

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ovlivňování sítí vn přenosem poruch ze sítí vvn

**vedoucí práce: Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.
autor: Bc. Vlastimil Soušek**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlastimil SOUŠEK**
Osobní číslo: **E10N0110P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Ovlivňování sítí vn přenosem poruch ze sítí vvn**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce "Ovlivňování sítí vn přenosem poruch ze sítí vvn" bude zaměřena na tyto body:

1. Provedte výpočet napěťových a proudových poměrů v sítích vn a sítích vvn při jednofázových a vícefázových poruchách.
2. Graficky zpracujte vypočtené výsledky.
3. Zhodnoťte jednotlivé stavy.
4. Navrhněte případná opatření na omezení vlivu přenosu poruch ze sítí vvn na sítě vn.

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na výpočty napěťových a proudových poměrů v sítích vvn a vn při jednofázových a vícefázových příčných poruchách vzniklých v sítích vvn. Jednotlivé stavy jsou zhodnoceny, graficky zpracovány a jsou navrženy opatření na omezení vzniku poruch a na omezení vlivu přenosu poruch ze sítí vvn na sítě vn.

Klíčová slova

Elektrizační soustava, elektrický zkrat, metoda souměrných složek, transformátor, omezovače přepětí, zemní lana, zhášecí tlumivka, přepětí

Abstract

This master's thesis Influence of HV Networks Due to Faults Transmission from VHV Networks is focused on calculations of voltage and current ratios in VHV and HV networks during one-phase and multiple-phase short-circuit faults. Individual states are evaluated, graphically processed and there are suggestions for precautions for limitation of formation of the faults and limitation of the influence of faults transmission from VHV networks to HV networks.

Key words

Electrical power network, electrical short-circuit, method of Fortescue, transformer, delimiters of overvoltage, earthy ropes, Peterson inductor, overvoltage

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.

V Plzni dne 2.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému konzultantovi diplomové práce Ing. Františku Žákovi za poskytnutí důležitých rad a informací z oblasti teorie a z oblasti praxe. Dále bych chtěl poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za věcné připomínky, rady a za trpělivé vedení mé práce. Velmi děkuji svým rodičům za velkou podporu mé osoby během mého života a studia.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	13
1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA	14
2 PORUCHOVÉ STAVY V ELEKTRIZAČNÍCH SÍTÍCH	15
2.1 METODA SOUMĚRNÝCH SLOŽEK	17
2.2 PORUCHY CHARAKTERU ZKRATU.....	18
2.2.1 Jednofázový zkrat.....	18
2.2.2 Dvoufázový zkrat.....	19
2.2.3 Dvoufázový zemní zkrat	20
2.2.4 Třífázový zkrat	22
3 ZPŮSOBY PROVOZU UZLU ELEKTRIZAČNÍCH SÍTÍ	23
3.1 SÍŤ S PŘÍMO UZEMNĚNÝM UZLEM	26
3.2 SÍŤ S IZOLOVANÝM UZLEM	28
3.3 KOMPENZOVANÁ SÍŤ	30
3.4 ODPOROVĚ UZEMNĚNÁ SÍŤ	32
4 NÁHRADNÍ SCHÉMA PRO METODU SOUMĚRNÝCH SLOŽEK	34
4.1 URČOVÁNÍ HODNOT PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH ČLÁNKŮ SOUSTAV	35
4.1.1 Elektromotorické napětí zdroje	35
4.1.2 Reaktance sítě	35
4.1.3 Zátěž.....	35
4.1.4 Vedení	36
4.1.5 Zhášecí tlumivka	37
4.1.6 Transformátor.....	38
4.2 VÝPOČET KONKRÉTNÍCH HODNOT POTŘEBNÝCH PARAMETRŮ	39
4.2.1 Elektromotorické napětí zdroje	39
4.2.2 Reaktance sítě	40
4.2.3 Zátěž.....	40
4.2.4 Vedení	40
4.2.5 Zhášecí tlumivka	42
4.2.6 Transformátor.....	42
4.3 UPRAVENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA PRO METODU SOUMĚRNÝCH SLOŽEK.....	43
5 VÝPOČET NAPĚŤOVÝCH A PROUDOVÝCH POMĚRŮ PŘI JEDNOFÁZOVÝCH A VÍCEFÁZOVÝCH PORUCHÁCH	44
5.1 1F ZKRAT	46
5.2 2F ZKRAT	55
5.3 2F ZEMNÍ ZKRAT	60
5.4 3F ZKRAT	66
6 VZNIK NEBEZPEČNÝCH PŘEPĚTÍ NA STRANĚ VYSOKÉHO NAPĚTÍ	67
7 OPATŘENÍ NA OMEZENÍ VLIVU PŘENOSU PORUCH ZE SÍTÍ VVN NA SÍŤ VN A OPATŘENÍ NA OMEZENÍ VZNIKU PORUCH	70
7.1 TRANSFORMÁTOR S VINUTÍM ZAPOJENÝM DO TROJÚHELNÍKA – PŘENOS SLOŽKOVÝCH PROUDŮ VINUTÍM	

ZAPOJENÝM DO TROJÚHELNÍKA	70
7.2 ZEMNÍ LANO	71
7.3 SVODIČE PŘEPĚTÍ.....	72
7.4 AUTOMATIKA OPĚTNÉHO ZAPÍNÁNÍ (OZ)	74
ZÁVĚR	75
POUŽITÁ LITERATURA.....	78
SEZNAM PŘÍLOH.....	79
PŘÍLOHY	80
EVIDENČNÍ LIST	86

Seznam symbolů a zkratek

nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
zvvn	zvlášť vysoké napětí
$\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$ (V)	fázor napětí fáze A, B, C
$\bar{U}_{(1)}, \bar{U}_{(2)}, \bar{U}_{(0)}$ (V)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí
$\bar{U}_{A(1)}, \bar{U}_{A(2)}, \bar{U}_{A(0)}$ (V)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí fáze A
$\bar{U}_{B(1)}, \bar{U}_{B(2)}, \bar{U}_{B(0)}$ (V)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí fáze B
$\bar{U}_{C(1)}, \bar{U}_{C(2)}, \bar{U}_{C(0)}$ (V)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí fáze C
\bar{a}, \bar{a}^2	operátor natočení
\bar{F}	transformační matice složkových soustav
\bar{U}	vektor napětí fází A, B, C
\bar{U}_F	vektor složkových napětí
\bar{F}^{-1}	inverzní transformační matice složkových soustav
$\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ (A)	fázor proudu fáze A, B, C
$\bar{Z}_{C(1)}, \bar{Z}_{C(2)}, \bar{Z}_{C(0)}$ (Ω)	celk. impedance sousledné, zpětné, netoč. složkové soustavy
\bar{E} (V)	fázor elektromotorického napětí
U_f (V)	fázové napětí
U_n (V)	jmenovité napětí
R_{C1}, R_{C2} (Ω)	svodový odpor vývodu 1, 2
R_C (Ω)	celkový svodový odpor
\bar{I}_{por} (A)	fázor poruchového proudu
C_1, C_2 (F)	kapacita fáze proti zemi vývodu 1, 2
C (F)	celková kapacita fáze proti zemi vývodů
R_p (Ω)	odpor poruchy
\bar{U}_N (V)	fázor uzlového napětí napájecího transformátoru
\bar{Z}_N (Ω)	impedance uzlu napájecího transformátoru
\bar{Z}_V (Ω)	impedance vedení
$\bar{I}_{(1)}, \bar{I}_{(2)}, \bar{I}_{(0)}$ (A)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky proudu
Y (S)	admitance
$\bar{Z}_{V(1)}, \bar{Z}_{V(2)}, \bar{Z}_{V(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance vedení
$\bar{Z}_{T(1)}, \bar{Z}_{T(2)}, \bar{Z}_{T(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance transformátoru
\bar{Z}_C (Ω)	celková impedance
U_a, U_b, U_c (V)	fázová napětí
U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} (V)	sdužená napětí
I_{ca}, I_{cb}, I_{cc} (A)	kapacitní proud fáze A, B, C

U_{ap}, U_{bp}, U_{cp} (V)	fázová napětí při poruše
U_{sdr} (V)	sdužená hodnota napětí
l (m)	délka všech vedení v síti
C_0 (F/km)	měrná kapacita fáze proti zemi
L (H)	indukčnost zhášecí tlumivky
\bar{Z}_{TL} (Ω)	impedance zhášecí tlumivky
R_L (Ω)	el. odpor zhášecí tlumivky
R_n (Ω)	el. odpor připínatelného odporníku
X_L (Ω)	induktivní reaktance
I_L (A)	proud procházející indukčností zhášecí tlumivky
I_{RL} (A)	proud procházející odporem zhášecí tlumivky
I_{ZT} (A)	proud procházející zhášecí tlumivkou
I_W (A)	proud činného charakteru
I_{Rn} (A)	proud procházející odporníkem
$\bar{Z}_{S(1)}, \bar{Z}_{S(2)}, \bar{Z}_{S(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance sítě vvn
$\bar{Z}_{TrP(1)}, \bar{Z}_{TrP(2)}, \bar{Z}_{TrP(0)}$ (Ω) .	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance primárního vinutí transformátoru
$\bar{Z}_{TrS(1)}, \bar{Z}_{TrS(2)}, \bar{Z}_{TrS(0)}$ (Ω) .	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance sekundárního vinutí transformátoru
$\bar{Z}_{ved(1)}, \bar{Z}_{ved(2)}, \bar{Z}_{ved(0)}$ (Ω) .	sousledná, zpětná, netočivá složka podélné impedance vedení
$R_{C(1)}, R_{C(2)}, R_{C(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka svodového odporu vedení
$C_{(1)}, C_{(2)}, C_{(0)}$ (F)	sousledná, zpětná, netočivá složka kapacity vedení
$\bar{Z}_{C(1)}, \bar{Z}_{C(2)}, \bar{Z}_{C(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance kapacity vedení
$R_{Z(1)}, R_{Z(2)}, R_{Z(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka odporové části zátěže
$L_{Z(1)}, L_{Z(2)}, L_{Z(0)}$ (H)	sousledná, zpětná, netočivá složka indukčnosti zátěže
$\bar{Z}_{Z(1)}, \bar{Z}_{Z(2)}, \bar{Z}_{Z(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance zátěže
\bar{Z}_{Rz} (Ω)	impedance odporové části zátěže
\bar{Z}_{Xz} (Ω)	impedance induktivní části zátěže
SP	spínač vyjadřující „průchodnost“ netočivé části složkového schématu závislou na zapojení vinutí transformátoru
\bar{Z}_{SP} (Ω)	fiktivní impedance závislá na spínači SP
\bar{I}_{KS}'' (A)	zkratový proud elektrické sítě
S_{KS}'' (VA)	zkratový výkon elektrické sítě
MP(1), MP(2), MP(0)	označení místa poruchy v sousledné, zpětné a netočivé složce
X_S (Ω)	reaktance elektrické sítě
$X_{S(1)}, X_{S(2)}, X_{S(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka reaktance el. sítě
R_Z (Ω)	odpor zátěže
L_Z (H)	indukčnost zátěže
X_Z (Ω)	reaktance zátěže
\bar{Z}_Z (Ω)	impedance zátěže

S_Z (VA)	zátěžný zdánlivý výkon
S_{Z1} (VA)	zátěžný zdánlivý výkon 1 vývodu
S_n (VA)	jmenovitý výkon
I_Z (A)	zatěžovací proud
$\cos\varphi$	účinník
R_{SS} (Ω)	stejnoseměrný odpor
ρ ($\mu\Omega\text{m}$)	měrná rezistivita
S (mm^2)	průřez vodiče
$X_{ved(1)}, X_{ved(2)}, X_{ved(0)}$ (Ω) ...	sousledná, zpětná, netočivá složka podélné reaktance vedení
$R_{ved(1)}, R_{ved(2)}, R_{ved(0)}$ (Ω) ...	sousledná, zpětná, netočivá složka podélné rezistance vedení
$X_{C(1)}, X_{C(2)}, X_{C(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka kapacitní reaktance vedení
L_{TL} (H)	indukčnost zhášecí tlumivky
X_{TL} (Ω)	induktivní reaktance zhášecí tlumivky
R_{TL} (Ω)	el. odpor zhášecí tlumivky
ΔP_K (W)	ztráty nakrátko transformátoru
$u_{K\%}$ (%)	napětí nakrátko transformátoru
U_{nT} (V)	jmenovité napětí transformátoru
S_{nT} (VA)	jmenovitý výkon transformátoru
X_μ (Ω)	magnetizační reaktance transformátoru
X_{TrS}, X_{TrP} (Ω)	reaktance sekundární, primární části transformátoru
$X_{TrP(1)}, X_{TrP(2)}, X_{TrP(0)}$ (Ω) ..	sousledná, zpětná, netočivá složka reaktance primáru transf.
$X_{TrS(1)}, X_{TrS(2)}, X_{TrS(0)}$ (Ω) ..	sousledná, zpětná, netočivá složka reaktance sekundáru transf.
\bar{Z}_{TR} (Ω)	impedance transformátoru
$\bar{U}_{por(1)}, \bar{U}_{por(2)}, \bar{U}_{por(0)}$ (V) ..	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí v místě poruchy
$\bar{U}'_{por(0)}, \bar{U}''_{por(0)}$ (V)	fázor netočivé složky napětí v místě poruchy pro fázi B, C
$\bar{I}'_{por(0)}, \bar{I}''_{por(0)}$ (A)	fázor netočivé složky poruchového proudu pro fázi B, C
$\bar{I}_{por(1)}, \bar{I}_{por(2)}, \bar{I}_{por(0)}$ (A) ...	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky poruchového proudu
$\bar{U}_{ved(1)}, \bar{U}_{ved(2)}, \bar{U}_{ved(0)}$ (V) ...	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí vedení vn
$\bar{U}_{CZ(1)}, \bar{U}_{CZ(2)}, \bar{U}_{CZ(0)}$ (V) ...	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky napětí na zátěži
$\bar{I}_{C(1)}, \bar{I}_{C(2)}, \bar{I}_{C(0)}$ (A)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky proudu kapacit
$\bar{I}_{Z(1)}, \bar{I}_{Z(2)}, \bar{I}_{Z(0)}$ (A)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky proudu zátěže
$\bar{I}_{TrVed(1)}, \bar{I}_{TrVed(2)}, \bar{I}_{TrVed(0)}$ (A)	fázor sousledné, zpětné, netočivé složky proudu vedení
$\bar{Z}_{1(1)}, \bar{Z}_{1(2)}, \bar{Z}_{1(0)}$ (Ω)	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance
$\bar{Z}_{11}, \bar{Z}_{12}, \bar{Z}_{31}, \bar{Z}_3$ (Ω)	impedance
$\bar{Z}_{2(2)}, \bar{Z}_{2(0)}$ (Ω)	zpětná, netočivá složka impedance
$\bar{Z}_{CZ(1)}, \bar{Z}_{CZ(2)}, \bar{Z}_{CZ(0)}$ (Ω) ...	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance

$\bar{Z}_{TV(1)}, \bar{Z}_{TV(2)}, \bar{Z}_{TV(0)}$ (Ω) ...	sousledná, zpětná, netočivá složka impedance
$\bar{U}_{porA}, \bar{U}_{porB}, \bar{U}_{porC}$ (V)	fázor napětí fáze A, B, C v místě poruchy
$\bar{I}_{porA}, \bar{I}_{porB}, \bar{I}_{porC}$ (A)	fázor poruchového proudu fáze A, B, C
$\bar{U}_{vedA}, \bar{U}_{vedB}, \bar{U}_{vedC}$ (V)	fázor napětí na vedení vn fáze A, B, C
$\bar{U}_{CZA}, \bar{U}_{CZB}, \bar{U}_{CZC}$ (V)	fázor napětí na zátěži fáze A, B, C
$\bar{I}_{CA}, \bar{I}_{CB}, \bar{I}_{CC}$ (A)	fázor proudu protékajícího zátěží fáze A, B, C
$\bar{I}_{ZA}, \bar{I}_{ZB}, \bar{I}_{ZC}$ (A)	fázor proudu protékajícího kapacitami fáze A, B, C
\bar{U}_{TL} (V)	fázor napětí na zhášecí tlumivce
\bar{I}_1, \bar{I}_2 (A)	fázory proudů
R_e (Ω)	zemní odpor
\bar{U}_e (V)	fázor napětí na zemním odporu
S (m)	ochranná vzdálenost
α ($^\circ$)	ochranný úhel
ZL	zemní lano
L	fázový vodič
h_Z (m)	vzdálenost zemního lana od země
h_L (m)	vzdálenost fázového vodiče od země

Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na výpočty napěťových a proudových poměrů na napěťových hladinách vn a vvn při příčných poruchách vzniklých na hladině vvn. Je ukázán vliv poruch a jejich přenos na hladinu vn.

V úvodu jsem se zaměřil na popis elektrizační soustavy a na rozdělení poruchových stavů, které se v elektrizační soustavě mohou vyskytovat. Dále jsem představil metodu souměrných složek, kterou jsem dále využil k výpočtu napěťových a proudových poměrů při poruchových stavech. V teoretické části mé práce jsem také provedl rozbor způsobů provedení uzemnění uzlu elektrizačních sítí.

V hlavní části práce jsem nejprve navrhl schéma pro metodu souměrných složek a provedl jsem výpočet hodnot jednotlivých prvků, použitých v tomto schématu. Dále jsem provedl výpočet proudových a napěťových poměrů v místě poruchy (napěťová hladina vvn) a na napěťové hladině vn – tyto výpočty jsem udělal pro případ 1f zkratu, 2f zkratu, 2f zemního zkratu a 3f zkratu. Zjištěné hodnoty jsem graficky zpracoval (fázorové diagramy a grafy závislosti hodnot proudů a napětí na velikosti odporu poruchy) a jednotlivé zjištěné stavy jsem zhodnotil.

Na závěr jsem uvedl možnost vzniku nebezpečného přepětí vznikajícího díky možnému vzniku sériové rezonance indukčnosti zhášecí tlumivky a kapacity vedení vn. Navrhl jsem opatření na omezení vzniku poruch a na omezení přenosu poruch ze sítí vvn na vn.

1 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava je složitý systém, složený z mnoha vzájemně propojených dílčích prvků, jejichž hlavním úkolem je pokrytí požadavků na dodávku elektrické energie. Hlavními funkcemi elektrizační soustavy jsou výroba elektrické energie, její přenos a distribuce a na závěr její spotřeba.

Výrobu el. energie zajišťují elektrárny přeměnou z různých druhů energie (z chemické, jaderné, vodní, větrné, sluneční atd.). Elektrickou energii mohou dodávat do přenosové soustavy či menší elektrárenské zdroje rovnou do soustavy distribuční.

Přenos a distribuci elektrické energie zajišťuje přenosová a distribuční soustava. Přenosová soustava má za úkol přenášet el. energii vyrobenou v elektrárnách na velké vzdálenosti s vysokou účinností rovnoměrně po celém území. Přenos v ČR se uskutečňuje hlavně na venkovním vedení na napěťových hladinách 400kV a 220kV. Distribuční (rozvodná) soustava je napájena z uzlových stanic 400(220)kV/110kV z přenosové soustavy, či z výkonově malých elektrických zdrojů. Z veřejné distribuční soustavy jsou zásobovány průmyslové závody, elektrická trakce, zemědělství, nevýrobní sféra a obyvatelstvo ve městech a na venkově.

V tab. 1-1 jsem uvedl napěťové úrovně el. sítí používané v elektrizační soustavě ČR, v tabulce jsou uvedeny hodnoty sdružených napětí.

Tab. 1-1: Napěťové úrovně používané v elektrizační soustavě ČR

označení hladiny napětí	nn		vn					vvn		zvn
jmen. napětí [kV]	0,4	0,5	3	6	10	22	35	110	220	400
typ soustavy	distribuční soustava							přenosová soustava		

Elektrická vedení jsou dvojího druhu. Vedení venkovní a vedení kabelová. Venkovní vedení převažuje na napěťových hladinách zvn, vvn a vn. Kabelová vedení převažují v elektrických sítích městských a průmyslových na napěťových hladinách vn a nn, ve velkých městech se využívají i kabely 110 kV. Na venkovním vedení se vyskytuje větší množství

poruch, ale většina těchto poruch je přechodného charakteru. Kabelová vedení mají naopak menší výskyt poruch, ale poruchy jsou většinou trvalého charakteru.

2 Poruchové stavy v elektrizačních sítích

Elektrizační soustava je velmi složitý systém, v němž se mohou a samozřejmě vyskytují poruchy. Tyto poruchové stavy mohou být způsobeny několika vlivy:

- Mimořádné atmosférické podmínky – úder blesku, vítr, námraza, povodeň, ... Tyto vlivy jsou nejrozšířenější a způsobují krátkodobou poruchu či poškození zařízení dlouhodobého charakteru. Mohou vzniknout další poruchové stavy, jako jsou například zkraty, přetížení sítě, pokles napětí či dokonce rozpad sítě.
- Mimořádné politické podmínky – záměrné ničení zařízení – většinou pak jde o závažné poruchy dlouhodobého charakteru
- Lidský faktor – špatné rozhodnutí dispečera, nesprávná manipulace se zařízením či nedostatečná údržba

Ve všech takto uvedených případech vzniká porucha, která má za následek změnu provozních veličin na veličiny poruchové.

Rozdělení poruch podle změny základních veličin:

- Poruchy, při kterých dojde ke zvýšení proudu – zkrat, přetížení
- Poruchy, při kterých dojde ke zvýšení napětí – atmosférická přepětí, přepětí vzniklá spínáním velkých indukčností a kapacit, ferorezonanční jevy

Rozdělení poruchových stavů dle souměrnosti:

- Souměrné – projevují se ve všech fázích stejně (3f zkrat)
- Nesouměrné – projevují se v jednotlivých fázích rozdílně (např. 2f zkrat, 2f zemní zkrat, 1f zkrat, přerušení fáze)

Rozdělení nesouměrných poruch:

- Příčné – tj. porucha v jednom uzlu - 1f zkrat (1f zemní spojení), 2f zkrat, 2f zemní zkrat
- Podélné – tj. nesouměrnost mezi dvěma uzly – přerušení fáze/fází

Rozdělení poruchy podle velikosti přechodového odporu v místě poruchy

- kovová (0Ω)
- oblouková (několik Ω)
- odporová (několik set Ω)

Rozdělení poruchy podle doby trvání

- mžiková (do 0,5 s)
- krátkodobá (do 5 min)
- přerušovaná (opakovaná mžiková či krátkodobá porucha)
- trvalá (až několik hodin - do doby odstranění poruchy)

Nejčastější závažná porucha, která má za následek velké nadproudy je zkrat (bezimpedanční spojení fází či případně spojení fáze a země). V tab. 2-1 jsem uvedl rozložení četnosti výskytů zkratů v sítích vn, 110kV a 220kV.

Tab. 2-1: Rozložení četnosti výskytů zkratů

napěťová hladina	druh zkratu			
	3f	2f	2f+zem	1f
vn	5%	10%	20%	65%
110kV	0,4%	4,8%	3,8%	91%
220kV	1%	0,6%	5,4%	93%

Zkrat je nejrozšířenější porucha v elektrizační soustavě a patří do kategorie příčných poruch. Mezi hlavní příčiny vzniku zkratu patří: přímé poškození venkovního vedení či kabelů, porucha izolace způsobená přepětím, přímý úder blesku, zestárnutí izolačních materiálů.

Mezi následky zkratů patří: zvýšení proudu (tzv. zkratové proudy), snížení napětí v místech blízkých zkratu, tepelné a silové namáhání zařízení, přepětí, porušení synchronismu u paralelně spolupracujících elektrizačních soustav,...

2.1 Metoda souměrných složek

Při výše uvedených poruchách vznikají nesouměrnosti v sítích, které mohou znesnadnit výpočet napěťových a proudových poměrů. Pomocí metody souměrných složek lze každou 3f nesouměrnou soustavu nahradit souměrnými složkami fázorů soustavy sousledné, zpětné a netočivé. Po rozložení hvězdice nesymetrických fázorů na soustavu souměrných složek fázorů vznikne soustava rovnic (2.1-1)

$$\begin{aligned}\bar{U}_A &= \bar{U}_{A(1)} + \bar{U}_{A(2)} + \bar{U}_{A(0)} \\ \bar{U}_B &= \bar{U}_{B(1)} + \bar{U}_{B(2)} + \bar{U}_{B(0)} \\ \bar{U}_C &= \bar{U}_{C(1)} + \bar{U}_{C(2)} + \bar{U}_{C(0)}\end{aligned}\quad (2.1-1)$$

Pokud zvolíme fázi A za referenční, tak soustava rovnic (2.1-1) přechází v rovnici (2.1-2)

$$\begin{aligned}\bar{U}_A &= \bar{U}_{(1)} + \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)} \\ \bar{U}_B &= \bar{a}^2 \bar{U}_{(1)} + \bar{a} \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)} \\ \bar{U}_C &= \bar{a} \bar{U}_{(1)} + \bar{a}^2 \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)}\end{aligned}\quad (2.1-2), \text{ kde:}$$

$$\begin{aligned}\bar{a} &= e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \bar{a}^2 &= e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\end{aligned}\quad (2.1-3)$$

Po přepsání do maticového tvaru (2.1-4) platí:

$$\underline{\bar{U}} = \underline{\bar{F}} \cdot \underline{\bar{U}_F} \quad (2.1-4), \text{ kde } \underline{\bar{U}} = \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_B \\ \bar{U}_C \end{bmatrix}, \underline{\bar{U}_F} = \begin{bmatrix} \bar{U}_{(1)} \\ \bar{U}_{(2)} \\ \bar{U}_{(0)} \end{bmatrix} \text{ a } \underline{\bar{F}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix}\quad (2.1-5)$$

Po provedení inverze (2.1-6) lze přejít od fázových hodnot k hodnotám souměrných složek

$$\underline{\bar{U}_F} = \underline{\bar{F}^{-1}} \cdot \underline{\bar{U}} \quad (2.1-6), \text{ kde } \underline{\bar{F}^{-1}} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Z maticové rovnice (2.1-6) vyplývá soustava rovnic:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{(1)} &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{a}\bar{U}_B + \bar{a}^2\bar{U}_C) \\ \bar{U}_{(2)} &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{a}^2\bar{U}_B + \bar{a}\bar{U}_C) \\ \bar{U}_{(0)} &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C)\end{aligned}\quad (2.1-7)$$

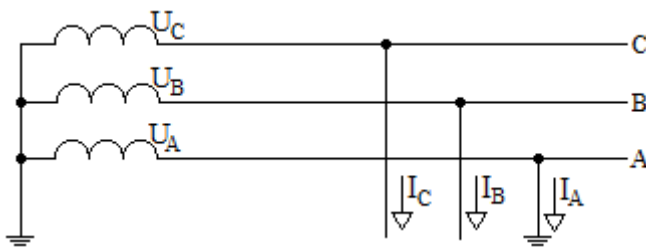
Původcem proudu zpětné a netočivé soustavy je napěťová nesymetrie v místě poruchy.

2.2 Poruchy charakteru zkratu

Následující příklady zkratových poruch jsou jen nejjednodušší ideální případy. Ve skutečnosti se velmi často nedosahuje dokonale vodivé poruchy, z tohoto důvodu bude nastínění řešení poruch čistě teoretické.

2.2.1 Jednofázový zkrat

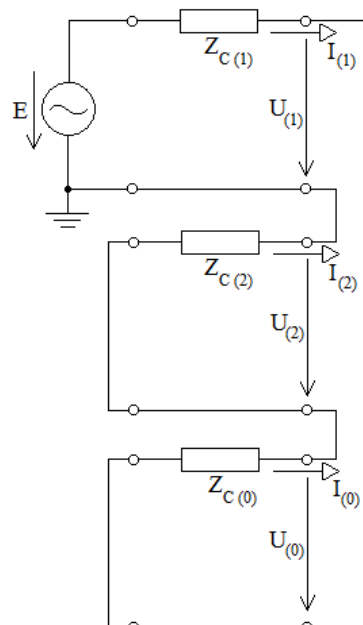
Tento druh zkratu může vzniknout v síti s účinně uzemněným uzlem transformátoru.



Obr. 2.2.1-1: Schématické znázornění 1f zkratu

Ze schématu zobrazeného na obr. 2.2.1-1 lze přímo napsat charakteristické rovnice pro jednofázový zkrat:

$$\bar{U}_A = 0, \bar{I}_B = 0, \bar{I}_C = 0 \quad (2.1.1-1)$$



Přechodem ke složkovým veličinám platí rovnice pro složkové proudy:

$$\bar{I}_F = \bar{F}^{-1} \cdot \bar{I} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_A \\ \bar{I}_A \end{bmatrix} \quad (2.1.1-2)$$

Z rovnice (2.1.1-2) plyne:

$$\bar{I}_{(1)} = \bar{I}_{(2)} = \bar{I}_{(0)} = \frac{1}{3} \cdot \bar{I}_A \quad (2.1.1-3)$$

Ze schématu na obr. 2.2.1-2 plyne:

$$\bar{I}_{(1)} = \bar{I}_{(2)} = \bar{I}_{(0)} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)} + \bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \quad (2.1.1-4)$$

Obr. 2.2.1-2: Propojení náhradních složkových soustav při 1f zkratu

Pro zkratový proud fáze A tedy platí:

$$\bar{I}_A = \frac{3 \cdot \bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)} + \bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \quad (2.1.1-5)$$

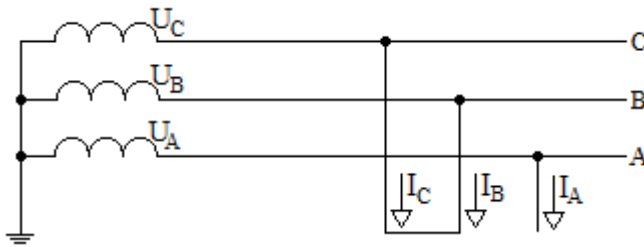
Pro složková napětí v místě zkratu platí:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{(0)} &= -\bar{Z}_{C(0)} \bar{I}_{(1)} \\ \bar{U}_{(2)} &= -\bar{Z}_{C(2)} \bar{I}_{(1)} \\ \bar{U}_{(1)} &= (\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}) \cdot \bar{I}_{(1)} \end{aligned} \quad (2.1.1-6)$$

Po lineární transformaci složkových napětí platí pro fázová napětí v místě zkratu:

$$\bar{U} = \bar{F} \cdot \bar{U}_F = \begin{bmatrix} 0 \\ (\bar{a}^2 - \bar{a}) \cdot \bar{Z}_{C(2)} + (\bar{a}^2 - 1) \cdot \bar{Z}_{C(0)} \\ (\bar{a} - \bar{a}^2) \cdot \bar{Z}_{C(2)} + (\bar{a} - 1) \cdot \bar{Z}_{C(0)} \end{bmatrix} \cdot \bar{I}_{(1)} \quad (2.1.1-7)$$

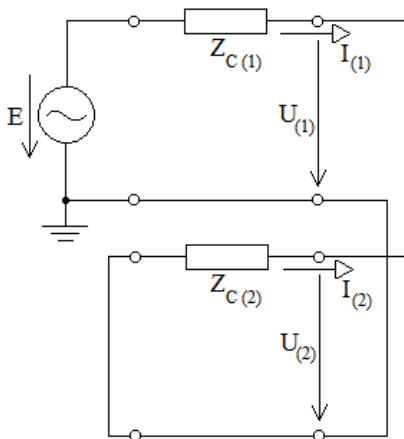
2.2.2 Dvoufázový zkrat



Obr. 2.2.2-1: Schématické znázornění 2f zkratu

Ze schématického znázornění 2f zkratu na obr. 2.2.2-1 lze napsat charakteristické rovnice pro tento druh poruchy:

$$\bar{U}_B = \bar{U}_C, \bar{I}_A = 0, \bar{I}_B = -\bar{I}_C \quad (2.2.2-1)$$



Přechodem ke složkovým veličinám platí rovnice pro složkové proudy:

$$\bar{I}_F = \bar{F}^{-1} \cdot \bar{I} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_B \\ -\bar{I}_B \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} i\sqrt{3}\bar{I}_B \\ -i\sqrt{3}\bar{I}_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.2.2-2)$$

Z rovnice (2.2.2-2) plyne:

$$\bar{I}_{(1)} = -\bar{I}_{(2)}, \bar{I}_{(0)} = 0 \quad (2.2.2-3)$$

Obr. 2.2.2-2: Propojení náhradních složkových soustav při 2f zkratu

Ze schématu na obrázku 2.2.2-2 plyne:

$$\bar{I}_{(1)} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)} + \bar{Z}_{C(2)}}, \bar{I}_{(1)} = -\bar{I}_{(2)}, \bar{I}_{(0)} = 0 \quad (2.2.2-4)$$

Pro zkratové proudy fází B, C a pro proud fází A platí:

$$\bar{I}_C = -i\sqrt{3}\bar{I}_{(1)}, \bar{I}_B = -\bar{I}_C = i\sqrt{3}\bar{I}_{(1)}, \bar{I}_A = 0 \quad (2.2.2-5)$$

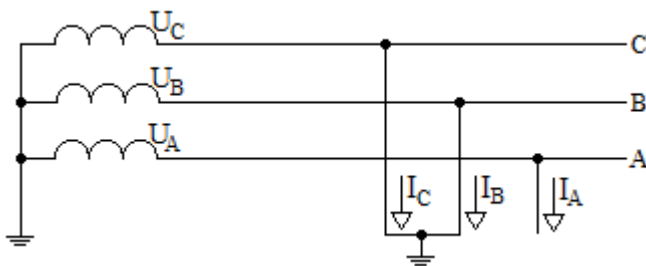
Pro složková napětí v místě zkratu platí:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{(0)} &= 0 \\ \bar{U}_{(2)} &= \bar{Z}_{C(2)}\bar{I}_{(1)} \\ \bar{U}_{(1)} &= \bar{U}_{(2)} = \bar{Z}_{C(2)}\bar{I}_{(1)} \end{aligned} \quad (2.2.2-6)$$

