



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VERIFIKACE VÝSLEDKŮ OBDRŽENÝCH Z NOVĚ VYVINUTÉHO TŘÍFÁZOVÉHO NUMERICKÉHO MODELU

VERIFICATION OF THE OUTPUTS OBTAINED FROM THE NEW DEVELOPED THREE-PHASE
NUMERICAL MODEL OF THE NETWORK

Bakalárska práca

Bachelor's Thesis

Autor práce

Author

Palko Richard

VEDÚCI PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Topolánek, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Richard Palko

Ročník: 3

ID: 164354

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Verifikace výsledků obdržených z nově vyvinutého třífázového numerického modelu sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je zhodnotit výsledky výpočtu části distribuční soustavy obdržené z nově vyvinutého třífázového numerického modelu s výsledky fyzikálního modelu distribuční soustavy VN. Úkolem práce bude zhodnotit odchylky numerickým modelem vypočtených a na fyzikálním modelu zaznamenaných hodnot napětí a proudů. Předmětem pro posouzení přesnosti výpočtu bude výpočet ustáleného chodu sítě, výpočet symetrických i nesymetrických zkratových poměrů a výpočet zemního spojení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

PALKO, R. Verifikace výsledků obdržených z nově vyvinutého třífázového numerického modelu sítě. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. (59) s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Topolánek, Ph.D.

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

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

**Verifikace výsledků obdržených z nově
vyvinutého třífázového
numerického modelu sítě**

Richard Palko

vedoucí: doc. Ing. David Topolánek, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2017

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Bachelor's Thesis

**Verification of the outputs opteined
from the new developed three-phase
numarical model of the network**

by

Richard Palko

Supervisor: doc. Ing. David Topolánek, Ph.D.

Brno University of Technology, 2017

Brno

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca popisuje postup nastavenia numerického modelu a výpočet distribučnej sústavy v novo vyvinutom trojfázovom numerickom modeli. Po uskutočnení meraní na fyzikálnom modeli sa získané údaje porovnajú a vyhodnotia. Pre porovnanie presnosti výpočtu, bude nasimulovaný prevádzkový stav chodu siete, výpočet symetrických a nesymetrických skratových pomerov a zemných spojení.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: model distribučnej sústavy 22 kV; vzdušné a káblové vedenie; simulačný program NetCalc3; numerický model sústavy; prevádzkový stav; skrat; zemné spojenie;

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the procedure of setting the numerical model and calculating the distribution system in the newly developed three-phase numerical model. After performing measurements on physical models, the obtained data are compared and evaluated. To comparasion the accuracy of the calculation, the operational status of the network will be simulated, the calculation of the symmetrical and unsymmetrical short-circuits and earth connections.

KEY WORDS: 22 kV distribution system model; Air and cable lines; Simulation program NetCalc3; Numerical model of the system; Operating status; short circuit; Earth connection;

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV.....	7
ZOZNAM TABULIEK.....	9
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	10
ÚVOD.....	13
1 NUMERICKÝ PROGRAM NETCALC3.....	14
1.1 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE.....	14
1.2 DRUHY VÝPOČTU	14
1.3 POPIS PROSTREDIA.....	16
2 POPIS TESTOVANEJ SIETE	21
2.1 MIERKA MODELU.....	21
2.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH MODULOV	22
3 MERANIE.....	25
3.1 MERANIE OSCILOSKOPOM:.....	25
3.2 POSTUP MERANIA :.....	26
4 NASTAVENIE PRVKOV NUMERICKÉHO MODELU	28
5 VÝSTUPNÉ HODNOTY.....	32
5.1 ZEMNÉ SPOJENIE.....	32
5.2 PREVÁDZKOVÝ STAV	36
5.3 JEDNOFÁZOVÝ SKRAT.....	38
5.4 DVOJFÁZOVÝ SKRAT.....	40
5.5 TROJFÁZOVÝ SKRAT	43
6 POROVNANIE.....	48
6.1 PREVÁDZKOVÝ STAV	48
6.2 ZEMNÉ SPOJENIE.....	50
6.3 JEDNOFÁZOVÝ SKRAT.....	51
6.4 DVOJFÁZOVÝ SKRAT.....	53
6.5 TROJFÁZOVÝ SKRAT	55
ZÁVER.....	58
POUŽITÁ LITERATÚRA	59
PRÍLOHA	60

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1-1 Hlavné pracovné okno.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 1-2 Zadávacia maska.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 1-3 Vkladanie zadávacej masky</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 1-4 Druh výpočtu.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 1-5 Control panel</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 1-6 Výstupné dáta.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-1 Zapojenie siete</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5-1 Schéma výstupných hodnôt napätia zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5-2 Schéma výstupných hodnôt prúdu zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-3 Schéma výstupných hodnôt napätia prevádzkového stavu pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 5-4 Schéma výstupných hodnôt prúdu prevádzkového stavu pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 5-5 Schéma výstupných hodnôt napätia jednofázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5-6 Schéma výstupných hodnôt prúdu jednofázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5-7 Schéma výstupných hodnôt napätia dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-8 Schéma výstupných hodnôt napätia dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5-9 Schéma výstupných hodnôt prúdu dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5-10 Schéma výstupných hodnôt prúdu dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5-11 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 5-12 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 5-13 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_c.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 5-14 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a.....</i>	<i>45</i>

-
- Obr. 5-15 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b46*
- Obr. 5-16 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_c46*

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 2-1 Štítkové hodnoty trojvlnového transformátora T3</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2-2 Prevod trojvlnového transformátora.....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2-3 Štítkové parametre vzdušného vedenia, TYP 2 [1].....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2-4 Štítkové parametre vzdušného vedenia, TYP 1 [1].....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2-5 Štítkové parametre káblového vedenia [1].....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2-6 Štítkové parametre modelu záťaže, TYP 1 [1]</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2-7 Štítkové parametre modelu záťaže, TYP 2 [1]</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2-8 Štítkové parametre modelu zhasacej tlmivky [1]</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3-1 Parametre modulu (701260).....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-2 Parametre modulu (701251).....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-3 Parametre meracích kliešti C160.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-4 Parametre meracích kliešti Fluke 80i-110s.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4-1 Zadanie napäťových hladín v jednotlivých uzloch siete</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4-2 SI - Napájací uzol siete</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4-3 T3 - Transformátor trojvlnový, terciár má spojenie vinutí D.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4-4 KX - Jednožilový kábel s kovovým plášťom - parciálni parametre Rk,Gk,Lk,Ck.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 4-5-a VX - Nesymetrické trojvodičové vedenie bez zemného lana s uvažovaním vplyvu zeme - parciálni kilometrové parametre Rk,Gk,Lk,Mk,Ck</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 4-6 ZQ – záťaž s konštantnou impedanciou, SER/PAR/CIGRE model s kompenzáciou</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5-1 Výstupné hodnoty napätia zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 5-2 Výstupné upravené hodnoty prúdu zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete</i>	<i>34</i>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

m_U	napät'ová mierka modelu	-
m_I	prúdová mierka modelu	-
m_Z	impedančná mierka modelu	-
U_{3f}	uzlové napätia fázové	V
U_{3L}	uzlové napätia	V
I_{3f}	uzlový prúd	A
S_{3f}	uzlový výkon	VA
I_{V3f}	prúd teč	A
S_{V3f}	výkon prenášaný vetvou	VA
$Z(h)$	frekvenčná charakteristika uzlovej impedancie	Ω
$U_{N,skut.}$	menovité napätie skutočnej distribučnej siete	V
$U_{N,model.}$	menovité napätie modelu	V
$I_{N,skut.}$	menovitý prúd skutočnej distribučnej siete	A
$I_{N,model.}$	menovitý prúd modelu	A
S_n	zdanlivý výkon transformátoru	VA
U_n	menovité napätie	V
I_n	menovitý prúd	A
U_{nom}	napätie nominálne	kV
$i-j$	zapojenie modulu medzi uzlami	-
S_k	min./ max. trojfázový rázový skratový výkon siete	MVA
$\cos\varphi_k$	účinník skratového výkonu	-
U_{ab}	modul fázoru vnútorného združeného napätia u_{ab}	V
U_{bc}	modul fázoru vnútorného združeného napätia u_{bc}	V
U_{ca}	modul fázoru vnútorného združeného napätia u_{ca}	V
U_n	modul fázoru napätia nulového bodu u_n	V
$\alpha_{U_{ab}}$	uhol fázoru vnútorného združeného napätia u_{ab}	$^\circ$
α_{U_n}	uhol fázoru napätia nulového bodu u_n	$^\circ$
R_n	rezistencia uzemnenia nulového bodu	Ω
X_n	induktívna reaktancia uzemnenia nulového bodu	Ω
R_0/R_1	pomer netočivej a súslednej zložky vnútornej rezistencie siete	-
X_0/X_1	pomer netočivej a súslednej zložky vnútornej reaktancie siete	-
$uz3$	číslo uzlu terciárneho vinutia	-

S_{n12}	menovitý zdanlivý trojfázový prechodový výkon 1-2	VA
S_{n13}	menovitý zdanlivý trojfázový prechodový výkon 1-3	VA
S_{n23}	menovitý zdanlivý trojfázový prechodový výkon 2-3	VA
U_{n1}	menovité združené napätia primáru	V
U_{n2}	menovité združené napätia sekundáru	V
U_{n3}	menovité združené napätia terciálu	V
u_k	napätie nakrátko	%
ΔP_k	straty nakrátko	kW
i_0	prúd naprázdno	%
ΔP_0	straty naprázdno	kW
R_{n1}	rezistencia uzemnenia uzlu primáru	Ω
X_{n1}	induktívna reaktancia uzemnenia uzlu primáru	Ω
R_{n2}	rezistencia uzemnenia uzlu sekundáru	Ω
X_{n2}	induktívna reaktancia uzemnenia uzlu sekundáru	Ω
G_0/G_1	pomer netočivej a súslednej zložky priečnej konduktancie naprázdno	-
B_0/B_1	pomer netočivej a súslednej zložky priečnej susceptancie naprázdno	-
$S_{N,skut.}$	menovitý združený výkon skutočnej distribučnej siete	VA
$S_{N,model.}$	menovitý združený výkon modelu	VA
$\Delta P_{k12,skut.}$	straty nakrátko dvojice vinutí 1-2 skutočnej distribučnej siete	kW
$\Delta P_{k12,model.}$	straty nakrátko dvojice vinutí 1-2 modelu	kW
p	prevod transformátora	-
R_a	rezistencia vodiča L_a na 1 km dĺžky vedenia pri 20°C	Ω/km
R_b	rezistencia vodiča L_b na 1 km dĺžky vedenia pri 20°C	Ω/km
R_c	rezistencia vodiča L_c na 1 km dĺžky vedenia pri 20°C	Ω/km
G	zvodová konduktancia fázového vodiča na 1 km dĺžky vedenia	$\mu S/km$
L_a	vlastná indukčnosť vodiča L_a na 1 km dĺžky vedenia	mH/km
L_b	vlastná indukčnosť vodiča L_b na 1 km dĺžky vedenia	mH/km
L_c	vlastná indukčnosť vodiča L_c na 1 km dĺžky vedenia	mH/km
C_{10}	vlastná kapacita vodiča L_a voči zemi na 1 km dĺžky vedenia	nF/km
C_{20}	vlastná kapacita vodiča L_b voči zemi na 1 km dĺžky vedenia	nF/km
C_{30}	vlastná kapacita vodiča L_c voči zemi na 1 km dĺžky vedenia	nF/km
C_{12}	vzájomná kapacita medzi vodičmi L_a, L_b na 1 km dĺžky vedenia	nF/km
C_{13}	vzájomná kapacita medzi vodičmi L_a, L_c na 1 km dĺžky vedenia	nF/km

