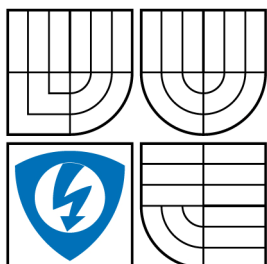


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VÝPOČET CHARAKTERISTICKÝCH VELIČIN PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ V SÍTI VN

CALCULATION OF CHARACTERISTIC VALUES OF THE EARTH FAULT IN MV NETWORK.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANTONÍN PÍSAŘOVIC

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR TOMAN, Ph.D.



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Antonín Písařovic

Ročník: 3

ID: 106714

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Výpočet charakteristických veličin při zemním spojení v síti vn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Poruchové stavy
2. Zemní spojení
3. Výpočet zadané sítě

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

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

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
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:

PÍSAŘOVIC, A. Výpočet charakteristických veličin při zemním spojení v síti vn. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 42 s. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Petru Tomanovi, Ph.D. za poskytnutou literaturu, cenné rady a připomínky k mé práci.

.....

ABSTRAKT

V bakalářské práci se autor zabývá problematikou zemního spojení v síti vysokého napětí. V teoretické části jsou uvedeny existující poruchové stavy vyskytující se na venkovních vedeních. Stěžejním bodem bakalářské práce je analýza poruchového stavu „zemní spojení“ v sítích s neúčinně uzemněným uzlem. V praktické části je následně počítána celková kapacita zadané sítě a dle zjištěných výsledků navržena zhášecí tlumivka sloužící ke snížení zemního proudu.

KLÍČOVÁ SLOVA: síť vn; zemní spojení; síť kompenzované; zhášecí tlumivka

ABSTRACT

In the bachelor thesis author deals with the earth fault in MV network. In the theoretical part of thesis there are identified existing faults occurring on power lines. The pivotal point of thesis is the analysis of the earth fault in network with ineffectively earthead node. In the parctical part author calculates the total capacity of specific network and according to the obtained results he proposes the suitable arc suppression coil to reduce the earth current.

KEY WORDS: MV network; earth fault; compensated network; arc suppression coil

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	7
SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
1 ÚVOD.....	11
2 CÍL PRÁCE.....	12
3 PORUCHOVÉ STAVY	13
3.1 ZKRATY	13
3.1.1 ZKRATY V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ	13
3.1.2 DRUHY ZKRATŮ	14
3.1.3 PRŮBĚH ZKRATOVÉHO PROUDU.....	15
3.1.4 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZKRATOVÝCH PROUDŮ	17
3.2 PŘEPĚTÍ	20
3.2.1 DRUHY PŘEPĚTÍ	20
3.3 OSTATNÍ PORUCHOVÉ STAVY.....	22
4 ZEMNÍ SPOJENÍ	23
4.1 SÍŤE IZOLOVANÉ	24
4.2 SÍŤE NEÚČINNĚ UZEMNĚNÉ	26
4.2.1 SÍŤE KOMPENZOVANÉ	26
4.3 SÍŤE UZEMNĚNÉ PŘES REZISTANCI	30
4.4 PORUCHY S PŘECHODOVÝM ODPOREM.....	30
5 VÝPOČET ZEMNÍHO SPOJENÍ.....	32
5.1 POPIS SÍŤE.....	32
5.2 VÝPOČET PARAMETRŮ SÍŤE	34
5.2.1 VEDENÍ VN 98	34
5.2.2 VEDENÍ VN 132	36
5.2.3 CELKOVÉ KAPACITY JEDNOTLIVÝCH ÚSEKŮ VEDENÍ.....	37
5.3 URČENÍ PARAMETRŮ ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	37
5.3.1 INDUKČNOST ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	37
5.3.2 VÝKON ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	37
5.3.3 PROUD ZHÁŠECÍ TLUMIVKOU.....	38
5.3.4 VYPOČÍтанÉ PARAMETRY ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	38
5.3.5 NÁVRH ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	38
6 ZÁVĚR.....	39
POUŽITÁ LITERATURA	40
PŘÍLOHA A SCHÉMA ŘEŠENÉ SÍŤE	41
PŘÍLOHA B PARAMETRY ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK SPOLEČNOSTI EGE	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.3.1 Druhy zkratů</i>	<i>15</i>
<i>Obr.3.2 Průběh souměrného zkratového proudu</i>	<i>16</i>
<i>Obr.3.3 Průběh nesouměrného zkratového proudu s maximálně vyvinutou stejnosměrnou složkou.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr.3.5 Trvalé přepětí.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr.3.6 Dočasné přepětí</i>	<i>20</i>
<i>Obr.3.7 Přechodné přepětí s dlouhým čelem</i>	<i>21</i>
<i>Obr.3.8 Přechodné přepětí s krátkým čelem</i>	<i>21</i>
<i>Obr.3.9 Přechodné přepětí s velmi krátkým čelem</i>	<i>21</i>
<i>Obr.4.1 Izolovaná síť.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr.4.2 Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr.4.3 Kompenzovaná síť.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr.4.4 Rozložení proudů v kompenzované síti při zemním spojení.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr.4.5 Síť uzemněná přes rezistanci.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr.4.6 Fázorové znázornění poruchového proudu při změně přechodného odporu</i>	<i>31</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.4.1 Principiální řešení sítí jednotlivých napěťových úrovní</i>	<i>23</i>
<i>Tab.4.2 Parametry vybraných zhášecích tlumivek.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab.5.1 Parametry vedení VN 98.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab.5.2 Parametry odboček z vedení VN 98</i>	<i>32</i>
<i>Tab.5.3 Parametry odbočky Vladislav</i>	<i>32</i>
<i>Tab.5.4 Parametry odboček z odbočky Vladislav</i>	<i>33</i>
<i>Tab.5.5 Parametry vedení VN 132</i>	<i>33</i>
<i>Tab.5.6 Parametry odboček z vedení VN 132</i>	<i>33</i>
<i>Tab.5.7 Parametry kabelů a venkovních vedení vztažené na kilometr délky vedení.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab.5.8 Skutečné parametry vedení VN 98</i>	<i>34</i>
<i>Tab.5.9 Skutečné parametry odboček z vedení VN 98</i>	<i>35</i>
<i>Tab.5.10 Skutečné parametry odbočky Vladislav</i>	<i>35</i>
<i>Tab.5.11 Skutečné parametry odboček z odbočky Vladislav.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab.5.12 Skutečné parametry vedení VN 132</i>	<i>36</i>
<i>Tab.5.13 Skutečné parametry odboček z vedení VN 132</i>	<i>36</i>
<i>Tab.5.14 Skutečné parametry úseku vedení 600/95 k zemnímu spojení.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab.5.15 Vypočítané kapacity zadaného vedení</i>	<i>37</i>
<i>Tab.5.16 Vypočítané parametry zhášecí tlumivky.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab.5.17 Parametry vybrané zhášecí tlumivky typu ASR 1.6.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab.B.1 Zhášecí tlumivky pro trvalý provoz.....</i>	<i>42</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

c	Napět'ový součinitel (-)
C_0	Kapacita (F)
I_k''	Počáteční rázový zkratový proud (A)
I_k'	Počáteční efektivní hodnota tranzitního zkratového proudu (A)
I_{avyp}	Stejnoseměrná složka vypínacího zkratového proudu (A)
I_C	Kapacitní proud tekoucí místem zemního spojení (A)
I_k	Ustálený zkratový proud (A)
i_k	Zkratový proud (A)
I_{ke}	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud (A)
I_{km}	Nárazový zkratový proud (A)
I_L	Proud tekoucí zhášecí tlumivkou (A)
I_P	Poruchový proud při zemním spojení (A)
I_{vyp}	Vypínací zkratový proud (A)
$I_{vyp,ns}$	Nesymetrický vypínací zkratový proud (A)
K	Součinitel nárazového zkratového proudu (-)
k_I	Součinitel pro různé druhy zkratů (-)
k_e	Oteplovací koeficient (-)
L	Indukčnost (H)
Q	Množství tepla (J)
Q_L	Výkon tlumivky (VAR)
R	Rezistance (Ω)
t_k	Doba trvání zkratu (s)
U_N	Jmenovité napětí (V)
U_S	Sdružené napětí (V)
U_v	Sdružené vztažné napětí (V)

X_L	Indukce cívky (Ω)
Z_k	Celková vypočítaná impedance (Ω)
ω	Úhlová rychlost ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)

1 ÚVOD

V elektrizačních sítích se mohou vyskytovat nebezpečné poruchové stavy, které ohrožují správný chod jednotlivých prvků a následně provoz celé soustavy. Poruchy vznikají nahodile v jednotlivých prvcích elektrizační soustavy. Mezi poruchové stavy patří zkrat, přepětí, zemní spojení a další možné poruchy. Zemní spojení je taková porucha, která se může na síti krátkodobě provozovat. U zemního spojení se jedná o spojení jedné fáze se zemí. Zemní spojení se může vyskytovat v soustavě s izolovaným uzlem nebo v soustavě s kompenzovanými zemními proudy. V soustavě s neúčinně uzemněným uzlem se uzel transformátoru spojuje se zemí přes zhášecí tlumivku tzv. Petersenovu cívku, která slouží k vykompenzování zemního proudu a místem poruchy neteče žádný proud. Zkratové proudy ovlivňují parametry rozvodné soustavy, proto je nutné znát nejen jejich velikost, ale také časový průběh zkratových proudů.

