

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv trojfázových vedení na potrubí uložená v zemi

Štěpán Žurek

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Štěpán ŽUREK**
Osobní číslo: **E14B0078P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Vliv trojfázových vedení na potrubí uložená v zemi**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Prostudujte odbornou literaturu a internetové zdroje týkající se vlivu trojfázových vedení na potrubní úložné systémy.
2. Vytvořte algoritmus pro výpočet rušivých vlivů elektromagnetického pole trojfázových vedení na potrubí uložená v zemi.
3. Uvažujte různá geometrická uspořádání.
4. Naprogramujte výpočet pro hodnocení vlivu elektromagnetického pole trojfázových vedení na úložné potrubní soustavy.
5. Vytvořte uživatelské rozhraní pro snazší ovládání programu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 50443 (332165) Účinky elektromagnetické interference na potrubí způsobené AC vysokonapěťovými elektrickými trakčními soustavami a/nebo AC vysokonapěťovými napájecími soustavami. Praha: Český normalizační institut, 2012.
2. Mayer, Daniel. Teorie elektromagnetického pole. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004.


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Šroubová, Ph.D.

Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018


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




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na vliv třífázových venkovních vedení na ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi. Zahrnuje tvorbu programu vytvořeného v jazyce MATLAB v souladu s normami. Program slouží k návrhu rovnoběžného a šikmého souběhu venkovního vedení vvn a zvn s ocelovým izolovaným potrubím uloženým v zemi.

Klíčová slova

MATLAB, elektromagnetické pole, potenciál, indukční vliv, galvanický vliv, potrubí.

Abstract

This bachelor thesis is focused on the influence of three-phase overhead transmission lines on steel insulated pipelines installed underground. It includes a creation of a program that was made in MATLAB programming language in accordance with the standards. The program serves for designing parallel and incline situated concourse of three-phase overhead transmission lines with steel insulated pipelines installed underground.

Key words

MATLAB, electromagnetic field, potential, inductive effect, galvanic influence, pipeline.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2018

Štěpán Žurek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lence Šroubové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	13
1 TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE	16
1.1 VZNIK A VÝVOJ TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE	16
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	16
1.3 MAXWELLOVY ROVNICE	18
1.3.1 <i>Soustava Maxwellových rovnic v integrálním tvaru</i>	18
1.3.2 <i>Soustava Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru</i>	20
2 PŘENOSOVÁ A ROZVODNÁ SOUSTAVA	22
2.1 ÚKOL PŘENOSOVÝCH A ROZVODNÝCH SÍTÍ	22
2.2 NAPĚŤOVÉ HLADINY A NAPĚŤOVÉ ÚROVNĚ	22
2.3 PRINCIPIÁLNÍ ŘEŠENÍ SÍTÍ Z HLEDISKA USPOŘÁDÁNÍ	24
2.4 ZPŮSOBY PROVOZU UZLU TRANSFORMÁTORU	26
2.4.1 <i>Sítě izolované, které nemají uzly vinutí transformátoru spojeny se zemí.</i>	26
2.4.2 <i>Sítě kompenzované, které pro snížení zemního proudu mají připojenou do nulového bodu transformátoru zhášecí (Petersenovo) tlumivku.</i>	28
2.4.3 <i>Sítě účinně uzemněné, které jsou v nulových bodech (uzlech) transformátorů spojené přímo se zemí nebo přes malou impedanci.</i>	29
2.5 ELEKTRICKÉ STANICE	30

2.5.1	<i>Rozdělení elektrických stanic podle účelu a umístění</i>	30
2.5.2	<i>Zařízení elektrických stanic</i>	31
2.6	ELEKTRICKÁ VEDENÍ	32
2.6.1	<i>Charakteristika venkovního vedení a jeho porovnání s kabelovým vedením</i> ..	33
3	ELEKTROTECHNICKÉ PŘEDPISY	34
3.1	OBECNĚ	34
3.2	VOLBA TRASY	34
3.3	MEZE NEBEZPEČNÝCH VLIVŮ	36
	• <i>Indukční vliv</i>	36
4	PROGRAM	40
4.1	MATLAB	40
4.2	KAPACITNÍ VLIV	40
4.3	INDUKČNÍ VLIV	41
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55

Úvod

Neustálý technický rozvoj civilizace vede k stále vyšší poptávce po elektrické energii. Následkem toho je nutnost rozšiřovat přenosové a distribuční sítě. Především z ekonomických důvodů, které zahrnují také výkupy pozemků, jsou častější souběhy přenosových systémů. Vznikla potřeba zajistit kompatibilitu mezi přenosovými sítěmi, která vedla ke vzniku norem zabývajících se touto problematikou. Má práce je zaměřena na návrh souběhu venkovního vedení a ocelového potrubí uloženého v zemi. Všechny výpočty jsou uvedené v mém programu a zpracovány v souladu s normou ČSN 332165 a novou normou ČSN EN 50443. Tato norma se zabývá nejnepříznivější podmínkou a to jednofázovým zkratem na třífázovém venkovním vedení a jeho dopadem na potrubí uložené v zemi.

Text je rozdělen na pět částí. První část textu je zaměřena na teorii elektromagnetického pole, zahrnuje informace týkající se objevitelů, klasifikace elektromagnetického pole a Maxwellových rovnic. Druhá část se zabývá přenosovou a rozvodnou soustavou. Třetí část je zaměřena na elektrotechnické předpisy. Těžištěm práce je čtvrtá část, kterou je program zabývajících se indukčním a galvanickým vlivem a také výpočtem potenciálu. Program zobrazuje tabulky z externích textových souborů, které lze v případě změny nahradit a program zůstane stále funkční. V závěru hodnotím přínos své práce.

Seznam obrázků

OBR. 1 PAPERKOVÝ ROZVOD (PŘEVZATO Z [5])	24
OBR. 2 PRŮBĚŽNÝ ROZVOD (PŘEVZATO Z [5]).....	24
OBR. 3 OKRUŽNÍ ROZVOD (PŘEVZATO Z [5])	25
OBR. 4 MŘÍŽOVÝ ROZVOD (PŘEVZATO Z [5]).....	25
OBR. 5 UZEL VINUTÍ TRANSFORMÁTORU NENÍ SPOJEN SE ZEMÍ (SÍŤ IZOLOVANÁ)	27
OBR. 6 FÁZOROVÝ DIAGRAM IZOLOVANÉ SÍTĚ	27
OBR. 7 IZOLOVANÁ SÍŤ JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT	28
OBR. 8 FÁZOVÝ DIAGRAM IZOLOVANÉ SÍTĚ PŘI JEDNOFÁZOVÉM ZEMNÍM SPOJENÍ	28
OBR. 9 KOMPENZOVANÁ SÍŤ.....	29
OBR. 10 FÁZOVÝ DIAGRAM (VYKOMPENZOVÁNÍ ZEMNÍHO PROUDU, IDEÁLNÍ STAV)	29
OBR. 11 DRUH SOUBĚHU.....	41
OBR. 12 ROVNOBĚŽNÝ SOUBĚH.....	41
OBR. 13 ŠIKMÝ SOUBĚH.....	42
OBR. 14 ZADÁVÁNÍ HODNOT	42
OBR. 15 FREKVENCE A ZDÁNĹIVÝ ODPOR PŮDY.....	43
OBR. 16 TOTO MENU VYJADŘUJE TAB.3 (UŽIVATEL V PROGRAMU VYBÍRÁ)	44
OBR. 17 ZOBRAZENÍ VÝLEDKŮ S RADOU	44
OBR. 18 PRŮMĚR POTRUBÍ.....	45
OBR. 19 VÝBĚR ZDÁNĹIVÉHO MĚRNÉHO ODPORU PŮDY.....	45
OBR. 20 POMĚRNÁ PERMEABILITA OCELI.....	46
OBR. 21 RUČNÍ ZADÁNÍ PERMEABILITY OCELI.....	46
OBR. 22 POMĚRNÁ VODIVOST IZOLACE.....	45
OBR. 23 TLOUŠŤKA IZOLACE POTRUBÍ	46
OBR. 24 NABÍDKA PRŮMĚRNÉ VODIVOSTI.....	47
OBR. 25 HUSTOTA PROUDU.....	47
OBR. 26 PLOCHA UZEMŇOVACÍ STANICE	49
OBR. 27 VZDÁLENOST MEZI STŘEDEM EKVIVALENTNÍ SOUSTAVY A OSOU POTRUBÍ.....	49
OBR. 28 HODNOTY RZ A IZ.....	50
OBR. 29 ZOBRAZENÍ VÝLEDKU S RADOU	50
OBR. 30 VZDÁLENOST OD KONCE VÝPOČETNÍHO ÚSEKU	52

<i>OBR. 31 ODPOR UZEMNĚNÍ STANICE</i>	<i>52</i>
<i>OBR. 32 POČET ZEMNÍČŮ NA KM</i>	<i>52</i>
<i>OBR. 33 VYPÍŠE VÝSLEDNÝ POTENCIÁL</i>	<i>53</i>

Seznam symbolů a zkratk

H	Intenzita magnetického pole (Am^{-1})
I	Celkový vodičový proud (A)
Ψ	Elektrický tok (C)
S	Plocha (m^2)
D	Elektrická indukce ($C.m^{-2}$)
E	Intenzita elektrického pole ($V.m^{-2}$)
Φ	Magnetický tok (Wb)
B	Magnetická indukce (T)
Q	Elektrický náboj (C)
ρ	Objemová hustota volného náboje ($C.m^{-3}$)
J	Hustota elektrického proudu ($C.m^{-2}$)
a	Vzdálenost mezi potrubím a vedením (m)
x	Parametr x
f	Kmitočet (Hz)
ρ_z	Zdánlivý měrný odpor půdy ($\Omega.m$)
U_i	Ideální podélné napětí (V)
M	Součinitel vzájemné indukčnosti mezi dvěma vodiči se zpětným vedením zemí ($V.H.km^{-1}$)
I_k	jednofázový zkratový proud tekoucí vedením (A)
ω	Kruhová frekvence (s^{-1})

r_z	Redukční činitel zemních lan
U_{iv}	Výsledné ideální podélné napětí (V)
$G_{prům}$	Průměrná vodivost izolace potrubí ($\mu. S. m^{-1}$)
μ_0	Permeabilita vakua ($H. m^{-1}$)
μ_r	Poměrná permeabilita oceli ($H. m^{-1}$)
ρ_{Fe}	Poměrná rezistence oceli ($\Omega. m$)
ϵ_r	Poměrná permitivita izolace potrubí ($F. m^{-1}$)
ϵ_0	Poměrná permitivita vakua ($F. m^{-1}$)
R	Podélná rezistence smyčky ($\Omega. km^{-1}$)
$\omega. L$	Podélná reaktance ($\Omega. km^{-1}$)
$\omega. C$	Podélná susceptance ($S. km^{-1}$)
G	Podélná konduktance ($S. km^{-2}$)
γ	Součinitel šíření (km^{-1})
$ \gamma $	Součinitel šíření gama v absolutní hodnotě (km^{-1})
φ_γ	Fázový úhel součinitele šíření (rad)
L_k	Délková konstanta potrubí (km)
b	Nejkratší vzdálenost mezi středem ekvivalentní soustavy a osou potrubí
	(m)
R_z	Odpor uzemnění stanice vvn nebo zvn (Ω)
I_z	Část zkratového proudu tekoucího uzemněním stanice vvn nebo zvn (A)
u_p	Poměrná hodnota napětí