C_{23}	vzájomná kapacita medzi vodičmi L_b, L_c na 1km dĺžky vedenia	nF/km
S	skutočný prierez vodiča	mm^2
l	celková dĺžka vedenia	km
I_{max}	maximálne dovolené prúdové zaťaženie	A
M_{12}	vzájomná indukčnosť medzi vodičmi L_a, L_b na 1 km dĺžky vedenia	$\mu H/km$
M_{23}	vzájomná indukčnosť medzi vodičmi L_b, L_c na 1 km dĺžky vedenia	$\mu H/km$
M_{13}	vzájomná indukčnosť medzi vodičmi L_a, L_c na 1 km dĺžky vedenia	$\mu H/km$
P	činný príkon záťaže	kW
Q	indukčný príkon záťaže nekompenzovaný	$kVAr$
Q_k	kapacitný kompenzačný výkon	$kVAr$
BP	Bakalárska práca	
SI	Napájacia sieť	
$3T$	napájací transformátor	
KX	káblové vedenie	
VX	vonkajšie vedenie	
ZQ	záťaž	
$L3$	zhášacia tlmivka	
$Prim$	primárne vinutie transformátora	
Sek	sekundárne vinutie transformátora	
$Terc$	terciálne vinutie transformátora	
VVN	Veľmi vysoké napätie	
VN	Vysoké napätie	
NN	Nízke napätie	

ÚVOD

Cieľom tejto bakalárskej práce je získať údaje o prevádzkových stavoch distribučnej sústavy zo simulačného numerického programu a porovnať ich s údajmi získanými meraním na fyzikálnom modeli distribučnej sústavy VN.

Distribučná sústava je elektroenergetický zložitý topologický útvar, zložený zo zdrojov elektrickej energie, spotrebičov elektrickej energie a distribučných vedení. Pre spoľahlivé riadenie a rozvoj distribučnej sústavy, pre analyzovanie ustálených symetrických a nesymetrických prevádzkových stavov slúžia rôzne simulačné aplikácie alebo fyzikálne modely.

Výpočet tak zložitých útvarov patrí k náročným matematickým výpočtom. Moderné trendy v rozvoji simulačných programov pomáhajú podrobnejšie simulovať a analyzovať trojfázové elektroenergetické sústavy distribučných a priemyselných sietí s rešpektovaním symetrie a nesymetrie parametrov prenosových prvkov, rôznorodej skladbe odberov a zdrojov elektriny a súvisiacich prevádzkových stavov.

Praktické overenie prevádzkových stavov v distribučnej sústave sa da realizovať aj v laboratórnych podmienkach, za použitia fyzikálneho modelu. Fyzikálny model distribučnej sústavy je navrhnutý v mierke, tak, aby čo najlepšie zachytil reálne stavy distribučnej sústavy. Fyzikálny model obsahuje moduly ako modul napájacieho transformátora VVN/VN, modul vzdušného a káblového vedenia, modul distribučného transformátora VN/NN a modul záťaže. Prepájaním jednotlivých modulov vznikne fyzikálny model totožný s reálnou distribučnou sústavou. Na fyzikálnom modeli sa meraním získajú údaje pre posúdenie a analýzu prevádzkových stavov.

V našom prípade sme pre výpočet prevádzkových stavov použili novo vyvinutý program NetCalc3. Jedná sa o modelovací a simulačný softwarový nástroj pre počítačovú podporu výpočtu a analýzy prevádzkových stavov trojfázových elektroenergetických rozvodných sústav. Uvedený program umožňuje výpočty distribučných a priemyslových sietí všetkých napätových hladín a to symetrických alebo nesymetrických, súmerne alebo nesúmerne zaťažených.

Porovnaním a analyzovaním údajov získaných z numerického modelu a z meraní na fyzikálnom modeli, môžeme posúdiť a postupy a spôsoby porovnania rozsiahlych sietí

1 NUMERICKÝ PROGRAM NETCALC3

1.1 Základné informácie

Program NetCalc je modelovací a simulačný program pre podporu výpočtu elektroenergetických distribučných a prenosových sietí všetkých napätových hladín, symetrických alebo nesymetrických, zaťažených súmerne aj nesúmerne.

1.2 Druhy výpočtu

Tento program umožňuje modelovanie základných parametrov sústavy a analyzovanie rôznych vplyvov, ktoré vznikajú počas prevádzky sústavy. Krátkodobé výpadky a znovupripojenia zdrojov a záťaží a ich vplyv na zmenu sledovaných parametrov kvality elektriny. Výpočty poruchových stavov ako sú skraty, zemné spojenia, pôsobenie ochrán a posúdenie ich vplyvu na stabilitu sústavy. Pri skratoch sa jedná o výpočet elektromagnetických elektromechanických prechodných dejov, ktoré môžu slúžiť podklad pre kontrolu prvkov sústavy a nastavenie ochrán. Analýzy pre spracovanie štúdií prepojitelnosti nových zdrojov a odberov a ich spätný vplyv na prevádzku sústavy. Ďalej program umožňuje posúdenie vplyvu vyšších harmonických, ako aj vplyv sústavy na šírenie signálov HDO. V sústavách s izolovaným alebo nepriamo uzemneným uzlom transformátorov, umožňuje kontrolu namáhania izolácie fáz a nulových uzlov sústavy, hodnoty nabíjajúcich kapacitných prúdov a parametre pre nastavenie Petersonovej zhášacej tlmivky.

Možné druhy výpočtov :

- chod siete ako lineárna a nelineárna úloha,
 - *lineárna úloha - v jednotlivých uzloch sú zadané napájacie resp. odberové prúdy a vedenia sú nahradené π - článkom, napätia zdrojov sú symetrické vo všetkých fázach a sú harmonickými funkciami času s frekvenciou základného kmitočtu siete. Sústavu riešime metódou lineárnych rovníc.*
 - *Nelineárna úloha - v jednotlivých uzloch sú zadané činné a jalové výkony a vedenia sú nahradené π - článkom, sústavu riešime metódami nelineárnych (kvadratických) výkonových rovníc. (Gauss-Seidlova, Newtonova iteračná metóda, ..)*
- chod siete so symetrickou a nesymetrickou záťažou,
 - *siete len s odporovými záťažami*
 - *sieť s odporovými, indukčnými a kapacitnými záťažami*
- chod siete s lineárnymi a nelineárnymi záťažami a vysielateľom HDO,
 - *lineárna záťaž – odporová záťaž*
 - *nelineárna záťaž – indukčnosť alebo kapacita*
 - *vysielač HDO – v stanovených časoch vysiela do siete frekvenčné impulzy pre diaľkové spínanie napr. dvojsadzbových elektromerov a spotrebičov.*
- pripojiteľný výkon záťaže alebo zdroja rozptýlenej výroby,
 - *pripojiteľný výkon záťaže – je definovaný ako maximálny činný výkon odberu elektrickej energie, ktorý je možné pripojiť do distribučnej sústavy za podmienok dodržania prevádzkových predpisov.*
 - *pripojiteľný zdroj rozptýlenej výroby – je definovaný ako najvyšší činný výkon, ktorý smie výroba v pripojovacom bode dodávať do siete aby boli dodržané prevádzkové predpisy.*
- kontingenčná analýza,

- je výpočet sústavy, ktorý simuluje mieru bezpečnosti prevádzky sústavy z hľadiska kritéria $N-1$ (N je počet prvkov v sústave), Pri výpadku prvku sústavy sa identifikujú ostatné prvky a parametre sústavy, či nedochádza k preťaženiam, alebo k mimotolerančným hodnotám napätí a prúdov.
- harmonická analýza,
 - je zisťovanie kvalitatívnych ukazovateľov elektriny. Kvalitu elektrickej energie posudzujeme spravidla podľa spoľahlivosti dodávky a podľa odchýlok od normou daných štandardov pre napätie, kmitočet, napäťovú nesymetriu, neharmonického priebehu apod. Kvalita elektrickej energie odoberané zo siete je výrazným spôsobom ovplyvnená nelineárnymi spotrebičmi pripojenými na sieť.
- frekvenčná charakteristika uzlovej impedancie,
 - je určenie kmitočtového priebehu výslednej uzlovej impedancie, ktoré sú ovplyvnené vyššími harmonickými. Siete sú tvorené pospájaním rôznych rezistancií, kapacít a indukčností, ktoré komplexne ako celok sú frekvenčne závislé.
- šírenie signálu HDO,
 - Hromadné diaľkové ovládanie (HDO) je systém pre šírenie frekvenčných impulzov, ktoré slúžia na ovládanie odberov. Výpočet slúži pre posudzovanie spätných vplyvov siete na šírenie signálu HDO.
- šírenie flikra,
 - Flikr je dôsledok kolísania napätia, ktoré môže byť spôsobené rušením v procese výroby, prenosu a distribúcie elektrickej energie. Typicky je spôsobený veľkou premenlivou záťažou, tj. záťažou, u ktorej sa rýchlo mení činný a jalový odber elektrickej energie
- uzlová skratová impedancia siete,
 - je výpočet uzlových skratových impedancií siete pre výpočet skratu
- súmerné a nesúmerné skraty,
 - súmerne skraty sú trojfázový skrat medzi tromi fázami, alebo trojfázové zemné spojenie v sieti s účinne uzemneným uzlom.
 - nesúmerné skraty sú jednofázové, dvojfázové, jednofázové alebo dvojfázové zemné spojenie s účinne uzemneným uzlom.
- zemné spojenie miestne aj viacnásobné simultánne nesúmiestné,
 - zemné spojenie miestne je vodivé spojenie jednej fázy so zemou v jednom mieste siete prevádzkovej s izolovaným uzlom, alebo v kompenzovanej sieti.
 - zemné spojenie simultánne nesúmiestne je viacnásobné vodivé spojenie jednej fázy so zemou na rôznych miestach v sieti prevádzkovej s izolovaným uzlom, alebo v kompenzovanej sieti. V prípade takejto poruchy sú zhasäcie zariadenia neúčinné.
- optimalizácia reaktancie Petersenovej zhasäcej tlmivky,
 - je analýza optimálneho nastavenia reaktancie Petersonovej zhasäcej tlmivky, pre kompenzáciu kapacitnej zložky prúdu zemného spojenia.
- statická stabilita symetrickej siete,
 - je analýza kvality stability sústavy a miera schopnosti systému vrátiť sa do stabilného stavu, spôsobených vplyvom malých zmien v sústave
- dynamická stabilita symetrickej siete,
 - je analýza veľkých skokových prechodných javov v sústave, ku ktorým dochádza pri určitých zmenách konfigurácie siete, poruchách, pôsobení ochrán. Výpočtom sa zisťuje, či pri skokových zmenách v sústave, bude dodržaná synchronna prevádzka paralelne pracujúcich alternátorov a stabilita sústavy.