Proto se v elektrizační soustavě používají ochrany, které mají za úkol rozlišit, o kterou poruchu se jedná a následně ji rychle odstranit. Ochrany musí rozlišit, o jakou poruchu jde např. zkrat, zemní spojení, přepětí anebo jestli se jedná o normální přípustný stav. Při zjištění poruchového stavu v elektrizační síti musí ochrany zajistit její odstranění a to jejím vypnutím nebo snížením zatížení. Tyto ochrany musí splňovat určité vlastnosti, jako jsou selektivita, rychlost působení, citlivost a spolehlivost.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je podrobná analýza možných poruchových stavů elektrických vedení. V první části jsou rozebrány zkraty, přepětí a ostatní poruchové stavy vyskytující se na venkovních vedeních. Ve druhé části je popsáno zemní spojení. U toho poruchového stavu se řeší možné spojení sítí při vzniku zemního spojení. V praktické části je navržena zhášecí tlumivka dle vypočtených parametrů.

3 PORUCHOVÉ STAVY

V elektrizační soustavě se mohou vyskytnout poruchové stavy, které ohrožují provoz jednotlivých prvků či celé soustavy. Poruchovými stavy podle [1] rozumíme:

- Zkrat
- Přetížení
- Nadpětí
- Podpětí
- Nesouměrnost proudů a napětí
- Zemní spojení

3.1 Zkraty

Zkratem rozumíme vodivé spojení fází, nebo jedné fáze se zemí, přičemž se jedná o poruchu a musí dojít k odpojení [2]. Zkrat může mít za následek tepelné a mechanické poškození vodičů. Dále může dojít ke snížení činného zatížení v důsledku zkratu, to vede ke ztrátě stability synchronních generátorů, asynchronnímu chodu elektrizační soustavy a k jejímu případnému rozpadu [3].

3.1.1 Zkraty v elektrizační soustavě

Zkratem v elektrizační soustavě rozumíme elektromagnetický přechodný děj, který je časově omezen okamžikem náhlého zmenšení impedance mezi krajními vodiči případně středním vodičem nebo zemí v některé části elektrizační soustavy (v místě poruchy) a okamžikem odpojení zdrojů v místě poruchy.

Příčinou chybného vodivého spojení mezi krajními vodiči, středním vodičem nebo zemí může být:

- Chybná manipulace
- Mechanické poškození izolace, např. přetížení vodiče venkovního vedení, poškození vodiče při zemních pracích apod.
- Přirozené znehodnocení izolace
- 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 zkraty:

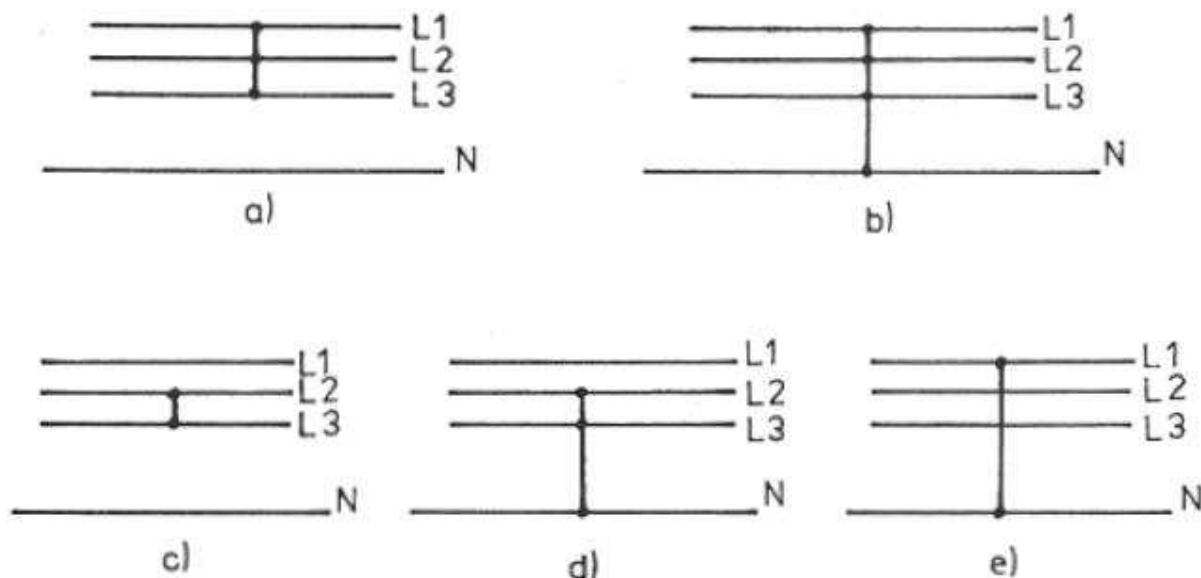
- **Dokonalé (kovové)** se zanedbatelným přechodovým odporem (dokonalý styk kovových vodičů)
- **Nedokonalé** s hořícím obloukem nebo jinak nedokonalým stykem vodičů, které ohrožují místo poruchy

Dokonalé zkraty způsobují největší tepelné a silové namáhání prvků elektrizační soustavy a jsou rozhodující pro jejich dimenzování [4].

3.1.2 Druhy zkratů

Podle způsobu ztěžování třífázových zdrojů při zkratech podle [4] rozeznáváme:

- **Zkraty souměrné:**
 - třífázové
 - třífázové zemní
- **Zkraty nesouměrné:**
 - dvoufázové
 - dvoufázové zemní
 - jednofázové



Obr.3.1 Druhy zkratů

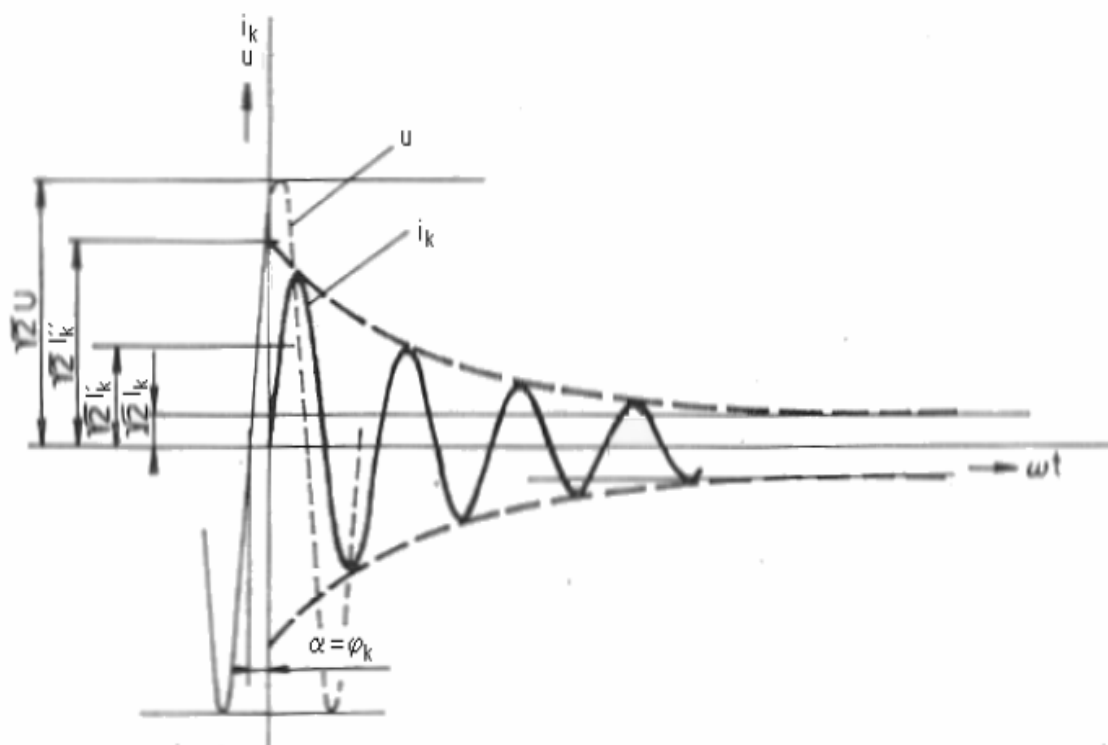
- a) třífázový souměrný zkrat, b) třífázový souměrný zemní zkrat, c) dvoufázový nesouměrný zkrat, d) dvoufázový nesouměrný zemní zkrat, e) jednofázový nesouměrný zemní zkrat [4]

3.1.3 Průběh zkratového proudu

Náhlá změna impedance na svorkách zdrojů při zkratové poruše má za následek přechodný děj ve všech prvcích elektrizační soustavy. Velkým zkratovým proudem se poruší rovnováha mezi polem magnetickým a elektrickým v prostoru elektrizační soustavy a do nového stavu přechází soustava pomocí přechodných složek proudu a napětí s vlastní periodou příslušných obvodů. Stanovení časového průběhu proudu a napětí při zkratu se obvykle zanedbávají příčné admittance prvků elektrizační soustavy včetně odběrů.

