

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Analýza ostrovního provozu teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o.  
se ŠKODA Auto a.s.**

**vedoucí práce: Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.  
autor: Bc. Michal Novosad**

**2013**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal NOVOSAD**  
Osobní číslo: **E11N0148P**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Analýza ostrovního provozu teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o. se ŠKODA Auto a.s.**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### **Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

1. Zabývejte se přechodem TG na teplárně z paralelního provozu s DS do ostrovního provozu se ŠKODA Auto a.s.
2. Provedte posouzení a analýzu použití automatického odpojovacího programu.
3. Analyzujte provozní stavy pro přechod do OP se ŠKODA Auto a.s.
4. Vypočítejte zkratové poměry v síti vlastní spotřeby VN/NN před a v OP zdroje (TG) se ŠKODA Auto a.s.
5. Provedte zhodnocení a porovnání variant.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**  
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

  
Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Analýza ostrovního provozu teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o. se ŠKODA Auto a.s.**

### **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na výjimečný provoz teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o., a to provoz ostrovní se společností ŠKODA AUTO a.s. Součástí práce je také popsání průběhu dvou posledních ostrovních provozů, které nastaly na podzim v roce 2011. Nemalá část této práce je také věnována výpočtu zkratových poměrů, dle normy ČSN EN 60909-0, v síti vlastní spotřeby teplárny i s ohledem na ostrovní provoz.

### **Klíčová slova**

ŠKO-ENERGO, ŠKODA AUTO, ostrovní provoz, zkratové poměry, impedance

## **Analysis of island working of heating plant of ŠKO-ENERGO, s.r.o. with ŠKODA Auto a.s.**

### **Abstract**

The diploma thesis is focused on exceptional operation of a heating plant ŠKO-ENERGO, s.r.o., particularly an island working with ŠKODA AUTO a.s. The work also describes the last two working islands, which occurred in the autumn of 2011. A large part of this thesis is devoted to the short circuit ratio calculation according to the standard ČSN EN 60909-0 in the network's own consumption of heating plant with regard to the working island.

### **Key words**

ŠKO-ENERGO, ŠKODA AUTO, island working, short-circuit ratio, impedance

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 6.5.2013

Bc. Michal Novosad

## **Poděkování**

Nejdříve bych rád poděkoval vedení společnosti ŠKO-ENERGO, za umožnění ve firmě vykonávat praxi a možnost zpracovávat toto velice zajímavé téma. Zvláště děkuji panu Ing. Kabrnovi, který se mě ujal jako konzultant a byl mi velice nápomocný po celou dobu zpracovávání diplomové práce.

Poděkování patří též paní Doc. Ing. Evě Müllerové, Ph.D. za cenné rady a trpělivé vedení mé diplomové práce.

*Děkuji*

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VYSVĚTLENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ</b> .....	<b>11</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY ŠKO-ENERGO, S.R.O.</b> .....	<b>13</b>
1.1 HLAVNÍ PROCESY .....	13
1.1.1 Výroba elektřiny a tepla .....	13
1.1.2 Výroba stlačeného vzduchu .....	13
1.1.3 Výroba průmyslové, chladicí a DEMI vody .....	14
1.2 PROPOJENÍ TEPLÁRNY ŠKO-ENERGO SE ŠKODA AUTO .....	14
1.2.1 Rozvodna VVN 110 kV .....	14
<b>2 PROVOZ TEPLÁRNY V OSTROVNÍM PROVOZU SE ŠKODA AUTO</b> .....	<b>16</b>
2.1 AUTOMATICKÝ ODPÍNAČÍ PROGRAM PRO NAPÁJENÍ ZÁVODU ŠKODA AUTO .....	18
2.1.1 Monitorování výkonové bilance .....	18
2.1.1.1 Měření na R 22 KV .....	19
2.1.1.2 Měření na R 110 kV .....	21
2.2 VARIANTY PŘECHODU DO OSTROVNÍHO PROVOZU SE ŠKODA AUTO .....	21
2.3 POPIS ŘÍZENÍ TURBOGENERÁTORŮ BĚHEM OSTROVNÍHO PROVOZU .....	22
2.4 PŘEHLED OSTROVNÍCH PROVOZŮ SE ŠKODA AUTO .....	23
2.5 OSTROVNÍ PROVOZ SE ŠKODA AUTO - 20.9.2011 - .....	24
2.5.1 Příčina přechodu do ostrovního provozu .....	24
2.5.2 Výkonová bilance .....	25
2.5.2.1 Bezporuchový stav ( $t < 0$ ms) .....	25
2.5.2.2 Poruchový stav ( $t = 0-603$ ms) .....	25
2.5.3 Průběh ostrovního provozu .....	25
2.5.4 Shrnutí .....	27
2.6 OSTROVNÍ PROVOZ SE ŠKODA AUTO - 2.10.2011 - .....	27
2.6.1 Příčina přechodu do ostrovního provozu .....	28
2.6.2 Výkonová bilance .....	28
2.6.2.1 Bezporuchový stav ( $t < 0$ ms) .....	28
2.6.2.2 Poruchový stav ( $t = 0-939$ ms) .....	29
2.6.3 Průběh ostrovního provozu .....	29
2.6.4 Shrnutí .....	32
<b>3 ZKRATOVÉ POMĚRY V SÍTI VLASTNÍ SPOTŘEBY VN/NN DLE NORMY ČSN EN 60909-0 ...</b>	<b>33</b>
3.1 PŘEDPOKLADY PRO VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ .....	33
3.2 VÝPOČTOVÁ ČÁST ZKRATOVÝCH IMPEDANCÍ NETOČIVÝCH STROJŮ .....	33
3.2.1 Výpočet impedance soustavy 110 kV .....	34
3.2.2 Výpočet impedance kabelového vedení 110kV .....	34
3.2.3 Výpočet impedance blokového transformátoru 80/90BAT01 .....	35
3.2.4 Výpočet impedance transformátoru T101 - 63MVA (T102, T103) .....	36
3.2.5 Výpočet impedance všeobecného transformátoru 00BCT01 .....	37
3.2.6 Výpočet impedance transformátoru 80/90BFT02 .....	38
3.2.7 Výpočet impedance transformátoru 00BHT01/02 .....	38
3.2.8 Výpočet impedance transformátoru 80/90BFT01 .....	39
3.2.9 Výpočet impedance synchronního generátoru 80/90MKA01 .....	41
3.2.10 Výpočet impedance reaktoru 80/90BBT01 .....	42



3.3	VÝPOČTOVÁ ČÁST PŘÍSPĚVKŮ MOTORŮ.....	42
3.3.1	Výpočet impedančního příspěvku ze závodu ŠKODA AUTO .....	43
3.3.2	Výpočet impedance skupin vn motorů v síti vlastní spotřeby.....	44
3.3.2.1	Výpočet impedance skupin vn motorů na 80/90BBA s $I_{av}/I_{nM}=5,5$ .....	45
3.3.2.2	Výpočet impedance skupin vn motorů na 80/90BBA s $I_{av}/I_{nM}=6$ .....	45
3.3.2.3	Výpočet impedance skupin vn motorů na 00BCA/B s $I_{av}/I_{nM}=5,5$ .....	46
3.3.2.4	Výpočet impedance skupin vn motorů na 00BCA/B s $I_{av}/I_{nM}=6$ .....	46
3.3.3	Výpočet impedance skupin nn motorů v síti vlastní spotřeby.....	47
3.3.3.1	Výpočet impedance rozvodny 80/90BFA.....	48
3.3.3.2	Výpočet impedance rozvodny 80/90BFC .....	48
3.3.3.3	Výpočet impedance rozvodny 80/90BFB.....	49
3.3.3.4	Výpočet impedance rozvodny 00BHA/B.....	50
3.4	PŘÍSPĚVEK ZKRATOVÝCH PROUDŮ DO ROZVODNY 80/90BBA (6 kV) .....	50
3.4.1	Paralelní provoz s distribuční sítí.....	51
3.4.2	Ostrovní provoz .....	56
3.5	PŘÍSPĚVEK ZKRATOVÝCH PROUDŮ DO ROZVODNY 00BCA/B (6 kV) .....	61
3.5.1	Paralelní provoz s distribuční sítí .....	62
3.5.2	Ostrovní provoz .....	67
3.6	PŘÍSPĚVEK ZKRATOVÝCH PROUDŮ DO ROZVODNY 80/90BFA (690 V).....	72
3.6.1	Paralelní provoz s distribuční sítí.....	72
3.6.2	Ostrovní provoz .....	77
3.7	SHRNUTÍ VÝPOČTU ZKRATOVÝCH POMĚRŮ V SÍTI VLASTNÍ SPOTŘEBY VN/NN.....	82
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>83</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>85</b>

## Seznam obrázků a tabulek

OBR. 1 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZVODEN .....	15
OBR. 2 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZVODNY E25/110 KV .....	16
OBR. 3 BLOKOVÉ SCHÉMA TYPICKÉHO POUŽITÍ ROZPADOVÉ AUTOMATIKY .....	17
OBR. 4 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZVODNY E25 22KV .....	20
OBR. 5 SOFTWAREVÉ ROZHRAŇÍ REGULACE TURBOGENERÁTORŮ .....	23
OBR. 6 VÝPADEK DVOU TRANSFORMÁTORŮ.....	24
OBR. 7 PRŮBĚH POKLESU NAPĚTÍ .....	27
OBR. 8 PRŮBĚH ODSTAVENÍ TG80 ZPĚTNOU WATTOVOU .....	29
OBR. 9 PRŮBĚH ODLEHČOVÁNÍ ZÁTĚŽE .....	31
OBR. 10 OZNAČENÍ ZAPOJENÍ VINUTÍ .....	39
OBR. 11 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 80/90BBA) .....	51
OBR. 12 TRANSPOZICE 1 (ZKRAT 80/90BBA).....	53
OBR. 13 TRANSPOZICE 2 (ZKRAT 80/90BBA).....	54
OBR. 14 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 80/90BBA).....	55
OBR. 15 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 80/90BBA).....	56
OBR. 16 TRANSPOZICE 1 OP (ZKRAT 80/90BBA).....	58
OBR. 17 TRANSPOZICE 2 OP (ZKRAT 80/90BBA).....	59
OBR. 18 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 80/90BBA).....	60
OBR. 19 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 00BCA/B).....	62
OBR. 20 TRANSPOZICE 1 (ZKRAT 00BCA/B) .....	63
OBR. 21 TRANSPOZICE 2 (ZKRAT 00BCA/B) .....	64
OBR. 22 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 00BCA/B).....	65
OBR. 23 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 00BCA/B).....	67
OBR. 24 TRANSPOZICE 1 OP (ZKRAT 00BCA/B) .....	68
OBR. 25 TRANSPOZICE 2 OP (ZKRAT 00BCA/B) .....	69
OBR. 26 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 00BCA/B) .....	70
OBR. 27 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 80/90BFA).....	72
OBR. 28 TRANSPOZICE 1 (ZKRAT 80/90BFA) .....	74
OBR. 29 TRANSPOZICE 2 (ZKRAT 80/90BFA) .....	75
OBR. 30 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA (ZKRAT 80/90BFA) .....	76
OBR. 31 CELKOVÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 80/90BFA) .....	77
OBR. 32 TRANSPOZICE 1 OP (ZKRAT 80/90BFA) .....	79
OBR. 33 TRANSPOZICE 2 OP (ZKRAT 80/90BFA) .....	80
OBR. 34 ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA OP (ZKRAT 80/90BFA) .....	81
TABULKA 1 VÝVODY A JEJICH NASTAVENÁ PRIORITY .....	19
TABULKA 2 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	26
TABULKA 3 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	31
TABULKA 4 NAMĚŘENÉ HODNOTY 1.....	31
TABULKA 5 CELKOVÉ PŘÍSPĚVKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ .....	82

## Seznam použitých zkratk, symbolů a vysvětlení některých pojmů

OP	Ostrovní provoz
S 102	Rozpadová spojka mezi 13. a 14. polem na rozvodně E25 110 kV
TG80 (TG90)	Turbogenerátor 80 (Turbogenerátor 90)
SADS	Řídicí systém pro automatický odpínací program
M3P	Třífázový multifunkční převodník
ROUTER	Koncentrátor dat
PA	Provozní automatika ostrovního provozu dvou turbogenerátorů
FREY16	Frekvenční relé
STE	Středočeská energetická, a.s.
SČE	Severočeská energetika, a.s.
$\bar{Z}_{(1)}$	Sousledná zkratová impedance [ $\Omega$ ]
$\bar{Z}_{(2)}$	Zpětná zkratová impedance [ $\Omega$ ]
$I_k''$	Počáteční souměrný zkratový proud [A]
$i_p$	Nárazový zkratový proud [A]
$S_k''$	Počáteční souměrný zkratový výkon [VA]
$c$	Napěťový součinitel
$R$	Rezistance [ $\Omega$ ]
$X$	Reaktance [ $\Omega$ ]
$u_k$	Jmenovité napětí nakrátko [%]
$S_{nT}$	Jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru [VA]
$P_{kT}$	Jmenovité ztráty nakrátko transformátoru [W]
$x$	Poměrná reaktance
$K_{T,S}$	Korekční součinitel transformátoru
$K_{G,S}$	Korekční součinitel generátoru
$\kappa$	Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu

## Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na představení problematiky v teplárně ŠKO-ENERGO, s.r.o. s důrazem na implementované rozpadové místo a odpínací program, které zajišťují kontinuitu dodávky elektrické energie do automobilky ŠKODA AUTO a.s. v případě selhání dodávky elektrické energie z distribuční soustavy. Text je rozdělen do tří hlavních částí.

V první části obecně představím firmu ŠKO-ENERGO, s.r.o. se zaměřením na propojení s distribuční sítí, respektive s automobilkou ŠKODA AUTO a.s. Důležitou roli v tomto směru hraje venkovní rozvodna E25 110 kV.

Druhá část je věnována stavu velmi výjimečnému, avšak pro provoz automobilky v Mladé Boleslavi nepostradatelnému. Jedná se o ostrovní provoz teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o. s podnikem ŠKODA AUTO a.s. Je nutné si uvědomit, že hlavní myšlenka výstavby teplárny byla potřeba omezit odstávky technologického procesu výroby v automobilce z důvodu výpadku elektrické energie z distribuční sítě. Tyto výpadky v minulosti vedly k výrazným finančním ztrátám automobilky. Ostrovní provoz je stav oddělení automobilky a teplárny od distribuční sítě. Oddělovací místo je implementované přímo na rozvodně 110 kV (E25).

V této kapitole se také zmiňuji o posledních dvou ostrovních provozech, které proběhly na podzim v roce 2011.

Nemalá část této diplomové práce se zabývá výpočtem zkratových poměrů ve vlastní spotřebě teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o i s ohledem na stav ostrovního provozu. V této kapitole je analytické i numerické řešení zkratových poměrů v síti vlastní spotřeby teplárny na hladině 6 kV a 690 V. Výpočty zkratových poměrů jsou prováděny dle normy ČSN EN 60909-0.

## 1 Představení firmy ŠKO-ENERGO, s.r.o.

ŠKO-ENERGO, s.r.o., dále jen ŠKO-ENERGO, je provozní společnost, která vznikla v roce 1995 zároveň s finanční společností ŠKO-ENERGO FIN. ŠKO-ENERGO FIN vlastní zařízení, především teplárnu a pronajímá ho společnosti ŠKO-ENERGO.

Podmětem k založení ŠKO-ENERGO bylo rozhodnutí společnosti ŠKODA AUTO a.s., dále jen ŠKODA AUTO, o vyčlenění svého energetického hospodářství. [1]

### 1.1 Hlavní procesy

ŠKO-ENERGO zajišťuje širokou škálu služeb nejen pro svého největšího zákazníka, firmu ŠKODA AUTO, ale současně dodává teplo obyvatelům, podnikům a institucím ve městě Mladá Boleslav. [1]

#### 1.1.1 Výroba elektřiny a tepla

Teplárna je jádrem společnosti. Hlavními výrobními jednotkami jsou dva fluidní kotle K80 a K90 o parním výkonu  $2 \times 140$  t/hod. Jako základní palivo bylo původně černé uhlí, následně se přešlo na směs černého a hnědého uhlí a v současné době se používá pouze hnědé uhlí. Rezerva při výpadku fluidních kotlů je zajištěna parním kotlem K70 o výkonu 60 t/hod, jehož základním palivem je zemní plyn. Součástí zařízení jsou dvě odběrové kondenzační turbíny firmy Siemens o výkonu  $2 \times 49$  MVA. Zásobování teplárny chladicí vodou je zajištěno z chladicího systému s chladicí věží s ventilátorovým chlazením. Dále se využívají tři horkovodní kotle, které slouží jako záloha na pokrytí špiček v zimním období. [1]

#### 1.1.2 Výroba stlačeného vzduchu

Výrobu stlačeného vzduchu o tlaku 0,6 MPa zajišťují dvě kompresorové stanice s turbokompresory o výkonu  $32\,000$  Nm<sup>3</sup>/hod. Stlačený vzduch je využíván ve firmě ŠKODA AUTO pro technické účely. Pro speciální pracoviště svařovny, zejména pro roboty, slouží šroubové kompresory, které vyrábějí stlačený vzduch o tlaku 1,2 MPa. [1]

### 1.1.3 Výroba průmyslové, chladicí a DEMI vody

Využívá se voda z řeky Jizery, která se dále upravuje neutrálním čěněním a následnou filtrací pro potřebu ŠKODA AUTO a teplárny ŠKO-ENERGO. Demineralizovaná voda se vyrábí chemickou úpravou vody. Takto upravená demineralizovaná voda se pak shromažďuje v zásobních nádržích a pomocí čerpadel se dopravuje do teplárny a lakovny. [1]

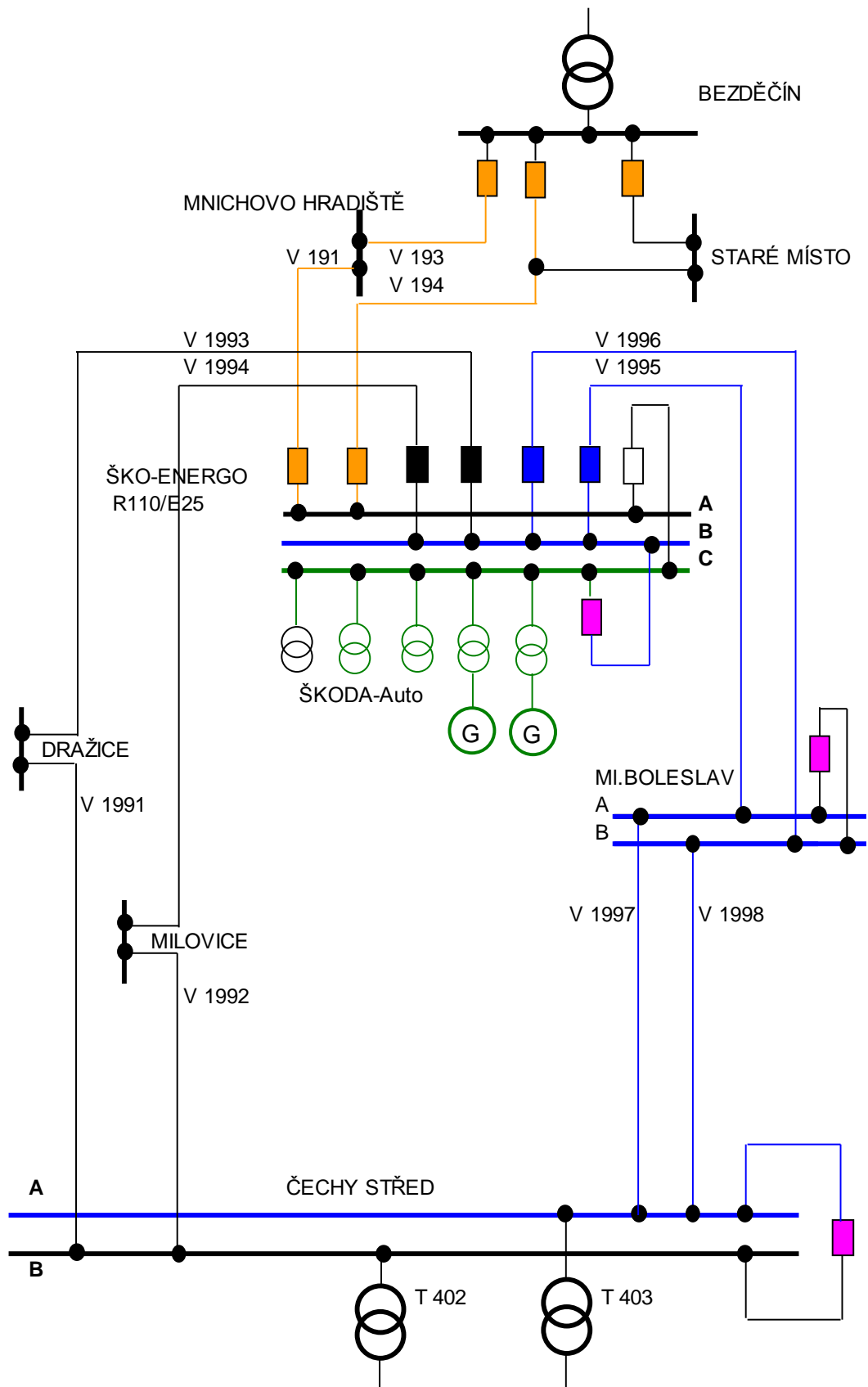
## 1.2 Propojení teplárny ŠKO-ENERGO se ŠKODA AUTO

K propojení firmy ŠKO-ENERGO s veřejnou sítí, respektive s automobilkou ŠKODA AUTO, slouží venkovní rozvodna E25 110 kV.

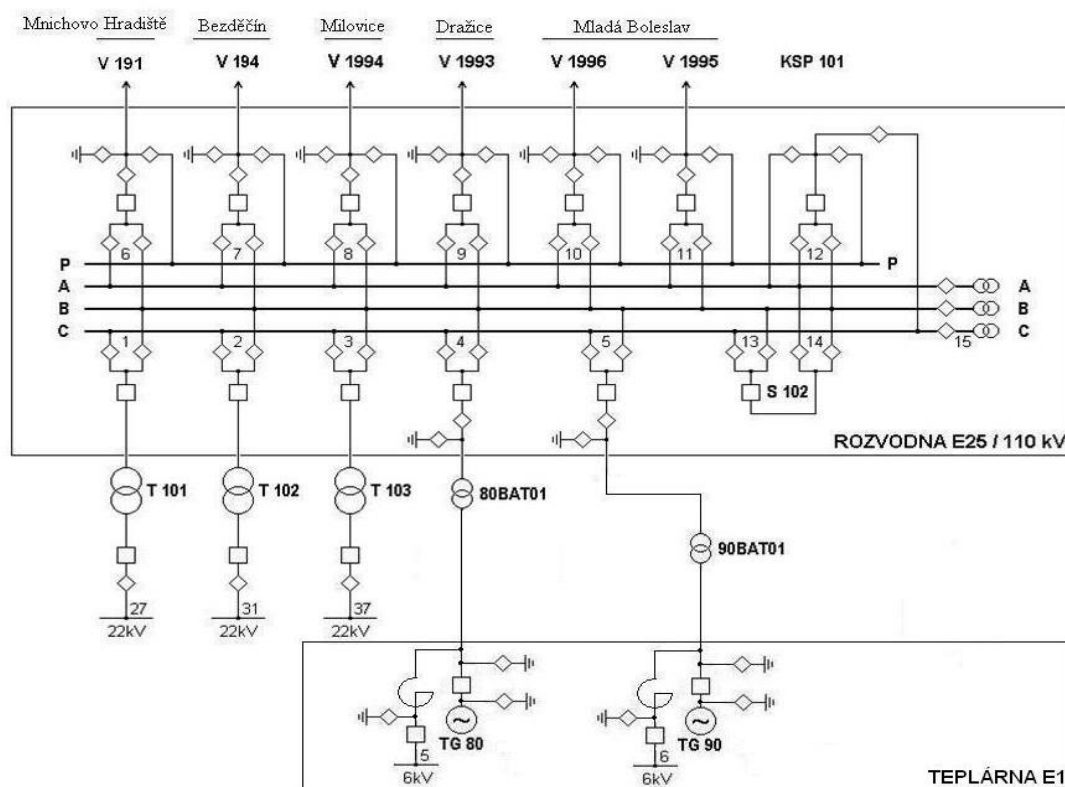
### 1.2.1 Rozvodna VVN 110 kV

Rozvodna E25 110 kV je třísystémová, skládá se tedy z přípojnice A, B a C. Do systému "A" vedou dvě linky, jedna z Mnichova Hradiště (V 191) a druhá přímo z rozvodny Bezděčín (V 194). Do systému "B" jsou napojeny čtyři linky (V 1993, V 1994, V 1995 a V 1996) z rozvodny Čechy střed. Na přípojnici "C" jsou napojeny dva turbogenerátory z teplárny a tři distribuční transformátory 110/22 kV T 101, T 102 a T 103. Tyto tři transformátory slouží k napájení automobilky ŠKODA AUTO a v normálním provozu jsou využívány vždy jen dva, třetím je tvořena záloha. Schéma propojení rozvodny a přípojnic v rozvodnách je znázorněno na obr. 1 a v příloze na straně B1. Jako fázové vodiče jsou použity lana 185 AlFe6 nebo 240 AlFe6. Zemnicí lana jsou typu 50 Fe nebo 42/25 AlFe. Přenosová schopnost vedení V 191 a V194 je 90 MVA a vedení V 1993 – V 1996 je dimenzované na 80 MVA. Zatížitelnost všech vedení vedoucích do rozvodny R110/E25 je přibližně 400 A.

Na obr. 2 a v příloze na straně B2 je k nahlédnutí schéma rozvodny E25/110 KV. Je nutné si uvědomit, že 110kV rozvodna E25 není dimenzovaná k tomu, aby sloužila k „přelévání výkonu“ mezi rozvodnami Čechy střed a Bezděčín.



