

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

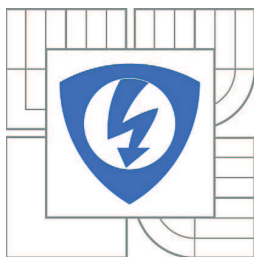
VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY PRO VEDENÍ VVN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK DOLEŽAL

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Marek Doležal

ID: 125399

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Výpočet nastavení distanční ochrany pro vedení vvn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Distanční ochrany
2. Základní poruchové stavy
3. Metody výpočtu souměrných a nesouměrných zkratů s uvažováním odporu poruchy
4. Výpočet zkratů a nastavení ochran pro zadanou síť

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

DOLEŽAL, M. *Výpočet nastavení distanční ochrany pro vedení vvn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 73 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D..

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Výpočet nastavení distančních ochran pro vedení vvn

Marek Doležal

vedoucí: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

The calculation of the distance protection relay settings for hv line

by

Marek Doležal

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Tuto práci jsem rozdělil na dvě části a to část teoretickou a praktickou. První část práce se zabývá teoretickým výpočtem nastavení distanční ochrany pro vedení vvn, možnými poruchovými stavy, které by na tomto vedení mohly nastat, a metodami výpočtu těchto poruchových stavů. V druhé části práce je dříve popsaná teorie použita na výpočet distanční ochrany pro zadanou část sítě. Výsledkem této práce jsou všechny parametry nutné pro nastavení distanční ochrany jedné části sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA: distanční ochrana; poruchové stavy; zkrat; elektrická síť; vedení vvn

ABSTRACT

I divided this work into two parts: theoretical and practical. The first part deals with theoretical calculation of setting for distance protection of high voltage line, possible defective states, which can appear on this network, and methods of calculating these defective states. The second part deals with application of the earlier described theory to calculation of distance protection for specified part of the network. The results of this work are all the parameters needed for setting of distance protection for one part of the network.

KEY WORDS: distance protection; defective state; short circuit; electrical network; high voltage line

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 CÍLE PRÁCE	15
3 ZÁKLADNÍ PORUCHOVÉ STAVY	16
3.1 ZKRAT.....	16
3.2 ZEMNÍ SPOJENÍ.....	16
3.2.1 IZOLOVANÉ SÍTĚ [3]	16
3.2.2 SÍTĚ NEÚČINNĚ UZEMNĚNÉ [3]	17
3.3 PŘETÍŽENÍ	17
3.4 NADPĚTÍ.....	17
3.5 PODPĚTÍ.....	18
3.6 NESOUMĚRNOST PROUDŮ A NAPĚTÍ.....	18
3.7 ASYNCHRONNÍ CHOD	18
3.8 SNÍŽENÍ ČI ZVÝŠENÍ FREKVENCE	18
4 ZKRATY	19
4.1 PŘÍČINY A DĚLENÍ ZKRATŮ [1].....	19
4.2 PRŮBĚH ZKRATOVÉHO PROUDU	20
4.3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZKRATOVÉHO PROUDU [1]	21
5 METODA VÝPOČTU SOUMĚRNÝCH A NESOUMĚRNÝCH ZKRATŮ S UVAŽOVÁNÍM ODPORU PORUCHY	23
5.1 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU [2].....	23
5.2 EKVIVALENTNÍ NAPĚŤOVÝ ZDROJ [2]	23
5.3 SOUMĚRNÉ SLOŽKY [2].....	24
5.4 ZKRATOVÉ IMPEDANCE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	25
5.4.1 SÍŤOVÉ NAPÁJEČE [2].....	25
5.4.2 DVOUVINUŤOVÉ TRANSFORMÁTORY [2]	26
5.4.3 TROJVINUŤOVÉ TRANSFORMÁTORY [2].....	27
5.4.4 VENKOVNÍ VEDENÍ A KABELY [2].....	28
5.5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ	28
5.5.1 POČÁTEČNÍ RÁZOVÝ ZKRATOVÝ PROUD [2]	29
5.5.2 NÁRAZOVÝ ZKRATOVÝ PROUD [2]	29
5.5.3 STEJNOSMĚRNÁ SLOŽKA ZKRATOVÉHO PROUDU [2]	30
5.5.4 EKVIVALENTNÍ OTEPLOVACÍ ZKRATOVÝ PROUD [2]	30
6 ELEKTRICKÉ OCHRANY	32
6.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA ELEKTRICKÉ OCHRANY [4].....	32

6.2 DĚLENÍ ELEKTRICKÝCH OCHRAN [4]	32
7 DISTANČNÍ (IMPEDANČNÍ) OCHRANY	33
7.1 MĚŘÍCÍ ČLENY DISTANČNÍCH OCHRAN [4].....	33
7.2 KOMPENZACE STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY [4]	36
7.3 KOMPENZACE PŘI ZEMNÍCH ZKRATECH [4]	37
7.4 NASTAVENÍ MĚŘÍCÍCH ČLENŮ [4]	37
7.5 NASTAVENÍ POPUDOVÝCH ČLENŮ [4]	37
7.6 DIGITÁLNÍ DISTANČNÍ OCHRANY [5]	38
7.7 VÝHODY A NEVÝHODY DISTANČNÍCH OCHRAN [4]	39
8 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ V ZADANÉ SÍTI.....	40
8.1 INFORMACE O ZADANÉ SÍTI.....	40
8.2 VÝPOČET NÁHRADNÍCH IMPEDANCÍ OBVODU.....	41
8.2.1 NÁHRADNÍ IMPEDANCE SÍŤOVÉHO NAPÁJEČE	41
8.2.2 NÁHRADNÍ IMPEDANCE TRANSFORMÁTORU	41
8.2.3 NÁHRADNÍ IMPEDANCE VEDENÍ	42
8.3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ	43
8.3.1 TŘÍFÁZOVÝ ZKRAT PŘES VEDENÍ V507	43
8.3.2 JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT PŘES VEDENÍ V507	44
8.3.3 TŘÍFÁZOVÝ ZKRAT PŘES VEDENÍ V5538	45
8.3.4 JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT PŘES VEDENÍ V5538	46
8.3.5 PŘEHLED VYPOČTENÝCH ZKRATOVÝCH PROUDŮ	47
9 VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN.....	48
9.1 VÝPOČET NASTAVENÍ DO PRO VEDENÍ V5537 V ROZVODNĚ ČEBÍN	48
9.2 VYPÍNAČÍ CHARAKTERISTIKY OCHRAN	52
9.3 POLYGONÁLNÍ CHARAKTERISTIKA DISTANČNÍ OCHRANY.....	54
10 ZÁVĚR.....	56
POUŽITÁ LITERATURA	57
PŘÍLOHA A - ČÁST SÍŤE 110 KV V OKOLÍ ZADANÉ SÍŤE	58
PŘÍLOHA B - NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN.....	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 3.1 - Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení [3]</i>	16
<i>Obrázek 3.2 - Rozložení proudu v kompenzované síti při zemním spojení [3]</i>	17
<i>Obrázek 4.1 - Druhy zkratů [1]</i>	20
<i>Obrázek 4.2 - Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu [2]</i>	20
<i>Obrázek 4.3 - Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu [2]</i>	21
<i>Obrázek 5.1 - Sousedná složka zkratové impedance [2]</i>	24
<i>Obrázek 5.2 - Zpětná složka zkratové impedance [2]</i>	25
<i>Obrázek 5.3 - Netočivá složka zkratové impedance [2]</i>	25
<i>Obrázek 5.4 - Síťový napáječ a jeho náhradní schéma pro třífázový zkrat [2]</i>	26
<i>Obrázek 5.5 - Zapojení vinutí a náhradní schéma trojvinutového transformátoru [2]</i>	27
<i>Obrázek 5.6 - Součinitel κ pro sériové obvody jako funkce R/X nebo X/R [2]</i>	29
<i>Obrázek 5.7 - Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [2]</i>	30
<i>Obrázek 5.8 - Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [2]</i>	31
<i>Obrázek 7.1 - Vypínací plán distančních ochran [4]</i>	33
<i>Obrázek 7.2 - Vypínací charakteristiky distančních ochran [4]</i>	34
<i>Obrázek 7.3 - Polygonový tvar impedanční charakteristiky</i>	35
<i>Obrázek 7.4 - Modelová impedance [4]</i>	36
<i>Obrázek 7.5 - Vývojový diagram šestisystémové digitální distanční ochrany [5]</i>	38
<i>Obrázek 7.6 - Impedanční charakteristika digitální distanční ochrany [5]</i>	39
<i>Obrázek 8.1 - Schéma zadané sítě</i>	40
<i>Obrázek 8.2 - Schéma pro třífázový zkrat přes vedení V507</i>	43
<i>Obrázek 8.3 - Schéma pro jednofázový zkrat přes vedení V507</i>	44
<i>Obrázek 8.4 - Schéma pro třífázový zkrat přes vedení V5538</i>	45
<i>Obrázek 8.5 - Schéma pro jednofázový zkrat přes vedení V5538</i>	46
<i>Obrázek 9.1 - Umístění DO na vybrané části sítě 110 kV</i>	48
<i>Obrázek 9.2 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro rezistanci</i>	53
<i>Obrázek 9.3 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro reaktanci</i>	53
<i>Obrázek 9.4 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro impedanci</i>	54
<i>Obrázek 9.5 - Polygonální charakteristika DO SIPROTEC 7SA511</i>	55

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 5.1 - Napěťový součinitel c [2].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 7.1 - Logika výběru poruchové smyčky pro měřící člen [5].....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 8.1 - Zadané parametry vedení</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 8.2 - Náhradní impedance vedení</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 8.3 - Přehled vypočtených počátečních rázových zkratových proudů.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 9.1 - Rozsahy měřících transformátorů.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 9.2 - Parametry primárního nastavení 1. zóny pro DO</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 9.3 - Parametry primárního nastavení 2. zóny pro DO</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 9.4 - Parametry primárního nastavení 3. zóny pro DO</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 9.5 - Parametry primárního nastavení zóny OZ pro DO</i>	<i>51</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Z, \bar{Z} - příklad označení komplexního čísla

A - počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$

c - napěťový součinitel

c_{max} - z Tabulky 5.1, odpovídá jmenovitému napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí

d - geometrická střední vzdálenost mezi vodiči nebo středem svazku

f - jmenovitý kmitočet

$i_{d.c.}$ - stejnosměrná složka zkratového proudu

I_k - ustálený zkratový proud

I_{km} - nárazový zkratový proud

I_{kQ}'' - souměrný rázový zkratový proud v bodě Q

I_k'' - počáteční souměrný rázový zkratový proud

I_{max} - největší proud vedení, obvykle dovolené proudové zatížení vedení

i_p - nárazový zkratový proud

I_{rT} - jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

k_c - koeficient citlivosti

m - součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu

n - počet vodičů ve svazku

n - součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu

P_{krT} - jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

q_n - jmenovitý průřez vodiče

r - poloměr jednoduchého vodiče

R'_L - činná rezistance na jednotku délky

S_{rT} - jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

S_{rTAB} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B

S_{rTAC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a C

S_{rTBC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B a C

t - čas

u_{kr} - jmenovité napětí nakrátko v procentech

U_{min} - nejnižší očekávané napětí v normálním provozu

U_n - jmenovité napětí

U_{nQ} - jmenovité napětí v bodě Q

u_{Rr} - činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech

u_{RrAB}, u_{XrAB} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a B

u_{RrAC}, u_{XrAC} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a C

u_{RrBC}, u_{XrBC} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami B a C

U_{rT} - jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

U_{rTA} - jmenovité napětí na straně A

x_T - poměrná reaktance transformátoru

Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CD} - sousledné impedance jednotlivých úseků

Z_{kmax} - největší hodnota zkratové impedance měřená ochranou při zkratu na konci chráněného úseku

Z_r - nastavení impedančního popudového členu s oblastí působení vymezenou příslušnou charakteristikou

κ - součinitel pro poměr R / X nebo X / R

μ_0 - absolutní permeabilita vakua

ρ - rezistivita

DO - distanční ochrana

MTI - měřicí transformátor proudu

MTU - měřicí transformátor napětí

OZ - opětovné zapnutí

1 ÚVOD

V dnešní době, kdy si již spousta lidí nedokáže představit život bez elektřiny, je nutné dodávat tuto energii pokud možno bez přerušení. Takovýmto přerušením může být například zkrat, zemní spojení nebo přetížení sítě. Tyto poruchové stavy pak mohou způsobit obrovské škody zejména na zařízení elektrizační soustavy.

K tomu, aby docházelo k co nejmenším škodám, nám slouží systém nejrůznějších ochran, které jsou stavěny a konfigurovány tak, aby neustále hodnotily stav sítě. V případě jakéhokoliv poruchového stavu pak mají například síť vypnout, aby došlo k co nejmenšímu poškození přístrojů postižené části sítě.

Vzhledem k tomu, že se neustále zvyšuje instalovaný výkon, tak také rostou požadavky na spolehlivost přenosu v síti a ochran, které ji chrání. Dochází tedy k modernizaci sítě a ochran. V dnešní době patří mezi používané ochrany například nejrůznější elektromechanické relé, ale i stále více se rozšiřující digitální distanční (impedanční, číslicové) ochrany.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je výpočet nastavení distanční ochrany pro zadané vedení vvn. Tohoto cíle bude dosaženo seznámením se s distančními ochranami, jednotlivými poruchovými stavy, metodami výpočtu souměrných a nesouměrných zkratů a samotným výpočtem parametrů nutných pro toto nastavení.

3 ZÁKLADNÍ PORUCHOVÉ STAVY

V elektrizační soustavě se může vyskytnout několik základních poruchových stavů, které mohou způsobit ohrožení provozu jednotlivých zařízení či celé soustavy.

3.1 Zkrat

Tento poruchový stav bude podrobněji popsán v kapitole 4.

3.2 Zemní spojení

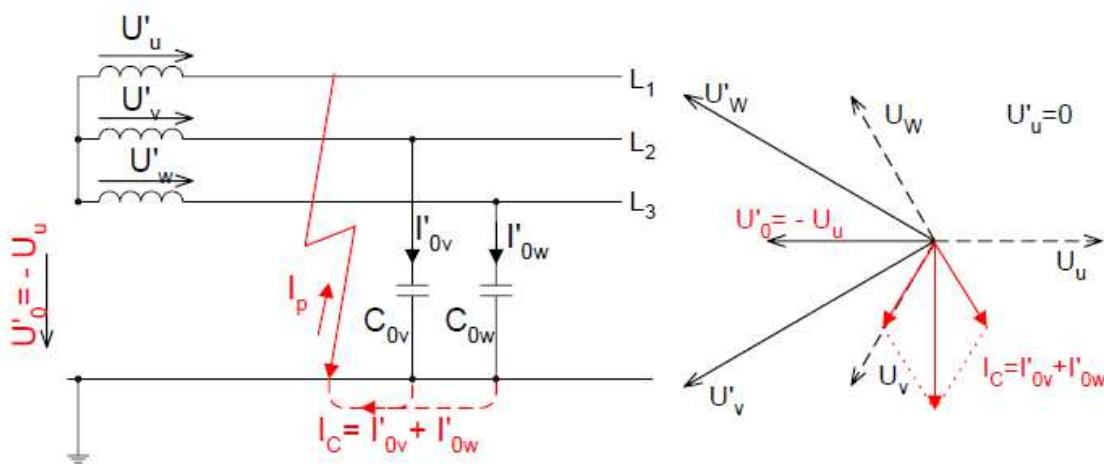
Zemní spojení je vedle zkratu jednou z nejčastějších poruch na venkovním vedení. Způsobuje zvýšené napětí a vyskytuje se na izolovaných a neúčinně uzemněných sítích.

3.2.1 Izolované sítě [3]

Tento druh zapojení je v ČR používán pouze pro vn sítě (od 6 kV do 35 kV) malého rozsahu s maximálním kapacitním proudem 20 A. Uzel vinutí transformátoru v tomto případě není na uvažované straně spojen se zemí. Pakliže dojde ke spojení jedné fáze se zemí, vzroste napětí uzlu transformátoru vůči zemi na napětí fázové (před tímto spojením bylo nulové) a napětí dvou ostatních fází vzroste vůči zemi na napětí sdružené (Obrázek 3.1). Díky uvedeným vlastnostem lze izolovanou síť provozovat i při tomto stavu, což je její velkou výhodou.

Při dimenzování je ovšem nutné dbát na to, aby byly vodiče navrženy na sdružené napětí. Další nevýhodou je, že místem spojení se zemí teče proud kapacitního charakteru, jehož velikost je dána kapacitami zdravých fází celé sítě vůči zemi a činným odporem obvodu, který se ovšem pro zjednodušení zanedbává, proto uvažujeme proud čistě kapacitní. Pokud je tento proud nepřerušovaný a není větší než 10 A nepředstavuje velké problémy.

Pokud by došlo k druhému zemnímu spojení, jednalo by se o dvoufázový zkrat a vedení by muselo být odpojeno.