- U_p Největší potenciál potrubí (V)
- e Eulerovo číslo
- U_{Pmax} Největší potenciál potrubí na koncích výpočetního úseku (V)
- y Vzdálenost od konce výpočetního úseku(km)
- n Zvolený počet zemničů
- G_v Podélná konduktance potrubí bez připojených zemničů ($S.km^{-1}$)
- y Vzdálenost od konce výpočetního úseku (km)
- n Zvolený počet zemničů
- r_0 Poloměr ekvivalentní uzemňovací soustavy (m)
- MATLAB MATLAB® - interaktivní prostředí pro vědecké a technické výpočty

1 TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

1.1 Vznik a vývoj teorie elektromagnetického pole

Problematikou elektromagnetického pole se zabývají vědci od konce 18. století. Mezi nejznámější průkopníky patří Ch. A. Coulomb, A. Volta, A. M. Ampér, H. Ch. Oersted, J. D. Biot, F. Savart, G. R. Kirchhoff a G. S. Ohm. Velice významným mužem byl, Michael Faraday, který roku 1831 objevil zákon elektromagnetické indukce. Své poznatky nechtěl jen zdokumentovat, ale i fyzikálně vysvětlit. Nelíbila se mu myšlenka, že prostor mezi na sebe působícími náboji je prázdný a že přesto nic může působit jeden náboj na druhý, proto se snažil definovat nový druh hmoty zvanou éter. My tento pojem známe pod výstižnějším názvem elektromagnetické pole. Faraday nebyl matematikem a nesnažil se vyjádřit své myšlenky matematicky. Tohoto úkolu se ujal James Clerk Maxwell, který Faradayovi poznatky zobecnil a matematicky zpracoval. Formuloval několik obecných časově-prostorových zákonů, které matematicky popsal poměrně jednoduchými rovnicemi, které nesou jeho jméno a nazývají se Maxwellovy rovnice. V době Faradaye a Maxwella se nepodařilo dostatečně vysvětlit fyzikální podstatu elektromagnetického pole. O toto vysvětlení se zasloužilo mnoho dalších vědců jako H. Hertz, O. Heaviside, J. H. Poincaré a další. Především se o vysvětlení zasloužila speciální teorie relativity formulovaná v roce 1905 A. Einsteinem. Vysvětlují, že elektromagnetické pole se chová jako hmota, která má svoji hmotnost, hybnost a pro tyto veličiny platí zákony zachování. Zjistili jsme, že elektromagnetické pole je formou hmoty. I přes to, že jsou Maxwellovy rovnice známy více než sto let, je Maxwellova teorie stále základní metodou v mnoha oborech současné elektrotechniky, například při projektování soustav pro přenos elektrické energie, strojů a přístrojů nebo elektrických komunikačních zařízení.

[1]

1.2 Elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole se rozkládá v prostoru a je možné, že se bude měnit v čase. Veličiny popisující toto pole jsou funkcí času a tří geometrických souřadnic. Rozlišení podle prostorového průběhu je trojrozměrné, dvojrozměrné nebo jednorozměrné pole.

Podle prostorového průběhu rozlišujeme pole:

- Trojdimenzionální neboli trojrozměrné pole je polem, jehož veličiny jsou charakterizovány funkcemi tří geometrických souřadnic.
- Dvojdimeznionální neboli dvojrozměrné pole je pole, jehož veličiny jsou charakterizovány funkcemi dvou geometrických souřadnic. Dvojrozměrné pole je polem rovinným, které je funkcí x , y nebo pole rotačně souměrné, které je funkcí r , z .
- Jednodimeznionální neboli jednorozměrné pole je polem jehož veličiny jsou charakterizovány funkcemi jedné geometrické souřadnice (x nebo r).

Podle časového průběhu rozlišujeme pole:

- Časově neproměnné pole, které může být stacionární, pole buzené stejnosměrným proudem nebo statické pole buzené nepohyblivými náboji.
- Časově proměnné pole čili nestacionární. V případě, že se pole mění relativně pomalu, nazýváme toto pole kvazistacionárním. Pokud se mění s časem periodicky, je takzvaném ustáleném stavu.

Tab. 1 Klasifikace elektromagnetického pole (převzato z [1])

Elektromagnetické pole	
Časově neproměnné stacionární	Časově proměnné nestacionární
Elektrické	kvazistacionární
Proudové	harmonické
Magnetické	

1.3 Maxwellovy rovnice

V každé vědní disciplíně je formulováno několik základních zákonů ze kterých vyplývají všechny ostatní. Příkladem jsou Newtonovy zákony v klasické mechanice nebo v makroskopické teorii elektromagnetického pole Maxwellovy rovnice. Mohou být zapsány v integrálním nebo diferenciálním tvaru. V integrálním tvaru popisují elektromagnetické pole v dané oblasti a diferenciálním tvaru popisují elektromagnetické pole v určitém bodu této oblasti.[1]

1.3.1 Soustava Maxwellových rovnic v integrálním tvaru

První Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu, zobecněný Ampérův zákon) je vyjádřena vzorcem (2). Cirkulace vektoru \mathbf{H} po uzavřené libovolně orientované křivce c je rovna součtu dvou spřažených proudů s křivkou c . Celkového vodivého proudu I a posuvného (Maxwellova) proudu $d\Psi/dt$. Plocha S je obehována křivkou c a jejich vzájemná orientace je pravotočivá. $\oint_c \mathbf{H} d\mathbf{l}$ se nazývá oběhové magnetické napětí ve smyčce [1]

$$\Psi = \int_S \mathbf{D} d\mathbf{S} \quad (1)$$

$$\oint_c \mathbf{H} d\mathbf{l} = I + \frac{d\Psi}{dt} \quad (2)$$

Plochou S protéká proud I , který součtem proudů plochou protékajících. Jsou-li proudy orientované souhlasně s normálou plochy, jedná se o kladné proudy. V opačném případě je bereme jako záporné.

$$\Psi = \int_S \mathbf{D} d\mathbf{S} \quad (3)$$

Druhá Maxwellova rovnice (Faradayův indukční zákon) je vyjádřena vzorcem (4).

Cirkulace vektoru \mathbf{E} po uzavřené libovolně orientované křivce c je rovna záporné derivaci magnetického indukčního toku, který je spřažený s křivkou c . Plocha S je obepínána křivkou c a jejich vzájemná orientace je pravotočivá.

$$\oint_c \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}, \text{ kde } \Phi = \oint_S \mathbf{B} d\mathbf{s} \quad (4)$$

Jedná se o oběhové elektrické napětí ve smyčce nebo jej nazýváme indukované napětí ve smyčce c a značíme ho u_i . K první i druhé Maxwellově rovnici se vztahuje pravidlo pravé ruky.

Třetí Maxwellova rovnice (Gaussova věta) je vyjádřena rovnicí (5). Elektrický indukční tok, který protéká libovolnou uzavřenou vně orientovanou plochou S , je roven volnému celkovému náboji v prostorové oblasti V , která je plochou S ohraničená.

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{s} = Q, \text{ kde } Q = \int_V \rho dV \quad (5)$$

U zřídlového elektrického pole vystupují z kladně nabitých těles elektrické indukční čáry, které vstupují do záporně nabitých těles. Elektrické indukční čáry jsou neuzavřené.

Čtvrtá Maxwellova rovnice (zákon spojitosti magnetického indukčního toku) je vyjádřena rovnicí (7). Magnetický indukční tok uzavřenou libovolnou plochou S je roven nule. O nezřídlové magnetické pole se jedná tehdy, když jsou magnetické indukční čáry uzavřené, neboť neexistuje volný magnetický náboj. [1].

$$\oint_S \mathbf{B} \, d\mathbf{S} = 0 \quad (7)$$

1.3.2 Soustava Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru

Výhodnější je práce s rovnicemi v diferenciálním tvaru, které platí pouze v regulárních bodech elektromagnetického pole. [1]

První Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru je vyjádřena vzorcem (8). Hustota vodivého proudu \mathbf{J} a hustota posuvného (Maxwellova) proudu $\partial\mathbf{D}/\partial t$ je rovna rotaci vektoru intenzity magnetického pole. Jedná se o magnetické pole vírové (nepotenciální).

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (8)$$

Druhá Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru je vyjádřena vzorcem (9). Záporně vzatá časová derivace magnetické indukce \mathbf{B} je rovna rotaci vektoru intenzity elektrického pole \mathbf{E} . Jedná se o elektrické pole vírové (nepotenciální).

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (9)$$

Třetí Maxwellova rovnice je vyjádřena vzorcem (10). Objemová hustota volného náboje ρ

je rovna divergenci vektoru elektrické indukce \mathbf{D} . [3]

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \quad (10)$$

Čtvrtá Maxwellova rovnice je vyjádřena vzorcem (11). Když divergence vektoru magnetické indukce \mathbf{B} je rovna nule, magnetické pole je nezřídlové a solenoidální. Maxwellovy rovnice v diferenciálním tvaru jsou odvozeny z Maxwellových rovnic v integrálním tvaru.

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (11)$$

2 Přenosová a rozvodná soustava

2.1 Úkol přenosových a rozvodných sítí

Elektrizační soustava vykonává tři základní činnosti:

- výroba elektrické energie
- přenos a rozvod elektrické energie
- spotřeba elektrické energie

Podstatou přenosových sítí je propojení uzlů přiváděné energie z výrobních jednotek a elektráren a uzlů, které přenášejí tuto energii do rozvodných soustav při optimálním rozložení výkonů v celé oblasti z hlediska nákladů na výrobu i přenos. Tato síť je nazývána nadřazenou soustavou. [2]

Podstatou rozvodných sítí je přívod elektrické energie ke spotřebitelům, často je nazýváme distribuční sítě. Základním zdrojem elektrické energie rozvodných sítí je nadřazená soustava. Další zdroje jsou malých výkonů převážně místního charakteru malé vodní elektrárny, průmyslové elektrárny, starší tepelné elektrárny.

2.2 Napět'ové hladiny a napět'ové úrovně

Technickoekonomická rozvaha nám stanovila přenosové a rozvodové napětí, z technické stránky se brali ohledy na vzdálenosti a přenášené výkony. Z počátku elektrifikace se koukalo na technickoekonomická hlediska a vznikaly v jednotlivých státech celé řady různých napětí, kterým se na míru vyrábělo technické vybavení. Hromadná výroba technických zařízení a nutnost mezinárodní spolupráce vedla k jednotné řadě napětí. Hodnoty přenášených napětí se mezi státy liší, tyto odlišnosti však nejsou veliké, proto je možné používat v jednotlivých státech stejná zařízení, jejichž tolerance pokryje odlišnosti.