Po lineární transformaci složkových napětí platí pro fázová napětí v místě zkratu:

$$\bar{U} = \bar{F} \cdot \bar{U}_F = \begin{bmatrix} 2 \cdot \bar{U}_{(1)} \\ -\bar{U}_{(1)} \\ -\bar{U}_{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot \bar{Z}_{C(2)}\bar{I}_{(1)} \\ -\bar{Z}_{C(2)}\bar{I}_{(1)} \\ -\bar{Z}_{C(2)}\bar{I}_{(1)} \end{bmatrix} \quad (2.2.2-7)$$

2.2.3 Dvoufázový zemní zkrat

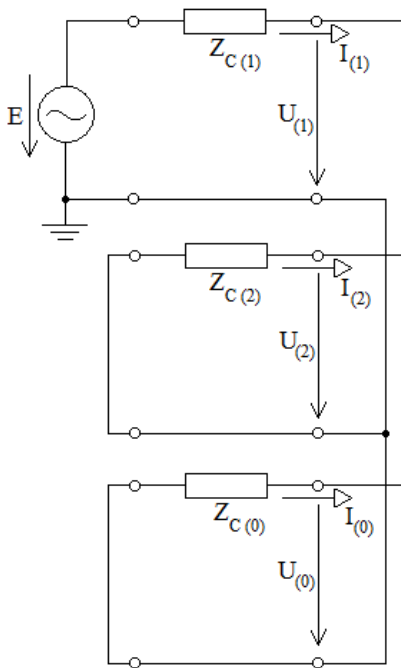


Obr. 2.2.3-1: Schématické znázornění 2f zemního zkratu

Ze schématu zobrazeného na obr. 2.2.3-1 lze přímo napsat charakteristické rovnice pro 2f zemní zkrat:

$$\bar{I}_A = 0, \bar{U}_B = \bar{U}_C = 0 \quad (2.2.3-1)$$

Přechodem ke složkovým veličinám platí rovnice pro složková napětí:



$$\underline{\bar{U}}_F = \underline{\bar{F}}^{-1} \cdot \underline{\bar{U}} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_A \\ \bar{U}_A \end{bmatrix} \quad (2.2.3-2)$$

Ze rovnice (2.1.3-2) plyne:

$$\bar{U}_{(1)} = \bar{U}_{(2)} = \bar{U}_{(0)} \quad (2.2.3-3)$$

Ze schématu na obr. 2.2.3-2 plyne:

$$\bar{I}_{(1)} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)} + \frac{\bar{Z}_{C(2)} \cdot \bar{Z}_{C(0)}}{\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}}}$$

$$\bar{I}_{(2)} = -\frac{\bar{Z}_{C(0)}}{\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \cdot \bar{I}_{(1)} \quad (2.2.3-4)$$

$$\bar{I}_{(0)} = -\frac{\bar{Z}_{C(2)}}{\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \cdot \bar{I}_{(1)}$$

Ob r. 2.2.3-2: Propojení náhradních složkových soustav při 2f zemním zkratu

Po lineární transformaci složkových proudů platí pro fázové proudy:

$$\bar{I} = \underline{\bar{F}} \cdot \underline{\bar{I}}_F = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{(\bar{a}^2 - 1) \cdot \bar{Z}_{C(2)} + (\bar{a}^2 - \bar{a}) \cdot \bar{Z}_{C(0)}}{\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \\ \frac{(\bar{a} - 1) \cdot \bar{Z}_{C(2)} + (\bar{a} - \bar{a}^2) \cdot \bar{Z}_{C(0)}}{\bar{Z}_{C(2)} + \bar{Z}_{C(0)}} \end{bmatrix} \cdot \bar{I}_{(1)} \quad (2.2.3-5)$$

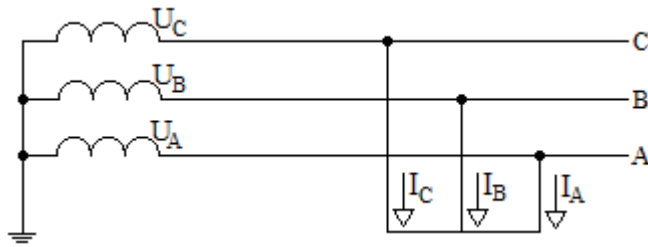
Pro složková napětí platí:

$$\bar{U}_{(0)} = \bar{U}_{(2)} = \bar{U}_{(1)} = -\bar{Z}_{C(2)} \bar{I}_{(2)} \quad (2.2.3-6)$$

Po lineární transformaci složkových napětí platí pro fázová napětí v místě zkratu:

$$\underline{\bar{U}} = \underline{\bar{F}} \cdot \underline{\bar{U}}_F = \begin{bmatrix} 3 \cdot \bar{U}_{(1)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.2.3-7)$$

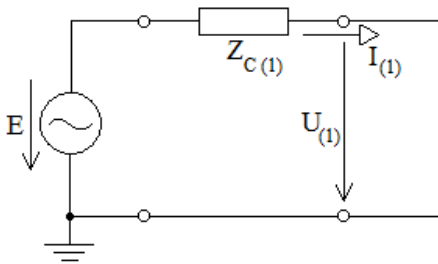
2.2.4 Třífázový zkrat



Obr. 2.2.4-1: Schématické znázornění 3f zkratu

Ze schématu zobrazeného na obr. 2.2.4-1 lze přímo napsat charakteristické rovnice pro třífázový zkrat:

$$\bar{U}_A = \bar{U}_B = \bar{U}_C = 0, \bar{I}_A = \bar{I}_B = \bar{I}_C \quad (2.2.4-1)$$



Přechodem ke složkovým veličinám platí rovnice pro složkové proudy:

$$\bar{I}_{(2)} = \bar{I}_{(0)} = 0, \bar{I}_{(1)} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)}} \quad (2.2.4-2)$$

Obr. 2.2.4-2: Propojení náhradních složkových soustav při 3f zkratu

Pro zkratové proudy fázemi A, B, C pak platí:

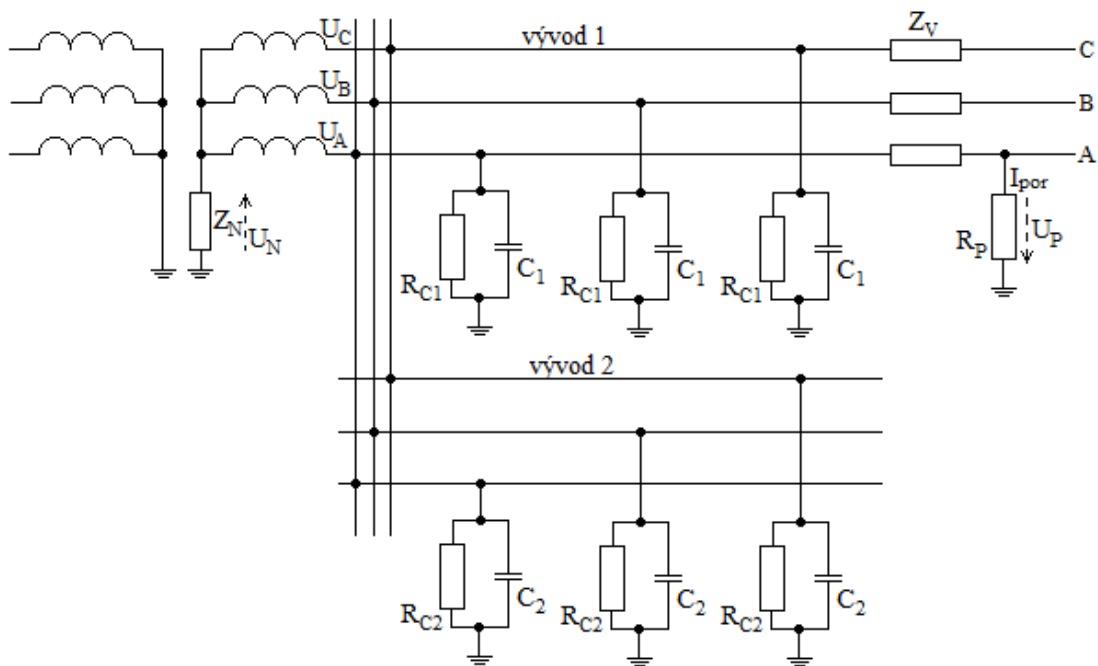
$$\bar{I}_A = \bar{I}_B = \bar{I}_C = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{C(1)}} \quad (2.2.4-3)$$

3 Způsoby provozu uzlu elektrizačních sítí

Elektrizační sítě jsou provozovány několika základními způsoby, lišícími se podle spojení uzlu provozního transformátoru se zemí. V ČR se využívají tyto způsoby provozování uzlu:

- síť s přímo uzemněným uzlem (soustava účinně uzemněná)
- síť s izolovaným uzlem (soustava izolovaná)
- síť s nepřímo uzemněným uzlem (soustava neúčinně uzemněná)
 - kompenzovaná síť
 - odporově uzemněná síť

Na obr. 3-1 je znázorněn model obecné sítě se dvěma vývody [2]:



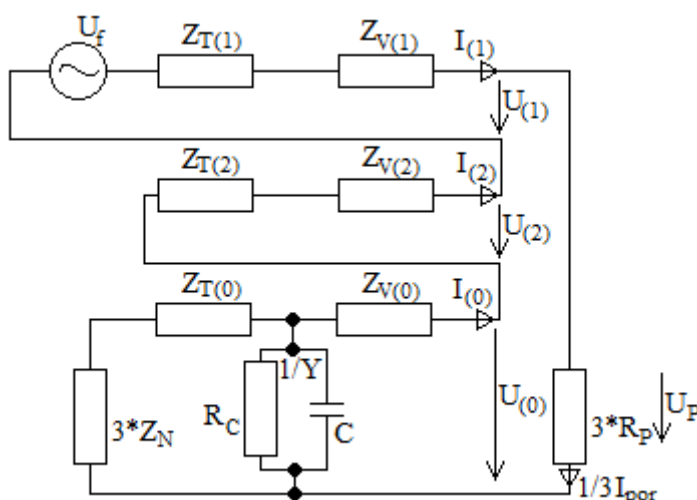
Obr. 3-1: Model obecné sítě se dvěma vývody [2]

V následující tabulce 3-1 jsem uvedl rozdělení napěťových hladin podle propojení uzlu sítě se zemí, uvedené hodnoty napěťových hladin jsou hodnoty napětí sdružených.

Tab. 3-1: Rozdělení napěťových hladin podle způsobu provedení uzemnění uzlu [1]

zvn	400kV	soustava účinně uzemněná
vvn	220kV	
	110kV	soustava neúčinně uzemněná nebo soustava izolovaná
vn	35kV	
	22kV	
	10kV	
	6kV	
nn	0,5kV	soustava izolovaná
	0,4kV	soustava účinně uzemněná, výjimečně izolovaná

V bezporuchovém stavu při symetrickém zatížení sítě se všechny výše uvedené soustavy chovají stejně. Rozdíly v chování sítí s různými provozy uzlu se objevují při výskytu nesymetrických poruch, při nesymetrickém zatížení a při výskytu přepětových jevů. Nejčastěji vyskytující se poruchou je jednofázová porucha. Zemní poruchy pro různé způsoby uzemnění uzlu sítě jsou charakterizovány rozdílnými proudovými a napěťovými poměry v síti při poruše (velikost a charakter poruchového proudu, napětí fázových vodičů proti zemi). Na obr. 3-2 je zobrazeno obecné náhradní schéma el. sítě s 1f poruchou:



Obr. 3-2: Obecné náhradní schéma sítě s jednofázovou poruchou [2]

Zemní poruchou se nazývá spojení jedné nebo více fází se zemí. Zemní porucha může nastat kvůli přeskoku na izolátoru, průrazu pevné izolace, pádu přetrženého vodiče na zem apod. Charakter zemní poruchy je určen především způsobem propojení uzlu transformátoru se zemí. V případě izolovaného uzlu či uzlu propojeného se zemí přes zhášecí tlumivku v situaci, když vzniklo jednofázové spojení se zemí, se tato porucha nazývá zemní spojení. Ve všech ostatních případech (odporově uzemněná síť, přímo uzemněná síť nebo vícefázové spojení se zemí) se jedná o zemní zkrat.

Při vzniku jednofázového zemního spojení (u sítí s izolovaným uzlem a u sítí kompenzovaných) je možné provozovat síť určitou dobu bez přerušení dodávky elektrické energie, bez toho, aby tuto poruchu zaznamenal spotřebitel na síti nn. Jde o dobu nezbytnou k vyhledání zemního spojení. Zemní spojení nastává mnohem častěji u venkovního vedení než u vedení kabelového. Při přechodném zemním spojení příčina poruch po určité době zmizí. Pro venkovní vedení je tedy velmi výhodný provoz se zhášecí tlumivkou. Zhášecí tlumivka snižuje proud v místě poruchy, což umožňuje po dobu trvání zemního spojení příznivější podmínky pro provozované zařízení a elektrický oblouk snadněji při přechodném zemním spojení zhasíná.

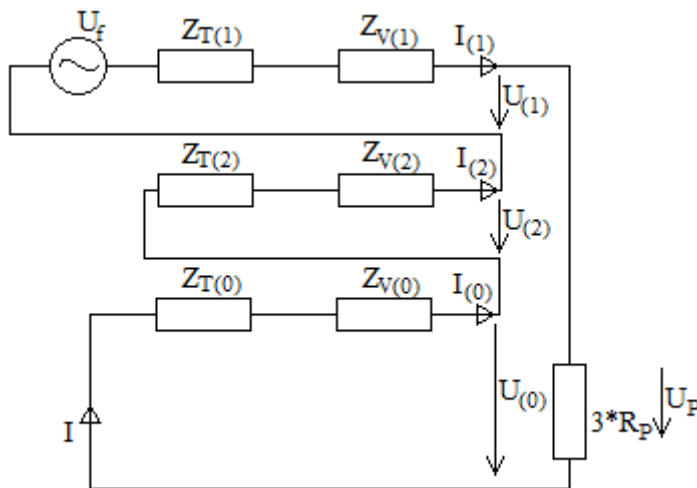
Jelikož se v mé diplomové práci zabývám poruchami vzniklými na hladině vvn (110 kV), což jsou sítě přímo uzemněné, tak provedu obsáhlejší rozbor 1f poruchy tohoto způsobu provedení uzemnění uzlu a u ostatních způsobů uzemnění uvedu jen méně detailní rozbor jejich chování při 1f poruše a jejich nejdůležitější vlastnosti. Touto problematikou, tedy způsoby provedení uzemnění uzlu elektrizačních sítí, jsem se zabýval v mé bakalářské práci [8], některé pasáže tedy z této práce vycházejí.

3.1 Sít' s přímo uzemněným uzlem

V ČR se provozují jako účinně uzemněné sítě 400kV, 220kV a 110kV a většina sítí nn 400V. Uzel sítě je přímo spojen se zemí ($Z_n = 0$).

Chování sítě při jednofázovém zemním zkratu:

Při jednofázové zemní poruše lze zanedbat příčnou admitanci vedení díky tomu, že netočivá složka impedance napájecího transformátoru je podstatně menší než hodnota $1/Y$ (vycházím z obrázku 3-2). Při jednofázovém zemním zkratu můžeme tedy kapacitu vedení C a svod zanedbat. Po této úpravě se náhradní schéma zjednoduší na schéma zobrazené na obrázku 3.1-1.



Obr. 3.1-1: Obecné náhradní schéma přímo uzemněné sítě při 1f zkratu

Poruchový proud I_{por} je induktivního charakteru a jeho velikost je ovlivněna místem vzniku zemní poruchy (impedancí vedení Z_v).

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \bar{I}_{(1)} = \bar{I}_{(2)} = \bar{I}_{(0)} \\ \bar{I}_{por} &= \bar{I}_{(1)} + \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} = 3 \cdot \bar{I} \end{aligned} \quad (3.1-1)$$

Velikost I_{por} získáme vztahem (3.1-2).

$$\bar{I}_{por} = \frac{3 \cdot \bar{U}_f}{\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)} + \bar{Z}_{(0)} + 3R_p} \quad (3.1-2), \text{ kde } \bar{Z}_{(1)} = \bar{Z}_{T(1)} + \bar{Z}_{V(1)}, \text{ podobně u } \bar{Z}_{(2)}, \bar{Z}_{(0)}$$

Hodnota netočivé složky impedance $Z_{(0)}$ je ve srovnání s jinými způsoby provozování uzlu sítě podstatně menší (např. u kompenzované sítě dosahuje hodnoty zvýšené o impedanci zhášecí tlumivky). Z toho vyplývá, že poruchový proud dosahuje velmi velkých hodnot. Po zjištění poruchy musí tedy dojít k okamžitému vypnutí poškozené fáze.

Při poruše vedení zemním zkratem vznikají v důsledku přímého uzemnění uzlu transformátoru a průchodu poruchového proudu značně vysoké hodnoty krokového napětí.

Při kovovém zkratu klesne napětí poškozené fáze v místě poruchy na nulovou hodnotu. Napětí zdravých fází zůstane nezměněné, co do velikosti i úhlu natočení - toto platí v ideálním případě za předpokladu $Z_{(1)} = Z_{(0)}$. Ve skutečné síti platí: $Z_{(1)} \neq Z_{(0)}$. U nepostižených fází tedy dojde jen k nepatrnému zvýšení napětí a k nepatrné změně úhlu. Proto se vedení těchto sítí dimenzuje na hodnoty fázového napětí což je ekonomicky velmi výhodné.

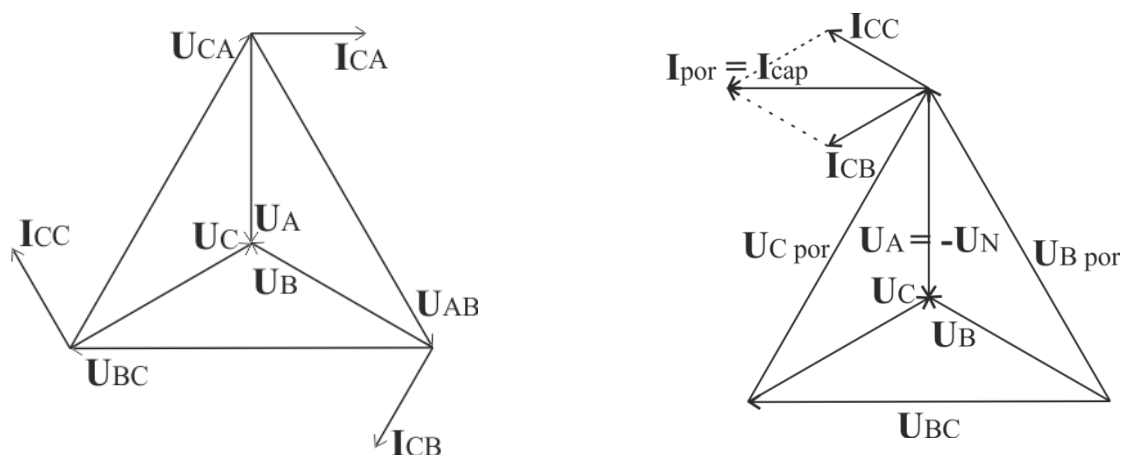
Vlastnosti:

- jednoznačné vyhodnocení vzniku poruchy (sledují se nadproudy a podpětí)
- nízké hodnoty přepětí
- nižší nároky na izolaci - vedení dimenzováno na hodnotu fázových napětí
- velké hodnoty poruchových proudů oproti ostatním způsobům uzemnění uzlu sítě
- po zjištění poruchy nutnost okamžitého vypnutí poškozené fáze - při použití jednofázových vypínačů možnost použití automatiky opětného zapínání pouze ve fázi s poruchou
- výskyt nebezpečných hodnot krokového a dotykového napětí

3.2 Sít' s izolovaným uzlem

V ČR se provozují izolované sítě vn malých rozsahů, kde I_{kap} je max. 20A. Například průmyslové rozvody vn, rozvody vlastní spotřeby elektráren. Tento typ provozování uzlu se také využívá v sítích nn 500V, pro důlní rozvody.

Uzly vinutí transformátoru nejsou na uvažované straně spojeny se zemí ($Z_n \rightarrow \infty$). Při bezporuchovém provozu při symetrickém zatížení jsou napětí fázových vodičů proti zemi stejně velká a uzel sítě má proti zemi nulové napětí - toto platí v ideálním případě. Ve skutečnosti vlivem nesymetrie kapacit jednotlivých fází sítě (netransponované vedení vn) má uzel sítě proti zemi obvykle velikost napětí U_n do 1% velikosti U_f . Na obrázcích 3-2 jsou zobrazeny fázory napětí a zemních kapacitních proudů v bezporuchovém stavu a při kovovém zemním spojení.



Obr. 3-2: Fázorové diagramy napětí a proudů v bezporuchovém stavu a při 1f kovovém zemním spojení

Při kovovém zemním spojení (kdy $R_p = 0$) se poruchový proud zpětně uzavírá přes kapacity fází proti zemi a napájecí transformátor. Poruší se napěťová symetrie a dojde také ke změně velikostí a úhlů kapacitních proudů v jednotlivých fázích. Při kovovém zemním spojení stoupne napětí uzlu proti zemi U_N na hodnotu fázového napětí, napětí nepoškozených fází se zvýší z hodnoty fázové na hodnotu sdruženou a napětí poškozené fáze proti zemi klesne na nulovou hodnotu. Tyto napěťové poměry platí nejen pro vývod se zemním spojením, ale i pro ostatní vývody (platí v celé síti). Poruchový proud je omezen kapacitou proti zemi C_0 . Díky velké reaktanci této kapacity vznikají malé poruchové proudy o

hodnotách srovnatelných nebo dokonce mnohonásobně nižších než jsou hodnoty provozních proudů. Poruchový proud není závislý na místě vzniku zemního spojení, ale je závislý na rozsahu sítě. Hodnota poruchového proudu je označována jako kapacitní proud sítě I_{kap} . Odvození hodnoty tohoto proudu je ukázáno ve vztahu (3.2-1). Kapacitní proud patří mezi charakteristické hodnoty sítě. Velikost kapacitních proudů je závislá na druhu použitých vodičů, tj. na velikosti měrné kapacity vodiče proti zemi C_0 .

Pro příklad jsem uvedl možné hodnoty měrných kapacitních proudů: [2]

- venkovní vedení 22kV: 0,06 A/km
- kabelové vedení 6kV: 3,5 až 4,5 A/km

$$|\bar{I}_{por}| = |\bar{I}_{cb} + \bar{I}_{cc}| = \sqrt{3}|\bar{I}_{cb}| = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{sdr}}{X_c} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{sdr}}{\frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot l}} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l = I_{kap} \quad (3.2-1)$$

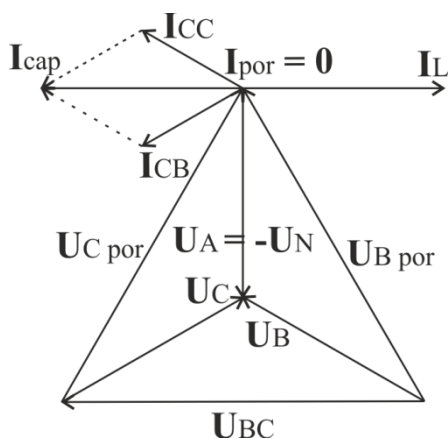
Kvůli kapacitnímu charakteru poruchového proudu je jeho zhášení u obloukových zemních spojení obtížné. Po zhasnutí oblouku rychle narůstá napětí poškozené fáze, takže se po několika milisekundách může oblouk opět zapálit. Vzniká tak přerušované zemní spojení, jehož následkem vznikají vysoká přepětí. Tato přepětí mohou způsobit průraz izolace v jiném místě sítě a tím i vznik dvojitého zemního spojení. Dvojité zemní spojení představuje poruchu s velkými poruchovými proudy. Při této poruše se tedy musí postižená část sítě ihned vypnout.

Vlastnosti:

- jednoznačné vyhodnocení vzniku zemního spojení (součtový proud poškozeného vývodu má opačný úhel vůči U_n než vývod bez poruchy)
- nízké hodnoty poruchových proudů
- zemní spojení neomezí odběratele na nn, síť lze dočasně provozovat se zemním spojením až do jeho vyhledání a odstranění
- potřeba dimenzování vedení na hodnotu sdruženého napětí
- možnost vzniku vysokých přepětí, díky přerušovaným zemním spojením
- obtížné zhášení elektrického oblouku (kvůli kapacitnímu charakteru poruchového proudu)

3.3 Kompenzovaná síť

Kompenzovaná síť je využívána u venkovních vedení vn větších rozsahů a u smíšených sítí. Mezi provozní transformátor a zem je zapojena tzv. zhášecí tlumivka (Petersenova tlumivka). Indukčnost Petersenových tlumivek se pohybuje pro síť 22kV zpravidla v rozmezí 0,14 až 3,6 H (může být i vyšší). Petersenovy tlumivky jsou označovány velikostí zemního proudu, který mají kompenzovat (10-ky A až 100-ky A) a fázovým napětím sítě. O potřebě použití rozhoduje případný kapacitní proud v místě poruchy. Pokud $I_{kap} > 10A$, tak se podle normy [13] doporučuje kompenzovat a pokud $I_{kap} > 20A$, se musí kompenzovat, případně se musí síť provozovat jako síť odporově uzemněná. Vlivem fázového napětí mezi uzlem transformátoru a zemí při zemní poruše je zhášecí tlumivka zdrojem induktivního proudu a tím kompenzuje kapacitní poruchový proud. Tento stav ukazuje fázorový diagram na obrázku 3.3-1.



Obr. 3.2-1: Fázorový diagram kompenzace kapacitního poruchového proudu při 1f kovovém zemním spojení

K dosažení vykompenzovaného stavu je zapotřebí, aby byla zhášecí tlumivka laditelná. Regulace reaktance zhášecí tlumivky je plynulá nebo stupňovitá. V našich elektrizačních sítích se používají plynule laditelné tlumivky s velkým regulačním rozsahem. Změna reaktance je způsobena změnou magnetického odporu vzduchové mezery. Zhášecí tlumivka je vyladěná tehdy, když platí, že $I_{por} = 0$. V dále uvedeném vztahu (3.3-3) je zobrazen postup ke zjištění hodnoty indukčnosti zhášecí tlumivky, potřebné pro vykompenzovaný stav. Při výpočtu je použit vztah (3.2-1) pro velikost kapacitního proudu při jednofázové zemní poruše a výpočet proudu procházejícího zhášecí tlumivkou (3.3-2).

$$I_{kap} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l \quad (3.2-1)$$

$$I_L = \frac{U_N}{X_L} = \frac{U_f}{\omega \cdot L} \quad (3.3-2)$$

pro $I_{por} = 0$ musí platit: $I_{kap} = I_L$

$$3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l = \frac{U_f}{\omega \cdot L} \quad (3.3-3)$$

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0 \cdot l}$$

Při jednofázovém kovovém zemním spojení (odpor zemního spojení $R_p = 0$) má napětí uzlu U_n velikost fázového napětí. Poškozená fáze má nulové napětí a nepoškozené fáze jsou zatěžovány napětím sdruženým. Poruchový proud u vyladěné kompenzované sítě má mnohem nižší hodnotu než kapacitní proud sítě a má činný charakter, čímž se výrazně zlepšují podmínky samozhášení obloukových zemních spojení (nenastávají opětne samozápaly a napětí v poškozené fázi narůstá pozvolna).

Kvůli malé hodnotě poruchového proudu (po vykompenzování) je velmi obtížné vyhledat vývod se zemním spojením. Z tohoto důvodu se paralelně připojuje k tlumivce rezistor R_n . Připnutím rezistoru dojde ke zvýšení poruchového proudu o činnou složku a tím je usnadněna správná funkce ochran. Připnutí rezistoru se děje automaticky. Základní funkce této automatiky vychází z toho, že je potřeba připnout rezistor jen při trvalých zemních poruchách. Po vzniku zemního spojení je tedy potřeba určitou dobu vyčkat, zda zemní spojení zhasne samo. Jako zemní spojení vyhodnocuje automatika zvýšení napětí na zhášecí tlumivce nad zvolenou mez. Vyčkávání před případným připnutím rezistoru je volitelné od 0,5s do 10s. Doba připnutí odporníku k tlumivce je volitelná od 1s do 3s.

Vlastnosti:

- možnost provozování sítě do vyhledání zemního spojení
- poruchové proudy jsou mnohem nižší než u izolované sítě a mají činný charakter
- umožňují samozhášení obloukových poruch
- nižší hodnoty krokových napětí
- nižší nároky na uzemnění v síti
- nižší hodnoty přepětí u venkovních vedení při zemních spojeních
- špatná identifikace vývodů se zemní poruchou - nutnost připínání R_n nebo použití

citlivých směrových zemních ochran

- nutnost udržovat vyladěný stav sítě
- vliv R a C nesymetrií sítě při vyhodnocování zemního spojení
- potřeba dimenzování vedení na hodnotu sdruženého napětí

3.4 Odporově uzemněná síť

Odporově uzemněné sítě mají připojeny mezi provozní transformátor a zem malý činný odpor ($Z_n = R_n$) s hodnotou řádově desítek Ω . Takto řešený způsob uzemnění uzlu se využívá hlavně pro kabelové sítě, venkovní vedení velkých plošných i délkových rozsahů a smíšené sítě, v případě, že jsou překročeny meze I_{kap} uvedené u kompenzovaných sítí.

Výhody kompenzace zemních kapacitních proudů se u kabelových vedení neprojevují v takové míře jako u sítí venkovních, z důvodu toho, že má většina poruch u kabelových sítí trvalý charakter. Z tohoto důvodu se zmenšení poruchového proudu nemůže projevit v samozhášení poruch jako u venkovních vedení při obloukových poruchách. Kapacitní proudy u kabelových sítí jsou asi 30krát až 70krát větší než u venkovních vedení. Také je nevhodné provozovat zhášecí tlumivky značných výkonů, když se neuplatní hlavní výhody kompenzace - zhášení přechodných zemních spojení a také možnost provozu sítě se zemní poruchou po dobu odstraňování poruchy. U kabelů často přerůstají jednofázové poruchy v poruchy vícefázové s nebezpečnými hodnotami zkratových proudů. Proto je tedy nutné okamžitě vypnout kabelový úsek s poruchou.

Z výše uvedených důvodů vyplývá to, že se v kabelových sítích používá uzemnění uzlu přes malý činný odpor. S ohledem na účinné tlumení přepětí při zemních poruchách musí mít použitý uzlový odpor takovou hodnotu, aby byl jmenovitý proud procházející odporem větší než kapacitní proud sítě (3.4-1).

$$I_{Rn} = \frac{U_f}{R_n} \geq I_{kap} \quad (3.4-1)$$

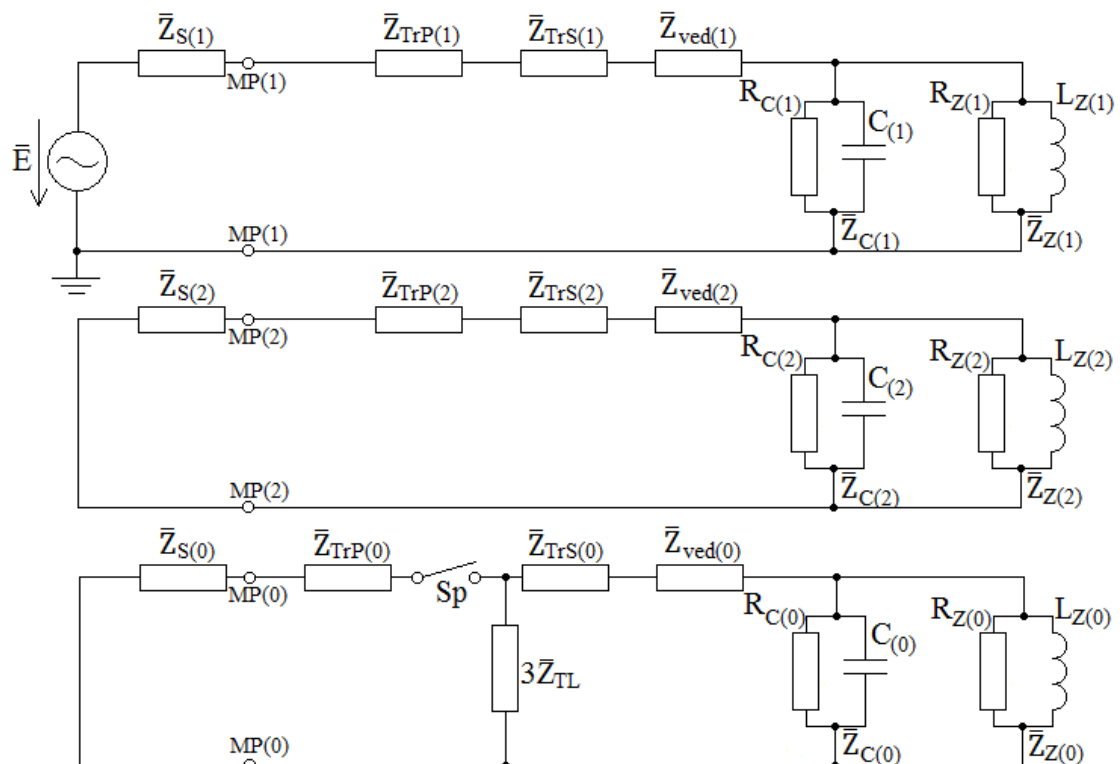
Vlastnosti:

- odpor R_n mezi provozním transformátorem a zemí omezuje proudy při zemní poruše (zkratu) oproti přímo uzemněné síti
- výhodnější podmínky pro dimenzování uzemnění, el. zařízení apod. než u přímo uzemněné sítě
- odpor R_n tlumí případná přepětí
- při poruše musí být porušený vývod ihned vypnut

4 Náhradní schéma pro metodu souměrných složek

V další části diplomové práce jsem navrhl schéma, potřebné pro následující výpočty příčných poruch – 1f zkrat, 2f zkrat, 2f zemní zkrat, 3f zkrat. Pro výpočty zkratů využiji metodu souměrných složek. Nejprve jsem vytvořil obecné náhradní schéma (4-1) složené ze sousledné, zpětné a netočivé složky, které jsem posléze upravil do tvaru zobrazeného na obrázku (4.3-1) a toto schéma bude následně upravováno (propojováno) takovým způsobem, který je dán druhem zkoumané příčné poruchy.