Energie v ostatních pasivních prvcích elektrizační soustavy se zvětšuje v důsledku zvětšujícího se proudu. Kdyby nedošlo k přerušení zkratového proudu, trval by přechodný děj až do zániku přechodných složek a vzniku nového rovnovážného stavu se stejnou celkovou hodnotou energie magnetického pole v prvcích náhradního obvodu avšak s rozložením, které odpovídá ustálenému zkratovému proudu.

Za zjednodušených předpokladů (stálé buzení, prvky elektrizační soustavy nahrazeny pouze podélnou impedancí induktivního charakteru) je okamžitá hodnota zkratového proudu neharmonickou funkcí času se třemi přechodnými složkami, které exponenciálně zanikají [4].



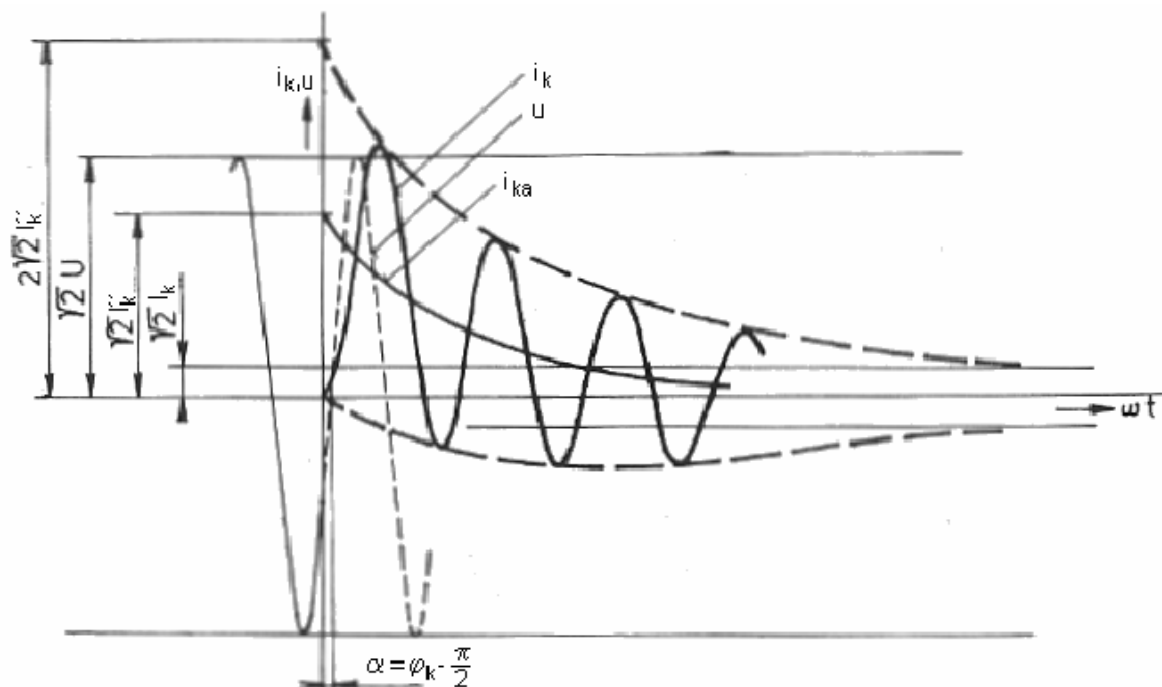
Obr.3.2 Průběh souměrného zkratového proudu [4]

Kde: I_k'' počáteční rázový zkratový proud

I_k' počáteční efektivní hodnota tranzitního zkratového proudu

I_k efektivní hodnota ustáleného zkratového proudu

Rázový, tranzitní a ustálený zkratový proud jsou závislé na příslušných impedancích synchronních strojů, jejich vnitřním napětím a na impedanci vnějšího zkratového obvodu. Jsou tedy závislé na buzení synchronních strojů a jejich zatížení před zkratovou poruchou [4].



Obr.3.3 Průběh nesouměrného zkratového proudu s maximálně vyvinutou stejnosměrnou složkou [4]

Kde: I_k'' počáteční rázový zkratový proud

I_k' počáteční efektivní hodnota tranzitního zkratového proudu

I_k efektivní hodnota ustáleného zkratového proudu

3.1.4 Charakteristické hodnoty zkratových proudů

Pro dimenzování elektrických zařízení a nastavení ochran není zapotřebí znát celý časový průběh zkratového proudu $i_k(t)$, ale jen charakteristické hodnoty zkratového proudu:

1. počáteční rázový zkratový proud I_k''
2. nárazový zkratový proud I_{km}
3. vypínací zkratový proud I_{vyp} a jeho stejnosměrnou složku I_{avyp}
4. ekvivalentní oteplovací proud I_{ke}
5. ustálený zkratový proud I_k
6. dobu trvání zkratu t_k

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

$$I_k'' = k_1 \frac{c \cdot U_v}{\sqrt{3} |Z_k|} \quad (\text{kA}; -, -, \text{kV}, \Omega), \quad (3.1)$$

kde: k_1 ... součinitel uvedený pro různé druhy zkratů (pro třífázový zkrat $k_1=1$)

U_v ... sdružené vztažené napětí

Z_k ... celková vypočítaná impedance

cnapěťový součinitel zahrnující odhad vnitřního napětí zdrojů za jejich subtranzitní reaktancí v okamžiku vzniku zkratu.

2. Nárazový zkratový proud I_{km} je největší vrcholová hodnota zkratového proudu, která nastává při prvním maximum v čase $t=0,01\text{s}$ po vzniku zkratu. Nárazový zkratový proud se používá pro kontrolu silových účinků zkratových proudů, protože silové účinky jsou největší právě v okamžiku, kdy dosáhne zkratový proud své první amplitudy.

$$I_{km} = K \sqrt{2} I_k'' \quad (\text{kA}; -, \text{kA}), \quad (3.2)$$

kde: K ...součinitel nárazového zkratového proudu udávaný normou

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

$$I_{vyp} = (I_k'' - I_k') e^{-\frac{t_k}{\tau_d}} + (I_k' - I_k) e^{-\frac{t_k}{\tau_k}} + I_k \quad (\text{kA}; \text{kA}, \text{kA}, \text{s}, \text{s}) \quad (3.3)$$

Podle normy pro zkraty elektricky vzdálené od synchronního stroje je možné uvažovat souměrný vypínací zkratový proud rovný počátečnímu rázovému zkratovému proudu.

$$I_{vyp} = I_k'' \quad (\text{kA}; \text{kA}) \quad (3.4)$$

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

$$I_{avypp} = \sqrt{2} I_k'' \cdot e^{-\frac{t_k}{\tau_s}} \quad (\text{kA}; \text{kA}, \text{s}, \text{s}) \quad (3.5)$$

Ze souměrného vypínacího zkratového proudu I_{vyp} a jeho stejnosměrné složky I_{avypp} lze vypočítat nesymetrický vypínací zkratový proud:

$$I_{vyp,ns} = \sqrt{I_{vyp}^2 + I_{avypp}^2} \quad (\text{kA}; \text{kA}, \text{kA}) \quad (3.6)$$

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

$$Q = R \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt = R \cdot I_{ke}^2 \cdot t_k \quad (3.7)$$

Z rovnice (3.7) vyjádříme I_{ke} :

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt} \quad (\text{kA}; \text{kA}, \text{s}) \quad (3.8)$$

Ekvivalentní oteplovací proud se používá při kontrole tepelných účinků zkratového proudu. Při praktických výpočtech se stanoví z počátečního rázového zkratového proudu I_k'' pomocí koeficientu k_e , který je dán normou pro různá místa zkratu a různé doby jeho trvání.

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad (\text{kA}; -, \text{kA}) \quad (3.9)$$

6. Ustálený zkratový proud I_k je efektivní hodnota souměrného zkratového proudu, který protéká obvodem po odeznění přechodných jevů [4].