Napěťové hladiny:

- malé napětí do 50V
- nízké napětí od 50 do 1000V
- vysoké napětí vysoké napětí od 1000V do 52kV
- velmi vysoké napětí od 52kV do 300KV
- zvláště vysoké napětí od 300kV do 800kV
- ultra vysoké napětí nad 800kV

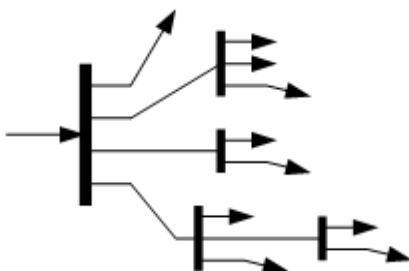
Tab. 2 Napěťové úrovně (převzato z [2])

Nízké napětí (nn) [kV]	jmenovité	0,4/0,23			0,5	0,69
	max. provozovací	0,42/0,241				0,73
Vysoké napětí (vn) [kV]	jmenovité	3	6	10	22	35
	max. provozovací	3,6	7,2	12	25	37
Velmi vysoké napětí (vvn)[kV]	jmenovité	110		220	400	-
	max. provozovací	123		245	420	-
Zvláště vysoké napětí (zvn)[kV]	jmenovité	750				
	max. provozovací	787 (předpokládáme zvýšení na 800)				

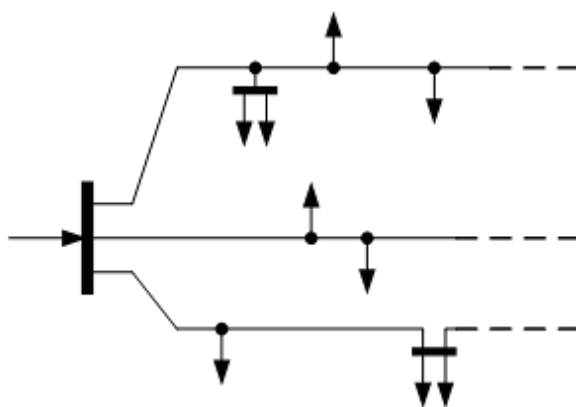
2.3 Principiální řešení sítí z hlediska uspořádání

Sítě se dělí do dvou skupin. Rozvod je volen s přihlédnutím na způsob provozu řešené soustavy. To znamená, že je posuzován z hlediska výkonu, bezpečnosti a hospodárnosti.

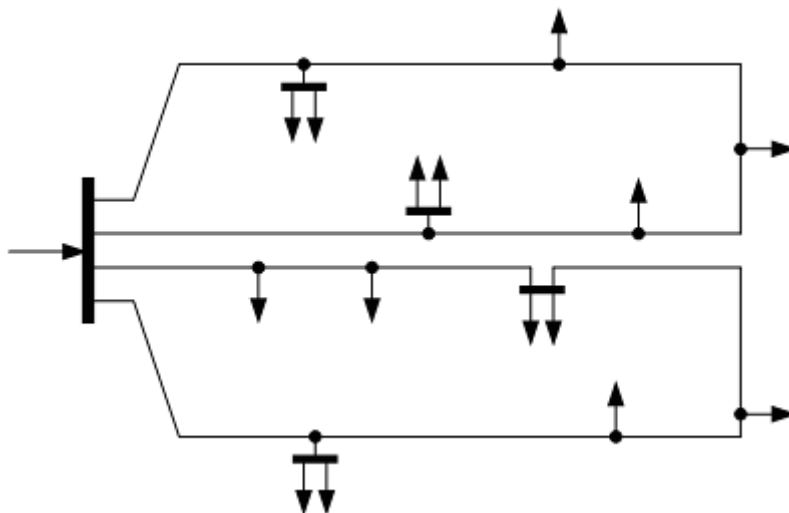
Otevřený rozvod je ten, ve kterém je elektrická energie dodávána spotřebiči jedinou cestou. Do této skupiny patří paprskový a průběžný rozvod. Uzavřený rozvod, který dodává elektrickou energii dvěma nebo více cestami je spolehlivější ale dražší. Do této skupiny patří okružní rozvod a mřížová síť. [4]



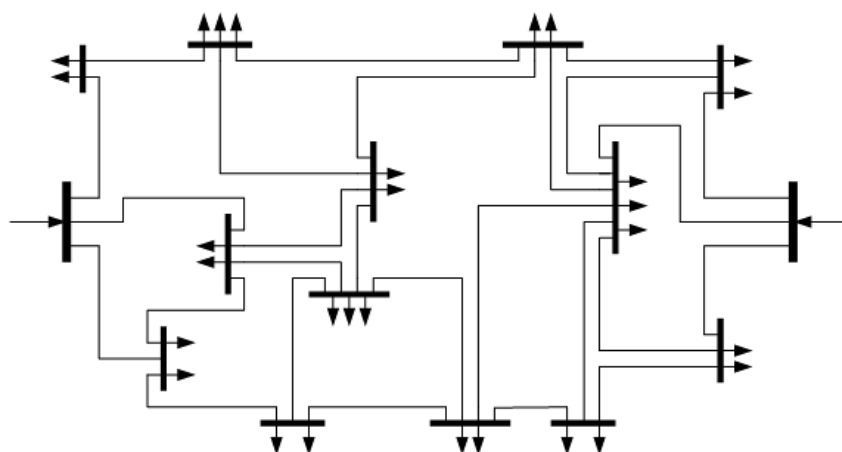
Obr. 1 Paprskový rozvod (převzato z [5])



Obr. 2 Průběžný rozvod (převzato z [5])



Obr. 3 Okružní rozvod (převzato z [5])



Obr. 4 Mřížový rozvod (převzato z [5])

Okružní síť je realizována nadřazená soustava 400 kV 220 kV. Do této soustavy jsou připojeny tuzemské zdroje velkých výkonů a je propojena se zahraničními soustavami.

Paprskovým nebo průběžným rozvodem je realizována rozvodná (distribuční) soustava, která je složena ze 110 kV a vn. Můžeme jej rozvádět dvojpaprskově nebo okružním způsobem. Tato konstrukce dovoluje zálohování pro případ poruchy. Rozvodné

sítě nízkého napětí jsou realizovány především paprskovým a průběžným rozvodem. Husté sítě jsou provozovány jako mřížové.

2.4 Způsoby provozu uzlu transformátoru

Způsob, jakým spojíme uzel vinutí transformátoru se zemí, je důležitým technickoekonomickým ukazatelem. Tyto uzly nazýváme nulové body soustavy.

Způsob, jakým se zapojí uzel, ovlivňuje:

- velikost napětí mezi zemí a fázovým vodičem
- hodnotu proudu, která nastává při spojení jedné nebo více fází se zemí. Veliký vliv má na velikost jednopólového zkratového proudu.

Zemí neteče žádný proud při souměrném chodu sítě. Mezi fázemi se nachází sdružené napětí a mezi fází a uzlem transformátoru je napětí fázové. Při spojení jedné nebo více fází se zemí toto neplatí.

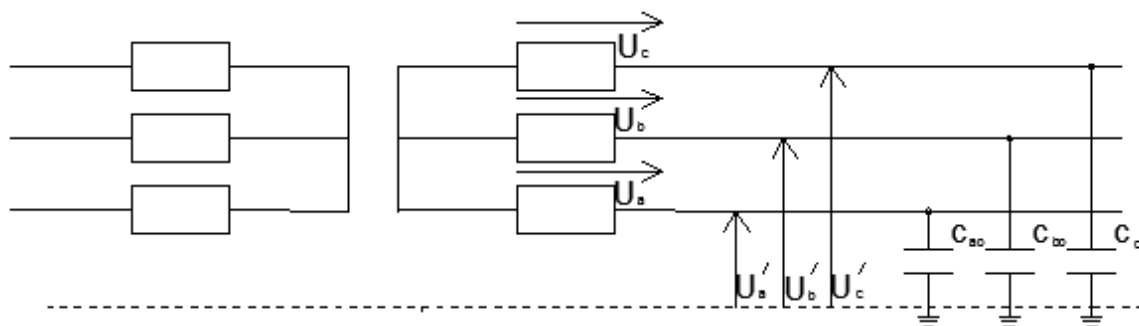
Velikost proudu udává způsob dimenzování a chránění v soustavě a velikost napětí mezi vodičem a zemí udává nárok na izolaci.

Pro posouzení jednotlivých sítí se zajímáme pouze o poměry při spojení jedné fáze se zemí. Z tohoto pohledu rozeznáváme následující druhy sítí.

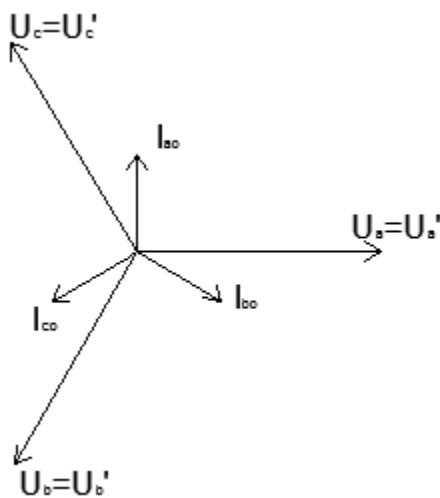
2.4.1 Síť izolovaná, které nemají uzly vinutí transformátoru spojeny se zemí.

