná se o metodu v které se vytvoří impedanční matice obvodu (inverzí admitanční matice) a s její pomocí se počítají zkratové proudy v jednotlivých uzlech.

Impedanční matice je matice popisující elektrickou soustavu, ve tvaru:

$$[\hat{Z}] = \begin{pmatrix} \hat{Z}_{11} & \cdots & \hat{Z}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{Z}_{n1} & \cdots & \hat{Z}_{nn} \end{pmatrix}$$

Kde Z_{ij} (pro $i \neq j$) je takzvaná mezi-uzlová impedance a Z_{ii} je takzvaná viděná impedance uzlu i . Viděná impedance je impedance mezi uzlem a zemí (jinak řečeno jedná se o impedanci soustavy postupně zjednodušovanou jako by v uzlu byl jediný zdroj což odpovídá metodě ekvivalentního zdroje).

Po získání impedanční matice pro danou složkovou soustavu už stačí jen spočítat počáteční souměrný rázový proud jako:

$$\hat{I}_{ki}'' = \frac{-k * U_n}{\sqrt{3} * \hat{Z}_{ii}}$$

Kde U_{si} je združené napětí uzlu „i“

Z_{ii} je vhodná kombinace viděných impedancí složek uzlu „i“ (podle typu zkratu)

k je koeficient přepočtu pro daný typ zkratu $I_k'' = k * I_1$ (např. 1 pro 3f zkrat, $\sqrt{3}$ pro 2f zkrat....)

I_{ki}'' je počáteční souměrný rázový proud v uzlu „i“.

Podle zvolené orientace proudu (zdrojová / spotřebičová orientace) se změní znaménko výsledného zkratového proudu a mění se znaménko viděné admitance při

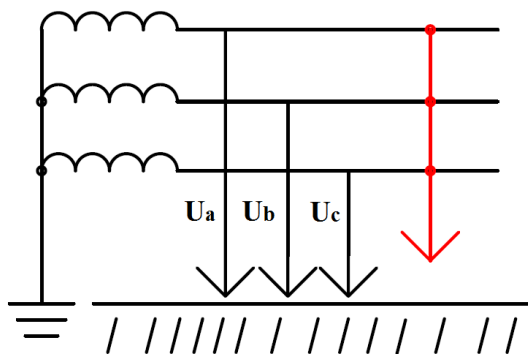
tvorbě impedanční matice. Při zdrojové orientaci (proud tekoucí do uzlu se bere s kladnou polaritou) má viděná admitance kladnou hodnotu a mezi-uzlová admitance hodnotu zápornou. Při spotřebičové orientaci (proud tekoucí z uzlu se bere s kladnou polaritou) má viděná admitance zápornou hodnotu a mezi-uzlová admitance hodnotu kladnou. [10]

S touto metodou výpočtu pracuje výpočetní program napsaný ve Wolfram Mathematica, který je přiložen v přílohách na CD k této práci.

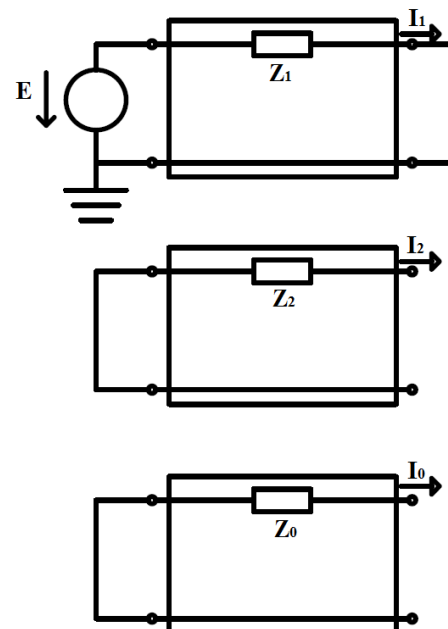
4.10 Trojfázový zkrat:

Trojfázový zkrat nebo trojfázový zemní zkrat je případ zkratu při kterém dojde k vodivému propojení všech tří fází trojfázové soustavy a případně zemí. Ve většině případů se jedná o nejhorší případ zkratu. O tom jak tomu je v oblasti VS elektrárny se dozvíme v této práci.

Při trojfázovém zkratu se projevuje pouze sousledná složková soustava a zbylé dvě složky se neprojeví. [5]



Obrázek 7: Trojfázový zkrat



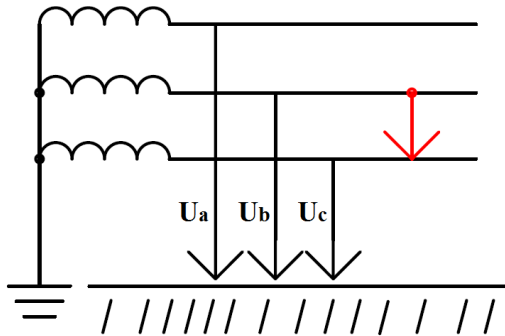
Obrázek 8: Trojfázový zkrat - složkové soustavy

Počáteční souměrný rázový zkratový proud spočítáme jako:

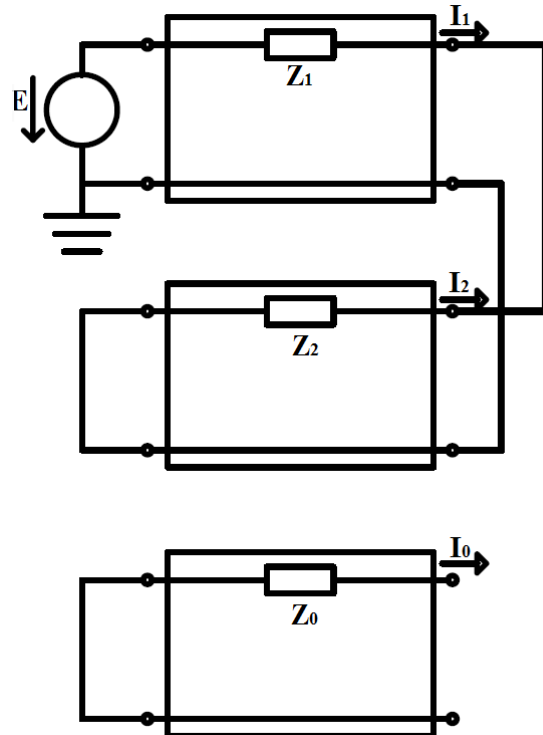
$$\hat{I}'_{k3f} = \frac{-U_n}{\sqrt{3} * \hat{Z}_1}$$

4.11 Dvofázový zkrat:

Dvofázový zkrat je případ zkratu, při kterém dojde k vodivému spojení dvou fází a třetí zůstane neporušená. Při tomto zkratu se projevuje sousledná a zpětná složková soustava. Pro výpočet zkratové impedance složek se chovají, jako by byli zapojeny paralelně navzájem. [5]



Obrázek 9: Dvofázový zkrat

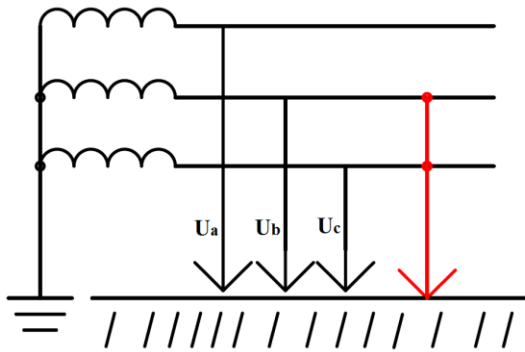


Obrázek 10: Dvofázový zkrat - složkové soustavy

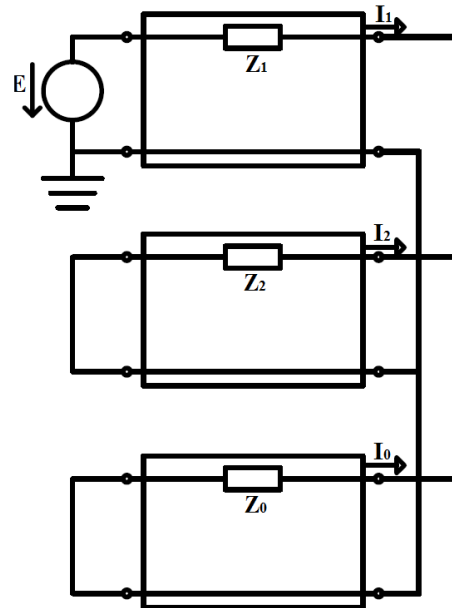
Počáteční souměrný rázový zkratový proud spočítáme jako:

$$\hat{I}_{k2f}'' = \frac{-\sqrt{3} * U_n}{\sqrt{3} * (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2)}$$

Typem dvofázového zkratu je dvofázový zemní zkrat. Ten se projevuje vodivým spojením dvou fází a zemí. Při tomto zkratu se projeví všechny tři složky složkové soustavy, opět navzájem paralelně propojené. [5]



Obrázek 11: Dvoufázový zemní zkrat



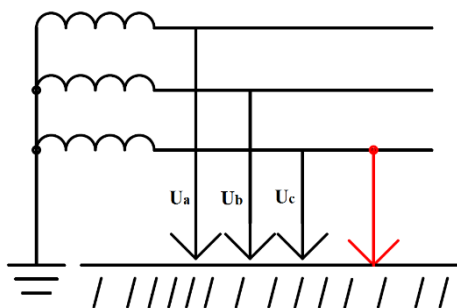
Obrázek 12: Dvoufázový zemní zkrat - složkové soustavy

Počáteční souměrný rázový zkratový proud spočítáme jako:

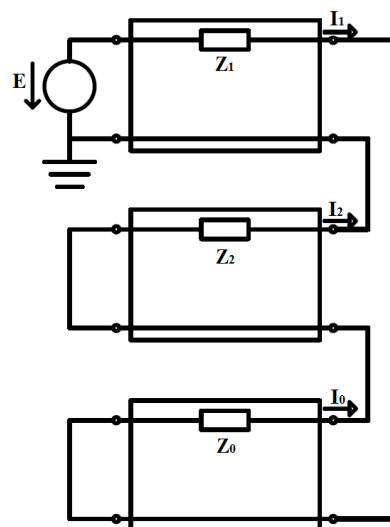
$$\hat{I}_{k2fz}'' = \frac{-\sqrt{3} * \sqrt{1 - \frac{X_2 * X_0}{(X_2 + X_0)^2}} U_n}{\sqrt{3} * \hat{Z}_1 + \frac{\hat{Z}_2 * \hat{Z}_0}{\hat{Z}_2 + \hat{Z}_0}}$$

4.12 Jednofázový zkrat:

Jednofázový zkrat je typ zkratu při kterém dojde k vodivému spojení jedné z fází a země. Zbylé dvě fáze zůstávají neporušené. Při tomto typu zkratu se projevují všechny tři složky složkové soustavy a zkratové impedance složek se chovají, jako by byly zapojeny do série. [5]



Obrázek 13: Jednofázový zkrat

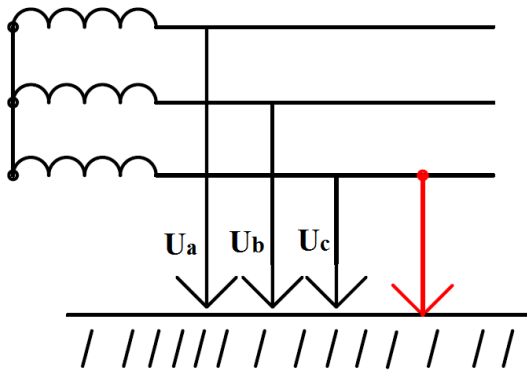


Obrázek 14: Jednofázový zkrat - složkové soustavy

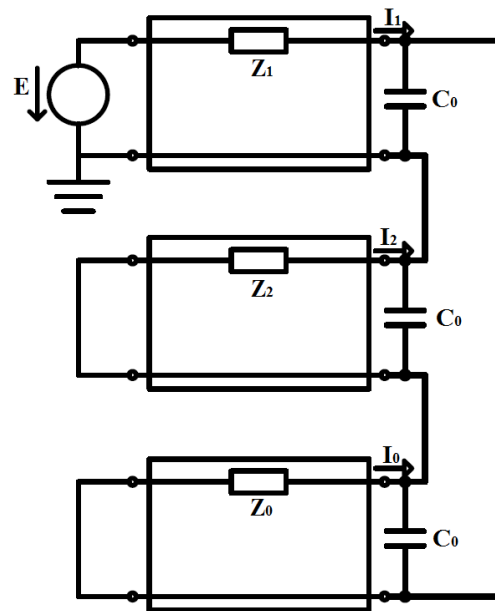
Počáteční souměrný rázový zkratový proud spočítáme jako:

$$\hat{I}_{k1f}'' = \frac{-3 * U_n}{\sqrt{3} * (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + \hat{Z}_0)}$$

Speciálním případem jednofázového zkratu je zemní spojení. Jedná se o jednofázový zkrat v soustavě s neuzemněným uzlem transformátoru (IT soustava), nebo v soustavě kompenzované. V tomto případě se obvod jednofázového zkratu nemůže uzavřít přes uzel transformátoru a uzavírá se přes kapacity zdravých fází proti zemi. Vlivem toho dochází k obrácení směru proudu na což reagují ochrany (proud teče ze zdravých fází přes kapacity do země a do poškozené fáze). Zemní spojení se pomocí složkových soustav počítá podobně jako jednofázový zkrat, zkratové impedance fází jsou navzájem stále zapojené sériově, pouze se k složkám paralelně přidá kapacita vůči zemi v místě zkratu, viz obrázek níže. [5]



Obrázek 15: Zemní spojení



Obrázek 16: Zemní spojení - složkové soustavy

4.13 Zkratové impedance prvků vlastní spotřeby:

Vzorce pro zkratovou impedanci prvků ve vlastní spotřebě jsou převzaty z normy [1].

4.13.1 Impedance elektrické soustavy:

Zkratová impedance elektrické soustavy, v našem případě se jedná o napájecí síť tvořená rozvodnou R110 a vnější sítí. Impedance je dána vzorcem:

$$X_s = c * \frac{U_n}{\sqrt{3} * I_k''} * \frac{1}{p^2}$$

Kde: X_s je reaktance soustavy

c je napěťový součinitel

I_k'' je počáteční souměrný rázový zkratový proud

p je převod transformátorů mezi místem zkratu a soustavou

Norma [1] uvádí, že pro napáječe s jmenovitým napětím $U_n > 35$ kV je možné u venkovního vedení uvažovat jejich impedanci jako:

$$\hat{Z}_s = 0 + jX_s$$

4.13.2 Impedance dvojinuťového transformátoru:

V našem případě se jedná o všechny transformátory s výjimkou AUE 3 a 4. Výpočet zkratových impedancí je uváděn v normě [1] jako:

$$Z_T = \frac{u_k}{100\%} * \frac{U_T^2}{S_T}$$

$$R_T = \frac{u_{RT}}{100\%} * \frac{U_T^2}{S_T} = \frac{P_{kT}}{3 * I_{nT}^2}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Kde S_T je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
 U_T je napětí transformátoru blíže k místu zkratu
 u_k je jmenovitá hodnota napětí nakrátko v procentech
 u_{RT} je činná složka jmenovitého napětí nakrátko
 P_{kT} jsou ztráty nakrátko při jmenovitém proudu
 I_{nT} je jmenovitá hodnota proudu transformátoru [1]

Nulovou reaktanci dvojinuťových transformátorů jsem nezjistil přesně z důvodu těžké dohledatelnosti tohoto údaje. Z toho důvodu jsem učinil odhad za pomoci normy [7] a nulovou reaktanci jsem určil rovnou reaktanci sousledné složky.