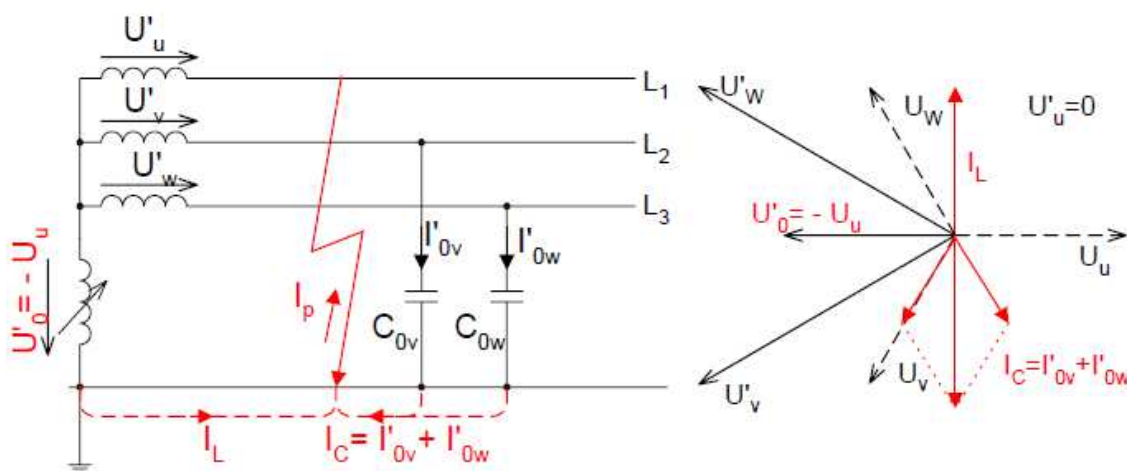


Obrázek 3.1 - Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení [3]

3.2.2 Síť neúčinně uzemněné [3]

Nulové body transformátoru jsou v této síti uzemněny přes velkou impedanci. Pro omezení velikosti zemního proudu se do nulového bodu umísťuje buď zhášecí tlumivka (kompenzovaná síť) nebo rezistor (síť uzemněná přes rezistenci).

Zhášecí tlumivka musí být regulovatelná, aby se velikost induktivního proudu mohla měnit spolu s velikostí proudu zemního. Je nutné podotknout, že i při sebelepším vykompenzování potoče místem poruchy vždy nějaký zbytkový proud. Díky kompenzaci je ovšem dostačující dimenzovat uzemnění pouze na velikost tohoto zbytkového proudu, což šetří peníze, ale zároveň způsobuje potíže při hledání místa zemního spojení. Využití kompenzovaných sítí je dáno maximální hodnotou kapacitního proudu, která je pro venkovní vedení 100 A, pro smíšené vedení 300 A a pro kabelové vedení 450 A. Při spojení jedné fáze se zemí se kompenzovaná síť chová jako síť izolovaná (Obrázek 3.2).



Obrázek 3.2 - Rozložení proudu v kompenzované síti při zemním spojení [3]

Síť uzemněná přes rezistenci se používá především u kabelových sítí velkého rozsahu, kde kapacitní poruchové proudy mohou dosahovat velikých hodnot. Její výhodou je omezení přepětí. Její nevýhodou je nutnost vypnutí vedení při zemním spojení.

3.3 Přetížení

K proudovému přetížení dochází, pokud obvodem protéká větší proud, než na který je obvod dimenzovaný, např. v důsledku připojení příliš velkého počtu spotřebičů. Způsobuje přehřívání vodičů obvodu, což může vést k poškození izolace či samotného vodiče.

3.4 Nadpětí

Označuje se tak stav, kdy se v soustavě vyskytne napětí vyšší než jmenovité. Snižuje elektrickou pevnost izolace a zvyšuje pravděpodobnost vzniku zkratu.

3.5 Podpětí

Označuje se tak stav, kdy se v soustavě vyskytne napětí nižší než jmenovité. Může vést k proudovému přetížení.

3.6 Nesouměrnost proudů a napětí

Nesouměrnost proudů a napětí snižuje kvalitu dodávky elektrické energie a je nebezpečná zejména pro elektrické točivé stroje, kdy může zpětná složka proudu způsobit přehřívání rotorového vinutí.

3.7 Asynchronní chod

Asynchronní chod nastává při ztrátě synchronizmu generátorů. Je nebezpečný zejména pro synchronní stroje a turbíny a má za následek také přetěžování vedení a transformátorů.

3.8 Snížení či zvýšení frekvence

Je nebezpečné zejména v propojených elektrizačních soustavách.

4 ZKRATY

Zkrat v elektrizační soustavě je elektromagnetický přechodný děj, který je časově omezen okamžikem náhlého zmenšení impedance mezi vodiči nebo zemí v místě poruchy a okamžikem odpojení zdrojů od místa poruchy.

Zmenšením impedance vede ke zvětšení proudu mezi zdrojem a místem poruchy, což může vést k ohrožení zařízení elektrizační soustavy dynamickými či tepelnými účinky tohoto proudu.

4.1 Příčiny a dělení zkratů [1]

Příčiny chybného vodivého spojení mezi krajními vodiči, středním vodičem nebo zemí:

- chybná manipulace,
- mechanické poškození izolace (přetržení vodiče venkovního vedení, poškození kabelu při zemních pracích, apod.),
- přirozené znehodnocování izolace (např. vlhkostí)
- poškození izolace v důsledku zvýšeného elektrického namáhání při úderu blesku nebo spínacích pochodech.

Podle přechodového odporu v místě poruchy mezi krajními vodiči, středním vodičem nebo zemí rozeznáváme zkratky:

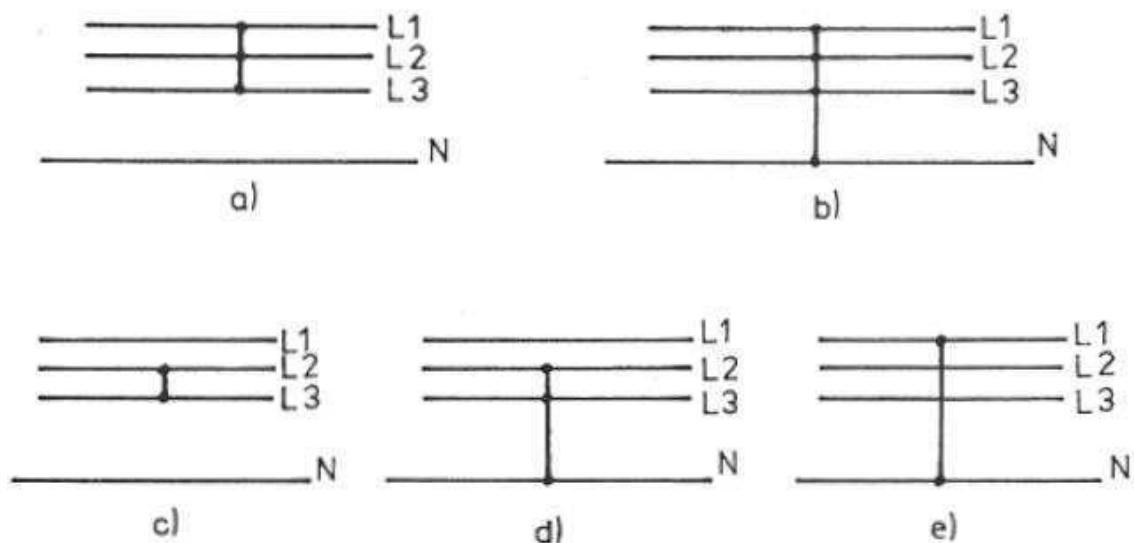
- dokonalé (kovové) - díky dokonalému styku kovových vodičů mají zanedbatelný přechodový odpor,
- nedokonalé - s hořícím obloukem nebo jinak nedokonalým stykem vodičů (může dojít k požáru)

Protože dokonalé zkratky způsobují největší tepelné a silové namáhání prvků soustavy jsou rozhodující pro její dimenzování.

Podle způsobu zatěžování třífázových zdrojů při zkratech rozeznáváme:

- zkratky souměrné:
 - třífázové (Obrázek 4.1 a),
 - třífázové zemní (Obrázek 4.1 b),
- zkratky nesouměrné:
 - dvoufázové (Obrázek 4.1 c),
 - dvoufázové zemní (Obrázek 4.1 d),
 - jednofázové (Obrázek 4.1 e).

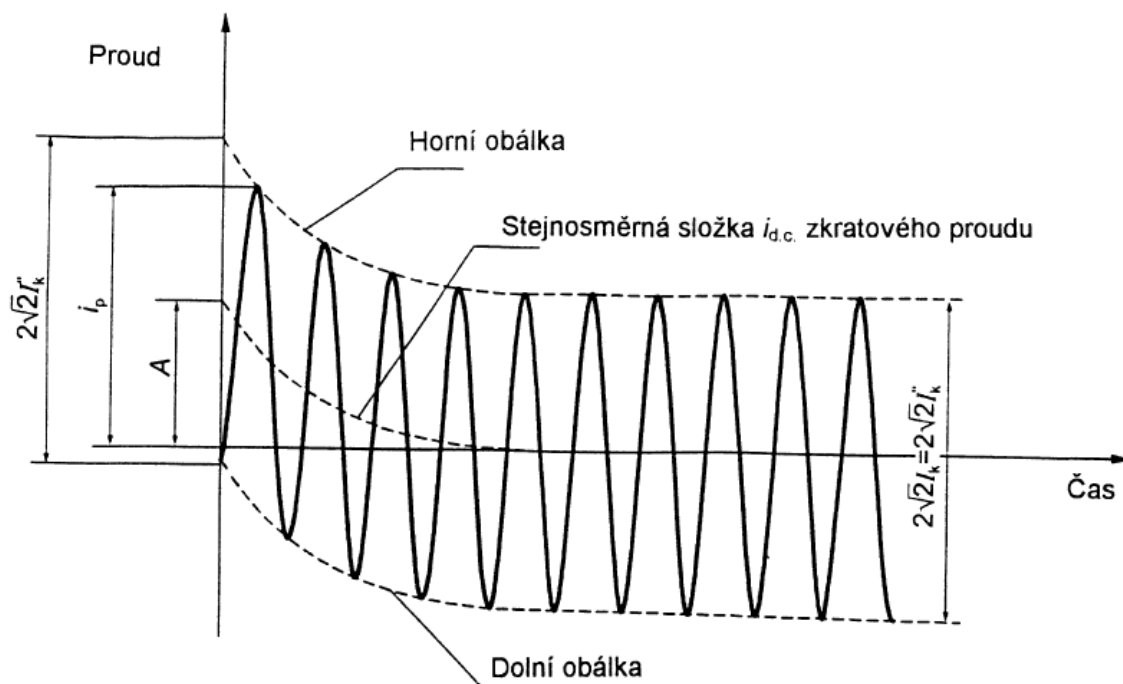
U venkovních vedení se nejčastěji vyskytuje jednofázový zkrat. U kabelových vedení se naopak nejčastěji vyskytuje třífázový nebo třífázový zemní zkrat.



Obrázek 4.1 - Druhy zkratů [1]

4.2 Průběh zkratového proudu

Náhlá změna impedance na svorkách zdrojů při zkratu má za následek přechodný děj ve všech prvcích elektrizační soustavy. Následným zkratovým proudem se poruší rovnováha mezi elektrickým a magnetickým polem v prostoru soustavy. Do nového rovnovážného stavu přechází soustava pomocí přechodných složek proudu a napětí. Určení průběhu proudu a napětí po zkratu se obvykle zjednodušuje zanedbáním příčných admítancí prvků elektrizační soustavy. [1]



Obrázek 4.2 - Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu [2]

I_k'' - počáteční souměrný rázový zkratový proud

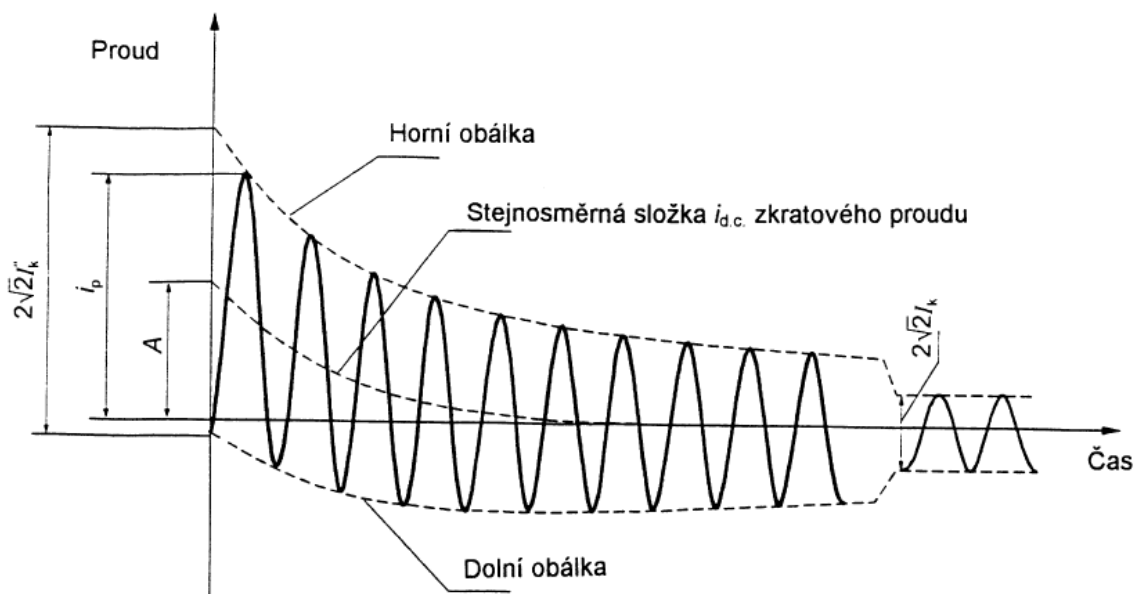
i_p - nárazový zkratový proud

I_k - ustálený zkratový proud

$i_{d.c.}$ - stejnosměrná složka zkratového proudu

A - počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$

Velikost střídavé složky zkratového proudu zůstává při elektricky vzdáleném zkratu (Obrázek 4.2) takřka konstantní.



Obrázek 4.3 - Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu [2]

Velikost střídavé složky zkratového proudu postupně klesá, až zanikne, což způsobuje zmenšující se amplitudu zkratového proudu (Obrázek 4.3), který se ustálí až po úplném zániku této složky.

4.3 Charakteristické hodnoty zkratového proudu [1]

Pro potřeby dimenzování elektrických zařízení a nastavení ochran není nutné znát celý průběh zkratového proudu, ale jen některé jeho charakteristické hodnoty.

Počáteční rázový zkratový proud I_k'' je efektivní hodnota střídavého zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu.

Nárazový zkratový proud I_{km} je největší vrcholová hodnota zkratového proudu, která nastane při prvním maximu.

Symetrický vypínací zkratový proud I_{vyp} je definován jako efektivní hodnota střídavého zkratového proudu v okamžiku vypnutí zkratu.

Stejnoseměrná složka vypínacího zkratového proudu I_{avyp} je střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu v čase vypnutí zkratu.

Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke} je efektivní hodnota fiktivního proudu harmonického průběhu, který za dobu trvání zkratu vyvine při průchodu rezistencí stejné množství tepla jako časově proměnný zkratový proud s největší možnou stejnosměrnou složkou.

Ustálený zkratový proud I_k je efektivní hodnota souměrného zkratového proudu, který protéká obvodem po odeznění přechodných dějů.

5 METODA VÝPOČTU SOUMĚRNÝCH A NESOUMĚRNÝCH ZKRATŮ S UVAŽOVÁNÍM ODPORU PORUCHY

Metody výpočtu zkratů v třífázové střídavé soustavě jsou dány českou technickou normou s označením ČSN EN 60909-0. Tato norma je platná pro výpočet v soustavách nn, vn, vvn a zvn při jmenovitých kmitočtech 50 Hz nebo 60 Hz. Soustavy s napětím větším než 550 kV jsou ovšem počítány zvláštními postupy.

5.1 Předpoklady výpočtu [2]

Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z následujících zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- Po celou dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedanci K_T pro síťové transformátory.
- Odpory oblouku se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Pro souměrné a nesouměrné zkraty je vhodné počítat zkratový proud metodou souměrných složek.

5.2 Ekvivalentní napěťový zdroj [2]

Je to zdroj, který se pro zjednodušení výpočtu zavádí do místa zkratu a stává se jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí (*Kapitola 5.4*).

$$\text{Jeho velikost je dána vztahem: } \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (5.1)$$

c - napěťový součinitel (*Tabulka 5.1*)

U_n - jmenovité napětí

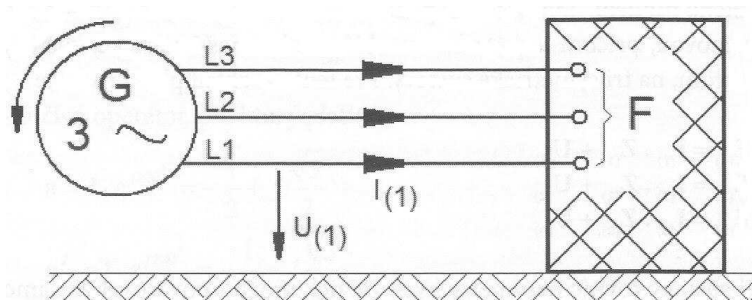
Tabulka 5.1 - Napěťový součinitel c [2]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max} ¹⁾	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V (IEC 60038, tab.I)	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Vysoké napětí > 1 kV až 35 kV (IEC 60038, tab.III)	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí ²⁾ > 35 kV (IEC 60038, tab.IV)		
¹⁾ Součin $c_{\max} \cdot U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení soustavy ²⁾ Pokud není definované jmenovité napětí, pak $c_{\max} \cdot U_n = U_m$ nebo $c_{\min} \cdot U_n = 0,9 \cdot U_m$ ³⁾ Pro m soustavy s tolerancí +6%, např. pro soustavy 400V ⁴⁾ Pro m soustavy s tolerancí +10%.		