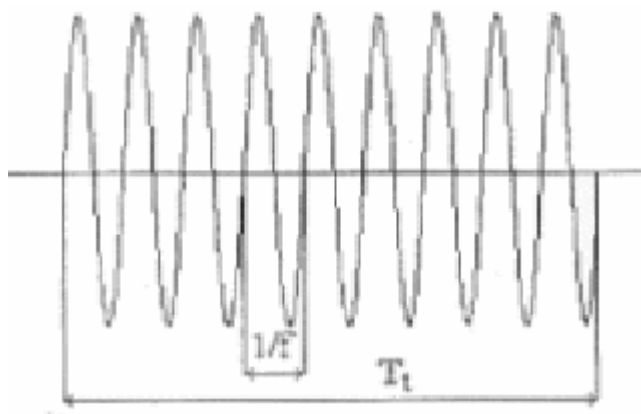
3.2 Přepětí

Přepětí v trojfázových střídavých soustavách je jakékoliv napětí mezi fázemi nebo mezi fázemi a zemí, které svou velikostí překračuje amplitudu jmenovitého napětí. Přepětí se mohou lišit svou velikostí, časovým průběhem, příčinou svého vzniku a frekvencí výskytu.

3.2.1 Druhy přepětí

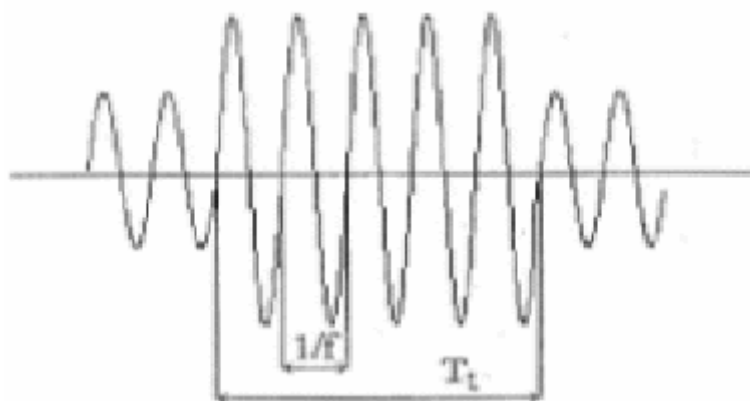
Norma dělí přepětí podle časového průběhu do následujících skupin:

1. **Trvalé přepětí** – střídavé přepětí síťové frekvence a konstantní efektivní hodnoty.



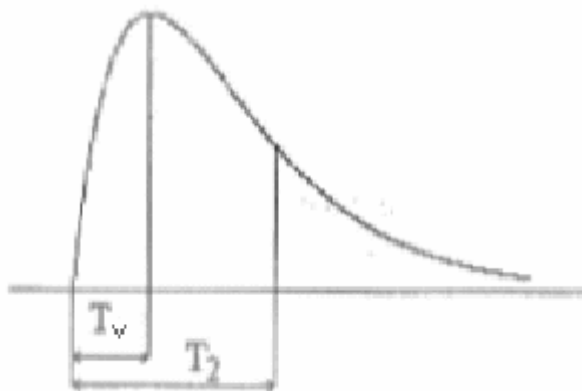
Obr.3.4 Trvalé přepětí [5]

2. **Dočasné přepětí** – střídavé přepětí síťové frekvence a doby trvání od 0,03s do 3600s.

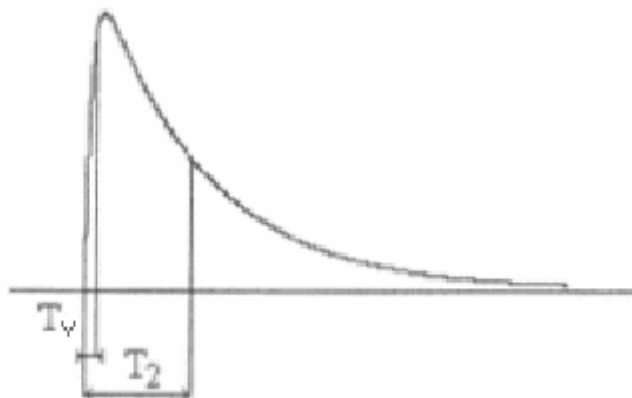


Obr.3.5 Dočasné přepětí [5]

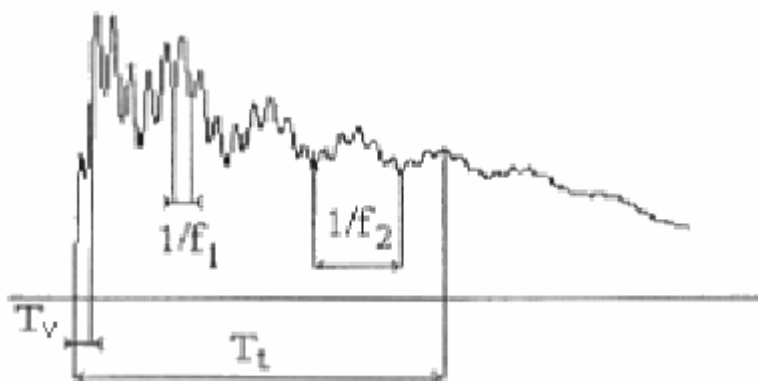
3. **Přechodné přepětí** – přepětí trvající několik milisekund nebo méně, které má tlumený oscilační nebo impulsní průběh.



Obr.3.6 Přechodné přepětí s dlouhým čelem [5]



Obr.3.7 Přechodné přepětí s krátkým čelem [5]



Obr.3.8 Přechodné přepětí s velmi krátkým čelem [5]

4. **Kombinované přepětí** – přepětí vznikne současným výskytem dvou druhů přepětí.

Přepětí je možné dělit podle příčiny jejich vzniku, která může být uvnitř elektrizační soustavy (ES) - **vnitřní přepětí** (provozní), nebo vně ES – **vnější přepětí** (atmosférická) [5].

3.3 Ostatní poruchové stavy

1. **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.
2. **Asynchronní chod** nastává při ztrátě synchronismu generátoru. Je nebezpečný zejména pro synchronní stroje a turbíny a má za následek také přetěžování vedení a transformátorů.
3. **Snížení či zvýšení frekvence** je nebezpečné zejména v propojených elektrizačních soustavách.
4. **Zpětný tok výkonu** může nastat při paralelním provozu sítí různých napětí např. sítí 110kV se sítí 22kV, kdy část výkonu teče sítí 22kV a je zpět vracena do sítě 110kV. Může to vést k přetížení vedení 22kV a tudíž k nekontrolovatelným tokům výkonů [3].

4 ZEMNÍ SPOJENÍ

Zemní spojení se může vyskytnout v soustavě s izolovaným uzlem nebo v sítích s neúčinně uzemněným uzlem. Sítě neúčinně uzemněné jsou takové, v nichž jsou nulové body transformátoru uzemněny přes velkou impedanci. Sítě účinně uzemněné mají všechny nulové body transformátoru spojeny přímo se zemí. Způsob spojení uzlu vinutí transformátoru se zemí je jedním z důležitých ukazatelů. Způsob spojení uzlu má vliv na chování sítě během vodivého spojení jedné fáze se zemí a to především na velikost poruchového proudu a velikost napětí mezi fázovým vodičem a zemí [6].

	Napět'ová úroveň	Jmenovité napětí	Uspořádání rozvodu	Spojení uzlu transformátoru
Nadřazená soustava	vvn	400 kV	Okružní	Účinně uzemněný
		220 kV		
Distribuční soustava	vn	110 kV	Průběžný, paprskový, dvojpaprskový (obvykle s možností spojení do okružního)	Neúčinně uzemněný - většinou kompenzovaný
		22 kV, 35 kV		
		10 kV		
		6 kV		
	nn	500 V	Průběžný, paprskový, mřížová síť	Izolovaný
400/230 V		Účinně uzemněný s vyvedeným středním vodičem		

Tab.4.1 Principiální řešení sítí jednotlivých napět'ových úrovní [6]

Odlišnost jednotlivých způsobů provozu soustav se projevuje především různými poměry při stavech, kdy dochází k porušení symetrie sítě proti zemi. V izolované nebo nepřímě uzemněné soustavě se může 1pólová porucha projevit jako zemní spojení, u sítí uzemněných přímo nebo nepřímě přes rezistor jako 1fázový zkrat [7]. Velikost rezistoru odpovídá nejčastěji velikosti zkratového proudu při zemním zkratu 1000A nebo 600A a tato porucha je vypínána nadproudovou ochranou. V sítích účinně uzemněných se v ČR nulové body transformátoru uzemňují přímo se zemí. V takto provozované síti zůstává napětí uzlu vinutí transformátoru vůči zemi téměř nulové a napětí zdravých fází zůstává vůči zemi na fázové hodnotě. V České republice provozujeme účinně uzemněné sítě VVN (110, 220, 400kV) a převážnou většinu NN sítí 400V.

Posuzování velikosti proudu vede k rozhodování o způsobu dimenzování a chránění v soustavě. Velikost napětí mezi vodičem a zemí klade nárok na izolaci. Při souměrném chodu sítě neteče zemní proud. Napětí mezi fázemi je sdružené, mezi fází a uzlem je napětí fázové [6].