Obr. 1 Schéma zapojení rozveden



Obr. 2 Schéma zapojení rozvodny E25/110 KV

## 2 Provoz teplárny v ostrovním provozu se ŠKODA AUTO

V této kapitole se budu podrobně věnovat popisu stavu, který se nazývá ostrovní provoz. Ostrovní provoz je mimořádný druh provozu teplárny, kdy dojde k nedodržení nastavených parametrů. Jedná se o tyto parametry:

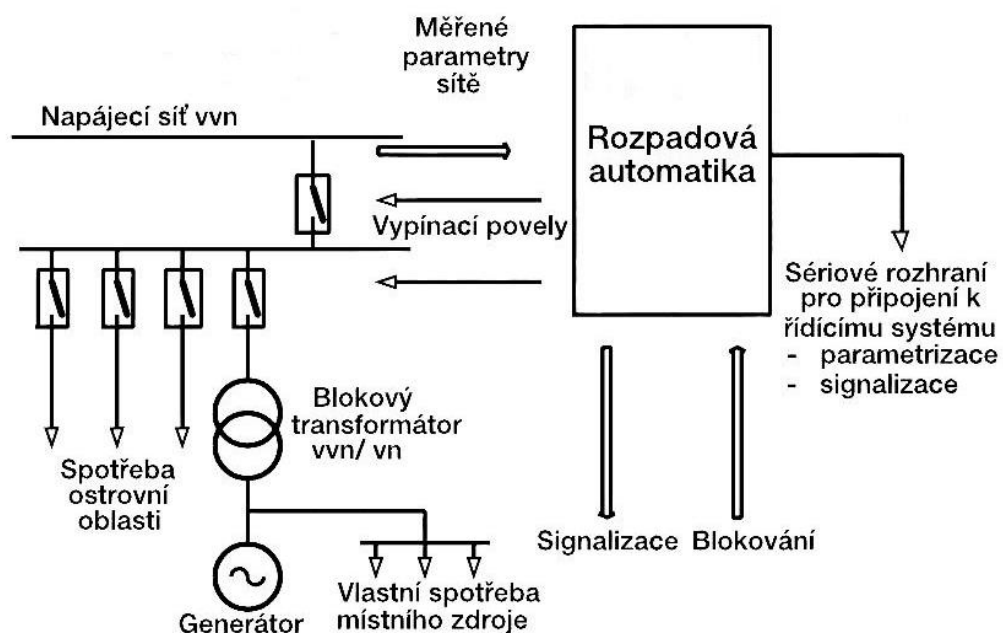
- *přepětí*
- *podpětí*
- *nadfrekvence*
- *podfrekvence*

Za předpokladu splnění alespoň jedné z podmínek dochází k rozpojení příčné spojky mezi 13. a 14. polem (tzv. rozpadové místo) ve 110kV rozvodně E25. Tím vznikne ostrovní provoz teplárny se ŠKODA AUTO. Náznorné schéma rozvodny E25/110 kV i s podmínkami je pro lepší představivost k nahlédnutí v příloze B2.

Výroba elektrické energie na obou turbogenerátorech téměř trvale nedokáže pokrýt celkovou spotřebu v podniku ŠKODA AUTO, proto byl pro případ ostrovního provozu instalován na rozvodně E25 22 kV tzv. „Automatický odpínací program“. V případě



nedodržení výše uvedených parametrů a v případě, kdy je výroba elektrické energie nižší než je její spotřeba v automobilce, dojde k okamžitému odpojení předem změřených a předurčených vývodů z rozvodny E25 22 kV do automobilky. Během ostrovního provozu je trvale snímána a kontrolována frekvence v ostrovní síti na rozvodně E25 110 kV, pomocí instalované frekvenční ochrany FREA 16. Po přechodu do ostrovního provozu se automaticky přepne regulace buzení na turbogenerátorech z regulace podle účinníku na regulaci buzení generátorů podle napětí. V případě, že dojde k rychlému zvýšení odběru elektrické energie v automobilce a turbogenerátory toto zvýšení nedokážou zajistit, dojde k poklesu frekvence v závislosti na velikosti a rychlosti změny této zátěže. To vyhodnotí FREA 16 a vzápětí provede odpínací program odpojení příslušného vypočteného výkonu – zátěže. Tím se docílí, aby vyráběný výkon byl shodný s požadovaným. Pokud by tomu tak nebylo, došlo by z důvodu nedodávky požadované elektrické energie zákonitě k přetížení generátorů a tím i k jejich odstavení podfrekvenční ochranou. První stupeň podfrekvenční ochrany je nastaven na hodnotu 48,4 Hz, čas zpoždění tři sekundy. To odpovídá poklesu otáček z 3000 na hodnotu 2904 otáček za minutu. Aby k odstavení nedošlo, je ještě instalována další frekvenční ochrana FREA 16 na každém turbogenerátoru, ještě před blokovým transformátorem. Tyto ochrany zajistí v případě vzniklých poruch na kotlích, zauhlovacích linkách, při výrobě páry atd., aby turbogenerátory nevypadly a pouze přešly z ostrovního provozu s automobilkou na ostrovní provoz s vlastní spotřebou teplárny (tzv. malý ostrovní provoz). [2,3]



Obr. 3 Blokové schéma typického použití rozpadové automatiky [4]

## 2.1 Automatický odpínací program pro napájení závodu ŠKODA AUTO

Odpínací program je softwarové řešení vyhodnocování výkonové bilance v uvažované oblasti ostrovního provozu pro bezproblémové zajištění napájení výrobního závodu ŠKODA-AUTO. Jako řídicí systém je v tomto případě použit program SADS. Odpínací program z řídicího systému přejímá měřené hodnoty, stavy odpojovačů, poruchová hlášení a předává případné požadavky na vypínání vývodů – výkonové odlehčení při ostrovním provozu.

Účel programu je trvalé sledování výkonové bilance v oblasti uvažovaného ostrovního provozu a v případě výkonové deficitu oblasti vybírá, podle předem nastavených priorit, vývody z R 22 kV k odpojení. Program rovněž zajišťuje, aby v okamžiku vzniku ostrovního provozu nebo při provozu sítě v ostrovním provozu nedošlo k výkonovému přetížení turbogenerátorů. K dosažení tohoto cíle je nutné neustálé sledování výkonové bilance, tj. měřením odebíraného výkonu z napájecí sítě, měřením dodávaného výkonu z teplárny a měřením aktuální spotřeby ŠKODA-AUTO. Z těchto měřených údajů je za normálního provozu (paralelní provoz s distribuční soustavou) počítán výkonový deficit. Při chodu v ostrovním provozu (po odpojení od distribuční soustavy) je hlídána frekvence v síti a její časová změna. Na základě změny frekvence v závislosti na čase je určen výkonový deficit.

Monitorování výkonové bilance a způsobu měření se budu blíže věnovat v následující kapitole. [3,4]

### 2.1.1 Monitorování výkonové bilance

Základním požadavkem po monitorování výkonové bilance je měření toku výkonu. Výkonová bilance je měřena v rozvodně E25 110 kV. Na základě porovnávání dodávaného výkonu z teplárny (TG 80, TG 90) a měřené spotřeby automobilky ŠKODA AUTO na transformátorech připojených do přípojnice „C“ (T 101, T 102, T 103) je určována bilance uvažované ostrovní oblasti.

Další měření výkonu je na jednotlivých vývodech z rozvodny E25 22 kV. Tyto výkony jsou důležité z hlediska určování velikosti odpínané zátěže, neovlivňující přímo celkovou výkonovou bilanci. Každá jednotlivá kobka v rozvodně 22 kV je zařazena do určité skupiny podle priority odpínání. Vývody s nejnižším číslem priority jsou odpínány jako první. [3]

Tabulka 1 Vývody a jejich nastavená priorita

číslo kobky	Vývod a vývody z něj napájené	Priorita	Přípojnice
52	H3A	1	B
12	H3A	1	B
18	Z25 - T1	1	B
47	Z25 - T2	1	B
21	V17A - ( V17B, V17C, C28)	1	B
41	V17A - ( V17B, V17C, C28)	1	B
6	Z5	1	B
43	Z5	1	B
23	M6 - ( TSH )	2	B
40	M6 - ( TSH )	2	B
20	M2C - ( V21, Sur. Kuchyň )	2	B
7	M2C - ( V21, Sur. Kuchyň )	2	B
13	M12A - ( M12D1 )	2	B
48	M12A - ( M12D1 )	2	B
49	M1 - ( M1A, M1B, M1C, M2A, M2B, M2D, M3 )	2	B
16	M1 - ( M1A, M1B, M1C, M2A, M2B, M2D, M3 )	2	B
15	E31 - ( Z6e, E5, M10, M4A, M4B, M5, E6, M5Sv )	3	B
50	E31 - ( Z6e, E5, M10, M4A, M4B, M5, E6, M5Sv )	3	B
39	E14 - ( E10, M12D2, U18, TR2/EC2 )	3	A
24	E14 - ( E10, M12D2, U18, TR2/EC2 )	3	A
22	M12B - ( M12C, M12C1, M12C2, C26, D8 )	3	A
42	M12B - ( M12C, M12C1, M12C2, C26, D8 )	3	A
9	E29 - (M14, M15 )	3	A
19	E29 - (M14, M15 )	3	A
14	E28A - M11A, M11B, M13, D13, D16 )	3	A
8	E28A - M11A, M11B, M13, D13, D16 )	3	A
17	E1A - kotelna	1	A
29,33	RoBo	1	B

### 2.1.1.1 Měření na R 22 KV

Hodnoty výkonů a napětí jsou převzaty z třífázových multifunkčních převodníků M3P, umístěných v kobkách měření, s výstupní hodnotou proudu 4 – 20 mA. V systému SADS jsou tyto měřené proudové hodnoty následně přepočítávány na aktuální hodnotu dle rovnice přímky.

$$AM = B \cdot i_{DC} + A \quad , \quad (1)$$

kde  $AM$  je přepočtená analogová hodnota (zobrazovaný údaj měření)

$i_{DC}$  je vstupní proud do analogového vstupu telemechaniky

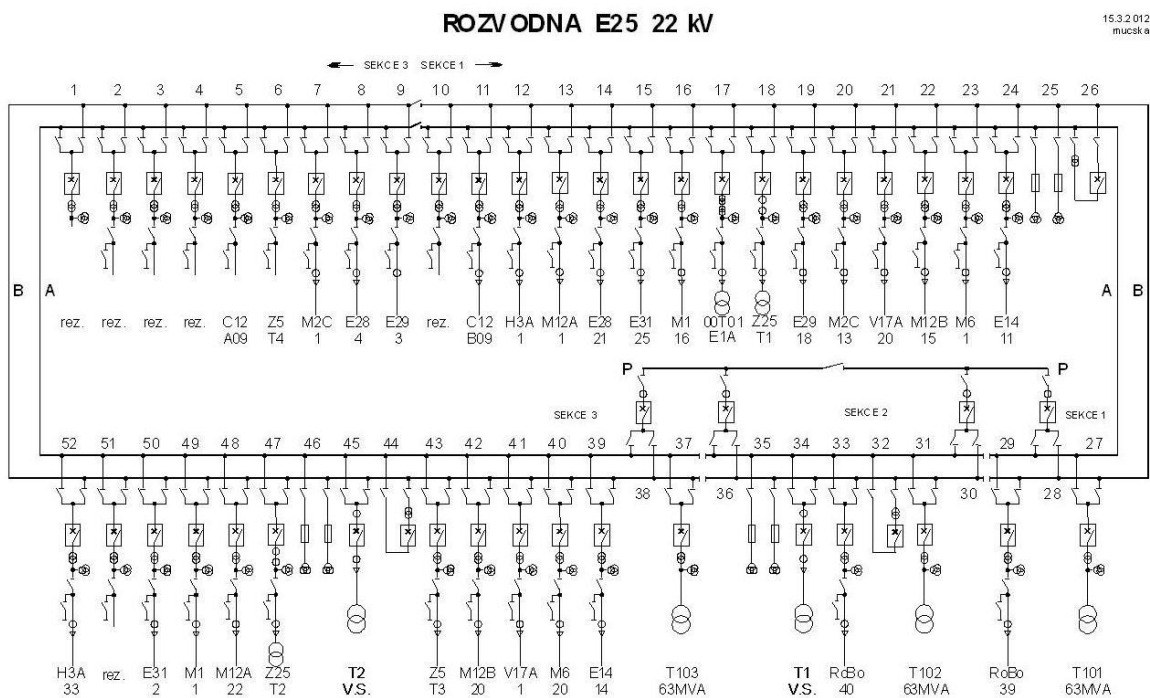
$A$  multiplikační konstanta

$B$  aditivní konstanta

Snímaná data (stavy, měření) v každé jednotlivé kobce jsou následně uložena v telemechanice TVN 2.0. Pro zajištění vysoké spolehlivosti přenosu dat je komunikace prováděná po optickém vlákně. Komunikace na úrovni TVN je řešena jako smyčka zahrnující cca 8 telemechanik a jednu jednotku sloužící k přenosu informací z telemechanik do řídicího systému. Tato jednotka je koncentrátor dat, rovněž nazývaná jako „ROUTER“. Router je umístěn v ovládacích skříních R 22 kV, a to v kobkách číslo 1, 11, 20, 33, 43 a 52. Celkem jich je tedy v rozvodně E25 22 kV umístěno 6 ks. Názorné schéma vývodů v rozvodně E25 22kV je k nahlédnutí na obr. 4 a ve větším formátu v příloze „B“ na straně B4. [3,4]

Sekce v R 22 kV jsou tvořeny kobkami:

- *ROUTER 1* : kobky 1 - 9
- *ROUTER 2* : kobky 10 - 19
- *ROUTER 3* : kobky 20 - 26
- *ROUTER 4* : kobky 27 - 33
- *ROUTER 5* : kobky 34 - 43
- *ROUTER 6* : kobky 44 - 52



**Obr. 4 Schéma zapojení rozvodny E25 22kV**

### 2.1.1.2 Měření na R 110 kV

Rozvodna 110 kV je rovněž připojena do řídicího systému s bilanční automatikou. Do řídicího systému jsou přivedeny stavy všech spínačů, měření výkonu a proudu na jednotlivých vývodech, kombinované spojce přípojnic KSP 101 i na rozpadové spojce S 102. Pro zavedení signalizačních stavů, vydávání povelů a posílání měřených hodnot do řídicího systému slouží opět telemechaniky TVN 2.0. [3]

## 2.2 Varianty přechodu do ostrovního provozu se ŠKODA AUTO

Poté co dojde k nedodržení nastavených parametrů a rozpojí se rozpadové místo, mohou nastat tři typy případů přechodu do ostrovního provozu:

### 1. *Vyráběný výkon na TG odpovídá přibližně požadavkům ve spotřebě*

Jedná se o ideální stav, při kterém jsou rizika pro přechod do OP a provoz turbogenerátorů v OP ovlivňovány pouze stavem zařízení a plynulostí dodávek jednotlivých médií.

### 2. *Vyráběný výkon na TG je vyšší, než je požadavek ve spotřebě*

Tento stav nastává pouze v nepracovních dnech, kdy je odstávka větších spotřeb v podniku ŠKODA AUTO. V tomto případě se přebytečná vyrobená elektrická energie prodává do distribuční soustavy.

Po přechodu do ostrovního provozu dojde k odlehčení obou turbogenerátorů a tím pádem i k nárůstu frekvence. Následně dochází ke skokovému snížení vyráběného výkonu na požadovanou hodnotu. To může mít za následek otevření bypassu vysokotlaké páry do kondenzátorů a případně i najížděcích ventilů parních kotlů. U vyšších rozdílů výkonů, především v letních měsících, může dojít z důvodu nižší chladicí kapacity i ke ztrátě vakua na turbínách a k následnému výpadku turbogenerátorů.

### 3. *Vyráběný výkon na TG je nižší, než je požadavek ve spotřebě*

Třetí možný případ je nejčastější. Stav, kdy vyráběný elektrický výkon nepokrývá poptávku ze strany automobilky. V zimních měsících se proto odebírá z distribuční soustavy až 30 MW výkonu, v ostatních ročních obdobích to je v průměru kolem 12 až 15 MW.

Po přechodu do ostrovního provozu dochází k okamžitému vypínání již předem předurčených vývodů na rozvodně 22 kV E25 přes „Automatický odpínací program“. Tím se docílí shody mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. [3]

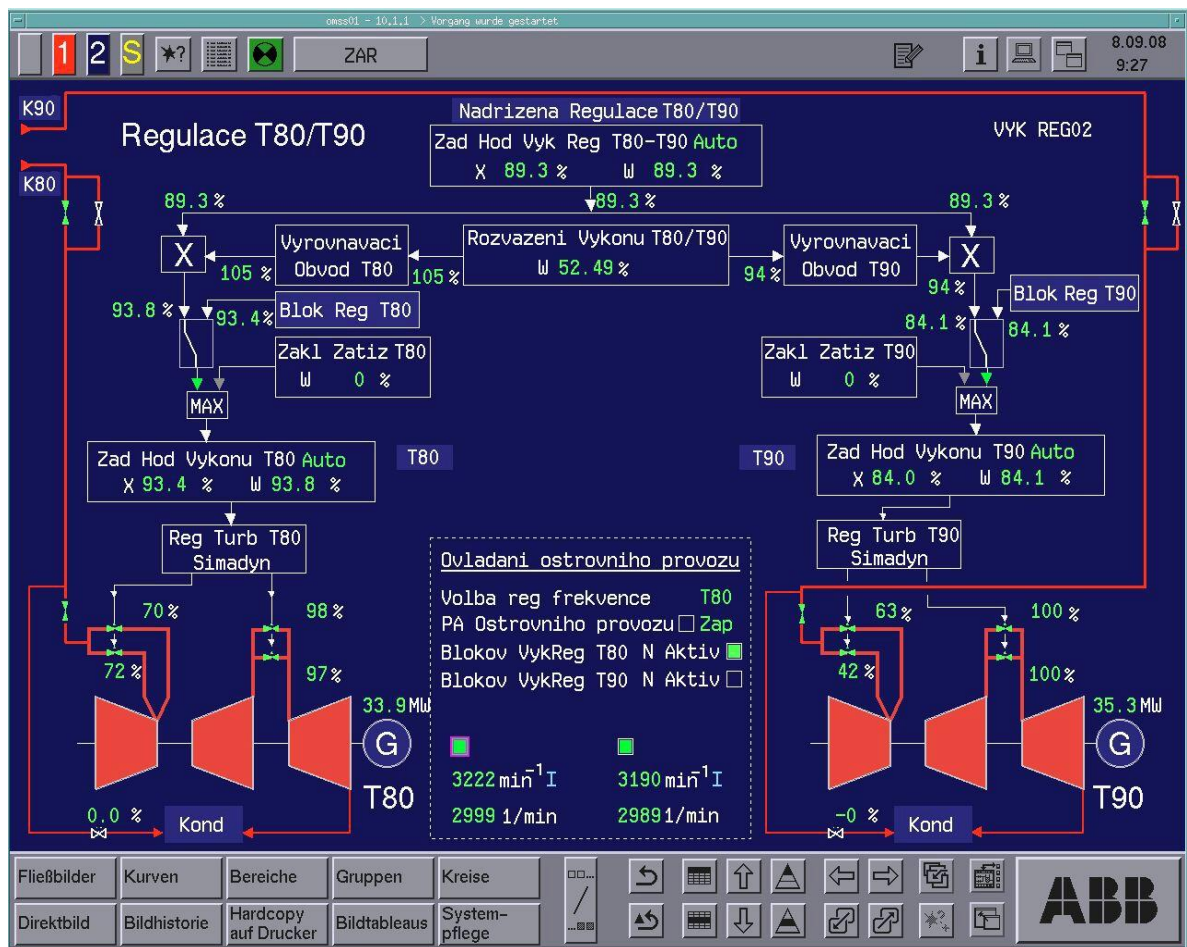
### 2.3 Popis řízení turbogenerátorů během ostrovního provozu

Během ostrovního provozu mohou nastat tři možnosti řízení turbogenerátorů:

- Pokud je v provozu pouze jeden turbogenerátor tak se automaticky navolí na regulaci podle frekvence a udržuje otáčky na 3000 ot/min. Operátor nemá možnost měnit regulaci a jeho řízení.
- Pokud jsou v provozu oba turbogenerátory a vyrábějí elektrický výkon do společné sítě s automobilkou ŠKODA AUTO. Jeden turbogenerátor je navolen na regulaci frekvence a druhý na regulaci výkonu.
- Pokud je to žádoucí, je možnost oba turbogenerátory navolit na regulaci podle frekvence

Bezprostředně po přechodu do ostrovního provozu, turbogenerátor předvolený pro regulaci frekvence řídí frekvenci v ostrovní síti. Druhý turbogenerátor přednastavený na regulaci výkonu se snaží s mírným zpožděním sledovat výkonový deficit, či přebytek a s mírným zpožděním dorovnáva vyrobený elektrický výkon s aktuální spotřebou automobilky. Nutné zpoždění je kvůli turbogenerátoru, nastaveném v regulaci frekvence, aby stihl pomáhat vyrovnávat frekvenci a nedostal se s výkonem mimo jeho pracovní rozsah.

Důležitý implementovaný ovladač řídicího systému se nazývá „Provozní automatika ostrovního provozu dvou turbogenerátorů“, dále jen PA. Tento ovladač zapíná automatické sledování výkonu turbíny, řídicí frekvenci. PA se automaticky zapíná, pokud je výkon turbogenerátorů vyšší než 6 MW. Automaticky se deaktivuje, pokud klesne výkon jedné z turbín pod 5 MW. Během ostrovního provozu je možné PA deaktivovat. Pak je na operátorovi, aby měnil manuálně výkon turbogenerátorů, pomocí otáček. Ve vypnutém stavu ovladače PA je také možnost přepnout oba turbogenerátory do regulace podle frekvence. [5]



Obr. 5 Softwarové rozhraní regulace turbogenerátorů (převzato z [5])

## 2.4 Přehled ostrovních provozů se ŠKODA AUTO

Od výstavby a nainstalování rozpadového místa, které umožňovalo ostrovní provoz teplárny s automobilkou, uplynulo 13 let a proběhlo celkem 12 ostrovních provozů.

- 25.4.2001 × 2
- 21.6.2002
- 20.7.2004
- 25.7.2006 × 2
- 4.11.2006
- 13.3.2007
- 12.7.2007
- 1.3.2008
- 20.9.2011
- 2.10.2011

V následujících dvou kapitolách bych se důkladněji věnoval posledním ostrovním provozům se ŠKODA AUTO, které proběhly 20.9.2011 a 2.10.2011.

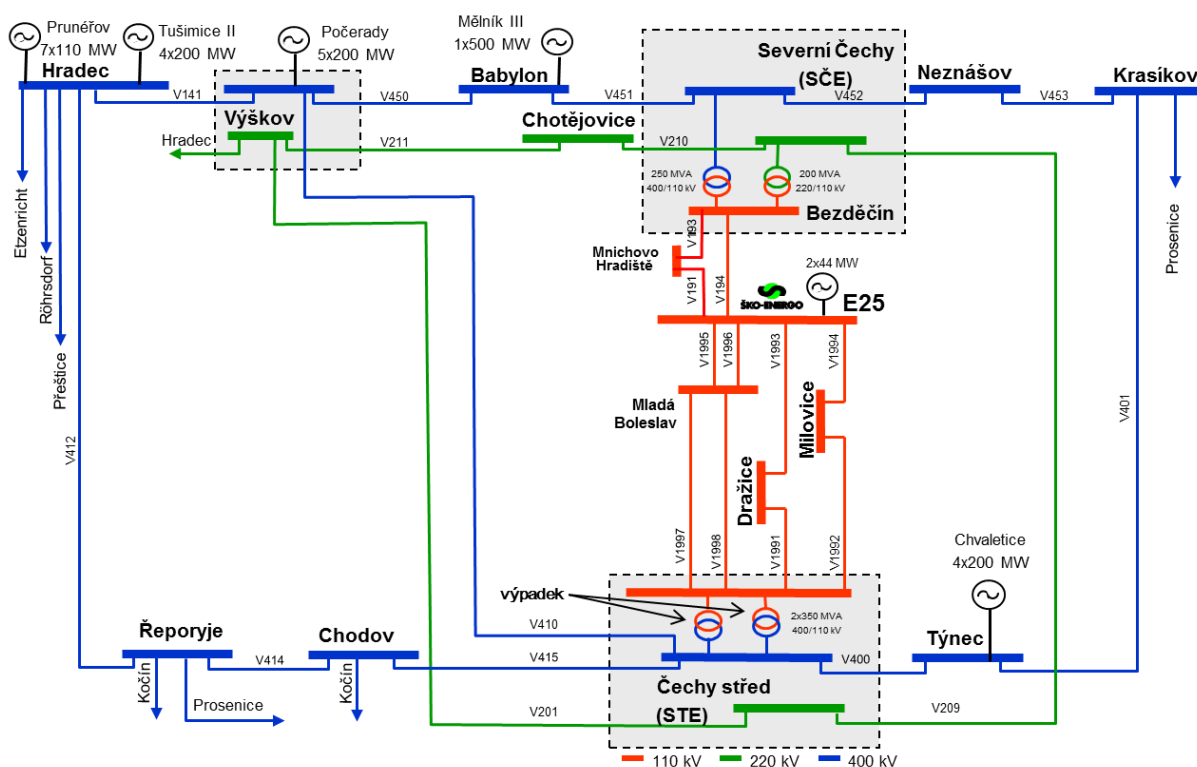
## 2.5 Ostrovní provoz se ŠKODA AUTO - 20.9.2011 -

Po více než třech letech se ŠKO ENERGO potýká s dalším „ostrovním provozem“, kdy 20.9.2011 nastal pokles napětí na síti 110 kV a šířil se z R110/ČECHY STŘED.

### 2.5.1 Příčina přechodu do ostrovního provozu

Pokles napětí, dle ČEZu, způsobila poštolka a následný výpadek dvou transformátorů, převod 400/110 kV. Pokles napětí na rozvodně E25 110 kV trval 100 ms a dosáhl hodnoty  $-40\% U_n$ . FREA16 zaznamenala pokles  $df/dt_{max} = -3 \text{ Hz/s}$  a  $f < f_{min} = 48,80 \text{ Hz}$  a zareagovala za 603 ms od počátku poruchy. Vypínací parametry FREY16 v rozpadovém místě byly překročeny a vypínač S 102 oddělil přípojnice „B“ a „C“ na rozvodně E25.

ŠKODA AUTO je v tuto chvíli, tedy 20.9.2011 v 6:45, zásobovaná energií pouze z teplárny ŠKO ENERGO přes přípojnici „C“ a nastává ostrovní provoz. [6]



Obr. 6 Výpadek dvou transformátorů



## 2.5.2 Výkonová bilance

Výkonová bilance těsně předtím, než nastal výpadek transformátorů 400/110 kV a než došlo k rozpojení rozpadového místa, oddělující přípojnice "B" a "C" na rozvodně E25.