Pro síťové transformátory (rozumí se „transformátor spojující dvě nebo více sítí s rozdílným napětím.“ [1]) je nutné použít korekční součinitel K_T tak, že výsledná impedance transformátoru vypadá: $\hat{Z}_{TK} = \hat{Z}_T * K_T$. Korekční součinitel se používá jen pro výpočet maximálních zkratových proudů a nesmí se použít pro blokové transformátory elektrárenských bloků. Korekční součinitel získáme ze:

$$K_T = 0,95 * \frac{c_{max}}{1 + 0,6 * x_T}$$

Kde x_T je poměrná reaktance transformátoru $x_T = X_T / (U_{nT}^2 / S_{nT})$ a c_{max} je napěťový součinitel viz výše. [1]

4.13.3 Impedance trojinuťového transformátoru:

V případě EMĚ 1 se jedná o transformátory AUE 3 a 4. Norma [1] uvádí výpočet zkratové impedance jako:

$$\hat{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}}$$

$$\hat{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) * \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}}$$

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

Kde u_{Xr} je jmenovité indukční napětí nakrátko v procentech

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

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

Nakonec provedeme transfiguraci z trojúhelníku na hvězdu:

$$\hat{Z}_A = \frac{1}{2}(\hat{Z}_{AB} + \hat{Z}_{AC} - \hat{Z}_{BC})$$

$$\hat{Z}_B = \frac{1}{2}(\hat{Z}_{BC} + \hat{Z}_{AB} - \hat{Z}_{AC})$$

$$\hat{Z}_C = \frac{1}{2}(\hat{Z}_{AC} + \hat{Z}_{BC} - \hat{Z}_{AB})$$

Pro nulovou reaktanci trojvinuťových transformátorů jsem nezjistil její přesnou hodnotu z důvodu její těžké dohledatelnosti S toho důvodu jsem zavedl její odhad. Norma [7] uvádí rozsah X_0/X_T v rozmezí 1 až 3,5. Pro tuto práci jsem poměr zvolil 1, jako horší případ z obou mezí.

4.13.4 Impedance synchronního generátoru:

Pro zkratovou impedanci synchronního generátoru platí vzorec:

$$X_G = \frac{x_d''}{100\%} * \frac{c * U_{nG}^2}{S_{nG}} * p^2$$

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 [5]

Norma [1] uvádí výpočet pro odpor synchronního generátoru jako

$R_G = 0,07 * X_G$ pro generátory s jmenovitým napětím $U_{nG} > 1$ kV a jmenovitým zdánlivým výkonem $S_{nG} < 100$ MVA.

4.13.5 Impedance reaktorů:

Norma [1] 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: $R_R \ll X_R$ [1]

Z toho vyplývá, že můžeme odpor reaktoru zanedbat a uvažovat že impedance Z_R obsahuje pouze reaktanci X_R .

$$\hat{Z}_R = jX_R$$

4.13.6 Impedance asynchronních strojů:

Pro výpočet zkratových poměrů uvažujeme zkratové impedance strojů, které jsou v danou chvíli současně v provozu. Zkratovou impedanci asynchronních motorů získáme podle normy [1] použitím vzorce:

$$Z_M = \frac{1}{I_z/I_n} * \frac{U_{ns}}{\sqrt{3} * I_n} = \frac{1}{I_z/I_n} * \frac{U_{ns}^2}{S_n}$$
$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + (R_M/X_M)^2}}$$

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 [1] uvádí, že je možné pro poměr odporu a reaktance motorů použít s dostatečnou přesností:

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

$R_M/X_M = 0,15$, s $X_M = 0,989 * Z_M$ pro motory vn o výkonu P_{nM} na dvojici pólů ≤ 1 MW.

$R_M/X_M = 0,42$ s $X_M = 0,922 * Z_M$ pro skupiny nn motorů včetně přípojovacích kabelů.

4.13.7 Impedance skupiny nn motorů:

Skupinu nízkonapěťových motorů můžeme, pokud ji nemůžeme zanedbat, nahradit ekvivalentním motorem, jehož zkratová impedance se vypočte stejně jako u ostatních asynchronních motorů, s tím, že jmenovitý proud ekvivalentního motoru je součtem jmenovitých proudů jednotlivých motorů. [1]

$$I_n = \sum I_{ni}$$

Dále norma [1] uvádí poměr I_z/I_n ekvivalentního motoru jako $I_z/I_n = 5$. parametry R_M/X_M a viz výše (kapitola 4.13.6)

4.13.8 Impedance asynchronních motorů se statickým měničem:

Motor se statickým měničem se projevuje v případě trojfázových zkratů. Při jiných typech zkratu se jeho impedance neprojevuje a můžeme ho zanedbat. [1]

Jeho zkratovou impedanci pro trojfázový zkrat jsem určil z normy [1] jako u asynchronního motoru. To znamená, že pro její výpočet použijeme stejnou rovnici jako pro výpočet zkratové impedance asynchronního motoru (kapitola 4.13.6) s tím, že jako jmenovitý proud se vezme jmenovitý proud měniče na straně sítě a jako jmenovité napětí se vezme jmenovité napětí měniče na straně sítě. Hodnota záběrného proudu a poměru rezistance a reaktance uvádí norma jako:

$$\frac{I_z}{I_n} = 3 a \frac{R_M}{X_M} = 0,10 \text{ s } X_M = 0,995 * Z_M$$

[1]

4.13.9 Impedance vedení a kabelů:

V této práci se budu zabývat jak kabelovým tak venkovním vedením. Kabelové vedení se nachází v celé vlastní spotřebě elektrárny. Venkovní vedení se pak nachází za generátorovým vypínačem k blokovému transformátoru bloku, pak dále k rozvodně R110 a jako přetahy od odbočkových generátorů.

Impedance kabelového vedení závisí na normách státu a já jejich hodnoty v rámci této práce získávám z katalogu výrobce Nkt cables s.r.o. a Helucabel s.r.o.

Parametry venkovního vedení vztažené na jeden kilometr délky (mH/km) můžeme spočítat z následujících vzorců:

$$X_{Lv} = \omega * \frac{\mu_0}{2\pi} * \left(\frac{1}{4n} + \ln \frac{d}{r} \right)$$

Kde ω je úhlová frekvence $\omega = 2\pi * f$

μ_0 je permeabilita vakua $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$

r je poloměr vodiče vedení

n je počet vodičů jedné fáze, pro jednoduché vedení je $n = 1$

d je střední geometrická vzdálenost $d = \sqrt[3]{d_{L1L2} * d_{L2L3} * d_{L3L1}}$

U vedení na vysokém napětí je odpor vedení mnohem menší než jeho reaktance a můžeme ji tedy zanedbat.

$$\hat{Z}_{Lv} = jX_{Lv}$$

Netočivé reaktance kabelů a vedení $X_{(0)}$ se určuje ze střídavého napětí mezi třemi paralelními vodiči a společným zpětným vedením (např. zemí, nulovým vodičem, zemnicím vodičem, kabelovým pláštěm, kabelovým pancířem). V našem případě protéká společným zpětným vedením trojnásobek proudu netočivé složky a netočivá reaktance tedy bude trojnásobkem reaktance sousledné složky (kabely 6-AYKCY jsou stíněny jako celek a není stíněný každý vodič zvlášť, v tom případě by byla netočivá reaktance rovná sousledné reaktanci). [1]

5 Zkoumané stavy:

Zkratové poměry budu řešit u následujících stavů zapojení vlastní spotřeby elektrárny. U bloků stejného typu (jedná se např. od bloky 1 a 2), u kterých jsou pouze nepatrné změny v parametrech některých zařízení, budu počítat zkratové poměry u jednoho z nich.

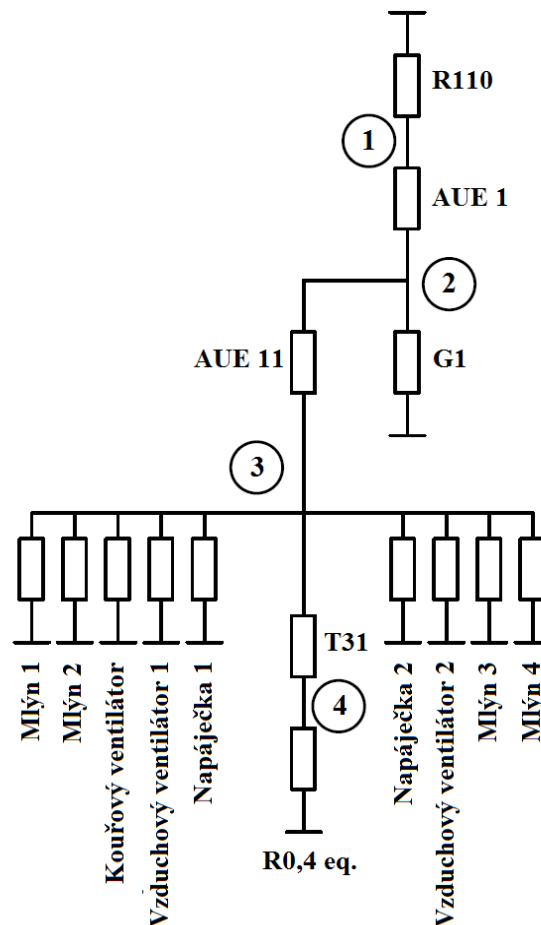
Zkratové poměry budu zkoumat u normálního chodu bloku (pro typové bloky), dále pak u stavu při poruše napájení a napájení rozvoden VS ze záložního zdroje. Záskokové rozvodny a rozvodny společné vlastní spotřeby R6-0 a R0,4-0 budou řešeny v rámci zkoumání bloků 3, 4 a v rámci záložního napájení blokových rozvoden.

5.1 Zkratové poměry při zanedbání vlivu kabelů v VS elektrárny:

Budu zkoumat velikosti zkratových proudů, různých typů zkratu, v VS elektrárny. Při výpočtu budou zanedbány kabelové propoje mezi zařízeními.

5.1.1 Zkratové poměry na bloku 1 v normálním stavu:

V prvním řešeném případě se budu zajímat o standardní provoz bloku 1. Vlastní spotřeba je napájena z generátoru, který zároveň dodává energii do sítě. Rozvodna R0,4-1 je napájena z rozvodny R6-1.



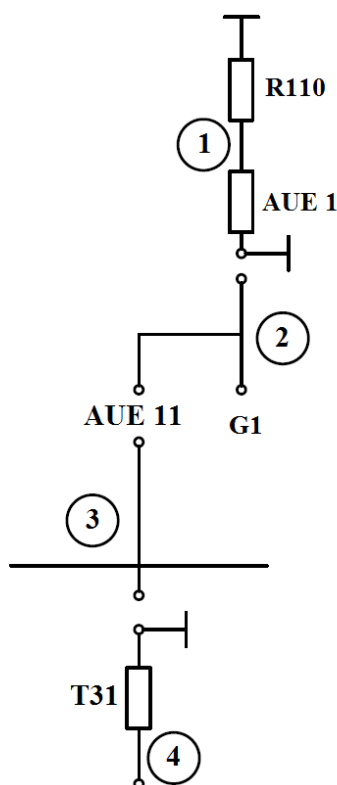
Obrázek 17: Schéma impedancí sousledné a netočivé složky případu 1

Čísla v kruhu (ve schématu) jsou očíslované uzly stejně jako jsou očíslované ve výpočetním programu v přílohách.

Při počítání jiného typu zkratu než trojfázového se napáječka 2 neuvažuje, je napájena ze statického měniče, který se v jiném případě neprojeví.

Impedance prvků ve schématu jsou vypočteny podle vzorců výše v kapitole o zkratových impedancích a jejich přesné hodnoty naleznete v programu v příloze. Pro všechny výpočty jsem počítal s celou zkratovou impedancí prvků včetně jejich odporu pouze s pár výjimkami (napájecí síť, reaktor).

Pro nulovou složku se nám schéma výše změní, podle zapojení uzlů transformátoru, generátoru a odstraněním prvků, které se v nulové složce neprojeví (asynchronní motory), na:



Obrázek 18: Schéma impedancí netočivé složky případu 1

Admitanční matice pro výše uvedené soustavy pak vypadají následovně:

$$\begin{pmatrix} 0.00256437 - 0.229702 i & -0.0268648 + 0.517385 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0268648 + 0.517385 i & 0.686102 - 11.2755 i & -0.136247 + 2.07651 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.136247 + 2.07651 i & 0.4853 - 5.52359 i & -1.66638 + 13.0215 i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 31.0907 - 209.835 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.00256437 - 0.229702 i & -0.0268648 + 0.517385 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0268648 + 0.517385 i & 0.686102 - 11.2755 i & -0.136247 + 2.07651 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.136247 + 2.07651 i & 0.472201 - 5.3926 i & -1.66638 + 13.0215 i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 31.0907 - 209.835 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 19: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 1

Z těch jsme získali impedanční matice jejich inverzí:

$$\begin{pmatrix} 0.0357328 + 4.90483 i & 0.00426207 + 0.244744 i & 0.00388725 + 0.107562 i & 0.000372432 + 0.00665057 i \\ 0.00426207 + 0.244744 i & 0.00630528 + 0.108352 i & 0.00366341 + 0.0475831 i & 0.000285026 + 0.00293969 i \\ 0.00388725 + 0.107562 i & 0.00366341 + 0.0475831 i & 0.0197789 + 0.231439 i & 0.00150764 + 0.0142959 i \\ 0.000372432 + 0.00665057 i & 0.000285026 + 0.00293969 i & 0.00150764 + 0.0142959 i & 0.000801763 + 0.00554598 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.035689 + 4.9064 i & 0.00427103 + 0.245442 i & 0.0039594 + 0.110956 i & 0.000381059 + 0.0068605 i \\ 0.00427103 + 0.245442 i & 0.00632184 + 0.108661 i & 0.00375663 + 0.0490856 i & 0.000292637 + 0.00303254 i \\ 0.0039594 + 0.110956 i & 0.00375663 + 0.0490856 i & 0.0202942 + 0.238748 i & 0.00154848 + 0.0147475 i \\ 0.000381059 + 0.0068605 i & 0.000292637 + 0.00303254 i & 0.00154848 + 0.0147475 i & 0.000804844 + 0.00557387 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 20: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 1

Pro nulovou složku bychom získali touto metodou singulární matici a její inverze by nebyla možná. Naštěstí mi pro výpočetní metodu stačí znát viděné impedance z matice. Z toho důvodu jsem je spočetl ručně a vložil je do diagonální matice.