Ke zjištění vzniku zemního spojení můžeme využít těchto jevů, kterými je doprovázeno:

1. Výrazný pokles fázového napětí postižené fáze, případně až na nulu.
2. Zvýšení fázových napětí ve zdravých nepostižených fázích přibližně na velikost sdruženého napětí.
3. Vznik nulové složky napětí tj. napětí mezi uzlem transformátoru a zemí, které může dosáhnout až fázové hodnoty napětí v bezporuchovém stavu.
4. Vznik nulové složky proudu, což je třetina poruchového proudu tekoucí místem zemního spojení [3].

4.1 Síť izolované

Uzel vinutí transformátoru není na uvažované straně spojen se zemí. Při spojení jedné fáze se zemí vzroste napětí uzlu vinutí transformátoru vůči zemi na napětí fázové, napětí zdravých fází vzroste vůči zemi na napětí sdružené. V bezporuchovém stavu závisí napětí uzlu sítě na nesymetrii sítě a v porovnání s fázovým napětím je relativně malé.

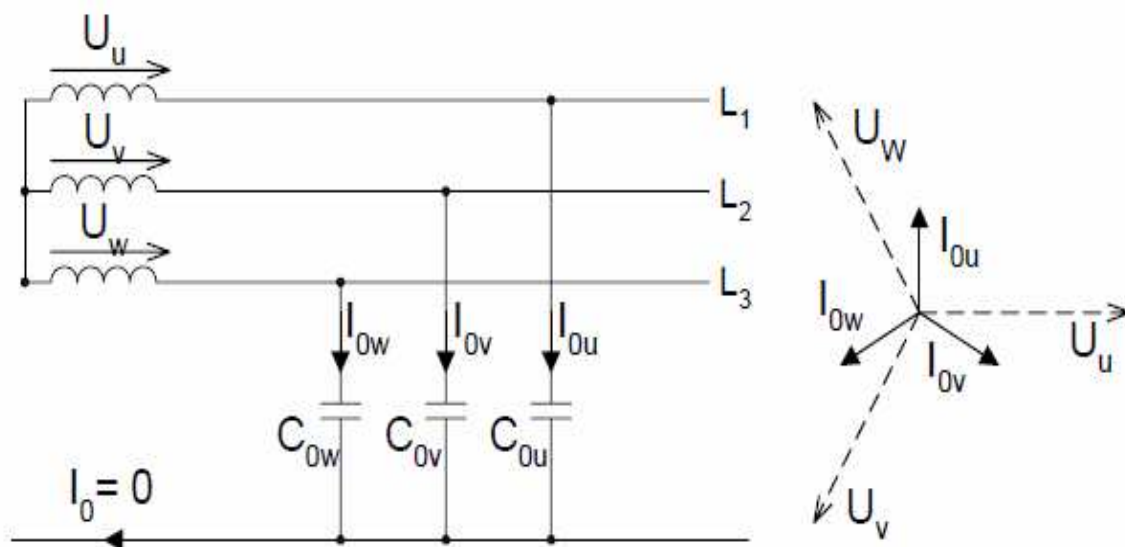
Velkou výhodou je, že při poruchovém spojení jedné fáze se zemí lze síť nadále provozovat. Vzhledem k tomu, že v tomto poruchovém stavu má napětí na zdravých fázích hodnotu sdruženou, musí se izolace této sítě dimenzovat na sdružené napětí. Další nevýhodou provozu v tomto poruchovém chodu je, že místem spojení se zemí teče proud kapacitního charakteru, jehož velikost je dána kapacitami zdravých fází celé sítě vůči zemi a činnému odporu obvodu, kterým se proud uzavírá. Ten pro zjednodušení řešení často zanedbáváme a pak uvažujeme proud čistě kapacitní. Pokud tento zemní proud nepřesahuje 10A a spojení se zemí není přerušované, nevznikají většinou velké problémy.

Při vzniku zemního spojení (zvláště je-li přerušované) vznikají značná přepětí na zdravých fázích, která mohou způsobit dvojité zemní spojení (dvoufázový zkrat) a vedení musí být odpojeno.

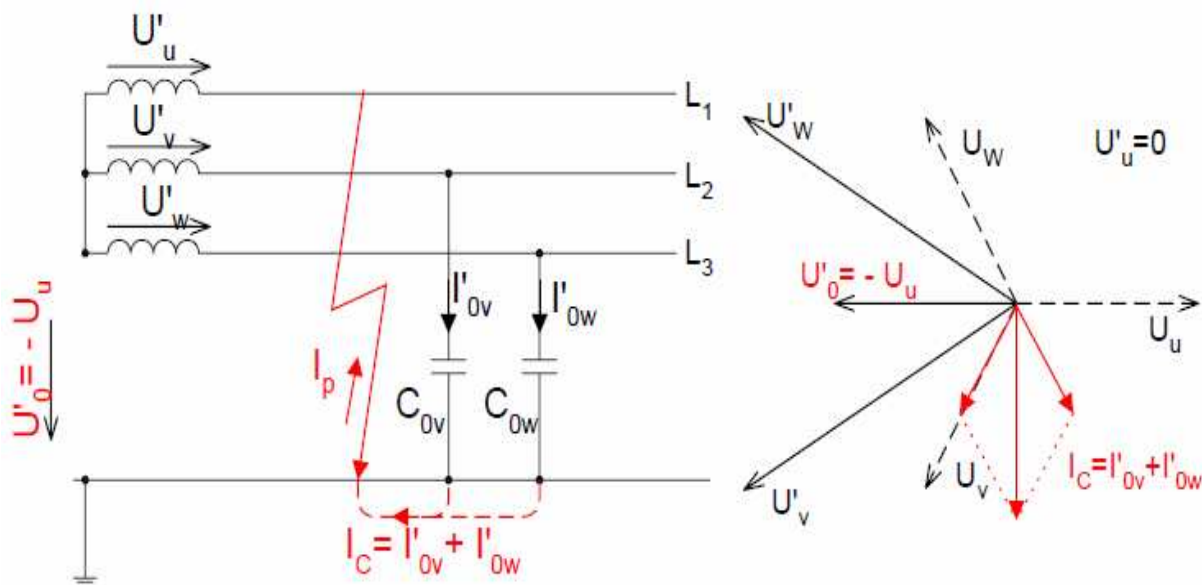
Jako izolované jsou tedy provedeny pouze sítě VN (od 6 do 35kV) malého rozsahu, kde kapacitní proud sítě nepřekročí hodnotu 20A [6]. Místem poruchy protéká celkový kapacitní proud soustavy. Protože poruchový proud má kapacitní charakter je jeho zhášení velice obtížné a provázené znovuzápaly. Takto vzniklé přechodné děje vyvolávají v síti přepětí. Z těchto důvodů je používání izolovaného uzlu omezeno na malé sítě. V normách pro provoz VN sítí se připouští mezní rozsah kapacitního proudu 20A, od hodnoty 10A se již doporučuje kompenzace zemních proudů [7].

U zemního spojení v sítích s izolovaným uzlem tečou obvodem podstatně menší proudy než při zkratu a vedení se zpravidla samočinně nevypíná, ale pouze signalizuje zemní spojení. Proud jdoucí místem zemního spojení závisí na velikosti kapacity proti zemi.

Zhasnutí oblouku je závislé na velikosti proudu, který vytvoří zemní spojení. V opačném případě hořící oblouk poškozuje vodiče a ostatní zařízení, při přerušovaném zhášení a zapalování oblouku způsobuje přepětí a takto mohou vznikat vícenásobné poruchy [2].



Obr.4.1 Izolovaná síť [6]



Obr.4.2 Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení [6]

4.2 Síť neúčinně uzemněné

Sítě neúčinně uzemněné jsou takové, v nichž jsou nulové body transformátoru uzemněny přes velkou impedanci [6]. Příčná nulová reaktance vedení je téměř čistě kapacitního charakteru, tudíž zařazením paralelní a stejně velké reaktance induktivního charakteru lze teoreticky dosáhnout rezonance napětí v nulové soustavě a při zemním spojení by místem poruchy netekl žádný proud [2].

4.2.1 Síť kompenzovaná

Kompensaci kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí je nutné provádět tak, aby místem náhodného zemního spojení protékal pouze tzv. zbytkový proud a tím se dosáhlo samočinného zhášení oblouku v místě poruchy. Dále je nutné redukovat hodnotu krokového napětí v okolí poruchy a umožnit provoz vedení s poruchou při zemním spojení (provoz je omezen dovoleným oteplením zhášecí tlumivky) [7].

Pro snížení zemního proudu se do nulového bodu transformátoru připojuje tzv. zhášecí tlumivka (Petersenova cívka). Vlivem fázového napětí mezi nulovým bodem transformátoru a zemí je tlumivka zdrojem proudu induktivního charakteru I_L . Opět se pro zjednodušení řešení uvažuje proud čistě induktivní. Pokud je tento proud stejně veliký jako kapacitní proud tekoucí místem zemního spojení I_C , dojde k vykompenzování zemního proudu a místem poruchy neteče žádný proud $I_P=0$.