### 2.5.2.1 Bezporuchový stav ( $t < 0$ ms)

- TG80 bez vl. spotř. (přednastaven pro výkonovou regulaci v OP)	<b>29,30 MW</b>
- TG90 bez vl. spotř. (přednastaven pro otáčkovou regulaci v OP)	<b>32,00 MW</b>
- Předávaný výkon do sítě 110 kV celkem	<b>61,30 MW</b>
- Dodávka do sítě	<b>0,00 MW</b>
- Odběr ze sítě (ze STE)	<b>13,00 MW</b>
- Spotřeba ŠKODA AUTO	<b>74,30 MW</b>

### 2.5.2.2 Poruchový stav ( $t = 0-603$ ms)

- TG80 bez vl. spotř. (přednastaven pro výkonovou regulaci v OP)	<b>34,00 MW</b>
- TG90 bez vl. spotř. (přednastaven pro otáčkovou regulaci v OP)	<b>44,00 MW</b>
- Předávaný výkon do sítě 110 kV celkem	<b>78,00 MW</b>
- Dodávka do sítě	<b>0,00 MW</b>
- Odběr ze sítě (ze STE)	<b>0,00 MW</b>
- Spotřeba ŠKODA AUTO	<b>56,10 MW</b>
- Pokles spotřeby ve ŠKODA AUTO vlivem podpětí	<b>18,20 MW</b>

## 2.5.3 Průběh ostrovního provozu

Před vznikem OP je výroba obou turbogenerátorů cca 68,36 MW (TG80 = 32,764 a TG90 = 35,596), z toho 7,06 MW na vlastní spotřebu. Čistá výroba tedy činí 61,3 MW a spotřeba ŠKODY AUTO před OP dosahuje 74,3 MW. Po poruše na síti 110 kV z R110/ČECHY STŘED odpadá dodávaný výkon v celkové výši 13 MW, frekvence v této době klesá se strmostí -3 Hz/s a generátory se snaží intuitivně ztracený výkon zastoupit a vyjíždějí s celkovým výkonem na 78 MW. Po přechodu do ostrova (v čase  $t = 603$  ms),

tedy osamocení se ŠKODY AUTO a ŠKO ENERGA na přípojnici „C“, je zároveň splněno kritérium frekvenční ochrany. Proto v čase  $t = 750$  ms, frekvenční ochrana FREA 16 dává povel k odlehčení a odpínací program odepíná celkem 7 kobek v celkové výši 12,1 MW. Viz výpis:

- kobka č. 7            1,6 MW
- kobka č. 12        6,6 MW
- kobka č. 18        0,1 MW
- kobka č. 21        0,5 MW
- kobka č. 41        0,5 MW
- kobka č. 47        0,1 MW
- kobka č. 52        2,7 MW

Celkem odlehčeno - 12,1 MW

Nastavený deficit 2 MW pro odpínací program je splněn a odlehčení proběhlo v pořádku.

Frekvence se ustaluje a dokonce stoupá nad 50 Hz, kvůli zvýšení výkonu generátorů těsně před odlehčením. TG90 nastavená pro otáčkovou regulaci zaznamenává trend frekvence a sjíždí s výkonem. Totéž v menší míře dělá i TG80. Frekvence se vyrovnává a TG se ustalují na výrobě cca 44 MW + vlastní spotřeba.

Z tabulky 2 je zřejmý pokles napětí po přechodu do ostrovního provozu, zejména na fázích L1-L2. Vlivem přechodového děje, z napěťové hladiny 110 kV, dochází k poklesu napětí i na NN ve všech třech fázích. Přechodový děj vygeneroval zákmity v době trvání cca 12 – 13 s, o velikosti  $\pm 7$  %  $U_n$ . V teplárně však tyto zákmity neměli žádný vliv na chod zařízení a motorů ve vlastní spotřebě. [6]

Tabulka 2 Naměřené hodnoty

Čas	TG80							TG90							$\sum P_{cinTG}$ před. do sítě	$\sum P_{cin}$ odběr ze sítě
	U1-U2	U2-U3	U3-U1	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$P_{cin} / \text{v} \ddot{y}r.$	U1-U2	U2-U3	U3-U1	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$P_{cin} / \text{v} \ddot{y}r.$		
06:44:55	6261	6268	6286	3450	3462	3457	32,764	6268	6261	6268	3733	3730	3728	35,596	61,3	13,008
06:45:00 OP	5804	5614	5906	4329	4458	4978	39,307	6100	5839	6036	4875	5139	5439	48,218	78,0	0,0
06:45:02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52,0	0,0
06:45:14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,8	0,0
06:45:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,4	0,0
06:45:32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,0	0,0
06:46:05	6247	6268	6272	3195	3166	3215	32,520	6268	6282	6272	2014	1965	1992	18,262	43,9	0,0
06:53:31 SYN	6261	6254	6268	3588	3650	3647	37,842	6268	6261	6282	1984	1899	1970	17,529	46,4	0,0
06:54:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,7	0,0
06:55:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,8	2,461
06:56:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,3	4,043
06:57:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,3	8,877

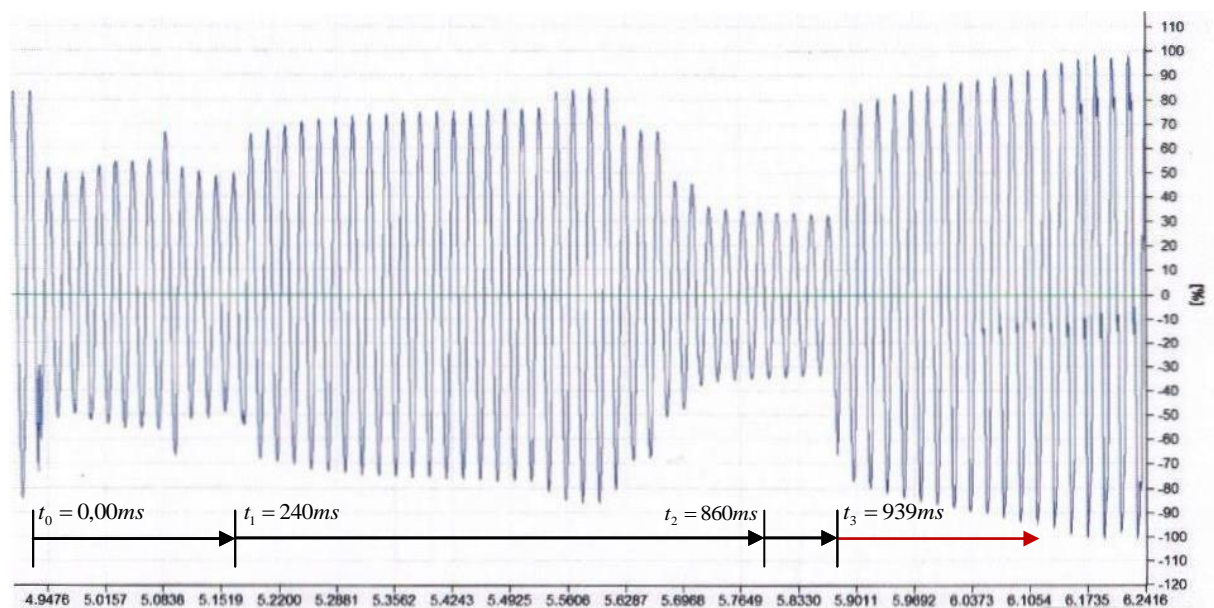
## 2.5.4 Shrnutí

- *výpadek transformátorů, převod 400/110 kV*  $t_0 = 0 \text{ ms}$
- *přechod do OP se ŠKODA Auto a.s.*  $t_1 = 603 \text{ ms}$
- *odlehčení 12,1 MW výkonu z automobilky*  $t_2 = 750 \text{ ms}$
- *ostrovní provoz se ŠKODA Auto trval* **8:31**
- *synchronizace – paralelní provoz se sítí ČEZ/SČE (STE stále bez napětí)* **06:53:31**
- *přejetí za provozu z R110/BEZDĚČÍN na R110/Č. STŘED* **10:12:36**

Za problém při tomto ostrovním provozu mohlo být považováno to, že při přechodovém ději se pokles napětí dostal i do automobilky a některé technologické celky zaregistrovaly tento pokles a odstavily řídicí systémy. Spotřeba ŠKODY AUTO klesla ze 74 MW na cca 44 MW.

## 2.6 Ostrovní provoz se ŠKODA AUTO - 2.10.2011 -

Tento ostrovní provoz nastal po méně jak dvou týdnech od posledního OP. Pokles napětí se šířil v několika vlnách za sebou.



Obr. 7 Průběh poklesu napětí [7]

## 2.6.1 Příčina přechodu do ostrovního provozu

Důvod poklesu podle vyjádření ČEZu byla pošťolka, která v čase  $t_0 = 0,00$  ms způsobila jednopólový zkrat na kostru portálu na vedení 110 kV, v blízkosti vypínače 110 kV TR201 (220 kV/110 kV) s následným obloukem, který přešel na dvoufázový zkrat a v rychlém sledu i na trojfázový. Následně došlo k explozi jedné z přípojovacích průchodek (izolátoru) 110 kV daného vypínače a k destrukci vypínače transformátoru T201 v prostřední fázi.

Pokles napětí se šířil v několika vlnách než došlo k rozpojení rozpadového místa v R110/E25, pole č.13. Zaznamenaná hloubka poklesu napětí činila -42 %  $U_n$  po dobu 240 ms a následně -63 %  $U_n$  po dobu 200 ms.

Na první podpětí v čase  $t_1 = 240$  ms nezareagovala napěťová ochrana v dělicím místě i když hodnota poklesu již měla k hodnotě mezní velice blízko. Povel VYP S 102, tedy rozpojení dělicího místa ve 110kV rozvodně E25, přišel až v čase  $t_2 = 860$  ms, kdy bylo splněno kritérium napěťové ochrany ( $U < 59 \% U_n + 80$  ms). Samotný chod vypínače v rozpadovém místě trval 79 ms. Ostrovní provoz nastává tedy v čase  $t_3 = 939$  ms od počátku zkratu. [7]

## 2.6.2 Výkonová bilance

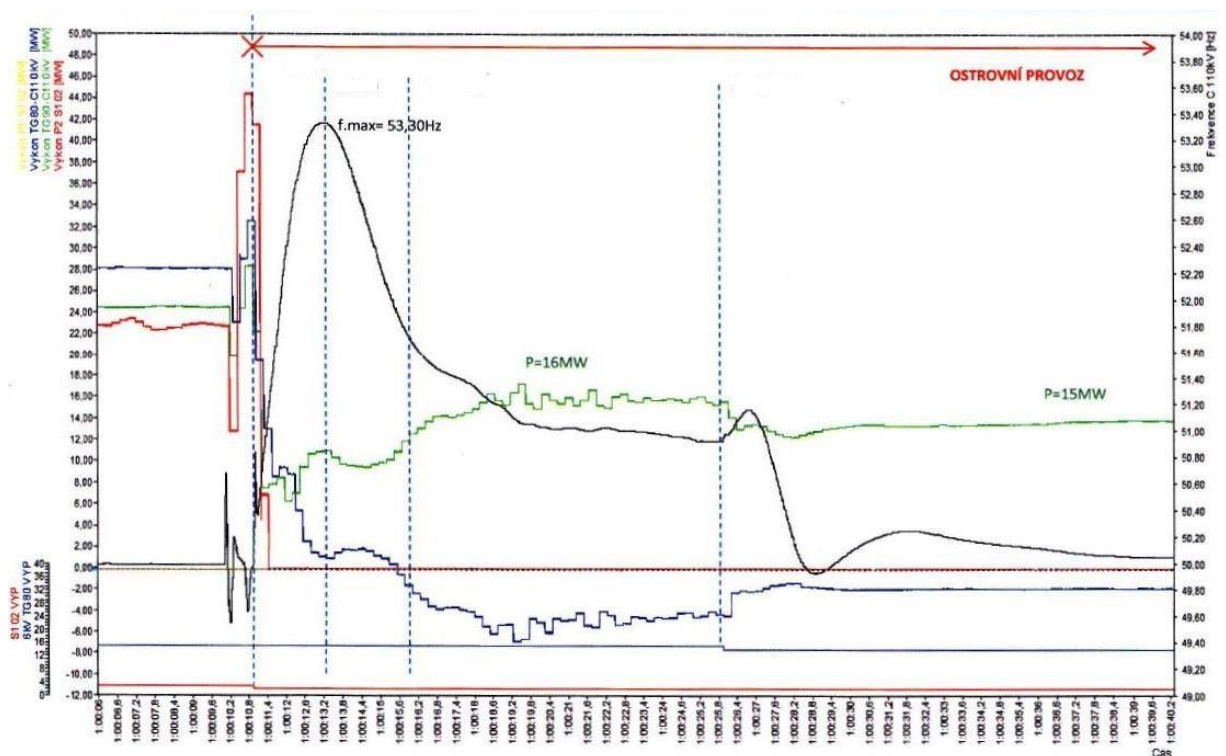
Výkonová bilance těsně předtím, než nastal zkrat na vedení 110 kV a než došlo k rozpojení rozpadového místa, oddělující přípojnice „B“ a „C“ na rozvodně E25.

### 2.6.2.1 Bezporuchový stav ( $t < 0$ ms)

- TG80 bez vl. spotř. (přednastaven pro otáčkovou regulaci v OP)	<b>28,03 MW</b>
- TG90 bez vl. spotř. (přednastaven pro výkonovou regulaci v OP)	<b>24,50 MW</b>
- Předávaný výkon do sítě 110 kV celkem	<b>52,53 MW</b>
- Dodávka do sítě	<b>23,50 MW</b>
- Spotřeba ŠKODA AUTO	<b>29,00 MW</b>

### 2.6.2.2 Poruchový stav (t = 0-939 ms)

- TG80 bez vl. spotř. (přednastaven pro otáčkovou regulaci v OP) **32,50 MW**
- TG90 bez vl. spotř. (přednastaven pro výkonovou regulaci v OP) **28,50 MW**
- Předávaný výkon do sítě 110 kV celkem **61,00 MW**
- Dodávka do sítě **44,50 MW**
- Spotřeba ŠKODA AUTO **16,50 MW**
- Pokles spotřeby ve ŠKODA AUTO vlivem podpětí **12,50 MW**



Obr. 8 Průběh odstavení TG80 zpětnou wattovou [7]

### 2.6.3 Průběh ostrovního provozu

Po rozpojení příčné spojky mezi 13. a 14. polem následuje velké odlehčení obou TG, protože se snížil požadavek na vyráběný výkon z 52,53 MW (špičkově až 61 MW) na pouhých 16,50 MW a požadavek na dodávaný výkon stále klesal. Proto dochází k přepětí +24 % Un po dobu 700 ms a frekvence dosahuje až k 53,13 Hz. TG80, který je nastaven na hlídání frekvence reaguje a sjíždí s výkonem a zastavuje se v čase 06:23:21 na 4,15 MW, kdy je frekvence stále vyšší. Do času 06:23:21 reaguje současně s TG80 i TG90, který také snižuje svůj vyráběný výkon, aby bylo dosaženo vyrovnaní poměru mezi výrobou a spotřebou

výkonu v OP. Protože nedochází k poklesu frekvence, tak TG80 sjíždí s výkonem až do té míry, že přechází do motorického chodu a je po 12 s odstaven zpětnou wattovou ochranou. TG90 si po přejetí TG80 do motorického chodu stále drží regulaci výkonu a zvyšuje svůj výkon až na 19,669 MW, tj. v čase 06:23:27 a frekvence je v téže chvíli 51,04 Hz. Změna regulace z výkonové na otáčkovou u TG90 nastává až po odstavení TG80 zpětnou wattovou ochranou. Následně tedy, v čase 06:23:39, TG90 už sleduje frekvenci a sjíždí s výkonem. TG90 v tu chvíli vyrábí pouze 16,675 MW, který byl požadován v OP a frekvence je ještě 50,18 Hz.

K další stabilizaci frekvence dopomohlo frekvenční relé, kdy v čase 06:24:09, FREA 16 zaznamenala pokles frekvence se strmostí -45 mHz/s. Tento pokles splnil kritérium B10 ( $df/dt > 44$  mHz/s a zároveň  $f < 49,8$  Hz) a dává pokyn k odlehčení 1,7 MW výkonu automobilky ŠKODA AUTO. Viz výpis:

- kobka č. 23      0,3 MW
  - kobka č. 52      0,5 MW
  - kobka č. 16      0,2 MW
  - kobka č. 40    1,0 MW (povel vykonán se zpožděním 39 s)
- Celkem odlehčeno   - 2,0 MW

V čase 06:31:21 klesala frekvence se strmostí -55 mHz/s a proběhlo odlehčení na základě splnění kritéria  $df/dt > 52$  mHz/s a zároveň  $f < 49,8$  Hz. Splněním těchto podmínek je vyslán příkaz k odpojení 1,9 MW výkonu. Přehled odpojených vývodů:

- kobka č. 12      0,2 MW
  - kobka č. 49      1,3 MW
  - kobka č. 39      0,1 MW
  - kobka č. 19      0,1 MW
  - kobka č. 15    0,3 MW
- Celkem odlehčeno   - 2,0 MW

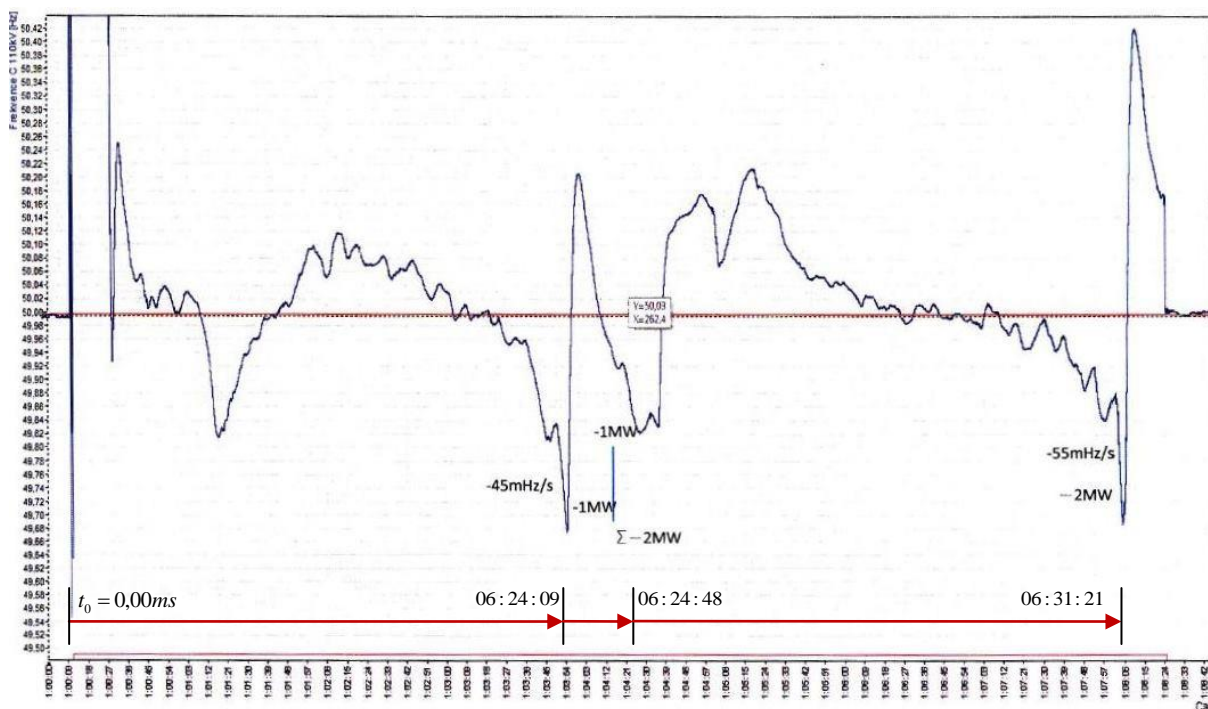
Následně se v čase 06:31:41 bylo možné přifázovat k rozvodně BEZDĚČÍN (ČEZ/SČE). Průběh frekvence i s časovým znázorněním je k nahlédnutí na obr. 9.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty

Čas	TG80	TG90	$\sum P_{\text{čínTG}}$ výroba	$\sum P_{\text{čínTG}}$ před. do sítě	$\sum P_{\text{čínTG}}$ vl. Spotřeba	$f [Hz]$
	$P_{\text{čín}}/\text{výr.}$	$P_{\text{čín}}/\text{výr.}$				
06:23:13	30,933	27,850	58,783	52,53	6,253	49,99
06:23:16 OP	26,489	41,600	68,089	58,30	9,789	50,23
06:23:20	6,240	12,700	18,940	12,50	6,440	52,58
06:23:21	4,150	13,650	17,800	10,20	7,600	53,13
06:23:28	-0,024	18,670	18,646	11,50	7,146	51,17
06:23:39	0	16,675	16,675	9,50	7,175	50,18
06:26:45	0	18,042	18,042	11,10	6,942	49,95
06:27:01	0	17,671	17,671	10,00	7,671	49,69
06:27:43	0	16,675	16,675	9,50	7,175	49,87
06:31:13	0	16,748	16,748	9,62	7,128	49,82

Tabulka 4 Naměřené hodnoty 1

Čas	TG80							TG90						
	U1-U2	U2-U3	U3-U1	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$P_{\text{čín}}/\text{výr.}$	U1-U2	U2-U3	U3-U1	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$P_{\text{čín}}/\text{výr.}$
06:23:13	6318	6339	6342	3176	3161	3168	30,933	6318	6314	6318	2900	2898	2893	27,850
06:23:16 OP	4412	4268	4352	4990	6066	5595	26,489	5084	5052	5105	5419	5407	5422	41,600
06:23:20	7126	7221	7116	954,6	925,3	854,5	6,240	7010	6905	6912	1111	1252	1252	12,700



Obr. 9 Průběh odlehčování zátěže [7]

Vlivem přechodového děje z napěťové hladiny 110 kV dochází k zákmitu-poklesu napětí i na NN straně vlastní spotřeby teplárny ve všech třech fázích. Projevilo se to na výpadku některých pohonů, které jsou řízeny frekvenčním měničem. Tyto dílčí výpadky však neměly žádný vliv na provoz teplárny. Proto nedošlo k automatickým záskokům, ani případným manipulacím (přepínáním) v rozvodně, jak na VN, tak na NN. [7]

#### 2.6.4 Shrnutí

- <i>jednopolový zkrat na kostru portálu na vedení 110 kV</i>	<i><math>t_0 = 0</math> ms</i>
- <i>povel rozpojení dělicího místa</i>	<i><math>t_2 = 860</math> ms</i>
- <i>přechod do OP se ŠKODA Auto a.s.</i>	<i><math>t_3 = 939</math> ms</i>
- <i>přeběh frekvence <math>f_{max} = 53,30</math> Hz</i>	<i>06:23:21</i>
- <i>přechod TG80 na motorický chod</i>	<i>06:23:27</i>
- <i>generátorový vypínač TG80 VYP zpětnou wattovou ochranou</i>	<i>06:23:39</i>
- <i>přechod TG90 z výkonové regulace na otáčkovou</i>	<i>06:23:39</i>
- <i>odlehčení 1 MW výkonu (<math>df/dt &gt; 44</math> mHz/s, <math>f &lt; 49,8</math> Hz)</i>	<i>06:24:09</i>
- <i>odlehčení 1 MW výkonu (<math>df/dt &gt; 44</math> mHz/s, <math>f &lt; 49,8</math> Hz)</i>	<i>06:24:48</i>
- <i>odlehčení 2 MW (<math>df/dt &gt; 52</math> mHz/s, <math>f &lt; 49,8</math> Hz)</i>	<i>06:31:21</i>
- <i>zpětné přifázování na R110/BEZDĚČÍN</i>	<i>06:31:41</i>
- <i>přifázování TG80</i>	<i>06:36:00</i>
- <i>zpětná manipulace na R110/Č. STŘED</i>	<i>14:25:00</i>

Při citlivějším nastavení napěťové ochrany by ostrovní provoz nastal už při prvním poklesu napětí, tj. v čase  $t_1 = 240$  ms a nedošlo by k výpadku cca 11,5 MW výkonu automobilky. Jako další problém vidím dlouhý interval mezi přjetím TG80 do motorického chodu a pozdní změnu regulace TG90 z výkonové na otáčkovou. Změna regulace je nastavená až po odstavení turbogenerátoru zpětnou wattovou. Jako možnou úpravu bych viděl nastavení změny regulace z výkonové na otáčkovou, už při zaregistrování záporné výkonové bilance na turbogenerátoru.

Další průběh ostrovní provozu se ŠKODA AUTO a odlehčování výkonu automobilky proběhlo oprávněně a chod byl bezproblémový.



### 3 Zkratové poměry v síti vlastní spotřeby VN/NN dle normy ČSN EN 60909-0

Ve všech případech se k určení zkratového proudu v místě zkratu použije ekvivalentní napěťový zdroj. Ekvivalentní napěťový zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, reaktory, transformátory a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí.

Pokud se počítají zkratové proudy v soustavách s rozdílnými hladinami napětí, je nutné přepočítat hodnoty impedancí z jedné napěťové hladiny na jinou, obvykle na tu napěťovou hladinu, ve které se má určit zkratový proud. V případě teplárny ŠKO-ENERGO tedy k napěťové hladině 6 kV a 0,690 kV.