Dojde-li ke spojení jedné fáze se zemí, zvýší se hodnota napětí mezi uzlem a zemí z nuly na hodnotu fázového napětí. Napětí zdravých fází se vůči zemi zvýší z fázové hodnoty na hodnotu sdruženou. Při spojení jedné fáze se zemí lze síť udržet v provozu, ale v tomto stavu je na zdravých fázích sdružené napětí, a proto musíme, chceme-li, při jednofázovém zemním spojení provozovat síť, mít dimenzovanou izolaci vedení na sdružené napětí. Další komplikací je, že proud tekoucí místem spojení se zemí je kapacitního charakteru, jehož velikost je dána činnou rezistancí obvodu, kterým se proud uzavírá, a kapacitami zdravých fází v celé síti vůči zemi. Rezistanci často zanedbáváme a

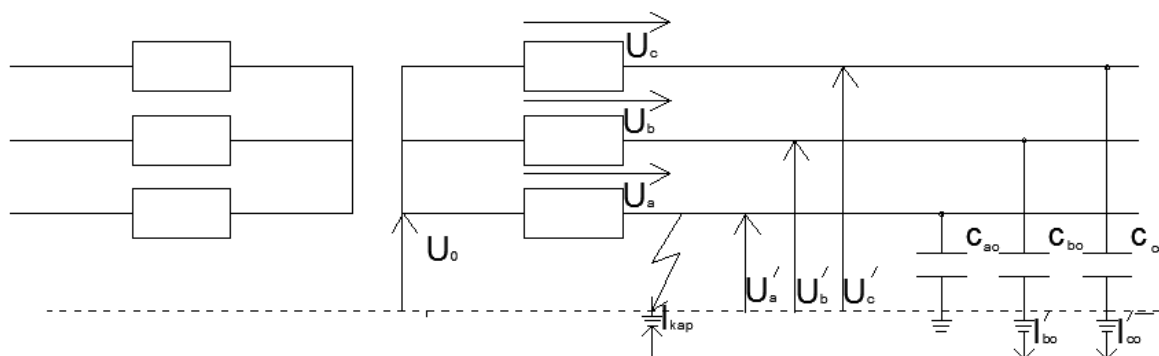
proud pro zjednodušení prohlašujeme za čistě kapacitní. Pokud proud tekoucí do země nepřesahuje hodnotu 10 A a není přerušovaný, obvykle nevznikají velké problémy, ale při vzniku zemního spojení přerušovaného vznikají značná přepětí (především na zdravých fázích). Tato přepětí mohou vést k dvojitému zemnímu spojení (v podstatě se jedná a dvoufázový zkrat), při kterém nemůžeme vedení udržet v provozu, proto musí být odpojeno. [2]



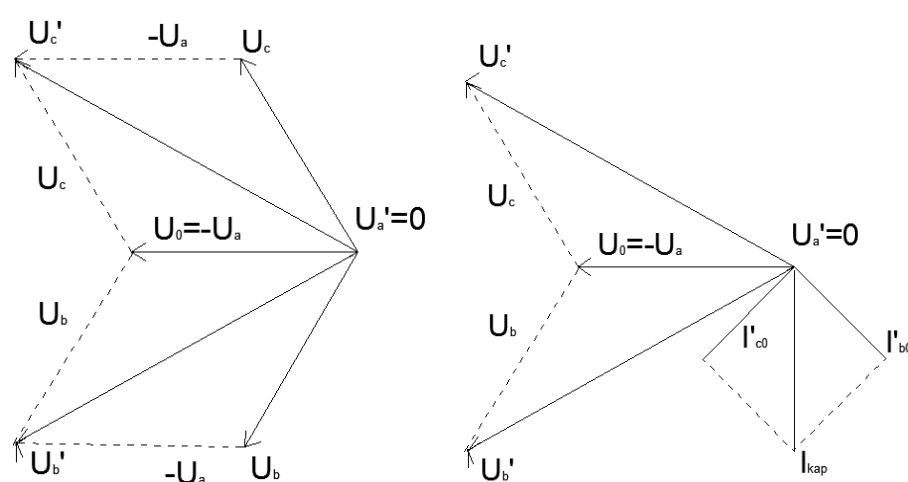
Obr. 5 Uzel vinutí transformátoru není spojen se zemí (sít' izolovaná)



Obr. 6 Fázorový diagram izolované sítě



Obr. 7 Izolovaná síť jednofázový zkrat

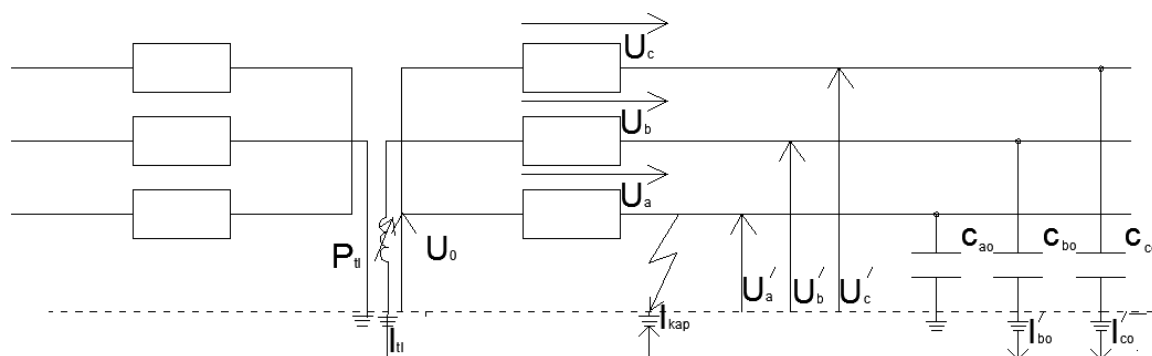


Obr. 8 Fázový diagram izolované sítě při jednofázovém zemním spojení

2.4.2 Síť kompenzovaná, které pro snížení zemního proudu mají připojenou do nulového bodu transformátoru zhášecí (Petersenovo) tlumivku.

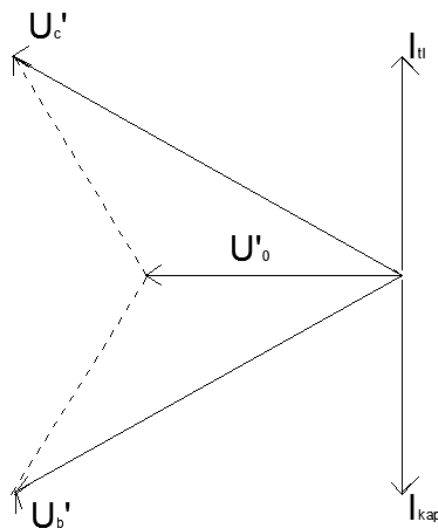
Za pomoci fázového napětí mezi nulovým bodem (uzlem) transformátoru a zemí se stává tlumivka zdrojem proudu induktivního charakteru. Pro zjednodušení zanedbáváme reálnou část proudu a proud považujeme za čistě induktivní, který může být stejně veliký jako kapacitní proud jdoucí z místa zemního spojení. Tyto proudy jsou ve fázorovém diagramu proti sobě posunuty o 180° a dochází k jejich kompenzaci (zemní proud je vykompenzován). K tomuto jevu může dojít, je-li zhášecí tlumivka regulovatelná, aby se proud jí procházející mohl měnit podle zemního proudu. Zemní proud je dán celkovou

délkou galvanického spojení vedení sítě. Tato délka se mění rozšiřováním sítě nebo vypínáním a zapínáním jednotlivých vedení. Doposud jsme brali v úvahu pouze první harmonickou, ale místem zemního spojení mohou téct i vyšší harmonické proudy. Z ekonomického hlediska kompenzace kapacitní složky zemního proudu snižuje náklady



uzemnění stožáru, protože uzemnění je dimenzováno pouze na zbytkový proud. V České republice se provozují sítě kompenzované a izolované od 6 do 35 kV. +

Obr. 9 Kompenzovaná síť



Obr. 10 Fázový diagram (vykompenzování zemního proudu, ideální stav)

2.4.3 Síť účinně uzemněné, které jsou v nulových bodech (uzlech) transformátorů spojené přímo se zemí nebo přes malou impedanci.

V některých případech se odpojují nulové body transformátorů. Síť musí mít

charakter soustavy účinně uzemněné. V České republice uzly transformátorů uzemňujeme přímo. Některé transformátory na napěťové úrovni 110 kV, mají možnost odpojení nulových bodů pro snížení velikosti jednofázových zkratových proudů. Při přímém uzemnění napětí uzlů vinutí transformátorů je vůči zemi nulové a napětí zdravých fází vůči zemi je fázové. Izolace těchto vedení se dimenzují na fázové napětí, ale v případě jednofázového zemního spojení musí být vedení ihned odpojeno, protože zemní proud, který v tomto případě nazýváme také zkratový proud je značný. V České republice se tento způsob (účinně uzemněná síť) používá u vvn (110, 220, 400 kV) a u nn sítí.

2.5 Elektrické stanice

Elektrizační soustava je složena z výroby, přenosu, rozvodu a spotřeby elektrické energie. Elektrické stanice tvoří základní spojovací prvek mezi výrobnami, rozvodovou sítí a mezi sítí a spotřebiči. Hlavním úkolem elektrických stanic je transformovat napětí a rozdělovat elektrickou energii o různých napětích. Některé elektrické stanice mohou usměrňovat nebo rozstřídat elektrickou energii. [2], [4]

2.5.1 Rozdělení elektrických stanic podle účelu a umístění

Podle účelu dělíme elektrické stanice na:

- Transformovny slouží k rozdělování elektrické energie a transformaci napětí.
- Měnírny slouží ke změně střídavého napětí na stejnosměrné a naopak. Také slouží k rozdělování elektrické energie.
- Spínací stanice zastávají pouze funkci přerozdělování elektrické energie o stejné napěťové hladině.

Podle umístění dělíme elektrické na:

- Elektrické stanice výroben - jedná se o transformovny, které transformují napětí alternátorů na napětí přenosové sítě a převádějí vyrobenou energii z alternátorů do přenosové sítě. Směr toku energie je vždy od zdroje do sítě a počet odboček je dán počtem vývodových vedení a výrobních bloků.

- Elektrické stanice v přenosové soustavě dělíme na uzlové elektrické stanice a transformační stanice. Uzlové elektrické stanice rozdělují elektrickou energii o stejném napětí a jsou společným bodem mezi větvemi okružní přenosové sítě. Transformační stanice v nich je transformovaná elektrická energie soustav o různém napětí. Je běžné, že transformační a uzlová stanice jsou spojeny v jednu. Vždy se jedná o elektrické stanice velmi vysokého napětí. Směr toku elektrické energie v odbočkách se přizpůsobuje okamžitému rozložení výroby a spotřeby energie v elektrické síti.
- Elektrické stanice spotřeby jsou distribuční elektrické stanice, průmyslové elektrické stanice a měnírny. Průmyslové elektrické stanice jsou transformovány 110 kV/vn, vn/vn nebo vn/nn, ale mohou být jen spínacími stanicemi vn nebo nn. Rozdělují elektrickou energii přímo ke spotřebičům průmyslových podniků. Směr toku elektrické energie je vždy ze sítě ke spotřebiči. Hodnota napětí vn v průmyslových budovách bývá 6 kV, výjimečně 10 kV. Speciálním druhem elektrických průmyslových stanic jsou stanice vlastní spotřeby elektrárny. Distribuční elektrické stanice transformují a rozdělují elektrickou energii do spotřebních center. Nejvíce pracují na napětí 22 kV, v některých oblastech na napětí 35 kV a do menších spotřebních center se přivádí energie o hodnotě napětí 6 a 10 kV.
- Měnírny mění střídavé napětí na stejnosměrné a naopak. Existují dva základní typy měření. Měnírny používané v přenosové soustavě slouží k propojení dvou soustav s různou frekvencí nebo s různým způsobem regulace frekvence. Elektrické stanice spotřeby zajišťující napájení trakce a některých průmyslových rozvodů stejnosměrným napětím.

2.5.2 Zařízení elektrických stanic

Elektrické stanice obsahují zařízení, které jsou vesměs stejná.

Střídavým elektrickým rozvodovým zařízením jsou:

- rozvodnice

- rozvodny
- rozvaděče.