Zhášecí tlumivka musí být regulována tak, aby se induktivní proud mohl měnit podle velikosti zemního proudu, který je v dané síti dán celkovou délkou galvanicky spojeného vedení sítě. Tato délka se mění buď vypínáním, nebo zapínáním jednotlivých vedení anebo rozšiřováním sítě. Při uvažování činné složky proudu zemního spojení a obvodu tlumivky teče místem spojení tzv. zbytkový proud. Výše uvedené skutečnosti jsou uvažovány pro základní harmonickou proud, avšak místem zemního spojení mohou téci i proudy vyšších harmonických [6].

Zhášecí tlumivka se určuje z velikosti zemního proudu, fázového napětí a jmenovitého výkonu. Zhášecí tlumivky se dimenzují na 2 hodinový nebo trvalý chod a provádí se vždy s velkým regulačním rozsahem. U venkovních sítí 22kV se nedoporučuje ponechávat sítě delší než 600 ÷ 700km v jednom galvanickém celku. Při větších délkách je třeba tyto sítě rozdělit a zcela odděleně napájet transformátory se samostatnými zhášecími tlumivkami [2].

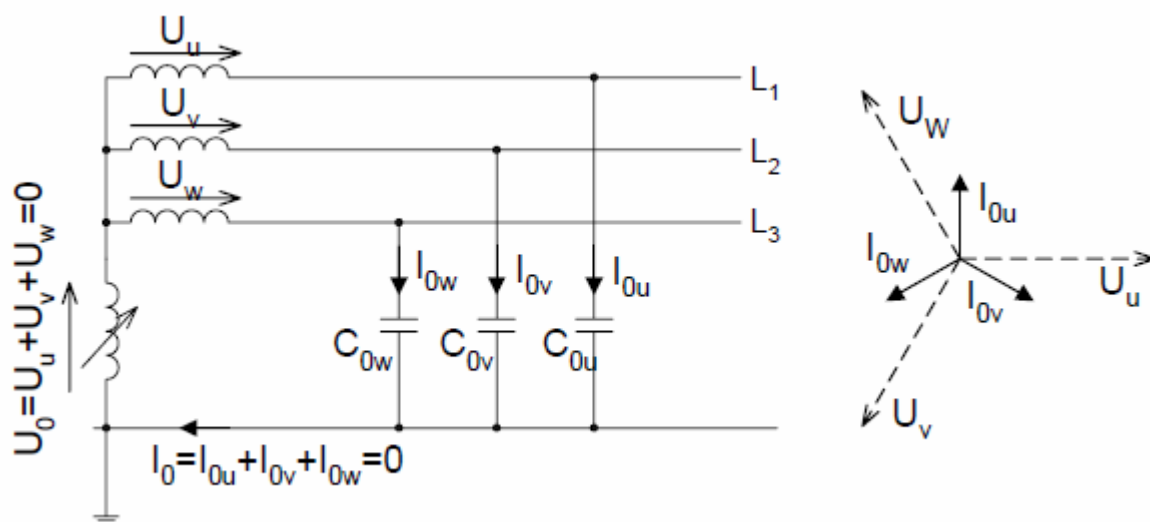
Napětí sítě [kV]	Napětí tlumivky [kV]	Regul. rozsah [A] při výkonu [kVAr]		
		50	200	800
6	3,64	1,4 ÷ 14	5,5 ÷ 55	22 ÷ 220
10	6,06	0,8 ÷ 8	3,3 ÷ 33	13 ÷ 132
22	13,3	—	—	6 ÷ 60
35	21,2	—	—	4 ÷ 38

Tab.4.2 Parametry vybraných zhášecích tlumivek [2]

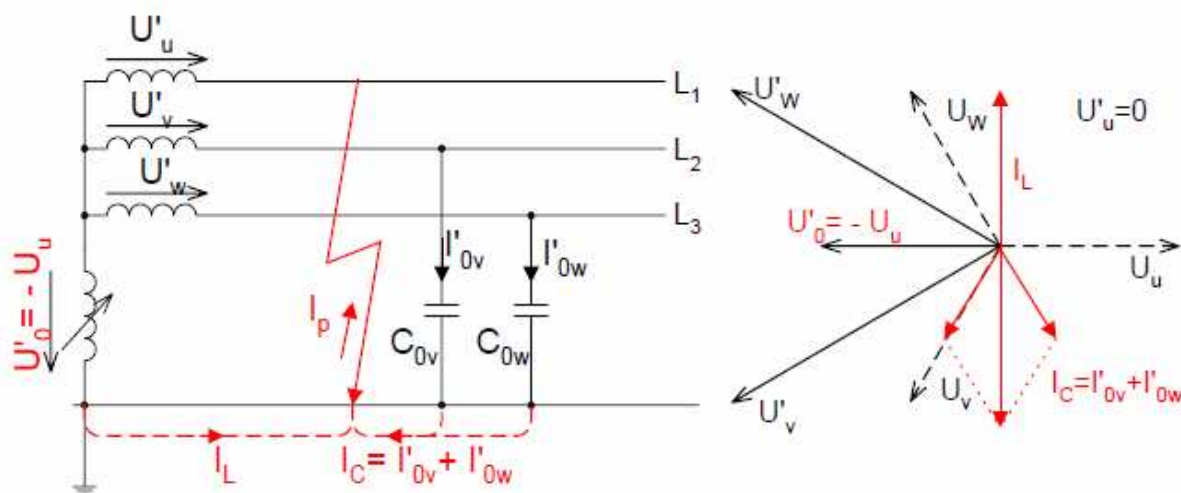
Při vzniku zemního spojení je nutno najít postižený vývod. Vyhledání tohoto postiženého vývodu postupným vypínáním rušivě působí na odběratele. Řešení je v samočinném přepínání odporu do pomocného obvodu zhášecí tlumivky, čímž se zvětší činná složka zbytkového proudu o 20 až 30%, což zlepší funkci zemních relé, takže mohou signalizovat postižení vedení [2].

Kompenzace kapacitní složky zemního proudu má ještě další ekonomický dosah a to díky nižším nákladům na uzemnění. Toto může být dimenzováno pouze na zbytkový proud a je tedy

levnější, aniž by vzniklo nebezpečné dotykové napětí. V České republice provádíme kompenzování i kabelových sítí menšího rozsahu. Využití kompenzovaných sítí je opět dáno velikostí jejich kapacitního proudu. Horní mez je 100A u venkovních vedení, 300A u smíšených a 450A u vedení kabelových. V zásadě se kompenzovaná síť při spojení jedné fáze se zemí chová jako síť izolovaná, ale kapacitní poruchový proud je kompenzován a místem poruchy a tedy i postiženou fází protéká jen velmi malý zbytkový proud, což přináší také problematické zjišťování místa zemního spojení [6].



Obr.4.3 Kompenzovaná síť [6]



Obr.4.4 Rozložení proudů v kompenzované síti při zemním spojení [6]

Místem poruchy tedy nepoteče žádný proud – jestliže [2]:

$$I_p = I_L + I_C = j \frac{U_N}{\omega L} - j3 \cdot U_N \cdot \omega C_0 = 0 \quad (\text{A; kV, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{H, kV, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{F}) \quad (4.1)$$

$$\frac{1}{\omega L} = 3\omega C_0 \quad (\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{H, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{F}) \quad (4.2)$$

Indukčnost a výkon tlumivky se určí ze vztahu [2]:

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0} \quad (\text{H; rad}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{F}) \quad (4.3)$$

$$Q_L = \frac{U_s^2}{3 \cdot \omega \cdot L} \quad (\text{kVAr; kV, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{H}) \quad (4.4)$$

Zhášecí tlumivka se určuje z velikosti zemního proudu, fázového napětí a jmenovitého výkonu, který je dán [2]:

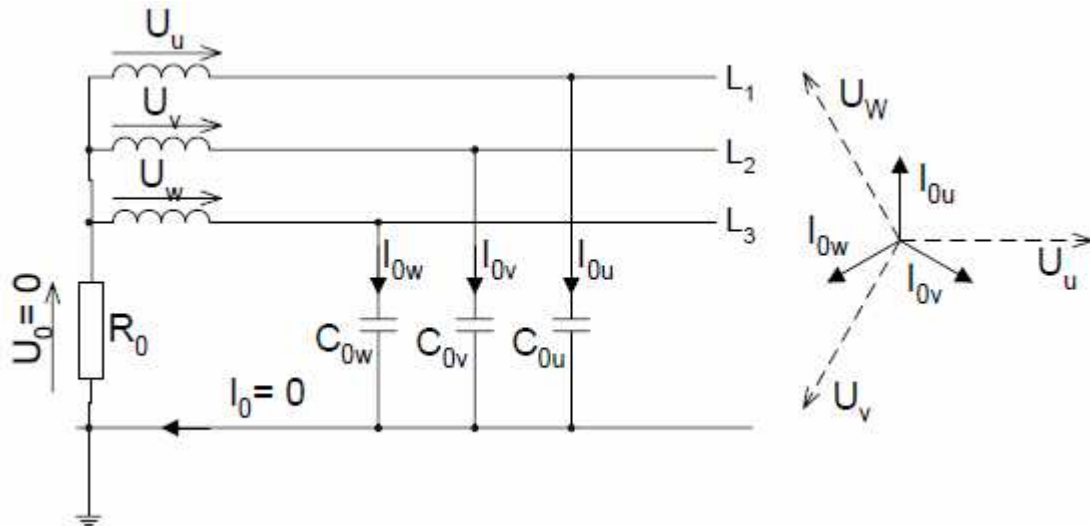
$$X_L = \omega \cdot L = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0} \quad (\Omega; \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{H, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{F}) \quad (4.5)$$

$$I_L = \frac{U_N}{X_L} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot X_L} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \omega \cdot C_0 \quad (\text{A; kV, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{F}) \quad (4.6)$$

$$Q_L = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot I_L = \frac{U_s^2}{3 \cdot \omega \cdot L} = U_s^2 \cdot \omega \cdot C_0 \quad (\text{kVAr; kV, rad}\cdot\text{s}^{-1}, \text{F}) \quad (4.7)$$