Jednotlivé výpočty sú podrobne rozobrané v referenčnej príručke [2].

1.3 Popis prostředí

Uživatel'ské prostředí programu NetCalc3 umožňuje jednodušší přístup k výpočtovému jádru. Služí uživateli pro práci s programem NetCalc3, při zadávání vstupních dat, ich editáciu a archiváciu, vykonávaní výpočtov a vytváraní tabuľkových a grafických zostáv pre graficko-numerickú prezentáciu výstupných dat.

Hlavné pracovné okno slúži na zadávanie a editáciu vstupných dat. (Obr. 1-1) Má formou textového editoru, kde sa jednotlivé vstupné parametre zadávajú a upravujú. Úvodná sekcia je na identifikáciu projektu.

Sekcia s názvom „=Soustava“ je pre program povinná, určuje základne parametre sústavy. Nastavenie uvedených údajov je globálne a platí pre všetky vstavané druhy výpočtov.

V sekcii „=Soustava“ je v prvom stĺpci uvedený názov parametra ktorý je oddelený dvojbodkou, v druhom stĺpci názov hodnoty zadaného parametra, stĺpec je oddelený bodkočiarkou a v treťom stĺpci sú názvy respektíve prípustne hodnoty navzájom oddelené čiarkou.

```

NetCalc3 5.2 - Ustálený stav(bez DT).dat
Soubor Úpravy Formát Hledat Výpočet Kontrola Okno Nápověda
=Varianta: 1
=Nazev akce: Šablona pro výpočet chodu jako lineární úloha
=Varianta: 1
; Zpracoval: Palko Richard
; Datum: 30.10.2016 (aktualizace)

=Soustava
  frekvence: 50 ;50, 60 (Hz)
  model: trojfazovy ;trojfazovy, slozkovy, jednofazovy
  typ sítě: trivodicova ;trivodicova, ctyrvodicova
  převody traf: skutecne ;skutecne, nominalni, fiktivni
  modely prvků: impedancni ;impedancni, reaktancni, rezistancni
  provozní stav: maximalni ;maximalni, minimalni
  stav zatížení: zatizena ;zatizena, nezatizena

=Chod_PQ
  it.metoda: ImplicitZBus ;ImplicitZBus, ExplicitZBus, NewtonRaphson, GaussSeidel, FBSweep
  solver: Sparlin ;Sparlin, GEM
  epsilon U: 1E-9 ;doporučeno 1E-9
  max.kroků: 200 ;max. počet iterací; záporná hodnota určí pevný počet iter.
  čas.limit: 600 ;max. doba výpočtu [s] (má nejvyšší prioritu)
; dU%, uzlel: 2 39 ;max. % změna napětí v zadaném uzlu 39 po připojení elektrárny

=Uzly
;-----
; č.u. Unom Označení uzlu
; [-] [kV]
;-----
1 110 "Napájecí uzol "
2 22 "Hlavný uzol za Trafom"
3 22

```

Obr. 1-1 Hlavné pracovné okno

```

=Soustava
  frekvence: 50 ;50, 60 (Hz)
  model: trojfazovy ;trojfazovy, slozkovy, jednofazovy
  typ sítě: trivodicova ;trivodicova, ctyrvodicova
  převody traf: skutecne ;skutecne, nominalni, fiktivni
  modely prvků: impedancni ;impedancni, reaktancni, rezistancni
  provozní stav: maximalni ;maximalni, minimalni
  stav zatížení: zatizena ;zatizena, nezatizena

```

Obr. 1-2 Vzor sekcie „=Soustava“

V ďalšej časti hlavného pracovného okna, sú zadané jednotlivé sekcie pre konkrétne druhy výpočtov alebo analýz. Každá sekcia má nastavené vlastné charakteristické parametre, ktoré budú použité pre konkrétny výpočet. V tomto prípade boli použité uvedené sekcie:

- =Chod_PQ – riadiaca sekcia výpočtu chodu, ako nelineárna úloha a pripojeného výkonu ZRV,
- =Zkrat_uzlu – riadiaca sekcia výpočtu pomerov pri skrate,
- =Zemni_spojieni – riadiaca sekcia výpočtu zemného spojenia,
- =Uzly – pre zadávanie parametrov uzlov siete,
- =Vztazne_napeti – pro zadanie vzťahného napätia výstupných veličín v reportoch,

```
=Chod_PQ
it.metoda: ImplicitZBus ;ImplicitZBus, ExplicitZBus, NewtonRaphson, GaussSeidel, FBSweep
solver: Sparlin ;Sparlin, GEM
epsilon U: 1E-9 ;doporučeno 1E-9
max.krokků: 200 ;max. počet iterací; záporná hodnota určí pevný počet iter.
čas.limit: 600 ;max. doba výpočtu [s] (má nejvyšší prioritu)
; dU%, uzlel: 2 39 ;max. % změna napětí v zadaném uzlu 39 po připojení elektrárny
```

Obr. 1-3 Vzor sekcie pre výpočet prevádzkového chodu siete

```
=Zemni_spojieni: 8 ;výčet č. uzlů simultánní nesoumírné poruchy oddělený čárkami
fáze-zem: A-E ;A-E, B-E, C-E
příčná adm.: 1E6 ;doporučeno 1E6 až 1E9
```

Obr. 1-4 Vzor sekcie pre výpočet zemných spojení

```
=Zkrat_uzlu: 8
metoda: superpozice ;zakladni, podrobna, superpozice
Z_oblouku: 1.15+0i ;impedance oblouku (ohm)
druh zkratu: A-B-C-E ;A-E, B-E, C-E, A-B, B-C, A-C, A-B-E, B-C-E, A-C-E, A-B-C, A-B-C-E
relevance: globalni ;globalni, lokalni
doba Tk: 0,25 ;doba trvání zkratu (sec)
```

Obr. 1-5 Vzor sekcie pre výpočet skratov

Zoznam ďalších sekcií a vlastností jednotlivých parametrov sú podrobne popísané v referenčnej príručke [2].

Zadávacie masky predstavujú šablónu pre zadávanie vstupných dát jednotlivých prvkov siete, aby bola dodržaná správna súseďnosť a integrita vstupných dát. Na obrázku (Obr. 1-6) je zobrazená ukážková maska káblového vedenia.

- Masky sa skladá z 3 častí kde základnú časť tvorí prvý riadok (riadok nad čiarou) masky „=Vetve KX „,
- Riadok medzi obsahuje veličiny a ich jednotky v poradí ako majú byť zadané.
- Pod čiarou sa zadávajú vstupné hodnoty.

```
=Vetve KX ;Jednožilový kabel s kovovým pláštěm - parciální parametry Rk,Gk,Lk,Ck
;
; zapoj kód fáze R1 R2 R3 G L1 L2 L3 C10 C20 C30 S l lmax
; i-j KX*0 ABC ohm/km uhm/km uhm/km uS/km mH/km mH/km mH/km nF/km nF/km nF/km mm2 km km A Označení větve
;
4-5 KX ABC 0,1224 0,1252 0,1225 0 0,36025 0,36025 0,36025 290.91 290.91 290.91 240 25 163 "K 2-3"
10-11 KX ABC 0,1220 0,1220 0,1233 0 0,36025 0,36025 0,36025 290.91 290.91 290.91 240 25 163 "K 4-5"
```


Obr. 1-6 Zadávacia maska

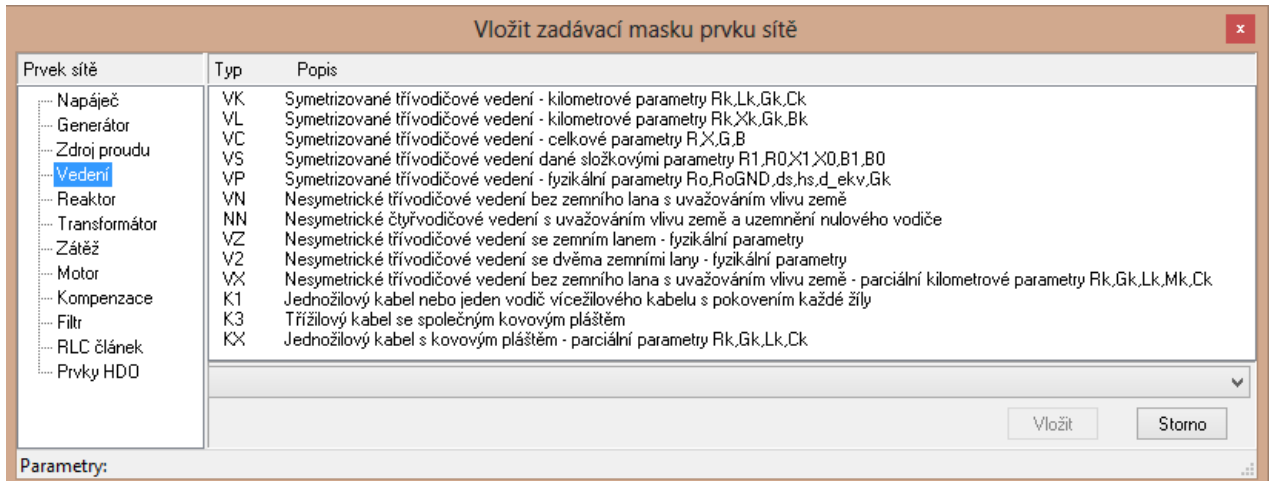
Jednotlivé hodnoty musia byť oddelené medzerou. Desatinné čísla môžu byť oddelené čiarkou alebo bodkou. Za bodkočiarku sa zadáva text, ktorý nemá vplyv na výpočet (komentáre a vlastné poznámky). Pre správnu funkciu je potrebné dodržať súseďnosť zadávaných údajov podľa masky. K dispozícii sú masky pre každý prvok siete spolu s potrebnými veličinami a jednotkami pre správne

zadanie vstupných dát . Program obsahuje viacej možností zadávacích masiek toho istého prvku siete, podľa dostupných vstupných údajov. [2]

Vkladanie zadávacích masiek je možné dvoma spôsobmi:

a) Pomocou ponuky menu *Úpravy/Vložiť* masku. Obr. 1-7


b) Pomocou rozbaľovacieho menu tlačítka na panely nástrojov  *Vložiť/Vložiť* masku

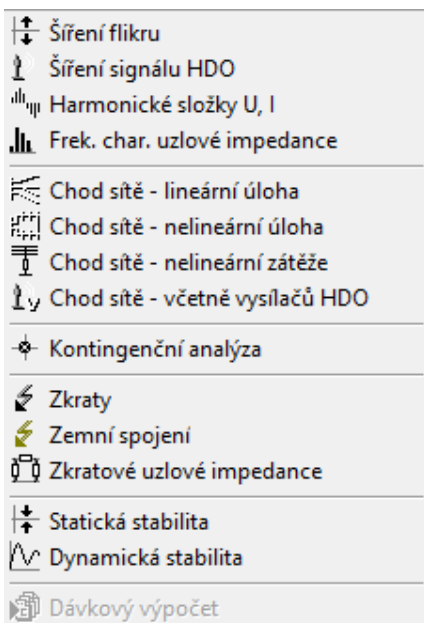


Obr. 1-7 Vkladanie zadávacej masky

Zvolená maska sa zobrazí v hlavnom pracovnom okne a ihneď je možné zadávať vstupné údaje.