Společná zařízení elektrických stanic slouží pro vlastní spotřebu. Část je střídavá a část stejnosměrná. Jedná se o nouzové zdroje, střídače, akumulátorové baterie, výrobu a rozvod stlačeného vzduchu, měniče frekvence, ochrany, dozornu, měření a signalizaci, stroje a přístroje používané při revizích a údržovacích pracích a tak dále.

Komunikace elektrických stanic tvoří příjezdová cesta, vlečka, komunikace v objektu atd. Pomocná zařízení jsou dílny, garáže, olejové hospodářství, revizní věže, vrátnice, sklady, atd. Protipožární zařízení jsou například CO₂ hasicí přístroje a požární hlásiče. Ochranné bezpečnostní pomůcky sloužící k ochraně personálu jsou dielektrické rukavice, záchranné háky, zkoušečky, výstražný tabulky. Zařízení a prostředky pro ochranu zdraví a hygienu práce určené pro personál rozvodny, revizní a pracovní čety. Kompenzační zařízení, které tvoří statický kompenzátor, rotační kompenzátor nebo kompenzační tlumivky s veškerým vybavením. Kompenzační zařízení se užívá jen v některých stanicích. HDO je vysílač (automatika) především sloužící k spínání ohřevu vody v době, kdy je síť méně zatížena. Jsou jím vybaveny jen některé stanice. Transformační stanice obsahují transformátory měnirny usměrňovače a stejnosměrná rozvodová zařízení. [2], [4], [9]

2.6 Elektrická vedení

Vyskytují se dva druhy vedení, podzemní a venkovní. Má práce je zaměřena na třífázové venkovní vedení. Návrh vedení musí zohledňovat povětrnostní podmínky, okolní terén i námrazu. Při návrhu se dbána elektrické a mechanické vlastnosti, ale i na cenu a environmentální dopad. [9]

2.6.1 Charakteristika venkovního vedení a jeho porovnání s kabelovým vedením

Venkovní vedení je složeno z izolátorů, stožárů, holých vodičů (můžeme použít i izolované vodiče), ochranných jiskřišť, tlumičů kmitů, ochrany proti dosedu ptáků a další výzbroje. Induktivní reaktance X_L je mnohem vyšší oproti kabelovému vedení, ale kapacitní susceptance B je nižší oproti kabelovému vedení. Jalové ztráty ΔQ a úbytek napětí ΔU jsou vyšší u venkovních vedení vlivem reaktance. Venkovní vedení je poruchovější, poruchy bývají v 90% přechodového charakteru a vyřeší se automatikou opětného spínání (OZ). V 90% případů se jedná o jednofázové poruchy. Poruchy se u venkovních vedení snadno vyhledávají. Můžeme izolovat holé vodiče a tím snížit vzdálenosti mezi fázemi. Z ekonomického hlediska je u hladin vvn kabelové vedení 10x až 20x dražší, oproti venkovnímu. Environmentální dopad venkovního vedení spočívá v úhynech ptactva. Další nevýhodou jsou vyšší nároky na prostor oproti kabelovému vedení.[9]

3 Elektrotechnické předpisy

Norma ČSN 33 2165 se zabývá projektováním a stavbou ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi v blízkosti trojfázových izolovaných vedení a elektrických stanic vvn a zvn nacházejících se v blízkosti ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi. Tato Norma již byla nahrazena ČSN EN 50443. Potrubí, která jsou již postavena se touto normou řídí, jen v případě přestavby nebo rozšíření. Norma je neplatná pro potrubí v elektrických stanicích vvn a zvn a ve všech objektech, které mají se stanicí společné uzemnění. [7], [10]

3.1 Obecně

Norma určuje meze nebezpečných vlivů venkovních trojfázových vedení a elektrických stanic vvn a zvn na ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi, stanovuje způsoby výpočtů a předpoklady těchto nebezpečných vlivů a předepisuje ochranná opatření při překročení těchto opatření.

Výpočet předpokládaných nebezpečných vlivů trojfázového vedení vvn nebo zvn, které je provozováno přechodně na nižší jmenovité napětí, než na jaké je dimenzováno, nebo s nižším zkratovým proudem, než pro který bylo projektováno, musí být proveden pro přechodné i předpokládané poměry, s jakými bude vedení trvale provozováno.

Při navrhování ochranných opatření před nebezpečnými vlivy venkovních vedení vvn a zvn dbáme na technická i ekonomická hlediska. Můžeme použít i jiná ochranná opatření než ta uvedená v normě, ale nesmí tato opatření být v rozporu se zásadami normy.

Nově budovaná venkovní vedení vvn nebo zvn a nově budovaná ocelová izolovaná potrubí v uložena v zemi musí být budována podle vypracovaného projektu ochrany před nebezpečnými vlivy třífázového venkovního vedení. Vedení i potrubí mohou být uvedena v provoz, je-li ověřeno, že jsou provedena všechna ochranná opatření uvedená v projektu. Tento požadavek lze nerespektovat, pokud se prokáže během zkušebního provozu za pomoci měření, že nejsou překročeny mezní hodnoty uvedené v normě.

3.2 Volba trasy

Doporučená vzdálenost mezi trasou potrubí a trasou vedení je co největší, abychom

snížili vliv vedení na ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi.

Dojde-li k souběhu trasy potrubí s trasou vedení vvn nebo zvn měla by být minimální ekvivalentní šířka souběhu 20 m. Ve městech, sídlištích a souvisle zastavěných územích se může ekvivalentní šířka souběhu zmenšit dle normy ČSN EN 50341-1 ED.2.

Vzdálenost, která má být dodržena mezi potrubím, popřípadě mezi vodivými částmi s ním spojenými a nejbližší částí stožáru vedení vvn nebo zvn včetně jeho uzemňovací soustavy činí alespoň 10 m.

Odvodňovače, uzavírací armatury, zařízení pro odvodušnění, kompenzátory a veškeré příslušenství ocelových izolovaných potrubí umístěná nad zemí, nebo jejichž ovládání, které vyčnívá nad terén, mají doporučeno býti umístěny mimo ochranné pásmo vedení vvn nebo zvn. Pokud není možné umístit je mimo ochranné pásmo vedení, je nutné při obsluze těchto zařízení dodržovat ustanovení o práci v ochranném pásmu vedení.

Výfuková hrdla potrubí s hořlavými kapalinami nebo plyny musí být vzdáleny od svislého průmětu krajního vodiče venkovního trojfázového vedení vvn nebo zvn minimálně na šířku ochranného pásma.

Křižovatky venkovních trojfázových vedení vvn nebo zvn a ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi by měly být řešeny následovně, osy tras by měly svírat 90° a ke křížení by mělo docházet uprostřed pole mezi stožáry vedení vvn nebo zvn.

Během křižování musíme dodržet mezi nejbližší částí stožáru venkovního trojfázového vedení vvn nebo zvn včetně jeho uzemňovací soustavy a osou ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi vzdálenosti podle ČSN EN 50443. Zemniče stožárů u vedení vvn nebo zvn nemají být umístěny na stranu potrubí.

V případě plynovodů s vysokým a velmi vysokým tlakem je nutno při křižování svislého průmětu krajního vodiče venkovního trojfázového vedení vvn nebo zvn dodržet vzdálenost od plynových odvodňovacích ventilů podle ČSN EN 50443

Nejméně 150 m od oplocení distribučních transformoven 110/22 kV a nejméně 300 m od oplocení všech ostatních stanic vvn a zvn musí být vzdáleno anodové uzemnění stanic katodické ochrany.

Zemniče, popřípadě základy stožárů patřící venkovním třífázovým vedením vvn nebo zvn musí vzdáleny nejméně 50 m od anodového uzemnění katodické ochrany. V případě, že se stožár nachází mezi anodovým uzemněním katodické ochrany a potrubím, musí být vzdálenost prodloužena na nejméně 100m.

3.3 Meze nebezpečných vlivů

- **Indukční vliv**

Jedná se o nebezpečný vliv, kterému jsou vystavena všechna ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi a jejich příslušenství nacházející se v oblasti vlivu venkovních trojfázových vedení vvn nebo zvn.

Vzdálenost a v m vytyčuje oblast vlivu, je daná vztahem:

$$a = 300\sqrt{\varrho_z} \quad (12)$$

Mimo oblast vytyčenou vzdáleností a (oblast vlivu), je indukční vliv zanedbatelný.

Při jednofázovém zkratu na venkovním vedení vvn nebo zvn vznikne indukčním vlivem na ocelovém izolovaném potrubí uloženém v zemi napětí, jehož efektivní hodnota proti zemi nesmí překročit hodnoty z *Tab.3.* [7]

Tab.3 Meze nebezpečných vlivů (převzato z [7])

Doba trvání [s]	Mez nebezpečného napětí [V]
Do 0.3	300
0.4	260
0.5	230
0.6	210
0.7	190
0.8	180
1	160

Doba trvání je celková doba výskytu napětí, která je dána dobou nastavení základní ochrany a vlastní dobou vypínače.

Efektivní hodnota napětí proti zemi, nemusí být kontrolována, když nepřekročí hodnota ideálního podélného napětí (zjištěná výpočtem), dvojnásobek hodnoty napětí proti zemi uvedené v tabulce.

V ostatních případech se spočítá potenciál potrubí. Napětí proti zemi se považuje za rovné s potenciálem potrubí a stoupnutí potenciálu země proti vzdálené zemi při jednofázovém zkratu se při kontrole indukčního vlivu neuvažuje.

Pokud vypočítaný potenciál překročí mezní hodnoty uvedené v tabulce, navrhnou se ochranná opatření.

Při ohrožení potrubí vlivy několika venkovních trojfázových vedení vvn nebo zvn, předpokládá se jednofázový zkrat na vedení, jehož dopad na potrubí je největší. Zkrat na více vedeních současně se nepředpokládá.

- **Galvanický vliv**

Ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi jsou vystavena nebezpečnému galvanickému vlivu. Tento vliv se vyskytuje v blízkosti elektrických stanic nebo stožárů venkovních trojfázových vedení vvn nebo zvn.

Při jednofázovém zkratu v elektrické stanici vvn nebo zvn vzniká na ocelovém izolovaném potrubí uloženém v zemi galvanickým vlivem napětí, jehož efektivní hodnota proti zemi nesmí překročit tabulkové mezní hodnoty.

Je-li světlá vzdálenost ocelového izolovaného potrubí uloženého v zemi od oplocení elektrické stanice větší než 100 m pro distribuční transformovny 110/22 kV a větší než 300 m pro ostatní stanice vvn nebo zvn, nemusí se provádět kontrola efektivní hodnoty napětí vyvolaného galvanickým vlivem proti zemi.

V případě menších vzdáleností než je uvedeno v předchozích řádcích, musí být proveden výpočet napětí proti zemi v blízkosti elektrické stanice.

Pokud výpočtem zjistíme možnost výskytu vyššího napětí než je dovolená mez, která je uvedena v tabulce, musíme navrhnout ochranná opatření.