Názorné schéma vlastní spotřeby je k nahlédnutí v příloze na straně B3. [8]

#### 3.1 Předpoklady pro výpočet zkratových poměrů

- Po dobu trvání zkratu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým po celou dobu trvání zkratu.
- Po dobu zkratu nedochází k žádným manipulacím v síti – nemění se konfigurace sítě.
- Odpory oblouku se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze.
- Transformátor T102 uvažován jako záloha.
- Za normální provoz je považován paralelní provoz s DS (pouze spojka č. 1 sepnutá)
- V ostrovním provozu jsou všechny spojky rozepnuté

#### 3.2 Výpočtová část zkratových impedancí netočivých strojů

U síťových napáječů, transformátorů, venkovních vedení, kabelů, reaktorů a podobných netočivých zařízení jsou si sousledná a zpětná zkratová impedance soustavy rovny:

$$\bar{Z}_{(1)} = \bar{Z}_{(2)}. [8]$$

### 3.2.1 Výpočet impedance soustavy 110 kV

V soustavě, u které je znám počáteční souměrný rázový zkratový výkon  $S_k''$ , pak lze impedanci určit jako:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_k''} \quad (2)$$

$$Z_Q = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{2500 \cdot 10^6} = 5,3240 \Omega,$$

kde

$c$  napěťový součinitel pro napětí  $U_{nQ}$

$U_{nQ}$  jmenovité napětí soustavy v bodě připojení napáječe

- Přepočítání na 6 kV

$$Z_{Q6kV} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{2500 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,0158 \Omega$$

$$\bar{Z}_{Q6kV} = (0 + j0,0158) \Omega$$

V případě soustav se jmenovitým napětím vyšším než 35 kV a zároveň napájených z venkovních vedení je možné impedanci  $\bar{Z}_Q$  považovat za reaktanci  $X_Q$ , tj.  $\bar{Z}_Q = 0 + jX_Q$ . V jiných případech, jestliže není pro rezistanci  $R_Q$  síťových napáječů známá žádná přesná hodnota, je možno dosadit  $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$ , kde  $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$ . [8]

### 3.2.2 Výpočet impedance kabelového vedení 110 kV

Souslednou zkratovou impedanci vedení  $\bar{Z}_L = R_L + jX_L$  lze vypočítat z parametrů, jako jsou průřezy a rozteče vodičů. Impedance  $R_L$  a  $X_L$  kabelů závisí na pracovních postupech a normách jednotlivých států. Můžeme je také najít v normě IEC 60909-2 a nebo z údajů od výrobce. [8]

Ve firmě ŠKO-ENERGO se jedná o 110kV kabelové vedení od blokového transformátoru do rozvodny 110 kV (E25). Jádru kabelu tvoří měď o průměru 240 mm<sup>2</sup>. Z katalogu byla získána rezistance vodiče  $R_L$  na jednotku délky, tj. 0,075 Ω/km a indukčnost kabelu  $L = 0,550$  mH/km. Reaktance  $X_L$  je vypočítána jako součin úhlové frekvence  $\omega$ , indukčnosti kabelu  $L$  a délky  $l$ . Kabelové vedení tvoří tři fázové vodiče o délce 420m.

$$R_L = 3 \cdot R \cdot l = 3 \cdot 0,075 \cdot 0,42 = 0,0945\Omega \quad (3)$$

$$X_L = 3 \cdot \omega \cdot L \cdot l = 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,55 \cdot 10^{-3} \cdot 0,42 = 0,2177\Omega \quad (4)$$

$$\bar{Z}_L = R_L + jX_L = (0,0945 + j0,2177)\Omega \quad (5)$$

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{0,0945^2 + 0,2177^2} = 0,2373\Omega \quad (6)$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{L6kV} = (0,0945 + j0,2177) \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3} \right)^2 = (0,2812 + j0,6477) \cdot 10^{-3} \Omega$$

### 3.2.3 Výpočet impedance blokového transformátoru 80/90BAT01

Sousledné zkratové impedance  $\bar{Z} = R_T + jX_T$  a poměrnou reaktanci  $x$  u dvouvinutových transformátorů s regulovatelnými odbočkami při zatížení nebo bez nich je možné vypočítat ze jmenovitých údajů transformátoru následovně: [8]

- strana nižšího napětí

$$Z_{bTLV} = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{nTLV}^2}{S_{nT}} = \frac{14}{100} \cdot \frac{(6,3 \cdot 10^3)^2}{50 \cdot 10^6} = 0,1111\Omega \quad (7)$$

$$R_{bTLV} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{nTLV}^2} = \frac{239 \cdot 10^3}{3 \cdot 4582,1^2} = 3,7944 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (8)$$

$$X_{bTLV} = \sqrt{Z_{bTLV}^2 - R_{bTLV}^2} = \sqrt{0,1111^2 - (3,7944 \cdot 10^{-3})^2} = 0,1110\Omega \quad (9)$$

$$x_{bTLV} = X_{bTLV} \cdot \frac{S_{nT}}{U_{nTLV}^2} = 0,111 \cdot \frac{50 \cdot 10^6}{(6,3 \cdot 10^3)^2} = 0,1398, \quad (10)$$

kde

- $u_k$  jmenovité napětí nakrátko v procentech
- $S_{nT}$  jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
- $P_{kT}$  jmenovité ztráty nakrátko transformátoru
- $U_{nTLV}$  jmenovité napětí transformátoru na straně nižšího napětí
- $I_{nTLV}$  jmenovitý proud transformátoru na straně nižšího napětí
- $x_{bTLV}$  poměrná reaktance blokového transformátoru na straně nižšího napětí

Pro výpočet zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárenského bloku, dle normy ČSN EN 60909-0, je nutné použít korigované impedance generátoru a blokového transformátoru. [8]

Korekční součinitel blokového transformátoru se pak vypočítá pomocí rovnice:

$$K_{T,S} = \frac{c_{\max}}{1 - x_t \cdot \sin \varphi_{nG}} = \frac{1,10}{1 - 0,1398 \cdot 0,4359} = 1,1714, \quad (11)$$

korigovaná impedance blokového transformátoru tedy je:

$$\bar{Z}_{KbTLV} = K_{T,S} \cdot \bar{Z}_{bTLV} = 1,1714 \cdot (3,7944 \cdot 10^{-3} + j0,111) = (4,4448 \cdot 10^{-3} + j0,1300)\Omega, \quad (12)$$

kde

- $x_t$  poměrná reaktance blokového transformátoru na straně nižšího napětí
- $\varphi_{nG}$  fázový úhel mezi  $\bar{I}_{nG}$  a  $\bar{U}_{nG} / \sqrt{3}$ , určen pomocí jmenovitého účinníku  $\cos \varphi_{nG} = 0,9$
- $\bar{Z}_{bTHV}$  impedance blokového transformátoru na straně nižšího napětí

### 3.2.4 Výpočet impedance transformátoru T101 - 63MVA (T102, T103)

Distribuční transformátory T101, T102 a T103 jsou trojvintuřové s převodem 110/22/10,5 kV. Slouží k napájení spotřeby automobilky ŠKODA AUTO. Výkon každého z nich činí 63 MVA. Napětí nakrátko je 15,8 %. Vzhledem k tomu, že nejsou k dispozici jmenovité činné

a induktivní složky napětí nakrátko mezi stranami A-B, A-C a B-C, uvažují tento transformátor jako dvojitý s převodem 110/22 kV.

- strana vyššího napětí

$$Z_{THV} = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{nTHV}^2}{S_{nT}} = \frac{15,8}{100} \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{63 \cdot 10^6} = 30,3460 \Omega$$

$$R_{THV} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{nTHV}^2} = \frac{315 \cdot 10^3}{3 \cdot 331^2} = 0,9584 \Omega$$

$$X_{THV} = \sqrt{Z_{THV}^2 - R_{THV}^2} = \sqrt{30,3460^2 - 0,9584^2} = 30,3309 \Omega$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{THV6kV} = (0,9584 + j30,3309) \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3} \right)^2 = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} \Omega$$

### 3.2.5 Výpočet impedance všeobecného transformátoru 00BCT01

Jedná se o všeobecný transformátor 00BCT01, napájený z přípojnice 00AJA z rozvodny E25 22kV. Jmenovitý výkon transformátoru je 20 MVA a napětí nakrátko 10 %.

$$Z_{vTLV} = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{nTLV}^2}{S_{nT}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{(6,3 \cdot 10^3)^2}{20 \cdot 10^6} = 0,1985 \Omega$$

$$R_{vTLV} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{nTLV}^2} = \frac{131 \cdot 10^3}{3 \cdot 1832,8^2} = 12,999 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{vTLV} = \sqrt{Z_{vTLV}^2 - R_{vTLV}^2} = \sqrt{0,1985^2 - (12,999 \cdot 10^{-3})^2} = 0,1981 \Omega$$

$$\bar{Z}_{vTLV} = (12,999 \cdot 10^{-3} + j0,1981) \Omega,$$

kde

$U_{nTLV}$  jmenovité napětí transformátoru na straně nižšího napětí

$I_{nTLV}$  jmenovitý proud transformátoru na straně nižšího napětí

### 3.2.6 Výpočet impedance transformátoru 80/90BFT02

Jedná se o transformátor 80BFT02 (90BFT02), napájený z rozvodny 80BBA (90BBA) na napěťové hladině 6 kV. Jmenovitý výkon transformátoru je 1,6 MVA a napětí nakrátko 6 %.

- strana vyššího napětí

$$Z_{T1HV} = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{nTHV}^2}{S_{nT}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,6 \cdot 10^6} = 1,3500\Omega$$

$$R_{T1HV} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{nTHV}^2} = \frac{8 \cdot 10^3}{3 \cdot 154^2} = 0,1124\Omega$$

$$X_{T1HV} = \sqrt{Z_{T1HV}^2 - R_{T1HV}^2} = \sqrt{1,35^2 - 0,1124^2} = 1,3453\Omega$$

$$\bar{Z}_{T1HV} = (0,1124 + j1,3453)\Omega$$

### 3.2.7 Výpočet impedance transformátoru 00BHT01/02

Jedná se o transformátor 00BHT01 (00BHT02), propojující rozvodnu 00BCA (00BCB) na napěťové hladině 6 kV a rozvodnu 00BHA (00BHB) na napěťové hladině 0,4 kV. Jmenovitý výkon transformátoru je 1,6 MVA a napětí nakrátko 6 %.

$$Z_{T2HV} = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{nTHV}^2}{S_{nT}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,6 \cdot 10^6} = 1,3500\Omega$$

$$R_{T2HV} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{nTHV}^2} = \frac{19 \cdot 10^3}{3 \cdot 192,5^2} = 0,1709\Omega$$

$$X_{T2HV} = \sqrt{Z_{T2HV}^2 - R_{T2HV}^2} = \sqrt{1,35^2 - 0,1709^2} = 1,3391\Omega$$

$$\bar{Z}_{T2HV} = (0,1709 + j1,3391)\Omega$$

### 3.2.8 Výpočet impedance transformátoru 80/90BFT01

Transformátory 80BFT01 a 90BFT01 jsou trojvinut'ové s převodem 6/0,725/0,42 kV. Jmenovité výkony jsou 4,1/2,5/1,6 MVA a napětí nakrátko je 8 %.

V případě výpočtů sousledné zkratové impedance  $\bar{Z}_A$ ,  $\bar{Z}_B$  a  $\bar{Z}_C$  u trojvinut'ových transformátorů lze použít následující vzorce:

$$\bar{Z}_{AB} = \left( \frac{u_{kRAB}}{100\%} + j \frac{u_{kXAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{nTA}^2}{S_{nTAB}} \quad (13a)$$

$$\bar{Z}_{AC} = \left( \frac{u_{kRAC}}{100\%} + j \frac{u_{kXAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{nTA}^2}{S_{nTAC}} \quad (13b)$$

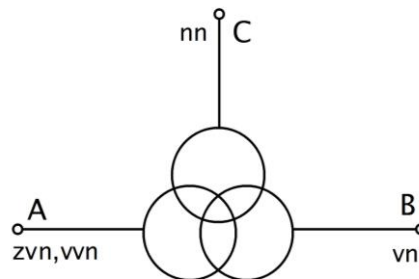
$$\bar{Z}_{BC} = \left( \frac{u_{kRBC}}{100\%} + j \frac{u_{kXBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{nTA}^2}{S_{nTBC}} , \quad (13c)$$

kde

$U_{nTA}$  jmenovité napětí na straně A

$S_{nTAB}$  jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B

$u_{kRAB}$  a  $u_{kXAB}$  jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko mezi stranami A a B



Obr. 10 Označení zapojení vinutí

Dále pak jednotlivé sousledné zkratové impedance dopočítáme podle vztahu:

$$\bar{Z}_A = \frac{1}{2} \cdot (\bar{Z}_{AB} + \bar{Z}_{AC} - \bar{Z}_{BC}) \quad (14a)$$

$$\bar{Z}_B = \frac{1}{2} \cdot (\bar{Z}_{BC} + \bar{Z}_{AB} - \bar{Z}_{AC}) \quad (14b)$$

$$\bar{Z}_C = \frac{1}{2} \cdot (\bar{Z}_{AC} + \bar{Z}_{BC} - \bar{Z}_{AB}) \quad (14c)$$

Avšak pokud nám není známá induktivní složka napětí nakrátko  $u_{kX}$ , je možné zjištění induktivní složky napětí nakrátko za pomoci rovnice (15), použitím absolutní hodnoty  $u_k$  a činné složky napětí nakrátko  $u_{kR}$ .

$$u_{kX} = \sqrt{u_k^2 - u_{kR}^2} = \sqrt{0,08^2 - (4,902 \cdot 10^{-3})^2} = 79,85 \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

Dosazením do (13a, 13b, 13c), získáme:

$$\bar{Z}_{AB} = (4,902 + j79,85) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{2,5 \cdot 10^6} = (0,0706 + j1,1498) \Omega$$

$$\bar{Z}_{AC} = (4,902 + j79,85) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,6 \cdot 10^6} = (0,1103 + j1,7966) \Omega$$

$$\bar{Z}_{BC} = (4,902 + j79,85) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,6 \cdot 10^6} = (0,1103 + j1,7966) \Omega$$

Vložením výsledků do rovnice (14a, 14b a 14c) získáme celkovou impedanci na jednotlivých stranách:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_A &= \frac{1}{2} \cdot ((0,0706 + j1,1498) + (0,1103 + j1,7966) - (0,1103 + j1,7966)) \\ \bar{Z}_A &= (0,0353 + j0,5749) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_B &= \frac{1}{2} \cdot ((0,1103 + j1,7966) + (0,0706 + j1,1498) - (0,1103 + j1,7966)) \\ \bar{Z}_B &= (0,0353 + j0,5749) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_C &= \frac{1}{2} \cdot ((0,1103 + j1,7966) + (0,1103 + j1,7966) - (0,0706 + j1,1498)) \\ \bar{Z}_C &= (0,075 + j1,2217) \Omega \end{aligned}$$



### 3.2.9 Výpočet impedance synchronního generátoru 80/90MKA01

V teplárně ŠKO-ENERGO jsou umístěny dva generátory značky Siemens a každý o jmenovitém výkonu 49 MVA.

Při výpočtu souměrných rázových zkratových proudů v soustavách napájených z generátorů s blokovým transformátorem je možné impedanci spočítat následovně:

$$\bar{Z}_G = R_G + jX_d'' , \quad (16)$$

$$X_d'' = x_d'' \cdot \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} = 0,18 \cdot \frac{(6,3 \cdot 10^3)^2}{49 \cdot 10^6} = 0,1458 \Omega \quad (17)$$

Jestliže nám není známá hodnota rezistance synchronního generátoru je možné s dostatečnou přesností použít tabulkové hodnoty. V našem případě:

$$R_{Gf} = 0,07 \cdot X_d'' \text{ pro generátory s } U_{nG} > 1 \text{ kV a } S_{nG} < 100 \text{ MVA,}$$

pak tedy

$$R_{Gf} = 0,07 \cdot X_d'' = 0,07 \cdot 0,1458 = 0,0102 \Omega ,$$

úpravou ve vzorci (16), získáme nový

$$\bar{Z}_G = R_{Gf} + jX_d'' = (0,0102 + j0,1458) \Omega \quad (18)$$

$$Z_G = \sqrt{R_{Gf}^2 + X_d''^2} = \sqrt{0,0102^2 + 0,1458^2} = 0,1462 \Omega$$

Pro výpočet zkratových poměrů ve vlastní spotřebě elektrárenského bloku, dle normy ČSN EN 60909-0, je nutné použít korigované impedance generátoru a blokového transformátoru. [8]

Korekční součinitel generátoru se pak vypočítá pomocí rovnice:

$$K_{G,S} = \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{nG}} = \frac{1,10}{1 + 0,18 \cdot 0,4359} = 1,02 , \quad (19)$$

korigovaná impedance generátoru tedy je:

$$\bar{Z}_{KG} = K_{G,S} \cdot \bar{Z}_G = 1,02 \cdot (0,0102 + j0,1458) = (0,0104 + j0,1487)\Omega, \quad (20)$$

kde

$x_d''$  poměrná rázová reaktance synchronního generátoru

$\varphi_{nG}$  fázový úhel mezi  $\bar{I}_{nG}$  a  $\bar{U}_{nG}/\sqrt{3}$ , určen pomocí jmenovitého účinníku  $\cos \varphi_{nG} = 0,9$

$\bar{Z}_G$  impedance synchronního generátoru

### 3.2.10 Výpočet impedance reaktoru 80/90BBT01

Reaktory jsou určeny ke krátkodobému omezení zkratového proudu při poruchových stavech v síti a považují se za součást zkratové impedance. Reaktor zapojený ve vlastní spotřebě teplárny ŠKO-ENERGO je pro ukázkou přiložen v příloze na straně A3.

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100\%} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}I_{rR}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1900} = 0,1094\Omega, \quad (21)$$

$$\bar{Z}_R = (0 + j0,1094)\Omega,$$

protože platí,

$$R_R \ll X_R, \quad (22)$$

kde

$u_{kR}$ ,  $I_{rR}$  uvedeny na štítku

$U_n$  jmenovité napětí soustavy

### 3.3 Výpočtová část příspěvků motorů

„Motory vysokého napětí a nízkého napětí přispívají k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu  $I_k''$ , k nárazovému zkratovému proudu  $i_p$ , k souměrnému zkratovému vypínacímu proudu  $I_b$  a u nesouměrných zkratů také k ustálenému zkratovému proudu  $I_k$ .“ [8]

Při výpočtu zkratových proudů lze zanedbat ty motory vysokého a nízkého napětí, které s ohledem na schéma zapojení (blokování) nebo funkci (reverzní pohony armatur) nejsou zároveň v provozu.

Impedance  $\bar{Z}_M = R_M + jX_M$  asynchronních motorů v sousledné a zpětné složkové soustavě lze určit vztahem: [8]

$$Z_M = \frac{1}{I_{an}/I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}}{\sqrt{3}I_{nM}} = \frac{1}{I_{an}/I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}}, \quad (23)$$

kde

$I_{an}/I_{nM}$  poměr záběrného proudu ke jmenovitému proudu motoru

$U_{nM}$  jmenovité napětí motoru

$I_{nM}$  jmenovitý proud motoru

Pokud neznáme poměr  $R_M/X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností tyto tabulkové hodnoty: [8]

$R_M/X_M = 0,10$ , s  $X_M = 0,995 \cdot Z_M \Rightarrow$  pro motory vn o výkonu  $P_{nM} > 1MW$  ;

$R_M/X_M = 0,15$ , s  $X_M = 0,989 \cdot Z_M \Rightarrow$  pro motory vn o výkonu  $P_{nM} < 1MW$  ;

$R_M/X_M = 0,42$ , s  $X_M = 0,922 \cdot Z_M \Rightarrow$  pro skupiny nn motorů včetně přípoj. kabelů.

Následující výpočty impedancí motorů budu vztahovat na příslušné rozvodny vn a nn ve vlastní spotřebě teplárny.

### 3.3.1 Výpočet impedančního příspěvku ze závodu ŠKODA AUTO

V tomto výpočtu jsem nahradil všechny motory podniku ŠKODA AUTO, jedním ekvivalentním motorem o výkonu 37,8 MVA

00AJA (00AJB, 00AJC)

$$I_{an}/I_{nM} = 6 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 37,8MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{M\dot{S}A} = \frac{1}{I_{an}/I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{37,8 \cdot 10^6} = 2,1340 \Omega$$

Pokud neznáme poměr  $R_M / X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností:

$$R_M / X_M = 0,10, \text{ s } X_M = 0,995 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{M\dot{S}A} = 0,995 \cdot Z_{M\dot{S}A} = 0,995 \cdot 2,134 = 2,1233 \Omega \quad (24)$$

$$R_{M\dot{S}A} = 0,1 \cdot X_{M\dot{S}A} = 0,1 \cdot 2,1233 = 0,2123 \Omega \quad (25)$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{M\dot{S}A6kV} = (0,2123 + j2,1233) \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (0,0158 + j0,1579) \Omega$$

### 3.3.2 Výpočet impedance skupin vn motorů v síti vlastní spotřeby

Výpočet asynchronních motorů ve vlastní spotřebě na hladině 6 kV je možné rozdělit do dvou skupin podle poměru  $I_{an}/I_{nM}$ . Jedná se o rozvodny 80BBA (90BBA) a 00BCA (00BCB).

Počítán bude jeden elektrárenský blok, stejně jako to bylo u předchozích výpočtů.

80BBA (90BBA)

$$1. \quad I_{an}/I_{nM} = 5,5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 3,632 MVA$$

$$2. \quad I_{an}/I_{nM} = 6 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,063 MVA$$

00BCA (00BCB)

$$1. \quad I_{an}/I_{nM} = 5,5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,264 MVA$$

$$2. \quad I_{an}/I_{nM} = 6 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 4,289 MVA$$

**3.3.2.1 Výpočet impedance skupin vn motorů na 80/90BBA s  $I_{an}/I_{nM}=5,5$** 

$$I_{an} / I_{nM} = 5,5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 3,632 MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mvn1} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{3,632 \cdot 10^6} = 1,8022 \Omega$$

Pokud neznáme poměr  $R_M / X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností:

$$R_M / X_M = 0,10, \text{ s } X_M = 0,995 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mvn1} = 0,995 \cdot Z_{Mvn1} = 0,995 \cdot 1,8022 = 1,7932 \Omega$$

$$R_{Mvn1} = 0,1 \cdot X_{Mvn1} = 0,1 \cdot 1,7932 = 0,1793 \Omega$$

$$\bar{Z}_{Mvn1} = (0,1793 + j1,7932) \Omega$$

**3.3.2.2 Výpočet impedance skupin vn motorů na 80/90BBA s  $I_{an}/I_{nM}=6$** 

$$I_{an} / I_{nM} = 6 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,063 MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mvn2} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,063 \cdot 10^6} = 5,6444 \Omega$$

Pokud neznáme poměr  $R_M / X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností:

$$R_M / X_M = 0,10, \text{ s } X_M = 0,995 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mvn2} = 0,995 \cdot Z_{Mvn2} = 0,995 \cdot 5,6444 = 5,6162\Omega$$

$$R_{Mvn2} = 0,1 \cdot X_{Mvn2} = 0,1 \cdot 5,6162 = 0,5616\Omega$$

$$\bar{Z}_{Mvn2} = (0,5616 + j5,6162)\Omega$$

### 3.3.2.3 Výpočet impedance skupin vn motorů na 00BCA/B s $I_{an}/I_{nM}=5,5$

$$I_{an} / I_{nM} = 5,5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,264MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mvn3} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{1,264 \cdot 10^6} = 5,1784\Omega$$

Pokud neznáme poměr  $R_M / X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností:

$$R_M / X_M = 0,10, \text{ s } X_M = 0,995 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mvn3} = 0,995 \cdot Z_{Mvn3} = 0,995 \cdot 5,1784 = 5,1525\Omega$$

$$R_{Mvn3} = 0,1 \cdot X_{Mvn3} = 0,1 \cdot 5,1525 = 0,5153\Omega$$

$$\bar{Z}_{Mvn3} = (0,5153 + j5,1525)\Omega$$

### 3.3.2.4 Výpočet impedance skupin vn motorů na 00BCA/B s $I_{an}/I_{nM}=6$

$$I_{an} / I_{nM} = 6 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 4,289MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mvn4} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{4,289 \cdot 10^6} = 1,3989 \Omega$$

Pokud neznáme poměr  $R_M / X_M$ , pak lze použít s dostatečnou přesností:

$$R_M / X_M = 0,10, \text{ s } X_M = 0,995 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mvn4} = 0,995 \cdot Z_{Mvn4} = 0,995 \cdot 1,3989 = 1,3919 \Omega$$

$$R_{Mvn4} = 0,1 \cdot X_{Mvn4} = 0,1 \cdot 1,3919 = 0,1392 \Omega$$

$$\bar{Z}_{Mvn4} = (0,1392 + j1,3919) \Omega$$

### 3.3.3 Výpočet impedance skupin nn motorů v síti vlastní spotřeby

Výpočet asynchronních motorů ve vlastní spotřebě na hladině nn je možné rozdělit do skupin a vztahovat zkratový příspěvek skupin motorů na jednotlivé nadřazené rozvodny. Proto budu dále vztahovat výpočet impedancí k nadřazeným rozvodnám. Motory řízeny frekvenčním měničem neuvažují. Pro lepší názornost jsou nn rozvodny na hladinách 690 V a 400 V zobrazeny v příloze na straně B2.