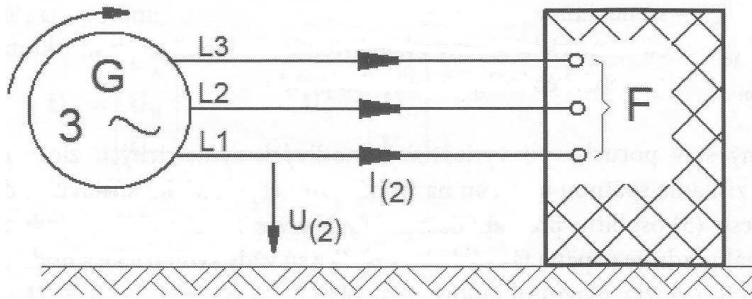
5.3 Souměrné složky [2]

Při předpokladu, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu je možné výpočet zkratových proudů zjednodušit použitím souměrných složek. Výsledkem této metody jsou tři dílčí zkratové impedance:

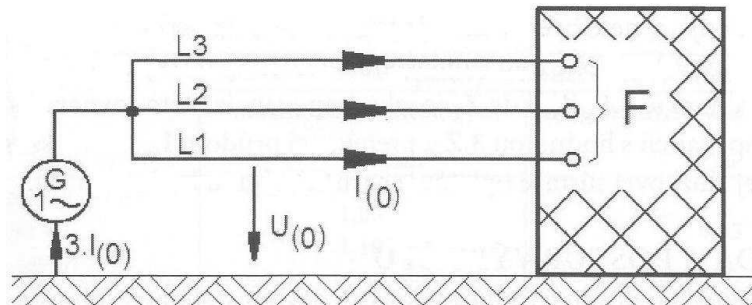
- sousledná složka zkratové impedance $Z_{(1)}$ (Obrázek 5.1),
- zpětná složka zkratové impedance $Z_{(2)}$ (Obrázek 5.2),
- netočivá složka zkratové impedance $Z_{(0)}$ (Obrázek 5.1).



Obrázek 5.1 - Sousledná složka zkratové impedance [2]



Obrázek 5.2 - Zpětná složka zkratové impedance [2]



Obrázek 5.3 - Netočivá složka zkratové impedance [2]

Je nutné rozlišovat mezi zkratovými impedancemi v místě zkratu F a mezi zkratovými impedancemi elektrických zařízení.

5.4 Zkratové impedance elektrických zařízení

U transformátorů, síťových napáječů, kabelů, venkovních vedení apod. jsou si sousledná a zpětná zkratová impedance soustavy rovny, tedy $Z_{(1)} = Z_{(2)}$. Netočivá zkratová impedance se určuje ze střídavého napětí mezi třemi paralelními vodiči a společným zpětným vedením, kterým protéká trojnásobek proudu netočivé složky. [2]

V případě, že se zkratové proudy počítají pomocí ekvivalentního napěťového zdroje, je nutné vynásobit impedance síťových transformátorů korekčním součinitelem K_T .

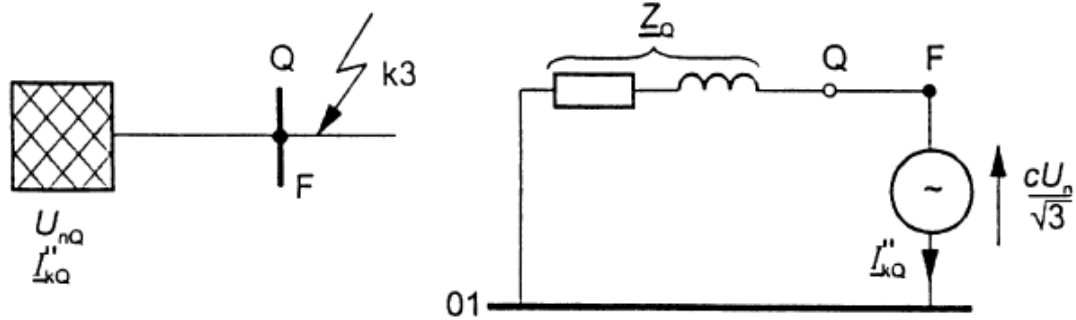
5.4.1 Síťové napáječe [2]

Jsou to teoretická nahrazení elektrizační soustavy jedním zdrojem. Pakliže je tento napáječ napájen přímo ze sítě (Obrázek 5.4), tedy bez použití transformátoru, a dojde k třífázovému zkratu, pak se jeho ekvivalentní impedance $Z_{Q(1)}$ (sousledná zkratová impedance) v bodě připojení napáječe Q určí rovnicí:

$$Z_{Q(1)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} \quad (5.2)$$

I_{kQ}'' - souměrný rázový zkratový proud v bodě Q

U_{nQ} - jmenovité napětí v bodě Q



Obrázek 5.4 - Síťový napáječ a jeho náhradní schéma pro třífázový zkrat [2]

Pokud se jedná o napáječe se jmenovitým napětím nad 35 kV napájených z venkovních vedení, je možné ekvivalentní impedanci Z_Q považovat za reaktanci, tj. $Z_Q = 0 + jX_Q$. V jiných případech, kdy není známa přesná hodnota rezistance R_Q , můžeme dosadit $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$, kde $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$.

5.4.2 Dvouvinuťové transformátory [2]

Sousledné zkratové impedance $Z_T = R_T + j \cdot X_T$ s odbočkami regulovatelnými při zatížení nebo bez nich je možné vypočítat z jmenovitých údajů tohoto transformátoru:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (5.3)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \quad (5.4)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (5.5)$$

I_{rT} - jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

U_{rT} - jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

S_{rT} - jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

P_{krT} - jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

u_{kr} - jmenovité napětí nakrátko v procentech

u_{Rr} - činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech

Potřebné údaje pro výpočet $Z_T = Z_{(1)} = Z_{(2)}$ a $Z_{(0)}$ lze získat ze štítku nebo od výrobce.

Korekční součinitel dvouvinuťového transformátoru určíme z rovnice:

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (5.6)$$

x_T - poměrná reaktance transformátoru

c_{\max} - z tabulky 5.1, odpovídá jmenovitému napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí

5.4.3 Trojvinuťové transformátory [2]

Jednotlivé zkratové impedance Z_A , Z_B a Z_C (Obrázek 5.5) lze vypočítat pomocí tří zkratových impedancí, které jsou vztaženy ke straně A:

$$\overline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \cdot \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (\text{strana C rozpojena}) \quad (5.7)$$

$$\overline{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \cdot \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\text{strana B rozpojena}) \quad (5.8)$$

$$\overline{Z}_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \cdot \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\text{strana A rozpojena}) \quad (5.9)$$

$$, \text{ kde } u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{Rr}^2} \quad (5.10)$$

Pomocí vzorců:

$$\overline{Z}_A = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{AB} + \overline{Z}_{AC} - \overline{Z}_{BC}) \quad (5.11)$$

$$\overline{Z}_B = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{BC} + \overline{Z}_{AB} - \overline{Z}_{AC}) \quad (5.12)$$

$$\overline{Z}_C = \frac{1}{2} \cdot (\overline{Z}_{AC} + \overline{Z}_{BC} - \overline{Z}_{AB}) \quad (5.13)$$

U_{rTA} - jmenovité napětí na straně A

S_{rTAB} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B

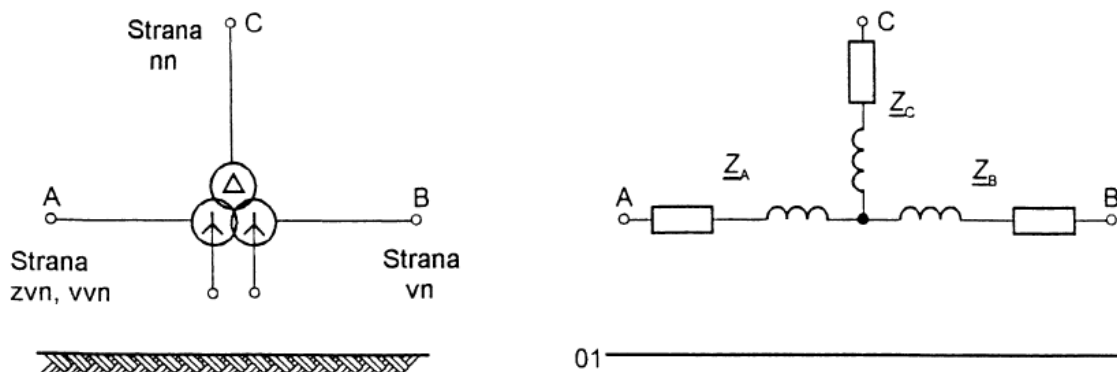
S_{rTAC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a C

S_{rTBC} - jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B a C

u_{RrAB} , u_{XrAB} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a B

u_{RrAC} , u_{XrAC} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a C

u_{RrBC} , u_{XrBC} - jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami B a C



Obrázek 5.5 - Zapojení vinutí a náhradní schéma trojvinuťového transformátoru [2]

Zpětné zkratové impedance se opět rovnají sousledným. Netočivé impedance lze získat u výrobce.

Korekční součinitele trojvinuťového transformátoru se určují pro každou stranu zvlášť podle těchto rovnic:

$$K_{TAB} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAB}} \quad (5.14)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAC}} \quad (5.15)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TBC}} \quad (5.16)$$

5.4.4 Venkovní vedení a kabely [2]

Souslednou zkratovou impedanci $Z_L = R_L + j \cdot X_L$ lze vypočítat z parametrů vodiče při 20°C podle vztahů:

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n} \quad (5.17)$$

R'_L - činná rezistance na jednotku délky

ρ - rezistivita (pro měď $\rho = 1/54 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$, pro hliník $\rho = 1/34 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)

q_n - jmenovitý průřez vodiče

$$X'_L = f \cdot \mu_0 \left(\frac{1}{4 \cdot n} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad (5.18)$$

d - geometrická střední vzdálenost mezi vodiči nebo středem svazku $d = \sqrt[3]{d_{L1L2} d_{L2L3} d_{L3L1}}$

r - poloměr jednoduchého vodiče, v případě svazkových vodičů se za r dosadí $r_B = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R^{n-1}}$, kde R je poloměr svazku

n - počet vodičů ve svazku (pro jednoduchý vodič $n = 1$)

μ_0 - absolutní permeabilita vakua ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$)

5.5 Výpočet zkratových proudů

Určení charakteristických hodnot z kapitoly 4.3. Tyto charakteristické hodnoty budeme počítat pouze pro jednofázový a třífázový zkrat.

5.5.1 Počáteční rázový zkratový proud [2]

5.5.1.1 Třífázový zkrat

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' se počítá pomocí napětí ekvivalentního zdroje v místě zkratu a zkratové impedance Z_k :

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (5.19)$$

5.5.1.2 Jednofázový zkrat

Počáteční rázový zkratový proud I_{k1}'' se vypočítá:

$$\overline{I_{k1}''} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \quad (5.20)$$

Pro elektricky vzdálený zkrat platí $Z_{(1)} = Z_{(2)}$, proto se dá tato rovnice zjednodušit na tvar:

$$\overline{I_{k1}''} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)} + Z_{(0)}|} \quad (5.21)$$

5.5.2 Nárazový zkratový proud [2]

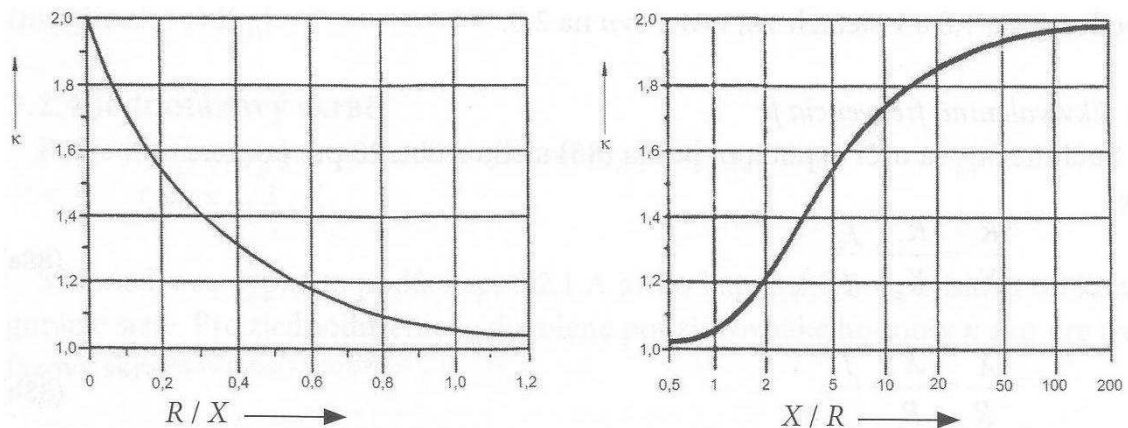
5.5.2.1 Trojfázový zkrat

Nárazový zkratový proud při trojfázovém zkratu je dán rovnicí:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (5.22)$$

κ - součinitel pro poměr R / X nebo X / R , určuje se podle obrázku 5.6 nebo rovnice:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3R/X} \quad (5.23)$$



Obrázek 5.6 - Součinitel κ pro sériové obvody jako funkce R / X nebo X / R [2]

5.5.2.2 Jednofázový zkrat

Pro jednofázový zkrat se nárazový zkratový proud vypočítá:

$$i_{p1} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}'' \quad (5.24)$$

Pro zjednodušení je dovoleno používat stejný součinitel κ jako pro třífázový zkrat.

5.5.3 Stejnoseměrná složka zkratového proudu [2]

Maximální stejnosměrná složka zkratového proudu se vypočítá ze vztahu:

$$i_{d.c.} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot t \cdot R / X} \quad (5.25)$$

f - jmenovitý kmitočet

t - čas

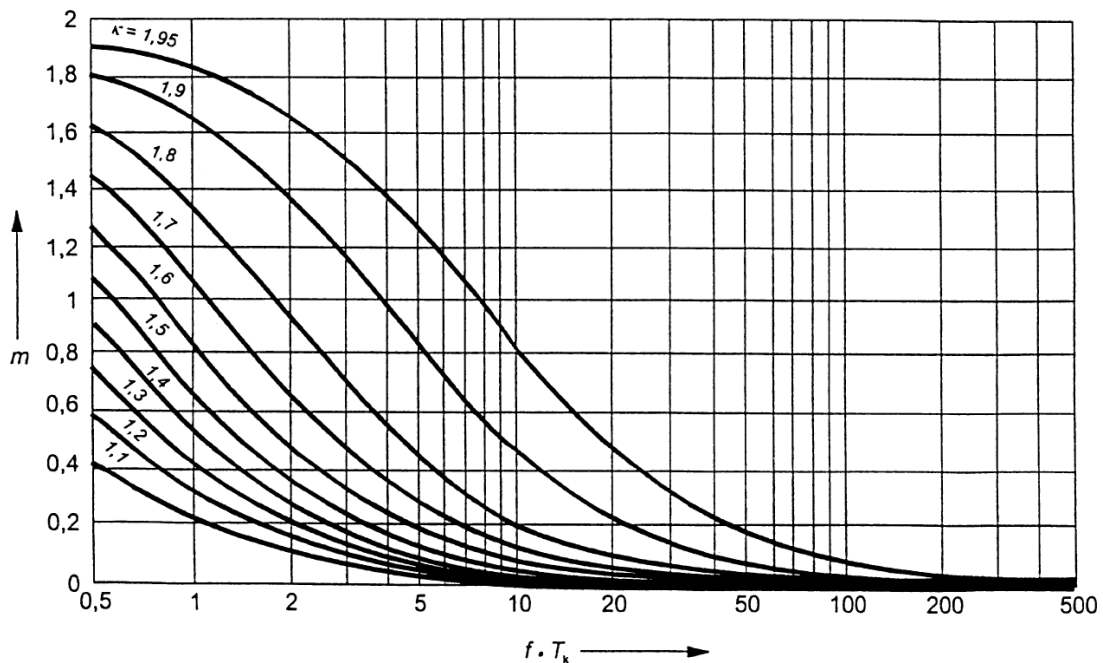
5.5.4 Ekvivalentní oteplovací zkratový proud [2]

Vypočítá se z rovnice:

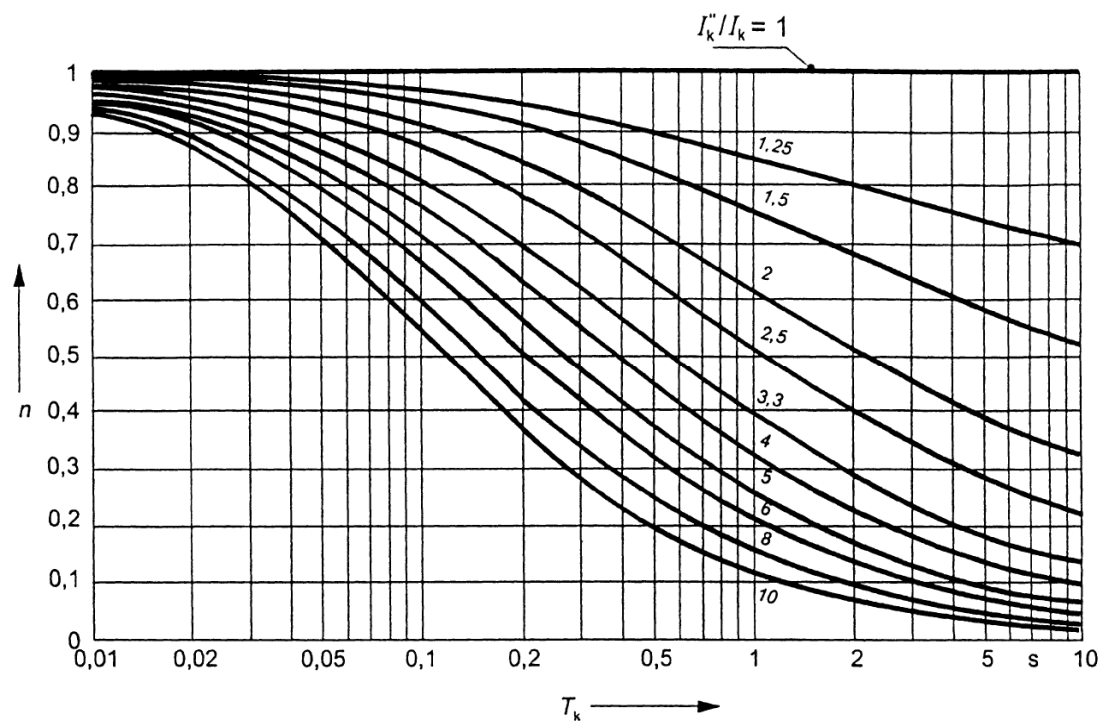
$$i_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.26)$$

m - součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu (Obrázek 5.7)

n - součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu (Obrázek 5.8)



Obrázek 5.7 - Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [2]



Obrázek 5.8 - Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [2]

6 ELEKTRICKÉ OCHRANY

Elektrické ochrany jsou nutné k zabezpečení spolehlivého a bezpečného provozu elektrizační soustavy, a proto jsou její velmi důležitou součástí. Jejich úlohou je na základě porovnání vstupních informací a nastavených parametrů rozhodnout, jestli se jedná o poruchový nebo dovolený provozní stav.

6.1 Základní požadavky na elektrické ochrany [4]

Elektrické ochrany mají zajistit za nenormálního či poruchového stavu elektrizační soustavy několik funkcí. Mezi ty patří hlavně vypnutí příslušného úseku či zařízení, a tím omezení následků poruch a zamezení jejímu rozšíření na jiné části soustavy, a předávat informace obsluze nebo automatikám, které provedou zásahy vedoucí k obnovení normálního provozu.

Základní požadavky tedy jsou:

- selektivita - zajistit vypnutí pouze daného úseku,
- spolehlivost - být připraveny kdykoliv zapůsobit,
- citlivost - rozlišit poruchy v hlídaném úsek od poruch mimo něj,
- rychlost - zajistit co nejkratší dobu vypnutí.

6.2 Dělení elektrických ochran [4]

Elektrické ochrany můžeme dělit podle nejrůznějších kritérií:

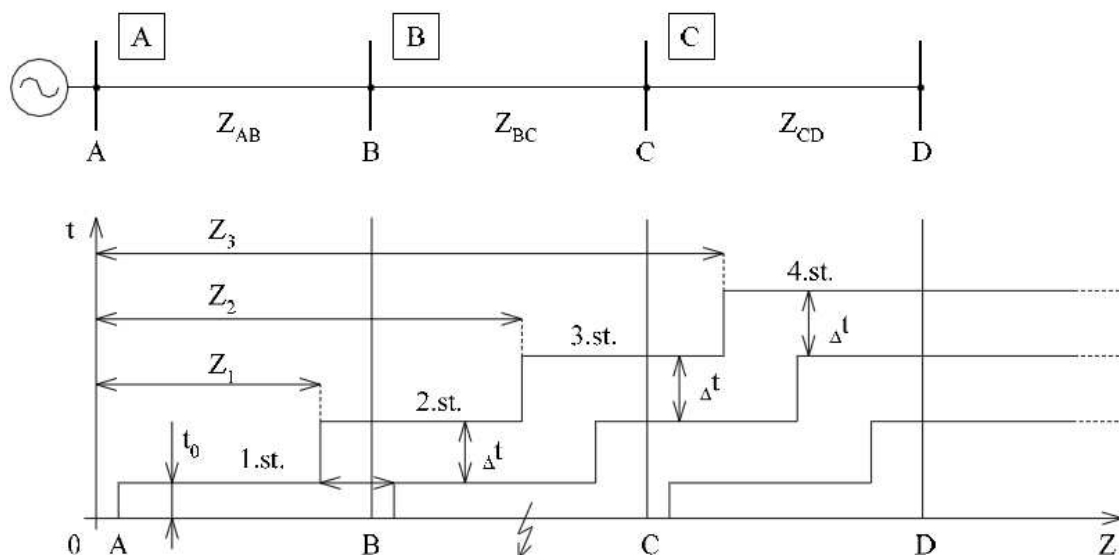
- podle druhu chráněného objektu,
- podle druhu poruchy,
- podle měřené veličiny,
- podle doby působení,
- podle konstrukce.

Pro tuto práci je důležité zejména rozdělení podle měřené veličiny na ochrany:

- proudové,
- distanční (impedanční),
- napěťové,
- srovnávací (rozdílová),
- wattové,
- kmitočtové,
- zpětné složky proudu či napětí.

7 DISTANČNÍ (IMPEDANČNÍ) OCHRANY

Distanční ochrany jsou založeny na principu vyhodnocování impedancí (vzdálenosti místa poruchy) a patří mezi stupňovité ochrany, které se navzájem zálohují. Jejich vypínací charakteristika je zobrazena na *obrázku 7.1*. I přes to, že se ochrany navzájem zálohují, tak se jejich vypínací časy pro poruchy v chráněných úsecích směrem ke zdroji neprodlužují. Což je jejich základní výhodou.



Obrázek 7.1 - Vypínací plán distančních ochran [4]

V tomto obrázku t_0 určuje vlastní čas působení ochrany a v praxi se pohybuje v rozmezí 10 až 50 ms. Časový koordinační interval je označen jako Δt a v praxi je 0,2 až 0,5 s.

Distanční ochrana se zpravidla skládá z těchto členů:

- popudový - zjišťuje, zda vznikl v chráněné soustavě zkrat, může být nadproudový nebo impedanční,
- měřicí - bývá realizován jako amplitudový či fázový komparátor anebo číslicově (u digitálních ochran),
- směrový - určuje, zda zkrat leží ve směru působnosti ochrany,
- časový,
- logika - rozhoduje o vypnutí. [4]

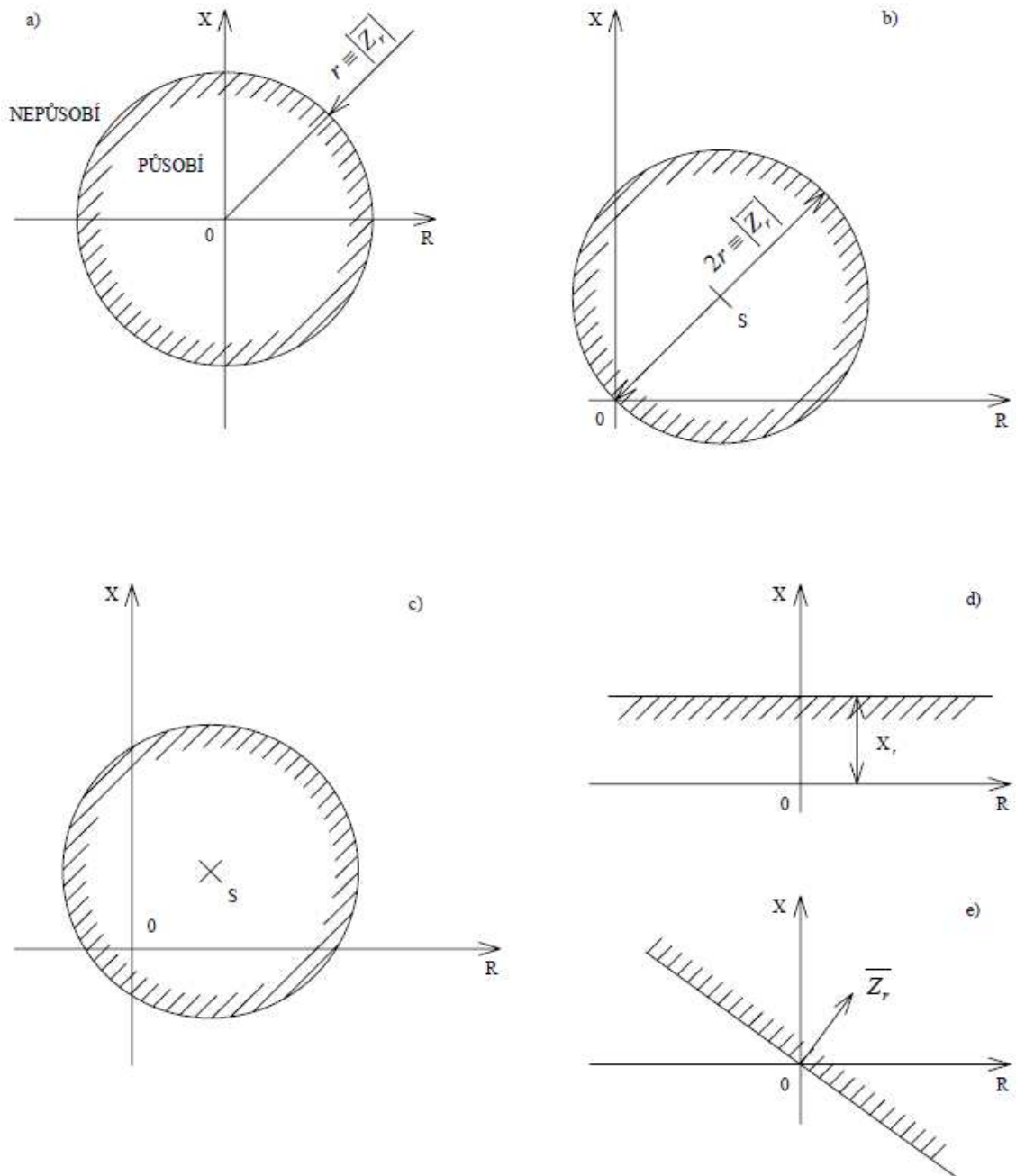
7.1 Měřicí členy distančních ochran [4]

Je to základní prvek distančních ochran, který na základě vstupních hodnot (napětí a proud v místě ochrany) měří impedanci Z . Při jejím poklesu pod předem nastavenou hodnotu Z_r dává popud k vypnutí úseku.

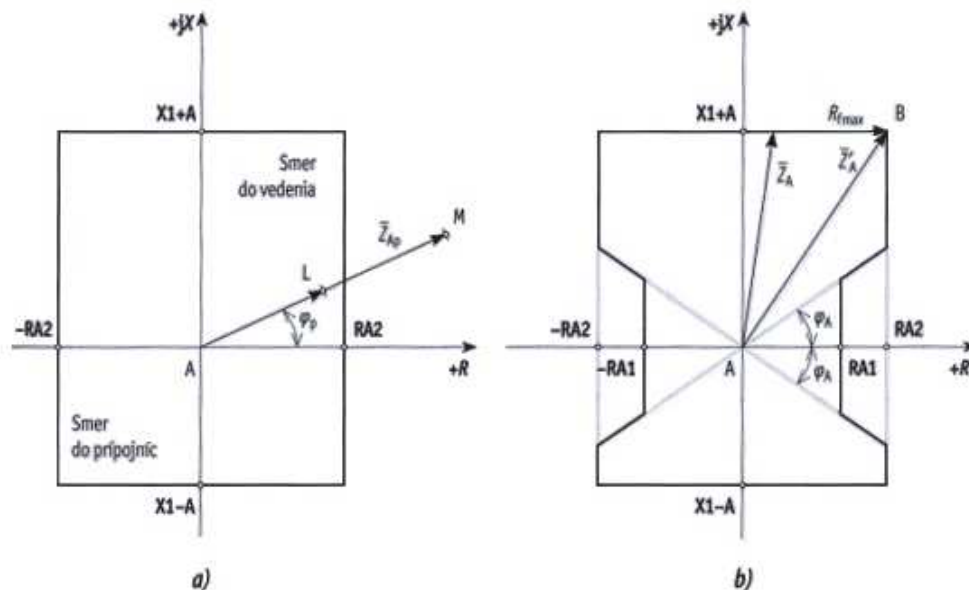
Na *obrázku 7.2* jsou uvedeny nejvíce používané charakteristiky měřicích členů:

- impedanční s kruhovou charakteristikou ve středové poloze (*Obrázek 7.2 a*),

- tzv. „mho“ procházející počátkem (Obrázek 7.2 b),
- tzv. „offset mho“, což je vysunutá charakteristika mho (Obrázek 7.2 c),
- reaktanční charakteristika (Obrázek 7.2 d),
- přímková procházející počátkem, tzv. směrová (Obrázek 7.2 e),
- polygonový tvar impedanční charakteristiky (Obrázek 7.3).



Obrázek 7.2 - Vypínací charakteristiky distančních ochran [4]



Obrázek 7.3 - Polygonový tvar impedanční charakteristiky

- a) obdélníkový tvar,
 b) fázově závislý tvar. [5]

Charakteristiky je možné podle potřeby různě měnit pomocí komparátorů (amplitudové a fázové) a nebo pomocí relé (statické a číslicové) tak, aby vyhovovaly provozním potřebám a konfiguraci sítě.

V trojfázové účinně uzemněné soustavě se může vyskytnout 11 druhů zkratů:

- jednopólové - L1 - N, L2 - N, L3 - N,
- dvoupólové izolované - L1 - L3, L2 - L1, L3 - L2,
- dvoupólové zemní - L1 - L3 - N, L2 - L1 - N, L3 - L2 - N,
- trojpólové izolované - L1 - L2 - L3,
- trojpólové zemní - L1 - L2 - L3 - N.

Ochrany musí zapůsobit na všechny typy zkratů, což se řeší jednou ze tří metod, které se od sebe odlišují počtem měřících členů:

- jednosystémová - pouze jeden měřící člen, potřebuje volbu s pevnou logikou (Tabulka 7.1), která podle náběhu rozběhových členů určí typ poruchy, je poměrně levná, ale nejméně spolehlivá,
- trojsystémová - tři měřící členy, které normálně měří mezifázové zkraty, při zemním zkratu se tyto měřící členy přepnou do zapojení fáze - zem,
- šestisystémová - šest měřících členů, kde tři měří mezifázové zkraty a zbylé tři měří jednofázové zkraty, čímž se pokryje všech 11 typů zkratu, jedné se o nejspolehlivější metodu, ale také nejdražší. [5]

Tabulka 7.1 - Logika výběru poruchové smyčky pro měřící člen [5]

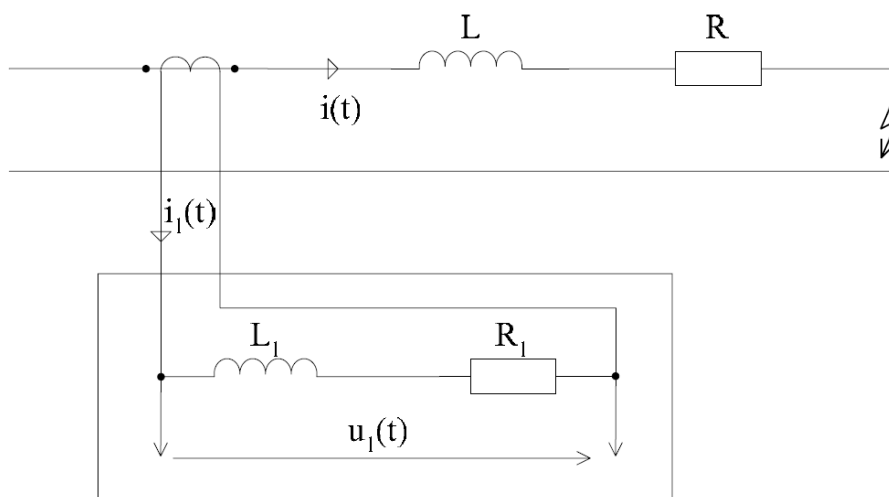
Typ zkratu	Nabíhající rozběhový člen	Volba proudu pro měřící člen	Volba napětí pro měřící člen
L1 - N	L1, N	L1 - N	L1 - N
L2 - N	L2, N	L2 - N	L2 - N
L3 - N	L3, N	L3 - N	L3 - N
L1 - L3	L1, L3	L1	L1 - L3
L2 - L1	L2, L1	L2	L2 - L1
L3 - L2	L3, L2	L3	L3 - L2
L1 - L3 - N	L1, L3, N	L1 - N	L1 - N
L2 - L1 - N	L2, L1, N	L2 - N	L2 - N
L3 - L2 - N	L3, L2, N	L3 - N	L3 - N
L1 - L2 - L3	L1, L2, L3	L1	L1 - L3

7.2 Kompenzace stejnosměrné složky [4]

Základní rovnice měřících členů vychází ze zjednodušujícího předpokladu, že vstupní napětí a proudy jsou harmonického průběhu. Tato základní rovnice pro měřenou impedanci má tvar:

$$\bar{Z} = R + j \cdot X = \frac{\bar{U}}{\bar{I}} = Z \angle \varphi \quad (7.1)$$

Tento vztah však neplatí, pokud zkratový proud obsahuje stejnosměrnou složku. Naštěstí dokážeme pomocí tzv. „modelové impedance“ (Obrázek 7.4) tuto nevhodící se složku odfiltrovat.