Nekonečno v matici jsem nahradil dostatečně velkým číslem, aby nemělo vliv na výpočet.

$$\begin{pmatrix} 0.0485955 + 4.35292 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.14504 + 1.13338 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 21: Diagonální matice viděných impedancí nulové složky případu 1

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	12 947,8
2	55 854,3
3	14 913,3
4	41 212,5

Tabulka 45: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 1

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	11 209,6
2	48 233,8
3	12 520,4
4	35 513,4

Tabulka 46: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 1

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	13 214,6
2	48 233,8
3	12 520,4
4	35 513,9

Tabulka 47: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 1

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	4,66

Tabulka 48: Výsledný proud zemního spojení případu 1

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	13 449,3
4	600,43

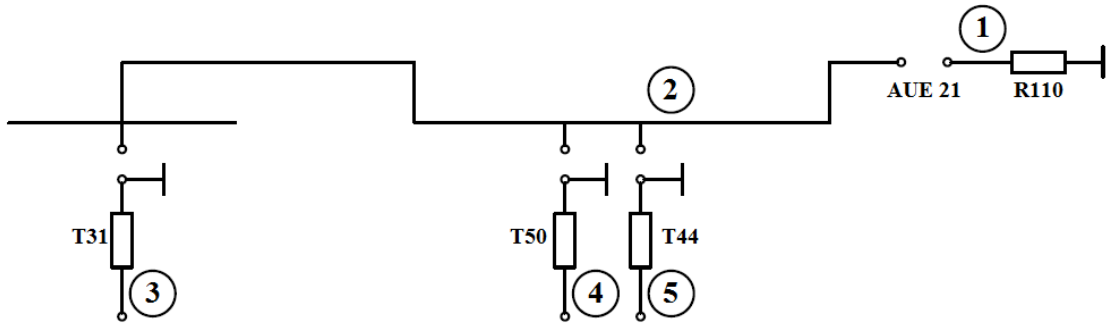
Tabulka 49: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 1

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímají v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	3
Kapacita C_0 (μF)	0,71409

Tabulka 50: Kapacity uzlů vůči zemi případu 1

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:



Obrázek 23: Schéma impedancí zpětné složky případu 2

Admitanční matice pro výše uvedené soustavy pak vypadají následovně:

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.743968 - 7.34592 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 31.0907 - 209.835 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.694652 - 7.1287 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 31.0907 - 209.835 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 24: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 2

Z těch jsme získali impedanční matice jejich inverzí:

$$\begin{pmatrix} 0.0162602 + 5.43063 i & 0.00881128 + 0.197519 i & 0.000787423 - 0.0122106 i & 0.000935359 - 0.0113155 i & 0.000985148 + 0.0109638 i \\ 0.00881128 + 0.197519 i & 0.0180607 + 0.17811 i & 0.00133592 + 0.0109983 i & 0.00142392 + 0.0101816 i & 0.00145095 + 0.00986113 i \\ 0.000787423 + 0.0122106 i & 0.00133592 + 0.0109983 i & 0.000787094 + 0.00534216 i & 0.00010059 + 0.000628235 i & 0.00010187 + 0.000608373 i \\ 0.000935359 + 0.0113155 i & 0.00142392 + 0.0101816 i & 0.00010059 + 0.000628235 i & 0.00154411 + 0.00910531 i & 0.000104717 + 0.000562728 i \\ 0.000985148 + 0.0109638 i & 0.00145095 + 0.00986113 i & 0.00010187 + 0.000608373 i & 0.000104717 + 0.000562728 i & 0.00156072 + 0.00879894 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.0150027 + 5.4396 i & 0.00813337 - 0.2057 i & 0.000755511 + 0.0127176 i & 0.000914256 - 0.0117864 i & 0.000967948 + 0.0114205 i \\ 0.00813337 + 0.2057 i & 0.0178666 - 0.185541 i & 0.00133299 + 0.0114583 i & 0.00142891 + 0.0106084 i & 0.00145875 - 0.0102749 i \\ 0.000755511 + 0.0127176 i & 0.00133299 - 0.0114583 i & 0.000787477 + 0.00537062 i & 0.000101423 + 0.000654639 i & 0.00010286 + 0.000633965 i \\ 0.000914256 + 0.0117864 i & 0.00142891 - 0.0106084 i & 0.000101423 + 0.000654639 i & 0.00154532 + 0.00912979 i & 0.000106065 + 0.000586455 i \\ 0.000967948 + 0.0114205 i & 0.00145875 - 0.0102749 i & 0.00010286 + 0.000633965 i & 0.000106065 + 0.000586455 i & 0.00156219 + 0.00882194 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 25: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 2

Pro nulovou složku bychom získali touto metodou singulární matici a její inverze by nebyla možná. Naštěstí mi pro výpočetní metodu stačí znát viděné impedance z matice. Z toho důvodu jsem je spočetl ručně a vložil je do diagonální matice. Nekonečno v matici jsem nahradil dostatečně velkým číslem, aby nemělo vliv na výpočet.

$$\begin{pmatrix} 0. + 5.54583 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.14504 + 1.13338 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 26: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 2

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 694,5
2	19 350
3	42 768
4	25 006,2
5	25 843

Tabulka 54: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 2

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 111
2	16 094,5
3	36 845,7
4	21 599,1
5	22 323,8

Tabulka 55: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 2

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 637,8
2	16 094,5
3	36 846,2
4	21 599,4
5	22 323,8

Tabulka 56: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 2

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
2	15,85

Tabulka 57: Výsledný proud zemního spojení případu 2

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	11 599,7
3	600,64
4	304,32
5	304,4

Tabulka 58: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 2

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímají v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	2
Kapacita C_0 (μF)	2.4268

Tabulka 59: Kapacita uzlů vůči zemi případu 2

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 932	28 482,7	32 783,9	32 676,4
2	47 696	39 925,8	39 925,8	-
3	99 790,5	86 041,8	86 043	1 402,61
4	56 908,7	49 172,2	49 173	692,82
5	58 315,3	50 389,6	50 390,5	687,12

Tabulka 60: Nárazové zkratové proudy případu 2

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
2	11 013

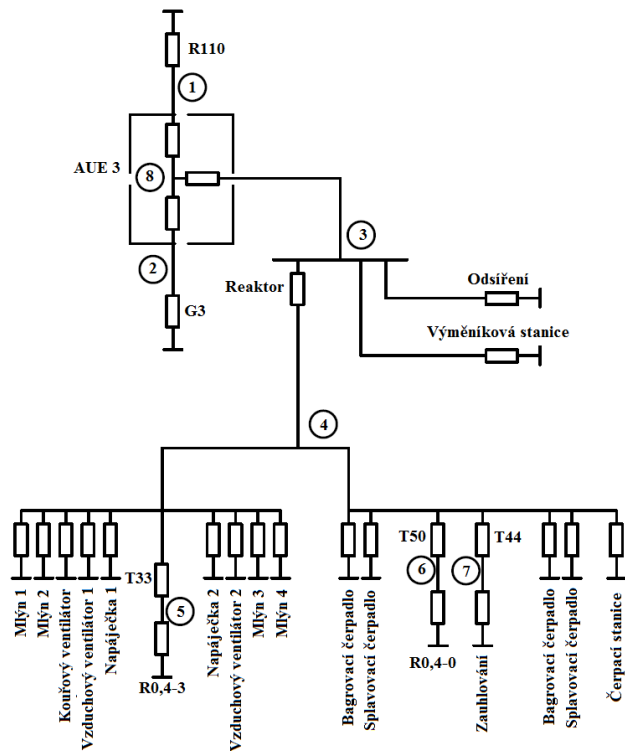
Tabulka 61: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 2

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	15,85

Tabulka 62: Minimální proudy zemního spojení případu 2

5.1.3 Zkratové poměry na bloku 3 v normálním stavu:

Ve třetím případě se budu zajímat o normální provoz bloku 3. Vlastní spotřeba je napájena z generátoru, pracujícího do sítě. Současně je s VS bloku napájena i záskoková R6-0 a rozvodny odsíření a výměňkové stanice pro Prahu. Rozvodna R0,4-3 je napájena z rozvodny R6-3.

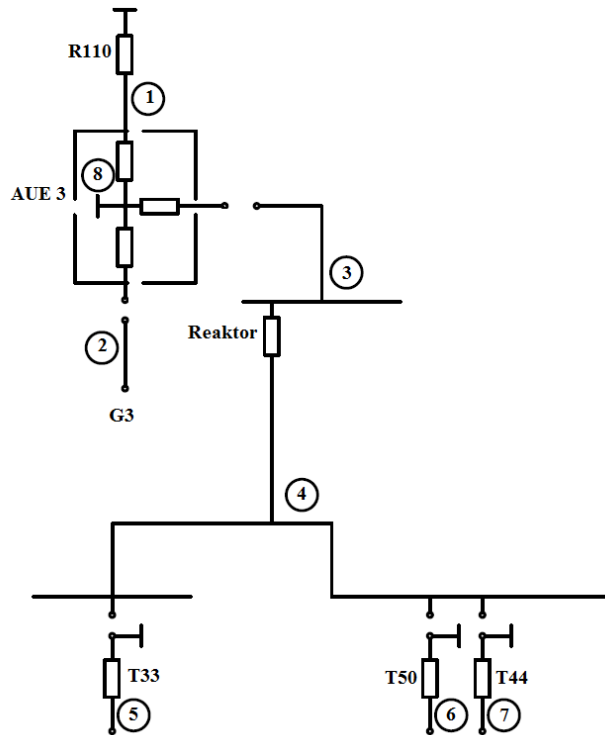


Obrázek 27: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 3

Při počítání jiného typu zkratu než trojfázového se napáječka 2 opět neuvažuje.

Impedance prvků ve schématu jsou vypočteny podle vzorců výše v kapitole o zkratových impedancích a jejich přesné hodnoty naleznete v programu v příloze.

Pro nulovou složku se nám schéma výše změní, podle zapojení uzlů transformátoru, generátoru a odstraněním prvků, které se v nulové složce neprojeví (asynchronní motory), na:



Obrázek 28: Schéma impedancí netočivé složky případu 3

Admitanční, impedanční a nulovou diagonální matici najdete v programu v příloze k práci.

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	26 986,9
2	28 592
3	12 678,9
4	11 992,1
5	45 529
6	24 183,9
7	25 022,1

Tabulka 63: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 3

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	23 371,3
2	24 763,1
3	10 517,6
4	9 732,1
5	39 017,7
6	20 820,1
7	21 545,8

Tabulka 64: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 3

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	26 916
2	24 763,1
3	10 517,6
4	9 732,1
5	39 019,2
6	20 820,7
7	21 546,4

Tabulka 65: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 3

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	14.49
4	15.69

Tabulka 66: Výsledný proudy zemních spojení případu 3

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
1	26 916
5	600,99
6	304,24
7	304,32

Tabulka 67: Výsledný jednofázový zkratový proudy případu 3

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímá v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	3	4
Kapacita C_0 (μF)	2,2172	2,401

Tabulka 68: Kapacity uzlů vůči zemi případu 3

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	38 992,3	33 768,3	38 941,5	38 889,9
2	68 157,2	59 031	59 031	-
3	21 752	18 273,7	18 273,7	-
4	21 527	17 299,7	17 299,7	-
5	96 626,2	82 325,6	82 328,8	1 268,05
6	53 112,6	45 559,4	45 560,6	665,74
7	54 551,5	46 806,8	46 808,1	661,12

Tabulka 69: Nárazové zkratové proudy případu 3

V tomto případě nemá smysl počítat minimální zkratové proudy při zanedbání všech motorů. Pokud je elektrárna v provozu, tak bude vždy běžet odsíření a výměňková stanice pro Prahu. Z toho důvodu jsem spočetl proudy s braním těchto dvou v potaz.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
2	24 791,7
3	5 732,89
4	4 686,89

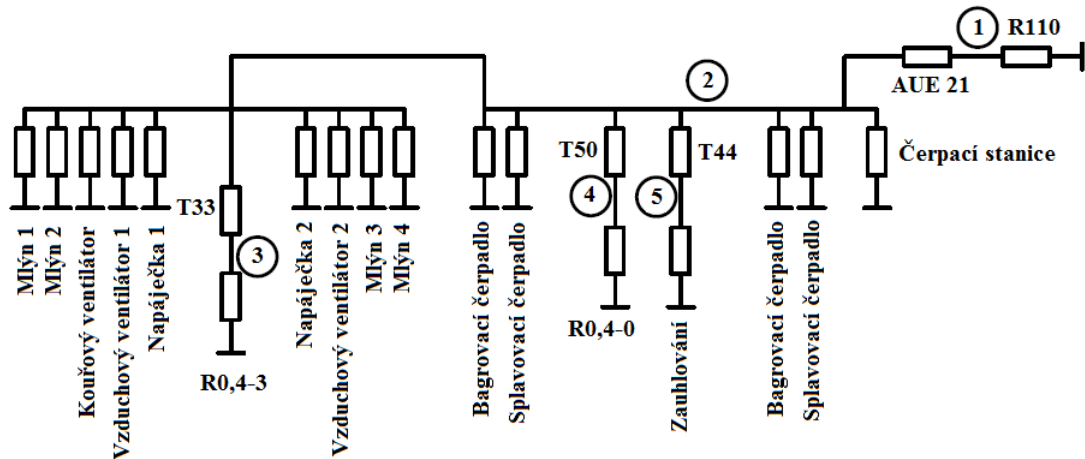
Tabulka 70: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 3

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	14,49
4	15,69

Tabulka 71: Minimální proudy zemních spojení případu 3

5.1.4 Zkratové poměry bloku 3 napájeného záskokově:

Ve čtvrtém případě se budu zabývat VS bloku 3 napájeného záskokově přes záskokovou rozvodnu R6-0 a přes transformátor AUE 21. Rozvodna R0,4-3 je napájena z rozvodny R6-3.

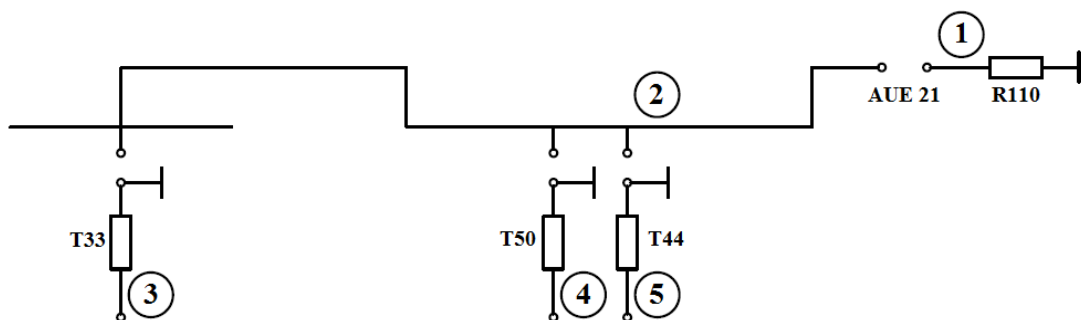


Obrázek 29: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 4

Při počítání jiného typu zkratu než trojfázového se napáječka 2 opět neuvažuje.