Jedná se o rozvodny:

690V

$$- \text{80BFA (90BFA)} \Rightarrow \sum S_{nM} = 0,981 MVA$$

400V

$$- \text{80BFC (90BFC)} \Rightarrow \sum S_{nM} = 1,600 MVA$$

$$- \text{80BFB (90BFB)} \Rightarrow \sum S_{nM} = 0,820 MVA$$

$$- \text{00BHA (00BHB)} \Rightarrow \sum S_{nM} = 1,570 MVA$$

### 3.3.3.1 Výpočet impedance rozvodny 80/90BFA

$$I_{an} / I_{nM} = 5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 0,981 MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mnn1} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{690^2}{0,981 \cdot 10^6} = 97,064 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Dle normy ČSN EN 60909-0, lze následující vztahy použít s dostatečnou přesností pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně přípojovacích kabelů:

$$R_M / X_M = 0,42, \text{ s } X_M = 0,922 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mnn1} = 0,922 \cdot Z_{Mnn1} = 0,922 \cdot 97,064 \cdot 10^{-3} = 89,493 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{Mnn1} = 0,42 \cdot X_{Mnn1} = 0,42 \cdot 89,493 \cdot 10^{-3} = 37,587 \cdot 10^{-3} \Omega$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{Mnn1 6kV} = (37,587 + j89,493) \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{690} \right)^2 = (2,8421 + j6,767) \Omega$$

### 3.3.3.2 Výpočet impedance rozvodny 80/90BFC

$$I_{an} / I_{nM} = 5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,600 MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mnn2} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{400^2}{1,6 \cdot 10^6} = 20,00 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Dle normy ČSN EN 60909-0, lze následující vztahy použít s dostatečnou přesností pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně přípojovacích kabelů:



$$R_M / X_M = 0,42, \text{ s } X_M = 0,922 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mnn2} = 0,922 \cdot Z_{Mnn2} = 0,922 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 18,44 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{Mnn1} = 0,42 \cdot X_{Mnn2} = 0,42 \cdot 18,44 \cdot 10^{-3} = 7,745 \cdot 10^{-3} \Omega$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{Mnn26kV} = (7,745 + j18,44) \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{400} \right)^2 = (1,7426 + j4,149) \Omega$$

### 3.3.3.3 Výpočet impedance rozvodny 80/90BFB

$$I_{an} / I_{nM} = 5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 0,820 MVA$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mnn3} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{400^2}{0,82 \cdot 10^6} = 39,024 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Dle normy ČSN EN 60909-0, lze následující vztahy použít s dostatečnou přesností pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně připojovacích kabelů:

$$R_M / X_M = 0,42, \text{ s } X_M = 0,922 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mnn3} = 0,922 \cdot Z_{Mnn3} = 0,922 \cdot 39,024 \cdot 10^{-3} = 35,980 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{Mnn3} = 0,42 \cdot X_{Mnn3} = 0,42 \cdot 35,98 \cdot 10^{-3} = 15,112 \cdot 10^{-3} \Omega$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{Mnn36kV} = (15,112 + j35,98) \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{400} \right)^2 = (3,4002 + j8,0955) \Omega$$

### 3.3.3.4 Výpočet impedance rozvodny 00BHA/B

$$I_{an} / I_{nM} = 5 \quad \Rightarrow \quad \sum S_{nM} = 1,570 \text{ MVA}$$

Použitím vzorce (23), získáme impedanci:

$$Z_{Mnn4} = \frac{1}{I_{an} / I_{nM}} \cdot \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{400^2}{1,57 \cdot 10^6} = 20,382 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Dle normy ČSN EN 60909-0, lze následující vztahy použít s dostatečnou přesností pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně přípojovacích kabelů:

$$R_M / X_M = 0,42, \text{ s } X_M = 0,922 \cdot Z_M,$$

pak tedy:

$$X_{Mnn4} = 0,922 \cdot Z_{Mnn4} = 0,922 \cdot 20,382 \cdot 10^{-3} = 18,792 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{Mnn4} = 0,42 \cdot X_{Mnn4} = 0,42 \cdot 18,792 \cdot 10^{-3} = 7,893 \cdot 10^{-3} \Omega$$

- Přepočítání na 6 kV

$$\bar{Z}_{Mnn46kV} = (7,893 + j18,792) \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{400} \right)^2 = (1,7759 + j4,2282) \Omega$$

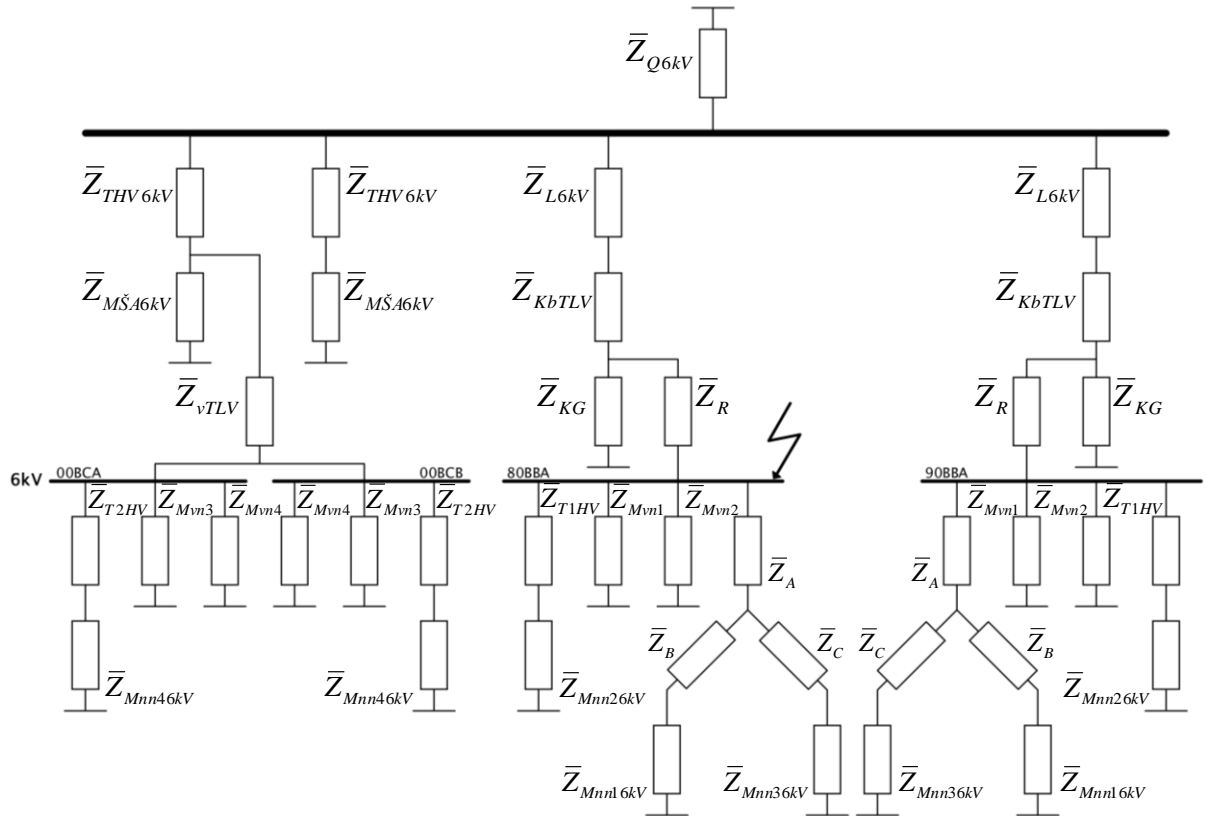
## 3.4 Příspěvek zkratových proudů do rozvodny 80/90BBA (6 kV)

Pro výpočet zkratových poměrů v místě zkratu je možné síť převést pomocí transfigurace na ekvivalentní zkratovou impedanci  $\bar{Z}_K$  v místě zkratu. V tomto případě se jedná o rozvodnu 80BBA (90BBA). Příklad budu řešit ve dvou variantách zapojení:

1. Normální provoz - paralelní provoz s distribuční sítí *(pouze spojka č. 1 sepnutá)*
2. Ostrovní provoz *(všechny spojky rozepnuté)*

Náhradní schéma teplárny je k nahlédnutí v příloze na straně B3. Transformátor T102 je uvažován jako záloha. Numerické výpočty se nachází ve výpočtové příloze „C“.

### 3.4.1 Paralelní provoz s distribuční sítí



Obr. 11 Celkové náhradní schéma (zkrat 80/90BBA)

Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right) \right) + \bar{Z}_A} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV}} \right) + \bar{Z}_R} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}}} \right) + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV} \quad (26)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od transformátoru pro napájení ŠKODA AUTO a všeobecného transformátoru i s příspěvkem točivých strojů na napěťové hladině 22 kV  $\bar{Z}_{\check{S}KvT}$  se vypočítá podle rovnice (27).

$$\bar{Z}_{\check{S}KvT} = \left( \frac{1}{\left( \frac{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{T2HV} + \bar{Z}_{Mnn46kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right)^{-1}} \right) + \bar{Z}_{vTLV}}{2} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{M\check{S}A6kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{THV6kV} \quad (27)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

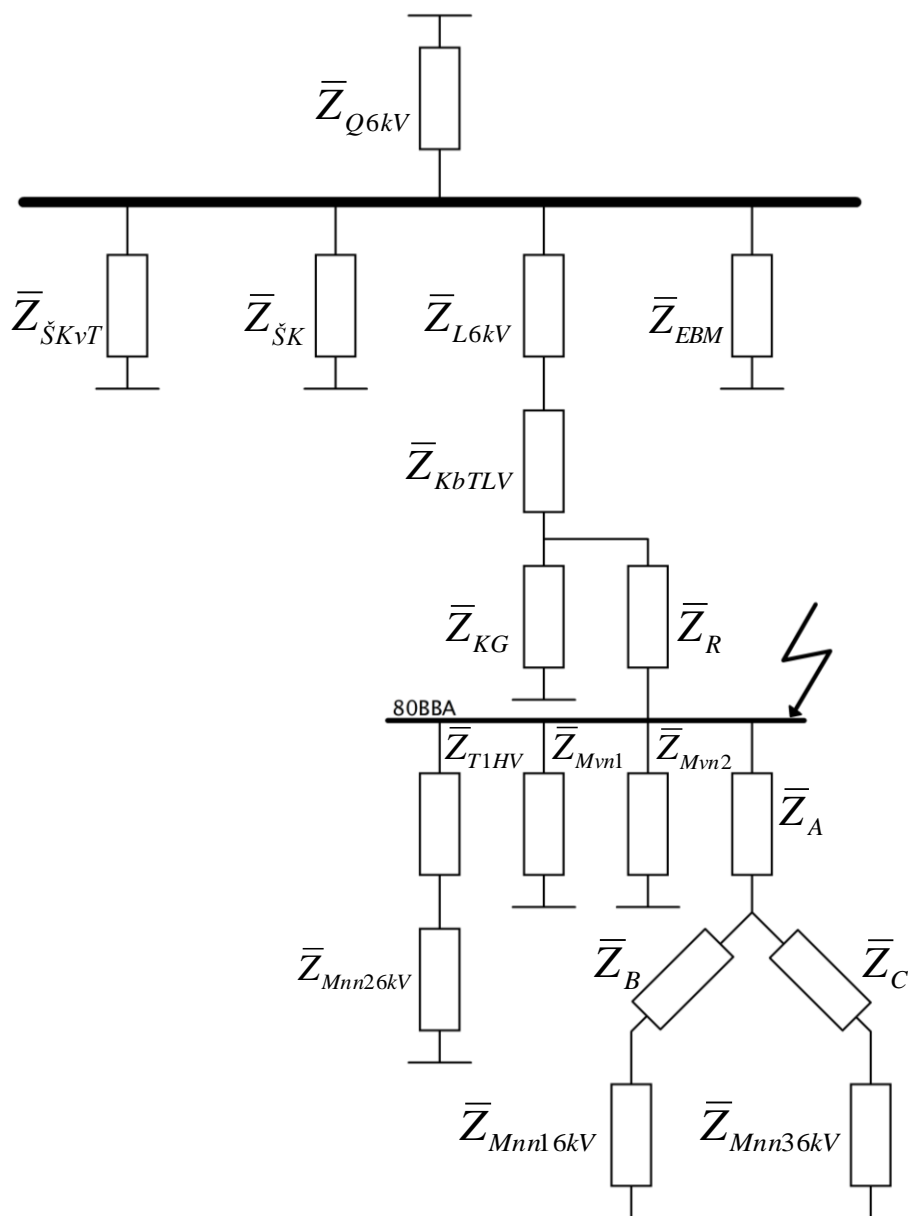
$$\bar{Z}_{\check{S}KvT} = (0,01599 + j0,21764)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od distribučního transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{\check{S}K}$ .

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = \bar{Z}_{THV6kV} + \bar{Z}_{M\check{S}A6kV} \quad (28)$$

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814)\Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



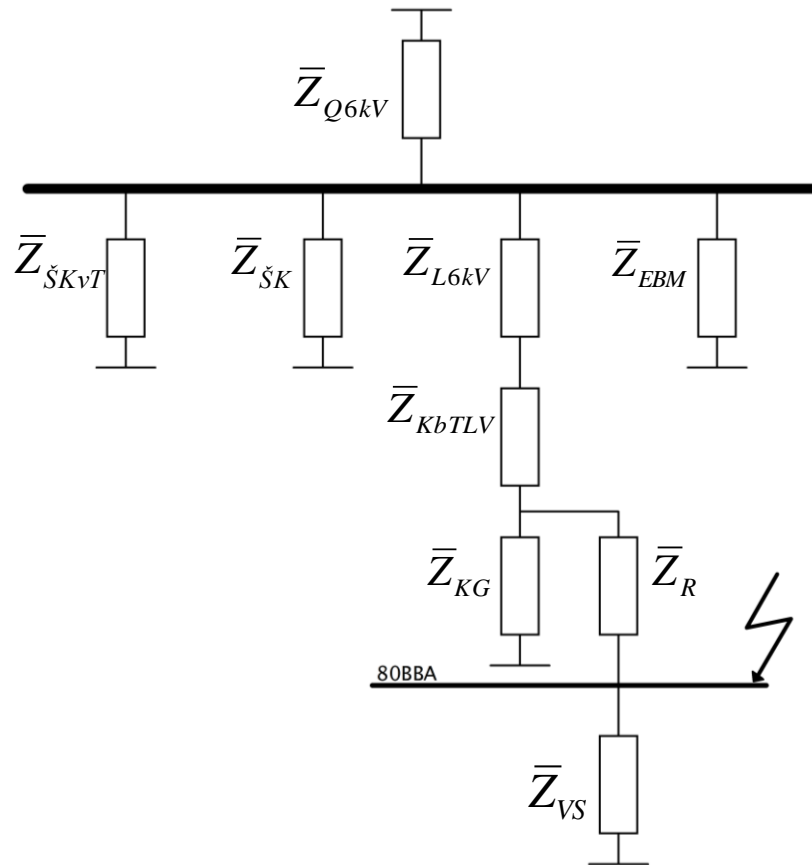
Obr. 12 Transpozice 1 (zkrat 80/90BBA)

Příspěvek zkratové impedance z vlastní spotřeby jednoho elektrárenského bloku  $\bar{Z}_{VS}$  lze spočítat následovně:

$$\bar{Z}_{VS} = \left[ \frac{1}{\left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV}} + \bar{Z}_C \right)} + \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV}} + \bar{Z}_B \right)} \right) + \bar{Z}_A \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\left( \bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV} \right)} \right)} \right]^{-1} \quad (29)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{VS} = (0,16008 + j0,89487)\Omega$$



Obr. 13 Transpozice 2 (zkrat 80/90BBA)

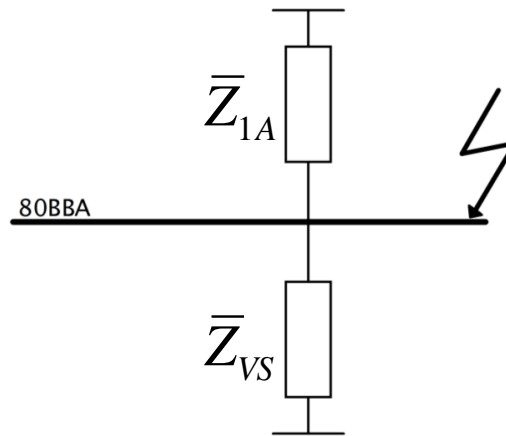
Další transpozicí v rovnici (30) získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{1A}$

$$\bar{Z}_{1A} = \left[ \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{ŠKvT}} + \frac{1}{\bar{Z}_{ŠK}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Q6kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{L6kV} + \bar{Z}_{KbTLV} \right)} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right]^{-1} + \bar{Z}_R \quad (30)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{1A} = (3,7732 \cdot 10^{-3} + j0,18254)\Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 14 Zjednodušené náhradní schéma (zkrat 80/90BBA)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{80/90BBA}$  na rozvodně 80BBA (90BBA) je:

$$\bar{Z}_{80/90BBA} = \frac{\bar{Z}_{1A} \cdot \bar{Z}_{VS}}{\bar{Z}_{1A} + \bar{Z}_{VS}} \quad (31)$$

$$\bar{Z}_{80/90BBA} = \frac{(3,7732 \cdot 10^{-3} + j0,18254) \cdot (0,16008 + j0,89487)}{(3,7732 \cdot 10^{-3} + j0,18254 + 0,16008 + j0,89487)} = (7,1186 \cdot 10^{-3} + j0,1521) \Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{80/90BBA}$  získáme následovně:

$$Z_{80/90BBA} = \sqrt{(7,1186 \cdot 10^{-3})^2 + (0,1521)^2} = 0,1523 \Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu do rozvodny 80/90BBA na napěťové hladině 6 kV se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{80/90BBA}} = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,1523} = 25,0198 \text{ kA} \quad (32)$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 80/90BBA se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (33)$$

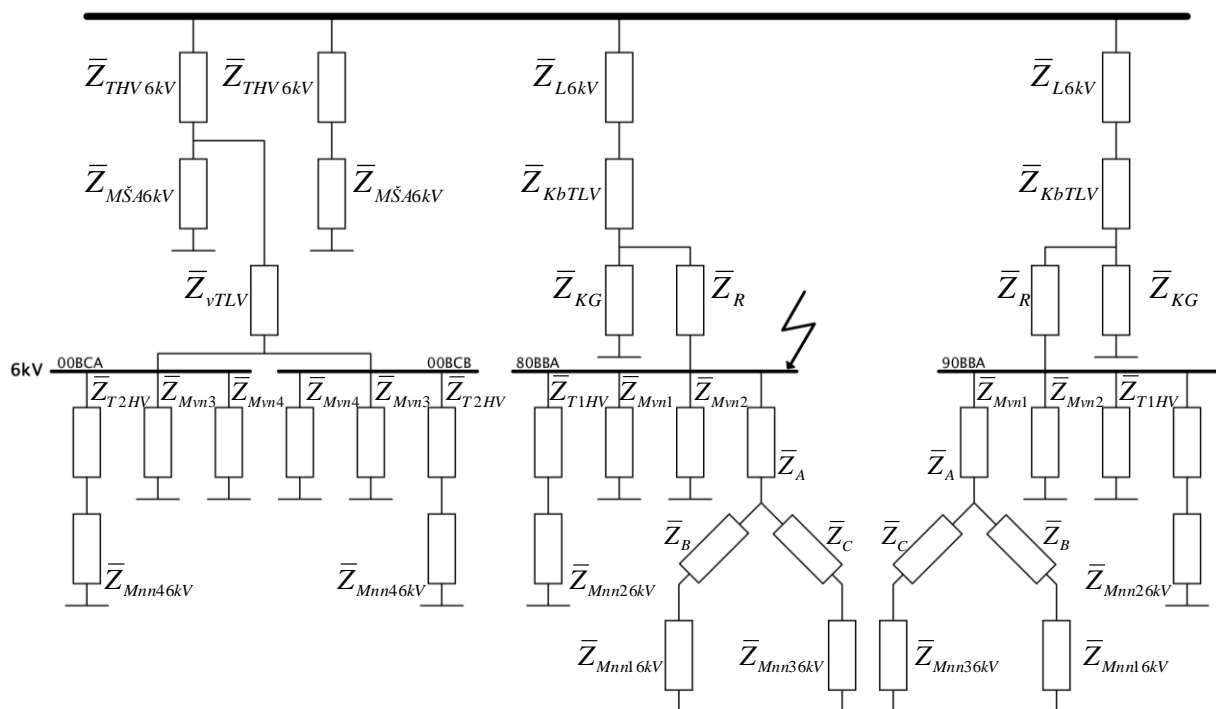
Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 7,118610^{-3} / 0,1521} = 1,8716 \quad (34)$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  do rozvodny 80/90BBA:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,8716 \cdot \sqrt{2} \cdot 25,0198 = 66,2235 \text{ kA}$$

### 3.4.2 Ostrovní provoz



Obr. 15 Celkové náhradní schéma OP (zkrat 80/90BBA)



Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right) \right) + \bar{Z}_A \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV}} \right) + \bar{Z}_R} \right)^{-1} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od transformátoru pro napájení ŠKODA AUTO a všeobecného transformátoru i s příspěvkem točivých strojů na napěťové hladině 22 kV  $\bar{Z}_{ŠKvT}$  se vypočítá podle rovnice (27).

$$\bar{Z}_{ŠKvT} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{T2HV} + \bar{Z}_{Mnn46kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right) \right) + \bar{Z}_{vTLV} \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{MŠA6kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{THV6kV}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

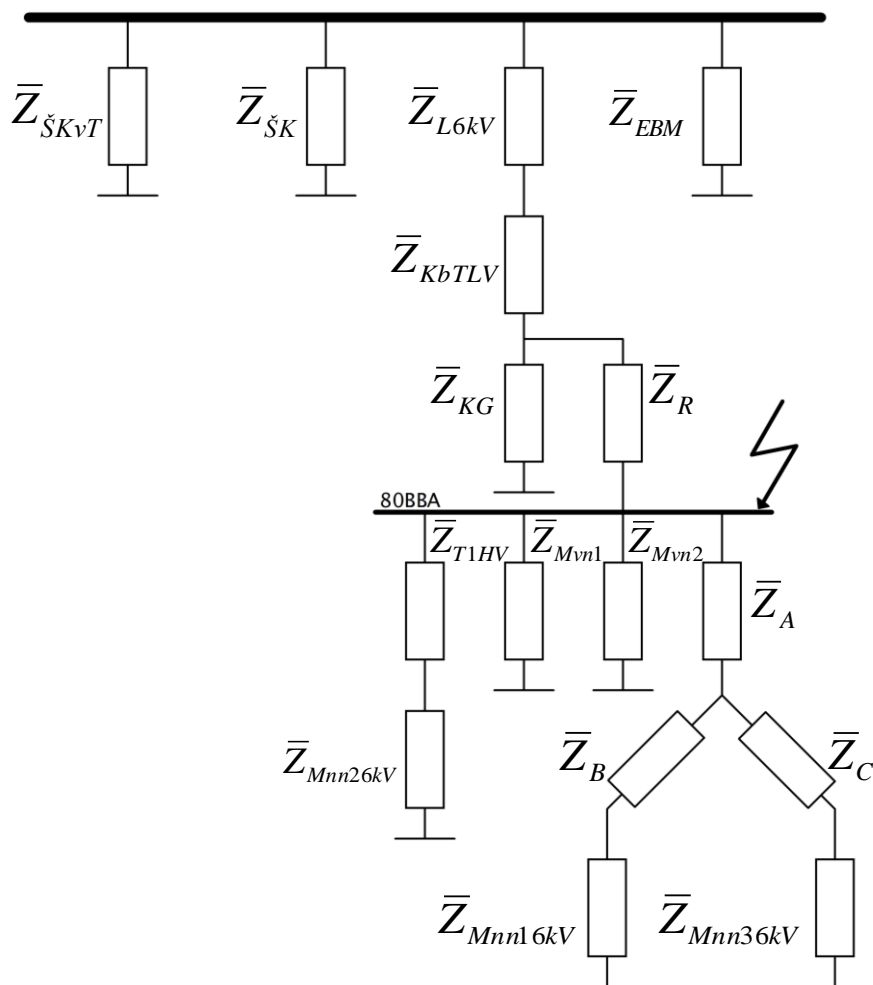
$$\bar{Z}_{\check{S}KvT} = (0,01599 + j0,21764)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{\check{S}K}$ .