4.3 Síť uzemněné přes rezistanci

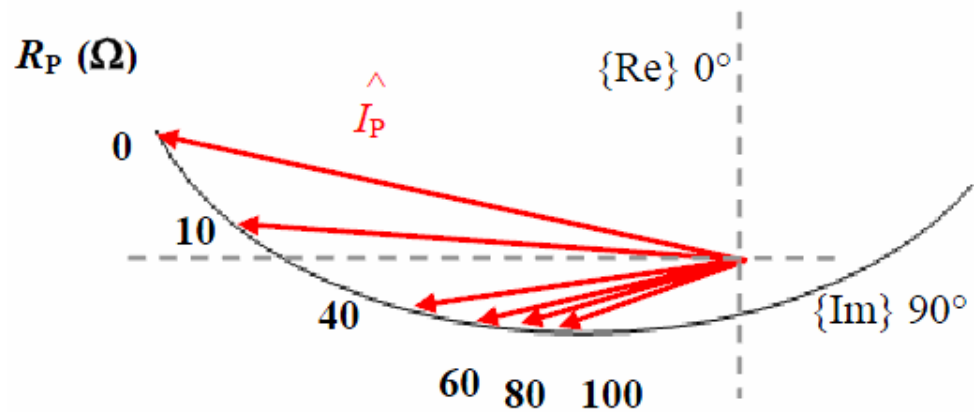
V sítích uzemněných přes rezistor se jedná o 1fázový zkrat [7]. Uzel transformátoru je spojen se zemí přes rezistor, který má omezovat poruchový kapacitní proud při spojení jedné fáze se zemí. Používá se především u kabelových sítí velkého rozsahu, kde tyto proudy mohou dosahovat velkých hodnot. Výhodou je omezení přepětí, nevýhodou je však nutnost vypnutí vedení [6].



Obr.4.5 Síť uzemněná přes rezistanci [6]

4.4 Poruchy s přechodovým odporem

Převážná většina 1pólových poruch má charakter odporového zemního spojení s časovou změnou odporu poruchy, jedná se o oblouková zemní spojení. Velikost hodnoty odporu poruchy má vliv na charakter přechodných dějů analyzovaných veličin. Jde především o přepětí, strmost napětí a rázovou složku proudu místem zemního spojení [7].



Obr.4.6 Fázorové znázornění poruchového proudu při změně přechodného odporu [7]

Z hlediska praxe dochází k nejčastějšímu výskytu vysoko-ohmových zemních spojení s časovou změnou rezistance místa poruchy, dochází tedy ke vzniku tzv. obloukových zemních poruch. V případě vysoko-ohmického zemního spojení je nutné pro výpočet napěťových poměrů v místě nesymetrie respektovat odpor poruchy. Při změně odporu poruchy od minimálních hodnot odpovídající kovovému zemnímu spojení po hodnotu mezního odporu poruchy odpovídající rovnovážnému stavu soustavy dochází k tzv. vysunutí fázoru napětí v uzlu systému. Současně dochází k omezení velikosti poruchového proudu, který protéká místem poruchy a k postupnému zvyšování amplitudy fázoru napětí fáze s poruchou. Zvýšení odporu poruchy má příznivý vliv na omezení uvedeného přepětí [7].

5 VÝPOČET ZEMNÍHO SPOJENÍ

Úkolem práce je určit celkovou kapacitu zadané sítě a následně navrhnout zhášecí tlumivku pro kompenzaci proudu zemního spojení zadané části sítě 22kV. Řešená síť se skládá z vedení VN 132, vedení VN 98 a odbočky Vladislav a je uvedena v příloze A.

5.1 Popis sítě

V této části jsou popsány parametry sítě, kterou tvoří vedení VN98, odbočka Vladislav a vedení VN 132. V následujících tabulkách je popsán použitý typ venkovního vedení (kabelu), jeho příslušná délka a parametry vedení vztahované na kilometr délky vedení.

Délka [m]	Typ
140	Kabel AXEKCEY 240mm ²
3850	Venkovní vedení 95 mm ²
4650	Venkovní vedení 95 mm ²
300	Venkovní vedení 185 mm ²
1500	Venkovní vedení 95 mm ²

Tab.5.1 Parametry vedení VN 98

Délka [m]	Typ
70	Venkovní vedení 70 mm ²
530	Venkovní vedení 50 mm ²
340	Venkovní vedení 42 mm ²
1490	Venkovní vedení 35 mm ²

Tab.5.2 Parametry odboček z vedení VN 98

Délka [m]	Typ
2500	Venkovní vedení 95 mm ²
6150	Venkovní vedení 95 mm ²

Tab.5.3 Parametry odbočky Vladislav

Délka [m]	Typ
460	Kabel ANKTOYPV 120 mm ²
5650	Venkovní vedení 50 mm ²
13620	Venkovní vedení 42 mm ²
1598	Venkovní vedení 35 mm ²

Tab.5.4 Parametry odboček z odbočky Vladislav

Délka [m]	Typ
155	Kabel AXEKCEY 240mm ²
740	Venkovní vedení 95 mm ²
1965	Venkovní vedení 95 mm ²
930	Venkovní vedení 95 mm ²
3450	Venkovní vedení 70 mm ²
5550	Venkovní vedení 70 mm ²

Tab.5.5 Parametry vedení VN 132

Délka [m]	Typ
2540	Venkovní vedení 70 mm ²
13330	Venkovní vedení 50 mm ²
9016	Venkovní vedení 42 mm ²
4050	Venkovní vedení 35 mm ²

Tab.5.6 Parametry odboček z vedení VN 132

Typ	R_k [Ω]	X_k [Ω]	X_{ck} [$k\Omega$]
Kabel AXEKCEY 240mm ²	0,125	0,113	10,59
Kabel ANKTOYPV 120 mm ²	0,299	0,097	13,66
Venkovní vedení 185 mm ²	0,180	0,335	295,9
Venkovní vedení 95 mm ²	0,369	0,351	314,9
Venkovní vedení 70 mm ²	0,501	0,374	323,6
Venkovní vedení 50 mm ²	0,69	0,384	333,2
Venkovní vedení 42 mm ²	0,75	0,392	338,2
Venkovní vedení 35 mm ²	0,97	0,401	343,4

Tab.5.7 Parametry kabelů a venkovních vedení vztahované na kilometr délky vedení

5.2 Výpočet parametrů sítě

V této části budou vypočítány skutečné podélné a příčné parametry jednotlivých úseků sítě. Hlavním úkolem bude vypočítat kapacity jednotlivých úseků vedení a z nich následně určit celkovou kapacitu zadané sítě.

5.2.1 Vedení VN 98

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X_c
l	S	[Ω]	[Ω]	[$k\Omega$]
140	240	0,018	0,016	1,483
3850	95	1,421	1,351	1212,365
4650	95	1,716	1,632	1464,285
300	185	0,054	0,101	88,77
1500	95	0,554	0,527	472,35

Tab.5.8 Skutečné parametry vedení VN 98

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
70	70	0,035	0,026	22,652
260	42	0,195	0,102	87,932
520	35	0,504	0,209	178,568
80	42	0,06	0,031	27,056
820	35	0,795	0,329	281,588
340	50	0,235	0,131	113,288
190	50	0,131	0,073	63,308
150	35	0,146	0,06	51,51

Tab.5.9 Skutečné parametry odboček z vedení VN 98

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
2500	95	0,923	0,878	787,25
6150	95	2,269	2,159	1936,635

Tab.5.10 Skutečné parametry odbočky Vladislav

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
460	120	0,138	0,045	6,284
190	50	0,131	0,073	63,308
612	35	0,594	0,245	210,161
7280	42	5,46	2,854	2462,096
215	35	0,209	0,086	73,831
1500	50	1,035	0,576	499,8
40	42	0,03	0,016	13,528
160	50	0,11	0,061	53,312
5700	42	4,275	2,234	1927,74
3800	50	2,622	1,459	1266,16
250	35	0,243	0,1	85,85
300	35	0,291	0,120	103,02
311	35	0,302	0,125	106,797
60	35	0,058	0,024	20,604
600	42	0,45	0,235	202,92