Každá složka soustavy souměrných složek je složena z části zastupující napět'ovou úroveň vvn, tedy tam kde vzniknou výše zmíněné poruchy, a z části zastupující napět'ovou úroveň vn. Napět'ovou úroveň vvn zastupuje reaktance, resp. impedance sítě a impedance primární části transformátoru 110/23kV. Napět'ovou úroveň vn zastupuje impedance sekundární části transformátoru (včetně impedance zhášecí tlumivky v netočivé složce), impedance vedení a zátěže.



Obr. 4-1: Náhradní složkové schéma pro metodu souměrných složek

4.1 Určování hodnot parametrů jednotlivých článků soustav

Nyní uvedu vztahy a postup pro určování hodnot parametrů jednotlivých prvků, použitých ve složkových soustavách.

4.1.1 Elektromotorické napětí zdroje

Elektromotorické napětí zdroje \bar{E} působí pouze v sousledné složkové soustavě, ve zpětné a netočivé složkové soustavě je napětí zdroje nulové.

Velikost elektromotorického napětí zdroje \bar{E} je rovna fázové hodnotě napájecího napětí.

4.1.2 Reaktance sítě

Náhradní reaktanci sítě X_S lze vypočítat pomocí známého zkratového výkonu sítě S_{KS}'' či pomocí známého zkratového proudu I_{KS}'' . Informativní hodnoty I_{KS}'' jsou uvedeny v tab. 4.1.2-1.

Tab. 4.1.2-1: Informativní hodnoty I_{KS}'' v závislosti na napěťové hladině [2]

U_n [kV]	I_{KS}'' [kA]
400	40 - 60
220	20 - 30
110	15 - 30 (2 transf.); 9 - 15 (1 transf.)
vn (22 kV)	15
nn	2 - 40

$$S_{KS}'' = \sqrt{3} \cdot I_{KS}'' \cdot U_n \quad (4.1.2-1)$$

$$X_S = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{KS}''} \quad (4.1.2-2)$$

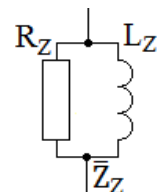
Reaktance sítě v sousledné a zpětné složce je rovna vypočtené hodnotě X_S . Reaktance v netočivé složce je 3 násobkem reaktance v sousledné složce. Platí tedy:

$$X_S = X_{S(1)} = X_{S(2)} \text{ a } X_{S(0)} = 3 \cdot X_{S(1)}.$$

Vzhledem k tomu, že je zanedbán činný odpor, tak jsou hodnoty jednotlivých reaktancí rovny jednotlivým impedancím sítě.

4.1.3 Zátěž

V sousledné složkové soustavě se objevuje zátěž v tom případě, že se jedná o 3f symetrické zatížení. Ve zpětné složkové soustavě uvažují zátěž v případě 2f zatížení a v netočivé složkové soustavě uvažují zátěž v případě 1f zatížení. Pro výpočet velikosti impedance zátěže jsem si vybral paralelní kombinaci R_Z a L_Z zobrazenou na obrázku 4.1.3-1.



Obr. 4.1.3-1: RL zátěž

Jednotlivé prvky R_Z a L_Z jsou určeny pomocí následujících vztahů, v nichž se vyskytuje zatěžovací zdánlivý výkon S_Z :

$$S_Z = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_Z, \text{ pak tedy platí } I_Z = \frac{S_Z}{\sqrt{3} \cdot U_n}, Z = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_Z} \quad (4.1.3-1)$$

$$R_Z = Z \cdot \cos \varphi, \bar{Z}_{R_Z} = R_Z, X_Z = Z \cdot \sin \varphi, \bar{Z}_{X_Z} = iX_Z, \bar{Z}_Z = \frac{\bar{Z}_{R_Z} \cdot \bar{Z}_{X_Z}}{\bar{Z}_{R_Z} + \bar{Z}_{X_Z}} \quad (4.1.3-2)$$

4.1.4 Vedení

Vedení mohou být buď venkovní či kabelová. Na napěťové hladině 22kV se v praxi ve většině případů setkáváme s vedením smíšeným. Vedení můžeme modelovat např. pomocí dvojbranu tvaru Γ -člátku či π -člátku, kdy složky podélné impedance tvoří rezistance a induktivní reaktance a složky příčné admittance tvoří svod a kapacitní susceptance.

Výpočet jednotlivých parametrů je poměrně složitý a jednotlivé parametry jsou závislé například na průřezu vodiče, na vzdálenosti mezi vodiči jednotlivých fází, na vzdálenostech mezi vodiči a zemí, na vzdálenosti mezi zemnicími lany a vodiči, na tvaru stožáru – to vše platí pro vedení venkovní. U kabelového vedení záleží mimo jiné také na konstrukci kabelu a na druhu použité izolace.

Hodnotu rezistance lze uvažovat s dostatečnou přesností jako hodnotu stejnosměrné rezistance : $R_{SS} = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (4.1.4-1)

V tabulkách 4.1.4-1 a 4.1.4-2 uvádím orientační hodnoty složkových reaktancí venkovního vedení. Platí, že $X_{\text{ved}(1)} = X_{\text{ved}(2)}$ a $X_{\text{ved}(0)}$ dosahuje hodnot rovnající se určitému násobku $X_{\text{ved}(1)}$.

Tab. 4.1.4-1: Orientační hodnoty sousledných složkových reaktancí venkovního vedení [3]

U_n [kV]	0,4	6	22	35	110	220	400
$X_{\text{ved}(1)}$ [Ω/km]	0,3	0,33	0,35	0,37	0,4	0,438	0,26

Tab. 4.1.4-2: Orientační hodnoty netočivých složkových reaktancí venkovního vedení [3]

vedení	jednoduché	dvojitě
bez zemnicích lan	$X_{\text{ved}(0)} = 3,5X_{\text{ved}(1)}$	$X_{\text{ved}(0)} = 5,5X_{\text{ved}(1)}$
se zemnicími lany Fe	$X_{\text{ved}(0)} = 3X_{\text{ved}(1)}$	$X_{\text{ved}(0)} = 4,7X_{\text{ved}(1)}$
se zemnicími lany AlFe	$X_{\text{ved}(0)} = 2X_{\text{ved}(1)}$	$X_{\text{ved}(0)} = 3,3X_{\text{ved}(1)}$

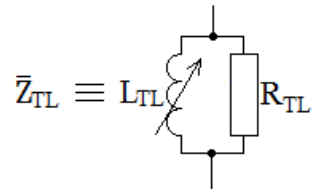
U kabelového vedení lze určit rezistanci a reaktanci kabelu za předpokladu, že jsou známy geometrické rozměry kabelu, tyto hodnoty ale k dispozici být nemusí a tak potřebné hodnoty rezistance a reaktance zjistíme z katalogových údajů. Z důvodu toho, že způsob uložení kabelu značně ovlivňuje rozdělení proudů netočivé složkové soustavy mezi pláštěm kabelu a zemí, nelze tyto parametry netočivé složky vypočítat dostatečně spolehlivě. Jediný spolehlivý způsob zjištění potřebných hodnot je měření. Při orientačních výpočtech můžeme pro trojžilové kabely volit [3]: $R_{\text{ved}(0)} \sim \text{až } 10R_{\text{ved}(1)}$ a $X_{\text{ved}(0)} \sim (3,5 \text{ až } 4,6)X_{\text{ved}(1)}$.

Pokud známe zemní kapacitní proud, tak je možné zjistit hodnotu zemní kapacity C_0 pomocí vztahu (3.2-1), potom lze určit kapacitní reaktanci $X_{C(0)}$ v netočivé složkové soustavě. V kapitole 3.2 jsem uvedl možné hodnoty kapacitních proudů pro venkovní a kabelová vedení. Možné hodnoty zemních kapacit pro 22kV vedení jsou: 3,7nF/km pro vedení venkovní a 0,3 μ F/km pro vedení kabelová.

Činná složka I_W kapacitního proudu I_C dosahuje (0,5 až 8%) z I_C . Potom lze tedy určit činný odpor kapacit R_C .

4.1.5 Zhášecí tlumivka

Hodnotu indukčnosti zhášecí tlumivky L_{TL} lze získat pomocí vztahu (3.3-3). Schématické znázornění zhášecí tlumivky je zobrazeno na obrázku 4.1.5-1. Pro induktivní reaktanci X_{TL} platí vztah (4.1.5-1). Činná složka proudu zhášecí tlumivkou I_W dosahuje přibližně 1% I_L . Z tohoto údaje lze tedy získat vztah (4.1.5-2) pro činný odpor zhášecí tlumivky R_{TL} .



Obr. 4.1.5-1: Zhášecí tlumivka

$$X_{TL} = \omega \cdot L_{TL}, \quad \bar{Z}_{X_{TL}} = iX_{TL} \quad (4.1.5-1)$$

$$R_{TL} = \frac{\omega \cdot L_{TL}}{0,01}, \quad \bar{Z}_{R_{TL}} = R_{TL} \quad (4.1.4-2)$$

$$\text{pro impedanci zhášecí tlumivky pak platí: } \bar{Z}_{TL} = \frac{\bar{Z}_{R_{TL}} \cdot \bar{Z}_{X_{TL}}}{\bar{Z}_{R_{TL}} + \bar{Z}_{X_{TL}}} \quad (4.1.5-3)$$

4.1.6 Transformátor

Při řešení zkratů je většinou zanedbávána rezistance transformátoru a počítá se jen s jeho reaktancí. Pro používanou metodu souměrných složek je tedy třeba zjistit velikosti reaktancí primární a sekundární strany transformátoru. Pro dvojvinuťový transformátor platí:

$$R = \Delta P_K \cdot \left(\frac{U_{nT}}{S_{nT}} \right)^2, \quad Z = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}}, \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (4.1.6-1)$$

$$\text{kde: } \frac{X}{2} = X_{TrP} = X_{TrS} \quad (4.1.6-2)$$

$$\text{při zanedbání rezistance platí, že: } iX_{TrP} = iX_{TrS} = \bar{Z}_{Tr} \quad (4.1.6-3)$$

$$\text{pro souslednou a zpětnou složku platí: } X_{TrP(1)} = X_{TrP(2)} = X_{TrS(1)} = X_{TrS(2)} \quad (4.1.6-4)$$

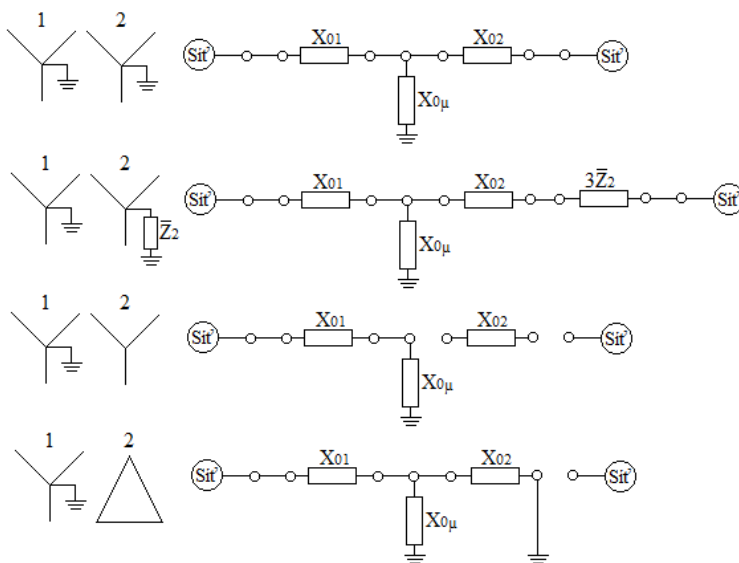
Reaktance transformátoru v netočivé složkové soustavě je určována konstrukcí transformátoru a způsobem zapojení vinutí (závislost na možnosti uzavření obvodu a možnosti existence proudů a napětí netočivé složkové soustavy). Velikost reaktance transformátoru pro jeho různá schémata spojení se v netočivé složkové soustavě stanoví např. na základě náhradních schémat zobrazených na obrázku 4.1.6-1, která jsou tvořena podle následujících zásad [3]:

- ze strany transformátoru, na které je jeho vinutí spojeno do trojúhelníku nebo do hvězdy s izolovaným uzlem, je netočivá reaktance transformátoru $X_{Tr(0)} = \infty$,
- vinutím transformátoru s přímo uzemněným uzlem mohou proudy netočivé složkové soustavy volně procházet,
- procházejí-li některým vinutím transformátoru proudy netočivé složkové soustavy, indukují v druhém vinutí zapojeném do trojúhelníku proudy, které se v něm uzavírají; vinutí do trojúhelníku tedy pro tyto proudy znamená zkrat.

Na obrázku 4.1 jsem právě ilustrativně zobrazil pomocí rozepnutého spínače Sp možnost, kdy by bylo sekundární vinutí zapojeno jako izolovaná hvězda (v tomto případě neuvažujeme ve schématu impedanci zhášecí tlumivky, jelikož je uzel na sekundární straně transformátoru zapojený jako izolovaný) či se jedná o trojvinuťový transformátor s terciálním vinutím zapojeným do trojúhelníku (netočivá složka proudu se v tomto případě nepřenáší) – pro

zjednodušení budu uvažovat stejné hodnoty reaktancí pro dvojitvunťový i trojvunťový transformátor.

Velikost magnetizační (příčné) větve X_μ je závislá na konstrukčním provedení transformátoru. V případě, že se mohou magnetické toky, vyvolané proudy netočivé soustavy, zcela uzavírat magnetickým obvodem transformátoru, je magnetický odpor jejich cest nepatrný a je tedy možno předpokládat $X_\mu \rightarrow \infty$.



Obr. 4.1.6-1: Zjednodušená náhradní schémata pro netočivou složkovou soustavu [1]

4.2 Výpočet konkrétních hodnot potřebných parametrů

Pro některé následující vstupní parametry jsem zvolil běžně uváděné hodnoty a některé hodnoty parametrů mi doporučil můj konzultant diplomové práce. Dále tedy provedu výpočet konkrétních hodnot parametrů použitých v náhradním složkovém schématu pro metodu souměrných složek. Všechny parametry budou přepočteny na sekundární stranu použitého transformátoru s převodem $p = 110/23\text{kV}$, tedy na napětí 23kV .

4.2.1 Elektromotorické napětí zdroje

$$U_n = 110\text{kV}, \text{ po přepočtení na hladinu } 23\text{kV}: U = U_n \cdot \frac{1}{p} = 110\text{kV} \cdot \frac{23\text{kV}}{110\text{kV}} = 23\text{kV} \quad (4.2.1-1)$$

$$\text{elektromotorické napětí zdroje je tedy rovno: } \bar{E} = U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{23\text{kV}}{\sqrt{3}} = 13,280 \angle 0^\circ \text{kV} \quad (4.2.1-2)$$

4.2.2 Reaktance sítě

Jako vstupní hodnotu jsem zvolil zkratový výkon sítě $S_{KS}'' = 1930MVA$. Ze vztahu (4.1.2-1) jsem si vyjádřil a vypočetl zkratový proud sítě I_{KS}'' .

$$I_{KS}'' = \frac{S_{KS}''}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1930MVA}{\sqrt{3} \cdot 110kV} = 10,135kA \quad (4.2.2-1)$$

Po použití vzorce (4.1.2-2) a přepočtení na hladinu 23kV dostanu hodnotu pro $X_{S(1)} = X_{S(2)}$

$$X_{S(1)} = X_{S(2)} \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{KS}''} \cdot \frac{1}{P^2} = \frac{1,1 \cdot 110kV}{\sqrt{3} \cdot 10,135kA} \cdot \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 0,301\Omega \quad (4.2.2-2)$$

impedance sítě v sousledné a zpětné složce je tedy rovna:

$$\bar{Z}_{S(1)} = \bar{Z}_{S(2)} = iX_{S(1)} = iX_{S(2)} = 0,301\angle 90^\circ\Omega \quad (4.2.2-3)$$

impedance sítě v netočivé složce je potom rovna:

$$\bar{Z}_{S(0)} = 3 \cdot iX_{S(0)} = 0,903\angle 90^\circ\Omega \quad (4.2.2-4)$$

4.2.3 Zátěž

Uvažuji 3f symetrickou zátěž, z tohoto důvodu počítám se zátěží jen v sousledné složkové soustavě. Mnou použitý transformátor 110/23kV má jmenovitý výkon $S_n = 40MVA$ a je zatížen na 60%, zatěžovací výkon S_Z je tedy roven 24MVA. Uvažuji, že je z rozvodny vyvedeno 15 vývodů o přibližně stejném zatížení, potom mohu určit zatížení pro jeden vývod. Toto zatížení S_{Z1} je rovno 1,6MVA. Účinník jsem zvolil $\cos\varphi = 0,95$, poté jsem dosadil do vztahů (4.1.3-1) a (4.1.3-2):

$$I_Z = \frac{S_{Z1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3} = 40,164A \quad (4.2.3-1)$$

$$Z = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_Z} = \frac{23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 40,164} = 330,62\Omega \quad (4.2.3-2)$$

$$R_{Z(1)} = Z \cdot \cos\varphi = 330,62 \cdot 0,95 = 314,1\Omega, \quad \bar{Z}_{R_Z(1)} = R_{Z(1)} = 314,1\Omega \quad (4.2.3-3)$$

$$X_{Z(1)} = Z \cdot \sin\varphi = 330,62 \cdot 0,312 = 103,15\Omega, \quad \bar{Z}_{X_Z(1)} = iX_{Z(1)} = 103,15\angle 90^\circ\Omega \quad (4.2.3-4)$$

$$\bar{Z}_{Z(1)} = \frac{\bar{Z}_{R_Z(1)} \cdot \bar{Z}_{X_Z(1)}}{\bar{Z}_{R_Z(1)} + \bar{Z}_{X_Z(1)}} = \frac{314,1 \cdot 103,15\angle 90^\circ}{314,1 + 103,15\angle 90^\circ} = 98\angle 71,8^\circ\Omega \quad (4.2.3-5)$$

4.2.4 Vedení

Pro výpočet parametrů vedení jsem si zvolil 20km dlouhý vývod venkovního vedení. Kapacita vedení mezi fázemi, tedy kapacita $C_{(1)}$ použitá v sousledné složkové soustavě je

rovna: $C_{(1)} = 3nF / km \cdot 20km = 60nF$, potom kapacitní reaktance v sousledné složkové

$$\text{soustavě: } X_{C(1)} = \frac{1}{\omega \cdot C_{(1)}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^{-9}} = 53,08k\Omega, \bar{Z}_{X_{C(1)}} = -iX_{C(1)} = 53,08\angle -90^\circ k\Omega \quad (4.2.4-1)$$

za předpokladu, že činná složka I_W kapacitního proudu I_C dosahuje 2% z I_C , tak lze určit hodnotu R_C v sousledné složce:

$$R_{C(1)} = \frac{1}{0,02 \cdot \omega \cdot C_{(1)}} = \frac{1}{0,02 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^{-9}} = 2,65M\Omega, \bar{Z}_{R_{C(1)}} = R_{C(1)} = 2,65M\Omega \quad (4.2.4-2)$$

celková impedance v sousledné složce je tedy rovna:

$$\bar{Z}_{C(1)} = \frac{\bar{Z}_{R_{C(1)}} \cdot \bar{Z}_{X_{C(1)}}}{\bar{Z}_{R_{C(1)}} + \bar{Z}_{X_{C(1)}}} = \frac{2,65 \cdot 10^6 \cdot 53,08 \cdot 10^3 \angle -90^\circ}{2,65 \cdot 10^6 + 53,08 \cdot 10^3 \angle -90^\circ} = 53,08\angle -88,86^\circ k\Omega \quad (4.2.4-3)$$

Pro kapacitu v netočivé složkové soustavě platí:

$$C_{(0)} = 5,7nF \cdot 20km = 114nF$$

kapacitní reaktance v netočivé složkové soustavě:

$$X_{C(0)} = \frac{1}{\omega \cdot C_{(0)}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 114 \cdot 10^{-9}} = 55,87k\Omega, \bar{Z}_{X_{C(0)}} = -iX_{C(0)} = 55,87\angle -90^\circ k\Omega \quad (4.2.4-4)$$

za předpokladu, že činná složka I_W kapacitního proudu I_C dosahuje 2% z I_C , tak lze určit hodnotu R_C v netočivé složce:

$$R_{C(0)} = \frac{1}{0,02 \cdot \omega \cdot C_{(0)}} = \frac{1}{0,02 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 114 \cdot 10^{-9}} = 2,794M\Omega, \bar{Z}_{R_{C(0)}} = R_{C(0)} = 2,794M\Omega \quad (4.2.4-5)$$

celková impedance v netočivé složce je tedy rovna:

$$\bar{Z}_{C(0)} = \frac{\bar{Z}_{R_{C(0)}} \cdot \bar{Z}_{X_{C(0)}}}{\bar{Z}_{R_{C(0)}} + \bar{Z}_{X_{C(0)}}} = \frac{2,794 \cdot 10^6 \cdot 55,87 \cdot 10^3 \angle -90^\circ}{2,794 \cdot 10^6 + 55,87 \cdot 10^3 \angle -90^\circ} = 55,86\angle -88,86^\circ k\Omega \quad (4.2.4-6)$$

Pro induktivní reaktanci a rezistanci vedení uvažují tyto hodnoty:

$$X_{Lved} = 0,3\Omega/km, R_{ved} = 0,245\Omega/km$$

celková induktivní reaktance, rezistance a podélná impedance vedení je tedy:

$$X_{Lved(1)} = X_{Lved(2)} = 0,3\Omega / km \cdot 20km = 6\Omega$$

$$R_{ved(1)} = R_{ved(2)} = 0,245\Omega / km \cdot 20km = 4,9\Omega$$

$$\bar{Z}_{ved(1)} = \bar{Z}_{ved(2)} = R_{ved(1)} + X_{Lved(1)}i = 4,9 + 6i = 7,75\angle 50,8^\circ\Omega$$

Z tabulky 4.1.2-2 jsem si zvolil, že $X_{Lved(0)} = 3,5X_{Lved(1)} = 3,5 \cdot 6 = 21\Omega$ (jednoduché vedení bez zemnicích lan), rezistanci vedení pro netočivou složku jsem zvolil

$$R_{ved(0)} = 3R_{ved(1)} = 3 \cdot 4,9 = 14,7\Omega, \text{ podélná impedance vedení netočivé složky je tedy}$$

$$\bar{Z}_{ved(0)} = R_{ved(0)} + X_{Lved(0)}i = 14,7 + 21i = 25,63\angle 55^\circ\Omega.$$

4.2.5 Zhášecí tlumivka

Nejprve jsem si zvolil kapacitní proud sítě vn $I_C = 150\text{A}$. Pomocí vztahu (3.2-1) jsem zjistil celkovou kapacitu proti zemi:

$$C_0 = \frac{I_C}{3 \cdot U_f \cdot \omega} = \frac{150}{3 \cdot \frac{23 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 12\mu\text{F} \quad (4.2.5-1)$$

tuto vypočtenou kapacitu jsem pak dosadil do vztahu (3.3-3), pomocí kterého jsem zjistil velikost indukčnosti zhášecí tlumivky:

$$L_{TL} = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0} = \frac{1}{3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \cdot 12 \cdot 10^{-6}} = 0,282\text{H} \quad (4.2.5-2)$$

induktivní reaktance zhášecí tlumivky je tedy potom rovna:

$$X_{TL} = \omega \cdot L_{TL} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 0,282 = 88,44\Omega, \quad \bar{Z}_{X_{TL}} = iX_{TL} = 88,44\angle 90^\circ\Omega \quad (4.2.5-3)$$

činný odpor zhášecí tlumivky a její impedanci jsem určil podle vztahů (4.1.4-2) a (4.1.4-3):

$$R_{TL} = \frac{\omega \cdot L_{TL}}{0,01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,282}{0,01} = 8,855\text{k}\Omega, \quad \bar{Z}_{R_{TL}} = R_{TL} = 8,855\text{k}\Omega \quad (4.2.5-4)$$

$$\bar{Z}_{TL} = \frac{\bar{Z}_{R_{TL}} \cdot \bar{Z}_{X_{TL}}}{\bar{Z}_{R_{TL}} + \bar{Z}_{X_{TL}}} = \frac{8855 \cdot 88,44\angle 90^\circ}{8855 + 88,44\angle 90^\circ} = 88,436\angle 89,43^\circ\Omega \quad (4.2.5-5)$$

4.2.6 Transformátor

Ve svých výpočtech použiji dvojvinut'ový transformátor s primárním vinutím zapojeným do přímo uzemněné hvězdy a sekundární vinutí zapojené jako hvězda s kompenzovaným uzlem. Parametry transformátoru: převod $p = 110/23\text{kV}$, jmenovitý výkon $S_n = 40\text{MVA}$, napětí nakrátko $u_{k\%} = 11\%$, ztráty nakrátko $\Delta P_k = 125\text{kW}$. Dosazením do vztahů (4.1.6-1), (4.1.6-2) jsem získal hodnoty podélných reaktancí transformátoru:

$$R = \Delta P_K \cdot \left(\frac{U_{nT}}{S_{nT}} \right)^2 = 125 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{23 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^6} \right)^2 = 0,0413\Omega \quad (4.2.6-1)$$

$$Z = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{(23 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^6} = 1,455\Omega \quad (4.2.6-2)$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{1,455^2 - 0,0413^2} = 1,454\Omega \quad (4.2.6-3)$$

reaktance primární a sekundární strany transformátoru je rovna:

$$X_{TrP} = X_{TrS} = \frac{X}{2} = 0,727\Omega \quad (4.2.6-4)$$

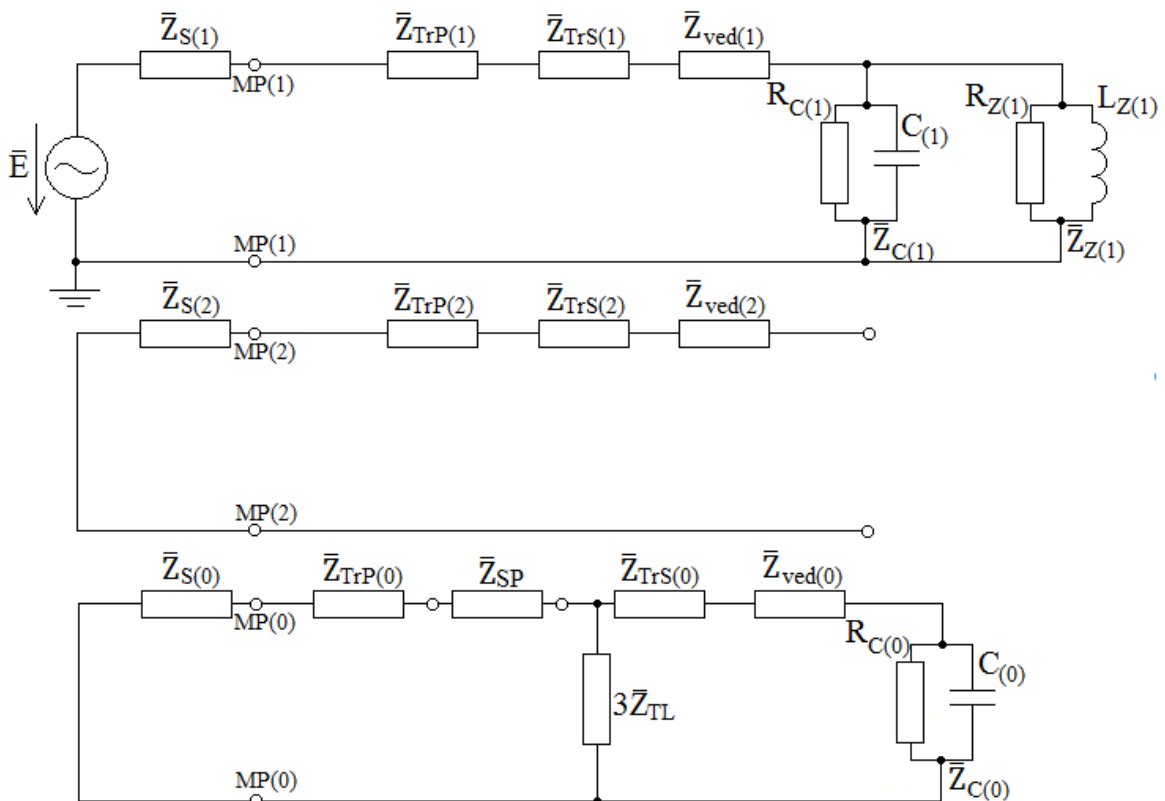
při zanedbání činného odporu pak tedy platí:

$$X_{TrP}i = \bar{Z}_{TrP(1)} = \bar{Z}_{TrP(2)} = \bar{Z}_{TrP(0)} = \bar{Z}_{TrS(1)} = \bar{Z}_{TrS(2)} = \bar{Z}_{TrS(0)} = 0,727\angle 90^\circ\Omega \quad (4.2.6-5)$$

Jak jsem již zmínil v kapitole 4.1.6, tak zapojení schématu netočivé složkové soustavy závisí na způsobu zapojení vinutí příslušného transformátoru. V následujících výpočtech zkratů jsem nahradil spínač fiktivní impedancí \bar{Z}_{SP} , jejíž velikost je určena právě způsobem zapojení sekundárního vinutí transformátoru nebo tím, zda se nejedná o trojvinuťový transformátor s terciálním vinutím zapojeným do trojúhelníku.

4.3 Upravené náhradní schéma pro metodu souměrných složek

Po vysvětlení a určení hodnot všech impedancí, vyskytujících se v náhradním schématu zobrazeném na obrázku 4-1 jsem původní schéma upravil do takové podoby, kterou využiji v následujících výpočtech jednotlivých zkratů. Upravené schéma je ukázané na následujícím obrázku 4.3-1.



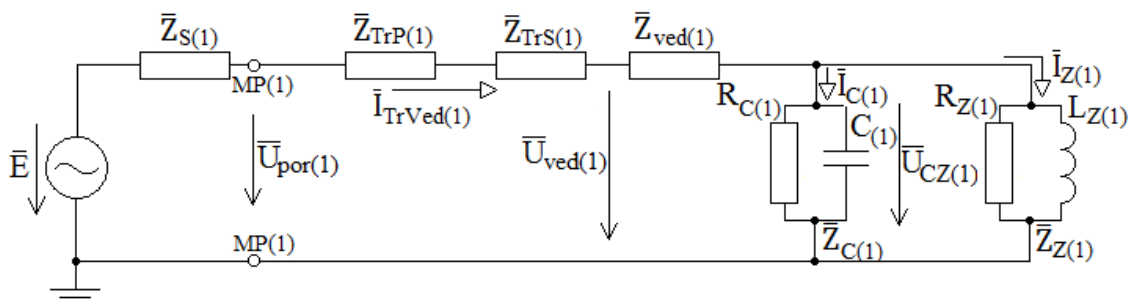
Obr. 4.3-1: Upravené náhradní schéma pro metodu souměrných složek

5 Výpočet napěťových a proudových poměrů při jednofázových a vícefázových poruchách

V následující části diplomové práce jsem provedl výpočet napěťových a proudových poměrů v sítích vn a sítích vvn při jednofázových a vícefázových poruchách vzniklých v síti vvn. Výpočet jsem provedl pro 1f zkrat, 2f zkrat, 2f zemní zkrat a pro 3f zkrat.

K možnosti kontroly vypočtených hodnot a možnosti zjištění nových hodnot při změně vstupních parametrů, jako například změna hodnoty odporu poruchy R_p , jsem vytvořil v programu MS Excel soubor pro výpočet napěťových a proudových poměrů v místě poruchy a na vedení vn pro dále zkoumané příčné poruchy.

Pro možné porovnání, dále zjištěných hodnot napětí a proudů vyskytujících se při poruchových stavech, jsou nejprve vypočteny napěťové a proudové poměry v případě bezporuchového stavu. V tomto případě, tedy při bezporuchovém stavu, uvažuji jen souslednou složkovou část náhradního schématu zobrazenou na obrázku 5-1.