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = \bar{Z}_{THV6kV} + \bar{Z}_{M\check{S}A6kV}$$

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814)\Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



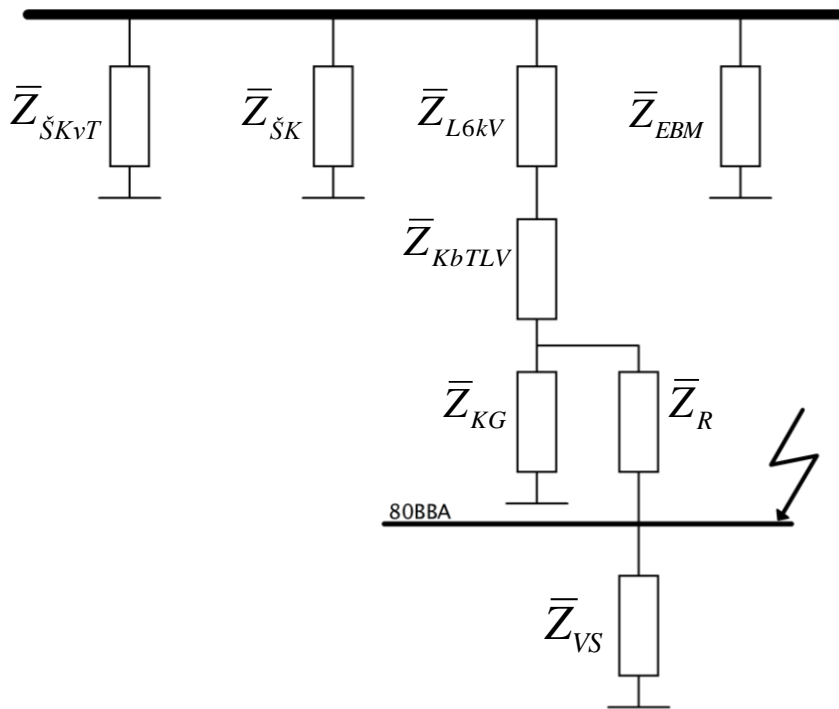
Obr. 16 Transpozice 1 OP (zkrat 80/90BBA)

A příspěvek zkratové impedance z vlastní spotřeby jednoho elektrárenského bloku  $\bar{Z}_{VS}$  lze spočítat následovně:

$$\bar{Z}_{VS} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right)} \right)^{-1} + \bar{Z}_A \right)} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\left( \bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV} \right)} \right)^{-1}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{VS} = (0,16008 + j0,89487)\Omega$$



Obr. 17 Transpozice 2 OP (zkrat 80/90BBA)

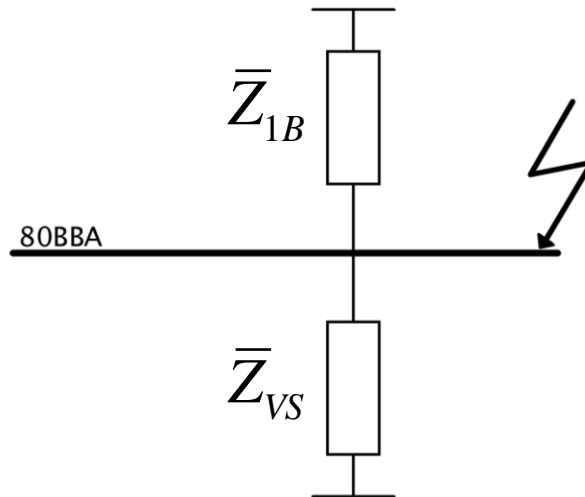
Další transpozicí v rovnici (35) získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{1B}$

$$\bar{Z}_{1B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{SKvT}} + \frac{1}{\bar{Z}_{SK}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{L6kV} + \bar{Z}_{KbTLV} \right)} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right)^{-1} + \bar{Z}_R \quad (35)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{1B} = (5,3371 \cdot 10^{-3} + j0,19661) \Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 18 Zjednodušené náhradní schéma OP (zkrat 80/90BBA)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{OP80/90BBA}$  v ostrovním provozu na rozvodně 80BBA (90BBA) je:

$$\bar{Z}_{OP80/90BBA} = \frac{\bar{Z}_{1A} \cdot \bar{Z}_{VS}}{\bar{Z}_{1A} + \bar{Z}_{VS}}$$

$$\bar{Z}_{OP80/90BBA} = \frac{(5,3371 \cdot 10^{-3} + j0,19661) \cdot (0,16008 + j0,89487)}{(5,3371 \cdot 10^{-3} + j0,19661 + 0,16008 + j0,89487)} = (8,7005 \cdot 10^{-3} + j0,1617) \Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{OP80/90BBA}$  získáme následovně:

$$Z_{OP80/90BBA} = \sqrt{(8,7005 \cdot 10^{-3})^2 + (0,1617)^2} = 0,1619 \Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu do rozvodny 80/90BBA na napěťové hladině 6 kV se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{OP80/90BBA}} = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,1619} = 23,5362 \text{ kA}$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 80/90BBA se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-38,700510^{-3}/0,1617} = 1,8539$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  v ostrovním provozu do rozvodny 80/90BBA:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,8539 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,5362 = 61,7075 \text{ kA}$$

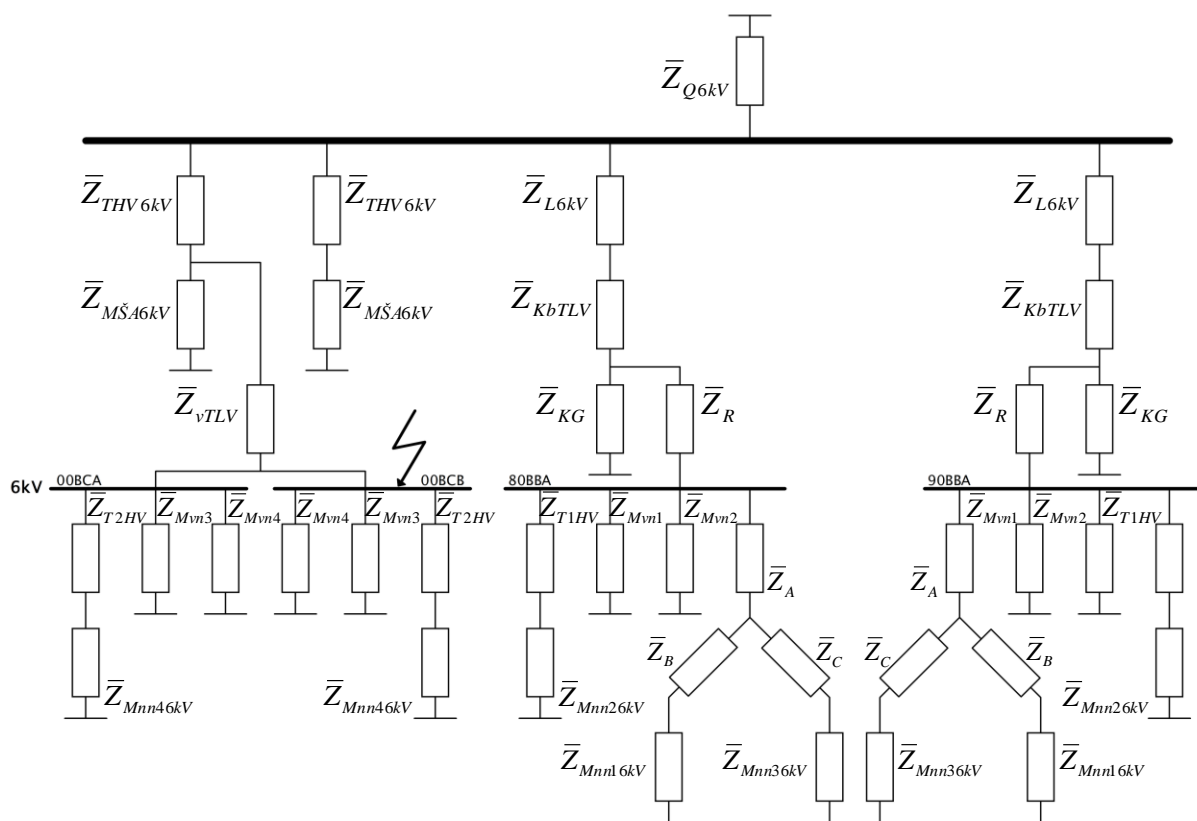
### 3.5 Příspěvek zkratových proudů do rozvodny 00BCA/B (6 kV)

Pro výpočet zkratových poměrů v místě zkratu je možné síť převést pomocí transfigurace na ekvivalentní zkratovou impedanci  $\bar{Z}_k$  v místě zkratu. V tomto případě se jedná o rozvodnu 00BCA (00BCB). Případ budu řešit ve dvou variantách zapojení:

1. Normální provoz - paralelní provoz s distribuční sítí *(pouze spojka č. 1 sepnutá)*
2. Ostrovní provoz *(všechny spojky rozepnuté)*

Náhradní schéma teplárny je k nahlédnutí v příloze na straně B3. Transformátor T102 je uvažován jako záloha. Numerické výpočty se nachází ve výpočtové příloze „C“.

## 3.5.1 Paralelní provoz s distribuční sítí



Obr. 19 Celkové náhradní schéma (zkrat 00BCA/B)

Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left[ \frac{1}{\left( \left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right) \right)^{-1} + \bar{Z}_A \right) \right)^{-1} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \left( \frac{1}{\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_R \right)^{-1} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV} \right]$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

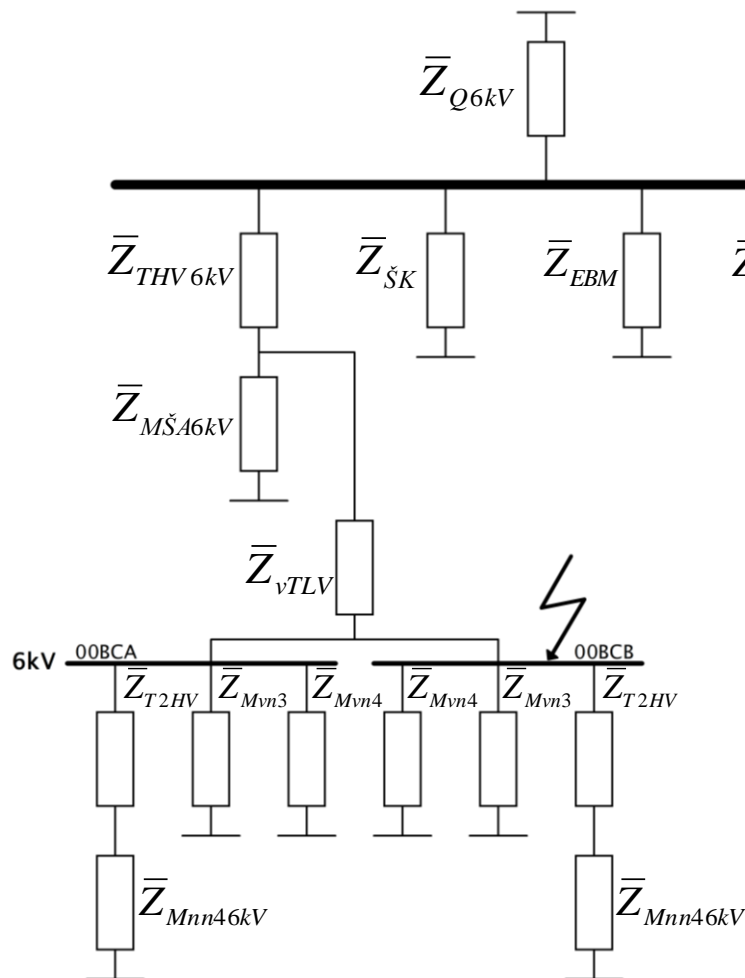
$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od distribučního transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{ŠK}$ .

$$\bar{Z}_{ŠK} = \bar{Z}_{THV 6kV} + \bar{Z}_{MŠ 46kV}$$

$$\bar{Z}_{ŠK} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814)\Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



Obr. 20 Transpozice 1 (zkrat 00BCA/B)

Příspěvek zkratové impedance z vlastní spotřeby jednoho elektrárenského bloku za všeobecným transformátorem  $\bar{Z}_{vTLV}$  lze spočítat následovně:

$$\bar{Z}_{vVS} = \left( \frac{1}{(\bar{Z}_{T2HV} + \bar{Z}_{Mnn46kV})} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right)^{-1} \quad (36)$$

$$\bar{Z}_{vVS} = \left( \frac{1}{((0,1709 + j1,3391) + (1,7759 + j4,2282))} + \frac{1}{(0,5153 + j5,1525)} + \frac{1}{(0,1392 + j1,3919)} \right)^{-1}$$

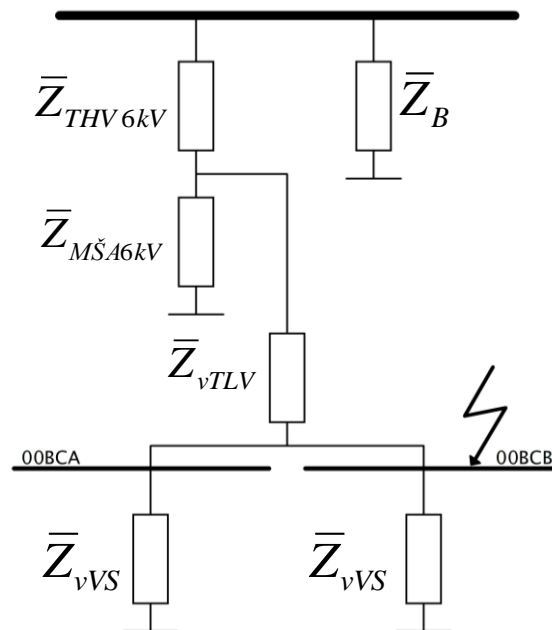
$$\bar{Z}_{vVS} = (0,1270 + j0,9228)\Omega$$

Další transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_B$

$$\bar{Z}_B = \left( \frac{1}{\bar{Z}_{\check{S}K}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Q6kV}} \right)^{-1} \quad (37)$$

$$\bar{Z}_B = \left( \frac{1}{(0,01865 + j0,24814)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} + \frac{1}{(0 + j0,0158)} \right)^{-1}$$

$$\bar{Z}_B = (0,1335 + j13,3398) \cdot 10^{-3} \Omega$$



Obr. 21 Transpozice 2 (zkrat 00BCA/B)



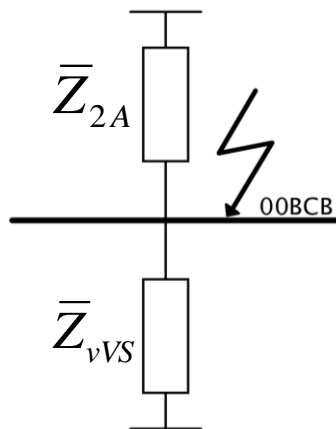
Následující transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{2A}$

$$\bar{Z}_{2A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( \bar{Z}_B + \bar{Z}_{THV6kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{MŠ46kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{vTLV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{vVS}}} \right)^{-1} \quad (38)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C3.

$$\bar{Z}_{2A} = (0,01621 + j0,20348)\Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 22 Zjednodušené náhradní schéma (zkrat 00BCA/B)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{00BCA/B}$  na rozvodně 00BCA (00BCB) je:

$$\bar{Z}_{00BCA/B} = \frac{\bar{Z}_{2A} \cdot \bar{Z}_{vVS}}{\bar{Z}_{2A} + \bar{Z}_{vVS}}$$

$$\bar{Z}_{00BCA/B} = \frac{(0,01621 + j0,20348) \cdot (0,1270 + j0,9228)}{(0,01621 + j0,20348 + 0,1270 + j0,9228)} = (15,0168 \cdot 10^{-3} + j0,1668)\Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{00BCA/B}$  získáme následovně:

$$Z_{00BCA/B} = \sqrt{(15,0168 \cdot 10^{-3})^2 + (0,1668)^2} = 0,1675 \Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu do rozvodny 00BCA/B na napěťové hladině 6 kV se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{00BCA/B}} = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,1675} = 22,7493 \text{ kA}$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 00BCA/B se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

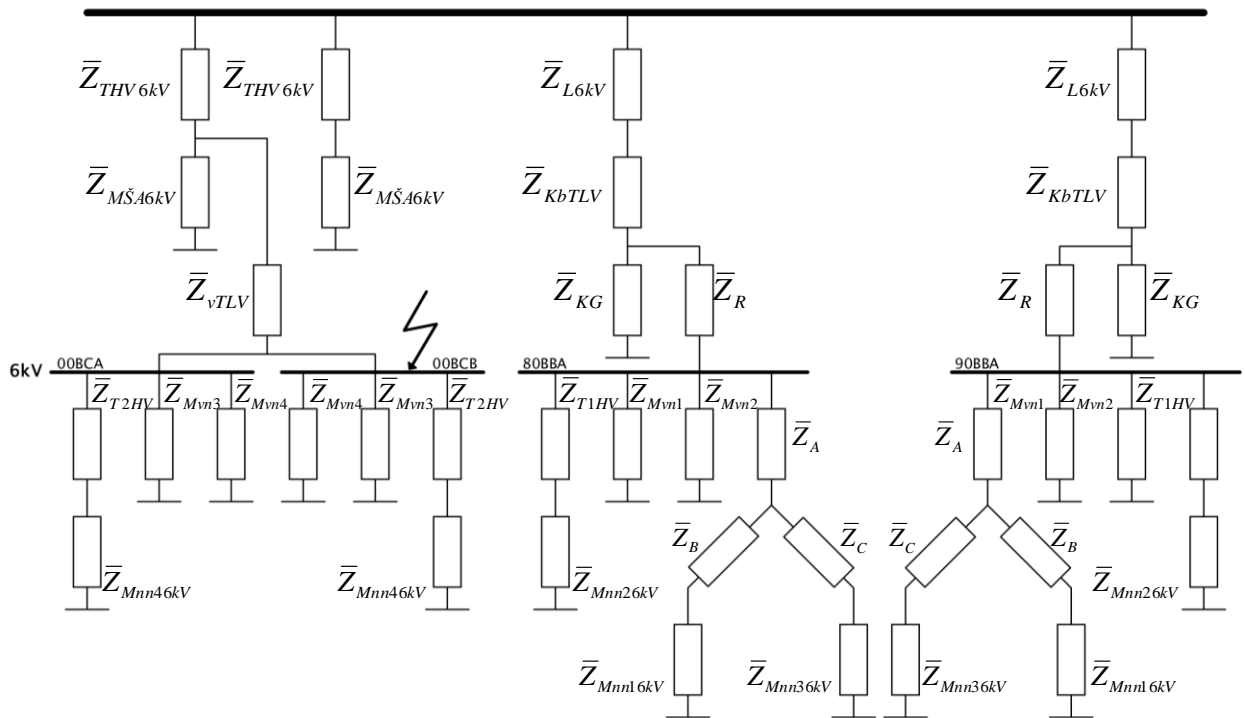
Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 15,0168 \cdot 10^{-3} / 0,1668} = 1,7680$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  do rozvodny 00BCA/B:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,768 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,7493 = 56,8807 \text{ kA}$$

### 3.5.2 Ostrovní provoz



Obr. 23 Celkové náhradní schéma OP (zkrat 00BCA/B)

Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C \right) + \left( \bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B \right) \right)^{-1} + \bar{Z}_A \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \left( \frac{1}{\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV}} \right) + \bar{Z}_R \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right) \right) + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV} \right) \right) \right) \right) \right)^{-1}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

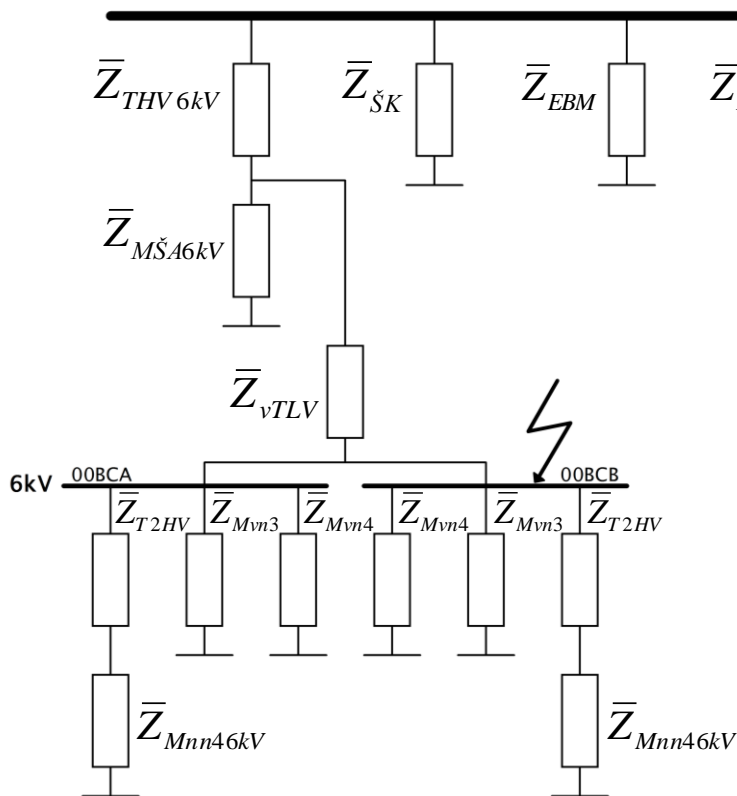
$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od distribučního transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{\check{S}K}$ .

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = \bar{Z}_{THV\ 6kV} + \bar{Z}_{M\check{S}A\ 6kV}$$

$$\bar{Z}_{\check{S}K} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814) \Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



Obr. 24 Transpozice 1 OP (zkrat 00BCA/B)

Příspěvek zkratové impedance z vlastní spotřeby jednoho elektrárenského bloku za všeobecným transformátorem  $\bar{Z}_{vTLV}$  lze spočítat následovně:

$$\bar{Z}_{vVS} = \left( \frac{1}{(\bar{Z}_{T\ 2HV} + \bar{Z}_{Mnn\ 46kV})} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right)^{-1}$$

$$\bar{Z}_{vVS} = \left( \frac{1}{((0,1709 + j1,3391) + (1,7759 + j4,2282))} + \frac{1}{(0,5153 + j5,1525)} + \frac{1}{(0,1392 + j1,3919)} \right)^{-1}$$

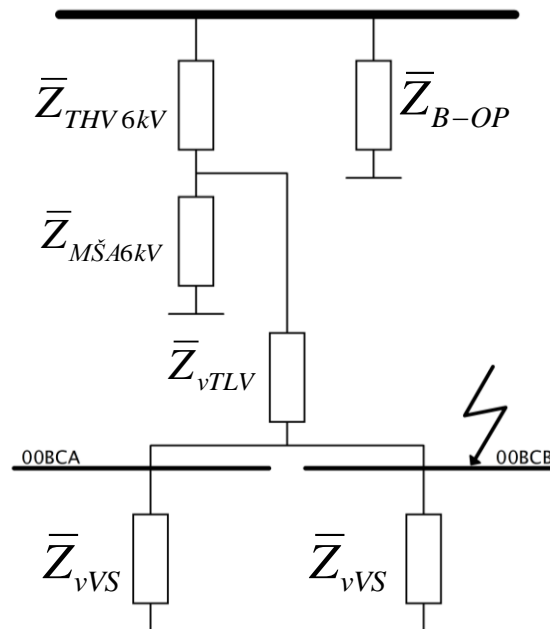
$$\bar{Z}_{vVS} = (0,1270 + j0,9228)\Omega$$

Další transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{B-OP}$ .

$$\bar{Z}_{B-OP} = \left( \frac{1}{\bar{Z}_{ŠK}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} \right)^{-1} \quad (39)$$

$$\bar{Z}_{B-OP} = \left( \frac{1}{(0,01865 + j0,24814)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} \right)^{-1}$$

$$\bar{Z}_{B-OP} = (5,4902 + j85,3731) \cdot 10^{-3} \Omega$$



Obr. 25 Transpozice 2 OP (zkrat 00BCA/B)

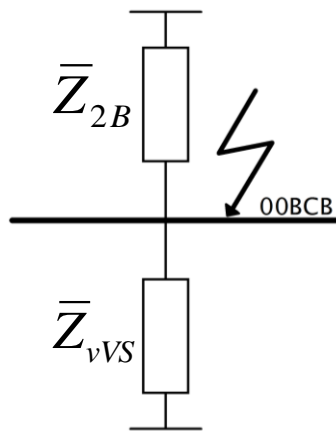
Následující transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{2B}$

$$\bar{Z}_{2B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{B-OP} + \bar{Z}_{THV6kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{MŠA6kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{vTLV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{vVS}} \right)^{-1}} \right)^{-1} \quad (40)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C3.

$$\bar{Z}_{2B} = (0,0182 + j0,2158)\Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 26 Zjednodušené náhradní schéma OP (zkrat 00BCA/B)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{OP00BCA/B}$  v ostrovním provozu na rozvodně 00BCA (00BCB) je:

$$\bar{Z}_{OP00BCA/B} = \frac{\bar{Z}_{2B} \cdot \bar{Z}_{vVS}}{\bar{Z}_{2B} + \bar{Z}_{vVS}}$$

$$\bar{Z}_{OP00BCA/B} = \frac{(0,0182 + j0,2158) \cdot (0,1270 + j0,9228)}{(0,0182 + j0,2158 + 0,1270 + j0,9228)} = (16,5074 \cdot 10^{-3} + j0,1750)\Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{OP00BCA/B}$  získáme následovně:

$$Z_{OP00BCA/B} = \sqrt{(16,5074 \cdot 10^{-3})^2 + (0,1750)^2} = 0,1758 \Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu do rozvodny 00BCA/B na napěťové hladině 6 kV se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{OP00BCA/B}} = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,1758} = 21,6753 \text{ kA}$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 00BCA/B se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 16,5074 \cdot 10^{-3} / 0,1750} = 1,7585$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  v ostrovním provozu do rozvodny 00BCA/B:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7585 \cdot \sqrt{2} \cdot 21,6753 = 53,9042 \text{ kA}$$

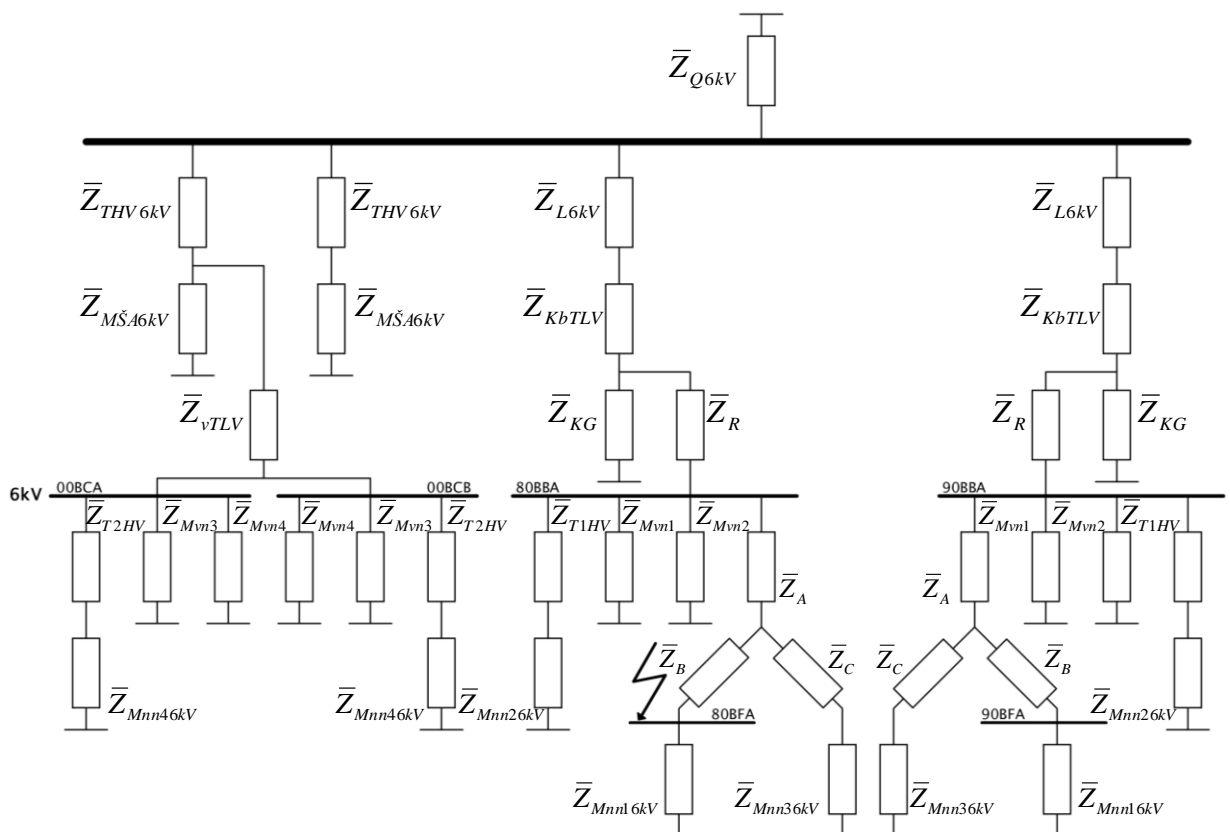
### 3.6 Příspěvek zkratových proudů do rozvodny 80/90BFA (690 V)

Pro výpočet zkratových poměrů v místě zkratu je možné síť převést pomocí transfigurace na ekvivalentní zkratovou impedanci  $\bar{Z}_K$  v místě zkratu. V tomto případě se jedná o rozvodnu 80BFA (90BFA). Hodnoty impedancí budu dosazovat přepočtené na napěťovou hladinu 6 kV a výslednou zkratovou impedanci v místě zkratu přepočítám na napěťovou hladinu 690 V. Případ řeším ve dvou variantách zapojení:

1. Normální provoz - paralelní provoz s distribuční sítí *(pouze spojka č. 1 sepnutá)*
2. Ostrovní provoz *(všechny spojky rozepnuté)*

Náhradní schéma teplárny je k nahlédnutí v příloze na straně B3. Transformátor T102 je uvažován jako záloha. Numerické výpočty se nachází ve výpočtové příloze „C“.