Obrázek 7.4 - Modelová impedance [4]

7.3 Kompenzace při zemních zkratech [4]

V praxi se dosah jednotlivých měřících členů nastavuje podle velikosti sousledné impedance chráněného vedení. Je-li distanční ochrana vybavena samostatnými měřícími členy působícími při dvoupólových izolovaných zkratech, tak se při jejím seřizování musí počítat s tím, že bude měřit dvojnásobnou impedanci. Má-li ochrana pouze jeden měřící člen, tak se působením popudových členů při zjištění dvoupólového izolovaného zkratu změní citlivost měřícího členu v poměru 1:2.

Dále také při zemních zkratech provádíme korekci vzhledem k rozdílným impedancím mezi fázemi a zpětnou cestou proudu zemí, pokud je dosah měřícího členu seřizen podle sousledné impedance.

7.4 Nastavení měřících členů [4]

Distanční ochrany se provádí se třemi až čtyřmi stupni s časovým odstupňováním pro selektivní působení. Při nastavování jednotlivých stupňů musí být brána v potaz rozlišovací schopnost měřícího impedančního členu, většinou se počítá s chybou měření 10 až 20%.

Vzhledem k možným chybám měření impedance se doporučuje všeobecně provádět nastavení dosahu jednotlivých stupňů následovně pro nastavení ochrany v místě A (Obrázek 7.1):

1. rychlý stupeň - $Z_1 = k \cdot Z_{AB}$, kde k je bezpečnostní koeficient, který závisí na očekávané přesnosti měření impedance a bývá 0,8 až 0,9,
2. stupeň - $Z_2 = k \cdot (Z_{AB} + k \cdot Z_{BC})$,
3. stupeň - $Z_3 = k \cdot [Z_{AB} + k \cdot (Z_{BC} + k \cdot Z_{CD})]$,
4. stupeň: dosah je dán citlivostí popudového členu ochrany.

Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CD} jsou sousledné impedance jednotlivých úseků.

Na obrázku 7.1 je také patrné, že mezi nastavením jednotlivých stupňů je jistá rezerva, daná chybami měření. Tato rezerva se používá, aby nedošlo k působení dvou ochrany zároveň, což je nežádoucí.

7.5 Nastavení popudových členů [4]

Nejčastěji bývají popudové členy nadproudové nebo impedanční („mho“ nebo „offset mho“). Nadproudové popudové členy se nastavují podle stejných zásad jako nadproudové nezávislé ochrany. U impedančních popudových členů platí podmínka, že popudový člen nesmí působit při normálním provozu:

$$Z_r \leq Z_{\min} = \frac{U_{\min}}{I_{\max}} \quad (7.2)$$

Z_r - nastavení impedančního popudového členu s oblastí působení vymezenou příslušnou charakteristikou

U_{\min} - nejnižší očekávané napětí v normálním provozu, obvykle $U_{\min} = 0,9 \cdot U_n$

I_{\max} - největší proud vedení, obvykle dovolené proudové zatížení vedení

Aby popudový člen zachytil i zkraty v sousedním úseku, který zálohuje, musí platit:

$$Z_r \geq k_c \cdot Z_{k \max} \quad (7.3)$$

k_c - koeficient citlivosti, doporučuje se $k_c > 1,5$

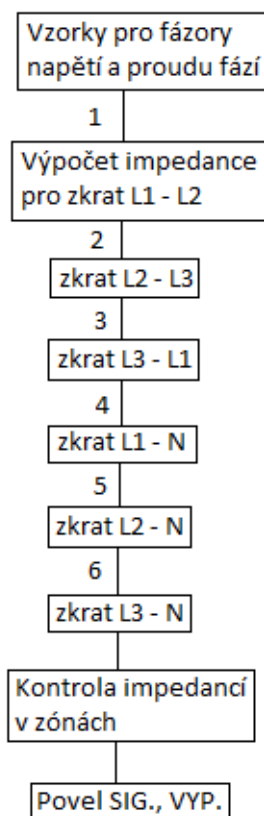
$Z_{k \max}$ - největší hodnota zkratové impedance měřená ochranou při zkratu na konci chráněného úseku

Citlivost nastavení ochran se kontroluje pro zkraty jednofázové, dvoufázové a dvoufázové zemní.

7.6 Digitální distanční ochrany [5]

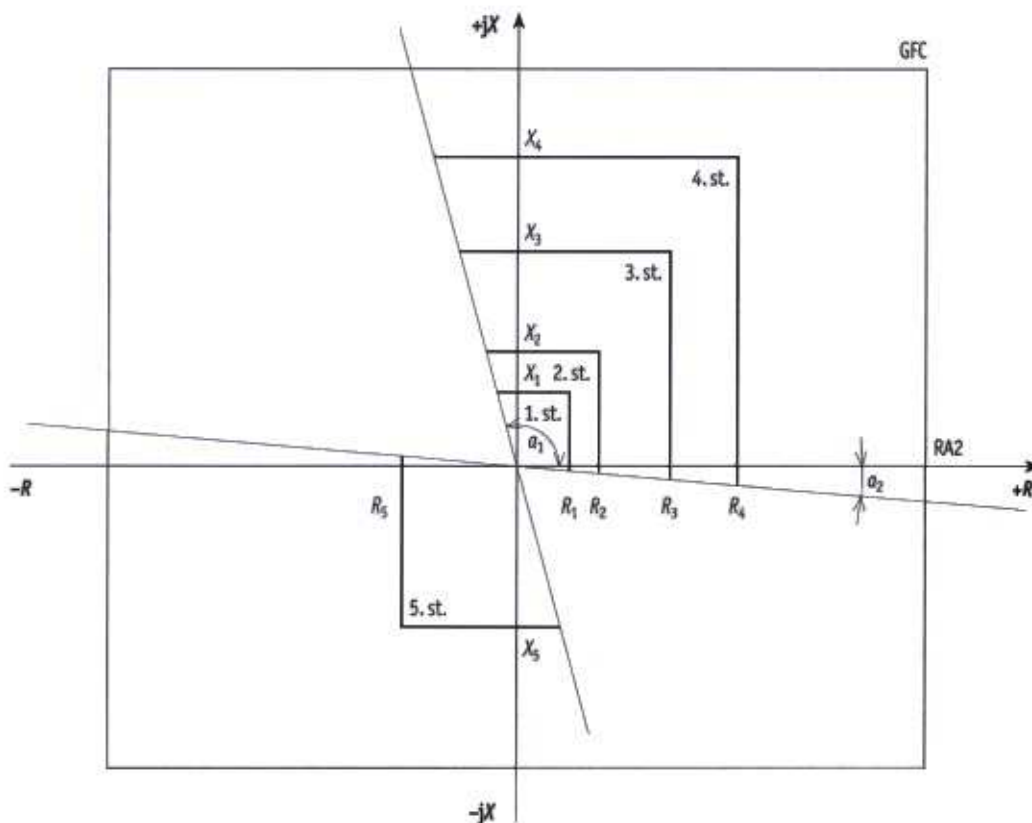
Úlohou distanční ochrany je chránit trojfázové vedení pro jeden terminál. Algoritmy digitálních ochran jsou založeny na výpočtu velikosti impedance poruchové smyčky. Nejprve se vždy musí určit typ zkratu.

Nejjednodušší algoritmus se skládá z šesti bloků, ve kterých se postupně zjišťuje, o jaký zkrat se jedná (Obrázek 7.5). Ve třech krocích se určují jednofázové zemní zkraty a v následujících třech mezifázové zkraty. Nejprve se ze změřených vzorků v poruchovém stavu určí fázory napětí a proudu jednotlivých fází. Z těchto fázorů se poté během oněch šesti kroků spočítá všech šest impedancí poruchových smyček. Po porovnání těchto vypočítaných impedancí s nastavenou charakteristikou ochrany bude pouze jedna hodnota správná a ta určí typ zkratu a místo poruchy. Dále se určí pro daný typ poruchy zóna, vypínací čas a dá se povel k vypnutí výkonového vypínače.



Obrázek 7.5 - Vývojový diagram šestisystémové digitální distanční ochrany [5]

Nynější digitální ochrany používají lichoběžníkový typ charakteristiky (Obrázek 7.6).



Obrázek 7.6 - Impedanční charakteristika digitální distanční ochrany [5]

7.7 Výhody a nevýhody distančních ochran [4]

Výhody:

- Poměrně dobrá selektivita.
- Malé zpoždění při likvidaci zkratů vzniklých v prvním stupni, což přispívá k udržení stability chodu elektrizační soustavy.
- Mnohem vyšší citlivost při zkratu než u nadproudových ochran.

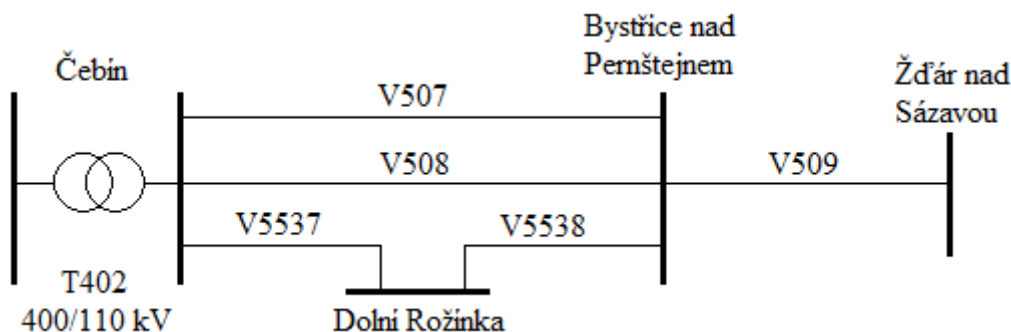
Nevýhody:

- Složitost ochrany a vysoká cena.
- Reagují na kývání a přetížení. Nutno je vybavit závorou proti kývání nebo vhodnou konstrukcí charakteristik měřících členů.
- Při nastavování jednotlivých stupňů ochrany je přesnost měření částečně ovlivňována příčnými admitancemi vedení.
- Potíže při nastavení druhého a dalšího stupně při složitějších zapojeních sítě.

8 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ V ZADANÉ SÍTI

8.1 Informace o zadané síti

Na obrázku 8.1 je zobrazena zadaná síť a v příloze A můžeme tuto síť vidět i s jejím okolím. Celá síť 110 kV patří společnosti E.ON.



Obrázek 8.1 - Schéma zadané sítě

Zadaná síť je za běžného provozu napájena z transformátoru T402 (400/110 kV; 350 MVA) v rozvodně Čebín. V případě poruchy tohoto transformátoru jsou v rozvodně Čebín další dva transformátory o stejných parametrech, které by tuto síť také mohly zásobovat energií. Pokud by v rozvodně Čebín došlo k závažnější poruše, lze celou tuto síť napájet sepnutím vedení V509, které ji spojuje s rozvodnou ve Žďáru nad Sázavou.

V rozvodnách Bystřice nad Pernštejnem a Dolní Rožínka jsou vždy dva transformátory 110/22 kV o výkonu 40 MVA.

Jsou známy hodnoty zkratových výkonů na úrovni 400 kV v rozvodně Čebín, třífázový má velikost 15481 MVA a jednofázový 13522 MVA.

Dále jsou známy parametry transformátoru T402: $S_{nT} = 350$ MVA; $u_T = 13\%$; $t_r = 400 / 121$; jádrový.

Následující tabulka shrnuje parametry vedení v zadané síti.

Tabulka 8.1 - Zadané parametry vedení

Vedení	Část vedení	Délka [km]	Typ fáze/zem - č. typu	R_1 [ohm/km]	R_o/R_1	X_1 [ohm/km]	X_o/X_1
V507	1	0,915	AlFe185/KZL 26	0,156	1,810	0,401	2,650
	2	27,885	AlFe185/FE 19	0,156	2,560	0,389	3,340
V508	1	0,915	AlFe185/KZL 26	0,156	1,810	0,401	2,650
	2	27,885	AlFe185/FE 19	0,156	2,560	0,389	3,340
V509	1	21,786	AlFe185/KZL 9	0,156	1,820	0,406	2,680
V5537	1	26,470	AlFe240/KZL 13	0,125	2,400	0,403	2,730
	2	0,846	AlFe240/KZL 27	0,125	1,970	0,405	2,650
V5538	1	8,394	AlFe240/KZL 13	0,125	2,400	0,403	2,730
	2	0,846	AlFe240/KZL 27	0,125	1,970	0,405	2,650

8.2 Výpočet náhradních impedancí obvodu

Vzhledem k tomu, že vedení V509 zůstává v běžném provozu odpojené, nebudeme s ním při výpočtu zkratových proudů počítat. Budeme počítat jednofázový a třífázový zkrat v rozvodně Bystřice nad Pernštejnem napájený z rozvodny Čebín. Počítáme také s tím, že sousledná a zpětná složka impedancí všech náhradních prvků je stejná.

8.2.1 Náhradní impedance síťového napáječe

$$Z_{Q(1)} = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_{k3f}''} \cdot \left(\frac{1}{t_r}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot (400 \cdot 10^3)^2}{15481 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{121}{400}\right)^2 = 1,040 \Omega \quad (8.1)$$

$$\overline{Z}_{Q(1)} = j \cdot Z_{Q(1)} = j \cdot 1,040 \Omega \quad (8.2)$$

$$Z_{Q(0)} = \frac{3 \cdot c \cdot U_{nQ}^2}{S_{k1f}''} \cdot \left(\frac{1}{t_r}\right)^2 - 2 \cdot Z_{Q(1)} = \frac{3 \cdot 1,1 \cdot (400 \cdot 10^3)^2}{13522 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{121}{400}\right)^2 - 2 \cdot 1,040 = 1,493 \Omega \quad (8.3)$$

$$\overline{Z}_{Q(0)} = j \cdot Z_{Q(0)} = j \cdot 1,493 \Omega \quad (8.4)$$

8.2.2 Náhradní impedance transformátoru

$$Z_T = u_{kT} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = 0,13 \cdot \frac{(121 \cdot 10^3)^2}{350 \cdot 10^6} = 5,438 \Omega \quad (8.5)$$

Pokud uvažujeme pouze reaktanci transformátoru, platí $u_T \approx x_T$.