Pokud je světlá vzdálenost od základů stožáru a jejich zemničů větší jak 10m, nemusíme provádět žádná opatření. V případě menší vzdálenosti se provádí opatření pro omezení galvanického vlivu.

- **Kapacitní vliv**

Části ocelových izolovaných potrubí nacházejících se nad zemí, které nejsou uzemněny, jsou vystaveny kromě indukčního vlivu při jednofázovém zkratu venkovního třífázového vedení vvn nebo zvn též kapacitnímu vlivu.

V případě kontaktu lidského těla s potrubím vystaveným kapacitnímu vlivu, nesmí překročit efektivní hodnota proudu procházející lidským tělem hodnotu 10 mA.

Na dodržení mezní efektivní hodnoty proudu 10 mA, se podílí ochranná opatření a výpočet se nemusí provádět.

4 Program

Můj program slouží k výpočtu nebezpečných vlivů třífázových venkovních vedení na ocelová izolovaná potrubí uložená v zemi. Vybral jsem si výpočetní systém MATLAB, protože jsem se s ním setkal v předmětu Počítačová podpora v elektrotechnice, umožňuje mi využít i grafické rozhraní.

4.1 MATLAB

MATLAB je výrobkem firmy The Maths Works a byl vytvořen pro efektivnější tvorbu aplikačního programového vybavení a využití strojního času počítače. Jedná se o interaktivní program s jehož pomocí můžeme řešit mnohé problémy, s nimiž se setkáváme v technické praxi. Komprimuje v sobě mnohé z výsledků programových systémů lineární algebry EISPACK a LINPACK. [6]

MATLAB – je programovacím jazykem čtvrté generace a Multi-paradigmatické numerické výpočetní prostředí. Umožňuje propojení s programy napsanými v jiných jazycích jako je Java, Fortran, C, C++ a další. Lze v něm manipulovat s maticemi, vytvářet algoritmy a vytvářet uživatelská rozhraní. Lze zakoupit i dodatečný balíček Simulink, který dodává grafickou simulaci multi-domény a modelově založený design pro dynamické a vestavěné systémy. [6], [11]

4.2 Kapacitní vliv

Při kapacitním vlivu neprovádíme žádné výpočty. Kapacitní vliv se projevuje při montáži neuzemněné části ocelového izolovaného potrubí umístěného během montáže nad zemí, které je vystavené vlivu trojfázového venkovního vedení vvn nebo zvn. Musíme potrubí uzemnit, jestliže ekvivalentní šířka souběhu je menší než je dáno tabulkou 6, a délka potrubí, která je galvanicky propojená, je delší než 200 m. [7]

Při délce souběhu do 500 m postačí jedna zemnicí tyč o minimální délce jednoho metru. Pokud je délka souběhu větší než 500 m a ekvivalentní šířka souběhu menší než 300 m musíme potrubí uzemnit každých 500 metrů.

Pro části vedení, které není potřeba uzemnit, se provede kontrola podélného napětí

při krátkodobém indukčním vlivu, který je vyvolán jednofázovým zkratem. Pokud vyjdou hodnoty přesahující povolené hodnoty uvedené v tabulce 1. Musíme uzemnit potrubí na obou koncích souběhu a po každých 500 m jako při kapacitním vlivu.

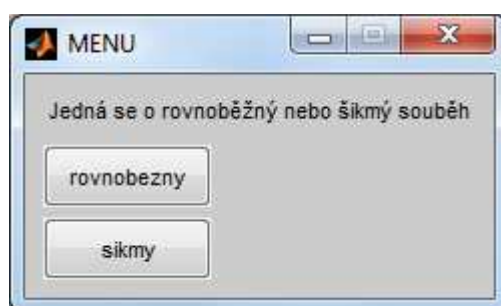
4.3 Indukční vliv

Nejprve počítáme šířku souběhu. U rovnoběžného souběhu je šířkou souběhu vzájemná vzdálenost mezi svislicemi proloženými osou potrubí a osou venkovního vedení, která je měřená v kolmé rovině na osu venkovního vedení. Druh souběhu zvolíme dle obr. 11.

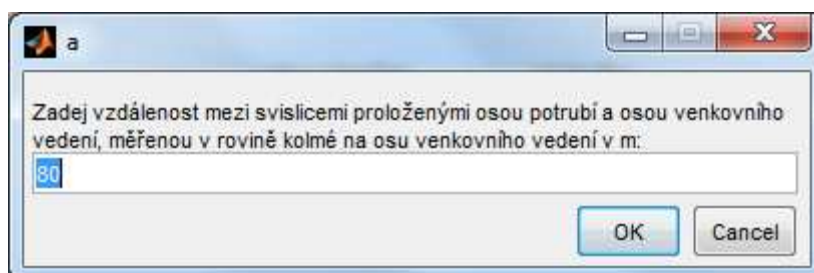
Pro šikmé souběhy platí vztah:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (13)$$

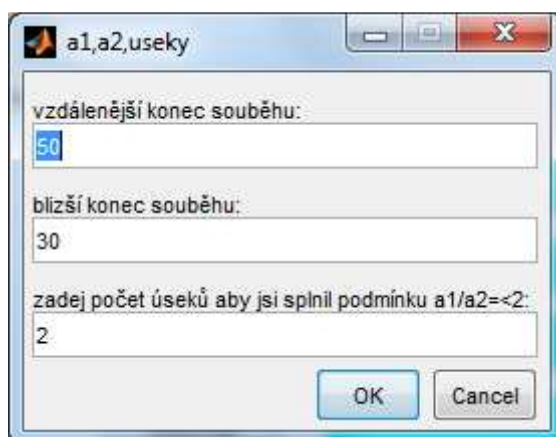
Tento vztah musí splnit podmínku $a \leq 2$ pro $a_1 > a_2$ není-li podmínka splněna, rozdělíme tento souběh na několik kratších souběhů, které tuto podmínku splní.



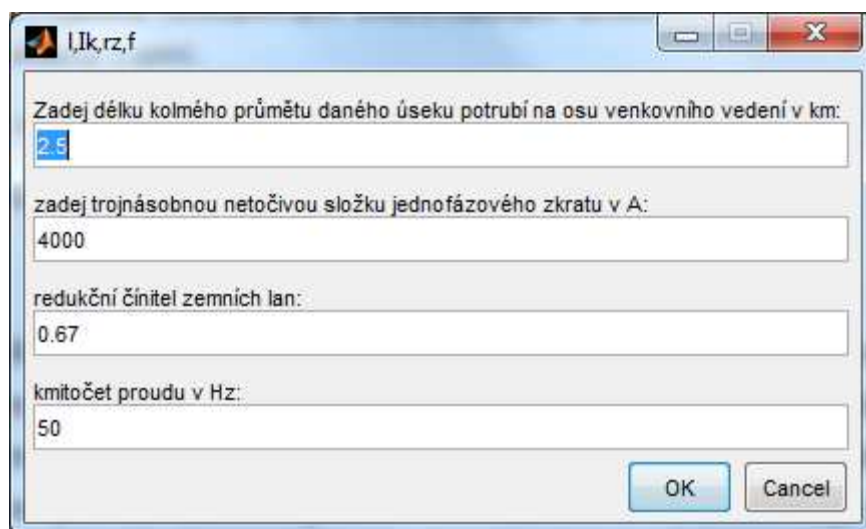
Obr. 11 Druh souběhu



Obr. 12 Rovnoběžný souběh

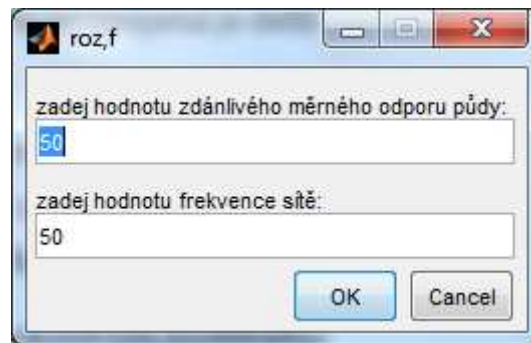


Obr. 13 Šikmý souběh



Obr. 14 Zadávání hodnot

Nyní zadáme jednofázový zkratový proud, který nám poskytne provozovatel sítě. Redukční činitel zemních lan zjistíme normy ČSN 34 20 30-65.



Obr. 15 frekvence a zdánlivý odpor půdy

Měrný odpor je získán měřením. Program nyní provede výpočet hodnoty parametru x , který slouží k nalezení vzájemné indukčnosti v externím dokumentu vytvořeném dle tabulky vzájemných indukčností, přejaté ze zdroje [7] .

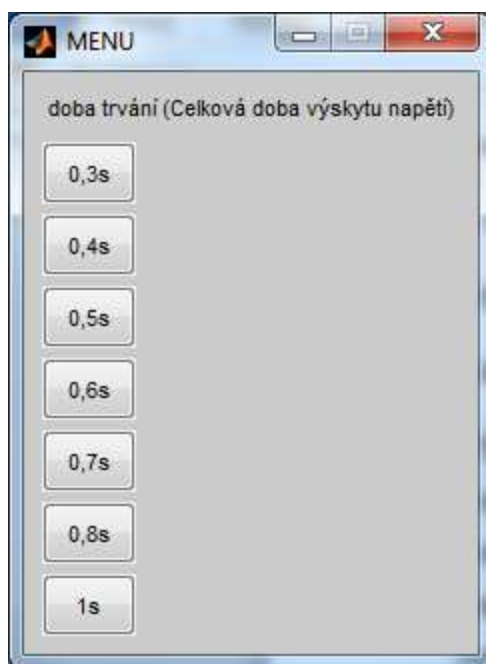
$$x = 2,8 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho_z}} \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

Program získal všechny potřebné hodnoty, provede výpočet nebo výpočty ideálního podélného napětí U_i pro každý úsek, který byl zadán.

$$U_i = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot M \cdot I_k \cdot l \cdot \omega \cdot r_z \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

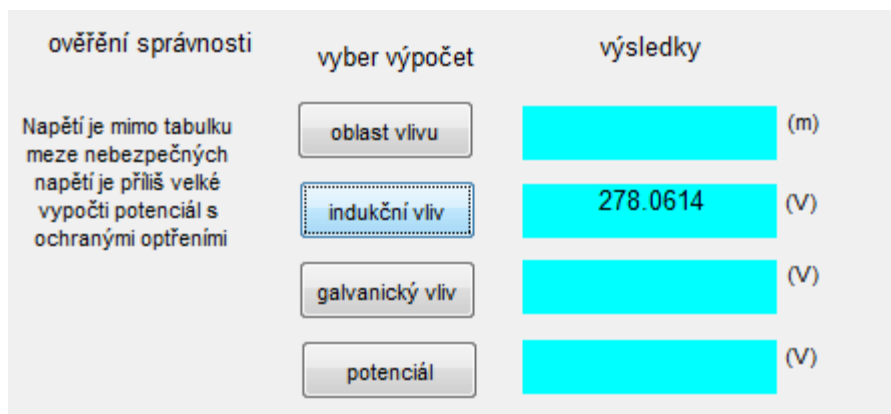
Výsledné ideální napětí je součtem všech ideálních napětí U_i zjištěných v jednotlivých výpočetních úsecích.

$$U_{iv} = \sum_{j=1}^n U_{ij} \quad (16)$$



Obr. 16 Toto menu vyjadřuje Tab.3 (Uživatel v programu vybírá)

Od provozovatele sítě zjistíme dobu trvání zkratu. Zvolíme v menu zobrazeném na obr. 16 hodnotu, ke které nám program přiřadí hodnotu nebezpečného napětí podle tabulky 3.