Impedance prvků ve schématu jsou vypočteny podle vzorců výše v kapitole o zkratových impedancích a jejich přesné hodnoty naleznete v programu v příloze.

Pro nulovou složku se nám schéma výše změní, podle zapojení uzlů transformátoru, generátoru a odstraněním prvků, které se v nulové složce neprojeví (asynchronní motory), na:



Obrázek 30: Schéma impedancí netočivé složky případu 4

Admitanční matice pro výše uvedené soustavy pak vypadají následovně:

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.743968 - 7.34592 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.8325 - 233.03 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.694652 - 7.1287 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.8325 - 233.03 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 31: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 4

Z těch jsme získali impedanční matice jejich inverzí:

$$\begin{pmatrix} 0.0170478 - 5.42739 i & 0.00935804 + 0.194556 i & 0.00101714 - 0.0107604 i & 0.00096029 + 0.0111443 i & 0.00100813 + 0.0107977 i \\ 0.00935804 + 0.194556 i & 0.0184036 - 0.175404 i & 0.00146947 + 0.00967558 i & 0.0014377 + 0.0100256 i & 0.00146324 + 0.00970976 i \\ 0.00101714 - 0.0107604 i & 0.00146947 + 0.00967558 i & 0.000835783 + 0.00469602 i & 0.000105376 + 0.000552039 i & 0.000105983 + 0.000534468 i \\ 0.00096029 + 0.0111443 i & 0.0014377 + 0.0100256 i & 0.000105376 + 0.000552039 i & 0.00154456 - 0.00909633 i & 0.000105093 + 0.000554014 i \\ 0.00100813 + 0.0107977 i & 0.00146324 + 0.00970976 i & 0.000105983 + 0.000534468 i & 0.000105093 + 0.000554014 i & 0.00156103 + 0.00879049 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.0158907 + 5.43611 i & 0.00875752 + 0.202496 i & 0.00100419 + 0.011202 i & 0.000943103 + 0.0116012 i & 0.000994633 + 0.0112408 i \\ 0.00875752 + 0.202496 i & 0.0182665 + 0.182613 i & 0.00148034 + 0.0100755 i & 0.00144552 + 0.0104395 i & 0.00147368 + 0.010111 i \\ 0.00100419 + 0.011202 i & 0.00148034 + 0.0100755 i & 0.00083741 + 0.00471816 i & 0.00010687 + 0.000574965 i & 0.000107589 + 0.000556684 i \\ 0.000943103 + 0.0116012 i & 0.00144552 + 0.0104395 i & 0.00010687 + 0.000574965 i & 0.00154591 + 0.00912007 i & 0.000106565 + 0.000577019 i \\ 0.000994633 + 0.0112408 i & 0.00147368 + 0.010111 i & 0.000107589 + 0.000556684 i & 0.000106565 + 0.000577019 i & 0.00156261 + 0.00881279 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 32: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 4

Pro nulovou složku bychom získali touto metodou singulární matici a její inverze by nebyla možná. Naštěstí mi pro výpočetní metodu stačí znát viděné impedance z matice. Z toho důvodu jsem je spočetl ručně a vložil je do diagonální matice. Nekonečno v matici jsem nahradil dostatečně velkým číslem, aby nemělo vliv na výpočet.

$$\begin{pmatrix} 0. + 5.54583 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.14504 + 1.13338 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 33: Diagonální matice viděných impedancí nulové složky případu 4

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 701,4
2	19 641,5
3	48 416,9
4	25 030
5	25 866,9

Tabulka 72: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 4

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 117,5
2	16 346,6
3	41 737,1
4	21 621,3
5	22 435,7

Tabulka 73: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 4

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 644,1
2	16 346,6
3	41 737,9
4	21 621,6
5	22 346,1

Tabulka 74: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 4

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
2	15,85

Tabulka 75: Výsledný proud zemního spojení případu 4

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
1	11 604,6
3	601,31
4	304,33
5	304,41

Tabulka 76: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 4

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímá v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	2
Kapacita C_0 (μF)	2.4268

Tabulka 77: Kapacity uzlů vůči zemi případu 4

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2z} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 944,5	28 494,1	32 793,6	32 682,4
2	48 203,5	40 362	40 362	-
3	109 183	94 169,7	94 171,5	1 356,7
4	56 949,3	49 209,5	49 210,3	692,64
5	58 356,4	50 427,3	50 428,2	686,95

Tabulka 78: Nárazové zkratové proudy případu 4

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
2	11 013

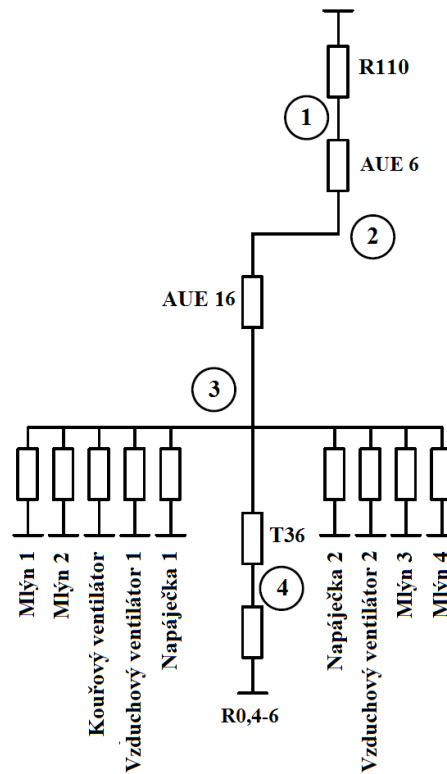
Tabulka 79: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 4

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
2	15,85

Tabulka 80: Minimální proud zemního spojení případu 4

5.1.5 Zkratové poměry bloku 6 v normálním stavu:

V pátém případě se zabýváme blokem 6 v jeho normálním stavu. Blok 6 již neslouží k výrobě elektrické energie. VS bloku 6 je napájena ze sítě přes blokový transformátor a přes odbočkový transformátor. Rozvodna R0,4-6 je napájena z rozvodny R6-6.

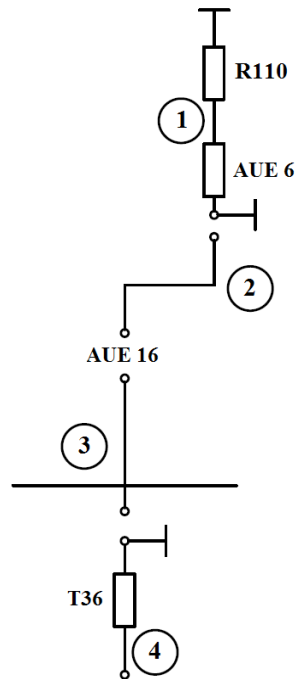


Obrázek 34: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 5

Při počítání jiného typu zkratu než trojfázového se napáječka 2 opět neuvažuje.

Impedance prvků ve schématu jsou vypočteny podle vzorců výše v kapitole o zkratových impedancích a jejich přesné hodnoty naleznete v programu v příloze.

Pro nulovou složku se nám schéma výše změní, podle zapojení uzlů transformátoru, generátoru a odstraněním prvků, které se v nulové složce neprojeví (asynchronní motory), na:



Obrázek 35: Schéma impedancí netočivé složky případu 5

Admitanční matice pro výše uvedené soustavy pak vypadají následovně:

$$\begin{pmatrix} 0.00167123 - 0.229442 i & -0.0175082 + 0.514658 i & 0. & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0175082 + 0.514658 i & 0.269882 - 6.64037 i & -0.151311 + 2.18525 i & 0. & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.151311 + 2.18525 i & 0.511661 - 5.71389 i & -1.66638 + 13.0215 i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.0704 - 214.957 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.00167123 - 0.229442 i & -0.0175082 + 0.514658 i & 0. & 0. + 0. i \\ -0.0175082 + 0.514658 i & 0.269882 - 6.64037 i & -0.151311 + 2.18525 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.151311 + 2.18525 i & 0.498562 - 5.5829 i & -1.66638 + 13.0215 i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.0704 - 214.957 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 36: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 5

Z těch jsme získali impedanční matice jejich inverzí:

$$\begin{pmatrix} 0.0104643 + 5.47213 i & 0.00378338 + 0.49642 i & 0.00677375 - 0.219633 i & 0.00115744 + 0.0131416 i \\ 0.00378338 + 0.49642 i & 0.00759509 + 0.221065 i & 0.00563185 + 0.0977461 i & 0.000671984 + 0.0058396 i \\ 0.00677375 - 0.219633 i & 0.00563185 + 0.0977461 i & 0.0221293 + 0.244406 i & 0.0021626 + 0.0145739 i \\ 0.00115744 + 0.0131416 i & 0.000671984 + 0.0058396 i & 0.0021626 + 0.0145739 i & 0.00101757 + 0.00536202 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.0102126 + 5.47869 i & 0.00374944 + 0.499347 i & 0.00692887 + 0.226968 i & 0.00119182 + 0.0135807 i \\ 0.00374944 + 0.499347 i & 0.00761481 + 0.222369 i & 0.00578825 + 0.101011 i & 0.000692529 + 0.00603476 i \\ 0.00692887 + 0.226968 i & 0.00578825 + 0.101011 i & 0.022789 + 0.252572 i & 0.00223008 + 0.0150611 i \\ 0.00119182 + 0.0135807 i & 0.000692529 + 0.00603476 i & 0.00223008 + 0.0150611 i & 0.00102328 - 0.005391 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 37: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 5

Pro nulovou složku bychom získali touto metodou singulární matici a její inverze by nebyla možná. Naštěstí mi pro výpočetní metodu stačí znát viděné impedance z matice. Z toho důvodu jsem je spočetl ručně a vložil je do diagonální matice. Nekonečno v matici jsem nahradil dostatečně velkým číslem, aby nemělo vliv na výpočet.

$$\begin{pmatrix} 0.0317445 + 4.35817 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.14504 + 1.13338 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 38: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 5

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 605,8
2	27 406,4
3	14 115,8
4	42 314,4

Tabulka 81: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 5

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 038,9
2	23 595,6
3	11 829,8
4	36 448,1

Tabulka 82: Výsledné dvoufázové zkratvé proudy případu 5

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	12 075,4
2	23 595,6
3	11 829,8
4	36 449,1

Tabulka 83: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 5

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	4,66

Tabulka 84: Výsledný proud zemního spojení případu 5

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	12 439,9
4	600,59

Tabulka 85: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 5

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímá v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	3
Kapacita C_0 (μF)	0,71409

Tabulka 86: Kapacita uzlů vůči zemi případu 5

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 734,2	28 316,7	34 061	35 089,3
2	73 797,1	63 545,6	63 545,6	-
3	35 272,1	29 571,6	29 571,6	-
4	94 226,1	81 159,6	81 161,8	1 337,33

Tabulka 87: Nárazové zkratové proudy případu 5

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
3	8 930,84

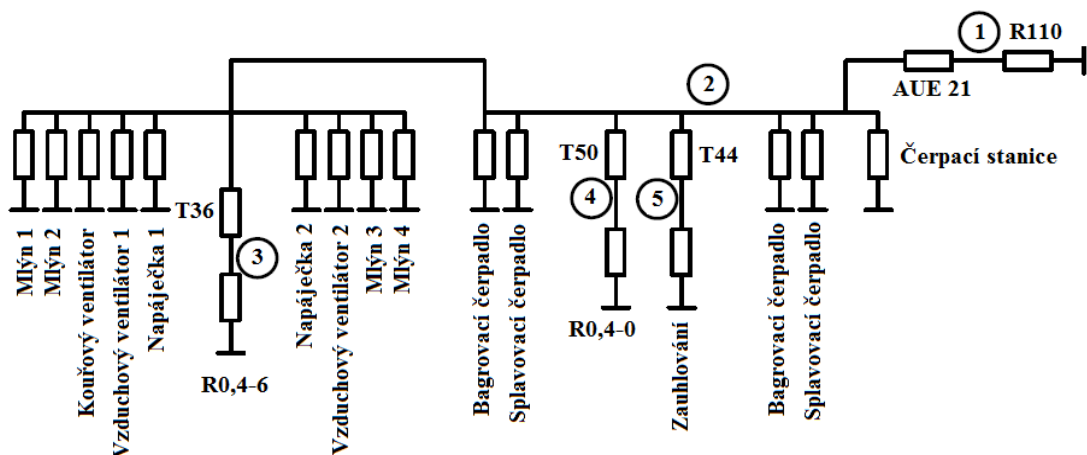
Tabulka 88: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 5

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	4,66

Tabulka 89: Minimální proud zemního spojení případu 5

5.1.6 Zkratové poměry v bloku 6 při napájení záskokově:

V šestém případě se zabývám blokem 6 napájeným ze záskokové rozvodny R6-0 a ze záskokového transformátoru AUE 21. Rozvodna R0,4-6 je napájena z rozvodny R6-6.

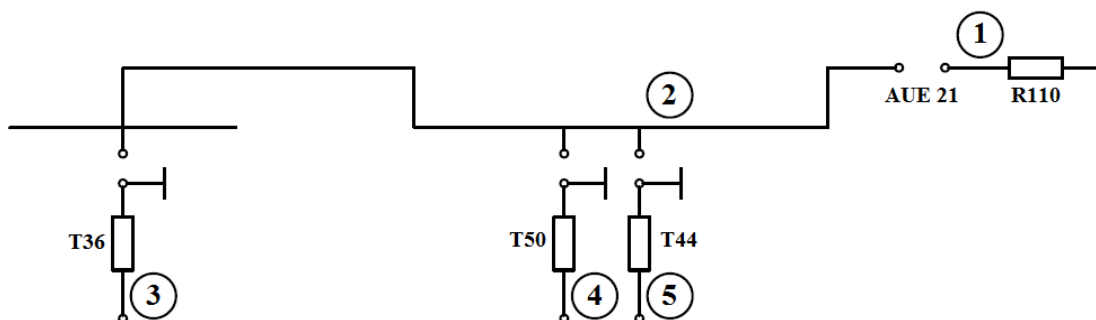


Obrázek 39: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 6

Při počítání jiného typu zkratu než trojfázového se napáječka 2 opět neuvažuje.

Impedance prvků ve schématu jsou vypočteny podle vzorců výše v kapitole o zkratových impedancích a jejich přesné hodnoty naleznete v programu v příloze.