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,13} = 0,969 \quad (8.6)$$

$$\overline{Z}_{T(1)} = j \cdot Z_T \cdot K_T = j \cdot 5,438 \cdot 0,969 = j \cdot 5,269 \Omega \quad (8.7)$$

Z publikace [7] převezmeme vztah, který přibližně platí pro výpočet netočivé impedance jádrového transformátoru:

$$\overline{Z}_{T(0)B} = 0,85 \cdot \overline{Z}_{T(1)} = 0,85 \cdot j \cdot 5,269 = j \cdot 4,479 \Omega \quad (8.8)$$

$$X_{T(0)} = \left| \overline{Z}_{T(0)B} \right| = 4,479 \Omega \quad (8.9)$$

$$x_{T(0)} = \frac{X_{T(0)} \cdot S_{nT}}{U_{nT}^2} = \frac{4,479 \cdot 350 \cdot 10^6}{(121 \cdot 10^3)^2} = 0,107 \quad (8.10)$$

$$K_{T(0)} = 0,95 \cdot \frac{c}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,107} = 0,982 \quad (8.11)$$

$$\overline{Z}_{T(0)} = \overline{Z}_{T(0)B} \cdot K_{T(0)} = j \cdot 4,479 \cdot 0,982 = j \cdot 4,398 \Omega \quad (8.12)$$

8.2.3 Náhradní impedance vedení

Protože výpočet náhradních impedancí vedení je pro všechna vedení stejný, provedeme tento výpočet pouze pro vedení V507 a všechny ostatní náhradní impedance pouze vypíšeme do tabulky 8.2.

$$\begin{aligned}\overline{Z_{V507(1)}} &= l_1 \cdot (R_{1k1} + j \cdot X_{1k1}) + l_2 \cdot (R_{1k2} + j \cdot X_{1k2}) = \\ &= 0,915 \cdot (0,156 + j \cdot 0,401) + 27,885 \cdot (0,156 + j \cdot 0,389) = (4,493 + j \cdot 11,214)\Omega\end{aligned}\quad (8.13)$$

$$\begin{aligned}\overline{Z_{V507(0)}} &= l_1 \cdot \left[R_{1k1} \cdot \left(\frac{R_{0k1}}{R_{1k1}} \right) + j \cdot X_{1k1} \cdot \left(\frac{X_{0k1}}{X_{1k1}} \right) \right] + l_2 \cdot \left[R_{1k2} \cdot \left(\frac{R_{0k2}}{R_{1k2}} \right) + j \cdot X_{1k2} \cdot \left(\frac{X_{0k2}}{X_{1k2}} \right) \right] = \\ &= 0,915 \cdot (0,156 \cdot 1,810 + j \cdot 0,401 \cdot 2,650) + 27,885 \cdot (0,156 \cdot 2,560 + j \cdot 0,389 \cdot 3,340) = \\ &= (11,395 + j \cdot 37,202)\Omega\end{aligned}\quad (8.14)$$

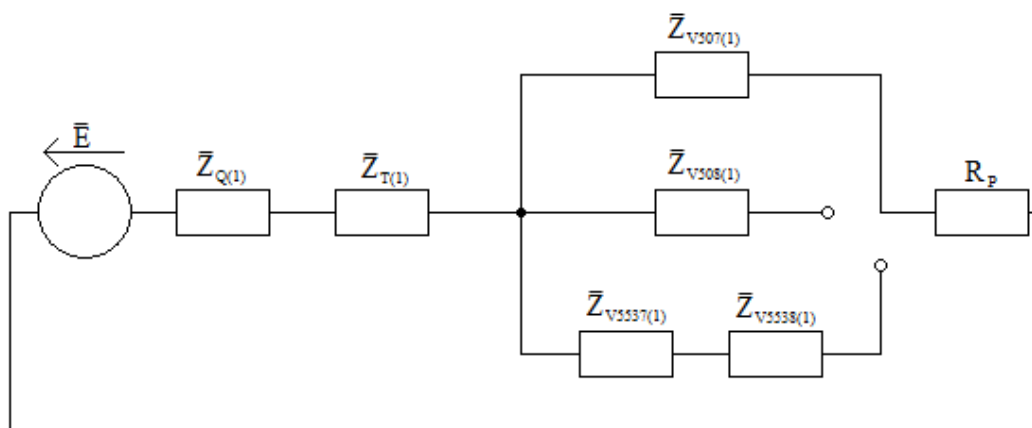
Tabulka 8.2 - Náhradní impedance vedení

Vedení	$\overline{Z_{V(1)}} = \overline{Z_{V(2)}} \text{ } [\Omega]$	$\overline{Z_{V(0)}} \text{ } [\Omega]$
V507	$4,493 + j \cdot 11,214$	$11,395 + j \cdot 37,202$
V508	$4,493 + j \cdot 11,214$	$11,395 + j \cdot 37,202$
V5537	$3,415 + j \cdot 11,010$	$8,149 + j \cdot 30,030$
V5538	$1,155 + j \cdot 3,725$	$2,727 + j \cdot 10,143$

8.3 Výpočet zkratových proudů

Zkratový proud má tři možné cesty, kterými může procházet, a to přes vedení V507, V508 nebo V5538 (a následně přes V5537), je tedy nutné vypočítat zkratové proudy pro všechny tři možnosti. Protože vedení V507 a V508 mají stejné náhradní impedance, bude i zkratový proud, který přes ně přechází stejný, čímž se počet cest, které budeme počítat, zmenší na dvě. Všechny zkratové proudy budeme počítat s uvažováním odporu poruchy $R_p = 20 \Omega$.

8.3.1 Třífázový zkrat přes vedení V507



Obrázek 8.2 - Schéma pro třífázový zkrat přes vedení V507

Celková sousledná složka zkratové impedance:

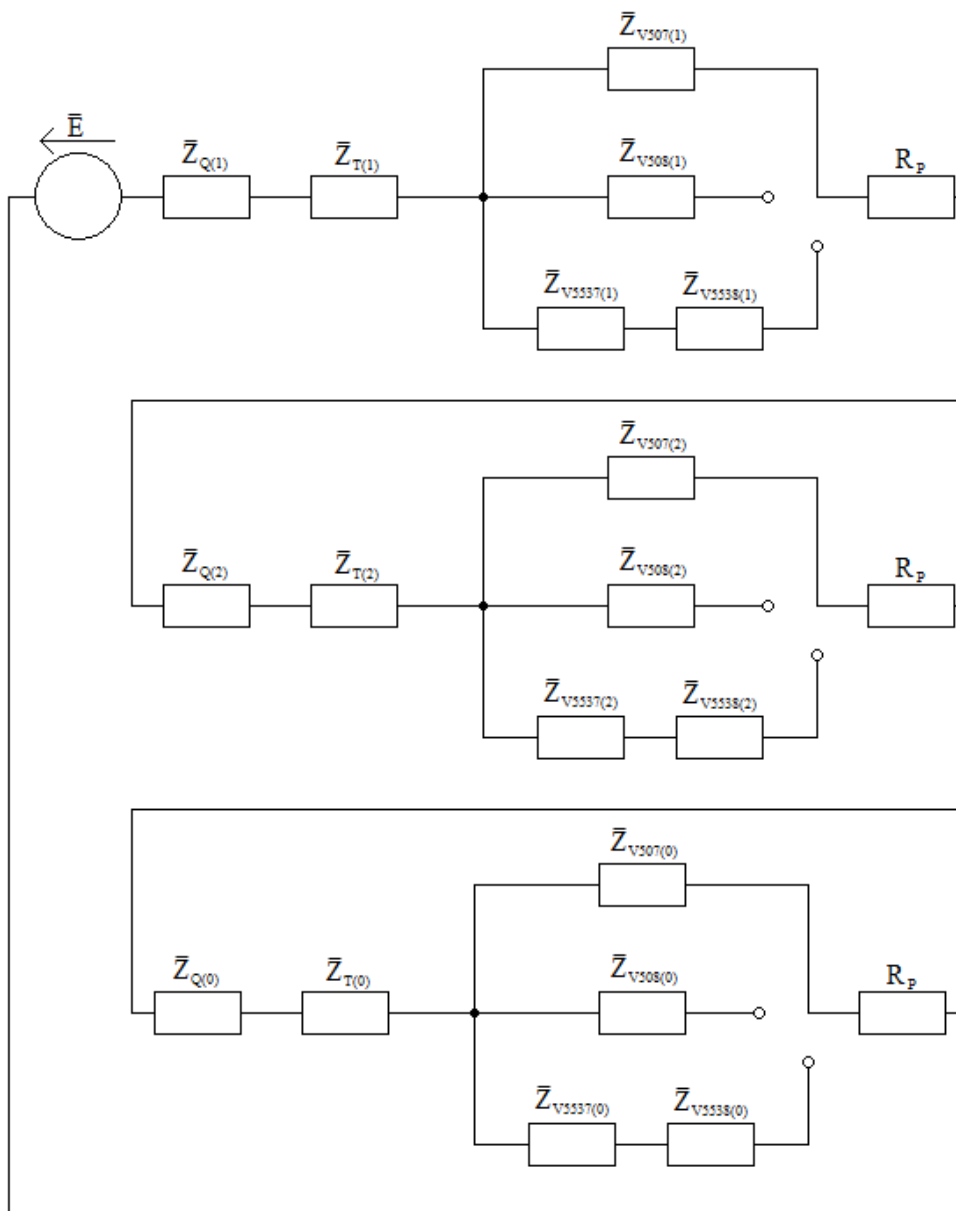
$$\begin{aligned} \overline{Z_{C(1)}} &= \overline{Z_{Q(1)}} + \overline{Z_{T(1)}} + \overline{Z_{V507(1)}} + R_p = j \cdot 1,040 + j \cdot 5,269 + 4,493 + j \cdot 11,214 + 20 = \\ &= (24,493 + j \cdot 17,523)\Omega \end{aligned} \quad (8.15)$$

$$|\overline{Z_{C(1)}}| = \sqrt{24,493^2 + 17,523^2} = 30,116\Omega \quad (8.16)$$

Počáteční rázový zkratový proud třífázového zkratu:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z_{C(1)}}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 30,116} = 2319,677 \text{ A} \quad (8.17)$$

8.3.2 Jednofázový zkrat přes vedení V507



Obrázek 8.3 - Schéma pro jednofázový zkrat přes vedení V507

Celková sousledná a zpětná složka zkratové impedance je již spočítána v rovnici (8.15). Určíme celkovou netočivou složku zkratové impedance:

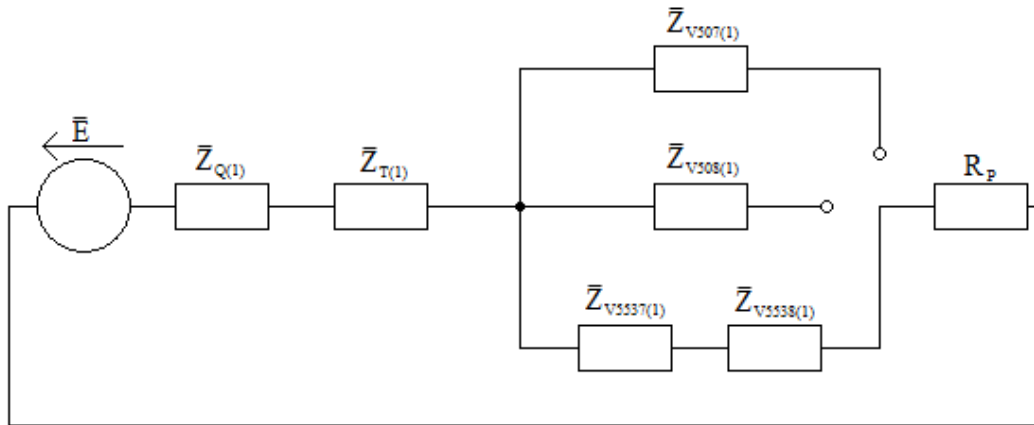
$$\begin{aligned} \overline{Z_{C(0)}} &= \overline{Z_{Q(0)}} + \overline{Z_{T(0)}} + \overline{Z_{V507(0)}} + R_P = j \cdot 1,493 + j \cdot 4,398 + 11,395 + j \cdot 37,202 + 20 = \\ &= (31,395 + j \cdot 43,093)\Omega \end{aligned} \quad (8.18)$$

$$|\overline{Z_{C(0)}}| = \sqrt{31,395^2 + 43,093^2} = 53,317\Omega \quad (8.19)$$

Počáteční rázový zkratový proud jednofázového zkratu:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot \left| \overline{Z_{C(1)}} \right| + \left| \overline{Z_{C(0)}} \right|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 30,116 + 53,317} = 1845,707 \text{ A} \quad (8.20)$$

8.3.3 Třífázový zkrat přes vedení V5538



Obrázek 8.4 - Schéma pro třífázový zkrat přes vedení V5538

Celková sousledná složka zkratové impedance:

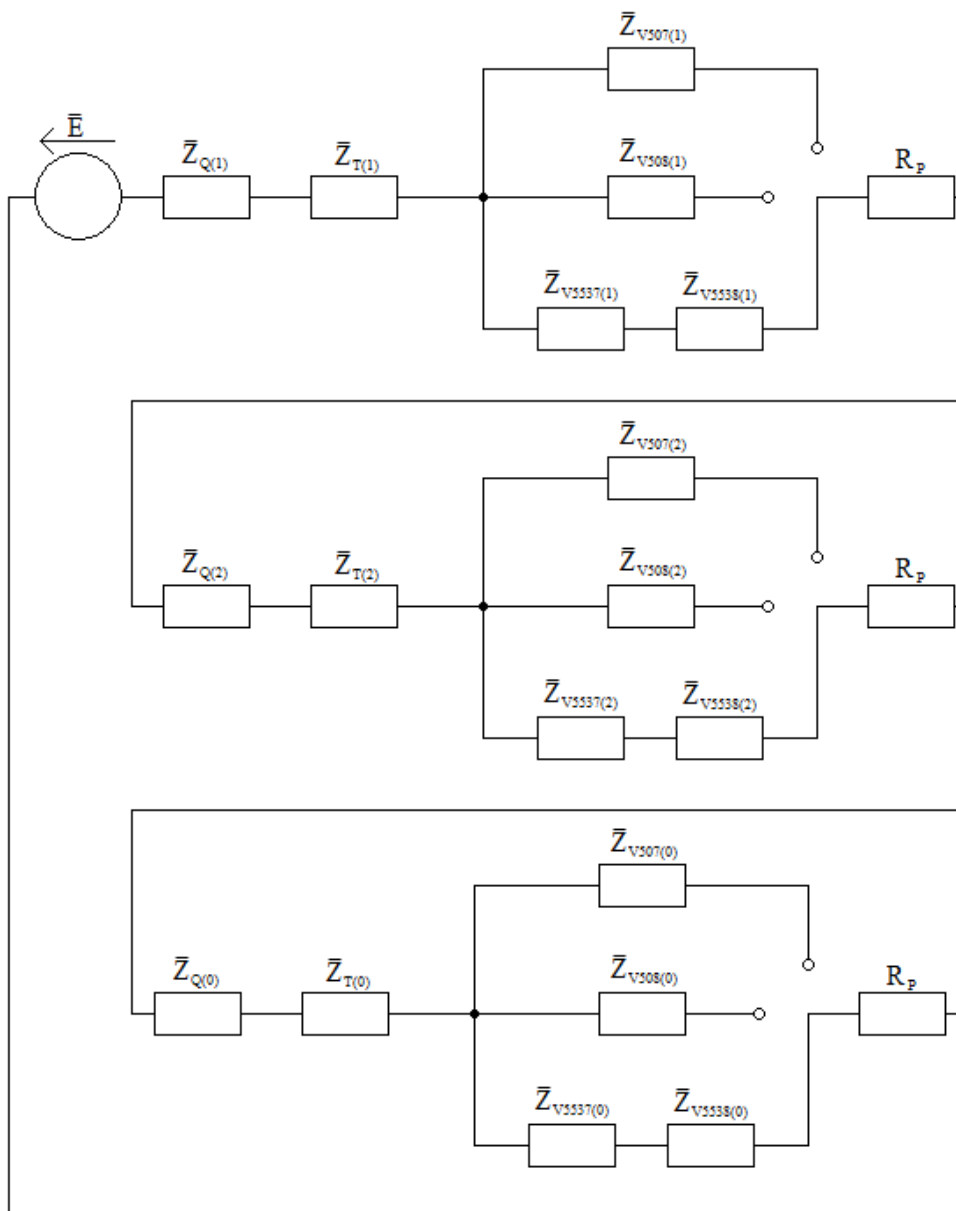
$$\begin{aligned} \overline{Z_{C(1)}} &= \overline{Z_{Q(1)}} + \overline{Z_{T(1)}} + \overline{Z_{V5537(1)}} + \overline{Z_{V5538(1)}} + R_p = \\ &= j \cdot 1,040 + j \cdot 5,269 + 3,415 + j \cdot 11,010 + 1,155 + j \cdot 3,725 + 20 = (24,570 + j \cdot 21,044)\Omega \end{aligned} \quad (8.21)$$

$$|\overline{Z_{C(1)}}| = \sqrt{24,570^2 + 21,044^2} = 32,350\Omega \quad (8.22)$$

Počáteční rázový zkratový proud třífázového zkratu:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z_{C(1)}}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 32,350} = 2159,486 \text{ A} \quad (8.23)$$

8.3.4 Jednofázový zkrat přes vedení V5538



Obrázek 8.5 - Schéma pro jednofázový zkrat přes vedení V5538

Celková sousledná a zpětná složka zkratové impedance je již spočítána v rovnici (8.21). Určíme celkovou netočivou složku zkratové impedance:

$$\begin{aligned} \overline{Z_{C(0)}} &= \overline{Z_{Q(0)}} + \overline{Z_{T(0)}} + \overline{Z_{V5537(0)}} + \overline{Z_{V5538(0)}} + R_P = \\ &= j \cdot 1,493 + j \cdot 4,398 + 8,149 + j \cdot 30,030 + 2,727 + j \cdot 10,143 + 20 = (30,876 + j \cdot 46,064) \Omega \end{aligned} \quad (8.24)$$

$$|\overline{Z_{C(0)}}| = \sqrt{30,876^2 + 46,064^2} = 55,455 \Omega \quad (8.25)$$

Počáteční rázový zkratový proud jednofázového zkratu:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot |\overline{Z_{C(1)}}| + |\overline{Z_{C(0)}}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 32,350 + 55,455} = 1744,232 \text{ A} \quad (8.26)$$

8.3.5 Přehled vypočtených zkratových proudů

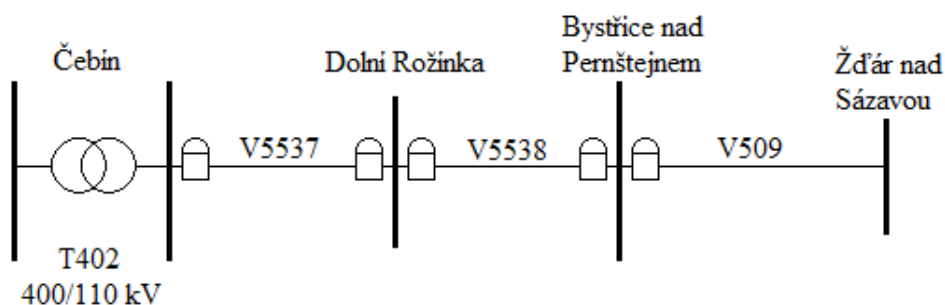
V tabulce 8.3 jsou shrnuty vypočtené počáteční rázové zkratové proudy. Obecně se dá říci, že třífázový zkratový proud je větší než jednofázový.