Parametre výpočtu: Do ponuky parametre výpočtu sa dostaneme pomocou ponuky menu *Výpočet/parametri*. Podrobnejší popis jednotlivých funkcií je v referenčnej príručke.

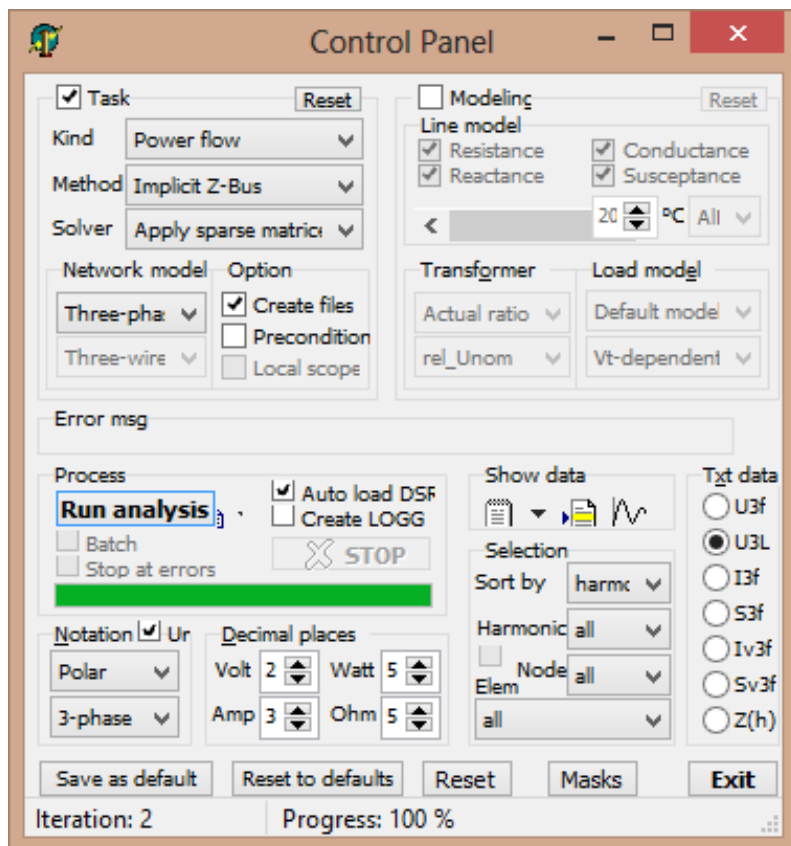
Spustenie výpočtu : Výpočet sa spúšťa pomocou rozbaľovacieho menu tlačítka na panely nástrojov  *Spustiť výpočet(F9)* a z roletového menu sa vyberie potreby druh výpočtu Obr. 1-8 .



Obr. 1-8 Druhy výpočtu

Po zvolení výpočtu sa zobrazí okno *Control Panel*. Obr. 1-9

Po zadání všetkých vstupných hodnôt do zadávacích masiek aspustený výpočtu zobrazí sa nam okno *Control panel* v ktorom sa skontroluje správnosť zadaných vstupných údajov a vykoná posledné nastavenie koncového výpočtu.



Obr. 1-9 Control panel

Okno Control Panel sa skladá z mnoho častí, ale pre náš výpočet nie sú potrebné všetky. Podrobný popis jednotlivých častí a ich funkčnosť je v príručke.

Pre náš výpočet sú potrebné políčka :

- a) *Error msg* – zobrazí chybu pri chybnom zadaní vstupných údajov
- b) *Process* – Run analysis – spusti výpočet
- c) *Txt data* -
 - U_{3f} - uzlové napätia fázové
 - U_{3L} - uzlové napätia
 - I_{3f} - uzlový prúd
 - S_{3f} - uzlový výkon
 - I_{v3f} - prúd teč
 - S_{v3f} - výkon prenášaný vetvou
 - $Z(h)$ – frekvenčná charakteristika uzlovej impedancie
- d) *Notation* -
 - *Cartesian/Polar* - tvar zápisu hodnôt v komplexných číslach
 - *3-phase/Sequence* - výpis v trojfázových hodnotách / súmerných zložkových sústav
- e) *Decimal Places* – počet desatinných miest výstupných údajov

Okno s výstupnými údaji Obr. 1-10 obsahuje nastavenie výpočtu (vrchná časť okna) a výsledné hodnoty (spodná časť okna). Výstupné údaje sa ukladajú vo forme textového suboru (výstup.txt) a sú uložené v rovnakom adresári ako projekt.

Rozložení uzlových napětí

soubor : C:\Users\sdhseagsafa\Desktop\skola\BBPS 2\výstup\skusobný 3\Ustálený stav (bez DT).dat
akce : Šablona pro výpočet chodu jako lineární úloha
datum : 21.5.2017 19:47:18
varianta: 1
druh výp: Chod sítě jako nelineární úloha
metoda : ImplicitZBus (sparse, an3f)
model ES: trojfázový třívodičový, skutečné převody TR
sítě je : nesymetrická, zatížení vyvážené
iterací : 2
přesnost: OK (max. difference = 0 V)
doba výp: 00:00,016 sec

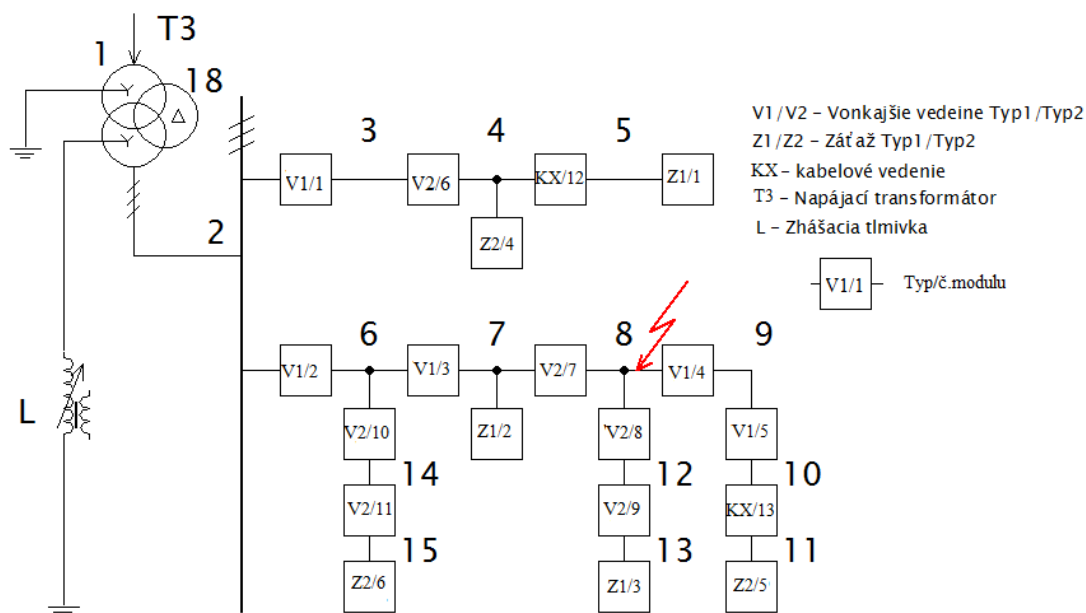
h = 1,00 f = 50,00 Hz

uzel	sdr. napětí [V]		(.Unom)		souř. napětí [V]		souř. napětí [%]		napěťový profil [%]			
-	Uab	_Uab°	Ubc	_Ubc°	Uca	_Uca°	nevyváž.	nesoum.	U1/Un	U2/Un	U0/Un	
1;	109751,94;	29,85°;	109752,26;	-90,14°;	109752,62;	149,85°;	0,00;	0,00;	99,77;	0,00;	0,00;	Napájecí uzol
2;	21943,08;	29,76°;	21943,19;	-90,24°;	21943,30;	149,76°;	0,00;	0,00;	99,74;	0,00;	0,00;	Hlavný uzol za Trafom
3;	21715,24;	28,80°;	21710,32;	-91,21°;	21711,05;	148,80°;	0,01;	0,01;	98,69;	0,01;	0,01;	
4;	21451,17;	27,66°;	21432,07;	-92,20°;	21487,55;	147,77°;	0,15;	0,13;	97,53;	0,15;	0,13;	Z2
5;	21439,55;	27,26°;	21419,47;	-92,60°;	21476,29;	147,38°;	0,16;	0,13;	97,48;	0,15;	0,13;	koniec vedení "Z1
6;	21406,31;	28,48°;	21382,72;	-91,53°;	21389,16;	148,53°;	0,07;	0,03;	97,24;	0,06;	0,03;	prvý uzol
7;	21052,72;	27,39°;	21019,93;	-92,65°;	21022,85;	147,45°;	0,10;	0,05;	95,60;	0,10;	0,05;	Z1
8;	20794,26;	26,27°;	20748,20;	-93,63°;	20804,22;	146,43°;	0,17;	0,07;	94,46;	0,16;	0,07;	druhý uzol
9;	20693,64;	25,43°;	20644,97;	-94,47°;	20701,18;	145,59°;	0,17;	0,08;	94,00;	0,16;	0,08;	
10;	20598,81;	24,58°;	20543,28;	-95,33°;	20600,16;	144,76°;	0,18;	0,09;	93,55;	0,17;	0,08;	
11;	20542,70;	24,07°;	20486,89;	-95,84°;	20543,18;	144,28°;	0,18;	0,09;	93,29;	0,17;	0,08;	Z2 "DT
12;	20659,08;	26,10°;	20617,66;	-93,76°;	20682,71;	146,27°;	0,18;	0,11;	93,88;	0,17;	0,10;	
13;	20520,90;	25,94°;	20485,80;	-93,88°;	20560,80;	146,11°;	0,21;	0,14;	93,28;	0,20;	0,13;	Z1 "DT
14;	21182,25;	28,22°;	21168,88;	-91,72°;	21192,63;	148,28°;	0,06;	0,05;	96,28;	0,06;	0,05;	
15;	20955,68;	27,96°;	20951,59;	-91,91°;	20992,76;	148,03°;	0,12;	0,10;	95,30;	0,12;	0,10;	Z2
16;	6281,56;	-0,18°;	6281,54;	-120,18°;	6281,59;	119,82°;	0,00;	0,00;	99,71;	0,00;	0,00;	Uzel terciáru T3
17;	110000,00;	30,00°;	110000,00;	-90,00°;	110000,00;	150,00°;	0,00;	0,00;	100,00;	0,00;	0,00;	Fiktivní uzol SI: 1-1

Obr. 1-10 Výstupné dáta

2 POPIS TESTOVANEJ SIETE

Model sústavy sa skladá z modulov predstavujúcich jednotlivé časti distribučnej sústavy. Základný modul predstavuje napájaciu rozvodňu 110/22 kV, ktorá obsahuje trojvinuťový napájací transformátor, pomocné obvody pre istenie a meranie, možnosť simulácie skratov a svorky pre pripojenie zhášacej tlmivky pre simuláciu zemného spojenia. Ostatné moduly predstavujú jednotlivé časti distribučnej sústavy, ako sú vonkajšie vedenia, káblové vedenia, záťaže a distribučné transformátory.