#### 3.6.1 Paralelní provoz s distribuční sítí



Obr. 27 Celkové náhradní schéma (zkrat 80/90BFA)



Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right) + \bar{Z}_A} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\left( \bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV} \right)} \right) + \bar{Z}_R} \right) \right) \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV} \right)^{-1}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od transformátoru pro napájení ŠKODA AUTO a všeobecného transformátoru i s příspěvkem točivých strojů na napěťové hladině 22 kV  $\bar{Z}_{ŠKvT}$  se vypočítá podle rovnice (27).

$$\bar{Z}_{ŠKvT} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{T2HV} + \bar{Z}_{Mnn46kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right) + \bar{Z}_{vTLV} \right) \right) \right) \right) \right) \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{MŠA6kV}} + \bar{Z}_{THV6kV} \right) \right)^{-1}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

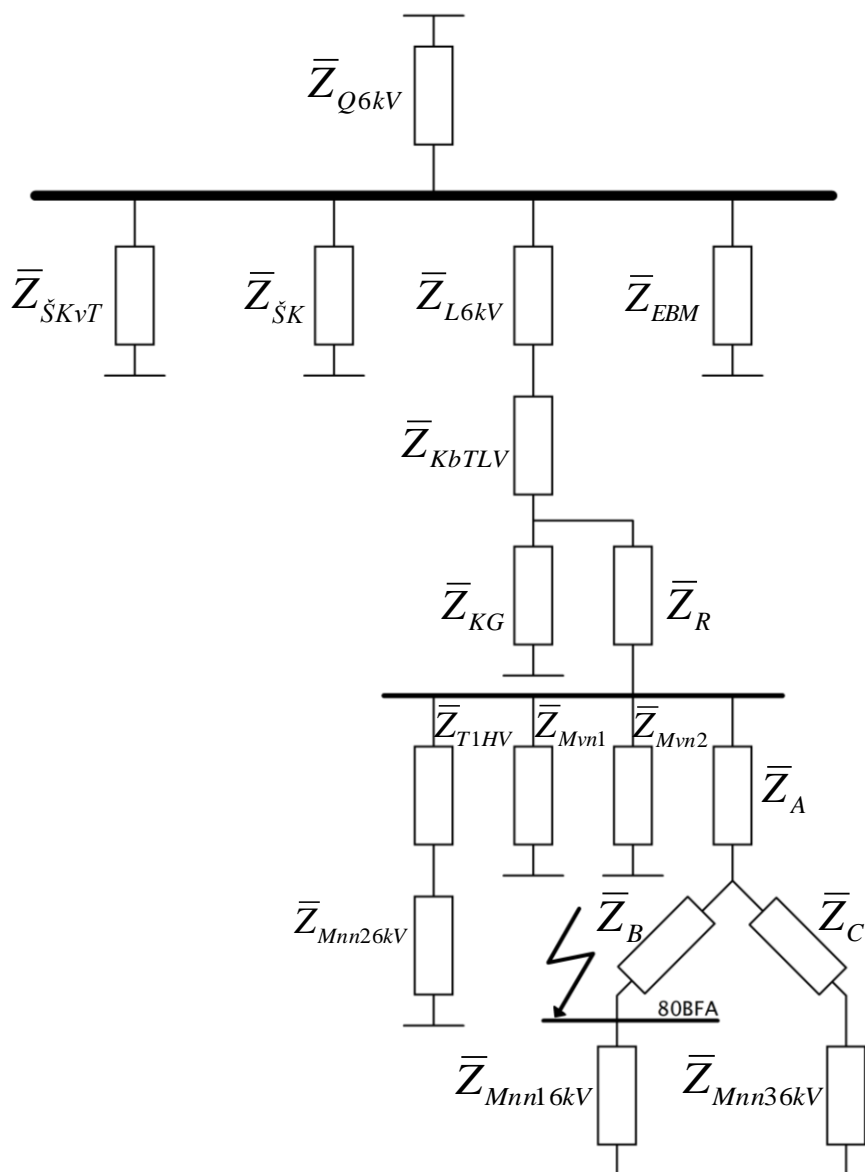
$$\bar{Z}_{ŠKvT} = (0,01599 + j0,21764)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od distribučního transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{\dot{S}K}$ .

$$\bar{Z}_{\dot{S}K} = \bar{Z}_{THV6kV} + \bar{Z}_{M\dot{S}.46kV}$$

$$\bar{Z}_{\dot{S}K} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814) \Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



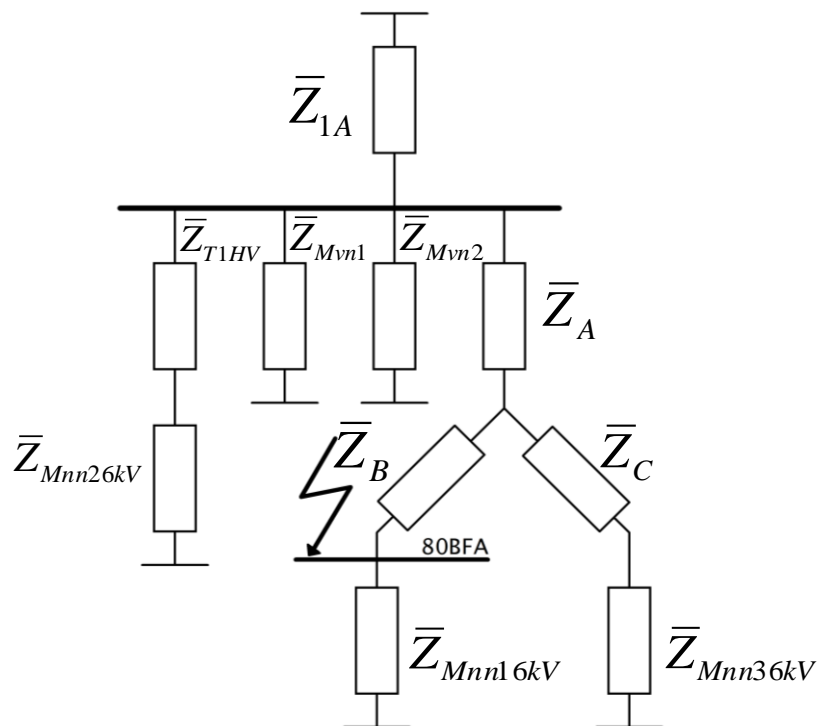
Obr. 28 Transpozice 1 (zkrat 80/90BFA)

Další transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{1A}$ , která je vyjádřena v rovnici (30)

$$\bar{Z}_{1A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{\check{S}kVt}} + \frac{1}{\bar{Z}_{\check{S}k}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Q6kV}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{L6kV} + \bar{Z}_{KbTLV} \right)} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right)^{-1} + \bar{Z}_R$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{1A} = (3,7732 \cdot 10^{-3} + j0,18254) \Omega$$



Obr. 29 Transpozice 2 (zkrat 80/90BFA)

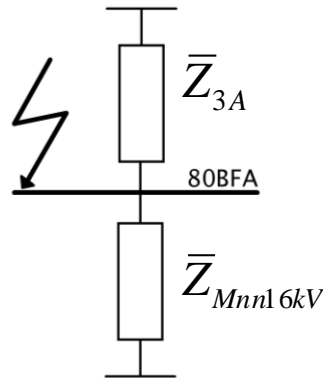
Následně je možná další úprava:

$$\bar{Z}_{3A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{1A}} + \frac{1}{(\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV})} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} \right)^{-1} + \bar{Z}_A \right)} + \frac{1}{(\bar{Z}_C + \bar{Z}_{Mnn36kV})} \right)^{-1} + \bar{Z}_B \quad (41)$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C4.

$$\bar{Z}_{3A} = (0,0877 + j1,2574)\Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 30 Zjednodušené náhradní schéma (zkrat 80/90BFA)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{80/90BFA}$  na rozvodně 80BFA (90BFA), přepočítaná na napěťovou hladinu 690V je:

$$\bar{Z}_{80/90BFA} = \left( \frac{\bar{Z}_{3A} \cdot \bar{Z}_{Mnn1\ 6kV}}{\bar{Z}_{3A} + \bar{Z}_{Mnn1\ 6kV}} \right) \cdot \left( \frac{690}{6 \cdot 10^3} \right)^2$$

$$\bar{Z}_{80/90BFA} = \left( \frac{(0,0877 + j1,2574) \cdot (2,8421 + j6,767)}{(0,0877 + j1,2574 + 2,8421 + j6,767)} \right) \cdot \left( \frac{690}{6 \cdot 10^3} \right)^2 = (1,6745 \cdot 10^{-3} + j0,0142)\Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{80/90BFA}$  získáme následovně:

$$Z_{80/90BFA} = \sqrt{(1,6745 \cdot 10^{-3})^2 + (0,0142)^2} = 0,0143\Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu do rozvodny 80/90BFA na napěťové hladině 690 V se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{80/90BFA}} = \frac{1,1 \cdot 690}{\sqrt{3} \cdot 0,0143} = 30,6440kA$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 80/90BFA se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

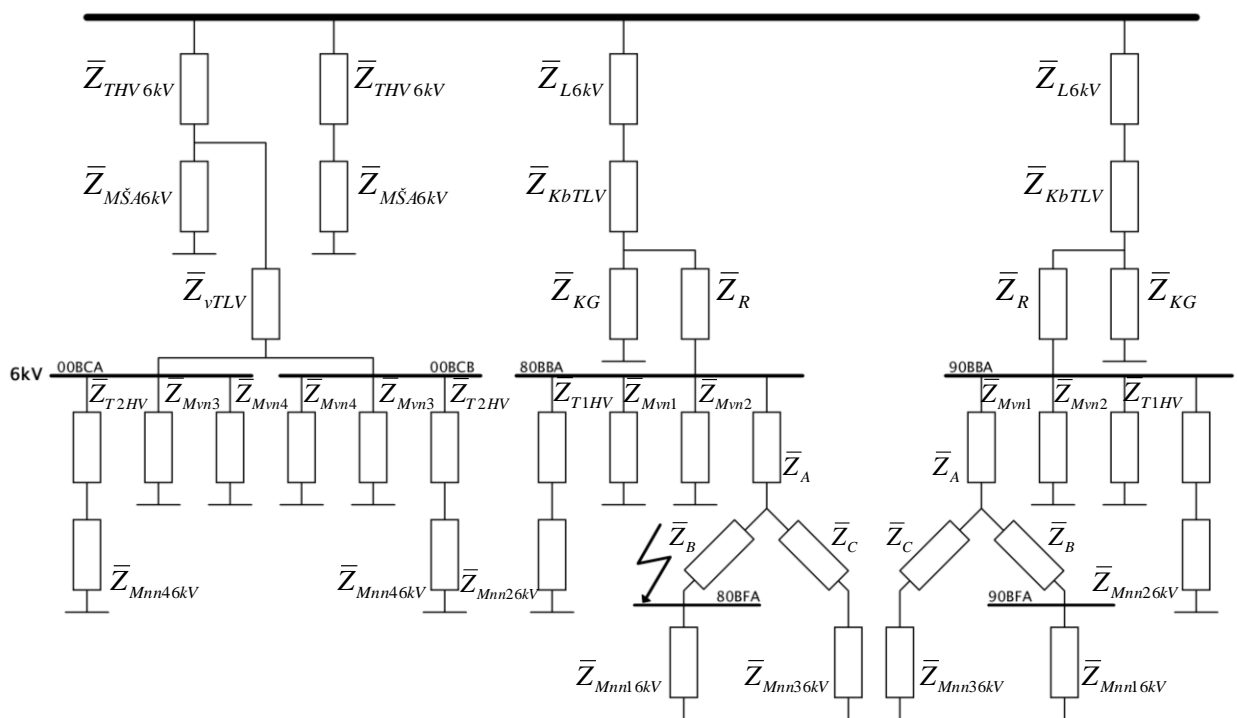
Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 1,674510^{-3} / 0,0142} = 1,7080$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  do rozvodny 80/90BFA:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7080 \cdot \sqrt{2} \cdot 30,6440 = 74,0199 \text{ kA}$$

### 3.6.2 Ostrovní provoz



Obr. 31 Celkové náhradní schéma OP (zkrat 80/90BFA)

Náhradní zkratová impedance od jednoho elektrárenského bloku včetně asynchronních motorů ve vlastní spotřebě a vedení  $\bar{Z}_{EBM}$  se může vyjádřit pomocí rovnice (26).

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn36kV} + \bar{Z}_C} \right) + \frac{1}{\left( \frac{1}{\bar{Z}_{Mnn16kV} + \bar{Z}_B} \right) + \bar{Z}_A} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} + \frac{1}{\left( \bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV} \right)} \right) + \bar{Z}_R \right) \right)^{-1}} \right)^{-1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{KbTLV} + \bar{Z}_{L6kV}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

$$\bar{Z}_{EBM} = (0,01526 + j0,26028)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od transformátoru pro napájení ŠKODA AUTO a všeobecného transformátoru i s příspěvkem točivých strojů na napěťové hladině 22 kV  $\bar{Z}_{ŠKvT}$  se vypočítá podle rovnice (27).

$$\bar{Z}_{ŠKvT} = \left( \frac{1}{\left( \left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \bar{Z}_{T2HV} + \bar{Z}_{Mnn46kV} \right) + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn3}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn4}} \right) + \bar{Z}_{vTLV} \right) \right)^{-1}} \right)^{-1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{MŠA6kV}} \right)^{-1}} + \bar{Z}_{THV6kV}$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C1.

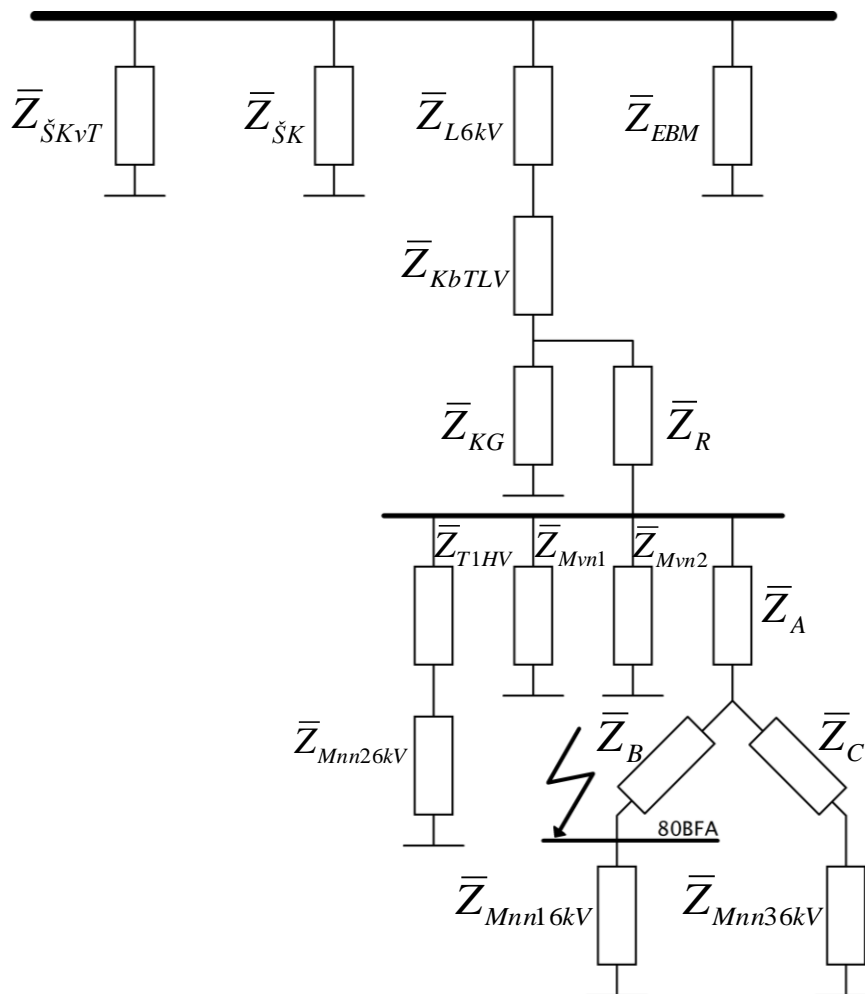
$$\bar{Z}_{ŠKvT} = (0,01599 + j0,21764)\Omega$$

Příspěvek zkratové impedance od distribučního transformátoru pro napájení automobilky ŠKODA AUTO a příspěvek točivých strojů na napěťové hladině 22 kV je značen jako  $\bar{Z}_{\dot{S}K}$ .

$$\bar{Z}_{\dot{S}K} = \bar{Z}_{THV6kV} + \bar{Z}_{M\dot{S}.46kV}$$

$$\bar{Z}_{\dot{S}K} = (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} + (0,0158 + j0,1579) = (0,01865 + j0,24814) \Omega$$

Následně je možné další upravení náhradního schématu.



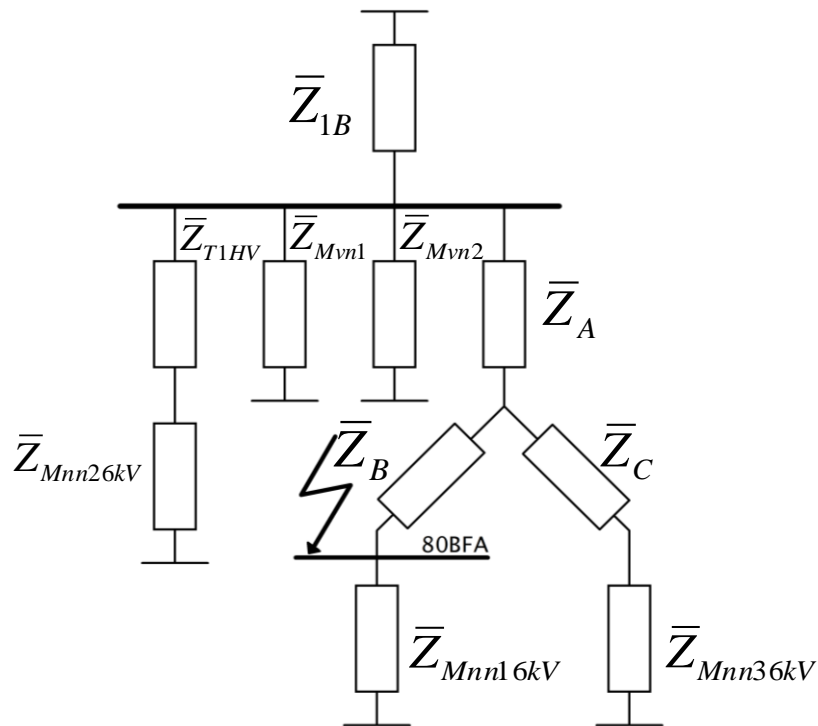
Obr. 32 Transpozice 1 OP (zkrat 80/90BFA)

Další transpozicí získáme zkratovou impedanci  $\bar{Z}_{1B}$ , která je vyjádřena v rovnici (35)

$$\bar{Z}_{1B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{\dot{S}kVT}} + \frac{1}{\bar{Z}_{\dot{S}K}} + \frac{1}{\bar{Z}_{EBM}} \right)^{-1} + \bar{Z}_{L6kV} + \bar{Z}_{KbTLV} \right)} + \frac{1}{\bar{Z}_{KG}} \right)^{-1} + \bar{Z}_R$$

Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C2.

$$\bar{Z}_{1B} = (5,3371 \cdot 10^{-3} + j0,19661) \Omega$$



Obr. 33 Transpozice 2 OP (zkrat 80/90BFA)

Následně je možná další úprava:

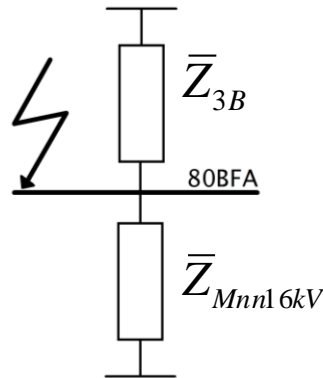
$$\bar{Z}_{3B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\bar{Z}_{1B}} + \frac{1}{(\bar{Z}_{T1HV} + \bar{Z}_{Mnn26kV})} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn1}} + \frac{1}{\bar{Z}_{Mvn2}} \right)^{-1} + \bar{Z}_A \right)} + \frac{1}{(\bar{Z}_C + \bar{Z}_{Mnn36kV})} \right)^{-1} + \bar{Z}_B \quad (42)$$



Numerický výpočet je přiložen v příloze na straně C4.

$$\bar{Z}_{3B} = (0,0894 + j1,2663)\Omega$$

Po úpravě náhradní schéma vypadá následovně:



Obr. 34 Zjednodušené náhradní schéma OP (zkrat 80/90BFA)

Výsledná zkratová impedance  $\bar{Z}_{80/90BFA}$  v ostrovním provozu na rozvodně 80BFA (90BFA), přepočítaná na napěťovou hladinu 690V je:

$$\bar{Z}_{OP80/90BFA} = \left( \frac{\bar{Z}_{3B} \cdot \bar{Z}_{Mnnl\ 6kV}}{\bar{Z}_{3B} + \bar{Z}_{Mnnl\ 6kV}} \right) \cdot \left( \frac{690}{6 \cdot 10^3} \right)^2$$

$$\bar{Z}_{OP80/90BFA} = \left( \frac{(0,0894 + j1,2663) \cdot (2,8421 + j6,767)}{(0,0894 + j1,2663 + 2,8421 + j6,767)} \right) \cdot \left( \frac{690}{6 \cdot 10^3} \right)^2 = (1,6993 \cdot 10^{-3} + j0,0143)\Omega$$

Absolutní hodnotu ze zkratové impedance  $\bar{Z}_{80/90BFA}$  získáme následovně:

$$Z_{OP80/90BFA} = \sqrt{(1,6993 \cdot 10^{-3})^2 + (0,0143)^2} = 0,0144\Omega$$

Příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu v ostrovním provozu do rozvodny 80/90BFA na napěťové hladině 690 V se vypočítá pomocí vztahu:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{OP80/90BFA}} = \frac{1,1 \cdot 690}{\sqrt{3} \cdot 0,0144} = 30,4312kA$$

Příspěvek nárazového zkratového proudu  $i_p$  do rozvodny 80/90BFA se může vyjádřit takto:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

Součinitel  $\kappa$  se určí pomocí poměru resistance a reaktance  $R/X$  nebo  $X/R$  z obrázku 15 z normy ČSN EN 60909-0 nebo výpočtem rovněž z této normy:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 1,699310^{-3} / 0,0143} = 1,7061$$

Nyní můžeme určit nárazový zkratový proud  $i_p$  v ostrovním provozu do rozvodny 80/90BFA:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7061 \cdot \sqrt{2} \cdot 30,4312 = 73,4241 \text{ kA}$$

### 3.7 Shrnutí výpočtu zkratových poměrů v síti vlastní spotřeby VN/NN

Na závěr přikládám celkové shrnutí zkratových proudů v síti vlastní spotřeby teplárny na napěťových hladinách 6 kV a 690 V. Je zřejmý určitý rozdíl ve zkratových poměrech při porovnání normálního provozu s ostrovním provozem. Téměř zanedbatelný rozdíl je však na hladině 690 V. Parametry zkratových proudů v ostrovním provozu nabývají vždy menších hodnot, proto není nutné s tímto druhem provozu počítat při navrhování ochran.

Tabulka 5 Celkové příspěvky zkratových proudů

ROZVODNY	napěťová hladina	paralelní provoz s DS (pouze spojka č. 1 - sepnutá)		ostrovní provoz (všechny spojky rozepnuté)	
		počáteční souměrný rázový zkratový proud [kA]	nárazový zkratový proud [kA]	počáteční souměrný rázový zkratový proud [kA]	nárazový zkratový proud [kA]
80BBA (90BBA)	6 kV	25,0198	66,2235	23,5362	61,7075
00BCA (00BCB)	6 kV	22,7493	56,8807	21,6753	53,9042
80BFA (90BFA)	0,690 kV	30,6440	74,0199	30,4312	73,4241

## **Závěr**

Tato práce se zabývá velmi specifickým stavem ve struktuře elektrické sítě, přesněji ostrovním provozem teplárny ŠKO-ENERGO, s.r.o se společností ŠKODA Auto a.s. Cílem bylo detailně a srozumitelně seznámit čtenáře o možnostech přechodu turbogenerátorů z paralelního provozu s distribuční sítí do uzavřené sítě s automobilkou.

Jelikož výroba obou turbogenerátorů téměř trvale nedokáže pokrýt spotřebu firmy ŠKODA Auto a.s., byla nutná instalace automatického programu, který zajišťuje odpínání zátěže automobilky. Tomuto softwarovému řešení vyhodnocování výkonové bilance byla věnována jedna kapitola.

Velká část práce se však věnuje rozboru dvou posledních ostrovních provozů s automobilkou. Pracuje se na neustálém zlepšování regulace a minimalizaci výpadků ve firmě ŠKODA Auto a.s. Proto výsledkem každého nastalého ostrovního provozu je studie, která vede k určitým změnám v regulaci turbogenerátorů a nastavení časových ochran. Problémem občas bývá velký mezičas mezi jednotlivými ostrovy a tudíž i pomalé doladování.

V závěru práce se věnuji výpočtu zkratových poměrů v síti vlastní spotřeby teplárny na napěťových hladinách 6 kV a 690 V i s ohledem na výpadek distribuční sítě. Ze shrnutí výsledků je jasné, že rozdíly zkratových proudů na napěťové hladině nn jsou nepatrné, kdežto na hladině vn už rozdíl, mezi paralelním provozem s distribuční sítí a ostrovním provozem, hraje určitou roli.

V příloze přikládám jak fotografické přílohy, tak i schématické a výpočtové.

## **Použitá literatura**

- [1] Výroční zpráva 2010 – česká verze [online]. 2010 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.sko-energo.cz/down/vyrocní\\_zprava\\_2010\\_CZ.pdf](http://www.sko-energo.cz/down/vyrocní_zprava_2010_CZ.pdf)>.
- [2] KABRNA, Miroslav. ŠKO-ENERGO, s.r.o. Pracovní předpis: Ostrovní provoz. Mladá Boleslav, 2009. 8 s.
- [3] PŘIBÍK, Karel. EGÚ Č. B., a.s. Technická zpráva: Odpojovací program pro napájení závodu ŠKODA AUTO Mladá Boleslav. České Budějovice, 2009. 28 s.
- [4] EGÚ Č. B., a.s. - výrobní program [online]. 2009 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.egu.cz/egucbm.html>>.
- [5] TREHŠL, Richard. ŠKO-ENERGO, s.r.o. Popis řízení turbogenerátorů během ostrovního provozu. Mladá Boleslav, 2008.
- [6] EGÚ Č. B., a.s. Ostrovní provoz ŠKODA AUTO Mladá Boleslav: 20.9.2011 - 6:45. České Budějovice, 2011.
- [7] EGÚ Č. B., a.s. Ostrovní provoz ŠKODA AUTO Mladá Boleslav: 2.10.2011 - 6:23:11. České Budějovice, 2011.
- [8] ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů. Praha: Český normalizační institut, 2002. 64 s.