Obr. 17 Zobrazení výsledků s radou

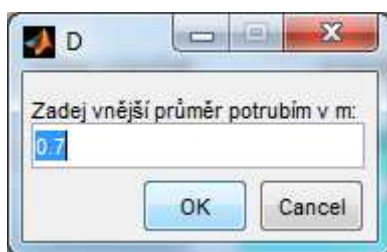
Program nám v modrém poli vypíše hodnotu výsledného ideálního napětí a poradí nám, zda-li jsme či nejsme v souladu s normou, viz obr. 17.

Galvanický vliv

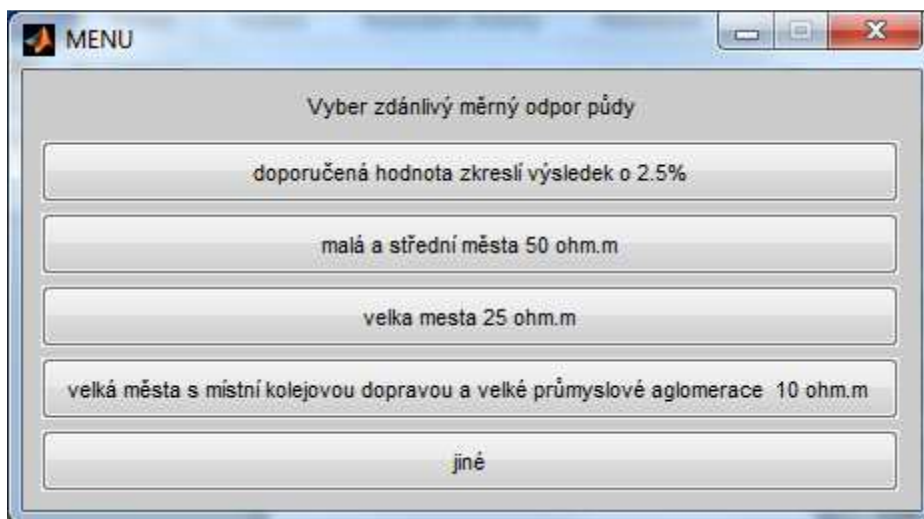
Pro výpočet nebezpečného galvanického vlivu musíme znát rozměry uzemňovací soustavy a elektrické stanice vvn nebo zvn. Dále musíme znát vzdálenost mezi ocelovým izolovaným potrubím uloženým v zemi a středem ekvivalentní uzemňovací soustavy v místě největšího přiblížení.

Nejprve musíme určit součinitele šíření γ , musíme spočítat charakteristické parametry potrubí, které jsou vztaženy na 1 km délky.

Do programu zadáme na obr. 18 vnější průměr potrubí a na obr. 19 vybereme z menu hodnotu zdánlivého měrného odporu půdy.



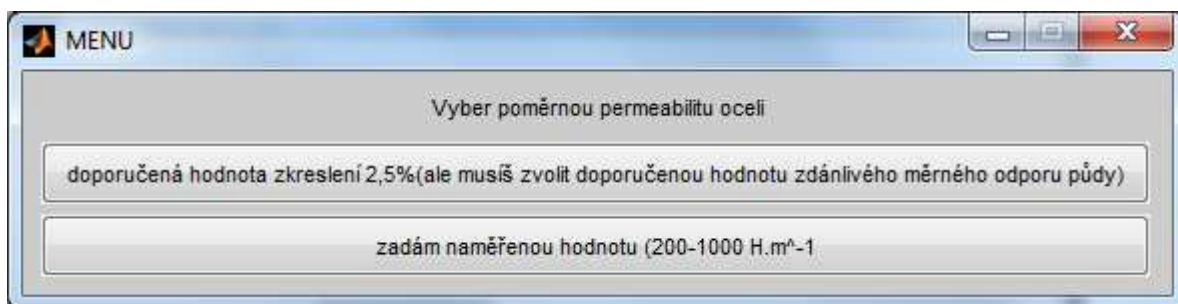
Obr. 18 Průměr potrubí



Obr. 19 Výběr zdánlivého měrného odporu půdy

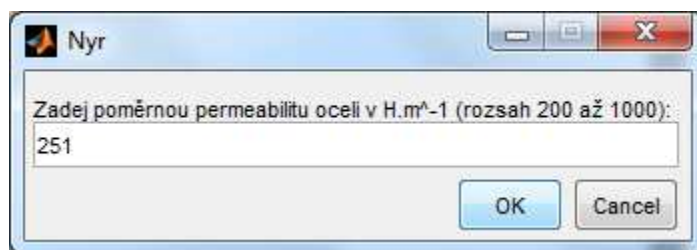
Zdánlivý odpor určíme z naměřených hodnot nebo zvolíme jednu z možností, které můžeme vidět na obr. 19. Pokud zvolíme doporučenou hodnotu uloží se do programu hodnota měrného půdy $100 \Omega.m$ a může, pokud zvolíme doporučenou hodnotu i pro

permeabilitu oceli, dojit ke zkreslení výsledku až o 2,5%.



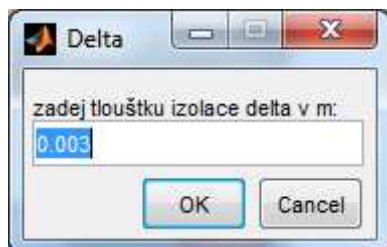
Obr. 20 Poměrná permeabilita oceli

Pokud nedodržíme rozsah permeability oceli, program nedovolí zadání dalších hodnot. Budem nuceni hodnotu zadávat opakovaně, dokud nezadáme hodnotu v daném rozsahu viz obr. 20 . Zvolím-li doporučenou hodnotu, uloží se mi do programu hodnota 200.

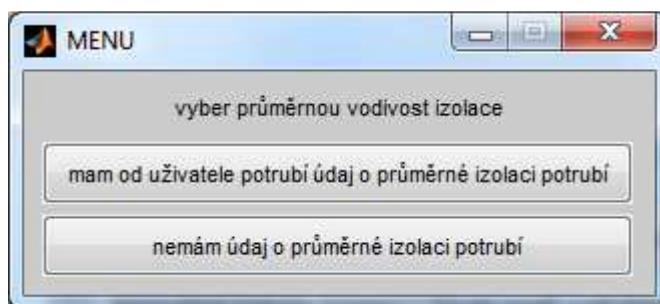


Obr. 21 Ruční zadání permeability oceli

..

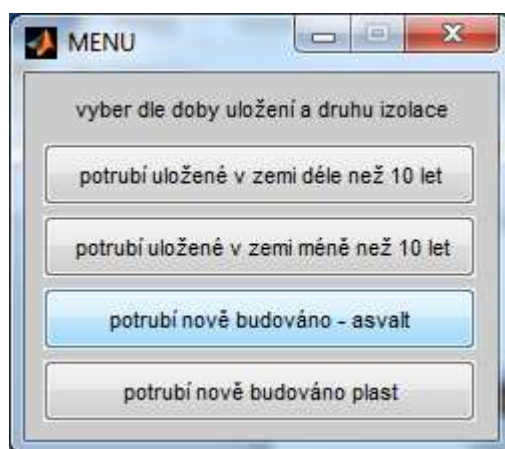


Obr. 22 Poměrná vodivost izolace



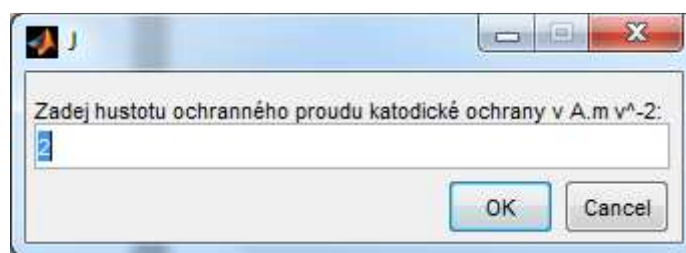
Obr. 23 Tloušťka izolace potrubí

Zvolím-li, že mám zadaný údaj, musím jej zadat do připraveného okna, ale zvolím-li, že údaj neznám, objeví se následující menu, které je ukázáno na obr.23.



Obr. 24 Nabídka průměrné vodivosti

V menu (obr. 24) se skrývá tabulka průměrné statisticky zjištěné vodivosti izolace potrubí. Průměrnou vodivost potrubí uloženého v zemi déle než deset let lze zadat v rozmezí mezi 700 až 10000 S.m⁻². Zvolíme-li, že máme potrubí uložené v zemi méně, než 10 let musíme zadat hodnotu v rozmezí 100 až 700 S.m⁻². Zvolíme-li asfalt uloží se nám do proměnné $G_{prům}$ hodnota 300 S.m⁻² a vybereme-li plast uloží se do $G_{prům}$ hodnota 100S.m⁻².



Obr. 25 Hustota proudu

Hustotu proudu zadá provozovatel sítě.