Obr. 5-1: Náhradní schéma pro výpočet velikostí napětí a proudů v bezporuchovém stavu

Nejprve jsem zjistil hodnotu napětí v místě, kde se bude v následujících výpočtech zkratů uvažovat porucha, tedy na straně vvn:

$$\bar{U}_{por(1)} = \bar{E} \cdot \frac{\bar{Z}_{1(1)}}{\bar{Z}_{1(1)} \cdot \bar{Z}_{S(1)}} = 13280 \angle 0^\circ \cdot \frac{106,81 \angle 70,5^\circ}{106,81 \angle 70,5^\circ + 0,301 \angle 90^\circ} = 13245 \angle 0^\circ \text{V}, \text{ kde:} \quad (5-1)$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{1(1)} &= \bar{Z}_{TrP(1)} + \bar{Z}_{TrS(1)} + \bar{Z}_{ved(1)} + \frac{\bar{Z}_{C(1)} \cdot \bar{Z}_{Z(1)}}{\bar{Z}_{C(1)} + \bar{Z}_{Z(1)}} = \\ &= 0,727 \angle 90^\circ + 0,727 \angle 90^\circ + 7,75 \angle 50,8^\circ + \frac{53069 \angle -88,9^\circ \cdot 98,0 \angle 71,8^\circ}{53069 \angle -88,9^\circ + 98,0 \angle 71,8^\circ} = \\ &= 106,81 \angle 70,5^\circ \Omega \end{aligned} \quad (5-2)$$

Dále jsem provedl výpočet proudových a napěťových poměrů na straně vn:

$$\bar{U}_{CZ(1)} = \bar{U}_{por(1)} \cdot \frac{\bar{Z}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{CZ(1)} + \bar{Z}_{TV(1)}} = 13245 \angle 0^\circ \cdot \frac{98,17 \angle 71,8^\circ}{98,17 \angle 71,8^\circ + 8,92 \angle 56,7^\circ} = 12174 \angle 1,2^\circ \text{ V} \quad (5-3)$$

$$\bar{I}_{Z(1)} = \frac{\bar{U}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{Z(1)}} = \frac{12174 \angle 1,2^\circ}{98,0 \angle 71,8^\circ} = 124,2 \angle -70,6^\circ \text{ A} \quad (5-4)$$

$$\bar{I}_{C(1)} = \frac{\bar{U}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{C(1)}} = \frac{12174 \angle 1,2^\circ}{53069 \angle -89^\circ} = 0,23 \angle 90,1^\circ \text{ A} \quad (5-5)$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_{ved(1)} &= \bar{U}_{por(1)} \cdot \frac{\bar{Z}_{ved(1)} + \bar{Z}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{ved(1)} + \bar{Z}_{CZ(1)} + \bar{Z}_{TrP(1)} + \bar{Z}_{TrS(1)}} = \\ &= 13245 \angle 0^\circ \cdot \frac{7,75 \angle 51^\circ + 98,17 \angle 71,8^\circ}{7,75 \angle 51^\circ + 98,17 \angle 71,8^\circ + 2 \cdot 0,727 \angle 90^\circ} = 13075 \angle -0,3^\circ \text{ V} \end{aligned} \quad (5-6)$$

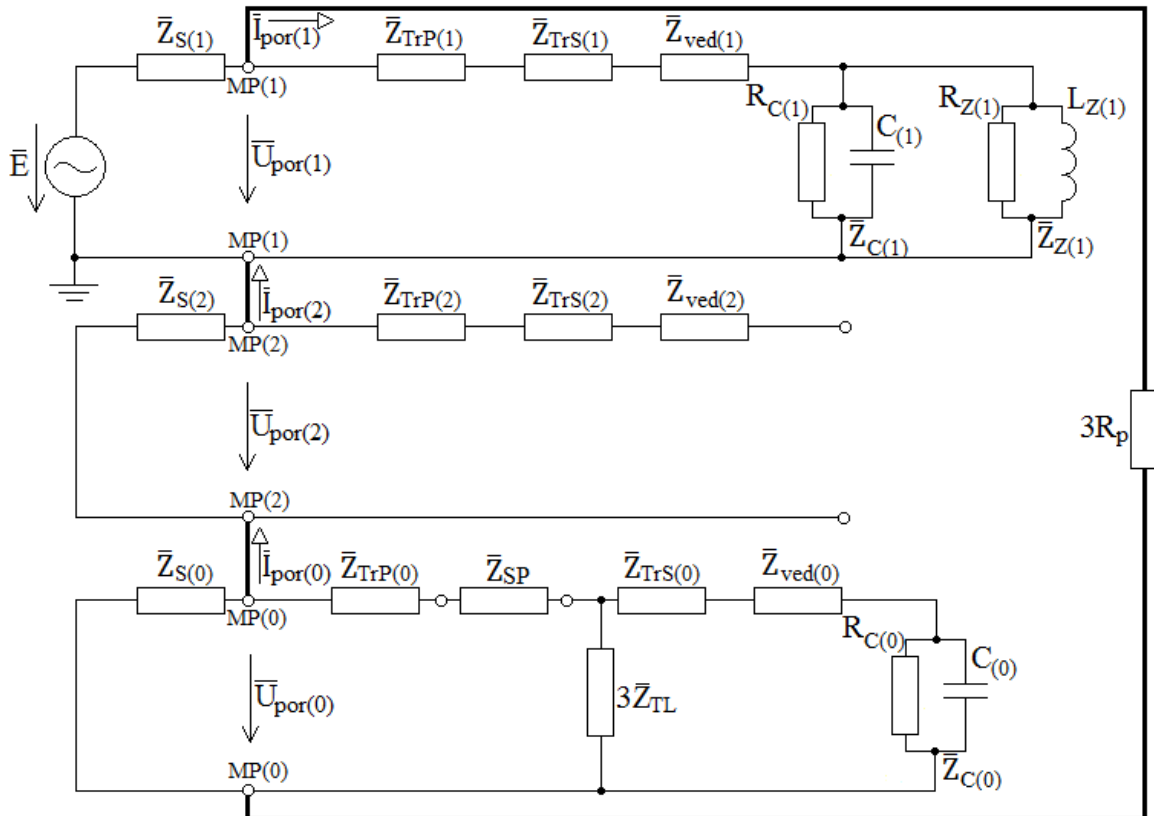
Po přepočtení složkových hodnot na hodnoty fázové pomocí vztahu (2.1-4) jsem získal skutečné fázové hodnoty napětí a proudů na straně vn a po přepočtení na hladinu 110kV jsem získal také fázové hodnoty napětí v místě, kde budu v následujících kapitolách uvažovat poruchu:

Tab. 5.1: Vypočtená fázová napětí a proudy v místě možné poruchy a na straně vn

	$\bar{U}_{por} [V]$	$\bar{U}_{ved} [V]$	$\bar{U}_{CZ} [V]$	$\bar{I}_C [A]$	$\bar{I}_Z [A]$
fáze A	$63344 \angle 0^\circ$	$13075 \angle 0^\circ$	$12174 \angle 1^\circ$	$0,229 \angle 90^\circ$	$124,2 \angle -71^\circ$
fáze B	$63344 \angle -120^\circ$	$13075 \angle -120^\circ$	$12174 \angle -119^\circ$	$0,229 \angle -30^\circ$	$124,2 \angle 169^\circ$
fáze C	$63344 \angle 120^\circ$	$13075 \angle 120^\circ$	$12174 \angle 121^\circ$	$0,229 \angle -150^\circ$	$124,2 \angle 49^\circ$

5.1 1f zkrat

Schéma pro výpočet 1f zkratu, zobrazené na obrázku 5.1-1, jsem vytvořil propojením jednotlivých náhradních složkových schémat podle schématu uvedeného v kapitole 2.2.1.

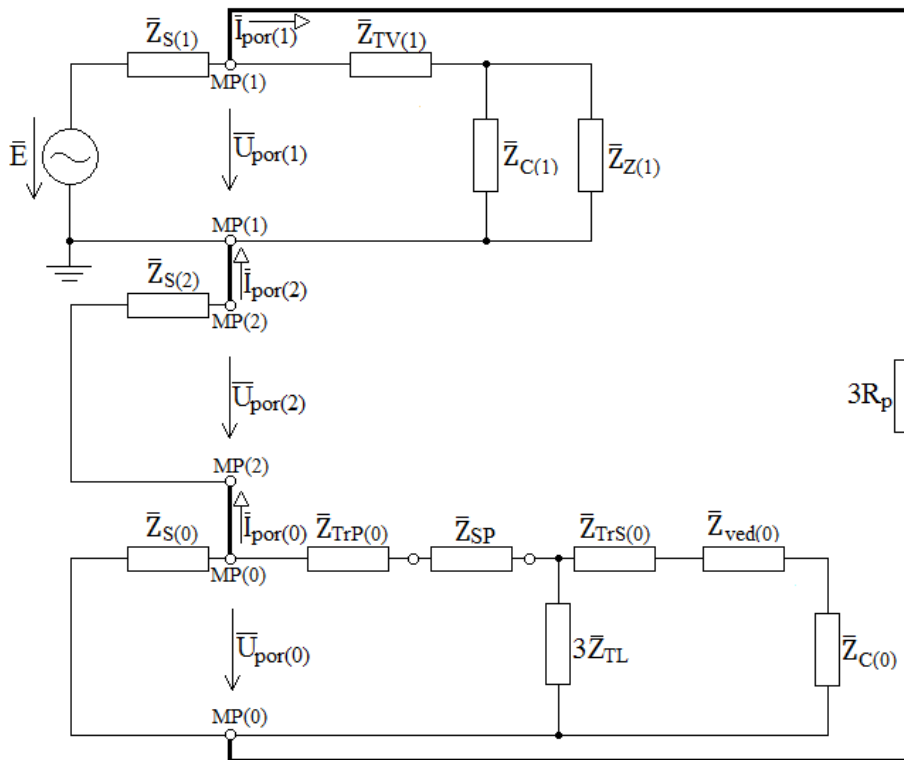


Obr. 5.1-1: Propojení náhradních složkových soustav pro případ 1f zkratu

Nejprve jsem provedl výpočet složkových proudů a napětí v místě poruchy. Ze schématu je vidět, že platí: $\bar{I}_{por(1)} = \bar{I}_{por(2)} = \bar{I}_{por(0)}$ (5.1-1)

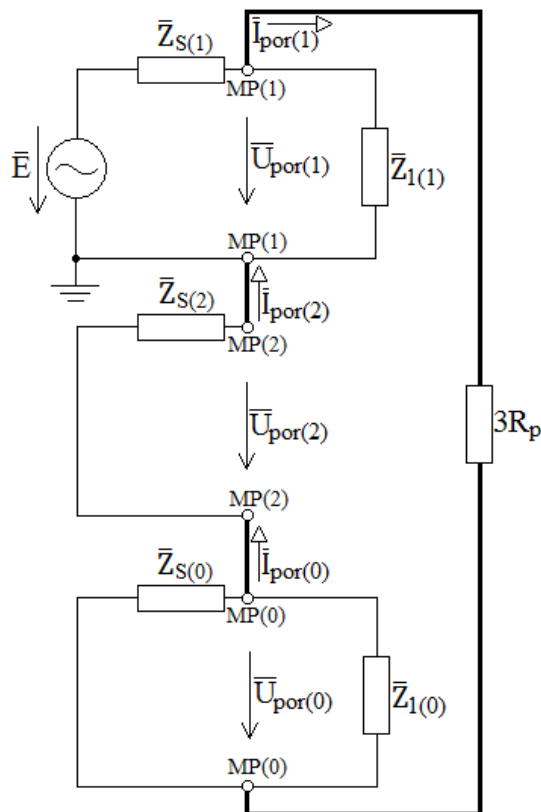
Pro lepší orientaci v obvodu jsem upravil schéma z obr. 5.1-1 na schéma zobrazené na obrázku 5.1-2, kde platí:

$$\bar{Z}_{TV(1)} = \bar{Z}_{TrP(1)} + \bar{Z}_{TrS(1)} + \bar{Z}_{ved(1)} = 0,727 \angle 90^\circ + 0,727 \angle 90^\circ + 7,75 \angle 50,8^\circ = 8,92 \angle 56,8^\circ \Omega \quad (5.1-2)$$



Obr. 5.1-2: Upravené náhradní schéma pro případ 1f zkratu

Dále jsem schéma upravil na schéma zobrazené na obrázku 5.1-3:



Obr. 5.1-3: Upravené náhradní schéma pro případ 1f zkratu

Zde platí, že:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{1(1)} &= \bar{Z}_{TV(1)} + \bar{Z}_{CZ(1)} = \\ &= 8,92 \angle 56,7^\circ + 98,17 \angle 71,8^\circ = \\ &= 106,8 \angle 70,5^\circ \Omega\end{aligned}\quad (5.1-3)$$

kde:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{CZ(1)} &= \frac{\bar{Z}_{C(1)} \cdot \bar{Z}_{Z(1)}}{\bar{Z}_{C(1)} + \bar{Z}_{Z(1)}} = \\ &= \frac{53069 \angle -88,9^\circ \cdot 98,0 \angle 71,8^\circ}{53069 \angle -88,9^\circ + 98,0 \angle 71,8^\circ} = \\ &= 98,17 \angle 71,8^\circ \Omega\end{aligned}\quad (5.1-4)$$

V případě, že uvažují spínač SP sepnutý [3] (dvouvintuťový transformátor s kompenz. uzlem sekundárního vintuť), tedy impedance $\bar{Z}_{SP} = 0$, tak pro netočivou složku platí:

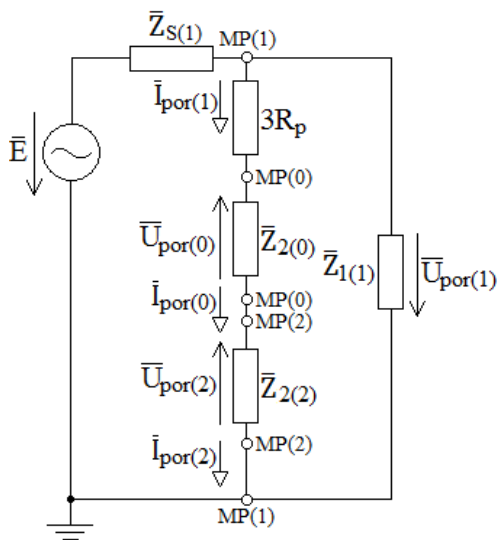
$$\bar{Z}_{1(0)} = \bar{Z}_{SP} + \bar{Z}_{TrP(0)} + \bar{Z}_{11} = 0 + 0,727 \angle 90^\circ + 266,78 \angle 89,4^\circ = 267,5 \angle 89,4^\circ \Omega \quad (5.1-5)$$

$$\bar{Z}_{11} = \frac{\bar{Z}_{12} \cdot 3\bar{Z}_{TL}}{\bar{Z}_{12} + 3\bar{Z}_{TL}} = \frac{55840 \angle -88,8^\circ \cdot 3 \cdot 88,5 \angle 89,4^\circ}{55840 \angle -88,8^\circ + 3 \cdot 88,5 \angle 89,4^\circ} = 266,78 \angle 89,4^\circ \Omega \quad (5.1-6)$$

$$\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{TrS(0)} + \bar{Z}_{ved(0)} + \bar{Z}_{CZ(0)} = 0,727 \angle 90^\circ + 25,63 \angle 55^\circ + 55859 \angle -88,89^\circ = 55840 \angle -88,8^\circ \Omega \quad (5.1-7)$$

V případě, že by se jednalo o izolovaný uzel (jako způsob provedení uzemnění uzlu sekundárního vintuť transformátoru) nebo o trojvintuťový transformátor s terciálním vintuťem zapojeným do trojúhelníku, tak pak platí: $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$.

Dále jsem upravil schéma do podoby zobrazené na obrázku 5.1.4, kde platí:

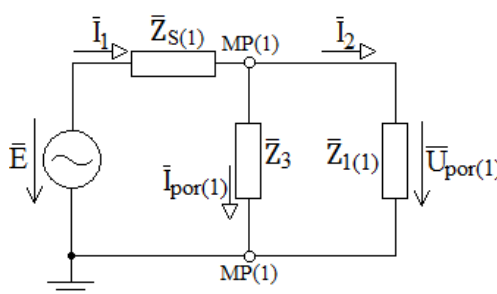


$$\bar{Z}_{2(2)} = \bar{Z}_{S(2)} = 0,301 \angle 90^\circ \Omega \quad (5.1-8)$$

$$\bar{Z}_{2(0)} = \frac{\bar{Z}_{1(0)} \cdot \bar{Z}_{S(0)}}{\bar{Z}_{1(0)} + \bar{Z}_{S(0)}} = \frac{267,5 \angle 89,4^\circ \cdot 0,903 \angle 90^\circ}{267,5 \angle 89,4^\circ + 0,903 \angle 90^\circ} = 0,898 \angle 90,0^\circ \Omega \quad (5.1-9)$$

Obr. 5.1-3: Upravené náhradní schéma pro výpočet poruchových proudů a napětí při 1f zkratu

Následující výpočty jsem provedl pro případ, že by se jednalo o kovový zkrat, tedy $R_p = 0$. Po dalších úpravách jsem vytvořil schéma zobrazené na obrázku 5.1-4, kde platí:



$$\begin{aligned} \bar{Z}_3 &= 3R_p + \bar{Z}_{2(0)} + \bar{Z}_{2(2)} = \\ &= 3 \cdot 0 + 0,898 \angle 90^\circ + 0,301 \angle 90^\circ = 1,199 \angle 90^\circ \Omega \end{aligned} \quad (5.1-10)$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{31} &= \frac{\bar{Z}_3 \cdot \bar{Z}_{1(1)}}{\bar{Z}_3 + \bar{Z}_{1(1)}} = \\ &= \frac{1,199 \angle 90^\circ \cdot 338,2 \angle 18,8^\circ}{1,199 \angle 90^\circ + 338,2 \angle 18,8^\circ} = 1,186 \angle 89,8^\circ \Omega \end{aligned} \quad (5.1-11)$$

Obr. 5.1-4: Upravené schéma pro výpočet jednotlivých proudů a napětí

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{31} + \bar{Z}_{S(1)}} = \frac{13280 \angle 0^\circ}{1,186 \angle 89,8^\circ + 0,301 \angle 90^\circ} = 8928,3 \angle -89,8^\circ \text{ A} \quad (5.1-12)$$

$$\bar{U}_{por(1)} = \bar{E} \cdot \frac{\bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{31} + \bar{Z}_{S(1)}} = 13280 \angle 0^\circ \cdot \frac{1,20 \angle 89,8^\circ}{1,186 \angle 89,8^\circ + 0,301 \angle 90^\circ} = 10592,6 \angle 0^\circ \text{ V} \quad (5.1-13)$$

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{U}_{por(1)}}{\bar{Z}_{1(1)}} = \frac{10592 \angle 0^\circ}{106,81 \angle 70,5^\circ} = 99,17 \angle -70,6^\circ \text{ A} \quad (5.1-14)$$

$$\bar{I}_{por(1)} = \bar{I}_{por(2)} = \bar{I}_{por(0)} = \bar{I}_1 - \bar{I}_2 = 8928,3 \angle -89,8^\circ - 99,17 \angle -70,6^\circ = 8834,7 \angle -90^\circ \text{ A} \quad (5.1-15)$$

$$\bar{U}_{por(0)} = -\bar{I}_{por(1)} \cdot \bar{Z}_{2(0)} = -8834,7 \angle -90^\circ \cdot 0,898 \angle 90^\circ = 7933,4 \angle 180^\circ \text{ V} \quad (5.1-16)$$

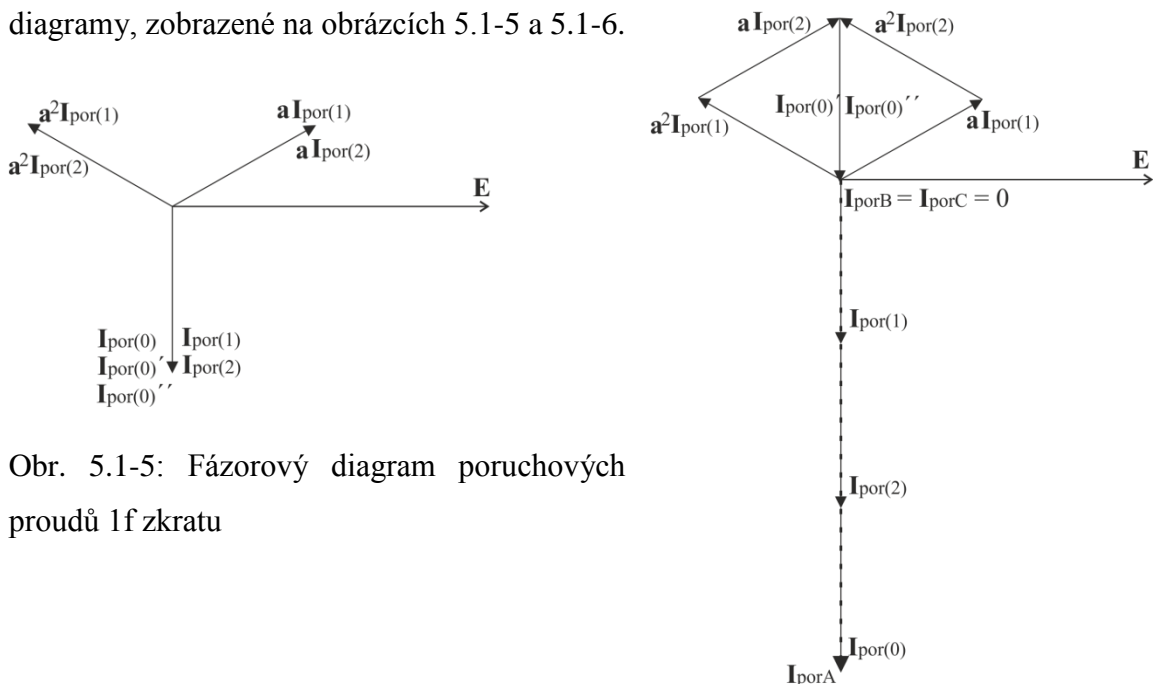
$$\bar{U}_{por(2)} = -\bar{I}_{por(1)} \cdot \bar{Z}_{2(2)} = -8834,7 \angle -90^\circ \cdot 0,301 \angle 90^\circ = 2659,3 \angle 180^\circ \text{ V} \quad (5.1-17)$$

Po přepočtení složkových hodnot na hodnoty fázové pomocí vztahu (2.1-4) a po přepočtení na hladinu 110kV jsem získal fázové hodnoty napětí a proudů v místě 1f poruchy:

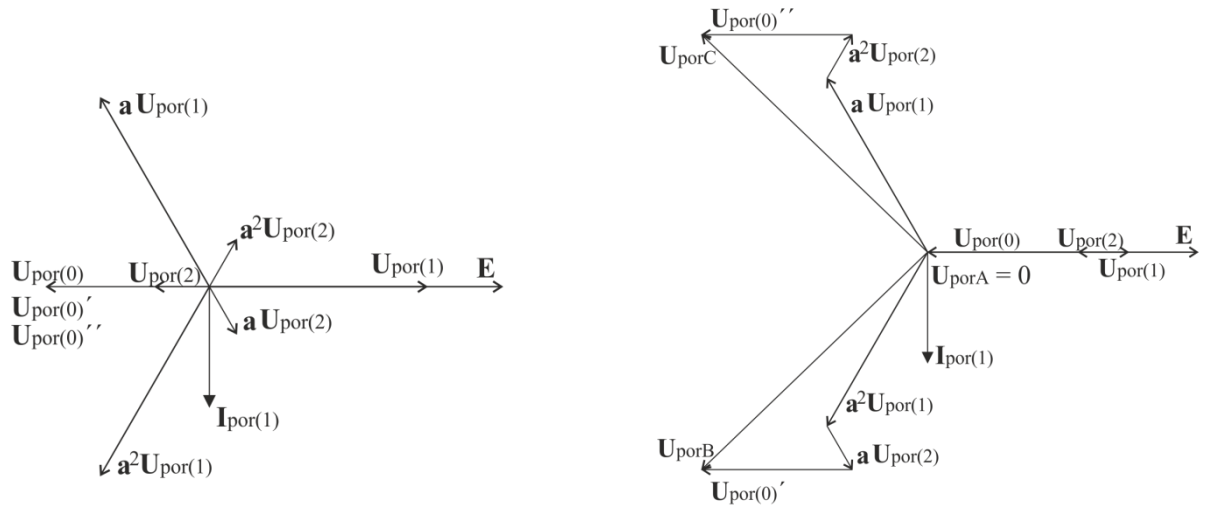
$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{porA} \\ \bar{U}_{porB} \\ \bar{U}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_{por(1)} \\ \bar{U}_{por(2)} \\ \bar{U}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot p = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10592 \angle 0^\circ \\ 2659 \angle 180^\circ \\ 7933 \angle 180^\circ \end{bmatrix} \cdot \frac{110}{23} = \begin{matrix} 0 \\ 79066 \angle -136^\circ \text{ V} \\ 79067 \angle 136^\circ \text{ V} \end{matrix} \quad (5.1-18)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{porA} \\ \bar{I}_{porB} \\ \bar{I}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_{por(1)} \\ \bar{I}_{por(2)} \\ \bar{I}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{p} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 8834,7 \angle -90^\circ \\ 8834,7 \angle -90^\circ \\ 8834,7 \angle -90^\circ \end{bmatrix} \cdot \frac{23}{110} = \begin{matrix} 5541,8 \angle -90^\circ \text{ A} \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \quad (5.1-19)$$

Ze zjištěných složkových hodnot napětí a proudů v místě 1f poruchy jsem vytvořil fázorové diagramy, zobrazené na obrázcích 5.1-5 a 5.1-6.

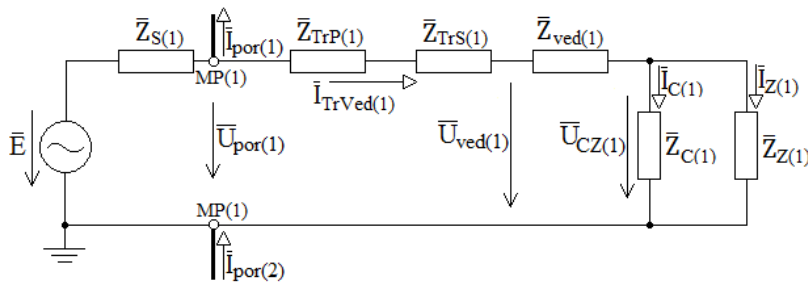


Obr. 5.1-5: Fázorový diagram poruchových proudů 1f zkratu



Obr. 5.1-6: Fázorový diagram napětí v místě 1f zkratu

Dále jsem provedl výpočet proudových a napěťových poměrů na straně vn. Výpočet jsem provedl pro napětí na zátěži (resp. kapacitě vedení) a pro proudy zátěží a kapacitami vedení. Pro výpočet hodnot sousledné, zpětné a netočivé složky jsem využil potřebné části původního schématu zobrazené na obrázcích 5.1-7, 5.1-8 a 5.1-9.



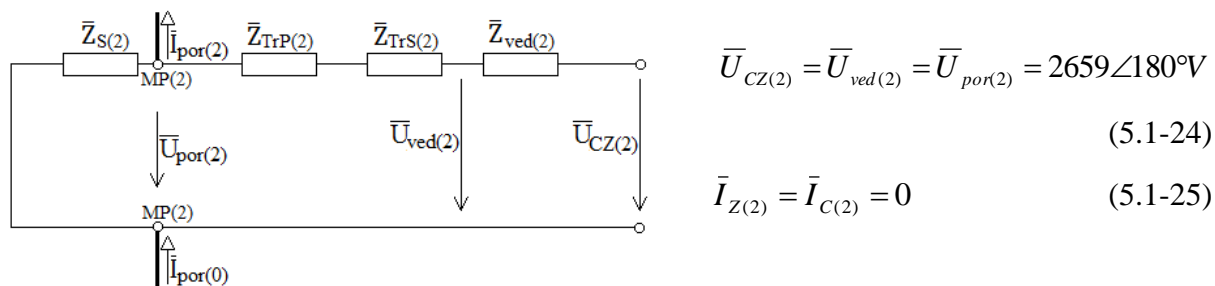
Obr. 5.1-7: Schéma pro výpočet hodnot sousledné složky

$$\bar{U}_{CZ(1)} = \bar{U}_{por(1)} \cdot \frac{\bar{Z}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{CZ(1)} + \bar{Z}_{TV(1)}} = 10593 \angle 0^\circ \cdot \frac{98,17 \angle 71,8^\circ}{98,17 \angle 71,8^\circ + 8,92 \angle 56,7^\circ} = 9736 \angle 1,2^\circ \text{ V} \quad (5.1-20)$$

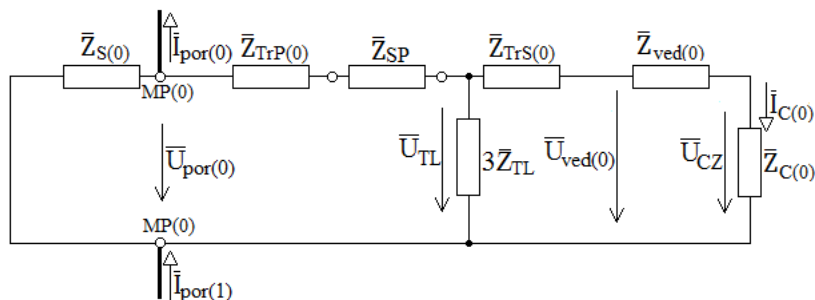
$$\bar{I}_{Z(1)} = \frac{\bar{U}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{Z(1)}} = \frac{9736 \angle 1,2^\circ}{98,0 \angle 71,8^\circ} = 99,35 \angle -70,6^\circ \text{ A} \quad (5.1-21)$$

$$\bar{I}_{C(1)} = \frac{\bar{U}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{C(1)}} = \frac{9736 \angle 1,2^\circ}{53069 \angle -89^\circ} = 0,183 \angle 90,1^\circ \text{ A} \quad (5.1-22)$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_{ved(1)} &= \bar{U}_{por(1)} \cdot \frac{\bar{Z}_{ved(1)} + \bar{Z}_{CZ(1)}}{\bar{Z}_{ved(1)} + \bar{Z}_{CZ(1)} + \bar{Z}_{TrP(1)} + \bar{Z}_{TrS(1)}} = \\ &= 10593 \angle 0^\circ \cdot \frac{7,75 \angle 51^\circ + 98,17 \angle 71,8^\circ}{7,75 \angle 51^\circ + 98,17 \angle 71,8^\circ + 2 \cdot 0,727 \angle 90^\circ} = 10457 \angle -0,3^\circ \text{ V} \end{aligned} \quad (5.1-23)$$



Obr. 5.1-8: Schéma pro výpočet hodnot zpětné složky



Obr. 5.1-9: Schéma pro výpočet hodnot netočivé složky

$$\bar{U}_{TL} = \bar{U}_{por(0)} \cdot \frac{\bar{Z}_{11}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{TrP(0)} + \bar{Z}_{SP}} = 7933 \angle 180^\circ \cdot \frac{266,8 \angle 89^\circ}{266,8 \angle 89^\circ + 0,727 \angle 90^\circ + 0} = 7912 \angle 180^\circ \text{V} \quad (5.1-26)$$

$$\bar{U}_{CZ(0)} = \bar{U}_{TL} \cdot \frac{\bar{Z}_{CZ(0)}}{\bar{Z}_{CZ(0)} + \bar{Z}_{TrS(0)} + \bar{Z}_{ved(0)}} =$$

$$= 7912 \angle 180^\circ \cdot \frac{55862 \angle -89^\circ}{55862 \angle -89^\circ + 0,727 \angle 90^\circ + 25,63 \angle 55^\circ} = 7915 \angle 180^\circ \text{V} \quad (5.1-27)$$

$$\bar{I}_{Z(0)} = 0 \quad (5.1-28)$$

$$\bar{I}_{C(0)} = \frac{\bar{U}_{CZ(0)}}{\bar{Z}_{C(0)}} = \frac{7915 \angle 180^\circ}{55862 \angle -89^\circ} = 0,142 \angle -91^\circ \text{A} \quad (5.1-29)$$

$$\bar{U}_{ved(0)} = \bar{U}_{TL} - \bar{Z}_{TrS(0)} \cdot \bar{I}_{C(0)} = 7912 \angle 180^\circ - 0,727 \angle 90^\circ \cdot 0,142 \angle -91^\circ = 7912 \angle 180^\circ \text{V} \quad (5.1-30)$$

Vypočtené hodnoty skutečných fázových hodnot (zjištěných pomocí přepočtu uvedeného v kapitole 2.1) uvádím v tabulce 5.1-1

Tab. 5.1-1: Vypočtená fázová napětí a proudy na straně vn při 1f zkratu v případě $\bar{Z}_{SP} = 0$

	$\bar{U}_{ved} [\text{V}]$	$\bar{U}_{CZ} [\text{V}]$	$\bar{I}_C [\text{A}]$	$\bar{I}_Z [\text{A}]$
fáze A	$124 \angle -157^\circ$	$876 \angle 166^\circ$	$0,042 \angle 94^\circ$	$99,3 \angle -71^\circ$
fáze B	$16399 \angle -136^\circ$	$15633 \angle -136^\circ$	$0,281 \angle -56^\circ$	$99,3 \angle 169^\circ$
fáze C	$16373 \angle 136^\circ$	$15759 \angle 138^\circ$	$0,284 \angle -125^\circ$	$99,3 \angle 49^\circ$

Napěťové a proudové poměry na vedení vn při 1f v případě rozepnutí spínače SP, tedy $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$ (např. tehdy, kdybych uvažoval trojvintu'ový transformátor s terciálním vinutím zapojeným do trojúhelníku – netočivá složka se přes takto zapojené vinutí nepřenáší)

Tab. 5.1-2: Vypočtená fázová napětí a proudy na straně vn při 1f zkratu v případě $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$

	\bar{U}_{ved} [V]	\bar{U}_{cz} [V]	\bar{I}_C [A]	\bar{I}_Z [A]
fáze A	7808∠0°	7088∠2°	0,184∠90°	99,4∠-71°
fáze B	12001∠-109°	11346∠-107°	0,184∠-30°	99,4∠169°
fáze C	12020∠109°	11260∠109°	0,184∠-150°	99,4∠49°

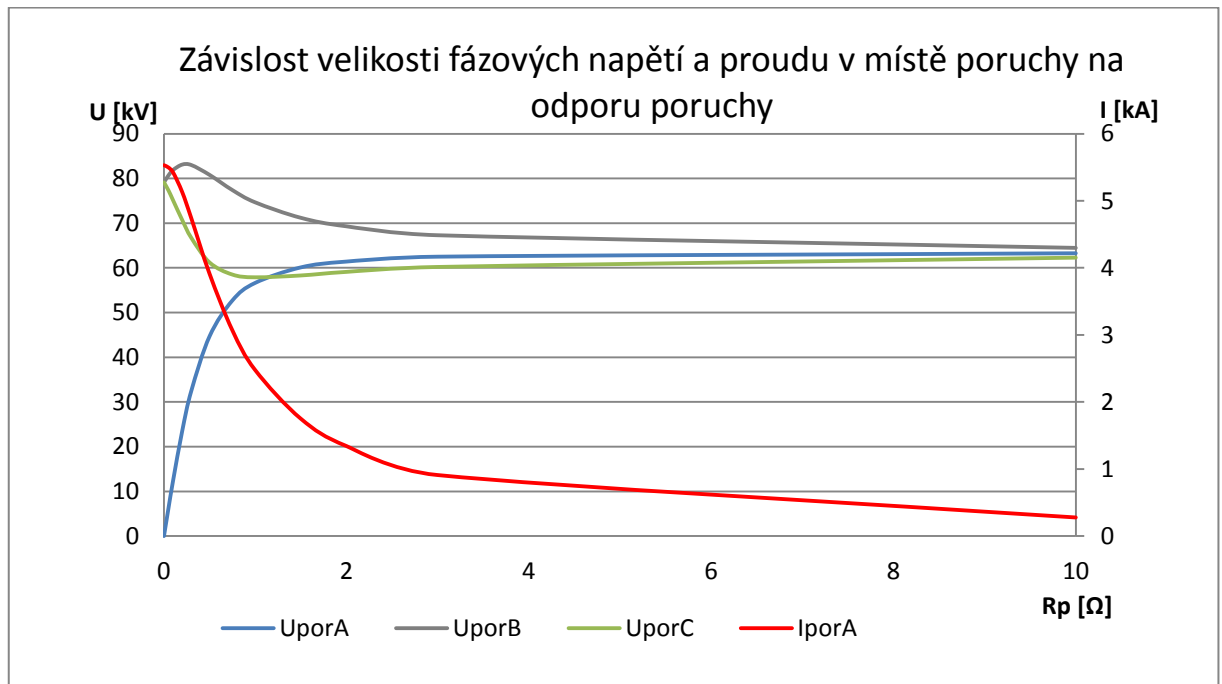
Napětí a proudy v místě poruchy (tedy na straně vv) jsou téměř totožné – liší se o 0,01%.