Pro nulovou složku se nám schéma výše změní, podle zapojení uzlů transformátoru, generátoru a odstraněním prvků, které se v nulové složce neprojeví (asynchronní motory), na:



Obrázek 40: Schéma impedancí netočivé složky případu 6

Admitanční matice pro výše uvedené soustavy pak vypadají následovně:

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.743968 - 7.34592 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.0704 - 214.957 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.00069411 - 0.191852 i & -0.0127253 + 0.211502 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ -0.0127253 + 0.211502 i & 0.694652 - 7.1287 i & -1.66638 + 13.0215 i & -0.857744 + 6.58717 i & -0.857744 + 6.58717 i \\ 0. + 0. i & -1.66638 + 13.0215 i & 40.0704 - 214.957 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 19.2713 - 114.058 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & -0.857744 + 6.58717 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 20.7166 - 117.499 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 41: Admitanční matice sousledné a zpětné složky případu 6

Z těch jsme získali impedanční matice jejich inverzí:

$$\begin{pmatrix} 0.0174135 + 5.42967 i & 0.00980525 + 0.1966 i & 0.00126034 + 0.0117506 i & 0.0009904 + 0.0112606 i & 0.00103813 + 0.0109102 i \\ 0.00980525 + 0.1966 i & 0.0189123 + 0.177229 i & 0.00173994 + 0.0105583 i & 0.00147087 + 0.0101292 i & 0.00149611 + 0.00980998 i \\ 0.00126034 + 0.0117506 i & 0.00173994 + 0.0105583 i & 0.000978494 + 0.00512278 i & 0.000122818 + 0.000602108 i & 0.000123239 + 0.000582888 i \\ 0.0009904 + 0.0112606 i & 0.00147087 + 0.0101292 i & 0.000122818 + 0.000602108 i & 0.00154669 + 0.0091022 i & 0.000107197 + 0.000559694 i \\ 0.00103813 + 0.0109102 i & 0.00149611 + 0.00980998 i & 0.000123239 + 0.000582888 i & 0.000107197 + 0.000559694 i & 0.00156311 + 0.00879598 i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.0162629 + 5.43859 i & 0.00922056 + 0.204715 i & 0.00125306 + 0.012239 i & 0.000974501 + 0.0117275 i & 0.00102595 + 0.011363 i \\ 0.00922056 + 0.204715 i & 0.0187985 + 0.184594 i & 0.00175832 + 0.0110002 i & 0.00148036 + 0.0105521 i & 0.00150824 + 0.0102199 i \\ 0.00125306 + 0.012239 i & 0.00175832 + 0.0110002 i & 0.000981108 + 0.0051492 i & 0.000124834 + 0.000627425 i & 0.000125368 + 0.00060742 i \\ 0.000974501 + 0.0117275 i & 0.00148036 + 0.0105521 i & 0.000124834 + 0.000627425 i & 0.00154815 + 0.00912645 i & 0.000108785 + 0.000583193 i \\ 0.00102595 + 0.011363 i & 0.00150824 + 0.0102199 i & 0.000125368 + 0.00060742 i & 0.000108785 + 0.000583193 i & 0.00156481 + 0.00881876 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 42: Impedanční matice sousledné a zpětné složky případu 6

Pro nulovou složku bychom získali touto metodou singulární matici a její inverze by nebyla možná. Naštěstí mi pro výpočetní metodu stačí znát viděné impedance z matice. Z toho důvodu jsem je spočetl ručně a vložil je do diagonální matice. Nekonečno v matici jsem nahradil dostatečně velkým číslem, aby nemělo vliv na výpočet.

$$\begin{pmatrix} 0. + 5.54583 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 1. \times 10^{50} + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.14504 + 1.13338 i & 0. + 0. i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i & 0. + 0. i \\ 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0. + 0. i & 0.291574 + 2.23919 i \end{pmatrix}$$

Obrázek 43: Diagonální matice viděných impedancí netočivé složky případu 6

Tyto matice jsem vložil do výpočetních programů a vypočetl počáteční souměrný rázový proud v absolutních hodnotách (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze):

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 696,5
2	19 435,6
3	44 280,5
4	25 013,3
5	25 850,2

Tabulka 90: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 6

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 112,9
2	16 168,2
3	38 154,6
4	21 605,7
5	22 330,1

Tabulka 91: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 6

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 639,7
2	16 168,2
3	38 155,5
4	21 606
5	22 330,5

Tabulka 92: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 6

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
2	15,85

Tabulka 93: Výsledný proud zemního spojení případu 6

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	11 601,1
3	600,84
4	304,32
5	304,41

Tabulka 94: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 6

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímá v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	2
Kapacita C_0 (μF)	2,4268

Tabulka 95: Kapacita uzlů vůči zemi případu 6

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 927,5	28 478,4	32 777,9	32 669,3
2	47 593	39 831,7	39 831,7	-
3	98 475,7	84 894,6	84 896,7	1 336,88
4	56 903,6	49 167,1	49 167,9	692,54
5	58 310,8	50 385	50 385,9	686,85

Tabulka 96: Nárazové zkratové proudy případu 6

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
2	11 013

Tabulka 97: Minimální dvoufázový zkratový proud případu 6

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
2	15,85

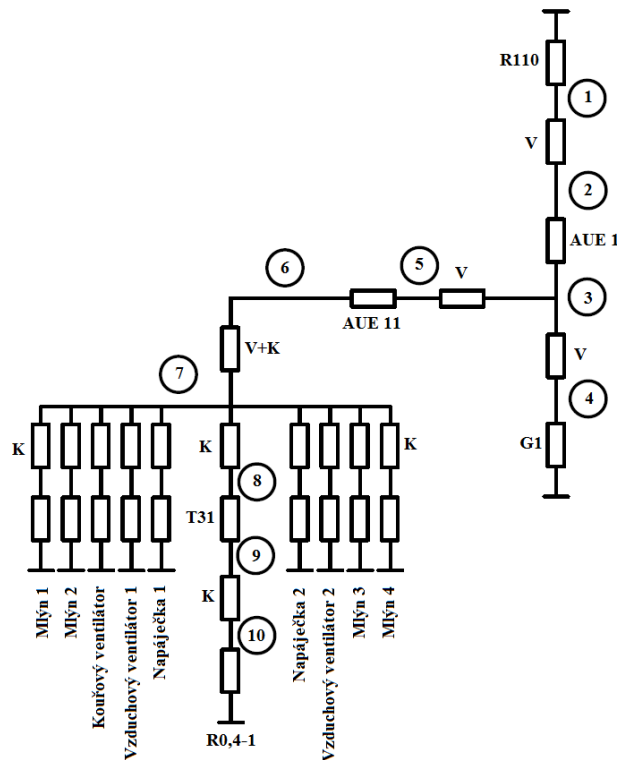
Tabulka 98: Minimální proud zemního spojení případu 6

5.2 Zkratové poměry při nezanedbnání vlivu kabelů v VS elektrárny:

V následujících případech budeme řešit stejné zapojení jako výše pouze s započítáním kabelových a venkovních vedeních. V následujících případech již nebudu v práci ukazovat admitanční a impedanční matice, v případě zájmu je najdete v výpočetním programu ve příloze.

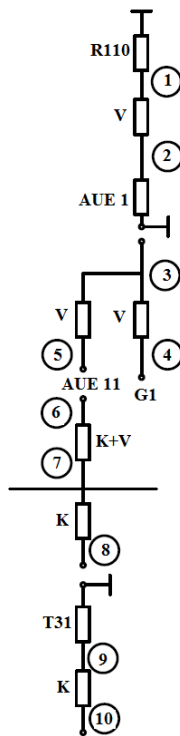
5.2.1 První případ s uvažováním propojů:

V sedmém případě jsem se zabýval stejným zapojením jako v prvním případě, pouze s uvažováním propojů.



Obrázek 44: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 7

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 45: Schéma impedancí netočivé složky případu 7

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	12 947,2
2	12 947,2
3	55 829,5
4	55 829,5
5	55 829,5
6	14 839,7
7	14 553
8	14 232,8
9	40 616,2
10	25 086,5

Tabulka 99: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 7

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	11 209
2	11 209
3	48 214,2
4	48 214,2
5	48 214,2
6	12 465,4
7	12 208,5
8	11 948,4
9	34 991,2
10	21 677,2

Tabulka 100: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 7

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	13 214,1
2	13 214,1
3	48 214,2
4	48 214,2
5	48 214,2
6	12 465,4
7	12 208,5
8	11 948,4
9	34 991,9
10	21 683,7

Tabulka 101: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 7

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
7	5,01

Tabulka 102: Výsledný proud zemního spojení případu 7

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	13 448,8
2	13 448,8
9	600,34
10	595,01

Tabulka 103: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 7

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zajímá nás zemní spojení v rozvodnách vlastní spotřeby:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
7	0,7674

Tabulka 104: Kapacita uzlů vůči zemi případu 7

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	36 229,9	31 366,8	36 977,7	37 634,6
2	36 229,9	31 366,8	36 977,7	37 634,6
3	145 437	125 608	125 608	-
4	145 437	125 608	125 608	-
5	145 437	125 608	125 608	-
6	37 114,4	31 216,7	31 216,7	-
7	35 260,5	29 562,6	29 562,6	-
8	33 238,1	27 919,5	27 919,5	-
9	93 484,3	80 528,4	80 529,9	1 381,62
10	39 090	33 799,9	33 810,1	927,76

Tabulka 105: Nárazové zkratové proudy případu 7

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
7	9 352.6

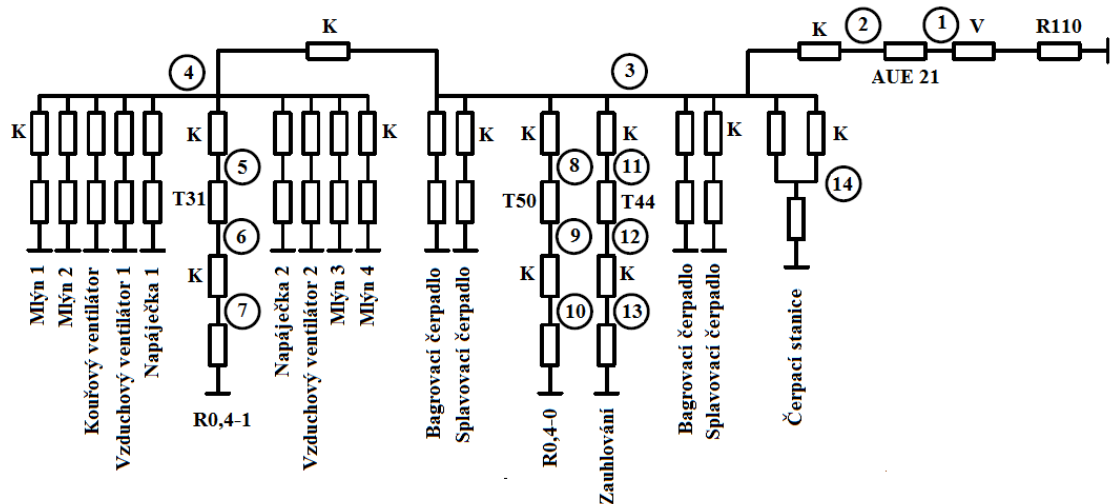
Tabulka 106: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 7

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
7	5.01

Tabulka 107: Minimální proud zemního spojení případu 7

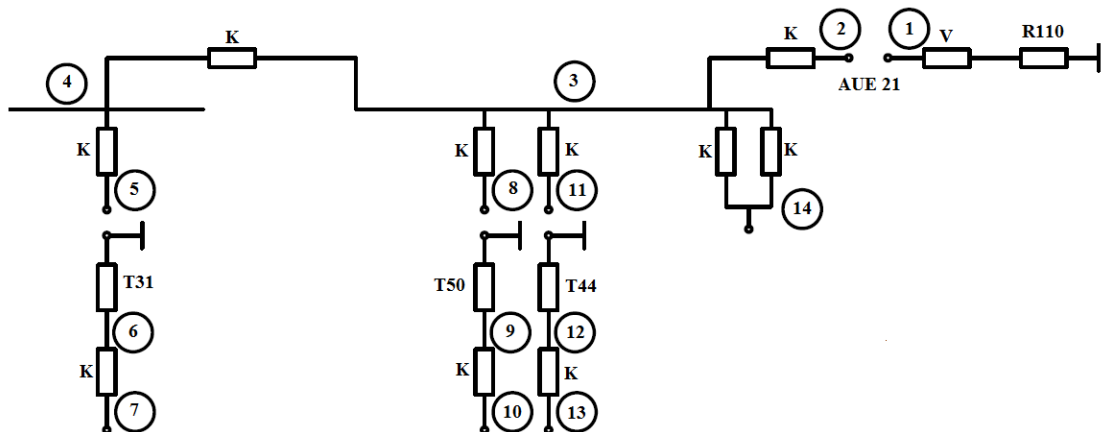
5.2.2 Druhý případ s uvažováním propojů:

V osmém případě jsem se zajímal o zapojení stejné jako v případě 2 pouze s uvažováním propojů.