Obr. 2-1 Zapojenie siete

2.1 Mierka modelu

Mierka napätia m_U pre menovitému združenému napätiu modelu (100V), pri napät'ovej hladine 22kV sa určí podľa vzťahu (2.1).

$$m_U = \frac{U_{N,skut}}{U_{N,model}} = \frac{22000}{100} = 220 \text{ (-; V; V)} \quad (2.1)$$

Mierka prúdu je zvolená, tak aby bolo možné do obvodu začleniť ľubovoľnú digitálnu ochranu: Mierka sa vyráta podľa vzťahu (2.2) vychádza :

$$m_I = \frac{I_{N,skut}}{I_{N,model}} = \frac{160}{1} = 160 \text{ (-; A; A)} \quad (2.2)$$

Mierka impedancie modelu je stanovené podľa mierky napätia a prúdu podľa vzťahu (2.3):

$$m_Z = \frac{m_U}{m_I} = \frac{220}{160} = 1,375 \text{ (-; -; -)} \quad (2.3)$$

2.2 Popis jednotlivých modulov

Začiatok sústavy tvorí napájacia rozvodňa. Začína pohyblivým prívodom pripojeným na napájacie napätie 400/230 V a pokračuje cez trojfázové istenie „FA1“ na primárne vinutie napájacieho transformátora. Sekundárne vinutie slúži na pripojenie jednotlivých modulov vonkajšieho a káblového vedenia. Na nulový vodič vyvedený z uzla sekundárnej strany je možné zapojiť zhášaciu tlmivku. Napájacia rozvodňa tiež obsahuje pomocne obvody. [1]

Napájací transformátor je pripojený k napätiu 3x400V, ktoré transformuje na napätie 3x100V. Primárne vinutie je zapojené do hviezdy s priamo uzemneným uzlom. Sekundárne vinutie je rovnako zapojené do hviezdy s vyvedeným uzlom pre možnosť pripojenia zhášacej tlmivky. NT tiež obsahuje kompenzačné vinutie spojené do trojuholníka.

Štítkové hodnoty trojvinutového transformátora sú uvedené v Tab. 2-1

Tab. 2-1 Štítkové hodnoty trojvinutového transformátora T3

Vinutie	S(VA)	Un/Unf(V)	In(A)
Primárne	2000	400/230	2,89
Sekundárne		100/57,7	11,55
Terciárne		100/57,5	11,55

Merania je vzťahnuté na napätie 22 kV . V Tab. 2-2 je určený prevod transformátora pre modelovú a reálnu sieť.

Tab. 2-2 Prevod trojvinutového transformátora

prevod	Real [kV]	Model [V]
$U_{n,prim.}$	110	400
$U_{n,sec}$	22	100
$U_{n,terc.}$	6,3	100
$p_{(S-P)}$	0,2	0,25
$p_{(S-T)}$	0,286	1

V rovnici (2.4) je určený prevod trojvinutového transformátoru na sekundárnu stranu.

$$p_{(S-P)} = \frac{U_{n,sec.}}{U_{n,prim}} = \frac{22\ 000}{110\ 000} = 0,2 \quad (-; V; V) \quad (2.4)$$

Vedenia

Ďalší dôležitú časť modelovej siete tvoria vedenia. K dispozícii je 15 modulov vedení. Pre zostrojenie distribučnej siete sú k dispozícii moduly káblového vedenia a vonkajšie vedenia TYP 1 a TYP 2. Každý z týchto modulov je náhradou za skutočnú časť vedenia v 22kV sieti. [1] **Maximálny zaťažovací prúd všetkých modulov vonkajšieho a káblového vedenia je 1,8 A !!!**

Štítkové hodnoty modelu vzdušného vedenia typu 2 sú udané v Tab. 2-3

Tab. 2-3 Štítkové parametre vzdušného vedenia, TYP 2 [1]

Typ II	I_n	R_k	X_k	R_{svod}	M_{12}	M_{13}	M_{23}	C_{10}	C_{20}	C_{30}	C_{12}	C_{13}	C_{23}
Real	163 A	0,686 $\Omega \cdot km^{-1}$	0,358 $\Omega \cdot km^{-1}$	700 k $\Omega \cdot km^{-1}$	73 $\mu H \cdot km^{-1}$	212 $\mu H \cdot km^{-1}$	73 $\mu H \cdot km^{-1}$	4,6 nF. km^{-1}	4,1 nF. km^{-1}	4,6 nF. km^{-1}	1,9 nF. km^{-1}	1 nF. km^{-1}	1,9 nF. km^{-1}
Model	1,2 A	4,99 Ω	2,61 Ω	51 k Ω	0,53 mH	1,54 mH	0,53 mH	63 nF	56 nF	63 nF	26,6 nF	13,6 nF	26,6 nF

Štítkové hodnoty modelu vzdušného vedenia typu 1 sú udané v Tab. 2-4.

Tab. 2-4 Štítkové parametre vzdušného vedenia, TYP 1 [1]

Typ I	I_n	R_k	X_k	R_{svod}	M_{12}	M_{13}	M_{23}	C_{10}	C_{20}	C_{30}	C_{12}	C_{13}	C_{23}
Real	290 A	0,48 $\Omega.km^{-1}$	0,31 $\Omega.km^{-1}$	700 k Ω . km^{-1}	78 μH . km^{-1}	89 μH . km^{-1}	78 μH . km^{-1}	4,4 nF. km^{-1}	4,13 nF. km^{-1}	4,4 nF. km^{-1}	2,0 nF. km^{-1}	41,76 nF. km^{-1}	2,0 nF. km^{-1}
Model	1,81 A	3,48 Ω	2,23 Ω	51 k Ω	0,56 mH	0,65 mH	0,56 mH	60,6 nF	56,4 nF	60,6 nF	27,8 nF	24,4 nF	27,8 nF

Štítkové hodnoty modelu vzdušného vedenia typu 1 sú udané v Tab. 2-5.

Tab. 2-5 Štítkové parametre káblového vedenia [1]

Kab	I_n	I_c	R_k	X_k	R_{svod}	C_{10}	C_{20}	C_{30}
Real	163 A	3,47 A.km $^{-1}$	0,123 $\Omega.km^{-1}$	0,113 $\Omega.km^{-1}$	700 k $\Omega.km^{-1}$	291 nF.km $^{-1}$	291 nF.km $^{-1}$	291 nF.km $^{-1}$
Model	2 A $_{max}$	0,54 A	2,24 Ω	2,06 Ω	20,5 k Ω	10 μF	10 μF	10 μF

Zát'aze

Na koniec vedení sa pripájajú zát'aze. K dispozícii sú 2 typy zát'azí, ktoré predstavujú čisto odporovú zát'az. Sú realizované ako trojfázové so zapojeným do trojuholníka. Dajú sa regulovať spínačmi, na minimálnu a maximálnu odporovú zát'az.

Jednotlivé možnosti nastavenia veľkosti zát'aze TYPU 1 sú zobrazené v Tab. 2-6.

Tab. 2-6 Štítkové parametre modelu zát'aze, TYP 1 [1]

Varianta zapojeni		$I_{LOAD\ min}$ (mA/A)	$I_{LOAD\ max}$ (mA/A)	$P_{LOAD\ min}$ (W/MW)	$P_{LOAD\ max}$ (W/MW)	P_{MIN} (%)	P_{MAX} (%)
V1	S1		96/15		17/0,59		31,25
V2	S1+S2		192/31		33/1,17		62,5
V3	S1+S2+S3	261/42	308/49	45/1,60	53/1,88	85	100
V4	S1+S3,S2+S3	165/26	211/34	29/1,01	37/1,29	53,8	68,75
V5	S3	69/11	115/18	12/0,42	20/0,70	22,5	37,5

Možnosti nastavenia veľkosti zát'aze TYPU 2 sú zobrazené v Tab. 2-7.

Tab. 2-7 Štítkové parametre modelu zát'aze, TYP 2 [1]

Zapojení	R (Ω)	I_{LOAD} (mA/A)	P_{LOAD} (W/MW)	P_{MAX} (%)
50%	1120	155/25	26,8/0,94	50
100%	560	309/50	53,57/1,89	100

Zhášacia tlmivka slúži na kompenzáciu kompenzáciu kapacitných prúdov pri zemnom spojení. Tlmivka je tvorená primárnym vinutím s menovitým napätím $U_{nt1} = 60$ V a sekundárnym vinutím s menovitým napätím $U_{nt2} = 2,27$ V. K sekundárnemu vinutiu je možné pripojiť pomocný odporník. Jej primárne vinutie sa zapája na vyvedený nulový uzol sekundárneho vynútia. Primárne vinutie obsahuje regulovateľnú impedanciu pre manuálnu kompenzáciu kapacitného prúdu, ktorý bude obvodom pretekať pri poruche na vedení.

Štítkové hodnoty zhášacej tlmivky sú uvedené v Tab. 2-8.

Tab. 2-8 Štítkové parametre modelu zhášacej tlmivky [1]

Výrobní číslo	Vinutí tlmivky	L (H)	U_0 (V)	I_n (A)	$\cos \Phi$ (-)	R (Ω)	$Y_{p(0),1f}$ (S)
11971/2011	Primárny	0,0911	57,447	2,0136	0,0734	388,47	0,0351
		0,8396	60,734	0,2319	0,1179	2221,5	0,0038
	Výkonové	0,0013	1,5431	3,9906	0,2718	1,4228	2,5862

3 MERANIE

3.1 Meranie osciloskopom:

Pre ideálne meranie na fyzikálnom modeli siete, by bolo vhodné merať všetky uzly siete naraz, aby hodnoty boli merané v jednom okamihu. To sa však náročné na uskutočniť z dôvodu potreby veľkého množstva meracích prístrojov. Meranie bolo uskutočnené pomocou osciloskopu, ktorý v jednom okamihu umožňoval merať 8 hodnôt napätia a 8 hodnôt prúdu a ich fázové posuny.

Meranie bolo uskutočnené osciloskopom Yokogawa DL850 [4]s prídavnými modulmi na spracovanie vstupných dát prúdu a napätia. Modul použitý na záznam dát napätia (701260), získaval meracie dáta pomocou káblov. Modul záznam dát prúdu (701251), získaval dáta z meracích kliešťov prúdu Chauvin Arnoux C 160[6] a Fluke 80i-110s[5].