V následující tabulce 5.1-3 uvádím fázové hodnoty zkoumaných napětí a proudů a změny jejich velikostí v závislosti na odporu poruchy. Zobrazené hodnoty jsou pro případ $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$.

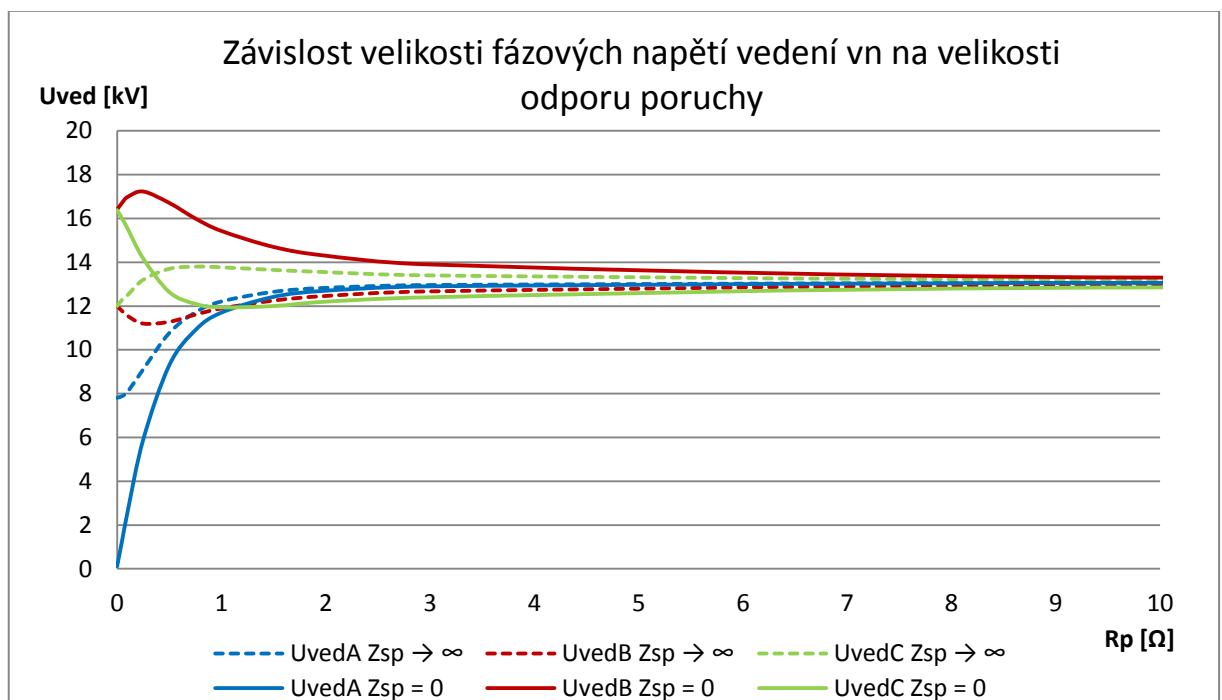
Tab. 5.1-3: Zkoumaná fázová napětí a proudy – jejich závislost na velikosti odporu poruchy

odpor poruchy Rp [Ω]	0		0,1		1		10		100	
	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]
U_{porA} [V]	0	-	12405	-79	56636	-27	63265	-3	63344	0
U_{porB} [V]	79122	-136	81894	-133	74656	-120	64471	-120	63453	-120
U_{porC} [V]	79122	136	75104	138	57890	129	62284	121	63234	120
I_{porA} [A]	5531	-90	5423	-79	2476	-27	277	-3	28	0
I_{porB} [A]	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
I_{porC} [A]	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
U_{vedA} [V]	7808	0	8077	-8	12207	-10	13065	-2	13075	0
U_{vedB} [V]	12001	-109	11554	-111	11891	-121	12956	-121	13063	-120
U_{vedC} [V]	12020	109	12530	108	13770	116	13186	119	13066	120
U_{czA} [V]	7088	2	7330	-6	11313	-9	12161	0	12173	1
U_{czB} [V]	11346	-107	10903	-108	11053	-119	12058	-119	12162	-119
U_{czC} [V]	11260	109	11768	109	12906	117	12287	121	12185	121
I_{cA} [A]	0,184	90	0,186	87	0,221	85	0,229	90	0,229	90
I_{cB} [A]	0,184	-30	0,186	-33	0,221	-35	0,229	-30	0,229	-30
I_{cC} [A]	0,184	-150	0,186	-153	0,221	-155	0,229	-150	0,229	-150
I_{zA} [A]	99,4	-71	100,5	-73	119,7	-75	124,2	-71	124,2	-71
I_{zB} [A]	99,4	169	100,5	167	119,7	165	124,2	169	124,2	169
I_{zC} [A]	99,4	49	100,5	47	119,7	45	124,2	49	124,2	49

V následujícím grafu 5.1-1 je ukázána závislost velikostí fázových napětí a proudu v místě poruchy na odporu poruchy při $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$. V grafu 5.1-2 je ukázána závislost velikosti napětí vedení vn na velikosti odporu poruchy a to v případech $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$ či $\bar{Z}_{SP} = 0$.



Graf 5.1-1: Závislost velikosti fázových napětí a proudu v místě poruchy na odporu poruchy při 1f zkratu v případě, že $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$



Graf 5.1-2: Závislost velikosti fázových napětí vedení vn na odporu poruchy v případech, že se jedná o stavy, kdy $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$ či $\bar{Z}_{SP} = 0$.

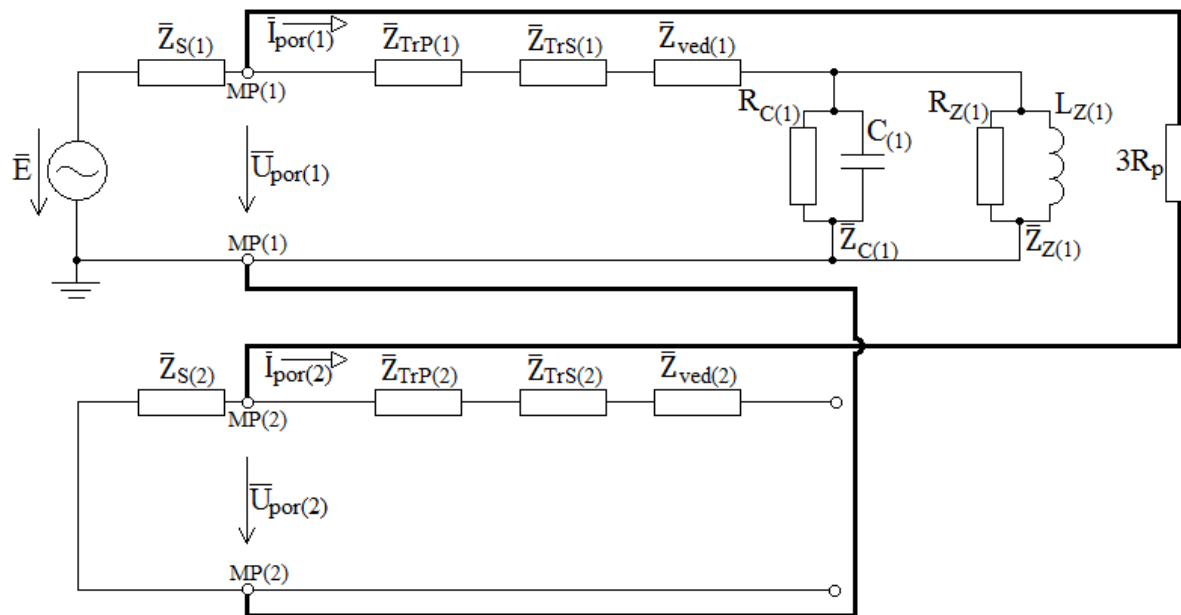
Po vypočtení konkrétních hodnot jsou potvrzeny předpoklady uvedené v teoretické části. V případě, kdy jsem uvažoval kovový 1f zkrat, tak porušenou fází v místě poruchy prochází nejvyšší hodnota poruchového proudu (hodnota poruchového proudu poté postupně klesá se zvyšující se hodnotou odporu poruchy). Napětí poškozené fáze v místě poruchy kleslo na nulovou hodnotu a nepoškozené fáze dosahují vyššího fázového napětí než je jmenovité fázové napětí. Toto navýšení napětí je způsobeno netočivou složkou, respektive větší reaktancí sítě vvn v netočivé složce než je reaktance sítě v sousledné či zpětné složce. Se zvyšující se hodnotou odporu poruchy tato napětí neporušených fází klesají k jmenovité hodnotě, tedy k hodnotě bezporuchového stavu a k této hodnotě postupně stoupá i velikost napětí porušené fáze. Na průběh těchto napěťových a proudových poměrů na straně vvn (tedy v místě poruchy) nemá téměř žádný vliv způsob zapojení transformátoru. Způsob provedení uzemnění uzlu transformátoru, či způsob provedení vinutí transformátoru má poměrně velký vliv na napěťové a proudové poměry na hladině vn. V případě, že by se jednalo o dvouvinutový transformátor se sekundárním vinutím uzemněným přes zhášecí tlumivku ($\bar{Z}_{SP} = 0$), tak dochází k většímu ovlivnění hodnot napětí a proudů, než kdyby se jednalo o trojvinutový transformátor s terciálním vinutím zapojeným do nevyvedeného trojúhelníka ($\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$), z toho důvodu, že tyto hodnoty napětí proudů na hladině vn jsou ovlivněny netočivou složkou. To platí například u hodnot napětí na vedení vn při kovovém zemním zkratu: v případě $\bar{Z}_{SP} = 0$, tak napětí na porušené fázi klesá téměř k nulové hodnotě a na neporušených fázích se objevuje přepětí. Oproti tomu v případě $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$, tak napětí neporušených fází dosahuje téměř hodnoty bezporuchového stavu a napětí na fázi s poruchou nespadne k nulové hodnotě, ale dosahuje příznivějších hodnot. V obou případech ale dochází k velké nesymetrii napětí. S rostoucí hodnotou odporu poruchy se napěťové a proudové poměry přibližují hodnotám bezporuchového stavu. V tabulce 5.1-4 jsem uvedl závislost hodnot fázových napětí vedení vn na velikosti impedance Z_{SP} . Uvedené hodnoty platí pro případ, že se jedná o kovový zkrat, odpor poruchy R_P je tedy nulový.

Tab. 5.1-4: Závislost velikosti fázových napětí vedení vn na velikosti impedance Z_{SP}

$Z_{SP} [\Omega]$	0		10		100		1000		$\rightarrow \infty$	
	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]
$U_{vedA} [V]$	124	-157	358	-106	2771	-72	7542	-16	7815	0
$U_{vedB} [V]$	16408	-136	16602	-136	17657	-128	14041	-109	12002	-109
$U_{vedC} [V]$	16381	136	16167	137	13929	141	10397	115	12021	109

5.2 2f zkrat

Při výpočtu 2f zkratu pomocí metody souměrných složek jsem vytvořil schéma zobrazené na obrázku 5.2-1. Jak je vidět z tohoto schématu, tak jsou propojeny (způsobem ukázaným v kapitole 2.2.2) jen části sousledné a zpětné části, netočivá část složkové soustavy se nevyužívá ($\bar{U}_{por(0)} = 0$ a $\bar{I}_{por(0)} = 0$).



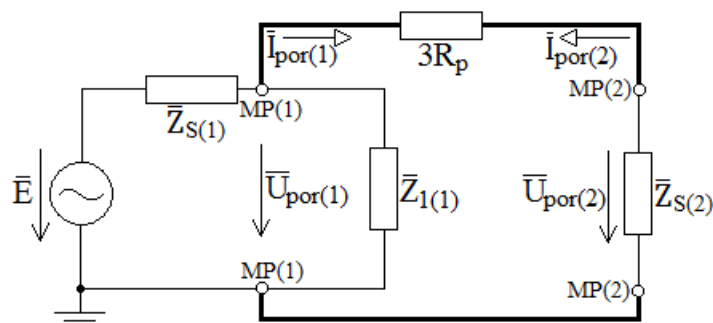
Obr. 5.2-1: Propojení náhradních složkových soustav pro případ 2 zkratu

Ze schématu je vidět, že platí:

$$\bar{I}_{por(1)} = -\bar{I}_{por(2)} \quad (5.2-1)$$

$$\bar{U}_{por(1)} = \bar{U}_{por(2)} \text{ za předpokladu: } R_p = 0 \quad (5.2-2)$$

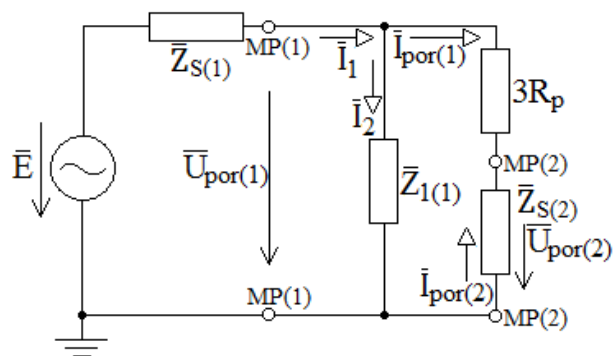
Schéma jsem si upravil do tvaru zobrazeného na obrázku 5.2-2, kde platí, že má impedance



$\bar{Z}_{1(1)}$ stejnou hodnotu jako při předešlém výpočtu 1f zkratu, tedy

$$\bar{Z}_{1(1)} = 106,81 \angle 70,5^\circ \Omega$$

Obr. 5.2-2: Upravené náhradní schéma pro případ 2f zkratu



Nakonec jsem schéma upravil do podoby zobrazené na obrázku 5.2-3, z kterého jsem postupně zjistil hodnoty poruchových složkových proudů a napětí v místě poruchy.

Obr. 5.2-3: Schéma pro výpočet poruchových složkových proudů a napětí

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{S(1)} + \bar{Z}_3} = \frac{13,280 \cdot 10^3}{0,301 \angle 90^\circ + 0,300 \angle 89,9^\circ} = 22089 \angle -90^\circ \text{ A} \quad (5.2-3)$$

$$\bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}_{1(1)} \cdot (3R_P + \bar{Z}_{S(2)})}{\bar{Z}_{1(1)} \cdot (3R_P + \bar{Z}_{S(2)})} = \frac{106,81 \angle 70,5^\circ \cdot (3 \cdot 0 + 0,301 \angle 90^\circ)}{106,81 \angle 70,5^\circ + 3 \cdot 0 + 0,301 \angle 90^\circ} = 0,300 \angle 89,9^\circ \Omega \quad (5.2-4)$$

$$\bar{I}_{por(1)} = \bar{I}_1 \frac{\bar{Z}_{1(1)}}{\bar{Z}_{1(1)} + 3R_P + \bar{Z}_{S(2)}} = 22089 \angle -90^\circ \frac{106,81 \angle 70,5^\circ}{106,81 \angle 70,5^\circ + 3 \cdot 0 + 0,301 \angle 90^\circ} = 22031 \angle -90^\circ \text{ A} \quad (5.2-5)$$

$$\bar{I}_{por(2)} = -\bar{I}_{por(1)} = 22031 \angle 90^\circ \text{ A} \quad (5.2-6)$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 - \bar{I}_{por(1)} = 22089 \angle -90^\circ - 22031 \angle -90^\circ = 62,08 \angle -70,6^\circ \text{ A} \quad (5.2-7)$$

$$\bar{U}_{por(1)} = \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_{1(1)} = 62,08 \angle -70,6^\circ \cdot 106,81 \angle 70,5^\circ = 6631,2 \angle 0^\circ \text{ V} \quad (5.2-8)$$

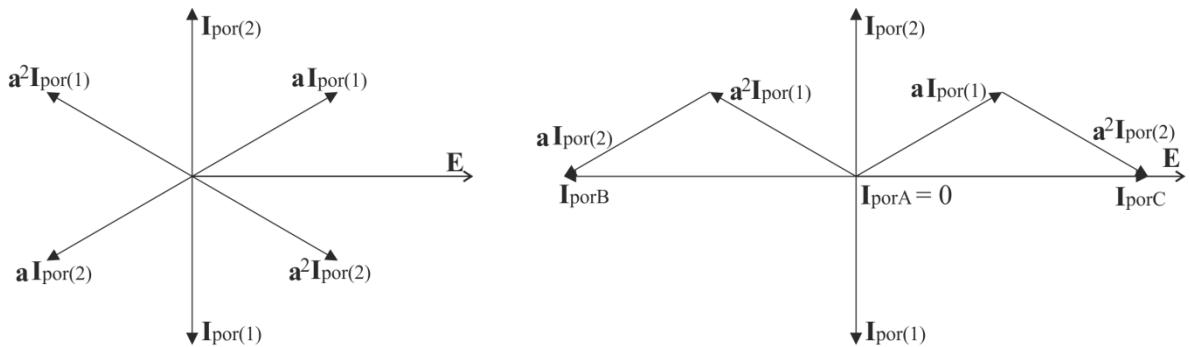
$$\bar{U}_{por(2)} = \bar{U}_{por(1)} \frac{\bar{Z}_{S(2)}}{3R_P + \bar{Z}_{S(2)}} = 6631,2 \angle 0^\circ \frac{0,301 \angle 90^\circ}{3 \cdot 0 + 0,301 \angle 90^\circ} = 6631,2 \angle 0^\circ \text{ V} \quad (5.2-9)$$

Vypočtené hodnoty odpovídají stavu, kdy je odpor poruchy nulový. Po přepočtení složkových hodnot na hodnoty fázové pomocí vztahu (2.1-4) a po přepočtení na hladinu 110kV jsem získal fázové hodnoty napětí a proudů v místě 2f zkratu:

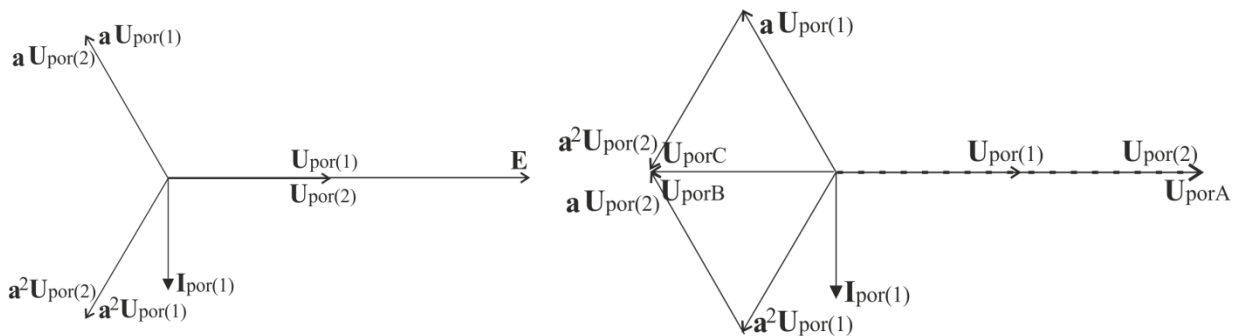
$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{porA} \\ \bar{U}_{porB} \\ \bar{U}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_{por(1)} \\ \bar{U}_{por(2)} \\ \bar{U}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot p = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 6631 \angle 0^\circ \\ 6631 \angle 0^\circ \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{110}{23} = \begin{bmatrix} 63429 \angle 0^\circ \text{ V} \\ 31714 \angle 180^\circ \text{ V} \\ 31714 \angle 180^\circ \text{ V} \end{bmatrix} \quad (5.2-10)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{porA} \\ \bar{I}_{porB} \\ \bar{I}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_{por(1)} \\ \bar{I}_{por(2)} \\ \bar{I}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{p} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 22031 \angle -90^\circ \\ 22031 \angle 90^\circ \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{23}{110} = \begin{bmatrix} 0 \\ 7978 \angle 180^\circ \text{ kA} \\ 7978 \angle 0^\circ \text{ kA} \end{bmatrix} \quad (5.2-11)$$

Ze zjištěných složkových hodnot napětí a proudů v místě poruchy jsem vytvořil fázorové diagramy, zobrazené na obrázcích 5.2-4 a 5.2-5.



Obr. 5.2-4: Fázorový diagram poruchových proudů 2f zkratu



Obr. 5.2-5: Fázorový diagram napětí v místě 2f zkratu

Pro výpočet proudových a napěťových poměrů na straně vn jsem využil vztahů (5.1-20) až (5.1-25) uvedených při výpočtu 1f zkratu. Získal jsem potřebná složková napětí a proudy:

$$\bar{U}_{ved(1)} = 6546 \angle -0,3^\circ V, \quad \bar{U}_{ved(2)} = 6631 \angle 0^\circ V$$

$$\bar{U}_{CZ(1)} = 6095 \angle 1,2^\circ V, \quad \bar{U}_{CZ(2)} = 6631 \angle 0^\circ V$$

$$\bar{I}_{C(1)} = 0,115 \angle 90,1^\circ A, \quad \bar{I}_{C(2)} = 0$$

$$\bar{I}_{Z(1)} = 62,19 \angle -70,6^\circ A, \quad \bar{I}_{Z(2)} = 0$$

$$\bar{U}_{CZ(0)} = 0, \quad \bar{I}_{C(0)} = 0, \quad \bar{I}_{Z(0)} = 0$$

Vypočtené hodnoty skutečných fázových hodnot (zjištěných pomocí přepočtu uvedeného v kapitole 2.1) uvádím v tabulce 5.2-1:

Tab. 5.2-1: Vypočtená fázová napětí a proudy na straně vn při 2f zkratu

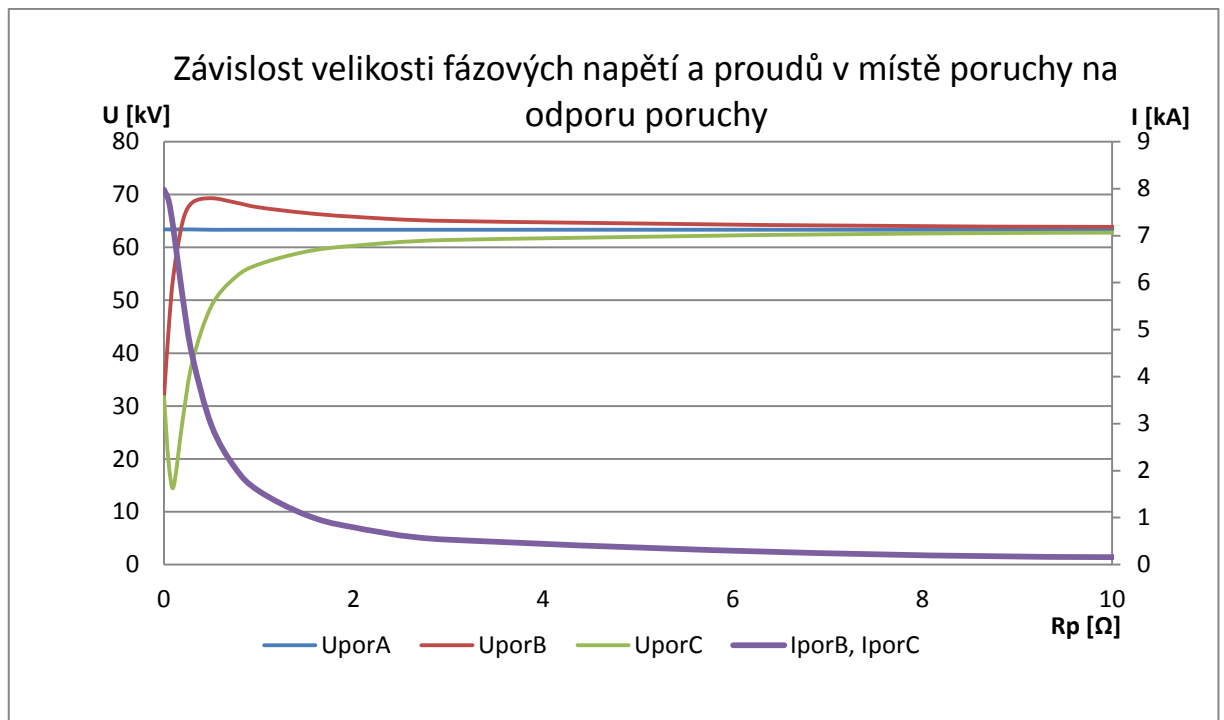
	$\bar{U}_{ved} [V]$	$\bar{U}_{cz} [V]$	$\bar{I}_c [A]$	$\bar{I}_z [A]$
fáze A	13177∠0°	12725∠1°	0,115∠90°	62,19∠-71°
fáze B	6615∠180°	6260∠-176°	0,115∠-30°	62,19∠169°
fáze C	6563∠180°	6499∠-175°	0,115∠-150°	62,19∠49°

V následující tabulce 5.2-2 uvádím fázové hodnoty zkoumaných fázových napětí a proudů a změny jejich velikostí v závislosti na odporu poruchy.

Tab. 5.2-2: Zkoumaná fázová napětí a proudy – jejich závislost na velikosti odporu poruchy

odpor poruchy Rp [Ω]	0		0,1		1		10		100	
	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]
U _{porA} [V]	63429	0	63400	0	63342	0	63344	0	63345	0
U _{porB} [V]	31714	180	54719	-169	67571	-129	63881	-121	63398	-120
U _{porC} [V]	31714	180	14663	132	56792	112	62781	119	63288	120
I _{porA} [A]	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
I _{porB} [A]	7978	180	7138	-154	1568	-101	160	-91	16	-90
I _{porC} [A]	7978	0	7138	26	1568	79	160	89	16	90
U _{vedA} [V]	13177	0	13142	0	13072	0	13074	0	13075	0
U _{vedB} [V]	6616	180	11368	-169	13965	-129	13187	-121	13086	-120
U _{vedC} [V]	6563	180	2954	132	11710	111	13187	119	13063	120
U _{czA} [V]	12725	0	12670	2	12222	2	12177	1	12174	1
U _{czB} [V]	6260	176	10771	-170	13059	-128	12285	-120	12185	-119
U _{czC} [V]	6499	-175	2610	143	10808	113	12055	120	12162	121
I _{cA} [A]	0,115	90	0,145	72	0,226	84	0,229	90	0,229	90
I _{cB} [A]	0,115	-30	0,145	-48	0,226	-36	0,229	-30	0,229	-30
I _{cC} [A]	0,115	-150	0,145	-168	0,226	-156	0,229	-150	0,229	-150
I _{zA} [A]	62,2	-150	78,6	-89	122,4	-76	124	-71	124	-71
I _{zB} [A]	62,2	-70	78,6	151	122,4	164	124	169	124	169
I _{zC} [A]	62,2	50	78,6	31	122,4	44	124	49	124	49

V následujícím grafu 5.2-1 je ukázána závislost velikostí fázových napětí a proudů v místě poruchy na odporu poruchy

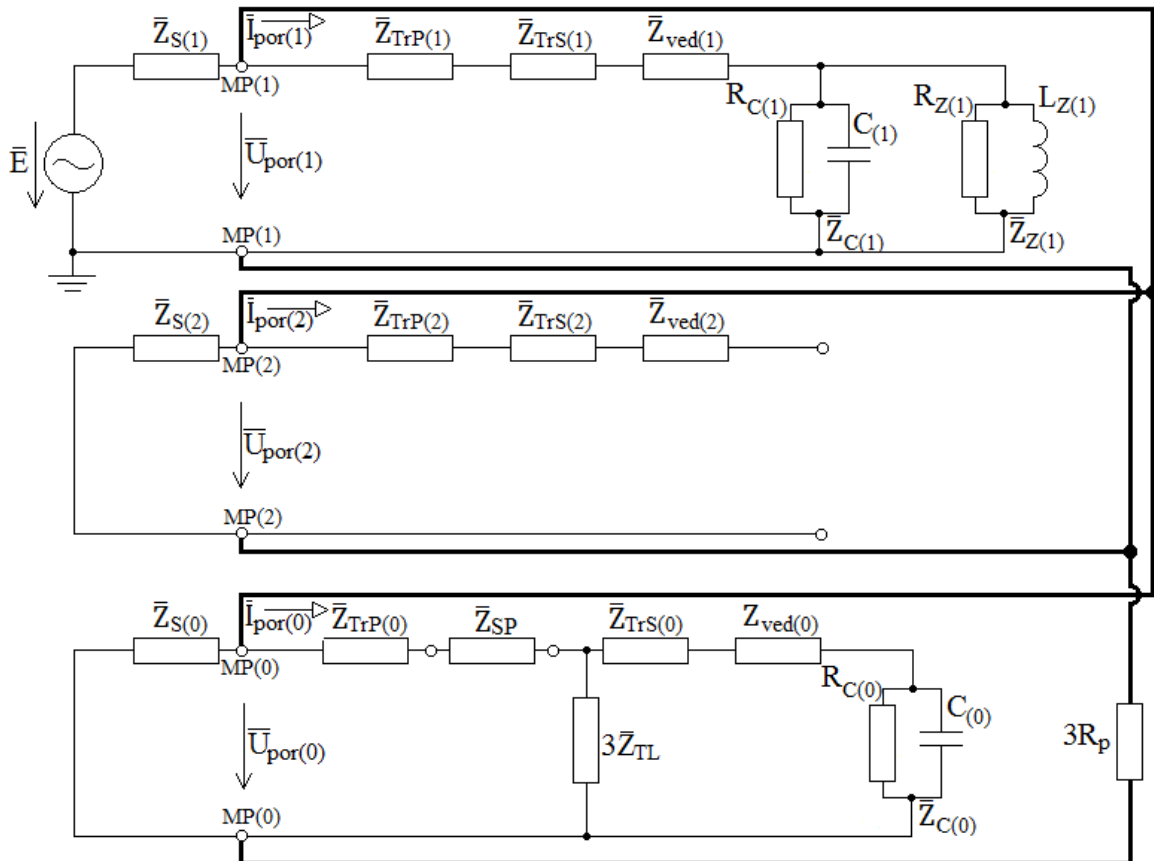


Graf 5.2-1: Závislost velikosti fázových napětí a proudů v místě poruchy na odporu poruchy při 2f zkratu

Z vypočtených a graficky zpracovaných výsledků jsou potvrzeny teoretické předpoklady 2f zkratu. Při 2f kovovém zkratu (R_p je tedy nulový) dosahuje v místě zkratu neporušená fáze jmenovité fázové hodnoty napětí a napětí porušených fází klesá na poloviční hodnotu s fázovým natočením 180° oproti neporušené fázi. Napětí na straně vn, tedy na vedení či na zátěži, se chová stejně. Poruchový proud v místě zkratu dosahuje nejvyšších hodnot při nulovém odporu poruchy a s rostoucí hodnotou odporu poruchy tento poruchový proud klesá. S rostoucí hodnotou R_p se zlepšují také napěťové a proudové poměry na vedení vvn (tedy v místě zkratu) i na straně vn, kdy se napětí i proudy postupně přibližují hodnotám v bezporuchovém stavu.

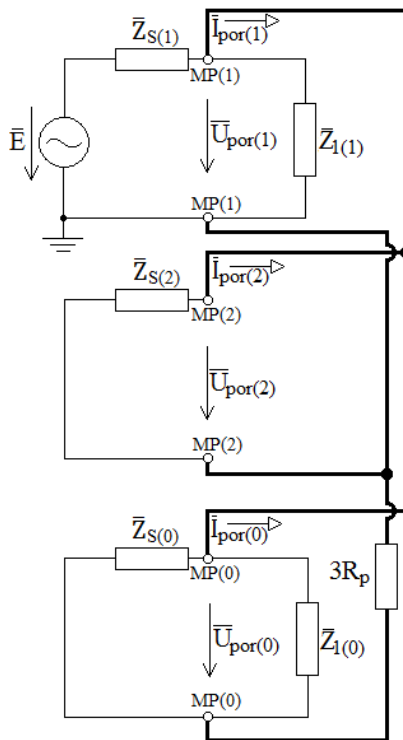
5.3 2f zemní zkrat

Pro výpočet 2f zemního zkratu pomocí metody souměrných složek jsem vytvořil schéma zobrazené na obrázku 5.3-1, toto schéma jsem vytvořil propojením jednotlivých složkových soustav podle postupu uvedeného v kapitole 2.2.3.