Tabulka 8.3 - Přehled vypočtených počátečních rázových zkratových proudů

Prochází přes vedení	Typ zkratu	I_k'' [A]
V507 nebo V508	třífázový	2319,677
	jednofázový	1845,707
V5538	třífázový	2159,486
	jednofázový	1744,232

9 VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN

Výpočet nastavení distanční ochrany (dále jen DO) bude proveden pro část sítě zobrazenou na obrázku 9.1 a to konkrétně pro vedení V5537, V5538 a V509. Protože cílem této práce je seznámit se se základy nastavení DO, nebudeme uvažovat vliv vedení V507 a V508. Vzhledem k tomu, že společnost E.ON na této části sítě chce používat pouze ochrany SIPROTEC 7SA511 od firmy Siemens, bude toto nastavení provedeno právě pro tyto DO.



Obrázek 9.1 - Umístění DO na vybrané části sítě 110 kV

9.1 Výpočet nastavení DO pro vedení V5537 v rozvodně Čebín

Výpočet nastavení provedeme pro 1. zónu, 2. zónu, 3. zónu, zónu opětovného zapnutí (dále jen zóna OZ) a zónu popudu. Pro těchto 5 zón bychom dále měli provést výpočet primárního a sekundárního nastavení, kde se sekundární nastavení liší od primárního koeficientem k_2 , který je vypočítán díky znalosti rozsahů měřících transformátorů proudu (dále jen MTI) a napětí (dále jen MTU) podle následujícího vzorce:

$$k_2 = \frac{\frac{MTI_{prim}}{MTU_{prim}}}{\frac{MTI_{sek}}{MTU_{sek}}} \cdot MTI_{sek} \quad (9.1)$$

MTI_{prim} - rozsah primární strany MTI

MTI_{sek} - rozsah sekundární strany MTI

MTU_{prim} - rozsah primární strany MTU

MTU_{sek} - rozsah sekundární strany MTU

Rozsahy měřících transformátorů používaných touto DO jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 9.1 - Rozsahy měřících transformátorů

MTI		MTU		k_2
prim	sek	prim	sek	
600	1	110	0,1	0,545

Vzhledem k tomu, že námi použitá ochrana si sekundární parametry umí přepočítat sama, tak se tímto přepočtem nebudeme zabývat. Při výpočtů nastavení jednotlivých zón vycházíme z parametrů příslušného úseku vedení, který má DO chránit. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 8.1.

DO SIPROTEC 7SA511 nám umožňuje určit až 4 skupiny nastavení, které je možno použít v případě, že se vedení dá provozovat více způsoby. Další funkcí je určení místa poruchy za pomoci naměřených a zadaných parametrů. Tato funkce je přesná zejména pokud se jedná o vedení složené pouze z jednoho typu lana (např. vedení V509). Pokud je ale vedení složeno z více lan (např. V5537), tak se přesnost tohoto výpočtu zmenšuje. Možným řešením tohoto problému by mohla být další generace ochran, ve kterých by na tento problém mohl být brán zřetel třeba tím, že by se nenastavovala pouze celková impedance vedení, ale mohla by se nastavit po částech.

Výpočet 1. zóny

Tato zóna nemá nastavené vůbec žádné zpoždění $t_I = 0$ s, což znamená, že působí prakticky okamžitě po zjištění poruchy. Jediné zpoždění, které může nastat je způsobeno časem nutným pro vyhodnocení poruchy. Při nastavování DO je nutno počítat s chybou měření, proto zvolíme koeficient $k = 0,9$. Při tomto nastavení nám bude DO chránit asi 90 % vedení V5537. Dále je nutné uvažovat odpor poruchy $R_p = 20 \Omega$, který je stejný všechny zkraty. Pro výpočet nastavení této zóny uvedu pod následující tabulkou příklad výpočtu.

Tabulka 9.2 - Parametry primárního nastavení 1. zóny pro DO

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	9,909				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	27,052				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	55,146				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

$$X_1 = X \cdot k = 11,01 \cdot 0,9 = 9,909\Omega \quad (9.2)$$

$$R_1 = R \cdot k + R_p = 3,42 \cdot 0,9 + 20 = 23,074\Omega \quad (9.3)$$

$$X_0 = X_1 \cdot \frac{X_0}{X_1} = 9,909 \cdot 2,73 = 27,052\Omega \quad (9.4)$$

$$R_0 = R_1 \cdot \frac{R_0}{R_1} = 23,074 \cdot 2,39 = 55,146\Omega \quad (9.5)$$

$$R_{1E} = R \cdot k + R_p = 3,42 \cdot 0,9 + 20 = 23,074\Omega \quad (9.6)$$

Výpočet 2. zóny

Nastavení této zóny provedeme stejně. Od první zóny se liší jiným koeficientem $k = 1,1$ a časovým zpožděním $t_2 = 0,4$ s. Tímto nastavením je chráněno celé vedení V5537 a cca 30% vedení V5538. Ideální by bylo, kdyby chránila menší část tohoto vedení, to ale kvůli relativně malé délce vedení a tím i malé impedanci není možné, protože musíme stále počítat s chybou měření alespoň 10 %.

Tabulka 9.3 - Parametry primárního nastavení 2. zóny pro DO

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,1
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	12,111				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	23,757				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	33,063				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	56,778				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	23,757				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,4				Časové zpoždění zóny 2

Výpočet 3. zóny

Nastavení této zóny provedeme podobně jako u předchozích dvou, ale musíme si dávat větší pozor na selektivitu.

Tabulka 9.4 - Parametry primárního nastavení 3. zóny pro DO

Parametr:	Nastavení skupin				k = 2,1
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	23,121				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	27,172				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	63,120				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	64,940				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	27,172				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	1,5				Časové zpoždění zóny 3

Výpočet zóny OZ

Nastavení této zóny je opět podobné jako u předchozích. Koeficient $k = 1,15$ nastavíme malinko větší než u druhé zóny.

Tabulka 9.5 - Parametry primárního nastavení zóny OZ pro DO

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	12,622				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	34,566				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	57,186				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{OZ} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Tato zóna zajišťuje stabilní dodávku elektrické energie v síti. Velmi často se totiž vyskytnuté poruchy, na které zareagují DO, ukáží jako krátkodobé. Jedná se například o zaprášený izolant, na kterém se může při dešti zmenšit elektrickou pevnost, přeskočí výboj a způsobí jednofázový zkrat. Přeskokem výboje se izolant očistí, takže po malé chvíli je možné vedení opět zapnout, ale pokud není nastavena zóna OZ, tak se musí čekat na manuální sepnutí, které může trvat i několik sekund až minut. Pokud je ovšem nastavena zóna OZ, tak sice dojde k vypnutí příslušné fáze, ale po čase cca 400 ms se fáze opět zapne. Po opětovném zapnutí již není porucha většinou zaznamenána. Máme tři druhy OZ: jednofázový, třífázový a jejich kombinace. Jednofázový jsme si popsali výše a třífázový je podobný jednofázovému s tím rozdílem, že reaguje na mezifázové poruchy. Kombinací obou OZ, tak vznikne nejlepší řešení, které umožňuje OZ při jakékoliv poruše.

Nastavení zóny popudu

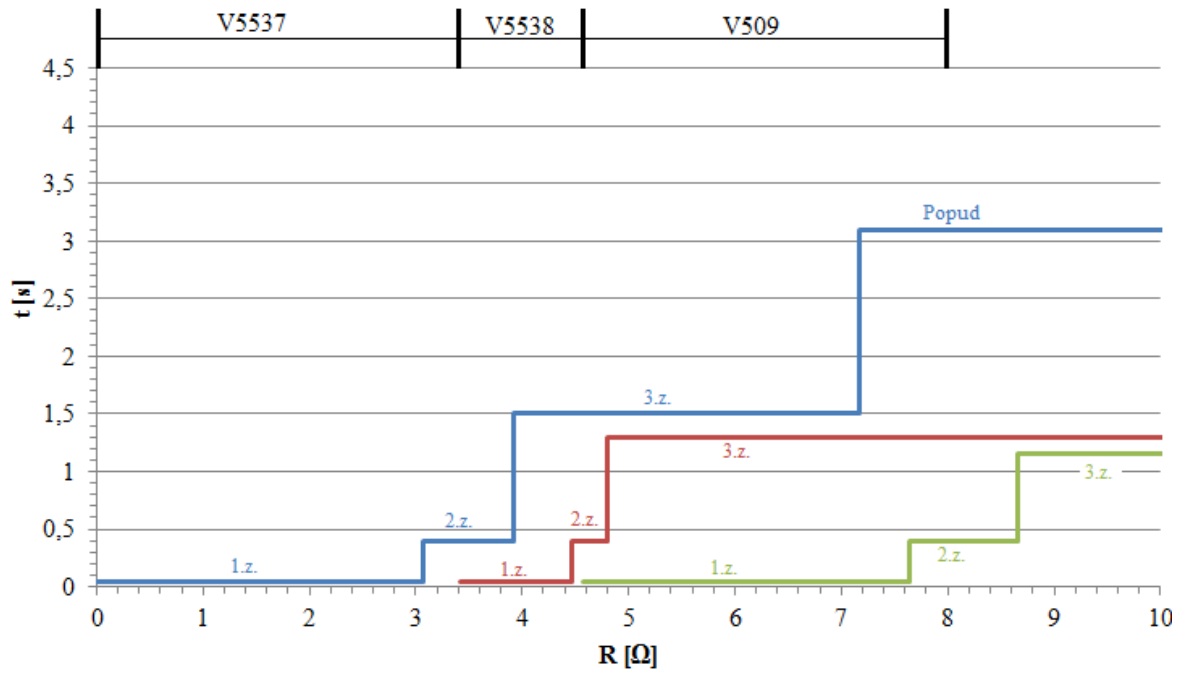
Nastavení této zóny není prováděno výpočtem, ale spíše hledáním vhodného nastavení.

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	120				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^\circ$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	3,1				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné

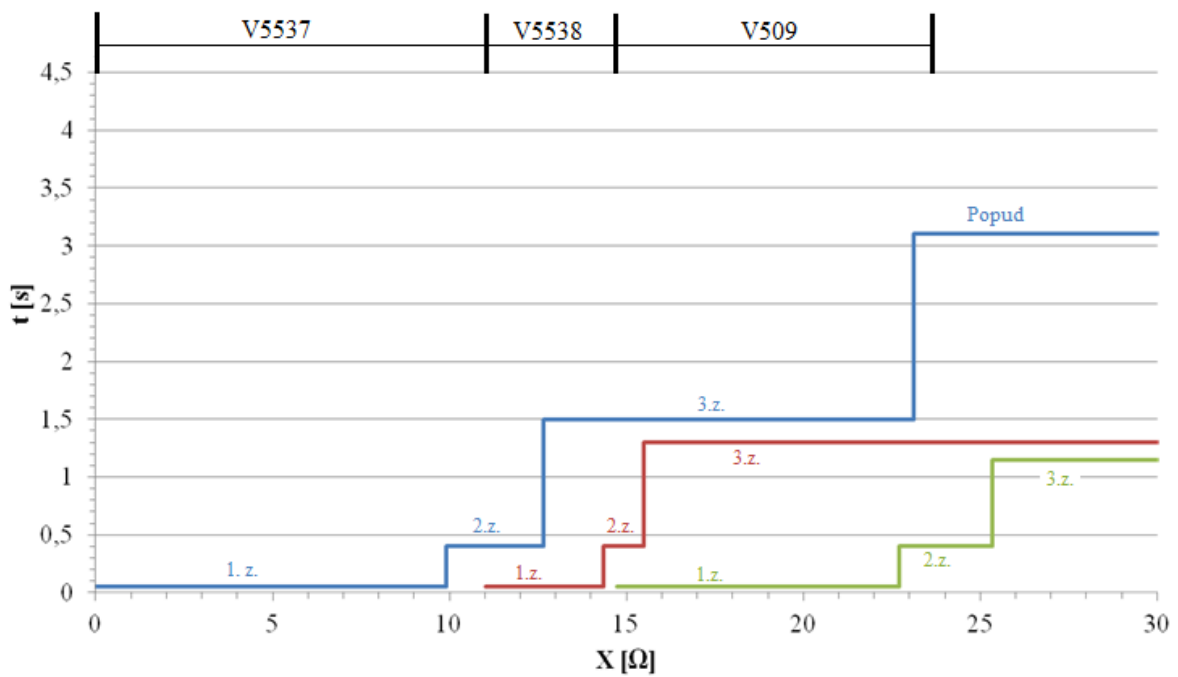
Protože výpočet nastavení ostatních DO by měl stejný postup jako ten, který je v této kapitole, jsou všechna nastavení DO zpracována v příloze B.

9.2 Vypínací charakteristiky ochran

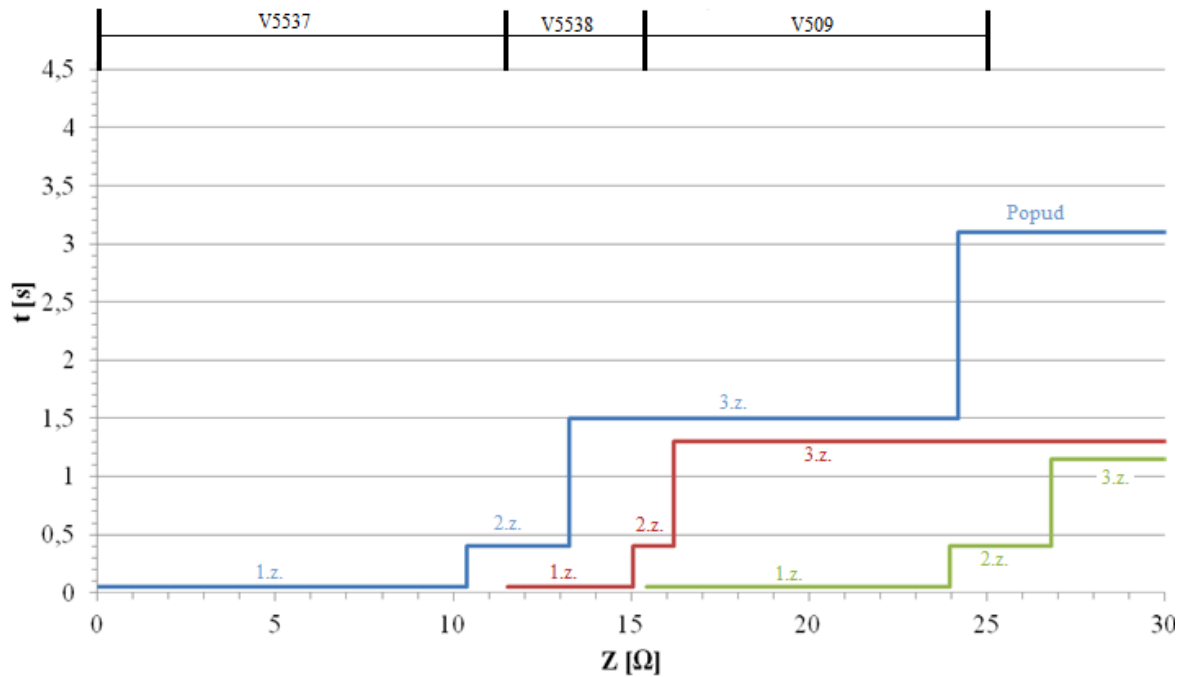
Vypínací charakteristiky ochran slouží ke kontrole selektivity ochran na daném vedení. Jak lze vidět na *obrázcích 9.2 až 9.4*, tak tento předpoklad splněn je. Při konstrukci těchto charakteristik neuvažujeme odpor poruchy, neboť je u každé ochrany stejný, takže samotný průběh charakteristik neovlivňuje a navíc by tento průběh spíše znepřehledňoval. Parametry jednotlivých DO jsou uvedeny v *příloze B* a parametry jednotlivých vedení jsou v *tabulce 8.1*.