Modul pre záznam dát napätia (701260)

Pri meraní boli použité 4 moduly pre záznam dát.

Tab. 3-1 Parametre modulu (701260)

Počet vstupných kanálov	2
Napäťový rozsah	200 mV – 2 kV
Maximálne dovolené vstupné napätie	850V
Presnosť	DC (±1% na 10 dielikov) AC (±1,5% na 10 dielikov)
Vstupná impedancia	1 MΩ ± 1% approx. 35pF

Modul pre záznam dát prúdu (701251)

Pri meraní boli použité 4 moduly pre záznam dát.

Tab. 3-2 Parametre modulu (701251)

Počet vstupných kanálov	2	
Napäťový rozsah	10 mV - 200V	
Maximálne dovolené vstupne napätie	140V	
Presnosť	od 50 mV do 200V	± (0,25% rozsahu)
	20 mV	± (0,3% rozsahu)
	10 mV	± (0,5% rozsahu)
Vstupná impedancia	1MΩ ± 1% approx 35pF	

Meracie kliešte prúdu Chauvin Arnoux C 160 :

Pri meraní bolo použitých 6 meracích sond typu C160,ich merací rozsah bol nastavený na (100 mA-10A) pri meraní v miestach v blízkosti skratu bol rozsah prepnutý na (100mA -100A).

Tab. 3-3 Parametre meracích kliešti C160

Rozsah	1 A- 1000A
--------	------------

	100mA -100A 100mA – 10A
Pomer vstup/výstup	1 mV~ / 1 A~ 10 mV~ / 1 A~ 100 mV~ / 1 A~
Presnosť	≤ 2% + 5 mV
impedancia	≥ 1 MΩ and ≤ 100 pF

Meracie kliešte prúdu Fluke 80i - 110s :

Pri meraní bola použitá jedna sonda typu Fluke, ktorá zaznamenávala prúd v mieste skratu. Jej merací rozsah bol nastavený na (0A – 100A).

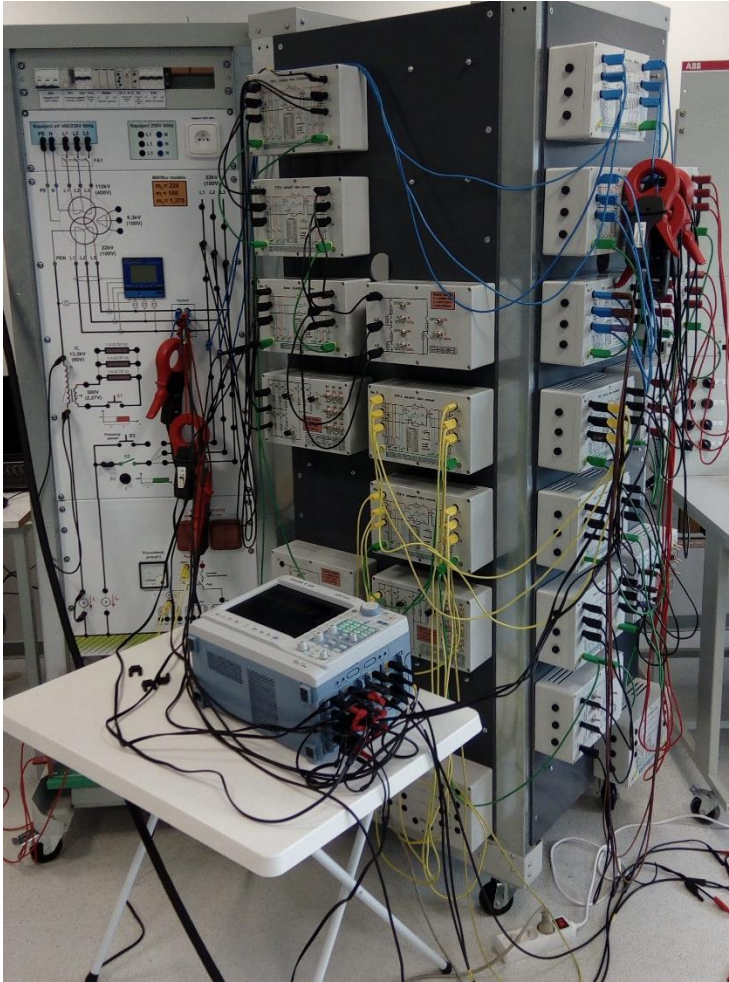
Tab. 3-4 Parametre meracích kliešti Fluke 80i-110s

Rozsah	0A dc do 10A DC alebo AC vrchol 0A dc do 100A DC alebo AC vrchol	
Pomer vstup/výstup	10 A rozsah 100mV/A 100A rozsah 10mV/A	
Presnosť	0 A to 10 A	< 3%
	0 A to 40 A	< 4%
	40 A to 80 A	< 12%
	80 A to 100 A	< 3%
impedancia	> 1 MΩ approx.100 pF	

3.2 Postup merania :

Osciloskop obsahoval 16 kanálov. Kanál 1 až 6 sme použil na meranie napätia medzi fázou a zemou a kanál 8 bol daný ako referenčná hodnota. Kanál 9 až 14 bol použitý na meranie prúdov na vstupe a výstupe modulov a kanál 16 bol daný ako referenčná hodnota prúdu. Podľa dostupných kanálov sa v jeden okamih dali namerať hodnoty napätia v 2 uzloch pre všetky 3 fázy a hodnoty prúdov na vstupe a výstupe modulu pre všetky 3 fázy.

V našom prípade bolo meranie rozdelené na množstvo dielčích meraní. V jednom okamihu sme merali tri hodnoty prúdu na vstupe modulu, tri hodnoty prúdu na výstupe modulu, šesť hodnôt napätia v dvoch uzloch a k nim referenčnú hodnotu prúdu a napätia. Referenčný uzol pri meraní napätia bol meraný medzi uzlom 2 a zemou pre fázu L_a . Referenčný uzol pri meraní prúdu meral skratový prúd medzi miestom skratu v uzle číslo 8 a zemou pre fázu L_a , čo sa neskôr ukázalo ako nevhodná voľba referenčného bodu. Čo prispelo k vyššej chybe merania .



Obr. 3-1 Meracie pracovisko

4 NASTAVENIE PRVKOV NUMERICKÉHO MODELU

Tab. 4-1 Zadanie napätových hladín v jednotlivých uzloch siete

č.u.	Unom	Označenie uzlu
[-]	[kV]	-
1	110	Napájací uzol , primár T3
2	22	Sekundár T3
3	22	
4	22	
5	22	
6	22	
7	22	
8	22	(zemné spojenie/ skrat)
9	22	
10	22	
11	22	
12	22	
13	22	
14	22	
15	22	
16	6,3	Uzol terciáru T3

Napájací uzol siete sa nachádza v uzle č.1 zapojený na primárnom vinutí trojvinutového transformátora. Hodnota maximálneho trojfázového rázového skratového výkonu siete bola zvolená tak aby nebola prekročená $S_k = 2000$ MVA a účinník $\cos\varphi = 0$. Napájací transformátor (3T) transformuje napätie VVN na VN preto je napätie napájacieho uzlu U_{ab} , U_{bc} , U_{ac} nastavené na 110 kV a napätie fázové sa rovná 0. Nulový bod primárneho vynútia je priamo uzemnený preto sa odpor R_n a reaktancia X_n rovná 0. R_0/R_1 a X_0/X_1 predstavuje pomer netočivej a súslednej zložky, tieto hodnoty nemáme určené preto zvolíme hodnotu 1. Hodnoty ktoré dosadzujeme do numerického výpočtu siete, sú zobrazené v Tab. 4-2.

Tab. 4-2 SI - Napájací uzol siete

zapoj	kód	Sk	cosFi	Uab	Ubc	Uca	Un	αU_{ab}	αU_n	Rn	Xn	R0/R1	X0/X1
i-j	SI	MVA	-	kV	kV	kV	kV	deg	deg	ohm	ohm	-	-
1-1	SI	2000	0	110	110	110	0	30.00	0.00	0	0	1	1

Tab. 4-3 T3 - Transformátor trojvinutový, terciár má spojenie vinutí D

Zapoj.	kód	uz3	Sn12	Sn13	Sn23	Un1	Un2	Un3	uk12	uk13
i-j	T3	#	MVA	MVA	MVA	kV	kV	kV	%	%
1-2	T3	16	70.4	70.4	70.4	110	22	6.3	3.1617	4.239
uk23	dPk12	dPk13	dPk23	io	dPo	Rn1	Xn1	Rn2	Xn2	R0/R1
%	kW	kW	kW	%	kW	ohm	ohm	ohm	ohm	nakrátko
3.7414	0.69	0.95	0.92	15.8	0.7	0	0	0	0	1
X0/X1	R0/R1	X0/X1	G0/G1	B0/B1	Sp1	Sp2	H.úhel	H.úhel	Reg.U	BlokTr
pri	nakrátko	sek	naprázdno	mag	pri	sec	pr\sek	pr\ter	%	ANO/NE
1	1	1	1	1	YN	yn	0	1	0	NE

Trojvlnový transformátor je zapojený: primár – uzol č.1, sekundár – uzol č.2 a terciál – uzol č.16. Menovitý zdanlivý trojfázový priechodní výkon (S_{n12} , S_{n13} , S_{n23}) som zvolil podľa štítku transformátora podľa vzorca (4.1).

$$S_{n,skut} = S_{n,mod.} \cdot m_U \cdot m_I = 2000 \cdot 220 \cdot 160 = 70.4MVA \quad (4.1)$$

Napätia transformátora na primárnej strane je 110 kV, na sekundári je 22kV a na terciáli je 6,3kV. Napätie nakrátko (u_{k12} , u_{k13} , u_{k23}), straty nakrátko (ΔP_{k12} , ΔP_{k13} , ΔP_{k23}), prúd naprázdno (i_0) a straty naprázdno (ΔP_0) sú zvolené podľa Tabuľka 22 Namerané hodnoty zo silového testu transformátora (jednofázový ekvivalent)z prílohy dokumentu, ktoré sú upravené podľa rovnice (4.2) a dosadené do Tab. 4-3 . tieto hodnoty sú vzťahnuté na stranu sekundárneho vinutia a prerátané mierku skutočnej siete.

$$\begin{aligned} \Delta P_{k12,skut.} &= \Delta P_{k12,model.} \cdot p^2 \cdot m_U \cdot m_I = 46,65 \cdot \left(\frac{100}{400}\right)^2 \cdot 220 \cdot 160 \\ &= 102,63 kW \end{aligned} \quad (4.2)$$

p - predstavuje prevod primárnej strany reálneho modelu na sekundárnu.

Nulový bod primárneho vynútenia transformátora je priamo uzemnený R_{n1} , $X_{n1} = 0$. Nulový bod sekundárneho vynútenia ustálenom stave a skratoch je priamo uzemnený. Pomer netočivých a súsledných zložiek (R_0/R_1 , X_0/X_1 , G_0/G_1 , B_0/B_1) som stanovil na hodnotu 1.