Tab.5.11 Skutečné parametry odboček z odbočky Vladislav

5.2.2 Vedení VN 132

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S			
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
155	240	0,019	0,018	1,641
740	95	0,273	0,26	233,026
1965	95	0,725	0,69	618,779
930	95	0,343	0,326	292,857
3450	70	1,728	1,29	1116,42
5550	70	2,781	2,076	1795,98

Tab.5.12 Skutečné parametry vedení VN 132

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S			
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
760	50	0,524	0,292	253,232
250	35	0,243	0,1	85,85
180	35	0,175	0,072	61,812
126	42	0,095	0,049	42,613
18	42	0,014	0,007	6,088
400	35	0,388	0,16	137,36
8600	42	6,45	3,371	2908,52
1940	35	1,882	0,78	666,196
2570	50	1,773	0,987	856,324
10	42	0,0075	0,0039	3,382
480	35	0,466	0,192	164,832
60	42	0,045	0,024	20,292
10	42	0,0075	0,0039	3,382
170	35	0,165	0,068	58,378
220	42	0,165	0,086	74,404
630	35	0,611	0,253	216,342
2540	70	1,273	0,95	821,944
10000	50	6,9	3,84	3332
460	120	0,138	0,045	6,284

Tab.5.13 Skutečné parametry odboček z vedení VN 132

Délka vedení	Průřez vedení	Parametry sítě		
		R	X	X _C
l	S			
[m]	[mm ²]	[Ω]	[Ω]	[kΩ]
600	95	0,221	0,211	188,94

Tab.5.14 Skutečné parametry úseku vedení 600/95 k zemnímu spojení

5.2.3 Celkové kapacity jednotlivých úseků vedení

V následující tabulce jsou vypočítány reaktance a kapacity jednotlivých úseků vedení.

VN 98		Odbočka Vladislav		VN 132		Úsek 600/95		Celková kapacita vedení
X_c	C	X_c	C	X_c	C	X_c	C	C
[kΩ]	[μF]	[kΩ]	[μF]	[kΩ]	[μF]	[kΩ]	[nF]	[μF]
1,198	2,657	2,662	1,196	0,591	5,386	188,94	16,847	9,253

Tab.5.15 Vypočítané kapacity zadaného vedení

5.3 Určení parametrů zhášecí tlumivky

V této části budou vypočítány parametry zhášecí tlumivky, které jsou indukčnost zhášecí tlumivky, výkon a proud zhášecí tlumivky. Parametry zhášecí tlumivky se budou určovat podle vztahů, které jsou uvedeny v kapitole 4.2.1.

5.3.1 Indukčnost zhášecí tlumivky

Budeme vycházet ze vztahu (4.1), ze kterého plyne, že místem poruchy teče nulový poruchový proud. V tomto případě budeme porovnávat proud procházející zhášecí tlumivkou a proud procházející kapacitou vedení. Po úpravě vyjde vztah (4.2), ze kterého bude vypočítána indukčnost zhášecí tlumivky podle vztahu (4.3), ve kterém C_0 značí celkovou vypočítanou kapacitu vedení. Celková kapacita vedení je uvedena v tabulce 5.15.

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0} = \frac{1}{3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \cdot 9,253 \cdot 10^{-6}} = 0,365 H$$

5.3.2 Výkon zhášecí tlumivky

Výkon zhášecí tlumivky bude vypočten ze vztahu (4.4).

$$Q_L = \frac{U_s^2}{3 \cdot \omega \cdot L} = \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,365} = 1406958,766 \text{ VA} = 1,407 \text{ MVA}$$

5.3.3 Proud zhášecí tlumivkou

Proud zhášecí tlumivkou bude vypočten podle vztahu (4.6).

$$I_L = \frac{U_N}{X_L} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot X_L} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \omega \cdot C_0 = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 9,253 \cdot 10^{-6} = 110,768A$$

5.3.4 Vypočítané parametry zhášecí tlumivky

V následující tabulce jsou uvedeny vypočítané parametry zhášecí tlumivky.

Indukčnost zhášecí tlumivky	Výkon zhášecí tlumivky	Proud zhášecí tlumivkou
L	Q_L	I_L
[H]	[MVar]	[A]
0,365	1,407	110,768

Tab.5.16 Vypočítané parametry zhášecí tlumivky

5.3.5 Návrh zhášecí tlumivky

V této části byla vybrána zhášecí tlumivka od společnosti EGE, podle vypočítaných parametrů. Parametry zhášecích tlumivek společnosti EGE jsou uvedeny v příloze B. Tlumivka byla zvolena podle vypočítaného výkonu a vybrána dle nejbližšího vyššího výkonu z katalogu.

Byla zvolena zhášecí tlumivka o typovém označení ASR 1.6, která bude provozována na trvalý chod.

Maximální výkon	Rozměry			Váha
	Výška	Šířka	Hloubka	
[kVA]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
1600	2510	1810	1492	3800

Tab.5.17 Parametry vybrané zhášecí tlumivky typu ASR 1.6

6 ZÁVĚR

V této práci se řeší poruchové stavy, které mohou vznikat na venkovních vedeních. V první části byly rozebrány poruchové stavy, jako jsou zkraty, přepětí a další možné poruchy. Zkraty jsou rozděleny na souměrné a nesouměrné. Poté byl popsán průběh zkratového proudu a jeho charakteristické veličiny. Dále je popsán pojem přepětí a následně je rozděleno přepětí podle časového průběhu a podle příčiny vzniku na vnitřní přepětí a vnější přepětí.

Druhá část práce popisuje zemní spojení. Zemní spojení je také druh poruchy, který lze při spojení jedné fáze se zemí nadále provozovat. U zemního spojení jsou popsány soustavy, ve kterých se zemní spojení může vyskytnout, jako jsou soustavy s izolovaným uzlem a soustavy s neúčinně uzemněným uzlem. Při vzniku zemního spojení tečou obvodem podstatně menší proudy než je tomu při vzniku zkratu. V tomto případě se vedení samočinně nevypíná, ale pouze signalizuje zemní spojení. V soustavách s neúčinně uzemněným uzlem se uzel transformátoru spojuje se zemí přes zhášecí tlumivku, která má za úkol kompenzovat zemní proudy.

Praktická část této práce se zabývala návrhem zhášecí tlumivky pro síť 22kV. Pro zadanou síť, která se skládá z vedení VN 132, vedení VN 98 a odbočky Vladislav byly vypočítány skutečné podélné a příčné parametry sítě. Z příčných parametrů se určily jednotlivé kapacity vedení a následně celková kapacita, které jsou uvedeny v kapitole 5.2.3. Z celkové kapacity vedení se vypočítala indukčnost, výkon a proud zhášecí tlumivky (Tab.5.16). Z těchto parametrů je navržena podle [8] zhášecí tlumivka EGE typ ASR 1.6.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HALUZÍK, WEIDINGER, KRÁTKÝ, Ochrany a jištění energetických zařízení.
VUT Brno, 63stran
- [2] HODINKA, Přechodové jevy v elektrizační soustavě. VUT Brno 1989, 246stran
- [3] HALUZÍK, Ochrany a automatiky v elektrických sítích. VUT Brno 1985, 160 stran
- [4] BLAŽEK, SKALA, Distribuce elektrické energie. VUT Brno, 138 stran
- [5] BLAŽEK, SKALA, Vysoké napětí a elektrické přístroje. VUT Brno, 72 stran
- [6] ORSÁGOVÁ, Rozvodná zařízení. VUT Brno, 152 stran
- [7] MIŠÁK, Analýza napěťových a proudových poměrů 1pólových poruch ve vlastní spotřebě
VN elektrárenských a průmyslových provozů. Disertační práce. Ostrava: VŠB, 2007, 142
stran
- [8] ELA O 320.7 cz, Katalog zhášecích tlumivek EGE. České Budějovice, 13 stran

Příloha A Schéma řešené sítě

Příloha B Parametry zhášecích tlumivek společnosti EGE

Zhášecí tlumivky – trvalý provoz (standardní provedení)					
Výkon *) (max) kVA	Typ	Rozměry (informativní)			Hmotnost (max) kg
		A (výška)	B (šířka)	C (hloubka)	
500	ZTC 250	2220	2160	1220	1930
1000	ASR 1.0	2400	1820	1330	2900
1600	ASR 1.6	2510	1810	1492	3800
2000	ASR 2.0	2630	2495	1505	4400
2700-2800	ASR 2.5	2730	2315	1930	4870
3600	ASR 3.2	3015	2420	2130	6000
4200	ASR 4.0	3080	1840	2460	6500
5000	ASR 5.0	3650	2680	1820	8500
6300	ASR 6.3	3810	2550	2310	10400
8000	ASR 8.0	3875	2694	2363	12600

Tab.B.1 Zhášecí tlumivky pro trvalý provoz [8]