Obrázek 9.2 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro rezistanci



Obrázek 9.3 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro reaktanci

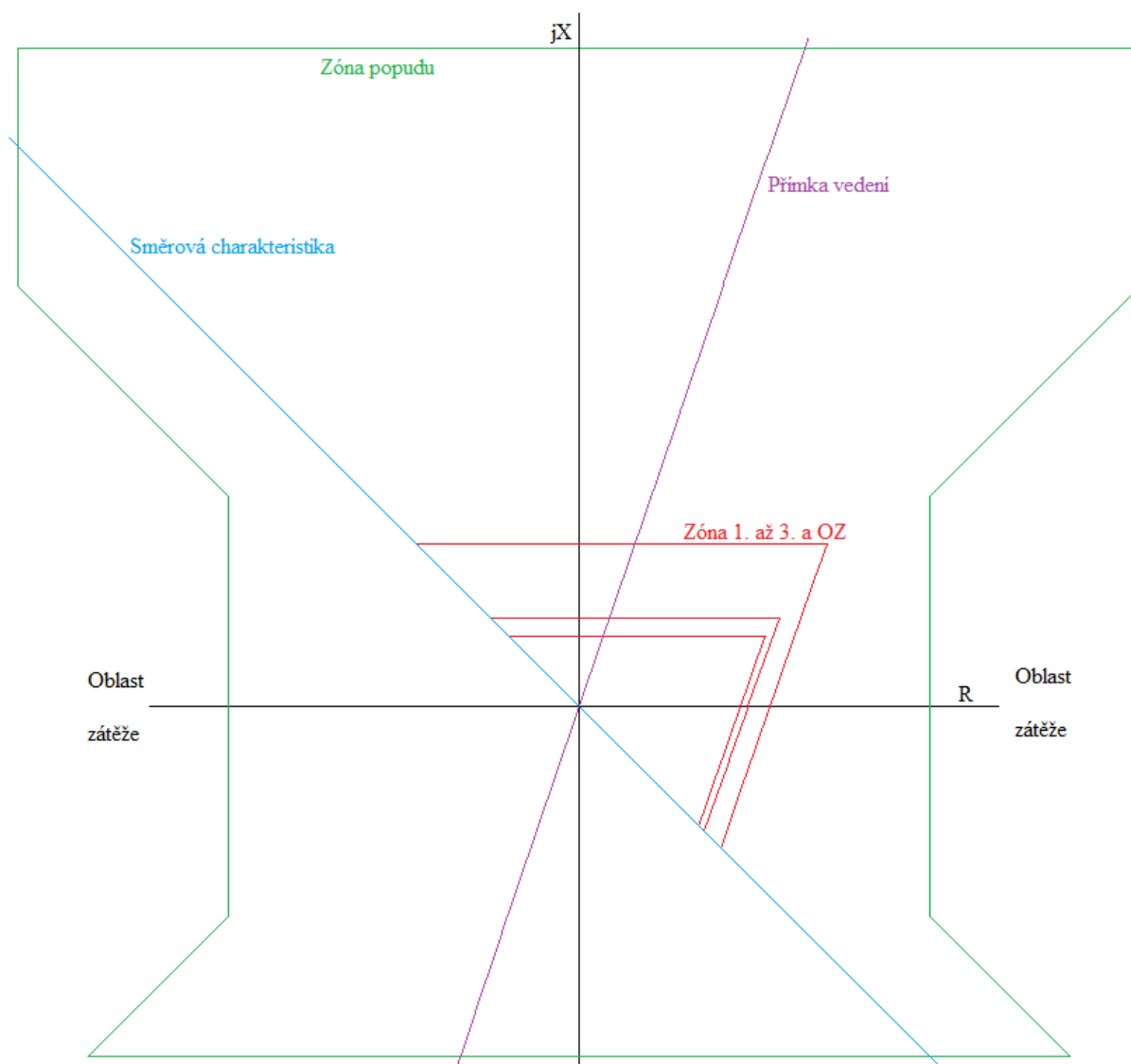


Obrázek 9.4 - Vypínací charakteristika primárního nastavení DO pro impedanci

9.3 Polygonální charakteristika distanční ochrany

Polygonální charakteristika nám přehledně zobrazuje všechny zóny ochrany a zónu popudu v závislosti na přímce vedení a na oblasti zátěže. Je důležité zdůraznit, že přímka vedení a směrová charakteristika jsou zakresleny pouze teoreticky, protože jsou jinak proměnné s časem.

V této charakteristice splývá druhá zóna a zóna OZ. Toto je dáno relativně malým rozdílem mezi nastavenými hodnotami pro tyto zóny.



Obrázek 9.5 - Polygonální charakteristika DO SIPROTEC 7SA511

10 ZÁVĚR

Tato práce se nejprve zabývá poruchovými stavy v elektrizační soustavě. Podrobněji zde byly popsány zejména zkraty a to jak se počítají. Uvedený postup výpočtu byl získán z nyní platné normy ČSN EN 60909-0.

Dalším rozebíraným tématem byly distanční (impedanční) ochrany. Tyto ochrany patří mezi stupňovité a používají se zejména na vedeních. Fungují na principu porovnávání zadané impedance s vyhodnocenou impedancí sítě. Naměřená impedance je získána pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu.

Na teoretickou část práce bylo navázáno praktickým výpočtem zkratových poruch pro zadanou část sítě 110 kV. Konkrétně se jednalo o síť obsahující rozvodny Čebín, Dolní Rožínka a Bystřice nad Pernštejnem. Tyto zkratové poruchy byly počítány s uvažováním odporu poruchy. Největší zkratové proudy byly zjištěny na vedení V507 a V508 (obě vedení mají stejnou impedanci) a to 2319,677 A pro třífázový zkrat a 1845,707 A pro jednofázový zkrat.

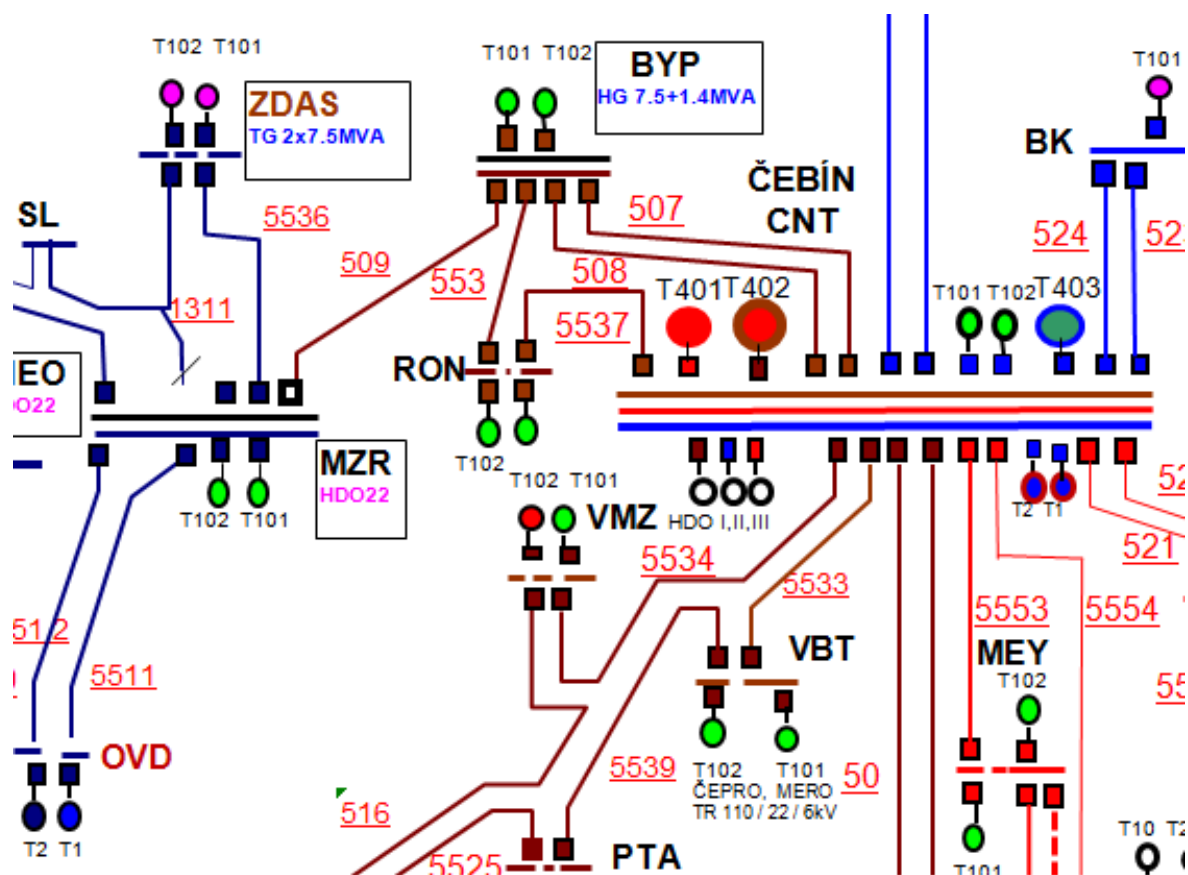
Poslední část práce se věnuje vlastnímu výpočtu nastavení distanční ochrany pro zadanou síť. Protože majitel sítě, společnost E.ON, chce používat pouze jeden druh distančních ochran (SIPROTEC 7SA511 od firmy Siemens) bude výpočet nastavení proveden právě pro tyto ochrany. Ochrana SIPROTEC umožňuje nastavení celkem pěti zón, které se společně podílí na ochraně daného vedení. První tři zóny slouží k ochraně jednotlivých úseků vedení před poruchami. Dále se dá nastavit zóna opětovného zapnutí, která umožňuje spolehlivou dodávku energie. Poslední nastavitelnou zónou je zóna popudu, která slouží k aktivaci ochrany. Vzhledem k tomu, že metodika výpočtu nastavení všech distančních ochran je podobná, uvádí tato práce podrobně pouze výpočet nastavení jedné ochrany na vedení V5537 v rozvodně Čebín. Nastavení ostatních ochran bylo pouze vypsáno v *příloze B*. Pro lepší kontrolu nastavení distančních ochran v této práci byly také uvedeny vypínací charakteristiky, ze kterých je jednoduše zřejmá selektivita ochran. Na závěr práce je uvedena polygonální charakteristika pro zadanou ochranu.

Tuto práci je možné rozšířit výpočtem působení vedení V507 a V508 na nyní počítanou část sítě. Dále je možné tuto práci obohatit způsobem přesného rozpoznání místa poruchy pro vedení složená z více typů lan.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BLAŽEK, V, SKALA, P. *Distribuce elektrické energie*. VUT Brno, 140 stran.
- [2] ČSN EN 60909-0, *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách, část 0- výpočet proudu*. 2002.
- [3] ORSÁGOVÁ, J. *Rozvodná zařízení*. VUT Brno, 148 stran.
- [4] HALUZÍK, E., WEIDINGER, L., KRÁTKÝ, M. *Ochrany a jištění energetických zařízení*. VUT Brno, 63 stran.
- [5] JANÍČEK, F., CHLADNÝ, V., BELÁŇ, A., ELESCHOVÁ, Ž. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2004, 360 stran.
- [6] DOHNÁLEK, P. *Provoz a údržba ochran v energetice*. SNTL - státní nakladatelství technické literatury, 1989, 308 stran.
- [7] MEŠTER, M., *Výpočet skratových prúdov v trojfázových striedavých sústavách*, ABB s.r.o. Bratislava, 2005, 94 stran.
- [8] *Numerická dištančná ochrana SIPROTEC 7SA511: Inštrukčná príručka*, Siemens AG 1995 / SK 1997, v3.2

PŘÍLOHA A - ČÁST SÍTĚ 110 kV V OKOLÍ ZADANÉ SÍTĚ



Tr 110/22kV

- 40 MVA
- 25 MVA
- 16 MVA
- 13,3 MVA
- 12,5 MVA
- 12 MVA
- 10 MVA

Tr 400,220/110kV

- 65MVA
- 350MVA
- 250MVA
- 200MVA

PŘÍLOHA B - NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN

DO pro vedení V5537 v rozvodně Čebín

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	9,909				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	27,052				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	55,146				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	12,662				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	34,566				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	57,186				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,400				Časové zpoždění zóny 2

Parametr:	Nastavení skupin				k = 2,1
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	23,121				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	27,172				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	63,120				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	64,940				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	27,172				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	1,500				Časové zpoždění zóny 3

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	12,662				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	34,566				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	57,186				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{oz} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	120				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^\circ$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	3,1				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné

DO pro vedení V5537 v rozvodně Dolní Rožínka

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	9,909				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	27,052				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	55,146				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,074				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,2
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	13,212				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	24,098				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	36,069				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	57,594				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	24,098				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,400				Časové zpoždění zóny 2

Parametr:	Nastavení skupin				k = 3
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	33,030				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	30,245				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	90,172				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	72,286				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	35,245				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	0,800				Časové zpoždění zóny 3

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	12,662				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	34,566				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	57,186				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	23,927				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{oz} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	120				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^\circ$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	2,3				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné

DO pro vedení V5538 v rozvodně Dolní Rožínka

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	3,353				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	21,040				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	9,119				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	49,653				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	21,040				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,2
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	4,470				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	21,386				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	12,158				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	50,471				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	21,386				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,400				Časové zpoždění zóny 2

Parametr:	Nastavení skupin				k = 6,5
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	24,213				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	27,508				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	65,858				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	64,918				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	32,508				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	1,300				Časové zpoždění zóny 3

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	4,284				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	21,328				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	11,652				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	50,335				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	21,328				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{oz} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	130				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^{\circ}$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	2,9				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné

DO pro vedení V5538 v rozvodně Bystřice nad Pernštejnem

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	3,353				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	21,040				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	9,119				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	49,653				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	21,040				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,2
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	4,470				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	21,386				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	12,158				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	50,471				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	21,386				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,400				Časové zpoždění zóny 2

Parametr:	Nastavení skupin				k = 8,5
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	31,663				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	29,818				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	86,122				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	70,369				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	29,818				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	1,000				Časové zpoždění zóny 3

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	4,284				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	21,328				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	11,652				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	50,335				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	21,328				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{oz} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	120				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^\circ$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	2,5				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné

DO pro vedení V509 v rozvodně Bystřice nad Pernštejnem

Parametr:	Nastavení skupin				k = 0,9
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 1 Operation	On				Distanční ochranná zóna 1 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	7,961				Sousledná složka reaktance dosah zóna 1
R_1 [Ω]	23,059				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	21,334				Netočivá složka reaktance zóna 1
R_0 [Ω]	41,968				Netočivá složka odporu zóna 1
R_{1E} [Ω]	23,059				Sousledná složka odporu dosah zóna 1 - fáze-zem
t_1 [s]	0				Časové zpoždění zóny 1

Parametr:	Nastavení skupin				k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 2 Operation	On				Distanční ochranná zóna 2 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	10,172				Sousledná složka reaktance dosah zóna 2
R_1 [Ω]	23,909				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	27,260				Netočivá složka reaktance zóna 2
R_0 [Ω]	43,514				Netočivá složka odporu zóna 2
R_{1E} [Ω]	23,909				Sousledná složka odporu dosah zóna 2 - fáze-zem
t_2 [s]	0,400				Časové zpoždění zóny 2

Parametr:	Nastavení skupin				k = 4
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis
Zóna 3 Operation	On				Distanční ochranná zóna 3 aktivace-deaktivace zóny
X_1 [Ω]	35,380				Sousledná složka reaktance dosah zóna 3
R_1 [Ω]	33,596				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-fáze
X_0 [Ω]	94,818				Netočivá složka reaktance zóna 3
R_0 [Ω]	61,145				Netočivá složka odporu zóna 3
R_{1E} [Ω]	33,596				Sousledná složka odporu dosah zóna 3 - fáze-zem
t_3 [s]	1,150				Časové zpoždění zóny 3

Parametr:	Nastavení skupin				Druh OZ: 1	k = 1,15
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	Popis	
Zóna OZ Operation	On				Distanční ochranná zóna OZ aktivace-deaktivace zóny	
X_1 [Ω]	10,172				Sousledná složka reaktance dosah zóna OZ	
R_1 [Ω]	23,909				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-fáze	
X_0 [Ω]	27,260				Netočivá složka reaktance zóna OZ	
R_0 [Ω]	43,514				Netočivá složka odporu zóna OZ	
R_{1E} [Ω]	23,909				Sousledná složka odporu dosah zóna OZ - fáze-zem	
t_{oz} [s]	0				Časové zpoždění zóny OZ	

Parametr:	Nastavení skupin				Popis POPUD
	sk. 1	sk. 2	sk. 3	sk. 4	
Operation	On				Podimpedanční nebo nadproudový režim
X + A [Ω]	120				sousledná složka reaktance dopředný směr
X - A [Ω]	60				sousledná složka reaktance zpětný směr
RA1 [Ω]	50				R zátěže fáze-fáze
R [Ω]	80				R popud fáze-fáze
RA1E [Ω]	50				R zátěže fáze-zem
RE [Ω]	80				R popud fáze-zem
Ph alfa [$^\circ$]	45				úhel bezpečné zátěže
t ₄ [s]	2,7				časové zpoždění - dopředné
t ₅ [s]	6,0				časové zpoždění - zpětné