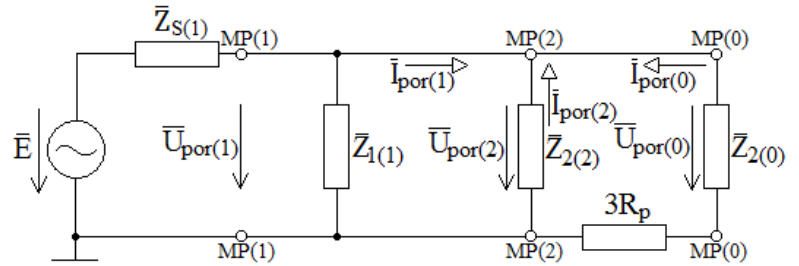
Obr. 5.3-1: Propojení náhradních složkových soustav pro případ 2f zemního zkratu

Z uvedeného schématu je vidět, že je-li odpor poruchy (mezi 2f zkratem a zemí) nulový, tak platí: $\bar{U}_{por(1)} = \bar{U}_{por(2)} = \bar{U}_{por(0)}$. Dále jsem schéma upravil do tvaru zobrazeného na obrázku 5.3-2.



Obr. 5.3-2: Upravené náhradní schéma pro případ 2f zemního zkratu

Zde platí, že hodnoty impedancí $\bar{Z}_{1(1)}$, $\bar{Z}_{1(2)}$, $\bar{Z}_{1(0)}$, $\bar{Z}_{2(2)} = \bar{Z}_{S(2)}$ a $\bar{Z}_{2(0)}$ jsou stejné jako u výpočtu 1f zkratu. Nakonec jsem schéma upravil do tvaru uvedeného na obrázku 5.3-3.



Obr. 5.3-3: Náhradní schéma pro výpočet poruchových složkových proudů a napětí

Následující ukázkový výpočet jsem provedl pro případ, že by se jednalo o kovový zkrat, odpor poruchy je tedy nulový.

Pro výpočet složkových poruchových proudů a napětí platí následující vztahy:

$$\bar{U}_{por(1)} = \bar{U}_{por(2)} = \bar{E} \frac{\bar{Z}_3}{\bar{Z}_{S(1)} + \bar{Z}_3} = 13280 \angle 0^\circ \cdot \frac{0,225 \angle 90^\circ}{0,301 \angle 90^\circ + 0,225 \angle 90^\circ} = 5682,2 \angle 0^\circ \text{V} \quad (5.3-1)$$

kde:

$$\bar{Z}_3 = \left(\frac{1}{\bar{Z}_{1(1)}} + \frac{1}{\bar{Z}_{2(2)}} + \frac{1}{\bar{Z}_{2(0)} + 3R_p} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{106,81 \angle 70,5^\circ} + \frac{1}{0,301 \angle 90^\circ} + \frac{1}{0,900 \angle 90^\circ + 0} \right)^{-1} = 0,225 \angle 90^\circ \Omega \quad (5.3-2)$$

$$\bar{U}_{por(0)} = \bar{U}_{por(2)} = \bar{U}_{por(1)} \frac{\bar{Z}_{2(0)}}{\bar{Z}_{2(0)} + 3R_p} = 5682,2 \angle 0^\circ \cdot \frac{0,900 \angle 90^\circ}{0,900 \angle 90^\circ + 0} = 5682,2 \angle 0^\circ \text{V} \quad (5.3-3)$$

$$\bar{I}_{por(0)} = -\frac{\bar{U}_{por(0)}}{\bar{Z}_{2(0)} + 3R_p} = -\frac{5682,2 \angle 0^\circ}{0,900 \angle 90^\circ + 0} = 6313,8 \angle 90^\circ \text{A} \quad (5.3-4)$$

$$\bar{I}_{por(2)} = -\frac{\bar{U}_{por(2)}}{\bar{Z}_{2(2)}} = -\frac{5682,2 \angle 0^\circ}{0,301 \angle 90^\circ} = 18877,8 \angle 90^\circ \text{A} \quad (5.3-5)$$

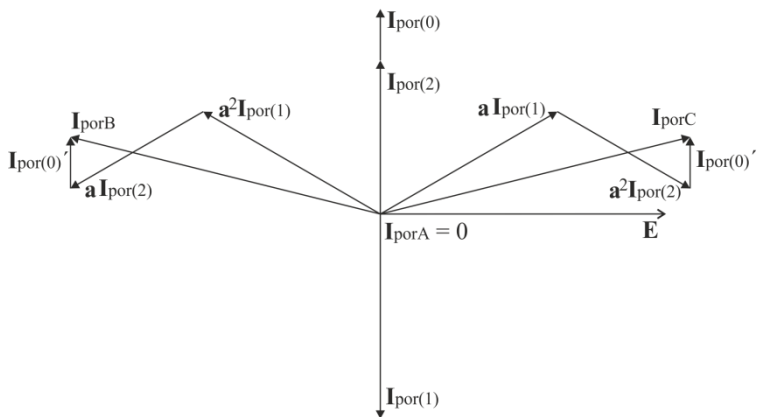
$$\bar{I}_{por(1)} = -\bar{I}_{por(0)} - \bar{I}_{por(2)} = -6313,8 \angle 90^\circ - 18877,8 \angle 90^\circ = 25191,6 \angle -90^\circ \text{A} \quad (5.3-6)$$

Po přepočtení složkových hodnot na hodnoty fázové pomocí vztahu (2.1-4) a po přepočtení na hladinu 110kV jsem získal fázové hodnoty napětí a proudů v místě 2f zemního zkratu:

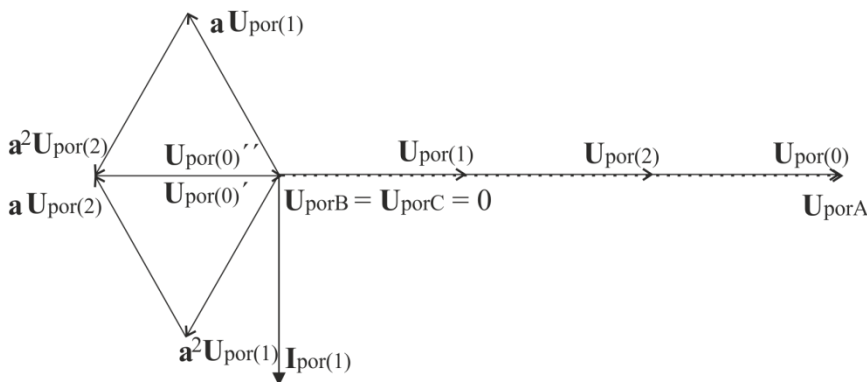
$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{porA} \\ \bar{U}_{porB} \\ \bar{U}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_{por(1)} \\ \bar{U}_{por(2)} \\ \bar{U}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot p = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 5682,2 \angle 0^\circ \text{V} \\ 5682,2 \angle 0^\circ \text{V} \\ 5682,2 \angle 0^\circ \text{V} \end{bmatrix} \cdot \frac{110}{23} = \begin{matrix} 81527 \angle 0^\circ \text{V} \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \quad (5.3-7)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{porA} \\ \bar{I}_{porB} \\ \bar{I}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_{por(1)} \\ \bar{I}_{por(2)} \\ \bar{I}_{por(0)} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{p} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 25191,6 \angle -90^\circ \text{A} \\ 18877,8 \angle 90^\circ \text{A} \\ 6313,8 \angle 90^\circ \text{A} \end{bmatrix} \cdot \frac{23}{110} = \begin{matrix} 0 \\ 8222 \angle 166^\circ \text{A} \\ 8222 \angle 14^\circ \text{A} \end{matrix} \quad (5.3-8)$$

Ze zjištěných hodnot složkových napětí a proudů v místě poruchy jsem vytvořil fázorové diagramy, zobrazené na obrázcích 5.3-4 a 5.3-5.



Obr. 5.3-4: Fázorový diagram poruchových proudů 2f zemního zkratu



Obr. 5.2-5: Fázorový diagram napětí v místě 2f zemního zkratu

Pro výpočet proudových a napěťových poměrů na straně vn jsem využil vztahů (5.1-20) až (5.1-30), uvedených při výpočtu 1f zkratu. Získal jsem potřebná složková napětí a proudy:

$$\bar{U}_{ved(1)} = 5609 \angle -0,3^\circ \text{V}, \bar{U}_{ved(2)} = 5682 \angle 0^\circ \text{V}, \bar{U}_{ved(0)} = 5667 \angle 0^\circ \text{V}$$

$$\bar{U}_{CZ(1)} = 5223 \angle 1,2^\circ \text{V}, \bar{U}_{CZ(2)} = 5682 \angle 0^\circ \text{V}, \bar{U}_{CZ(0)} = 5669 \angle 0^\circ \text{V}$$

$$\bar{I}_{C(1)} = 0,098 \angle 90,1^\circ \text{A}, \bar{I}_{C(2)} = 0, \bar{I}_{C(0)} = 0,101 \angle 88,8^\circ \text{A}$$

$$\bar{I}_{Z(1)} = 55,29 \angle -70,6^\circ \text{A}, \bar{I}_{Z(2)} = 0, \bar{I}_{Z(0)} = 0$$

Vypočtené hodnoty skutečných fázových hodnot (zjištěných pomocí přepočtu uvedeného v kapitole 2.1) uvádím v tabulce 5.3-1:

Tab. 5.3-1: Vypočtená fázová napětí a proudy na straně vn při 2f zemním zkratu v případě

$$\bar{Z}_{SP} = 0$$

	$\bar{U}_{ved} [\text{V}]$	$\bar{U}_{CZ} [\text{V}]$	$\bar{I}_C [\text{A}]$	$\bar{I}_Z [\text{A}]$
fáze A	16958 $\angle 0^\circ$	16573 $\angle 0^\circ$	0,200 $\angle 89^\circ$	53,29 $\angle -71^\circ$
fáze B	76 $\angle 91^\circ$	464 $\angle 47^\circ$	0,102 $\angle 31^\circ$	53,29 $\angle 169^\circ$
fáze C	67 $\angle -49^\circ$	473 $\angle -76^\circ$	0,098 $\angle 148^\circ$	53,29 $\angle 49^\circ$

Napěťové a proudové poměry při 2f zemním zkratu na vedení vn v případě rozepnutí spínače SP, tedy $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$ viz vysvětlení u výpočtu 1f zkratu:

Tab. 5.3-2: Vypočtená fázová napětí a proudy na straně vn při 2f zemním zkratu v případě

$$\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$$

	$\bar{U}_{ved} [\text{V}]$	$\bar{U}_{CZ} [\text{V}]$	$\bar{I}_C [\text{A}]$	$\bar{I}_Z [\text{A}]$
fáze A	11297 $\angle 0^\circ$	10910 $\angle 0^\circ$	0,098 $\angle 90^\circ$	53,32 $\angle -71^\circ$
fáze B	5671 $\angle 179^\circ$	5367 $\angle 176^\circ$	0,098 $\angle -30^\circ$	53,32 $\angle 169^\circ$
fáze C	5626 $\angle -179^\circ$	5572 $\angle -175^\circ$	0,098 $\angle -150^\circ$	53,32 $\angle 49^\circ$

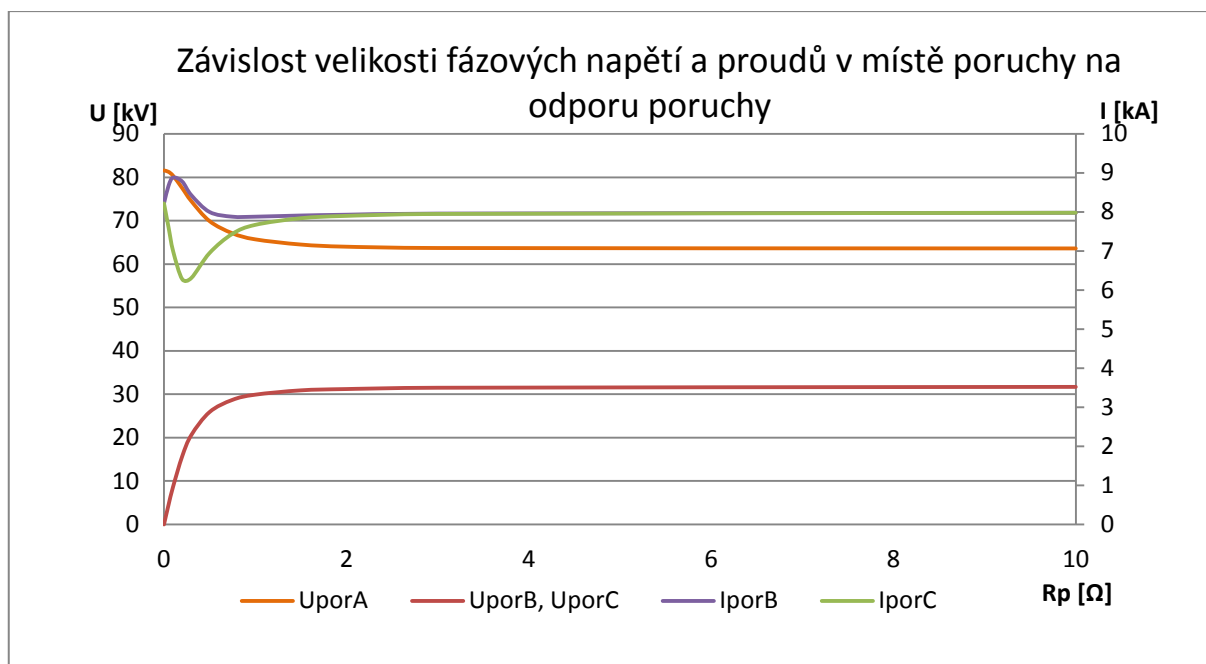
Napětí a proudy v místě poruchy (tedy na straně vvn) jsou téměř totožné.

V následující tabulce 5.3-3 uvádím fázové hodnoty zkoumaných napětí a proudů a změny jejich velikostí v závislosti na velikosti odporu poruchy. Zobrazené hodnoty jsou pro případ $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$.

Tab. 5.3-3: Zkoumaná fázová napětí a proudy – jejich závislost na velikosti odporu poruchy

odpor poruchy Rp [Ω]	0		0,1		1		10		100	
	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]	velikost	fáz. posun [°]
U_{porA} [V]	81557	0	80347	3	65663	5	63454	1	63429	0
U_{porB} [V]	0	-	8687	106	29923	161	31695	178	31714	180
U_{porC} [V]	0	-	8687	106	29923	161	31695	178	31714	180
I_{porA} [A]	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
I_{porB} [A]	8220	166	8882	172	7878	179	7976	180	7978	180
I_{porC} [A]	8220	14	6999	15	7667	-3	7976	0	7978	0
U_{vedA} [V]	11297	0	11449	-3	12984	-3	13175	0	13177	0
U_{vedB} [V]	5671	180	5747	177	6518	177	6614	179	6615	179
U_{vedC} [V]	5626	180	5702	178	6467	178	6562	180	6563	180
U_{czA} [V]	10909	1	11056	-2	12539	-2	12723	0	12725	1
U_{czB} [V]	5367	176	5439	174	6168	174	6259	176	6260	176
U_{czC} [V]	5367	-175	5646	-178	6407	-178	6498	-176	6499	-175
I_{cA} [A]	0,098	90	0,10	88	0,113	87	0,115	90	0,115	90
I_{cB} [A]	0,098	-30	0,10	-32	0,113	-33	0,115	-30	0,115	-30
I_{cC} [A]	0,098	-150	0,10	-152	0,113	-153	0,115	-150	0,115	-150
I_{zA} [A]	55,32	-71	54,03	-73	61,28	-73	62,18	-71	62,19	-71
I_{zB} [A]	55,32	169	54,03	167	61,28	167	62,18	169	62,19	169
I_{zC} [A]	55,32	49	54,03	47	61,28	47	62,18	49	62,19	49

V následujícím grafu 5.3-1 je ukázána závislost velikostí fázových napětí a proudů v místě poruchy na odporu poruchy při $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$.



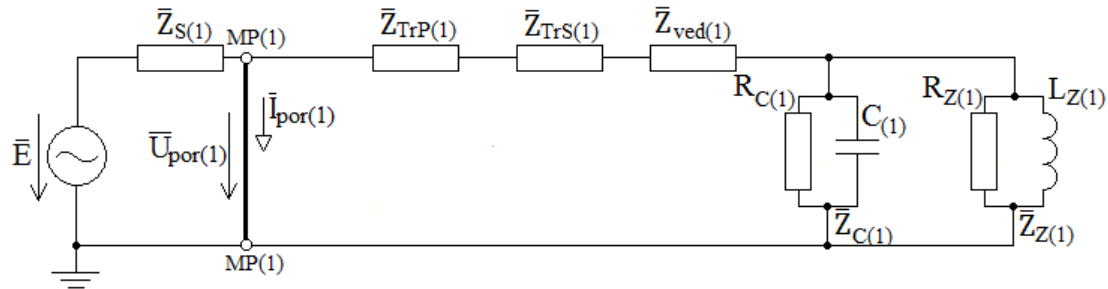
Graf 5.3-1: Závislost velikosti fázových napětí a proudů v místě poruchy na odporu poruchy při 2f zemním zkratu v případě, že $\bar{Z}_{SP} \rightarrow \infty$

V případě, že odpor zemní poruchy byl nulový, tak napětí porušených fází, v místě poruchy, kleslo na nulovou hodnotu a napětí na neporušené fázi se zvýšilo z jmenovité hodnoty na hodnotu vyšší – toto přepětí je způsobeno, jako v případě 1f zkratu, vyšší hodnotou netočivé složky reaktance sítě vvn. Při zvyšování hodnoty odporu poruchy (tedy odporu mezi 2f zkratem a zemí) se napěťové a proudové poměry na straně vvn i vn přibližují hodnotám uvedeným při 2f kovovém zkratu. V případě výpočtu napěťových a proudových poměrů na vedení vn hraje opět velkou roli netočivá část schématu. Po porovnání zjištěných hodnot je opět dokázáno, že je výhodnější využívat transformátor s vinutím zapojeným do trojúhelníka, přes které se nepřenáší netočivá složka proudu (teoretický rozbor uveden v kapitole 7-1).

5.4 3f zkrat

Řešení 3f zkratu pomocí metody souměrných složek ukazuje obrázek 5.4-1. Pro řešení 3f zkratu platí to, že neuvažujeme zpětnou ani netočivou složkovou soustavu (nejsou propojeny se souslednou složkovou soustavou a nejsou tudíž propojeny s žádným zdrojem napětí). Platí

$$\text{tedy: } \bar{U}_{por(2)} = \bar{U}_{por(0)} = 0 \text{ a } \bar{I}_{por(2)} = \bar{I}_{por(0)} = 0 \quad (5.4-1)$$



Obr. 5.4-1: Náhradní složkové schéma pro 3f zkrat

Z obrázku vyplývá, že pro složkové proudy a napětí v místě poruchy platí:

$$\bar{U}_{por(1)} = 0 \quad (5.4-2)$$

$$\bar{I}_{por(1)} = \frac{\bar{E}}{X_{S(1)}} = \frac{13,280 \cdot 10^3}{0,301 \angle 90^\circ} = 44,120 \angle -90^\circ \text{ kA} \quad (5.4-3)$$

Po přepočtení složkových hodnot na hodnoty fázové pomocí vztahu (2.1-4) a po přepočtení na hladinu 110kV jsem získal fázové hodnoty napětí a proudů v místě poruchy:

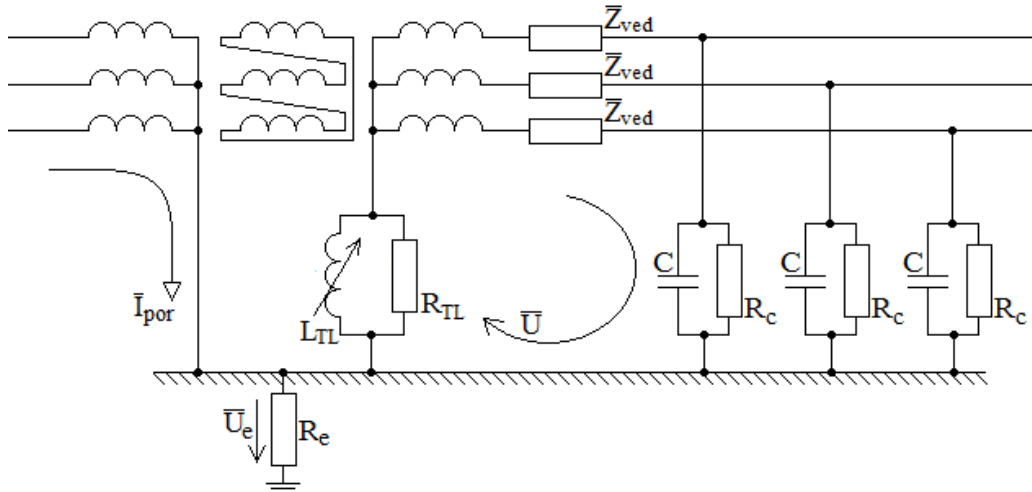
$$\bar{U}_{porA} = \bar{U}_{porB} = \bar{U}_{porC} = 0 \quad (5.4-4)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{porA} \\ \bar{I}_{porB} \\ \bar{I}_{porC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_{por(1)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{P} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 44,12 \angle -90^\circ \text{ kA} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{23}{110} = \begin{bmatrix} 9,225 \angle -90^\circ \text{ kA} \\ 9,225 \angle 150^\circ \text{ kA} \\ 9,225 \angle 30^\circ \text{ kA} \end{bmatrix} \quad (5.4-5)$$

Z výše uvedeného obrázku a výpočtů je patrné, že proudové a napěťové poměry na straně vn jsou nulové.

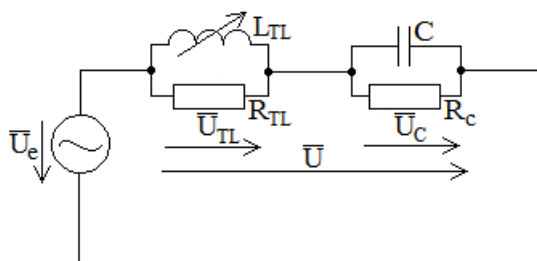
6 Vznik nebezpečných přepětí na straně vysokého napětí

V následující části diplomové práce se zabývám problémem možnosti vzniku přepětí na hladině vn. Tato situace je ukázána na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Schéma situace vzniku přepětí na vn

Na obrázku je ukázána situace, kdy na straně vvn – blízko rozvodné stanice (v tomto případě na napěťové hladině 110kV), vznikne vlivem poruchy poruchový proud \bar{I}_{por} , na zemním odporu poté vznikne napětí \bar{U}_e . Toto napětí pak působí jako zdroj pro sériové spojení zhášecí tlumivky a zemních kapacit. Tento náhradní elektrický obvod jsem znázornil na obrázku 6.2.



Obr. 6.2: Náhradní schéma pro zjištění napětí na zhášecí tlumivce a na zemních kapacitách

Vlivem sériového spojení indukčnosti zhášecí tlumivky a zemní kapacity nastává sériová rezonance, která způsobuje velká napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C na jednotlivých prvcích.

Dále uvedu výpočet hodnot přepětí pro konkrétní případ. Uvažuji např. poruchový proud vzniklý na straně vvn roven $I_{por} = 1kA$. Zemní odpor předpokládám v rozmezí 0,1 až 1 Ω

(zvolil jsem si $R_e = 0,3\Omega$), potom tedy vzniká napětí na zemním odporu $U_e = I_{por} \cdot R_e = 1000 \cdot 0,3 = 300V$. Pro výpočet hodnot L_{TL}, R_{TL}, C a R_C využiji vztahy (4.2.5-1), (4.2.5-2), (4.2.4-1) a (4.2.4-3), kapacitní proud vedení vn jsem si zvolil $I_C = 150A$,

$$\text{kapacita 1 fáze proti zemi je tedy rovna } C_{01} = \frac{I_C}{3 \cdot U_f \cdot \omega} = \frac{150}{3 \cdot \frac{23 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 11,99 \mu F,$$

$$\text{indukčnost zhášecí tlumivky } L_{TL} = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_{01}} = \frac{1}{3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \cdot 11,99 \cdot 10^{-6}} = 0,2819 H,$$

$$\text{celková kapacita proti zemi } C = 3 \cdot C_{01} = 3 \cdot 11,99 \cdot 10^{-6} = 35,975 \mu F,$$

$$\text{činný odpor zhášecí tlumivky } R_{TL} = \frac{\omega \cdot L_{TL}}{0,01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,2819}{0,01} = 8,852 k\Omega \text{ (v případě, že}$$

činná složka proudu zhášecí tlumivkou I_w dosahuje přibližně 1% I_L),

svodový odpor kapacity proti zemi bude:

$$R_C = \frac{1}{0,02 \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{0,02 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 35,975 \cdot 10^{-6}} = 4,426 k\Omega \text{ (v případě, že činná složka } I_w$$

kapacitního proudu dosahuje 2% z I_C).

Nyní již znám všechny potřebné hodnoty pro vytvoření modelu zobrazeného na obrázku 6.2. Ke zjištění hodnot jednotlivých napětí na zhášecí tlumivce a na zemní kapacitě jsem využil volně dostupný a uživatelsky jednoduchý simulační program Solve Elec [21], jehož funkce jsou pro tento konkrétní problém dostačující. Postupoval jsem tak, že jsem z jednotlivých prvků složil schéma, zobrazené na obrázku 6.2, každému prvku jsem přiřadil jeho hodnotu a poté jsem si nechal vykreslit průběhy napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C . Postupně jsem upravoval vstupní hodnoty a zjišťoval, jak se mění maximální hodnota zkoumaných napětí.

- 1) $U_e = 300V$, $L_{TL} = 0,2819H$, $C = 35,975 \mu F$, R_{TL} a R_C jsem zanedbal
 \rightarrow napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C dosahují v ideálním případě díky sériové rezonanci až nekonečných hodnot
- 2) $U_e = 300V$, $L_{TL} = 0,2819H$, $C = 35,975 \mu F$, $R_{TL} = 8,852 k\Omega$ a $R_C = 4,426 k\Omega$
 \rightarrow max. hodnoty napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C jsou rovny 14,5 kV
- 3) $U_e = 100V$ ($R_e = 0,1\Omega$), $L_{TL} = 0,2819H$, $C = 35,975 \mu F$, $R_{TL} = 8,852 k\Omega$ a $R_C = 4,426 k\Omega$ \rightarrow max. hodnoty napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C jsou rovny 5 kV
- 4) $U_e = 1000V$ ($R_e = 1\Omega$), $L_{TL} = 0,2819H$, $C = 35,975 \mu F$, $R_{TL} = 8,852 k\Omega$ a $R_C = 4,426 k\Omega$ \rightarrow max. hodnoty napětí \bar{U}_{TL} a \bar{U}_C jsou rovny 48 kV

Jak je vidět z těchto zjištěných hodnot, tak se mohou díky sériové rezonanci, vzniklé spojením indukčnosti zhášecí tlumivky a zemní kapacity, objevovat právě na zhášecí tlumivce a na vedení velká přepětí. Zhášecí tlumivky, využívané na napěťové hladině 22kV jsou při výrobě testovány rázovým generátorem rázovou vlnou o amplitudě až 125kV. Přesto by měly být zhášecí tlumivka a vedení opatřeny omezovači přepětí. Pro zmenšení velikosti možného přepětí je také důležité, aby mělo uzemnění v rozvodně co nejmenší zemní odpor R_e – toto může být zlepšeno použitím zemnicích pásků.

7 Opatření na omezení vlivu přenosu poruch ze sítí vvn na sítě vn a opatření na omezení vzniku poruch

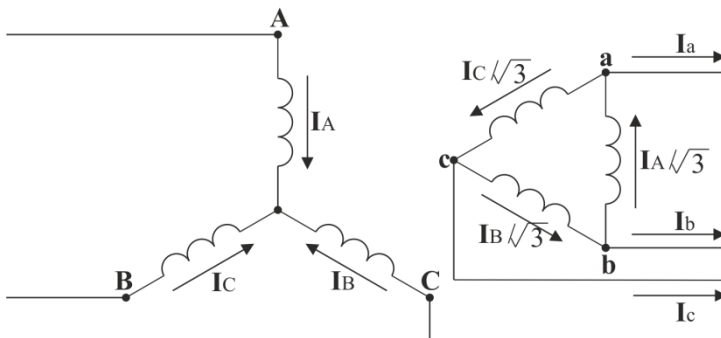
V této závěrečné části mé diplomové práce se zabývám opatřeními, potřebnými k omezení vlivu přenosu poruch a opatřeními, která zabraňují nebo alespoň zmenšují možnost vzniku poruchy a omezují její následky.

Například k omezení atmosférického přepětí vzniklého přímým úderem blesku do fázových vodičů se využívá na napěťových hladinách zvn a vvn zemní lano.

Při již vzniklých poruchách se využívají různé druhy elektrických ochran, rozdělených podle typu chráněného objektu, podle druhu možné poruchy, podle funkčního principu, podle doby působení, či podle konstrukce. Na ochranu proti přepětí se používají svodiče přepětí. Pro omezení vlivu přenosu poruchy (přenos netočivé složky proudu) ze sítí vvn na vn jsou v rozvodnách používány trojvinut'ové transformátory s terciálním vinutím zapojeným do nevyvedeného trojúhelníka.

7.1 Transformátor s vinutím zapojeným do trojúhelníka – přenos složkových proudů vinutím zapojeným do trojúhelníka

Jak je patrné z předešlých výpočtů napěťových a proudových poměrů při zkratech – tedy hlavně v případě 1f zkratu a 2f zemního zkratu, tak v případě využití trojvinut'ového transformátoru s terciálním vinutím zapojeným do nevyvedeného trojúhelníka dosahují napěťové a proudové poměry na napěťové hladině vn provozně lepších hodnot než při výpočtu těchto hodnot s uvažováním dvouvinut'ového transformátoru se sekundárním vinutím nepřímo uzemněným přes zhašecí tlumivku. Toto je způsobeno tím, že se přes vinutí zapojené do trojúhelníka nepřenáší netočivé složkové proudy, což je dokázáno při následujících výpočtech, které vycházejí z obrázku 7.1-1 [1].



Obr. 7.1-1: Přenos proudů přes vinutí transformátoru

Pro sousledné složkové proudy platí:

$$\bar{I}_{B(1)} = \bar{a}^2 \bar{I}_{A(1)}, \bar{I}_{C(1)} = \bar{a} \bar{I}_{A(1)}, \bar{I}_{b(1)} = \bar{a}^2 \bar{I}_{a(1)}, \bar{I}_{c(1)} = \bar{a} \bar{I}_{a(1)} \quad (7.1-1)$$

$$\bar{I}_{a(1)} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\bar{I}_{A(1)} - \bar{I}_{C(1)}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_{A(1)} \cdot (1 - \bar{a}) = \bar{I}_{A(1)} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i \right) = \bar{I}_{A(1)} e^{-i30^\circ} \quad (7.1-2)$$

Pro zpětné složkové proudy platí:

$$\bar{I}_{B(2)} = \bar{a} \bar{I}_{A(2)}, \bar{I}_{C(2)} = \bar{a}^2 \bar{I}_{A(2)}, \bar{I}_{b(2)} = \bar{a} \bar{I}_{a(2)}, \bar{I}_{c(2)} = \bar{a}^2 \bar{I}_{a(2)} \quad (7.1-3)$$

$$\bar{I}_{a(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\bar{I}_{A(2)} - \bar{I}_{C(2)}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{I}_{A(2)} \cdot (1 - \bar{a}^2) = \bar{I}_{A(2)} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) = \bar{I}_{A(2)} e^{i30^\circ} \quad (7.1-4)$$

Pro netočivé složkové proudy platí:

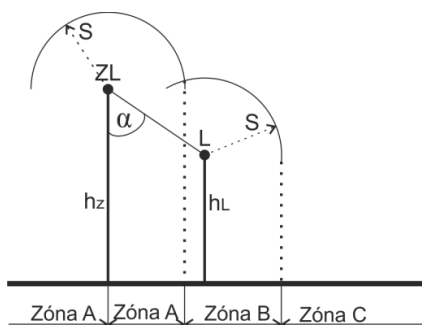
$$\bar{I}_{A(0)} = \bar{I}_{B(0)} = \bar{I}_{C(0)}, \bar{I}_{a(0)} = \bar{I}_{b(0)} = \bar{I}_{c(0)} \quad (7.1-5)$$

$$\bar{I}_{a(0)} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\bar{I}_{A(0)} - \bar{I}_{C(0)}) = 0 \quad (7.1-6)$$

Tento postup dokazuje, že se netočivá složka proudu nepřenáší přes vinutí transformátoru zapojeného do trojúhelníka.

7.2 Zemní lano

Zemní lano je uzemněný nebo slabě izolovaný vodič, který je obvykle umístěn nad fázovými vodiči vedení nebo elektrickou stanicí. Hlavním úkolem zemních lan je stínění fázových vodičů před přímými údery blesku, ale nezabrání vzniku následného naindukovaného přepětí. Na venkovních vedeních se zemní lano upevňuje na nejvyšším místě stožárů proto, aby byly chráněné fázové vodiče v prostoru vymezeném ochranným úhlem. Teorie ochranného prostoru je ukázána na obrázku 7.2-1. Zemní lana se spojují přímo nebo přes jiskřiště na více místech se zemí.



S...ochranná vzdálenost (m) – poloměr ochranného prostoru, jehož střed leží v místě vzniku vstřícného výboje (většinou nejvyšší bod v okolí)

$$S = 10 \cdot I^{\frac{2}{3}}, \text{ kde } I \text{ je el. proud v kA} \quad (7.2-1)$$

α ...ochranný úhel – určuje polohu zemního lana nad fázovým vodičem

Obr. 7.2-1: Ochranný prostor zemního lana

zóna A...blesk pravděpodobně zasáhne zemní lano

zóna B...blesk pravděpodobně zasáhne fázový vodič (tato zóna se zmenší s rostoucím proudem blesku, zmenšením ochranného úhlu či použitím dvou zemních lan)

zóna C...výboj je přitahován k zemi

Zemní lana se využívají hlavně u venkovních vedení napěťových hladin vvn a zvn. U vedení vn 22kV a 35kV se používají tzv. výběhová lana s délkou až 1km před rozvodnou. Dnes se velmi často používají tzv. kombinovaná zemní lana, v jejichž jádrech jsou uložena optická vlákna, která jsou užívána pro přenos informací.