Obrázek 46: Schéma impedancí sousledné a netočivé složky případu 8

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 47: Schéma impedancí netočivé složky případu 8

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 677,8
2	18 690,1
3	18 203
4	17 156,6
5	16 652,3
6	41 667,7
7	25 234,7
8	16 429,8
9	24 427,3
10	19 095,9
11	16 391,8
12	21 386,4
13	5 157,28
14	14 873,1

Tabulka 108: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 8

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 097,6
2	15 601,6
3	15 127
4	14 253
5	13 852,7
6	35 870
7	21 799,3
8	13 718,8
9	21 094,1
10	16 510,1
11	13 687,1
12	18 461,8
13	4 466,36
14	12 364

Tabulka 109: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 8

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 624,9
2	15 601,6
3	15 127
4	14 253
5	13 852,7
6	35 870,8
7	21 806
8	13 718,8
9	21 094,6
10	16 512,5
11	13 687,1
12	18 462,1
13	4 469,12
14	12 364

Tabulka 110: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 8

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16,86
4	5,01
14	9,27

Tabulka 111: Výsledné proudy zemního spojení případu 8

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	11 589,5
6	600,49
7	595,13
9	304,27
10	302,92
12	303,9
13	257,48

Tabulka 112: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 8

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zajímá nás zemní spojení v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
3	2,588
4	0,7674
14	1,41955

Tabulka 113: Kapacity uzlů vůči zemi případu 8

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 854,1	28 422,6	32 721,8	32 622
2	45 160,4	38 072,9	38 072,9	-
3	41 896,4	34 999,4	34 999,4	-
4	37 149	30 955	30 955	-
5	34 855,7	29 114,9	29 114,9	-
6	94 411	81 264,3	81 266,2	1 360,42
7	39 113	33 812,3	33 822,6	923,08
8	33 465,5	28 168,6	28 168,6	-
9	54 263,5	46 867	46 868	676,02
10	32 221,1	27 874,3	27 878,3	511,43
11	33 323,2	28 047,7	28 047,7	-
12	48 719,4	42 068,3	42 069,1	692,5
13	8 844,7	7 659,84	7 664,56	441,57
14	28 012,8	23 387,2	23 387,2	-

Tabulka 114: Nárazové zkratové proudy případu 8

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
3	10 334.4
4	9 690.11

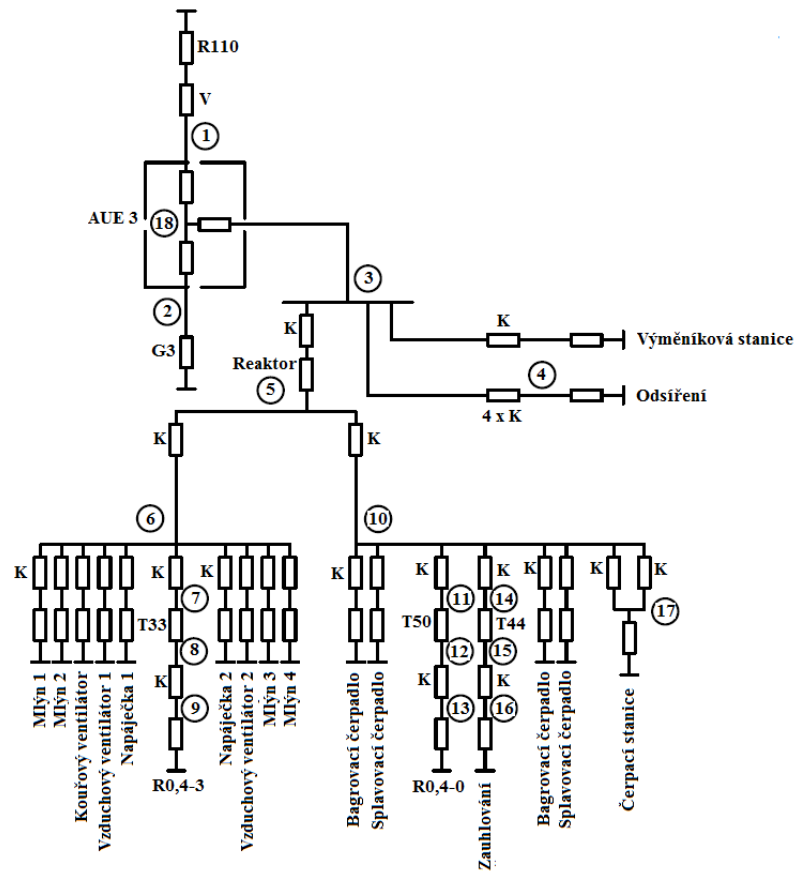
Tabulka 115: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 8

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16.86
4	5.01

Tabulka 116: Minimální proudy zemních spojení případu 8

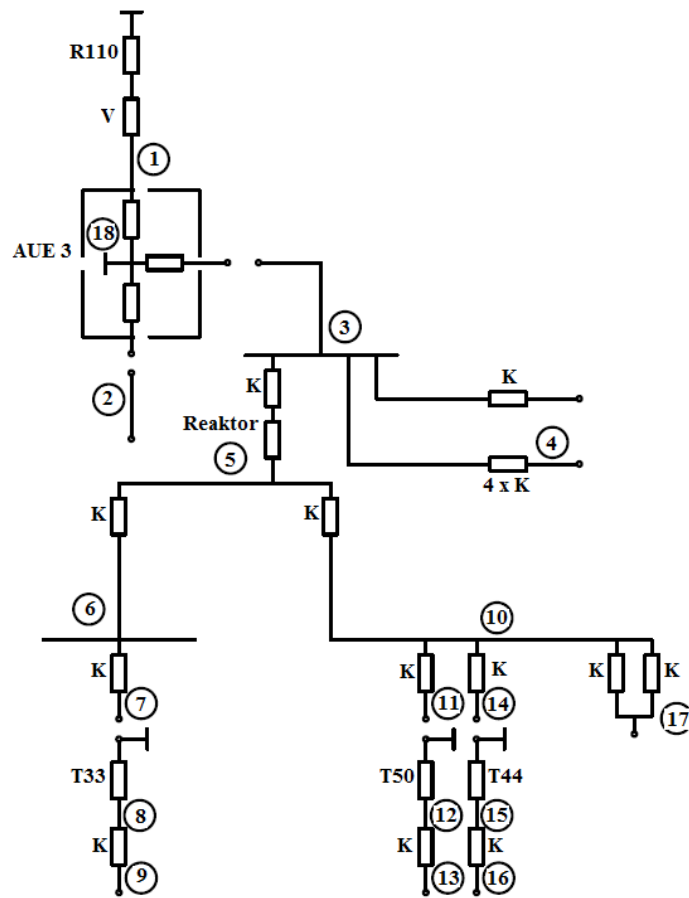
5.2.3 Třetí případ s uvažováním spojů:

V devátém případě jsem se zabýval stejným zapojením jako v případě tři, jen s uvažováním propojů.



Obrázek 48: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 9

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 49: Schéma impedancí netočivé složky případu 9

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	26 986,8
2	28 593,7
3	11 822,2
4	11 370,8
5	11 194,4
6	10 900,8
7	10 663,8
8	42 931,6
9	29 597,7
10	10 787
11	9 983,73
12	23 494,1
13	18 444,1
14	9 961,02
15	20 456,4
16	5 156,71
17	9 399,56

Tabulka 117: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 9

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	23 371,2
2	24 764,8
3	9 796,03
4	9 450,65
5	9 072,14
6	8 831,69
7	8 651,16
8	36 744,7
9	25 464,7
10	8 943,23
11	8 128,7
12	20 211,9
13	15 890,3
14	8 110,2
15	17 583,4
16	4 465,8
17	7 616,09

Tabulka 118: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 9

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	26 951,6
2	24 764,8
3	9 796,03
4	9 450,65
5	9 072,14
6	8 831,69
7	8 651,16
8	36 746,7
9	25 470,8
10	8 743,23
11	8 128,7
12	20 212,6
13	15 892,7
14	8 110,2
15	17 584
16	4 468,56
17	7 616,09

Tabulka 119: Výsledné dvojfázové zemní zkratové proudy případu 9

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	14,48
4	11,68
6	4,84
10	15,69
17	8,36

Tabulka 120: Výsledné proudy zemních spojení případu 9

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	26 915,9
8	600,69
9	596,03
12	304,16
13	302,82
15	303,77
16	257,47

Tabulka 121: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 9

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zajímá nás zemní spojení v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
3	2,2172
4	1,7888
6	0,7416
10	2,401
17	1,28

Tabulka 122: Kapacity uzlů vůči zemi případu 9

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	38 992,1	33 768,2	38 941,3	38 889,8
2	68 169,3	59 042,1	59 042,1	-
3	19 963	16 729	16 729	-
4	19 044,7	16 002,9	16 002,9	-
5	19 695,2	15 823,5	15 823,5	-
6	19 195,6	15 404,1	15 404,1	-
7	18 590,2	14 955,5	14 955,5	-
8	87 649,5	74 531	74 535	1 218,4
9	46 965,8	40 430,6	40 440,2	946,32
10	18 826,6	15 141	15 141	-
11	16 899,8	13 694,7	13 694,7	-
12	50 240,3	43 054,5	43 056,1	647,919
13	30 952,6	26 662,7	26 666,7	508,11
14	16 840	13 646,5	13 646,5	-
15	44 637,9	38 205,2	38 206,6	660,03
16	8 845,02	7 660,12	7 664,85	441,64
17	15 747,5	12 682,1	12 682,1	-

Tabulka 123: Nárazové zkratové proudy případu 9

V tomto případě nemá smysl počítat minimální zkratové proudy při zanedbání všech motorů. Pokud je elektrárna v provozu, tak bude vždy běžet odsíření a výměňková stanice pro Prahu. Z toho důvodu jsem spočetl proudy s braním těchto dvou v potaz.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
2	24 793,8
3	5 370,44
6	4 240,57
10	4 240,57

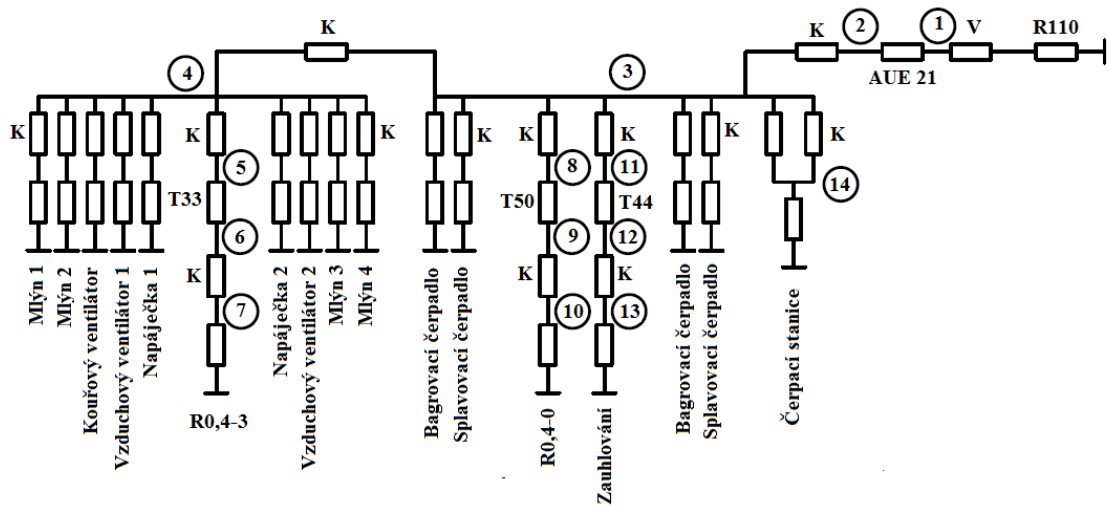
Tabulka 124: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 9

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	14,49
6	4,84
10	15,69

Tabulka 125: Minimální proudy zemních spojení případu 9

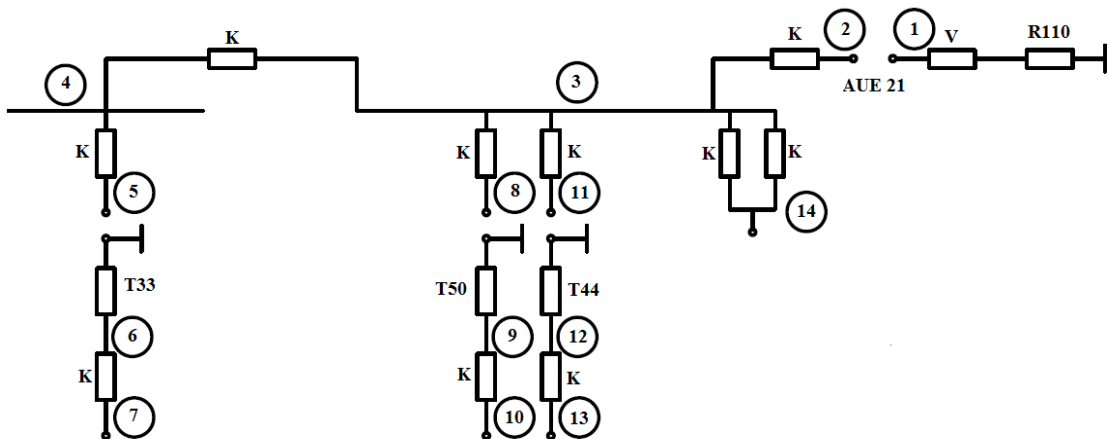
5.2.4 Příklad čtyři při uvažování propojů:

V desátém případě jsem se zabýval stejným zapojením jako v případě čtyři, jen s uvažováním propojů.



Obrázek 50: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 10

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 51: Schéma impedancí netočivé složky případu 10

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 682.6
2	18 875.4
3	18 414.9
4	17 387.4
5	16 886.1
6	45 775.8
7	30 821.3
8	16 590.5
9	24 446.9
10	19 103.1
11	16 552.2
12	21 405.5
13	5 157.27
14	14 986.8

Tabulka 126: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 10

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 102,1
2	15 764,7
3	15 311,5
4	14 452,6
5	14 054,9
6	39 428,1
7	26 640
8	13 860,5
9	21 112,5
10	16 516,8
11	13 828,5
12	18 479,7
13	4 466,35
14	12 465

Tabulka 127: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 10

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 629,3
2	15 764,7
3	15 311,5
4	14 452,6
5	14 054,9
6	39 429,4
7	26 464
8	13 860,5
9	21 113
10	16 519,2
11	13 828,5
12	18 480
13	4 469,1
14	12 465

Tabulka 128: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 10

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16,86
4	5,01
14	8,36

Tabulka 129: Výsledné proudy zemního spojení případu 10

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	11 592,9
6	601,03
7	596,35
9	304,27
10	302,92
12	303,91
13	257,48

Tabulka 130: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 10

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zajímá nás zemní spojení v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
3	2,588
4	0,7674
14	1,41955

Tabulka 131: Kapacita uzlů vůči zemi případu 10

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 855,4	28 423,8	32 720,8	32 618,5
2	45 268,3	38 167,9	38 167,9	-
3	42 155,1	35 189,5	35 189,5	-
4	37 457	31 220	31 220	-
5	35 186	29 398,8	29 398,8	-
6	98 625	84 917,4	84 920,2	1 294,45
7	48 854,7	42 258,1	42 267,7	945,96
8	33 596	28 283,8	28 283,8	-
9	54 287,7	46 889,4	46 890,5	675,76
10	32 224,7	27 877,6	27 881,6	511,28
11	33 453,9	28 163,1	28 163,1	-
12	48 741,6	42 088,9	42 089,7	692,17
13	8 844,66	7 659,8	7 664,52	441,57
14	28 081,3	23 449,5	23 449,5	-

Tabulka 132: Nárazové zkratové proudy případu 10

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
3	10 334,4
4	9 690,11

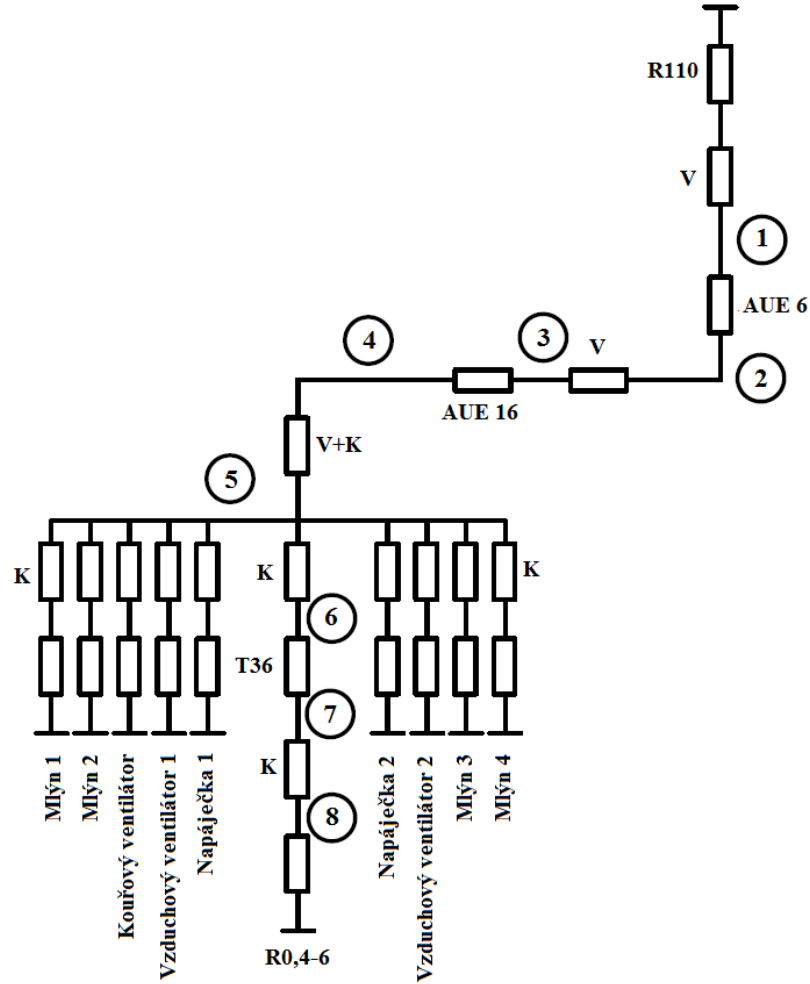
Tabulka 133: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 10

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16.86
4	5.01

Tabulka 134: Minimální proudy zemních spojení případu 10

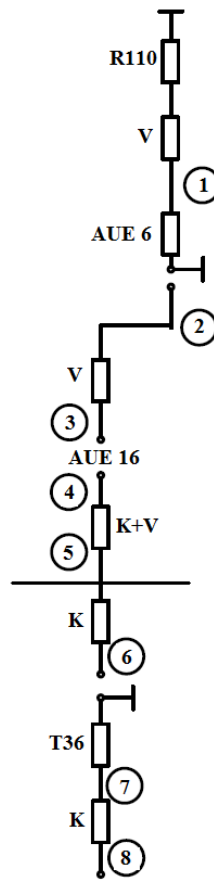
5.2.5 Případ pět při uvažování spojů:

V jedenáctém případě jsem se zabýval stejným zapojením jako v pátém případě, jen s uvažováním propojů mezi prvky.