Zhášacia tlmivka:

Pri meraní parametrov siete pri zemnom spojený je potrebné nastaviť indukčnosť zhášacej tlmivky. Z dôvodu kompenzácie zemných prúdov. Čo bolo uskutočnené multimetrom , ktorý sme zapojili do miesta skratu a posunutím jadra sme zvolili polohu v ktorej pretekal najmenší poruchový prúd $I_L = 1,131A$.

Z poruchového prúdu sa určí vodivosť zhášacej tlmivky, podľa jej charakteristiky. Podľa rovnice (4.3).

$$\begin{aligned} G_t &= 0,3667 \cdot I_L^2 + 0,2611 \cdot I_L + 0,3887 \\ &= 0,3667 \cdot 1,131 + 0,2611 \cdot 1,131 + 0,3887 = 1,153 (mS; A; A) \end{aligned} \quad (4.3)$$

a následne odpor jej odpor podľa podľa rovnice (4.4).

$$R_t = \frac{1}{G_t} \cdot 1000 = \frac{1}{1,153} 1000 = 867,25 (\Omega; mS) \quad (4.4)$$

Reaktancia tlmivky sa určí podľa rovnice (4.5).

$$X_L = \frac{U_{n,t1}}{I_L} = \frac{60}{1,131} = 53,05 (\Omega; V; A) \quad (4.5)$$

A následne indukčnosť podľa rovnice (4.6).

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{53,05}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,1689 (H; \Omega; Hz) \quad (4.6)$$

Výsledná impedancia Zhášacej tlmivky je určená rovnicou (4.7)

$$\bar{\bar{Z}}_t = (R + jX_L) = (867,25 + j53,05)\Omega \quad (4.7)$$

Z dôvodu, že po zadaní vyrátaných hodnôt impedancie z fyzikálneho modelu a ich zadaní do numerického výpočtu. Sa výstupné hodnoty nezhodovali. Preto bola impedancia zadaná do

numerického výpočtu experimentálne. Do numerického výpočtu boli skúšobne zadávané hodnoty odporu R_{n2} a reaktancie X_{n2} , pokiaľ sa nenašla najnižšia hodnota prúdu v obvode. Tak bola zvolená hodnota impedancie tlmivky $R_{n2} = 8\Omega$ a $X_{n2} = 83\Omega$.

Tab. 4-4 KX - Jednožilový kábel s kovovým plášťom - parciálni parametre R_k, G_k, L_k, C_k

zapoj	kód	fáze	R1	R2	R3	G	L1
i-j	KX*0	ABC	ohm/km	uhm/km	uhm/km	uS/km	mH/km
4-5	KX	ABC	0,123	0,123	0,123	0	0,36
10-11	KX	ABC	0,123	0,123	0,123	0	0,36
L2	L3	C10	C20	C30	S	I	I _{max}
mH/km	mH/km	nF/km	nF/km	nF/km	mm ²	km	A
0,36	0,36	291	291	291	240	25	163
0,36	0,36	291	291	291	240	25	163

V meranej sieti sa nachádzajú 2 moduly predstavujúce káblové vedenie. Výpočty sú uvedené pre prvý riadok Tab. 4-4 KX - Jednožilový kábel s kovovým plášťom - parciálni parametre R_k, G_k, L_k, C_k . Dosadzované hodnoty odporu R_1, R_2, R_3 boli určené podľa rovnice (4.8) z štítkových hodnôt zobrazených v Tab. 2-5 v prílohe dokumentu, kde l predstavuje dĺžku káblového vedenia a m_Z prevod :

$$R_{1,skut.} = R_{1,model.} \cdot \frac{m_Z}{l} = 2,225 \cdot \frac{1,375}{25} = 0,123 \text{ (}\Omega/\text{km; } \Omega; -; \text{ km)} \quad (4.8)$$

Vlastnú indukčnosť vedenia určíme prevodom :

$$L_{1,skut.} = L_{1,model.} \cdot \frac{m_Z}{l} = 6,55 \cdot \frac{1,375}{25} = 0,36 \text{ (}\frac{\text{mH}}{\text{km}}; \text{ mH; } -; \text{ km)} \quad (4.9)$$

Vlastné kapacity vodičov L_1, L_2, L_3 voči zemi na 1 km dĺžky vedenia určíme:

$$C_{10,skut.} = \frac{C_{10,model.}}{m_Z \cdot l} \cdot 2 = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1,375 \cdot 25} = 290,9 \text{ (}\frac{\text{nF}}{\text{km}}; \text{ nF; } -; \text{ km)} \quad (4.10)$$

Vodivosť G_k môžeme v napäťových hladinách U_n a U_{n2} zanedbať. Parameter S a I_{max} je pre naše druhy výpočtov irelevantný. Popríklad je určený podľa modulu káblového vedenia $S = 240 \text{ mm}^2$, $I_{max} = 163 \text{ A}$

Tab. 4-5-a VX - Nesymetrické trojvodičové vedenie bez zemného lana s uvažovaním vplyvu zeme - parciálni kilometrové parametre R_k, G_k, L_k, M_k, C_k

zapoj	kód	fáze	R1	R2	R3	G	L1	L2	L3	M12
i-j	VX*0	ABC	ohm/km	uhm/km	uhm/km	uS/km	mH/km	mH/km	mH/km	uH/km
6-7	VX	ABC	0.48	0.48	0.48	1.429	0.987	0.987	0.987	77
7-8	VX	ABC	0.48	0.48	0.48	1.429	0.987	0.987	0.987	77
8-11	VX	ABC	0.48	0.48	0.48	1.429	0.987	0.987	0.987	77
11-12	VX	ABC	0.48	0.48	0.48	1.429	0.987	0.987	0.987	77
12-15	VX	ABC	0.48	0.48	0.48	1.429	0.987	0.987	0.987	77
15-16	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	70
16-17	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	73
8-9	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	74
9-10	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	73
12-13	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	72
13-14	VX	ABC	0.686	0.686	0.686	1.429	1.140	1.140	1.140	73

V meranej sieti sa nachádza 5 modulov predstavujúcich vonkajšie vedenie Typu V1 a 6 modulov predstavujúcich vonkajšie vedenie Typu V2. Hodnoty boli prevzaté z Tab. 2-4 a Tab. 2-3.

$$M_{k12,skut.} = M_{k12,model.} \cdot \frac{m_z}{l} = 0,6403 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1,375}{10} = 88 \left(\frac{\mu H}{km}; \mu H; -; km \right) \quad (4.11)$$

Tab. 4-5-b VX - Nesymetrické trojvodičové vedenie bez zemného lana s uvažovaním vplyvu zeme - parciálni kilometrové parametre R_k, G_k, L_k, M_k, C_k

M23	M13	C10	C20	C30	C12	C23	C13	S	l	lmax
uH/km	uH/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	mm ²	km	A
76	88	4.316	7.802	8.316	3.790	3.790	3.325	120	10	290
76	89	8.316	7.802	8.316	3.790	3.790	3.325	120	10	290
76	89	8.316	7.802	8.316	3.790	3.790	3.325	120	10	290
76	90	8.316	7.802	8.316	3.790	3.790	3.325	120	10	290
76	90	8.316	7.802	8.316	3.790	3.790	3.325	120	10	290
210	71	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163
210	73	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163
189	73	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163
210	73	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163
208	72	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163
210	73	8.663	7.700	8.663	3.658	3.658	1.873	150	10	163

Vzájomné kapacity vodičov medzi vodičmi L_1, L_2, L_3 na 1 km dĺžky vedenia určíme:

$$C_{k12,skut.} = \frac{C_{k12,model.}}{m_z \cdot l} = \frac{27,8}{1,375 \cdot 10} = 2,0218 \left(\frac{nF}{km}; nF; -; km \right) \quad (4.12)$$

Tab. 4-6 ZQ – záťaž s konštantnou impedanciou, SER/PAR/CIGRE model s kompenzáciou

Zapoj	kód	fáze	sp.fázi	model	P	Q	Qk
i-j	ZQ	ABC	D,Y,Yn	PAR	kW	kvar	kvar
5-5	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0
7-7	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0
13-13	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0
4-4	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0
11-11	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0
15-15	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0

V meranej sieti sa nachádza 6 modulov predstavujúcich záťaž. Tri moduly záťaže typu Z1 a tri moduly záťaže typu Z2. Zapojenie fázy záťaže je do trojuholníka. Moduly predstavujú čisto odporovú záťaž, preto je induktívny príkon Q a kapacitný kompenzačný výkon Q_k nulový. Hodnoty činného výkonu boli previate z Tab. 2-6 a Tab. 2-7.

5 VÝSTUPNÉ HODNOTY

Aby bolo možné namerané hodnoty porovnať je potrebné ich upraviť na požadovaný tvar. Hodnoty získane z numerického modelu siete, sa rovnajú reálnym hodnotám 22 kV siete, preto nie je potrebné ich upravovať. Hodnoty získane z merania na fyzikálnom modeli siete, je potrebné upraviť vzhľadom na priebeh merania.

Pre ideálne meranie na fyzikálnom modeli siete, by bolo vhodné merať všetky uzly siete naraz, aby hodnoty boli merané v jednom okamihu. To sa však náročné na uskutočniť z dôvodu potreby veľkého množstva meracích prístrojov. V našom prípade bolo meranie rozdelené na množstvo dielčích meraní. V jednom okamihu sme merali tri hodnoty prúdu na vstupe modulu, tri hodnoty prúdu na vstupe modulu, šesť hodnôt napätia v dvoch uzloch a k nim referenčnú hodnotu prúdu a napätia. Referenčná hodnota bola použitá na zladenie posunu fázových uhlov. Snímač referenčnej hodnoty napätia bol zapojený v uzle 2 medzi fázou L_a a zemou. Snímač referenčnej hodnoty prúdu bol zapojený v uzle číslo 8 na fáze L_a . Umiestnenie referenčného bodu prúdu, sa neskôr ukázalo ako chybné, pretože bol umiestnený v uzle so skratom. Táto chyba ma za následok zvýšenú odchýlku pri vyhodnocovaní prúdu. Postup výpočtu je rovnaký pre výpočet výstupných hodnôt siete pri zemnom spojení, prevádzkovom stave a skratoch.

5.1 Zemné spojenie

Pri meraní bol nulový bod sekundárneho vinutia neúčinne uzemnený cez zhášaciu tlmivku. Nastavenie zhášacej tlmivky bolo uskutočnené zapojením multimetra do miesta zemného spojenia a posúvaním jadra sme zvolili polohu pri ktorej, tlmivkou pretekal najmenší poruchový prúd $I_L = 1,131A$.