7.3 Svodiče přepětí

Elektrizační sítě jsou často ohrožovány přepětími a to buď dočasnými či krátkodobými, která jsou buďto atmosférická či spínací. Prostředků pro omezení přepětí je několik. Jsou to například již zmiňovaná zemní lana. Velmi důležitou metodikou pro návrh přepěťových ochran je také správná koordinace izolace.

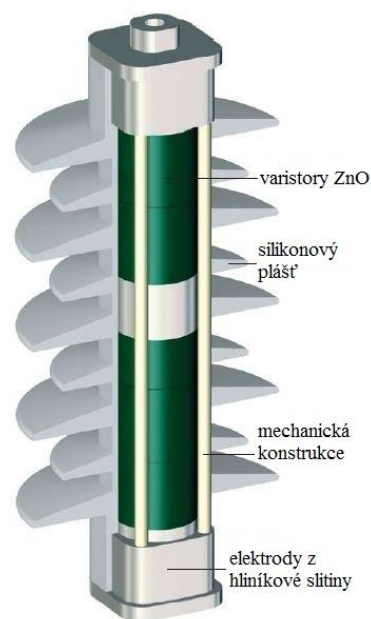
Nejjednodušším, tedy spíše doplňkovým prostředkem pro omezení přepětí je ochranné jiskřiště (růžkové, hrotové), které je umístováno na izolátorech vedení, na průchodkách transformátorů a na vysokonapěťových přístrojích. Ochranná jiskřiště představují jen hrubou přepěťovou ochranu a jejich hlavními nevýhodami je velký rozptyl zapalovacího napětí a ochranných hladin a nutnost vypnutí oblouku po zapálení, protože při působení vytvářejí zkrat, či zemní spojení.

Nedostatky uvedené u ochranných jiskřišť jsou odstraněny u vyfukovacích bleskojistek (Torokových trubic). Jedná se o svodič přepětí vytvořený jiskřištěm uzavřeným do trubice, která je z plynotvorného materiálu. Případný elektrický oblouk rozkládá materiál trubky a vytváří se tak plyn, který zvětšuje tlak v trubce – při určitém tlaku nastane expanze plynu ven z trubky a elektrický oblouk se přeruší. Nevýhodami těchto zařízení jsou vysoké ochranné hladiny a krátká životnost. V provozu jsou nahrazovány ventilovými bleskojistkami.

Ventilové bleskojistky jsou složeny z jiskřiště v sérii s napěťově závislými rezistory (tzv. varistory) z karbidu křemíku – při vysokém napětí mají malý odpor, takže jsou schopny svést přepětí na zem. Jiskřiště začne působit při dosažení zapalovacího napětí a to dříve, než se poškodí izolace chráněného zařízení (začátek působení je dán nastavenou vzdáleností elektrod

jiskřiště). Zapůsobením jiskřiště se k obvodu připojí napětově závislé rezistory, svede se přepětí a napětí klesne na provozní hodnotu. Tím se zvýší odpor rezistorů a bleskojistkou prochází jen malý proud, který je jiskřišti přerušen ve chvíli, kdy proud prochází nulou. Ventilové bleskojistky jsou zapojeny mezi chráněné zařízení a zem. Obvykle se umísťují u transformátorů, či u vstupů vedení do kabelu. Vnitřek bleskojistek musí být hermeticky uzavřen proti možnému vniku vlhkosti, která by ovlivnila velikost přeskokového napětí.

Bezjiskřišťovým svodičem přepětí je omezovač přepětí, složený z varistorů, jejichž hlavní složkou je oxid zinečnatý ZnO. Napětová závislost u ZnO je několikanásobně větší, než u SiC. Proud dosahuje takové hodnoty, že při určitém napětí je proud tak malý, že může odporovými bloky protékat trvale, aniž by se bloky zahřívaly. Z tohoto důvodu není zapotřebí jiskřišť a konstrukce svodiče přepětí se tedy velmi zjednodušuje. Konstrukce omezovače přepětí pro venkovní vedení vn od firmy Typo Electronics je ukázána na obrázku 7.3-1.



Obr. 7.3-1: Omezovač přepětí pro venkovní vedení vn [18]

Soubor pravidel a doporučení, jak chránit zařízení vn v distribučních sítích omezovači přepětí před přepětím je uveden v podnikové normě PNE 33 0000-8 [15]. Obsahuje doporučení pro správné umístění omezovačů přepětí (i dalších typů svodičů přepětí), způsob zapojení a volbu parametrů pro tato umístění. Ochrana jednotlivých zařízení omezovači přepětí se liší, podle toho o jaký druh chráněného zařízení jde. Například zda se jedná o venkovní vedení s holými vodiči, či s izolovanými vodiči. Nebo zda jde o přechod venkovního vedení do kabelového vedení a kabelového zaústění do elektrické stanice. Omezovači přepětí musejí být chráněny také transformátory a jejich prvky, jako je například zhášecí tlumivka.

7.4 Automatika opětného zapínání (OZ)

U elektrického vedení se vyskytují poruchy, které mohou být buď přechodného, či trvalého charakteru. U kabelového vedení se vyskytují hlavně poruchy trvalého charakteru, při nichž musí dojít k trvalému odpojení poškozeného úseku. Ale na venkovním vedení je většina vyskytujících se poruch přechodného charakteru (až 90%), tyto poruchy jsou způsobeny například atmosférickým přepětím, přiblížením vodičů nebo zapálením oblouku cizími předměty. Trvalé odpojení úseku vedení by bylo zbytečné. Tyto poruchy totiž po krátkém odpojení od napětí většinou zmizí. Z tohoto důvodu se využívá automatika opětného zapínání, která doplňuje funkci ochran a svou funkcí zajišťuje spolehlivější a hospodárnější provoz distribučních a přenosových sítí.

Cyklus OZ: Elektrická ochrana zjistí poruchu a v co nejkratším čase dá povel k odpojení poškozeného úseku vedení z obou stran. Automatika OZ dá po krátké době (několik desetin sekundy) povel k opětnému připojení odpojeného úseku vedení. Pokud se jednalo o přechodnou poruchu, která během odepnutí zanikla, tak byl cyklus OZ úspěšný. Pokud ale porucha nadále trvá, tak dá ochrana konečný povel k vypnutí postiženého úseku vedení.

V účinně uzemněných soustavách, kde spojení jedné fáze se zemí představuje zkrat, je používán i jednofázový OZ, neboť je u těchto sítí právě 1f zkrat nejčastější poruchou s obvykle přechodným charakterem. Poškozená fáze se na obou koncích vedení vypne a po krátké době (0,2 až 0,6s) se opět zapne. Výkonové vypínače a příslušné ovládací okruhy jsou řešeny jako jednofázové. Při tomto cyklu 1f OZ vzniká nesymetrie proudů, vyvolávající průchod proudů zemí a zemními lany. Na odpojené fázi se kapacitním vlivem druhých fází objeví napětí, úměrné délce vedení.

V sítích vvn a vn se při vzniku 2f a 3f zkratu využívá 3f OZ. Třífázové opětné zapínání se využívá také v sítích vn, izolovaných či kompenzovaných u nichž může vznikat jednofázové zemní spojení. Při třífázovém OZ je doba beznapěťové pauzy (0,2 až 0,3s) omezena požadavkem na zachování synchronního chodu rozpojených soustav.

Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo provést výpočty napěťových a proudových poměrů v sítích vn a vvn při jednofázových a vícefázových poruchách vzniklých na vedení vvn. Dále jsem uvedl případná opatření na omezení vlivu přenosu poruch ze sítí vvn na síť vn a opatření na omezení vzniku poruch a jejich případných následků.

V úvodu práce jsem uvedl přehled možných poruch vyskytujících se v elektrizačních soustavách, představil jsem metodu souměrných složek a provedl jsem rozbor způsobů provedení uzemnění uzlu transformátorů.

V další části práce jsem vytvořil náhradní schéma pro metodu souměrných složek, potřebné pro následující výpočty zkratových poruch. Pro každý prvek, použitý v náhradním schématu, jsem určil potřebné parametry a poté jsem, pro lepší orientaci v následujících výpočtech, provedl výpočet napěťových a proudových poměrů při bezporuchovém stavu. V práci je vždy pro každou poruchu uveden ilustrativní výpočet a v programu MS Excel jsem vytvořil soubor pro možný výpočet výsledných hodnot při změně vstupních parametrů.

Dále jsem již provedl výpočty napěťových a proudových poměrů v sítích vvn a vn při 1f zkratu, 2f zkratu, 2f zemním zkratu a 3f zkratu. Výpočty hodnot při 1f zkratu a 2f zemním zkratu vycházely ze schémat, která obsahovala také část pro netočivou složku. Zpětné a netočivé složky soustavy způsobují nesymetrie. V netočivé složkové části se vyskytovala reaktance sítě vvn, která svou větší velikostí, v porovnání s reaktancí sítě v sousledné složce, způsobovala při poruchových stavech v místě poruchy zvýšení napětí zdravých fází přes jmenovitou hodnotu napětí (až o 25% u 1f zkratu, u 2f zemního zkratu o 28%) Na hodnoty napěťových a proudových poměrů napěťové hladiny vn měl velký vliv použitý transformátor 110/23kV, jednalo se hlavně o možnost přenosu netočivých složkových proudů. V případech, kdy se jednalo např. o dvouvinutový transformátor se sekundárním vinutím uzemněným přes zhášecí tlumivku, tak mohly netočivé složkové proudy volně procházet a tím bylo velmi ovlivňováno vedení vn (při 1f zkratu vzrostla hodnota fázového napětí neporušených fází vedení vn, stejně jako v případě vedení vvn, o 25% a napětí na porušené fázi kleslo téměř k nulové hodnotě) Oproti tomu, když jsem uvažoval trojvinutový transformátor s terciálním vinutím, zapojeným do nevyvedeného trojúhelníka, tak se netočivé složkové proudy uzavíraly

právě v terciálním vinutí a napěťová hladina vn nebyla tak ovlivňována netočivou složkou (při 1f zkratu se napětí vedení vn na neporušených fázích, oproti bezporuchovému stavu, nepatrně zmenšilo a napětí na porušené fázi nekleslo k téměř nulové hodnotě, jako tomu bylo v předešlém případě, ale kleslo na 60% původní velikosti bezporuchového stavu).

Ze zjištěných složkových proudů a napětí jsem vytvořil fázorové diagramy a pro případ 1f zkratu, 2f zkratu a 2f zemního zkratu jsem uvedl závislost napětí a proudů na velikosti hodnoty odporu poruchy. U 1f zkratu a 2f zkratu bylo dobře patrné, jak se s rostoucí velikostí odporu poruchy přibližují hodnoty zkoumaných napětí a proudů hodnotám bezporuchového stavu. U 2f zemního zkratu jsem provedl rozbor tak, aby se s vzrůstajícím odporem poruchy, který byl mezi místem 2f zkratu a zemí, postupně přibližovaly zjišťované hodnoty k hodnotám, platným pro 2f kovový zkrat.

V další části diplomové práce jsem provedl rozbor možnosti vzniku nebezpečných přepětí, způsobených sériovou rezonancí indukčnosti zhášecí tlumivky a kapacity vedení proti zemi. V určitých případech může toto přepětí dosáhnout hodnoty až několik desítek kV a pak jsou tedy přepětím ohroženy jednotlivé prvky na vedení i samotná zhášecí tlumivka. Z tohoto důvodu je důležité zajistit dostatečnou ochranu ohrožených prvků proti přepětí a zajistit co nejmenší zemní odpor uzemněných součástí elektrických stanic, například použitím zemnicích pásků.

Na závěr jsem uvedl opatření na omezení vlivu přenosu poruch ze sítí vvn na sítě vn a opatření na omezení následků, způsobených vzniklými poruchami. Omezení vlivu přenosu poruch může být dosaženo použitím trojvinutového transformátoru s terciálním vinutím zapojeným do trojúhelníka, které zabraňuje přenosu netočivých složkových proudů. K omezení vzniku atmosférické přepětí, způsobeného úderem blesku do fázových vodičů, se používají zemní lana a pro hospodárnější a spolehlivější provoz elektrizačních sítí je nedílnou součástí ochrany vedení systém automatiky opětného zapínání. Pro omezení již vzniklých přepětí se může využívat několik různých druhů svodičů přepětí. Od nejjednoduššího, což je ochranné jiskřiště, po vyfukovací bleskojistky a ventilové bleskojistky až po dnes nejvyužívanější prostředek, omezovače přepětí ZnO.

Z mé diplomové práce je tedy vidět jak moc a jakým způsobem jsou ovlivňovány sítě vn v případech, kdy vznikají v sítích vvn zkratové poruchy. Vznikům elektrických poruch nelze

zcela zabránit, správnými opatřeními lze pouze omezit možnost jejich vzniku a hlavně lze omezit jejich případné následky. V případě, že se nejedná o přechodné poruchy a automatika opětového zapínání tedy svou funkcí nepomůže k odstranění poruchy, tak musí být poškozený úsek vedení vvn odpojen a vedení vn musí být napájeno z jiného zdroje, tedy z jiného, neporušeného vedení vvn.

Použitá literatura

- [1] Mertlová, J., Hejtmánková, P., Tajtl, T.: *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*, Vydavatelství ZČU, Plzeň 2008
- [2] Tesařová, M., Štroblová, M.: *Průmyslová elektroenergetika*, Vydavatelství ZČU, Plzeň 2000
- [3] Trojánek, Z., Hájek J., Kvasnica P.: *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*, SNTL, Praha 1987
- [4] Hodinka, M., Fecko Š., Němeček F.: *Přenos a rozvod elektrické energie*, SNTL, Praha 1989
- [5] Hájek, J.: *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*, Ediční středisko VŠSE, Plzeň 1983
- [6] Veverka, A.: *Technika vysokých napětí*, SNTL 1978
- [7] Beran, M., Hájek, J., Mertlová, J.: *Přenos a rozvod elektrické energie - příklady*, Vydavatelství ZČU, Plzeň 2008
- [8] Soušek, V.: *Bakalářská práce Způsob provedení uzemnění uzlu distribučních sítí*, Ediční středisko VŠSE, Plzeň 1982
- [9] Macháček, V.: *Přístupy a řešení ochrany před přepětím v distribučních sítích vysokého napětí*, Elektro 5/2007
- [10] Pankrác, V.: *Tlumivky v silnoproudé elektrotechnice*, Elektrotechnika 9/2010
- [11] Podklady k přednáškám z předmětu Elektroenergetika 2
- [12] Podklady k přednáškám z předmětu Elektrické přístroje v EE
- [13] norma ČSN 33 3060
- [14] norma ČSN 33 3070
- [15] podniková norma PNE 33 0000-8: *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1kV do 45kV*, REAS ČR ZSE
- [16] www.abb.cz
- [17] www.hakel-trade.cz
- [18] www.typoelectronics.cz
- [19] www.odbornecasopisy.cz
- [20] www.svodice.cz
- [21] www.solve-elec.en.softonic.com

Seznam příloh

- [A] Výtisk excelovského listu – 1f zkrat
- [B] Výtisk excelovského listu – 2f zkrat
- [C] Výtisk excelovského listu – 2f zemní zkrat

Přílohy

[A]: 1f zkrat - výtisk excelovského listu (1.část)

	KOMPLEXNÍ TVAR	VELIKOST	FÁZ POSUN [°]	FÁZ POSUN [rad]
el magn napeti zdroje	E [Uf] [V]	13280	0,000	0,000
reakt soustavy 110kV - sousledna - po prepoceti na 22kV	Xs(1) [Ω]	0,301	90,007	1,571
reakt soustavy 110kV - zpetna - po prepoceti na 22kV	Xs(2) [Ω]	0,301	90,007	1,571
reakt soustavy 110kV - netociva - po prepoceti na 22kV	Xs(0) [Ω]	0,903	90,007	1,571
reakt pimi trafef - sousl, zpetna, netociva - po prepocet na 22kV	Xtp(1)+Xtp(2)+Xtp(0) [Ω]	0,727	90,007	1,571
reakt sekund trafef - sousl, zpetna, netociva	Xts(1)+Xts(2)+Xts(0) [Ω]	0,727	90,007	1,571
cinny odpor zateze - sousledna	Rz(1) [Ω]	314,1	0,000	0,000
indukt reaktance zateze - sousledna	Xz(1) [Ω]	103,151	90,007	1,571
	Rz(1)*Xz(1)	3239,415	90,007	1,571
	Rz(1)+Xz(1)	314,1+103,151	18,181	0,317
impedance zateze - sousledna	Zz(1) [Ω]	30,576746805437+93,1086892198811j	98,001	1,253
cinny odpor zateze - zpetna	Rz(2) [Ω]	999999999	99999999,000	0,000
indukt reaktance zateze - zpetna	Xz(2) [Ω]	999999999	99999999,000	90,007
	Rz(2)*Xz(2)	9999999800000000	9999999800000000,000	90,007
	Rz(2)+Xz(2)	999999999+999999999j	1414213560,959	45,003
impedance zateze - zpetna	Zz(2) [Ω]	499999999,5+499999999,5j	707106780,479	45,003
cinny odpor zateze - netociva	Rz(0) [Ω]	999999999	99999999,000	0,000
indukt reaktance zateze - netociva	Xz(0) [Ω]	999999999	99999999,000	90,007
	Rz(0)*Xz(0)	9999999800000000	9999999800000000,000	90,007
	Rz(0)+Xz(0)	999999999+999999999j	1414213560,959	45,003
	Zz(0) [Ω]	499999999,5+499999999,5j	707106780,479	45,003
impedance zateze - netociva	Zz(0) [Ω]	499999999,5+499999999,5j	707106780,479	45,003
podelna reakt vedeni 22kV - sousledna	Xlved(1) [Ω]	6i	6,000	90,007
podelna reakt vedeni 22kV - zpetna	Xlved(2) [Ω]	6i	6,000	90,007
podelna reakt vedeni 22kV - netociva	Xlved(0) [Ω]	21i	21,000	90,007
cinny odpor vedeni 22kV - sousledna	Rved(1) [Ω]	4,9	4,900	0,000
cinny odpor vedeni 22kV - zpetna	Rved(2) [Ω]	4,9	4,900	0,000
cinny odpor vedeni 22kV - netociva	Rved(0) [Ω]	14,7	14,700	0,000
podelna imped vedeni 22kV - sousledna	Zved(1) [Ω]	4,9+6i	7,747	50,766
podelna imped vedeni 22kV - zpetna	Zved(2) [Ω]	4,9+6i	7,747	50,766
podelna imped vedeni 22kV - netociva	Zved(0) [Ω]	14,7+21i	25,634	55,012
impedance zhaseci tlumivky	Zs [Ω]	0,885+88,5i	88,504	89,434
kapac reaktance vedeni 22kV - sousledna	Xc(1) [Ω]	-53080i	53080,000	-90,007
kapac reaktance vedeni 22kV - zpetna	Xc(2) [Ω]	-999999999j	99999999,000	-90,007
kapac reaktance vedeni 22kV - netociva	Xc(0) [Ω]	-55870i	55870,000	-90,007
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - sousledna	Rc(1) [Ω]	2650000	2650000,000	0,000
	Xc(1)*Rc(1)	-140662000000i	140662000000,000	-90,007
	Xc(1)+Rc(1)	2650000-53080i	2650531,548	-1,148
pricna imped vedeni 22kV - sousledna	Zc(1) [Ω]	1062,77602036845-53080,7123957883j	53069,355	-88,859
svod odpor kapacity vedeni 22kV - zpetna	Rc(2) [Ω]	999999999	99999999,000	0,000
	Xc(2)*Rc(2)	-9999999800000000	9999999800000000,000	-90,007
	Xc(2)+Rc(2)	999999999-999999999j	1414213560,959	-45,003
pricna imped vedeni 22kV - zpetna	Zc(2) [Ω]	499999999,5-499999999,5j	707106780,479	-45,003
svod odpor kapacity vedeni 22kV - netociva	Rc(0) [Ω]	2794000	2794000,000	0,000
	Xc(0)*Rc(0)	-156107800000i	156100780000,000	-90,007
	Xc(0)+Rc(0)	2794000-55870i	279458,544	-1,146
pricna imped vedeni 22kV - netociva	Zc(0) [Ω]	1136,75349423778-55870,6686270651j	55858,833	-88,861
soucet imp trafef a podel imp vedeni - sousledna	Ztv(1) [Ω]	4,9+7,454i	8,920	56,685
soucet imp trafef a podel imp vedeni - zpetna	Ztv(2) [Ω]	4,9+7,454i	8,920	56,685
	Zc(1)+Zz(1)	1098,3527670559952966,6037569687j	52976,887	-88,824
	Zc(1)*Zz(1)	4972720,74307847-1523409,179601j	5200839,078	-17,034
vysl impedance ze Zc a Zz - sousledna	Zc(1) [Ω]	30,68721651348+93,252834332328j	98,172	71,790
	Zc(2)+Zz(2)	999999999	99999999,000	0,000
	Zc(2)*Zz(2)	499999999000000000	4999999990000000,000	0,000
	Zc(2)+Zz(2)	999999999,5+499999999,5j	1414213560,959	-45,003
vysl impedance ze Zc a Zz - zpetna	Zc(2) [Ω]	499999999,5-499999999,5j	707106780,479	-45,003
	Zc(0)+Zz(0)	499999999,5+499999999,5j	707106780,479	-45,003
	Zc(0)*Zz(0)	28482211182186,2-27366457689048,2i	39498159809767,200	-43,858
vysl impedance ze Zc a Zz - netociva	Zc(0) [Ω]	119,99629337953-55830,663849986j	55861,891	-88,858
	Zz(1) [Ω]	1134,69629337953-55830,663849986j	55840,465	-88,842
	Zz(2) [Ω]	3	3,000	0,000
	Zz(3) [Ω]	2,655+265,5i	265,513	89,434
	Zz(4) [Ω]	14823594,8026261+13036043772594j	14826384,661	0,591
	Zz(5) [Ω]	1137,35129337953-55560,4348849886j	55575,074	-88,834
	Zz(6) [Ω]	2,70621721154166+166,76747327747j	266,781	89,425
impedance zavisla na zapojeni vinuti trafef	Zsp [Ω]	9999999990+999999990j	14142135609,589	45,003
	Zs(0) [Ω]	999999999,70632+10000002574945j	14142135800,650	45,003
	Zs(1) [Ω]	35,587216251348+100,706883435233j	106,809	70,543
	Zs(2) [Ω]	500000004,4+7,454i	50000004,400	0,000
	Zs(3)*Xz(3)	-2,243654+150500001,3244i	150500001,324	90,007
	Zs(3)+Xz(3)	500000004,4+7,755i	50000004,400	0,000
	Zs(4) [Ω]	1,81201998405423E-10+0,3011j	0,301	90,007
	Xs(0)*Zs(0)	-903000232515753+902999993,41381j	12770348627,987	135,010
	Xs(0)+Zs(0)	999999999,70632+10000002583975j	14142135801,288	45,003
	Zz(0) [Ω]	4077022846287E-11+0,90299999996928j	0,903	90,007
odpor poruchy	Rp [Ω]	0	0,000	ADĚLENÍ_NULOU!
	XRp [Ω]	0	0,000	ADĚLENÍ_NULOU!
	Z3 [Ω]	221972719470707E-10+1,03999999996928j	1,204	90,007
	Z3*Z1(1)	-121,250485644015+42,8470082671263j	128,598	160,550
	Z3+Z1(1)	35,5872162515706+100,910834385192j	107,945	70,756
	Z31 [Ω]	0,00442731086230742+1,19132100299644j	1,191	89,794
	E*Z31	58,7946816214425+15820,7508798247j	15820,880	89,794
	Z31+Xz(1)	0,00442731086230742+1,49232100299644j	1,492	89,837
sousl slozka napetevi miste zkratu (prepocet na hlad 22kV)	Upor(1) [V]	10601,458851791-7,94649957642463i	10601,462	-0,043
	I1 [A]	26,4003308186664-8898,80780139866j	8898,847	-89,837
	I2 [A]	33,0004139002311-93,6094191732817j	99,256	-70,586
dozkove poruch proudy v miste zkratu (prepocet na hlad 22kV)	Ipor(1)=Ipor(2)+Ipor(0) [A]	-6,600810815447-8805,19838218598j	8805,201	-90,050
	minus Ipor(1)	6,600810815447-8805,19838218598j	8805,201	89,964
zpetna slozka napetevi miste zkratu (prepocet na hlad 22kV)	Upor(2) [V]	-2650,36471030666+1,9866260010645i	2650,365	179,970
netociva slozka napetevi miste zkratu (prepocet na hlad 22kV)	Upor(0) [V]	-7951,08413875432+5,93987357336007j	7951,096	179,970
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010
	a2*Upor(1)	-530761109452868-917689012586279j	10601,229	-2,095
	a*Upor(2)	1328,46198840141-2296,20925449028j	2650,307	-60,047
	a*Upor(1)	-8293,84773726232-9184,83662548922j	10601,229	119,967
	a2*Upor(2)	1326,9027746325+2294,2252848922j	2650,307	59,961

[A]: 1f zkrat - výtisk excelovského listu (2.část)

napětí fáze A v místě poruchy (přepoct na hlad 22kV)	UA por [V]	3,0008840900446-11-6,0996325390856-14	0,000	-0,173	-0,003
napětí fáze B v místě poruchy (přepoct na hlad 22kV)	UB por [V]	-11935,2432648836-11467,1393067777	1655 1,294	-136,156	-2,376
napětí fáze C v místě poruchy (přepoct na hlad 22kV)	UC por [V]	-31918,0391213814-11485,0190173038	1655 1,294	136,070	2,375
napětí fáze A v místě poruchy	UA por [V]		9,5895 1E-13	-0,173	
napětí fáze B v místě poruchy	UB por [V]		7915 8,3605	-136,156	
napětí fáze C v místě poruchy	UC por [V]		7915 8,36048	136,070	
a2 *Ipor(1)		-7622,00175843194+4406,31486130941j	8805,007	149,967	2,617
a* Ipo(2)		7628,60183951348+4396,88052087617j	8805,007	29,960	0,523
a* Ipo(1)		7628,60183951348+4396,88052087617j	8805,007	29,960	0,523
a2 *Ipor(2)		-7622,00175843194+4406,31486130941j	8805,007	149,967	2,617
poruchový proud fáze A v místě zkratu (přepoct na hlad 22kV)	IA por [A]	-19,8002433446341-26415,5953465567j	26415,603	-80,050	-1,572
poruchový proud fáze B v místě zkratu	IB por [A]	-5,27133892092024E-12	0,000	180,013	3,142
poruchový proud fáze C v místě zkratu	IC por [A]	-5,27133892092024E-12	0,000	180,013	3,142
poruchový proud fáze A v místě zkratu	IA por [A]		5523,262355	-80,050	
poruchový proud fáze B v místě zkratu	IB por [A]		1,10219E-12	180,013	
poruchový proud fáze C v místě zkratu	IC por [A]		1,10219E-12	180,013	
U por(1)*Zcz(1)		326070,289330002+988367,449869909j	1040765,127	71,747	1,252
Zcz(1)+Ztv(1)		35,5872161513481+100,70683435233j	106,809	70,543	1,231
Ucz(1) [V]		9741,99222296221+204,754684068324j	974 4,144	1,204	0,021
Iz(1) [A]		33,0005931482914-93,7930305805146j	99,429	-70,621	-1,232
Ic(1) [A]		-6,0001247960200942+1836,1540723274j	0,184	90,063	1,572
I TrVed(1) [A]		33,0004129002311-93,6094191732819j	99,256	-70,586	-1,232
Xts(1)+Xtp(1)		1,454	1,454	90,007	1,571
I TrVed(1)*Xts(1)+Xtp(1)		136,208099477952+14,982398902936j	144,318	19,421	0,339
Uved(1) [V]		10465,390756313-55,9290984929360j	10465 5,500	-0,306	-0,005
U por(2)*Zcz(2)		-1325182355293,15+993312999,538937j	1325 182727 470,430	179,970	3,141
Zcz(2)+Ztv(2)		50 00000004,4+7,454	5 000000004,400	0,000	0,000
Ucz(2) [V]		-2650,36468703347+1,98666549323197j	2650,365	179,970	3,141
Iz(2) [A]		-2,6403780418862506+1,65235135517895E-09	0,000	134,967	2,355
Ic(2) [A]		-5,30072937936767E-06+3,9733099043727E-09	0,000	179,970	3,141
I TrVed(2) [A]		-794910740319629E-06+2,6632468616949E-09	0,000	161,534	2,819
Xts(2)+Xtp(2)		1,454	1,454	90,007	1,571
I TrVed(2)*Xts(2)+Xtp(2)		-3,8622969999004E-06-0,000011500021647708	0,000	-108,486	-1,893
Uved(2) [V]		-2650,364709174316+1,98663735906666j	2650 3,365	179,970	3,141
U por(0)*Zt1(0)		-23108,0832972634-2121077,113613424j	21212 02,988	-80,631	-1,582
Zt1(0)+Xtp(0)+Zsp		9999999992,70632+10000000257,4945j	14 142135 800,650	45,003	0,785
Uz(0) [V]		0,000107299200019176-0,000104898488910178	0,000	-135,634	-2,367
U*Zcz(0)		-5,97872177628059-5,87022225831124j	8,379	135,535	2,365
Zcz(0)+Xts(0)+Zved(0)		1134,65629337953-558,28,9348849966j	5584 0,465	-88,842	-1,550
Ucz(0) [V]		0,000107299200019176-0,000104898488910178	0,000	-135,650	-2,367
Iz(0) [A]		-2,12189400118421E-15+23,690005138362E-15	0,000	179,373	3,130
Ic(0) [A]		1,833491507004E-09-1,9578979012148E-09	0,000	-46,789	-0,817
I TrVed(0) [A]		1,899169623002E-09-1,9578979012148E-09	0,000	-46,792	-0,817
I TrVed(0)*Xts(0)		1,43304690612527E-09+3,97025716411E-09	0,000	43,215	0,754
Uved(0) [V]		0,0001072106832648810,0001048997896279	0,000	-135,634	-2,367
a		-0,5+0,866j	1,000	120,010	2,094
a2		-0,5-0,866j	1,000	-12,010	-2,094
a2*Ucz(1)		-4693,67864167794-8538,94253711944j	974 3,929	-118,805	-2,073
a*Ucz(2)		1323,4618911996-2296,2091517176j	265 0,307	-60,047	-1,048
a*Ucz(1)		-9048,31358128427+8334,18797305111j	974 3,929	121,214	2,115
a2*Ucz(2)		1326,90279683387+2294,22248622437j	265 0,307	59,961	1,046
napětí na zátěži(pricne casti vedeni) fáze A	UczA [V]	7091,6274286499E+206,743344631926j	709 4,640	1,670	0,029
napětí na zátěži(pricne casti vedeni) fáze B	UczB [V]	-3370,21685775737-10835,1518137467j	1134 7,197	-107,286	-1,872
napětí na zátěži(pricne casti vedeni) fáze C	UczC [V]	-3721,41085272923+10628,41085436358j	1126 1,084	109,305	1,908
a		-0,5+0,866j	1,000	120,010	2,094
a2		-0,5-0,866j	1,000	-12,010	-2,094
a2*Ic(1)		0,159098102643687-0,091648742882786j	0,184	-29,946	-0,523
a*Ic(2)		3,6469378994613E-06+4,99418000763E-06	0,000	-60,047	-1,048
a*Ic(1)		-0,158916854683426-0,091962664349958j	0,184	-149,954	-2,617
a2*Ic(2)		2,6530059032159E-06+4,9894697700718E-06	0,000	59,961	1,046
proud pricnou casti vedeni fáze A	IcA [A]	0,000107299200019176-0,000104898488910178	0,184	90,063	1,572
proud pricnou casti vedeni fáze B	IcB [A]	0,159100751406821E-06-0,091653337258793j	0,184	-29,947	-0,523
proud pricnou casti vedeni fáze C	IcC [A]	-0,158914399038483-0,091959077362681j	0,184	-149,955	-2,617
a		-0,5+0,866j	1,000	120,010	2,094
a2		-0,5-0,866j	1,000	-12,010	-2,094
a2*Iz(1)		-97,7230610368213+18,31800362239235j	99,427	169,396	2,956
a*Iz(2)		-9,72747261890747E-07+3,61967104653687E-06	0,000	-105,050	-1,833
a*Iz(1)		64,7344679086229+73,475028956911j	99,427	49,389	0,862
a2*Iz(2)		3,62125286679E-06+9,671190135782E-07	0,000	14,957	0,261
IzA [A]		33,0005930998332-93,7930305805146j	99,429	-70,621	-1,232
IzB [A]		-97,7230610368213+18,31800362239235j	99,427	169,396	2,956
IzC [A]		64,734471329755+75,475028923907j	99,427	49,389	0,862
a		-0,5+0,866j	1,000	120,010	2,094
a2		-0,5-0,866j	1,000	-12,010	-2,094
a2*Uved(1)		-5281,10997743968-9035,02920872738j	10465 5,270	-120,316	-2,100
a*Uved(2)		1323,46192646203-2296,20915692453j	265 0,307	-60,047	-1,048
a*Uved(1)		-5184,34077867337+9090,95830420674j	10465 5,270	119,703	2,089
a2*Uved(2)		1326,90278271333+2294,22251936546j	265 0,307	59,961	1,046
napětí na vedeni vn fáze A	UvedA [V]	7834,98599992796-53,9425638200799j	7815 1,172	-0,396	-0,007
napětí na vedeni vn fáze B	UvedB [V]	-9957,64815818928-11331,2384675517j	12002 2,497	-109,261	-1,907
napětí na vedeni vn fáze C	UvedC [V]	-3857,3810337073+11385,1807186724j	1202 0,873	108,725	1,897