Obrázek 52: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 11

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 53: Schéma impedancí nulové složky případu 11

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 602,6
2	27 370,1
3	27 370,1
4	14 011
5	13 783,2
6	13 503,8
7	41 221,9
8	27 234,3

Tabulka 135: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 11

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 036,3
2	23 565,7
3	23 565,7
4	11 748,1
5	11 541,8
6	11 316
7	35 496,9
8	23 530,5

Tabulka 136: Výsledné dvojfázové zkratové proudy případu 11

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	12 072,8
2	23 565,7
3	23 565,7
4	11 748,1
5	11 541,8
6	11 316
7	35 496,9
8	23 530,5

Tabulka 137: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 11

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
5	4,66

Tabulka 138: Výsledný proud zemního spojení případu 11

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	12 437,6
7	600,44
8	597,56

Tabulka 139: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 11

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zemní spojení nás zajímají v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
5	0,7175

Tabulka 140: Kapacita uzlů vůči zemi případu 11

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 718,5	28 304,1	34 047,7	35 076,4
2	73 625,4	63 409,5	63 409,5	-
3	73 625,4	63 409,4	63 409,4	-
4	34 826,8	29 235,6	29 235,6	-
5	33 304,8	27 869	27 869	-
6	31 513,9	26 420,3	26 420,3	-
7	90 662,4	78 046,2	78 048,7	1 320,17
8	42 017,4	36 325	36 335,5	922,48

Tabulka 141: Nárazové zkratové proudy případu 11

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
5	8 679,35

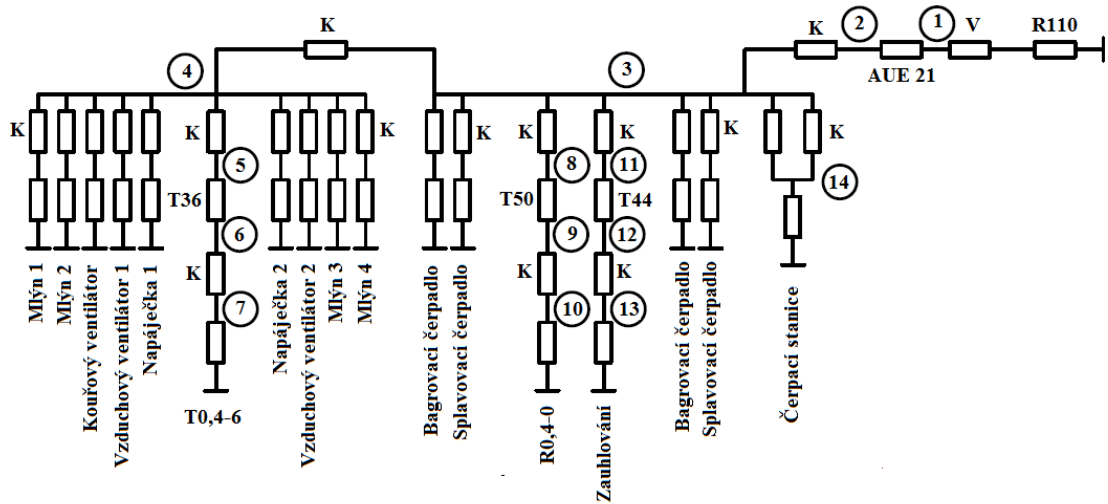
Tabulka 142: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 11

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
5	4,66

Tabulka 143: Minimální proudy zemních spojení případu 11

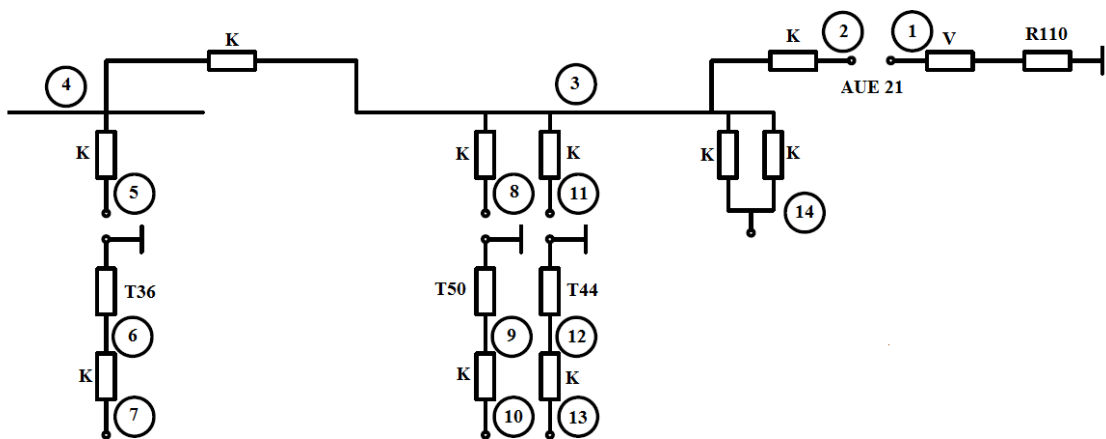
5.2.6 Případ šest při uvažování propojů:

V posledním dvanáctém případě jsem se zabýval stejným zapojením VS jako v šestém případě, pouze se započítáním vlivu propojů mezi prvky.



Obrázek 54: Schéma impedancí sousledné a zpětné složky případu 12

Schéma nulové složky vypadá:



Obrázek 55: Schéma impedancí netočivé složky případu 12

Výsledný počáteční souměrný rázový zkratový proud v absolutní hodnotě (hodnotu vektoru proudu naleznete v programu v příloze) vyjde:

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k3f} (A)
1	11 679
2	18 733,2
3	18 259,5
4	17 224,7
5	16 723,4
6	42 690,2
7	27 492,1
8	16 466,5
9	24 432,9
10	19 096,6
11	16 428,5
12	21 391,7
13	5 157,27
14	14 893,2

Tabulka 144: Výsledné trojfázové zkratové proudy případu 12

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2f} (A)
1	10 098,6
2	15 639,8
3	15 176,3
4	14 311,7
5	13 913,9
6	36 755,8
7	23 753,1
8	13 751,5
9	21 099,4
10	16 510,7
11	13 719,7
12	18 466,8
13	4 466,35
14	12 382,3

Tabulka 145: Výsledné dvoufázové zkratové proudy případu 12

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
1	11 626
2	15 639,8
3	15 176,3
4	14 311,7
5	13 913,9
6	36 757,1
7	23 760
8	13 751,5
9	21 099,8
10	16 513
11	13 719,7
12	18 467,1
13	4 469,11
14	12 382,3

Tabulka 146: Výsledné dvoufázové zemní zkratové proudy případu 12

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16,86
4	5,01
14	8,35

Tabulka 147: Výsledné proudy zemních spojení případu 12

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1f} (A)
1	11 590,3
6	600,64
7	595,92
9	304,27
10	302,92
12	303,9
13	257,47

Tabulka 148: Výsledné jednofázové zkratové proudy případu 12

Pro výpočet zemního spojení I''_{k1fz} byly zapotřebí následující kapacity uzlů vůči zemi. Zajímá nás zemní spojení v rozvodnách VS:

Číslo uzlu	Kapacita C_0 (μ F)
3	2,588
4	0,7674
14	1,41955

Tabulka 149: Kapacity uzlů vůči zemi případu 12

Z vypočtených počátečních souměrných rázových proudů jsem následně spočítal nárazové zkratové proudy:

Číslo uzlu	Nárazový zkratový proud I_{p3f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2f} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p2fz} (A)	Nárazový zkratový proud I_{p1f} (A)
1	32 847,7	28 416,5	32 714,3	32 613,9
2	44 999,7	37 928,8	37 928,8	-
3	41 786,4	34 901,9	34 901,9	-
4	37 095	30 906,4	30 906,4	-
5	34 825	29 086	29 086	-
6	92 620,5	79 716,6	79 719,3	1 302,68
7	42 183,2	36 466,9	36 477,5	914,89
8	33 388,9	28 099,9	28 099,9	-
9	54 256,7	46 860,5	46 861,5	675,76
10	32 217,1	27 870,5	27 874,5	511,34
11	33 247,5	27 979,8	27 979,8	-
12	38 711,1	42 060,4	42 061,3	692,18
13	8 844,6	7 659,82	7 659,82	441,57
14	27 952,3	23 334,2	23 334,2	-

Tabulka 150: Nárazové zkratové proudy případu 12

Dále jsem spočítal minimální zkratové proudy pro kontrolu ochran. V rámci šetření místa zde uvedu pouze hodnoty dvoufázového zkratu (dvoufázový zkrat se chová jako nejmenší) a zemního spojení. Hodnoty uvedu jen pro rozvodny VS kde budu kontrolovat ochrany. Všechny hodnoty najdete v programu v příloze.

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k2fz} (A)
3	10 334,4
4	9690,11

Tabulka 151: Minimální dvoufázové zkratové proudy případu 12

Číslo uzlu	Počáteční souměrný rázový proud I''_{k1fz} (A)
3	16,86
4	5,01

Tabulka 152: Minimální proudy zemních spojení případu 12

6 Závěrečné hodnocení:

Na závěr práce provedu zhodnocení výsledků a uvedu svoje závěry a doporučení z hlediska dimenzování přístrojového vybavení.

6.1 Porovnání různých typů zkratů:

Při zkoumání vypočtených zkratových proudů výše jsem si všiml trendu v poměru jednotlivých typů zkratů. Ve většině místech ve VS elektrárny se projevuje jako největší trojfázový zkratový proud, po něm následuje dvoufázový zemní zkratový proud, který je buď větší (nebo stejně velký v případě uzlů bez vlivu netočivých impedancí) než dvoufázový zkratový proud. Jako nejmenší se v rámci VS elektrárny jeví jednofázový zkratový proud (v uzlech kde má smysl ho počítat).

Výjimky od tohoto pravidla vznikají na hladině napěťové 110 kV blokových (a záskokového) transformátorů (uzel 1 resp. 1 a 2 pro případ 7).

V případech 1, 3, 5, 7 a 11 (blokované transformátory s netočivou složkou impedance) se jako největší v uzlu 1 (1 a 2 pro případ 7) projevuje jednofázový zkratový proud, po něm následuje dvoufázový zemní zkratový proud, trojfázový zkratový proud a jako nejmenší se zde jeví dvoufázový zkratový proud. Případ 9 sem nepatří, vlivem impedancí vedení se poměr zkratových proudů změnil v následující případ.

V případech 2, 4, 6, 8, 9, 10 a 12 (kromě případu 9, kde se jedná o záskokový transformátor u kterého se netočivá impedance transformátoru neprojeví) se jako největší v uzlu 1 projevuje trojfázový zkratový proud, po něm následují dvoufázový zemní a jednofázový zkratový proud. Jako nejmenší v těchto případech vychází dvoufázový zkratový proud.

Zemní proud v rozvodnách VS elektrárny se pohybuje v řádech jednotek až desítek ampér.

Tyto závěry se shodují s teorií, kdy se trojfázový zkrat považuje za nejhorší případ zkratu s výjimkou zkratu na svorkách velkých transformátorů se zapojeným středem tak, aby se projevila netočivá impedance.

6.2 Porovnání vlivu zanedbání spojů:

Odchylka vypočtené hodnoty při započítání propojů ve VS elektrárny se pohybuje v závislosti na místě zkratu od tisícín procent (zkrat na vyšším napětí blokových transformátorů) přes jednotky procent do přibližně třinácti procent s výjimkou 22,5 % u transformátoru, který napájí zauhlování (vlivem velké délky kabelového spoje).

U zkratových proudů vlivem započítání propojů dojde k poklesu vypočtené velikosti proudů. To znamená, že se v rámci zanedbání propojů dopouštíme chyby ve směru bezpečnosti (získáváme tím rezervu při návrhu zařízení). Z toho důvodu považuji výpočet se zanedbáním propojů použitelný, případně bych do výpočtu v rámci vlastní spotřeby elektrárny započítal pouze významné kabelové propoje (dostatečně dlouhé).

U výpočtu zemních spojení dojde naopak k nepatrnému poklesu vypočteného zemního proudu (přibližně desetiny až jednotky procent), při malé velikosti zemních proudů tuto odchylku považuji za zanedbatelnou.

Číslo uzlu (podle P.1.)	1	2	3	4
Poměr 3f zkr. proudu (%)	0,005	0,044	2,48	1,49
Poměr 2f zkr. proudu (%)	0,005	0,041	2,56	1,49
Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	0,004	0,041	2,56	1,49
Poměr 1f zkr. proudu (%)	0,003	-	-	0,014

Tabulka 153: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 1 a 7

Číslo uzlu (podle P.2.)	1	2 (2/3)*	2 (2/4)*	3	4	5
Poměr 3f zkr. proudu (%)	0,14	6,3	12,78	2,64	2,37	20,84
Poměr 2f zkr. proudu (%)	0,13	6,4	12,92	2,72	2,39	20,92
Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	0,11	6,4	12,92	2,72	2,39	20,92
Poměr 1f zkr. proudu (%)	0,088	-	-	0,025	0,019	0,17

Tabulka 154: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 2 a 8

* V závorce je o poměr kterých uzlů se jedná.