## Seznam příloh

### A. FOTOGRAFICKÉ PŘÍLOHY

A. 1 POHLED NA TEPLÁRNU ŠKO-ENERGO .....	A1
A. 2 POHLED NA ROZVODNU E25 110 KV .....	A2
A. 3 POHLED DO ROZVODNY E25 22 KV .....	A2
A. 4 POHLED DO REAKTOROVÉ KOBKY .....	A3

### B. SCHÉMATICKÉ PŘÍLOHY

B. 1 SCHÉMA PROPOJENÍ ROZVODEN .....	B1
B. 2 ROZVODNA E25/110 KV A PODMÍNKY PŘECHODU DO OP .....	B2
B. 3 NÁHRADNÍ SCHÉMA TEPLÁRNY ŠKO-ENERGO .....	B3
B. 4 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZVODNY E25 22 KV .....	B4

### C. VÝPOČTOVÉ PŘÍLOHY

C. 1 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY (OBEČNÉ ROVNICE) .....	C1
--	----

#### ROZVODNA 80/90BBA

C. 2 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 80/90BBA (PARALELNÍ PROVOZ S DS) .....	C2
C. 3 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 80/90BBA (OSTROVNÍ PROVOZ) .....	C2

#### ROZVODNA 00BCA/B

C. 4 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 00BCA/B (PARALELNÍ PROVOZ S DS) .....	C3
C. 5 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 00BCA/B (OSTROVNÍ PROVOZ) .....	C3

#### ROZVODNA 80/90BFA

C. 6 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 80/90BFA (PARALELNÍ PROVOZ S DS).....	C4
C. 7 NUMERICKÉ VÝPOČTY ZKRATOVÉ IMPEDANCE DO ROZVODNY 80/90BFA (OSTROVNÍ PROVOZ).....	C4

### **A. 1 Pohled na teplárnu ŠKO-ENERGO**





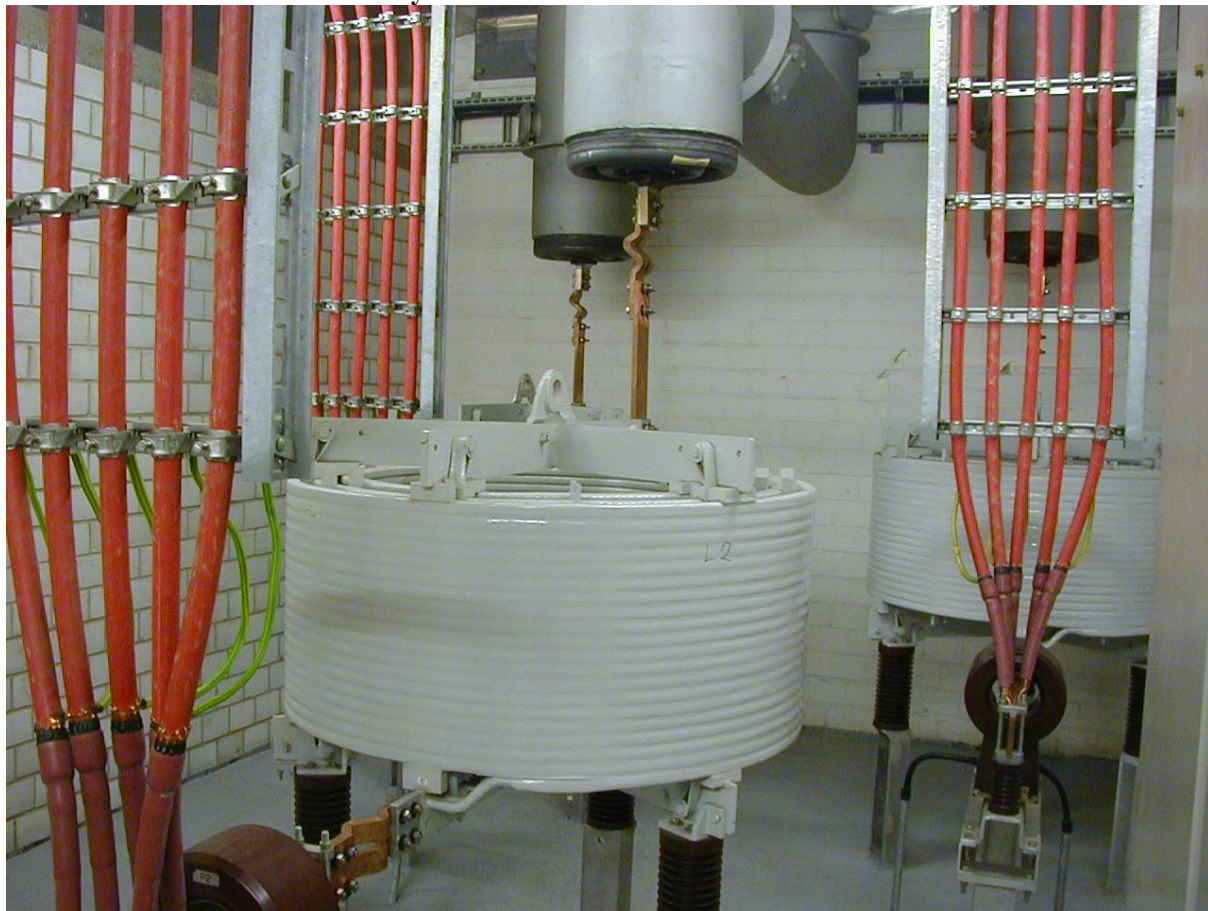
### A. 2 Pohled na rozvodnu E25 110 kV



### A. 3 Pohled do rozvodny E25 22 kV

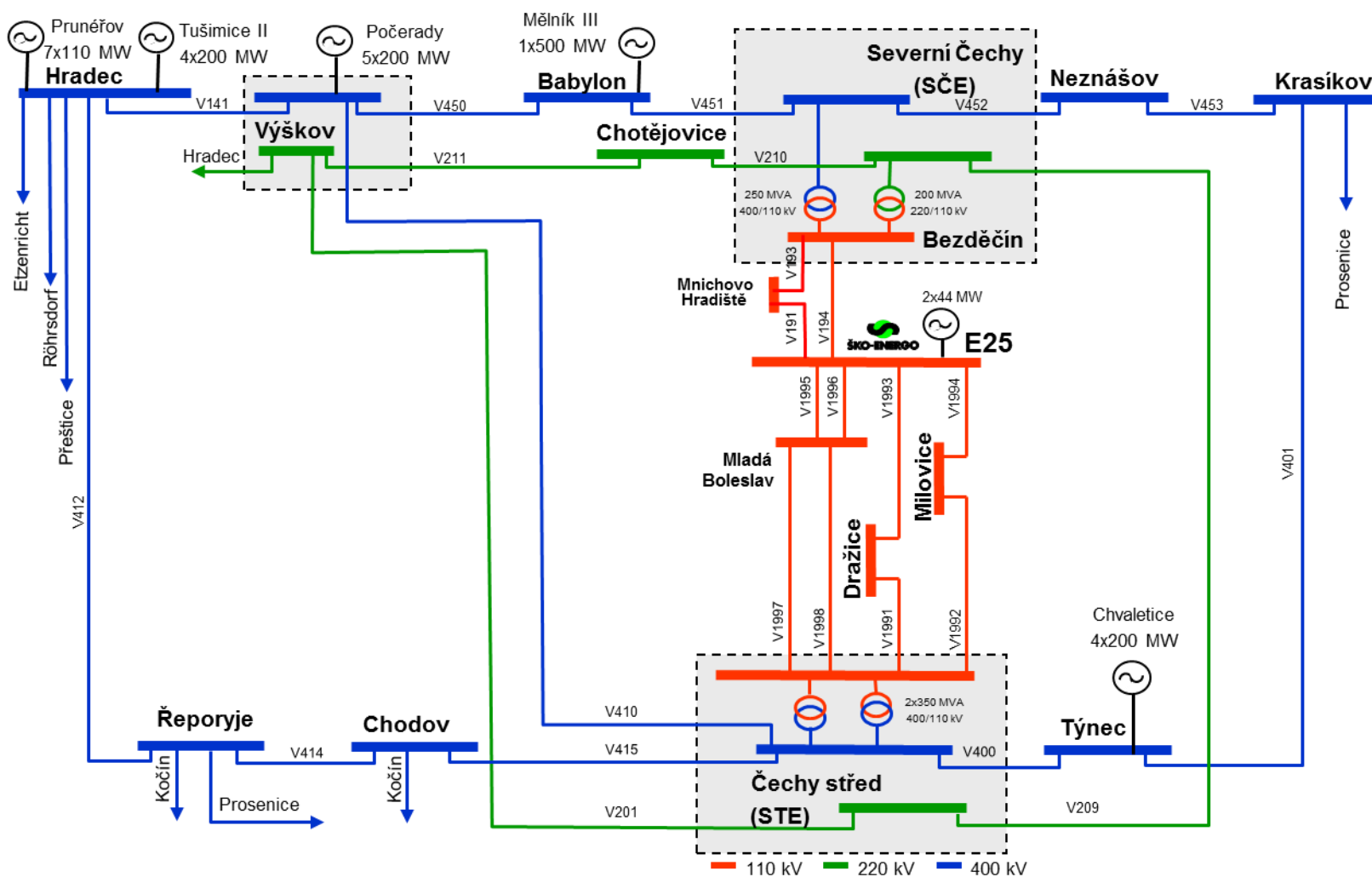


**A. 4 Pohled do reaktorové kobky**

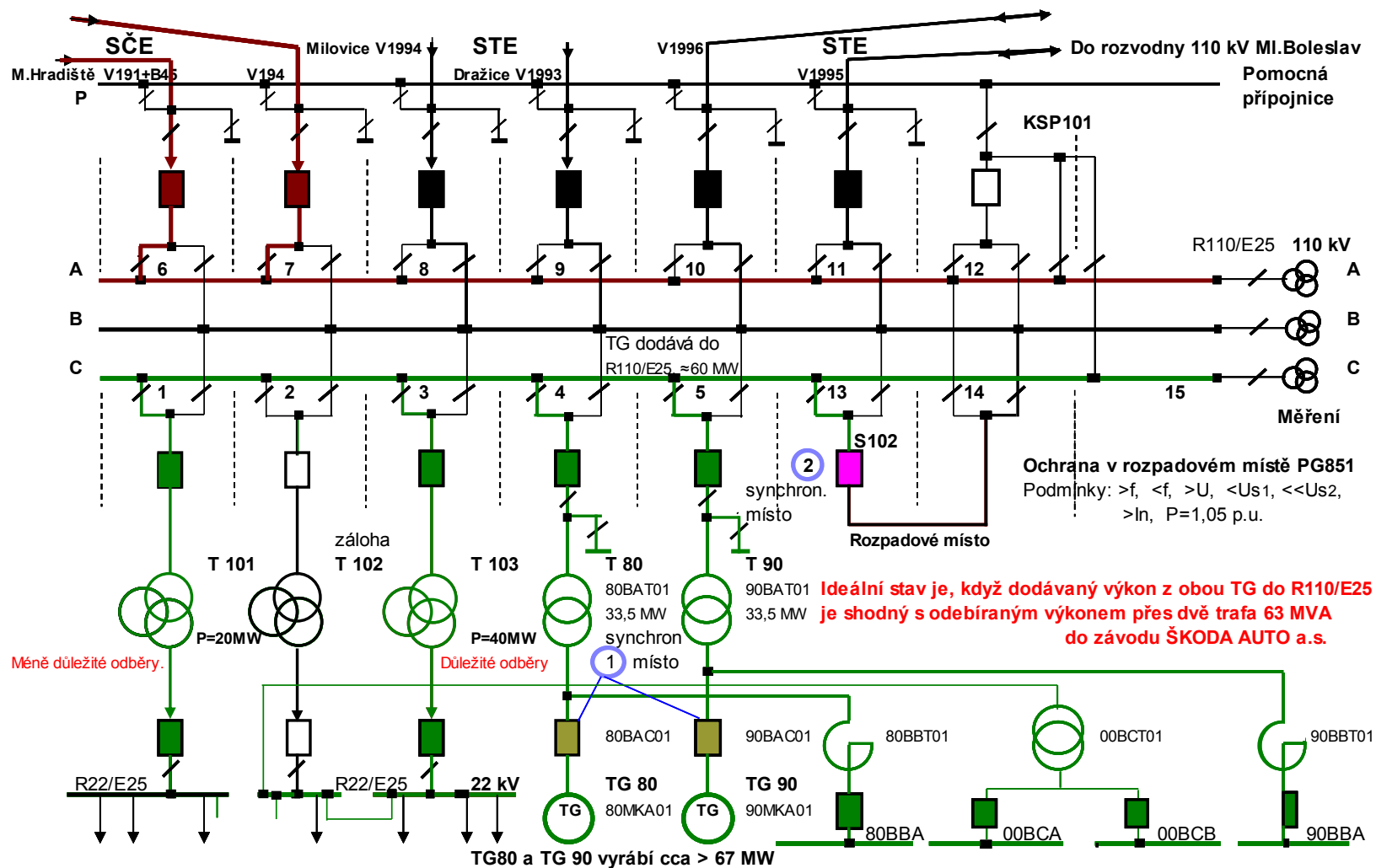




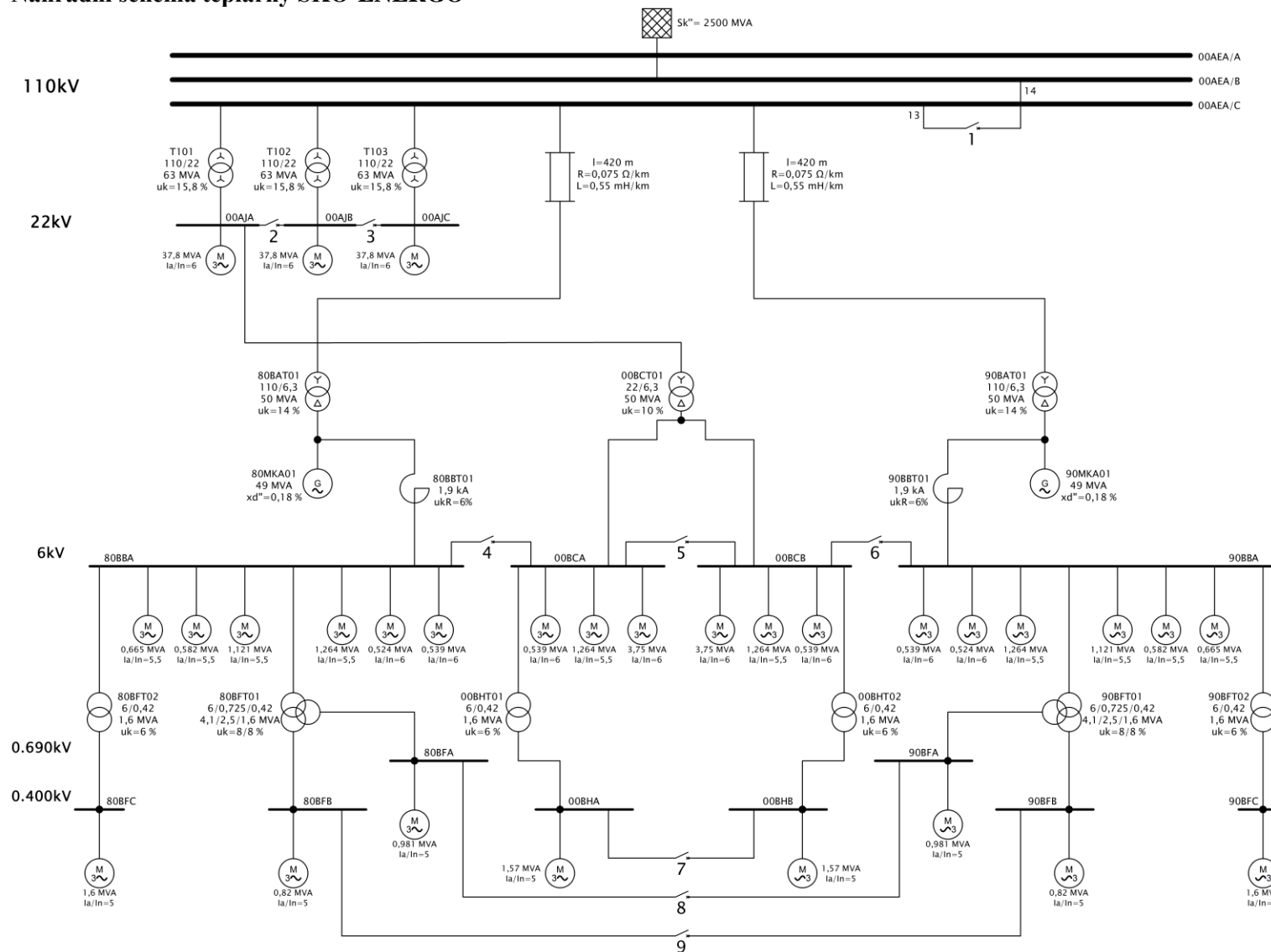
### B.1 Schéma propojení rozveden



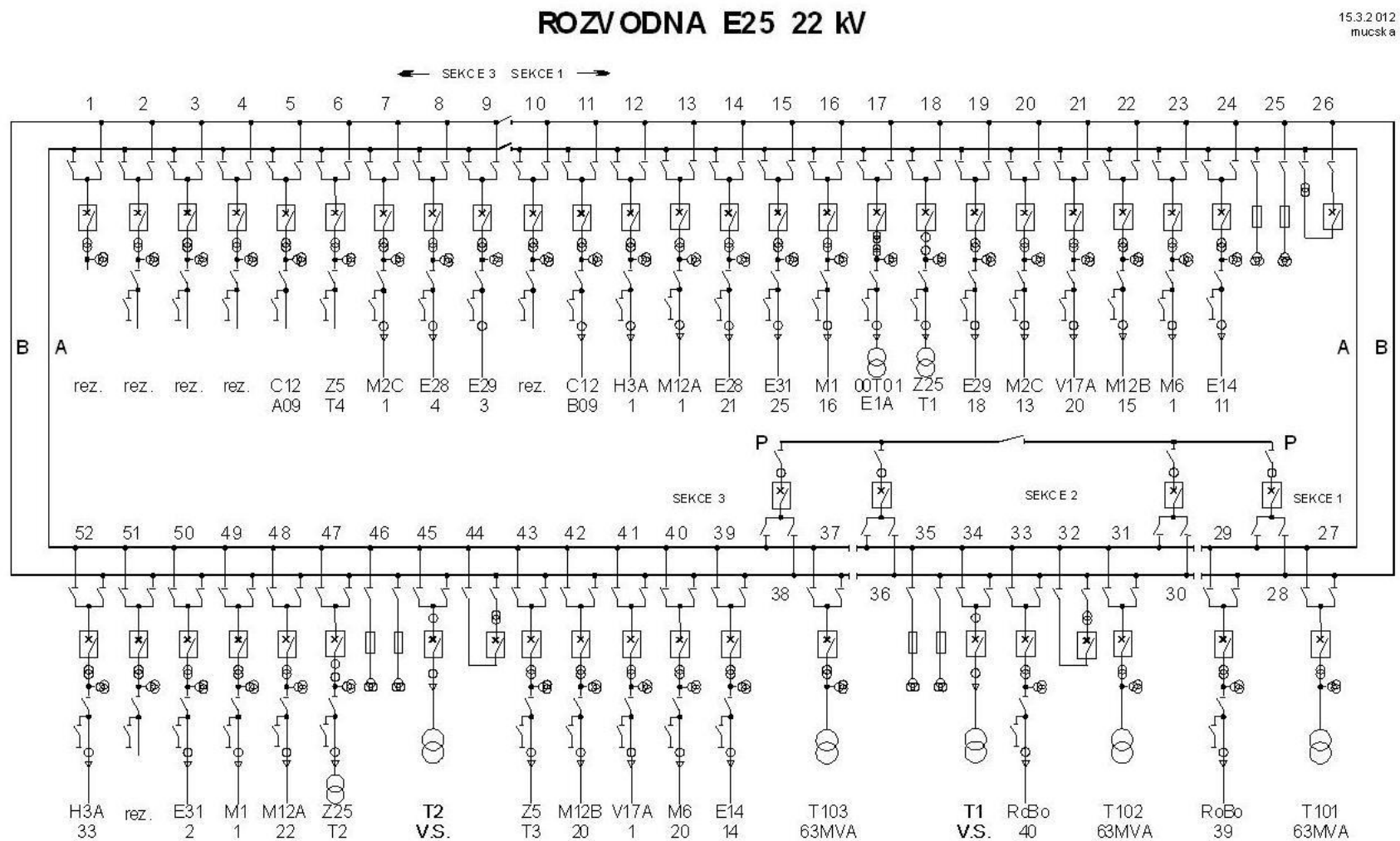
**B. 2 Rozvodna E25/110 KV a podmínky přechodu do OP**



### B.3 Náhradní schéma teplárny ŠKO-ENERGO



**B. 4 Schéma zapojení rozvodny E25 22 kV**



**C.1 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny (obecné rovnice)**

$$\bar{Z}_{EBM} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{((3,4002 + j8,0955) + (0,075 + j1,2217))} + \frac{1}{((2,8421 + j6,767) + (0,0353 + j0,5749))} \right)^{-1} + (0,0353 + j0,5749) \right)^{-1} + (0 + j0,1094) \right)^{-1} + \frac{1}{(0,0104 + j0,1487)} \right)^{-1} + \frac{1}{(0,0104 + j0,1487)} + \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{(0,1793 + j1,7932)} + \frac{1}{(0,5616 + j5,6162)} + \frac{1}{((0,1124 + j1,3453) + (1,7426 + j4,149))} \right)^{-1} + (12,999 \cdot 10^{-3} + j0,1981) \right)^{-1} + \frac{1}{(0,0158 + j0,1579)} + (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} \right)^{-1} + (4,4448 \cdot 10^{-3} + j0,1300) + (0,2812 + j0,6477) \cdot 10^{-3}$$

$$\bar{Z}_{SKVT} = \left( \frac{1}{\left( \frac{1}{\left( \frac{1}{((0,1709 + j1,3391) + (1,7759 + j4,2282))} + \frac{1}{(0,5153 + j5,1525)} + \frac{1}{(0,1392 + j1,3919)} \right)^{-1} + (12,999 \cdot 10^{-3} + j0,1981) \right)^{-1} + \frac{1}{(0,0158 + j0,1579)} + (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} \right)^{-1} + (4,4448 \cdot 10^{-3} + j0,1300) + (0,2812 + j0,6477) \cdot 10^{-3}$$

**C. 2 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 80/90BBA (paralelní provoz s DS)**

$$\bar{Z}_{vs} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{((3,4002 + j8,0955) + (0,075 + j1,2217))} + \frac{1}{((2,8421 + j6,767) + (0,0353 + j0,5749))} \right)^{-1} + (0,0353 + j0,5749) \right) + \frac{1}{(0,1793 + j1,7932)} + \frac{1}{(0,5616 + j5,6162)} + \frac{1}{((0,1124 + j1,3453) + (1,7426 + j4,149))} \right)^{-1}$$

$$\bar{Z}_{1A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{(0,01599 + j0,21764)} + \frac{1}{(0,01865 + j0,24814)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} + \frac{1}{(0 + j0,0158)} \right)^{-1} + (0,2812 + j0,6477) \cdot 10^{-3} + (4,4448 \cdot 10^{-3} + j0,1300) \right) + \frac{1}{(0,0104 + j0,1487)} \right)^{-1} + (0 + j0,1094)$$

**C. 3 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 80/90BBA (ostrovní provoz)**

$$\bar{Z}_{1B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{(0,01599 + j0,21764)} + \frac{1}{(0,01865 + j0,24814)} + \frac{1}{(0,01526 + j0,26028)} \right)^{-1} + (0,2812 + j0,6477) \cdot 10^{-3} + (4,4448 \cdot 10^{-3} + j0,1300) \right) + \frac{1}{(0,0104 + j0,1487)} \right)^{-1} + (0 + j0,1094)$$

**C. 4 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 00BCA/B (paralelní provoz s DS)**

$$\bar{Z}_{2A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( (0,1335 + j13,3398) \cdot 10^{-3} + (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} \right) + \frac{1}{(0,0158 + j0,1579)} \right)^{-1} + (12,999 \cdot 10^{-3} + j0,1981) \right) + \frac{1}{(0,1270 + j0,9228)}} \right)^{-1}$$

**C. 5 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 00BCA/B (ostrovní provoz)**

$$\bar{Z}_{2B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{\left( (5,4902 + j85,3731) \cdot 10^{-3} + (2,8514 + j90,241) \cdot 10^{-3} \right) + \frac{1}{(0,0158 + j0,1579)} \right)^{-1} + (12,999 \cdot 10^{-3} + j0,1981) \right) + \frac{1}{(0,1270 + j0,9228)}} \right)^{-1}$$

**C. 6 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 80/90BFA (paralelní provoz s DS)**

$$\bar{Z}_{3A} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{(3,7732 \cdot 10^{-3} + j0,18254)} + \frac{1}{((0,1124 + j1,3453) + (1,7426 + j4,149))} + \frac{1}{(0,1793 + j1,7932)} + \frac{1}{(0,5616 + j5,6162)} \right)^{-1} + 0,0353 + j0,5749 \right) + \frac{1}{((0,075 + j1,2217) + (3,4002 + j8,0955))} \right)^{-1} + 0,0353 + j0,5749$$

**C. 7 Numerické výpočty zkratové impedance do rozvodny 80/90BFA (ostrovní provoz)**

$$\bar{Z}_{3B} = \left( \frac{1}{\left( \left( \frac{1}{(5,3371 \cdot 10^{-3} + j0,19661)} + \frac{1}{((0,1124 + j1,3453) + (1,7426 + j4,149))} + \frac{1}{(0,1793 + j1,7932)} + \frac{1}{(0,5616 + j5,6162)} \right)^{-1} + 0,0353 + j0,5749 \right) + \frac{1}{((0,075 + j1,2217) + (3,4002 + j8,0955))} \right)^{-1} + 0,0353 + j0,5749$$