V programu jsou uloženy hodnoty, které jsou neměnné. Jedná se o:

- permeabilitu vakua $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$
- měrnou rezistanci oceli $\rho_{Fe} = 0,16 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$

- poměrnou permitivitu izolace potrubí $\varepsilon_r = 5$
- permitivitu vakua $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$

V programu jsou počítány tyto parametry potrubí vztažené na km délky: podélná rezistence smyčky potrubí podle rovnice (17), podélná reaktance (18), podélná susceptance (19), podélná konduktance (20), z charakteristických hodnot potrubí program vypočte součinitel šíření γ v km^{-1} (21) a (23), Fázový úhel součinitele potrubí vypočte program v dalším kroku (23), Následuje výpočet délkové konstanty potrubí L_k (24).

$$R = \left[\frac{\sqrt{\varrho_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \omega}}{\pi \cdot D \cdot \sqrt{2}} + \frac{\mu_0 \cdot \omega}{8} \right] \cdot 10^3 \quad (17)$$

$$\omega L = \left[\frac{\mu_0 \cdot \omega}{4 \cdot \pi} \cdot 2 \ln \frac{3.7 \cdot \sqrt{\varrho_z}}{8} + \frac{\sqrt{\varrho_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \omega}}{\pi \cdot D \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot 10^3 \quad (18)$$

$$\omega \cdot C = \frac{\omega \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\delta} \cdot 10^3 \quad (19)$$

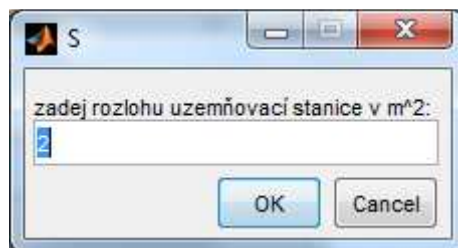
$$G = \pi \cdot D \cdot G_{prüm} \cdot 10^3 = \frac{\pi \cdot D \cdot J}{0,3} \cdot 10^3 \quad (20)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad (21)$$

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G^2 + \omega^2 C^2)} \quad (22)$$

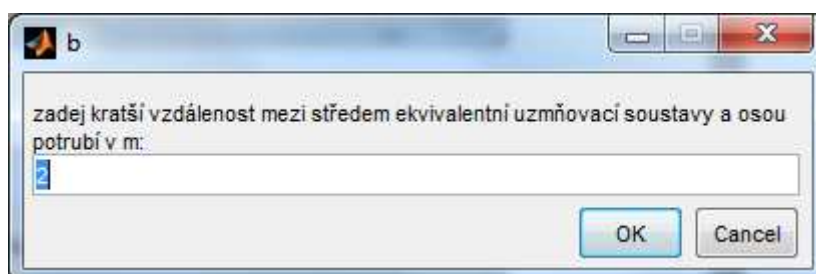
$$\varphi_\gamma = \frac{1}{2} \cdot \left[\text{arctg} \frac{\omega L}{R} + \text{arctg} \frac{\omega C}{G} \right] \quad (23)$$

$$L_k = \frac{1}{|\gamma| \cos \varphi_\gamma} \quad (24)$$



Obr. 26 Plocha uzemňovací stanice

Jak bylo zmíněno, musíme znát rozlohu, kterou zaujímá uzemnění stanice, zadáme ji opět pomocí menu na obr 26.



Obr. 27 Vzdálenost mezi středem ekvivalentní soustavy a osou potrubí

Jak bylo zmíněno, musíme znát nejkratší vzdálenost mezi středem ekvivalentní soustavy a osou potrubí v m (obr. 27). Program následně provede výpočet poloměru ekvivalentní uzemňovací soustavy

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (25)$$

Poloměrem ekvivalentní soustavy podělí hodnoty nejkratší vzdálenosti mezi středem ekvivalentní soustavy a osou potrubí a délkovou konstantu potrubí.

Program otevře v textový soubor s hodnotami převzatými z tabulky poměrných

hodnot napětí na potrubí při galvanickém vlivu obsažené ve zdroji [7] a pomocí

podělených hodnot vyhledá hodnotu poměrného napětí na potrubí.

Obr. 28 Hodnoty R_z a I_z

Hodnoty R_z a I_z je třeba zjistit u provozovatele elektroenergetického zařízení.

Provede se výpočet největšího potenciálu potrubí podle vztahu 26:

$$U_p = I_z \cdot R_z \cdot u_p \quad (26)$$

Od provozovatele sítě zjistíme dobu trvání zkratu. Zvolíme hodnotu podle obr. 16, ke které nám program přiřadí hodnotu nebezpečného napětí podle tabulky 3.

ověření správnosti	vyber výpočet	výsledky
napětí není nebezpečné	oblast vlivu	(m)
	indukční vliv	278.0614 (V)
	galvanický vliv	3.6574 (V)
	potenciál	(V)

Obr. 29 Zobrazení výsledku s radou

Při výpočtu potenciálu potřebujeme znát ideální podélné napětí, proto první část programu týkající se výpočtu potenciálu je shodná s výpočtem indukčního vlivu. Použijeme i součinitele šíření γ z čehož vyplývá, že se tato část programu, která je zakomponována ve výpočtu galvanického vlivu opakuje.

Výpočet potenciálu v programu začíná výpočtem absolutní hodnoty ze vztahu pro výpočet největšího potenciálu potrubí na koncích výpočetních úseků podle vzorce 27.

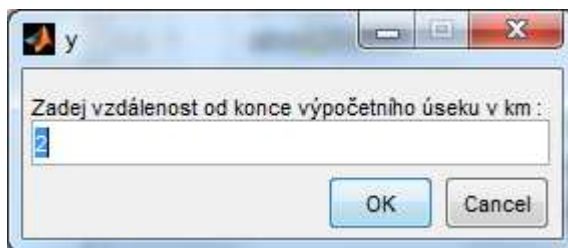
$$|1 - e^{-\gamma l}| = \sqrt{\left[1 - \frac{\cos(|\gamma| \cdot l \cdot \sin \varphi_\gamma)}{e^{(|\gamma| \cdot l \cdot \cos \varphi_\gamma)}}\right]^2 + \left[\frac{\sin(|\gamma| \cdot l \cdot \sin \varphi_\gamma)}{e^{(|\gamma| \cdot l \cdot \cos \varphi_\gamma)}}\right]^2} \quad (27)$$

Pokračuje výpočtem největšího potenciálu potrubí na koncích výpočetních úseků, viz 28:

$$U_{pmax} = \frac{U_i}{2 \cdot |\gamma|} |(1 - e^{-\gamma l})| \quad (28)$$

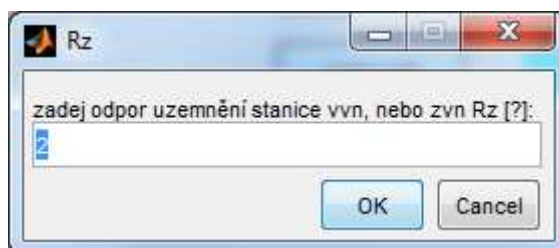
Od provozovatele sítě jsme získaly dobu trvání zkratu. Zvolíme hodnotu viz *obr 16*, program přiřadí hodnotu nebezpečného napětí podle *Tab.3*.

Pokud hodnota U_{pmax} je větší než je dovolená mez program pokračuje v následujících výpočtech



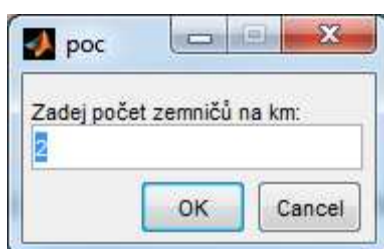
Obr. 30 Vzdálenost od konce výpočetního úseku

Vzdálenost od konce výpočetního úseku (zadání v menu na obr.30) slouží k výpočtu potenciálu vně výpočetního úseku potrubí. Program toto počítat umí a výpočty se zobrazují pouze v příkazovém řádku.



Obr. 31 Odpor uzemnění stanice

Následně si program vyžádá hodnotu zemního odporu (obr.31) .



Obr. 32 Počet zemničů na km

Požádá také o zadání počtu zemničů na kilometr délky (obr.32) a provede přepočítání podélné konduktance potrubí a následně přepočte i součinitel šíření γ v absolutní hodnotě.

Dojde opět k přepočítání hodnoty U_{pmax}

$$G_V = G + \frac{n}{R_z} \quad (29)$$

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G_s^2 + \omega^2 C^2)} \quad (30)$$

$$U_{pmax} = \frac{U_i}{2 \cdot |\gamma|} |1 - e^{-\gamma \cdot l}| \quad (31)$$

Od provozovatele sítě zjistíme dobu trvání zkratu. Zvolíme hodnotu (viz obr. 16), ke které nám program přiřadí hodnotu nebezpečného napětí podle tabulky 3.

Pokud se stále nacházíme mimo normou povolené hodnoty udané v Tab.3, program nás opět vrátí k zadání počtu zemničů jejich počet budeme zvyšovat tak dlouho, dokud výsledné U_{pmax} nebude v souladu s tabulkou 3.

ověření správnosti	vyber výpočet	výsledky
napětí není nebezpečné	oblast vlivu	(m)
	indukční vliv	278.0614 (V)
	galvanický vliv	3.6574 (V)
	potenciál	1.63118 (V)

Obr. 33 Vypíše výsledný potenciál

Závěr

Předložená bakalářská práce se zabývá vlivem trojfázových vedení na potrubí uložená v zemi. Toto téma je velmi aktuální, v současné době je obvyklé umisťovat rozvody do společných koridorů, proto je třeba řešit souběh vedení a ocelových potrubí. Ocelová potrubí se používají stále, protože plastová potrubí nemají dostatečnou světlost.

Práci jsem započal popisem Maxwellových rovnic, protože právě tyto rovnice jsou základem pro popis chování elektromagnetického pole venkovního vedení, kterým se má práce zabývat. Druhá kapitola je věnována popisu vedení vvn a zvn, zahrnuje i popis poruchových stavů, protože všechny výpočty v mém programu předpokládají nejnepříznivější podmínky na vedení, což je jednofázový zkrat na vedení. Ve třetí kapitole uvádím elektrotechnické předpisy související s tématem mé bakalářské práce.

Jakým způsobem mnou vytvořený program funguje, je popsáno ve čtvrté kapitole. Jsou zde ukázána okna, která se zobrazují uživateli a všechny výpočty, které program provádí. Výpočet šikmého souběhu je v normě popsán pouze slovně. Program nejen, že vypisuje vypočítané hodnoty, ale poskytuje i rady, které se těchto hodnot týkají. V případě, že v programu uživatel nevyplní některé požadované hodnoty, program se automaticky ukončí. Program vypíše, zdali je možné vedení s potrubím provozovat nebo navrhne řešení.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 3. vyd.-přepřac. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-708-2826-9.
- [2] MERTLOVÁ, Jiřina a Martin KOČMICH. *Elektrické stanice a vedení*. Vyd. 2., upr. Plzeň: Západočeská univerzita, 1997. ISBN 80-708-2356-9.
- [3] BENEŠOVÁ, Zdeňka a Daniel MAYER. *Základní příklady z teorie elektromagnetického pole*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-708-2818-8.
- [4] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. *Elektrické stanice a vedení*. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7..
- [5] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoprúdeho rozvodu* [online]. [cit. 2018-06-04]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035>
- [6] BALDA, Miroslav. *Úvod do MATLABu*. 2. opr. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-708-2404-2.
- [7] ČSN 33 2165 – Zásady pro ochranu ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi před nebezpečnými vlivy venkovních trojfázových vedení a stanic vvn a zvn..
- [8] ŠROUBOVÁ, Lenka. *Počítačová podpora v elektrotechnice* [online]. [cit. 2018-06-04]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~lsroubov/PPEL/Predn_actual/
- [9] TESAŘOVÁ, Miroslava. *Elektroenergetika 2* [online]. [cit. 2018-06-04]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/ee2/prednasky.html>
- [10] ČSN EN 50443 - Účinky elektromagnetické interference na potrubí způsobené AC vysokonapětovými elektrickými trakčními soustavami a/nebo AC vysokonapětovými napájecími soustavami
- [11] *MATLAB* [online]. [cit. 2018-06-04]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/matlab>