Číslo uzlu (podle P.3.)	Poměr 3f zkr. proudu (%)	Poměr 2f zkr. proudu (%)	Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	Poměr 1f zkr. proudu (%)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	-
3	7,25	7,37	7,37	-
4 (4/6)*	10,01	10,2	10,2	-
4 (4/10)*	11,17	11,31	11,31	-
5	6,05	6,19	6,18	0,05
6	2,94	3	3	0,023
7	22,32	22,54	22,53	0,18

Tabulka 155: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 3 a 9

* V závorce je o poměr kterých uzlů se jedná.

Číslo uzlu (podle P.4.)	1	2 (2/3)*	2 (2/4)*	3	4	5
Poměr 3f zkr. proudu (%)	0,16	6,66	12,96	5,77	2,39	20,84
Poměr 2f zkr. proudu (%)	0,15	6,76	13,11	5,86	2,41	20,92
Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	0,12	6,76	13,11	5,86	2,41	20,92
Poměr 1f zkr. proudu (%)	0,1	-	-	0,05	0,02	0,17

Tabulka 156: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 4 a 10

* V závorce je o poměr kterých uzlů se jedná.

Číslo uzlu (podle P.5.)	1	2	3	4
Poměr 3f zkr. proudu (%)	0,027	0,13	2,41	2,65
Poměr 2f zkr. proudu (%)	0,026	0,13	2,5	2,68
Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	0,021	0,13	2,5	2,68
Poměr 1f zkr. proudu (%)	0,019	-	-	0,025

Tabulka 157: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 5 a 11

Číslo uzlu (podle P.6.)	1	2 (2/3)*	2 (2/4)*	3	4	5
Poměr 3f zkr. proudu (%)	0,15	6,44	12,84	3,73	2,37	20,84
Poměr 2f zkr. proudu (%)	0,14	6,54	12,97	3,81	2,4	20,9
Poměr 2f zemního zkr. proudu (%)	0,12	6,54	12,97	3,81	2,4	20,9
Poměr 1f zkr. proudu (%)	0,9	-	-	0,03	0,01	0,17

Tabulka 158: Poměr zkratových proudů ve stejných místech případů 6 a 12

* V závorce je o poměr kterých uzlů se jedná.

Malý rozdíl zkratových proudů s , a bez započítání propojů pro uzle na vyšším napětí blokových transformátorů (a záskokového transformátoru) je způsoben malou délkou přetahů od transformátorů do rozvodny R110, kvůli tomu se tyto propoje na celkovém zkratovém proudu neprojeví.

Důvodem nulového, nebo téměř nulového, rozdílu vypočtených zkratových proudů na turboalternátorech je zanedbání parametrů pásoviny od generátoru k přetahu venkovním vedením (v případě bloků 3 a 4, přímo k blokovým transformátorům bez venkovního přetahu).

Malé rozdíly jednofázového zkratového proudu (v uzlech kde je možné ho počítat) je z důvodu malých velikostí jednofázového zkratového proudu v těchto uzlech (neprojeví se na nich tak velký rozdíl).

6.3 **Kontrola přístrojového vybavení:**

V rámci této práce jsem provedl kontrolu přístrojového vybavení v rozvodnách 6 kV elektrárny a kontrolu generátorového vypínače bloků.

6.3.1 **Kontrola generátorových vypínačů:**

Generátory jsou vybaveny generátorovými vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 63 kA (I přesto že jsou generátorové vypínače na blocích 1 a 2 typově různé od generátorových vypínačů na blocích 3 a 4, tak vypínací hodnotu zkratových proudů mají stejnou).

Ze všech řešených případů byl největší počáteční souměrný rázový zkratový proud u generátoru vypočtený v případě 1, při trojfázovém zkratu o velikosti $I''_{k3f} = 55,854 \text{ kA}$. Z této hodnoty jsme získali nárazový zkratový proud, podle kterého jsem kontroloval dimenzování vypínačů, o velikosti $i_p = 145,58 \text{ kA}$.

Tento vypočtený celkový zkratový proud se rozdělí na příspěvky od sítě a na příspěvky od generátoru a vlastní spotřeby. Příspěvek od generátoru je v tomto případě $i_p = 76,74 \text{ kA}$.

Z údajů výše vyplývá, že generátorový vypínač není dimenzovaný na maximální hodnotu zkratového proudu, z toho důvodu tento vypínač nesmí zapínat trojfázový zkrat. Pro dimenzování na vypínání zkratových proudů by bylo zapotřebí spočítat souměrný vypínací proud. I přesto že jsem souměrný vypínací proud v této práci nepočítal, tak mohu podle vzorců v kapitole 4.4 prohlásit, že bude mít hodnotu menší než počáteční souměrný rázový zkratový proud. Vzhledem k tomu, že ten je nižší než vypínací zkratový proud mohu říct, že generátorový vypínač zvládne bezpečně vypnout zkratový proud.

6.3.2 Kontrola spínacích zařízení v rozvodnách R6-x:

Rozvodny VS na hladině 6 kV jsou vybaveny vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 31,5 kA pro vývody a 40 kA pro přívody a spojky.

Ze všech řešených případů byl největší počáteční souměrný rázový zkratový proud v rozvodně R6-x vypočten v případě 4, při trojfázovém zkratu o velikosti $I''_{k3f} = 19,641 \text{ kA}$. Z této hodnoty jsme získali nárazový zkratový proud, podle kterého jsem kontroloval dimenzování vypínačů, o velikosti $i_p = 48,203 \text{ kA}$.

Tento vypočtený celkový zkratový proud se rozdělí na příspěvky od motorů a nn rozvodů na rozvodně R6-x, příspěvky od motorů a nn rozvodů na rozvodně R6-0 a na příspěvek ze sítě. Po odečtení příspěvku od vývodů z rozvodu R6-x získáme příspěvek nárazového zkratového proudu $i_p = 38,911 \text{ kA}$, který maximálně teče přes vývody.

Z údajů výše můžeme vidět, že vypínací zařízení jsou správně nadimenzovaná a zvládnou bezpečně zapnout i vypnout zkratový proud.

6.3.3 Kontrola spínacích zařízení v rozvodně R6-0:

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 50 kA pro záskokové napájení EMĚ 2 a záskokové napájení z AUE 21.

Ze všech řešených případů byl největší počáteční souměrný rázový zkratový proud v rozvodně R6-0 vypočten v případě 4, při trojfázovém zkratu o velikosti $I''_{k3f} = 19,641 \text{ kA}$. Z této hodnoty jsme získali nárazový zkratový proud o velikosti $i_p = 48,203 \text{ kA}$.

Tento vypočtený celkový zkratový proud se rozdělí na příspěvek od motorů a nn rozvodů a na příspěvek ze sítě. Po odečtení příspěvků od motorů a nn rozvodů získáme příspěvek nárazového zkratového proudu $i_p = 32,597 \text{ kA}$.

Z údajů výše můžeme vidět, že vypínače jsou nadimenzované správně pro bezpečné zapínání i vypínání zkratových proudů.

6.3.4 Kontrola spínací zařízení v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1:

Rozvodny 3BBA1 a 4BBA1 jsou vybaveny na svých vývodech vypínači o vypínací hodnotě zkratového proudu 50 kA.

Zkrat v rozvodně 3BBA1 jsem v rámci této práce řešil pouze v případě 3 a 9. Z toho největší počáteční souměrný rázový zkratový proud v této rozvodně vyšel v případě 3, při trojfázovém zkratu, o velikosti $I''_{k3f} = 12,679 \text{ kA}$. Z této hodnoty jsme získali nárazový zkratový proud o velikosti $i_p = 21,752 \text{ kA}$.

Z údajů výše vidíme, že vypínače v rozvodnách jsou nadimenzované dostatečně a jsou schopny bezpečně vypnout zkratový proud.

6.4 Kontrola nastavení ochran:

Nakonec jsem provedl krátkou kontrolu nastavení ochran podle minimálních zkratových proudů.

6.4.1 Kontrola nastavení ochran v rozvodnách R6-x:

V rozvodnách VS R6-x je nejvýše nastavená ochrana na hlavním přívodu od odbočkového transformátoru na proud 4 200 A.

Nejmenší minimální počáteční souměrný rázový zkratový proud v rozvodně R6-x je v případě 9, o velikosti $I''_{k2f} = 4,241 \text{ kA}$. Z těchto hodnot vidíme, že ochrany jsou nastavené dostatečně přesně, aby zareagovali i na minimální zkratový proud.

Ochrana na detekci zemního spojení je v těchto rozvodnách nastavena na 1 A. Nejmenší zemní proud jsem vypočetl v případě 11 o velikosti 4,64 A. Z toho vidíme, že ochrana zapůsobí při zemním spojení, nevypne ale obvod, má funkci jen informační a pošle zprávu do řídicího systému.

6.4.2 Kontrola nastavení ochran v rozvodně R6-0:

V záskokové rozvodně R6-0 je nejvýše nastavená ochrana na záskokové smyčce pro rozvodny R6-x na proud 3 900 A.

Nejmenší minimální počáteční souměrný rázový zkratový proud v rozvodně R6-x je v případě 9, o velikosti $I''_{k2f} = 4,241 \text{ kA}$. Z těchto hodnot vidíme, že ochrany jsou nastavené dostatečně přesně, aby zareagovali i na minimální zkratový proud.

Ochrana na detekci zemního spojení je v těchto rozvodnách nastavena na nejvýše 2,5 A. Nejmenší zemní proud jsem vypočetl v případě 9 o velikosti 15,69 A. Z toho vidíme, že ochrany na zemní proud zareagují a dají hlášení do řídicího systému.

6.4.3 Kontrola nastavení ochran v rozvodnách 3BBA1 a 4BBA1:

V rozvodně 3BBA1 a 4BBA1 je nejvýše nastavená ochrana na výstup odsíření 10 500 kA.

Nejmenší minimální počáteční souměrný rázový zkratový proud v rozvodně R6-x je v případě 9, o velikosti $I''_{k2f} = 5,37 \text{ kA}$. Druhá nejvýše nastavená ochrana je na výstupu na reaktor na proud 4 400 A. Tato ochrana je nastavená v pořádku. V případě ochrany na nové odsíření se jeví nastavená na příliš velkou hodnotu, pro přesnější určení by se museli zkoumat podrobněji provozní stavy nového odsíření, v rámci této práce ji musím označit za špatně nastavenou.

Ochrany na zemní spojení jsou v těchto rozvodnách nastavené na hodnotu 10 A. Nejmenší vypočtený zemní proud byl v případě 3 o hodnotě 14,49 A. Z toho vidíme, že ochrana zareaguje a pošle zprávu do řídicího systému.

6.4.4 Kontrola nastavení ochran turboalternátorů:

Ochrany turboalternátorů jsou nastavené na 150 % I_n na blocích 3, 4 a 166% I_n na blocích 1 a 2. Nejmenší minimální počáteční souměrný rázový zkratový proud na generátoru je v případě 9, o velikosti $I''_{k2f} = 24,7 \text{ kA}$. Z těchto údajů vidíme, že jsou ochrany nastavené správně a na zkrat zareagují.

7 Závěr:

V této práci jsem se zabýval zkratovými poměry na elektrárně Mělník 1, se započítáním nového plánovaného odsíření a nové čerpací stanice. Provedl jsem porovnání jednotlivých typů zkratů a zhodnotil přesnost výpočtu při zanedbání kabelových propojů v rámci elektrárny. Ve výsledku jsem dospěl k názoru, že můžeme kabelové spoje v elektrárně při výpočtu zanedbat, dopouštíme se tím chyby ve směru bezpečnosti a zvyšujeme si bezpečnostní rezervu při dimenzování zařízení.

Dále jsem zkontroloval spínací prvky v rozvodnách VS, SVS a generátorových vypínačů. Z toho jsem usoudil, že jsou správně nadimenzovány s podmínkou, že generátorovým vypínačem na blocích 1 a 2 nebudeme zapínat trojfázový zkrat.

Nakonec jsem provedl kontrolu nastavení ochran. Z výpočtu mi vyšlo, že jsou dobře nastavené s výjimkou ochrany na odsíření. Při rekonstrukci elektrárny spojené s renovací, tedy doporučuji věnovat zvýšenou pozornost těmto ochranám a podrobněji prozkoumat provozní stavy odsíření.

8 Seznam zdrojů:

- [1] ČSN EN 60909-0:2002. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů*, idt IEC 60909-0:2001/Cor. 1:2002-02. [cit. 2017-05-13]. Český normalizační institut, 2002.
- [2] POLÁK, P. *Teplo z elektrárny Mělník pro vytápění části Prahy* [online]. 29. 9. 2011 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/7875-teplo-z-elektrarny-melnik-pro-vytapeni-casti-prahy>
- [3] ČEZ, a.s. *Elektrárna Mělník* [online]. 2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/uhelne-elektrarny/cr/melnik.html>
- [4] *Soubor technické dokumentace EMĚ*, Energotrans a.s., ČEZ a.s.
- [5] ŠVEC, Jan. *Materiály pro předmět Elektroenergetika 2 (A1B15EN2)* [online]. Praha ČVUT 2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/wiki/EN2>
- [6] ČSN 38 1120: *Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren*, [cit. 2017-05-13]. Český normalizační institut 1993.
- [7] IEC/TR 60909-4: First edition: 2000-07, Technical report. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents [cit. 2017-05-13].
- [8] Nkt cables datasheed: 6-AYKCY třížilové / three core [online]. Nkt cables s.r.o., 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://81.0.246.66/nkt_pk/datasheets_pdf/6-AYKCY_3zil.pdf
- [9] *Medium Voltage Power Cables: N2XSEY* [online]. Helucabel, 2013 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://mdmetric.com/prod/helukabel/N.Medium%20Voltage%20Power.pdf>
- [10] Studijní podklady Čvut v Praze 2017 předmětu RES - Řízení elektroenergetických soustav, autor Ing. Jan Špetlík, Ph.D. [cit. 2017-05-13].

9 Přílohy:

A Obsah CD:

Soubor: „dip - Přepočítání zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárny po rekonstrukci“ ve formátu .docx obsahuje kompletní text diplomové práce.

Soubor: „dip - Přepočítání zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárny po rekonstrukci“ ve formátu .pdf obsahuje kompletní text diplomové práce.

Soubor: „dipl – výpočty“ ve formátu typu Wolfram notebook .nb obsahuje výpočetní program pro tuto práci.

Soubor „dipl - vypocet_kapacit_vedeni“ ve formátu typu Wolfram notebook .nb obsahuje program na výpočet kapacit venkovních přetahů vůči zemi.