[B]: 2f zkrat - výtisk excelovského listu (1.část)

		KOMPLEXNÍ TVAR	VELIKOST	FÁZ POSUN [°]	FÁZ POSUN [rad]
el magn napeti zdroje	E (U) [V]	13280	13280,000	0,000	0,000
reakt soustavy 110kV - sousledna - po prepocteni na 22kV	Xs(1) [Ω]	0,301i	0,301	90,007	1,571
reakt soustavy 110kV - zpetna - po prepocteni na 22kV	Xs(2) [Ω]	0,301i	0,301	90,007	1,571
reakt prim transf - soust, zpetna - po prepocteni na 22kV	Xtp(1)+Xtp(2) [Ω]	0,727i	0,727	90,007	1,571
reakt sekund transf - soust, zpetna	Xs(1)+Xs(2) [Ω]	0,727i	0,727	90,007	1,571
dinny odpor zateze - sousledna	Rz(1) [Ω]	314,1	314,100	0,000	0,000
indukt reaktance zateze - sousledna	Xz(1) [Ω]	103,15i	103,150	90,007	1,571
	Rz(1)*Xz(1)	3299,415	3299,435	90,007	1,571
	Rz(2)*Xz(1)	314,1+103,15i	330,604	18,181	0,317
impedanc e zateze - zpetna	Zz(1) [Ω]	30,57674669054817+93,3086392295811i	98,001	71,825	1,253
dinny odpor zateze - zpetna	Rz(2) [Ω]	999999999	999999999,000	0,000	0,000
indukt reaktance zateze - zpetna	Xz(2) [Ω]	999999999	999999999,000	90,007	1,571
	Rz(2)*Xz(2)	999999998000000000i	9999999800000000,000	90,007	1,571
	Rz(2)*Xz(2)	999999999+999999999i	1434213560959	45,003	0,785
impedanc e zateze - zpetna	Zz(2) [Ω]	999999999,5+999999999,5i	707106780479	45,003	0,785
podelna reakt vedeni 22kV - sousledna	Xlved(1) [Ω]	6i	6,000	90,007	1,571
podelna reakt vedeni 22kV - zpetna	Xlved(2) [Ω]	6i	6,000	90,007	1,571
dinny odpor vedeni 22kV - sousledna	Rved(1) [Ω]	4,9	4,900	0,000	0,000
dinny odpor vedeni 22kV - zpetna	Rved(2) [Ω]	4,9	4,900	0,000	0,000
podelna impad vedeni 22kV - sousledna	Zved(1) [Ω]	4,9+6i	7,747	50,766	0,886
podelna impad vedeni 22kV - zpetna	Zved(2) [Ω]	4,9+6i	7,747	50,766	0,886
kapac reaktance vedeni 22kV - sousledna	Xc(1) [Ω]	-5080i	5080,000	-90,007	-1,571
kapac reaktance vedeni 22kV - zpetna	Xc(2) [Ω]	-999999999i	999999999,000	-90,007	-1,571
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - sousledna	Rc(1) [Ω]	2650000			
	Xc(1)*Rc(1)	-14066,2000000i			
	Xc(2)*Rc(2)	2650000+53080i			
prcna impad vedeni 22kV - sousledna	Zc(1) [Ω]	1062,77602086545-53054,71123957883i	5069,335	-88,859	-1,551
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - zpetna	Rc(2) [Ω]	999999999			
	Xc(2)*Rc(2)	-999999998000000000i			
	Rc(2)*Xc(2)	999999999+999999999i			
prcna impad vedeni 22kV - zpetna	Zc(2) [Ω]	499999999,5-499999999,5i	707106780479	-45,003	-0,785
soucet imp transf a podel imp vedeni - sousledna	Zv(1) [Ω]	4,9+7,454i	8,920	56,685	0,989
soucet imp transf a podel imp vedeni - zpetna	Zv(2) [Ω]	4,9+7,454i	8,920	56,685	0,989
	Zc(1)+Zv(1)	1093,35276705599-52965,6037565687i			
	Zc(1)*Zv(1)	4972720,74807847-1523409,175601i			
vyisl impedance ze Zc a Zv - sousledna	Zc(1) [Ω]	30,6872161513481+93,323834352328i	98,172	71,790	1,253
	Zc(2)+Zv(2)	999999999			
	Zc(2)*Zv(2)	499999999000000000i			
vyisl impedance ze Zc a Zv - zpetna	Zc(2) [Ω]	999999999,5	499999999,500	0,000	0,000
	Z1(1) [Ω]	35,5872161513481+100,706383485233i	106,809	70,543	1,231
	Z1(2) [Ω]	500000004,4+7,454i	500000004,400	0,000	0,000
	Z1(2)*Xs(2)	-2,243654+13050000i,3244i			
	Z1(2)+Xs(2)	500000004,4+7,755i			
	Z2(2) [Ω]	1,81201998405423E-10+0,301i	0,301	90,007	1,571
odpor poruchy	Rp [Ω]	0			
	Z	3			
	3Rp [Ω]	0			
	3Rp+Zz(2)	1,81201998405423E-10+0,301i			
	Z1(1)*3Rp+Zz(2)	-30,3116214075567+10,711752079804i			
	Z1(1)+3Rp+Zz(2)	35,5872161515293+101,007383485233i			
	Z3 [Ω]	0,00028127900813544+0,300202073706546i	0,300	89,953	1,570
	Xs(1)+Z3	0,00028127900813544+0,601202073706546i			
	I1 [A]	10,3290645136829-12089,0740018202i	22089,076	-89,980	-1,570
	I1 *Z1(1)	224878,3388181-785048,448358016i			
souislzka por proudu v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Ipor(1) [A]	-10,3290512513083-22030,5273269896i	22030,530	-90,033	-1,571
	-I	-1			
zpetna slzka por proudu v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Ipor(2) [A]	10,3290512513083+22080,5273269896i	22030,530	89,980	1,570
	I2 [A]	20,6581157649912-58,546674930997i	62,084	-70,570	-1,232
souislzka napeti v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Upor(1) [V]	6631,18872542723-3,10904841932916i	6631,189	-0,027	0,000
	Upor(1)*Zz(2)	0,9355834775802726+1996,98780635303i			
zpetna slzka napeti v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Upor(2) [V]	6631,18872542722+3,10904841932916i	6631,189	0,027	0,000
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010	2,094
	aZ	-0,5+0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	aZ*Upor(1)	-3318,28679864475-5741,05491203032i	6631,044	-120,036	-2,085
	a*Upor(2)	-3312,90192678347+5744,16396042964i	6631,044	119,983	2,094
	a*Upor(2)	-3312,90192678348+5744,16396042965i	6631,044	119,983	2,094
	aZ*Upor(2)	-3318,28679864475-5741,05491203031i	6631,044	-120,036	-2,095
napeti faze A v miste poruchy (prepoct na hlad 22kV)	UA por [V]	13262,3774308544-6,218096838632i	13262,379	-0,027	0,000
napeti faze B v miste poruchy (prepoct na hlad 22kV)	UB por [V]	-6631,18872542722+3,10904841932006i	6631,189	179,986	3,141
napeti faze C v miste poruchy (prepoct na hlad 22kV)	UC por [V]	-6631,18872542723-3,10904841934007i	6631,189	179,986	3,141
napeti faze A v miste poruchy	UA por [V]		63428,76869	-0,027	
napeti faze B v miste poruchy	UB por [V]		33714,38485	179,986	
napeti faze C v miste poruchy	UC por [V]		33714,38485	179,986	
	aZ*Ipor(1)	-19073,2721395473+11024,2086238784i	22030,045	149,983	2,618
	a*Ipor(2)	-19083,6011907986-11006,3187051112i	22030,045	-150,037	-2,608
	a*Ipor(1)	19083,6011907986+11006,3187051112i	22030,045	29,976	0,523
	aZ*Ipor(2)	19073,2721395473-11024,2086218784i	22030,045	-30,030	-0,524
poruchovy proud faze A v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	IA por [A]	0	0,000	#DLENI_NULOU!	#DLENI_NULOU!
poruchovy proud faze B v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	IB por [A]	-38156,8733303459-17,8899167672007i	38156,878	179,986	3,141
poruchovy proud faze C v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	IC por [A]	38156,8733303459-17,8899167672007i	38156,878	-0,027	0,000
poruchovy proud faze A v miste zkratu	IA por [A]		0	#DLENI_NULOU!	
poruchovy proud faze B v miste zkratu	IB por [A]		7978,25621	179,986	
poruchovy proud faze C v miste zkratu	IC por [A]		7978,25621	-0,027	
	Upor(1)*Zv(1)	203782,64793286+618278,745684064i	650996,140	71,763	1,252
	Zc(1)+Zv(1)	35,5872161513481+100,706383485233i	106,809	70,543	1,231
souislzka napeti na zatezi(pricne casti vedeni)	Iur(1) [V]	6093,35704124007+129,784063828361i	6094,939	1,120	0,021
souislzka proudu zatezi	Iu(1) [A]	20,65826137476-58,662523978668i	62,193	-70,605	-1,232
souislzka proudu pricne imp vedeni	Iu(1) [A]	-0,00014580976873895+0,114848467266999i	0,115	90,079	1,572
	I TrVed(1) [A]	20,6581157649913-58,546674930998i	62,084	-70,570	-1,232
	Xb(1)+Xtp(1)	1,454i	1,454	90,007	1,571
	I TrVed(1)*Xb(1)+Xtp(1)	85,128865349092+130,089003222974i	90,271	19,437	0,339
sousledna slzka napeti vedeni vn	Uved(1) [V]	6546,06186007814-33,1469487436266i	6546,146	-0,290	-0,005

[B]: 2f zkrat - výtisk excelovského listu (2.část)

	Upor(2)*Zr(2)	331594359398,02-1554524208,13006i	331594723829,160	-0,027	0,000
	Zcr(2)+Zv(2)	50000004,4+7,454i	50000004,400	0,000	0,000
souř. složka napětí na zátěži(pricne casti vedení)	Ucr(2) [V]	6631,1886609523-3,10914724662017i	6631,189	-0,027	0,000
souř. složka proudu zátěži	Iz(2) [A]	6,6280795277669E-06-6,63429783427635E-06i	0,000	-65,030	-0,786
souř. složka proudu pricne imp vedení	Ic(2) [A]	6,63429783427615E-06+6,62807952776695E-06i	0,000	44,976	0,785
	I TrVed(2) [A]	0,0000132623773340528-6,23829446946946E-09i	0,000	-0,027	0,000
	Xs(2)+Xp(2)	1,454i	1,454	90,007	1,571
	I TrVed(2)*Xs(2)+Xp(2)	9,04140020214044E-09+0,0000192834966417328i	0,000	89,980	1,570
zpětná složka napětí vedení vn	Uvvd(2) [V]	6631,18872541818-3,1090677028258i	6631,189	-0,027	0,000
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Ucr(1)	-2934,38552234767-5341,91243134628i	6094,805	-138,789	-2,073
	a*Ucr(2)	-3312,90280868204+5744,16395352558i	6631,044	119,983	2,094
	a*Ucr(1)	-3159,1715208984+5212,12836758692i	6094,805	121,230	2,116
	a2*Ucr(2)	-3318,2868517319-5741,05480627896i	6631,044	-120,036	-2,095
napětí na zátěži(pricne casti vedení) fáze A	UcrA [V]	12724,7437036403+126,674916981741i	12725,376	0,570	0,010
napětí na zátěži(pricne casti vedení) fáze B	UcrB [V]	-6247,26733102971+402,2515223603i	6240,224	176,329	3,077
napětí na zátěži(pricne casti vedení) fáze C	UcrC [V]	-6477,45837261159-528,92643874204i	6499,018	-175,345	-3,060
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Ic(1)	0,0995815775375847-0,0572981355737739i	0,115	-29,930	-0,522
	a*Ic(2)	-8,05706577124469E-06+0,000024312623472748i	0,000	164,986	2,879
	a*Ic(1)	-0,0993859677688507-0,057503316992211i	0,115	-146,938	-2,617
	a2*Ic(2)	2,42276795698554E-06-9,09934166705149E-06i	0,000	-75,033	-1,309
proud pricnou casti vedení fáze A	IcA [A]	-0,000138975470919677+0,114855096346515i	0,115	90,076	1,572
proud pricnou casti vedení fáze B	IcB [A]	0,099525204718134-0,0572957043116266i	0,115	-29,931	-0,522
proud pricnou casti vedení fáze C	IcC [A]	-0,0993835450008937-0,05738593910348882i	0,115	-149,933	-2,617
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Iz(1)	-61,1300099499326+11,440707348912i	62,191	169,412	2,957
	a*Iz(2)	0,000024012623472748+9,05706577126469E-06i	0,000	74,979	1,309
	a*Iz(1)	40,4717485751726+47,2208160404756i	62,191	49,405	0,862
	a2*Iz(2)	-8,0594166705149E-06-2,42276795698554E-06i	0,000	-365,040	-2,880
proud na zátěži fáze A	IzA [A]	20,6681680028395-38,6625300323646i	62,193	-70,605	-1,232
proud na zátěži fáze B	IzB [A]	-61,1300075186705+11,440716406457i	62,191	169,412	2,957
proud na zátěži fáze C	IzC [A]	40,4717495158309+47,2208136267076i	62,191	49,405	0,862
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,010	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Uvvd(1)	-3301,73532164932-5652,31659649686i	6546,002	-120,300	-2,099
	a*Uvvd(2)	-3312,90191007844+5744,16397006356i	6631,044	119,983	2,094
	a*Uvvd(1)	-3244,32653842862+5685,46254538488i	6546,002	119,719	2,089
	a2*Uvvd(2)	-3318,2868153974-5741,05490234073i	6631,044	-120,036	-2,095
napětí na vedení vn fáze A	UvvdA [V]	13177,250854963-36,2350164444624i	13177,300	-0,158	-0,003
napětí na vedení vn fáze B	UvvdB [V]	-6614,63723172776+91,8473736069999i	6615,275	179,218	3,128
napětí na vedení vn fáze C	UvvdC [V]	-6562,61335376856-55,5923571623498i	6562,849	-179,528	-3,133

[C]: 2f zemní zkrat - výtisk excelovského listu (1.část)

	KOMPLEXNÍ TVAR	VELKOST	FÁZ POSUN [°]	FÁZ POSUN [rad]
el magn napeti zdroje	E (Uf) [V]	13280	0,000	0,000
reakt soustavy 110kV - sousledna - po prepocetni na 22kV	Xs(1) [Ω]	0,301	0,301	1,571
reakt soustavy 110kV - zpetna - po prepocetni na 22kV	Xs(2) [Ω]	0,301	0,301	1,571
reakt soustavy 110kV - netociva - po prepocetni na 22kV	Xs(0) [Ω]	0,803	0,803	1,571
reakt prim transf - soust, zpetna, netociva - po prepocetni na 22kV	Xtp(1)+Xtp(2)+Xtp(0) [Ω]	0,727	0,727	1,571
reakt sekund transf - soust, zpetna, netociva	Xs(1)+Xs(2)+Xs(0) [Ω]	0,727	0,727	1,571
cinny odpor zateze - sousledna	Rz(1) [Ω]	314,1	314,100	0,000
indukt reaktance zateze - sousledna	Xz(1) [Ω]	103,151	303,150	1,571
	Rz(1)+Xz(1)	32399,4151	32399,415	1,571
	Rz(1)+Xz(1)	314,1+103,151	310,604	18,181
impedance zateze - sousledna	Zz(1) [Ω]	30,5767466905437+99,108639219581j	98,001	71,825
cinny odpor zateze - zpetna	Rz(2) [Ω]	999999999	999999999,000	0,000
indukt reaktance zateze - zpetna	Xz(2) [Ω]	999999999	999999999,000	1,571
	Rz(2)+Xz(2)	9999999800000000	999999980000000,000	90,007
	Rz(2)+Xz(2)	99999999+999999999	1414213560,959	45,008
impedance zateze - zpetna	Zz(2) [Ω]	49999999,5+499999999,5j	707106780,479	45,003
cinny odpor zateze - netociva	Rz(0) [Ω]	999999999	999999999,000	0,000
indukt reaktance zateze - netociva	Xz(0) [Ω]	999999999	999999999,000	1,571
	Rz(0)+Xz(0)	9999999800000000	999999980000000,000	90,007
	Rz(0)+Xz(0)	99999999+999999999	1414213560,959	45,008
impedance zateze - netociva	Zz(0) [Ω]	49999999,5+499999999,5j	707106780,479	45,003
podelna reakt vedeni 22kV - sousledna	Xlved(1) [Ω]	61	6,000	90,007
podelna reakt vedeni 22kV - zpetna	Xlved(2) [Ω]	61	6,000	90,007
podelna reakt vedeni 22kV - netociva	Xlved(0) [Ω]	21	21,000	90,007
cinny odpor vedeni 22kV - sousledna	Rved(1) [Ω]	4,9	4,900	0,000
cinny odpor vedeni 22kV - zpetna	Rved(2) [Ω]	4,9	4,900	0,000
cinny odpor vedeni 22kV - netociva	Rved(0) [Ω]	14,7	14,700	0,000
podelna imped vedeni 22kV - sousledna	Zved(1) [Ω]	4,9+6j	7,747	50,766
podelna imped vedeni 22kV - zpetna	Zved(2) [Ω]	4,9+6j	7,747	50,766
podelna imped vedeni 22kV - netociva	Zved(0) [Ω]	34,7+21j	25,634	55,012
impedance zhradci tlumivky	Zz [Ω]	0,885+88,5j	88,504	89,434
kapac reaktance vedeni 22kV - sousledna	Xc(1) [Ω]	-0,3080	53080,000	-90,007
kapac reaktance vedeni 22kV - zpetna	Xc(2) [Ω]	-999999999	999999999,000	-90,007
kapac reaktance vedeni 22kV - netociva	Xc(0) [Ω]	-53870	53870,000	-90,007
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - sousledna	Rc(1) [Ω]	2650000	2650000,000	0,000
	Xc(1)+Rc(1)	-140662000000	14066200000,000	-90,007
	Xc(1)+Rc(1)	2650000-53080j	2639531,548	-1,148
prizna imped vedeni 22kV - sousledna	Zz(1) [Ω]	1062,77602036545-53058,7123957883j	53069,365	-88,859
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - zpetna	Rc(2) [Ω]	999999999	999999999,000	0,000
	Xc(2)+Rc(2)	-9999999800000000	999999980000000,000	-90,007
	Xc(2)+Rc(2)	99999999+999999999	1414213560,959	-45,003
prizna imped vedeni 22kV - zpetna	Zz(2) [Ω]	499999999,5+499999999,5j	707106780,479	-45,003
svodovy odpor kapacity vedeni 22kV - netociva	Rc(0) [Ω]	2794000	2794000,000	0,000
	Xc(0)+Rc(0)	-156100780000	15610078000,000	-90,007
	Xc(0)+Rc(0)	2794000-53870j	2794558,544	-1,146
prizna imped vedeni 22kV - netociva	Zz(0) [Ω]	1116,75349425778-53847,6689270851j	53858,833	-88,861
soucet imp transf a podel imp vedeni - sousledna	Zv(1) [Ω]	4,9+7454j	8,920	56,685
soucet imp transf a podel imp vedeni - zpetna	Zv(2) [Ω]	4,9+7454j	8,920	56,685
	Zz(1)+Zv(1)	1093,35276706599-52965,6037566687j	52976,887	-88,824
	Zz(1)+Zv(1)	4972710,74307847-1523408,179601j	520839,078	-17,034
vysl impedance ze Zz a Zz - sousledna	Zz(1) [Ω]	30,6872161513481+99,2523834352328j	98,172	71,790
	Zz(2)+Zz(2)	999999999	999999999,000	0,000
	Zz(2)+Zz(2)	4999999900000000	499999990000000,000	0,000
vysl impedance ze Zz a Zz - zpetna	Zz(2) [Ω]	499999999,5	499999999,500	0,000
	Zz(0)+Zz(0)	500001136,253494+499944151,811073j	707084081,025	45,000
	Zz(0)+Zz(0)	28482211182189,2-2736545768908,2j	3949819800767,200	-41,838
vysl impedance ze Zz a Zz - netociva	Zz(0) [Ω]	1119,99629337953-53850,6618849986j	53861,891	-88,858
	Zz(0) [Ω]	1134,69629337953-53878,9348849986j	53840,465	-88,842
	Zz(0) [Ω]	3	3,000	0,000
	Zz(1)	2,655+265,5j	265,533	89,434
	Zz(0)+Zz(0)	1482594,8106261+153036,043772594j	14826384,661	0,591
	Zz(0)+Zz(0)	1137,35129337953-53663,4348849986j	53575,074	-88,834
impedance zaviska na zapojeni vinuti transf	Zz(1) [Ω]	2,70631721154166+266,767467272747j	266,781	89,425
	Zz(0) [Ω]	999999990+999999990j	1414213560,959	45,008
	Zz(1) [Ω]	999999992,70632+10000000257,4945j	14142135800,650	45,003
	Zz(1) [Ω]	35,5872161513481+100,706383435233j	106,809	70,543
	Zz(2) [Ω]	500000004,4+7,454j	500000004,400	0,000
	Zz(2)+Xz(2)	-2,243634+150500001,3244j	150500001,324	90,007
	Zz(2)+Xz(2)	500000004,4+7,755j	500000004,400	0,000
	Zz(2) [Ω]	1,81201998405431e-10+0,301j	0,301	90,007
	Xs(0)+Zz(0)	-9030000232,51753+9029999993,41381j	12770148627,987	315,030
	Xs(0)+Zz(0)	999999992,70632+10000000258,3975j	14142135800,288	45,003
	Zz(0) [Ω]	4,07707214653817e-11+0,9029999999923j	0,903	90,007
odpor poruchy	Rp [Ω]	10	10,000	0,000
	3Rp [Ω]	30	30,000	0,000
	Zz(0)+Rp	30,0000000000408+0,9029999999923j	30,014	1,724
	Zz(1)+Zz(1)+Zz(0)+3Rp	-919,051354355363+298,980265264768j	964,925	362,274
	Zz(1)+Zz(1)	-30,3326234075367+30,711752079804j	32,150	360,530
	Zz(1)+Zz(1)+Rp	976,67862030885+3053,3267502443j	3205,730	72,267
	Zz(2)+Zz(2)+Rp	0,072802994551668+0,9030000000017591j	9,034	91,731
	Zz(0)+Zz(0)+Rp	946,094295902877+3073,0851132429j	3215,407	12,772
	Zz [Ω]	0,00328009040963494+0,100076169944146j	0,300	89,380
	Zz [Ω]	43,559606639962+3985,0115368826j	3985,230	89,380
	Xs(1)+Zz	0,00328009040963494+0,100076169944146j	0,601	89,694
sklikove napeti v miste poruchy (prepoct na hlad 22kV)	Upor(1)+Upor(2) [V]	6629,99261702514-36,289286668165j	6630,092	-0,314
	Upor(1)+Zz(0)	32,7692261307714+9846,88333290193j	9846,973	89,693
	Upor(0) [V]	7,06272307186389+199,349286888873j	199,475	87,969
minus Upor(0) [V]	minus Upor(0) [V]	-7,06272307186389-199,349286888873j	199,475	-92,044
minus Upor(2) [V]	minus Upor(2) [V]	-6629,99262702514-36,289286668165j	6630,092	179,700
netociva složka proudu v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Ipor(0) [A]	-0,43604276109869+6,61185334131161j	6,646	-99,769
zpetna složka proudu v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Ipor(2) [A]	1,20,56240092213+22026,3535490066j	22026,883	89,693
	minus Ipor(0) [A]	0,43604276109869+6,61185334131161j	6,646	86,245
	minus Ipor(2) [A]	-1,20,56240092213-22026,3535490066j	22026,883	-90,320
soust složka proudu v miste zkratu (prepoct na hlad 22kV)	Ipor(1) [A]	-0,20,126258161031-22019,9216936651j	22020,349	-90,319
	a	0,5+0,866j	1,000	120,010
	a2	0,5+0,866j	1,000	-120,010

[C]: 2f zemní zkrat - výtisk excelovského listu (2.část)

	a2*Upor(1)	-3346,42283076776-5723,4286300936i	6629,946	-120,323	-2,300
	a*Upor(2)	-3283,56978625738+5759,73824967818i	6629,946	119,696	2,089
	a*Upor(1)	-3283,56978625738+5759,73824967818i	6629,946	119,696	2,089
	a2*Upor(2)	-3346,42283076776-5723,4286300936i	6629,946	-120,323	-2,300
nápetí fáze A v místě poruchy (přepoct. na hlad 22kV)	UA por [V]	13267,079551231+2126,77071352124i	13267,084	0,548	0,010
nápetí fáze B v místě poruchy (přepoct. na hlad 22kV)	UB por [V]	-6622,89989595328+235,638573527693i	6627,091	177,975	3,106
nápetí fáze C v místě poruchy (přepoct. na hlad 22kV)	UC por [V]	-6622,89989595328+235,638573527693i	6627,091	177,975	3,106
nápetí fáze A v místě poruchy	UA por [V]		63454,13899	0,548	
nápetí fáze B v místě poruchy	UB por [V]		31694,78068	177,975	
nápetí fáze C v místě poruchy	UC por [V]		31694,78068	177,975	
	a2*Ipor(1)	-13009,3890076335+11113,990273i	22019,765	549,696	2,613
	a*Ipor(2)	-19135,2765704868-10908,8697333047i	22026,399	-130,324	-2,623
	a*Ipor(1)	19129,3153657945+10905,9314206653i	22019,765	29,690	0,518
	a2*Ipor(2)	39014,7141695147-11117,6838117019i	22026,399	-30,317	-0,529
poruchový proud fáze A v místě zkratu (přepoct. na hlad 22kV)	IA por [A]	2,3876101592643E-13-8,9750829106977E-12i	0,000	-88,100	-1,588
poruchový proud fáze B v místě zkratu (přepoct. na hlad 22kV)	IB por [A]	-38144,9036208314+138,48868835788i	38245,418	179,715	3,136
poruchový proud fáze C v místě zkratu (přepoct. na hlad 22kV)	IC por [A]	38143,9834925481-138,384242378312i	38244,219	-0,328	-0,006
poruchový proud fáze A v místě zkratu	IA por [A]		187764E-12	-88,100	
poruchový proud fáze B v místě zkratu	IB por [A]		7975,860136	179,715	
poruchový proud fáze C v místě zkratu	IC por [A]		7975,609853	-0,328	
	Upor(1)*Zcr(1)	206840,078995524+617148,996511607i	65088,395	71,476	1,247
	Zcr(1)+Zb(1)	35,5872361513481+100,706383485233i	106,809	70,543	1,231
sousdí složka napětí na zátěži(prone casti vedeni)	Uca(1) [V]	6093,12361302493+99,27083960406i	6093,930	0,933	0,016
sousdí složka napětí na zátěži	ix(1) [A]	20,3610561508139-58,7544485948665i	62,182	-70,892	-1,237
sousdí složka proudu prone imp vedeni	ic(1) [A]	0,000429088846139237+0,114828749373842i	0,115	89,799	1,567
	I TrVed(1) [A]	20,36348523916-58,696198454947i	62,074	-70,857	-1,237
	Xb(1)+Xtp(1)	1,454i	1,454	90,007	1,571
sousedna složka napětí vedeni vn	ITVed(1)*Xb(1)+Xtp(1)	85,2620072553913+29,605899537738i	90,256	19,130	0,334
	Uved(1) [V]	65,44,73060976979-65,89486206555i	6545,062	-0,577	-0,010
	Upor(2)*Zcr(2)	3314996305197,57-18144643116,2636i	331504962208,460	-0,314	-0,005
	Zcr(2)+Zb(2)	500000004A+-7,454i	500000004,000	0,000	0,000
sousdí složka napětí na zátěži(prone casti vedeni)	Uca(2) [V]	6629,9925525102-36,2893851531096i	6630,092	-0,314	-0,005
sousdí složka proudu zátěži	ix(2) [A]	6,99370317295079E-06-6,6662819032939E-06i	0,000	-45,317	-0,791
sousdí složka proudu prone imp vedeni	ic(2) [A]	6,69688194332998E-06+5,9370317299079E-06i	0,000	44,690	0,780
	I TrVed(2) [A]	0,000132598511628047,257870378997E-08i	0,000	-0,314	-0,005
	Xb(2)+Xtp(2)	1,454i	1,454	90,007	1,571
zpetna složka napětí vedeni vn	ITVed(2)*Xb(2)+Xtp(2)	1,05529932180775E-07+0,000180800183990717i	1,055	89,698	1,565
	Uved(2) [V]	6629,99261691961,36,289385153488349i	6630,092	-0,314	-0,005
	Upor(0)*Zi(10)	-53360,7092048364+2431,6086425479i	53216,292	177,994	3,096
	Zi(10)+Xtp(10)+Zsp	9998999992,70632+10000000257,4945i	14142335800,650	45,003	0,785
napětí na zátěži tlumivce (jen v netocive složce)	Ua	0,00002939484909888+2,7961394117827E-08i	0,000	132,190	2,310
	Utr*Zcr(0)	0,132402570003842+0,144775843092848i	0,210	43,533	0,760
	Zc(0)+Xb(0)+Zved(0)	1134,69629337953-58238,9348849986i	53840,465	-88,842	-1,350
netociva složka napětí na zátěži(prone casti vedeni)	Uca(0) [V]	-2,336674488675E-06+2,78107000580009E-06i	0,000	132,175	2,310
netociva složka proudu prone imp vedeni	ix(0) [A]	2,44685320329138E-16+3,1808490383378E-19i	0,000	87,372	1,525
netociva složka proudu zátěži	ic(0) [A]	-5,0990789692623E-11-44,0076791402021E-11i	0,000	-138,790	-2,422
	I TrVed(0) [A]	-5,0609449971021E-11-44,0026912690988E-11i	0,000	-138,793	-2,422
	I TrVed(0)*Xb(0)	3,2280538643071E-11-1,64520262128932E-11i	0,000	-48,787	-0,851
netociva složka napětí vedeni vn	Uved(0) [V]	-2,33668719101004E-06+2,77965279320448E-06i	0,000	132,195	2,310
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,030	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Uca(1)	-2960,59269241765-5326,27848668029i	6093,796	-119,076	-2,078
	a*Uca(2)	-3283,5696821251+5759,73824238439i	6629,946	119,696	2,089
	a*Uca(1)	-3132,52892050728+5227,00814707889i	6093,796	120,948	2,111
	a2*Uca(2)	-3346,4228319769-5723,42863703128i	6629,946	-120,323	-2,300
napětí na zátěži(prone casti vedeni) fáze A	ix(A) [V]	12723,1541619884+60,380957226664i	12723,270	0,284	0,005
napětí na zátěži(prone casti vedeni) fáze B	ix(B) [V]	-6244,16236316681+433,43975828547i	6259,188	176,040	3,072
napětí na zátěži(prone casti vedeni) fáze C	ix(C) [V]	-6478,95180644164-496,4200717302i	6497,942	-175,631	-3,065
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,030	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Ic(1)	0,091271525329485-0,057785966266076i	0,115	-30,217	-0,527
	a*Ic(2)	-9,0432879194018E-06+2,7614857648039E-06i	0,000	164,699	2,874
	a*Ic(1)	-0,099624137968348-0,0570427837451644i	0,115	-150,224	-2,622
	a2*Ic(2)	2,37700597611099E-06-1,06985178939832E-06i	0,000	-75,320	-1,354
proud přenosu casti vedeni fáze A	ic(A) [A]	0,00043579077391779+0,11483344080607i	0,115	89,798	1,567
proud přenosu casti vedeni fáze B	ic(B) [A]	0,092181091943353-0,057783489225088i	0,115	-30,218	-0,527
proud přenosu casti vedeni fáze C	ic(C) [A]	-0,099653864023799E-06+0,0570518536413215i	0,115	-150,220	-2,622
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,030	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Ix(1)	-61,0618805583113+11,7445496712614i	62,181	369,125	2,952
	a*Ix(2)	2,4761487644808E-06+9,0432879194018E-06i	0,000	74,699	1,304
	a*Ix(1)	40,7008244079974+47,0098989236053i	62,181	49,118	0,857
	a2*Ix(2)	-9,069817893882E-06-2,37700597611099E-06i	0,000	-165,327	-2,885
proud na zátěži fáze A	ix(A) [A]	20,3610627440171-58,7544537615484i	62,182	-70,892	-1,237
proud na zátěži fáze B	ix(B) [A]	-61,0618780821627+11,7445587145493i	62,181	369,125	2,952
proud na zátěži fáze C	ix(C) [A]	40,7008253383457+47,0098965465993i	62,181	49,118	0,857
	a	-0,5+0,866i	1,000	120,030	2,094
	a2	-0,5-0,866i	1,000	-120,010	-2,094
	a2*Uved(1)	-3329,43027638977-5634,78926495736i	6544,938	-120,586	-2,204
	a*Uved(2)	-3283,56976950821+5759,7382592268i	6629,946	119,696	2,089
	a*Uved(1)	-3213,3003343002+5700,68415116392i	6544,938	119,433	2,084
	a2*Uved(2)	-3346,4228474115-5723,42896327796i	6629,946	-120,323	-2,300
napětí na vedeni vn fáze A	UvedA [V]	31174,7232243529-102,184189375737i	13175,119	-0,444	-0,008
napětí na vedeni vn fáze B	UvedB [V]	6613,00004838437+124,928997040994i	6614,180	178,931	3,123
napětí na vedeni vn fáze C	UvedC [V]	-6561,72318337801-22,7447993343867i	6561,763	-178,815	-3,138

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová práce byla půjčována k presenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum: 2.5.2012

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým čitelným podpisem, že tuto diplomovou práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta	Datum	Podpis