Namerané hodnoty napätia siete pri zemnom spojení sú uvedené v

Tabuľka 3. Ich prepočet na požadované hodnoty sú uvedené v Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Výstupné hodnoty napätia zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete

č-uzlu	NetCalc						Model					
	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]
1	63,33	0	63,40	-120	63,41	120	57,41	7	68,69	-109	61,08	138
16	3,63	-30	3,63	-150	3,63	90	3,67	-35	2,80	114	4,52	-133
2	1,16	40	20,81	-151	21,60	147	1,49	40	19,95	-138	20,80	158
3	0,95	46	20,82	-152	21,53	146	1,31	40	19,99	-140	20,78	157
4	0,73	55	20,85	-153	21,50	146	1,07	42	19,99	-141	20,63	156
5	0,68	56	20,89	-154	21,51	146	1,00	41	19,97	-141	20,54	157
6	0,69	43	20,68	-152	21,32	146	0,95	40	19,80	-140	20,47	158
7	0,32	47	20,62	-154	21,15	146	0,53	63	19,86	-142	20,37	156
8	0,00	72	20,64	-155	21,12	145	0,07	77	19,85	-143	20,22	156
9	0,16	-172	20,70	-156	21,13	145	0,19	-145	19,88	-144	20,14	156
10	0,33	-172	20,76	-157	21,14	144	0,32	-147	19,97	-145	20,16	155
11	0,41	-166	20,80	-157	21,12	144	0,42	-153	20,03	-146	20,20	154
12	0,08	-163	20,59	-155	21,04	145	0,29	-157	19,87	-145	20,11	155
13	0,17	-163	20,53	-155	20,97	145	0,38	-154	19,87	-144	20,05	155
14	0,57	49	20,59	-153	21,20	146	0,80	41	19,87	-140	20,46	157
15	0,45	57	20,50	-153	21,08	146	0,65	62	19,74	-121	20,23	177

Prvý, druhý a tretí riadok Tab. 5-1 predstavujú vývody trojvinuového napájacieho transformátora. Pri meraní napätia na fyzikálnom modeli vzniká nesymetria na primárnom a terciálnom vinutí transformátora. Zemné spojenie bolo simulované v uzle číslo 8 pre fázu U_a . Numerický model v bode zemného spojenia má nulovú hodnotu odporu. Pri fyzikálnom modeli v bode zemného spojenia vzniká zanedbateľný odpor.

Příklad výpočtu:

Aby bolo možné výstupne hodnoty porovnať, je potrebné hodnoty merané na fyzikálnom modeli previesť na skutočné. Podľa rovnice (5.1).

$$U_{skut.} = U_{mer.} \cdot m_U \cdot p = 56,7 \cdot \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 1 = 21\,605\,V \quad (5.1)$$

p – predstavuje prevod transformátora T3 (Tab. 2-2), ktorú je nutné zaradiť do výpočtu pri prepočte primárneho a terciárneho vinutia.

Z uvedenej tabuľky (

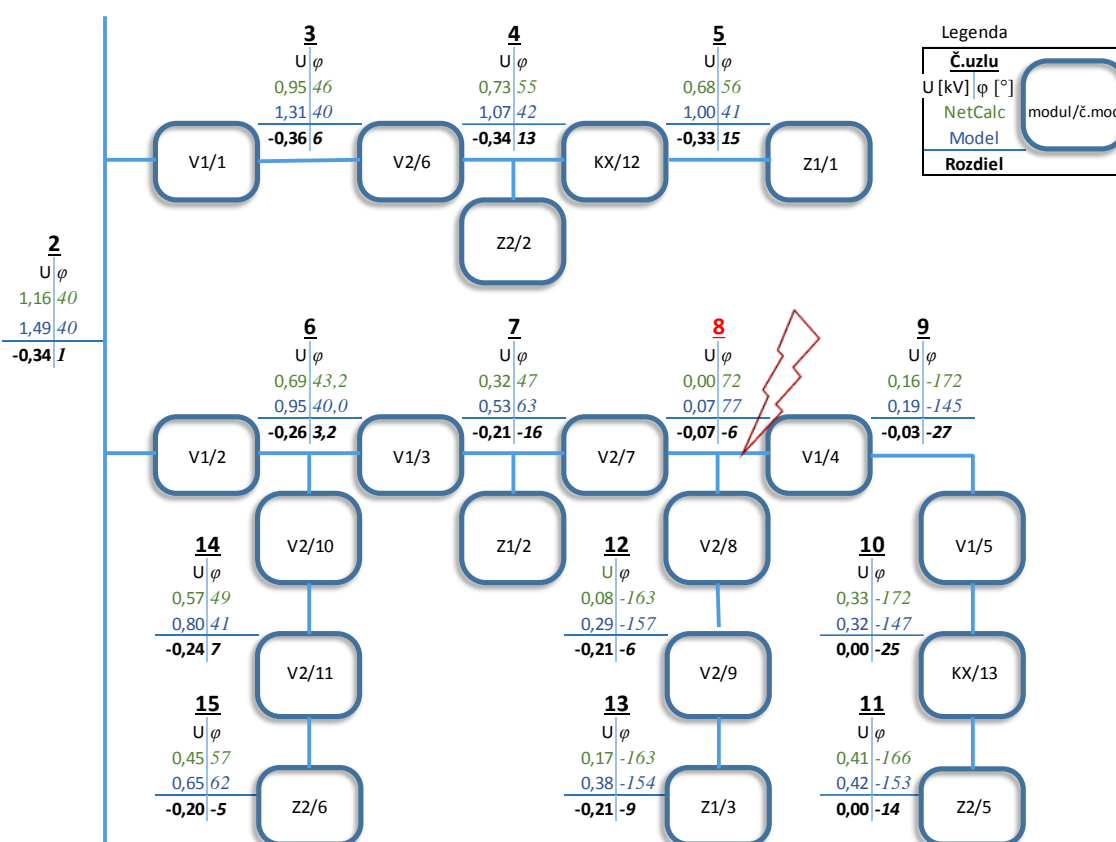
Tabuľka 3) v závere dokumentu boli hodnoty fázových uhlov modelu prerátané cez referenčnú hodnotu podľa rovnice (5.2), kde $\varphi_{h.ref}$ predstavuje hlavnú referenčnú hodnotu na ktorú sú referenčné hodnoty φ_{ref} vztiahnuté.

$$\varphi_{real} = (\varphi_{mer} + (\varphi_{h.ref} - \varphi_{ref})) = -29,25 + (29,35 - 29,35) = 29,25^\circ \quad (5.2)$$

Rozdiel fázového posunu $\Delta\varphi$ medzi hodnotami φ_{Uab} numerického a fyzikálneho modelu, je použitá na ich zjednotenie podľa rovnice (5.3). Tento rozdiel sa následne prirába k hodnotám fázového posunu fyzikálneho modelu.

$$\Delta\varphi = \varphi_{Uab,num.} - \varphi_{Uab,fyz.} = 40,3 - (-29,3) = 69,6^\circ \quad (5.3)$$

Pre lepšiu predstavu nameraných hodnôt je v Obr. 5-1 znázornená schéma výstupných hodnôt pre poruchovú fázu U_a a ich porovnanie.



Obr. 5-1 Schéma výstupných hodnôt napätia zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete

Tab. 5-2 Výstupné upravené hodnoty prúdu zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete

zapoj.	NetCalc						Model						
	Ia	φ_{Ia}	Ib	φ_{Ib}	Ic	φ_{Ic}	Ia	φ_{Ia}	Ib	φ_{Ib}	Ic	φ_{Ic}	
	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	
1-1	38,5	31	38,4	48	21,2	-90	33,3	35	30,4	27	31,1	-90	
2-2	136,4	69	184,9	4	111,9	-90	134,9	77	180,1	6	112,8	-90	
4-5	z	13,6	125	56,5	-24	44,0	-90	15,4	120	54,2	-22	41,2	-90
	k	15,1	30	15,1	30	15,1	-90	14,9	29	14,6	30	14,9	-90
10-	z	23,2	124	61,8	-20	41,6	-90	22,7	121	59,8	-19	38,9	-90
11	k	23,0	31	22,7	30	23,3	-90	22,1	31	22,2	31	22,7	-90
2-3	z	37,7	98	75,8	-7	46,8	-90	37,7	93	73,4	-4	45,7	-90

k	37,7	98	75,6	-7	46,6	-90	36,2	94	74,0	-4	43,7	-90
2-6 z	99,5	53	110,1	12	69,1	-90	96,5	64	103,6	13	70,7	-90
k	99,5	53	109,8	12	69,1	-90	97,7	66	108,3	13	70,6	-90
6-7 z	77,1	64	87,8	2	52,4	-90	76,8	80	83,9	4	53,8	-90
k	77,1	64	87,6	2	52,2	-90	74,8	76	86,0	4	52,4	-90
8-9 z	23,2	125	62,3	-21	42,1	-90	22,7	100	60,2	-6	42,7	-90
k	23,2	125	62,1	-20	41,8	-90	22,7	120	60,2	-18	39,6	-90
9-10 z	23,2	125	62,1	-20	41,8	-90	22,7	120	60,2	-18	39,6	-90
k	23,2	124	61,8	-20	41,6	-90	22,6	118	59,7	-18	38,9	-90
3-4 z	37,7	98	75,6	-7	46,6	-90	36,2	94	74,0	-4	43,7	-90
k	37,7	97	75,3	-7	46,4	-90	37,9	93	72,5	-4	44,7	-90
7-8 z	63,6	74	74,7	-9	45,2	-90	59,2	95	74,6	-6	42,6	-90
k	63,6	74	74,4	-9	45,0	-90	61,4	90	72,6	-6	44,5	-90
8-12 z	14,4	33	14,5	30	14,4	-90	13,7	34	14,6	28	14,3	-90
k	14,4	32	14,4	30	14,5	-90	13,8	32	14,2	29	14,1	-90
12- z	14,4	32	14,4	30	14,5	-90	13,8	32	14,2	29	14,1	-90
13 k	14,4	31	14,2	30	14,6	-90	13,8	30	13,8	31	14,0	-90
6-14 z	23,5	32	23,7	30	23,3	-90	22,8	32	23,3	29	23,2	-90
k	23,5	31	23,5	30	23,5	-90	22,6	31	22,8	30	23,0	-90
14- z	23,5	31	23,5	30	23,5	-90	22,6	31	22,8	30	23,0	-90
15 k	23,5	31	23,4	30	23,6	-90	22,8	31	22,8	30	22,9	-90
5-5	15,1	30	15,1	30	15,1	-90	14,9	29	14,6	30	14,9	-90
7-7	14,8	31	14,7	30	14,9	-90	14,4	31	14,3	30	14,5	-90
13-13	14,4	31	14,2	30	14,6	-90	13,8	30	13,8	31	14,0	-90
4-4	24,1	30	24,0	30	24,1	-90	23,6	30	22,7	30	24,0	-90
11-11	23,0	31	22,7	30	23,3	-90	22,1	31	22,2	31	22,7	-90
15-15	23,5	31	23,4	30	23,6	-90	22,8	31	22,8	30	22,9	-90

Príklad výpočtu

Príklad výpočtu Tab. 5-2 Výstupné upravené hodnoty prúdu zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model sieteje uskutočnený pre riadok 2,

Tabuľka 4 Namerané hodnoty prúdu pri zemnom spojeníz prílohy dokumentu.

Hodnoty merané na fyzikálnom modeli prevedieme na skutočné podľa rovnice(5.4).

$$I_{skut.} = I_{mer.} \cdot m_U \cdot p = 0,1956 \cdot 160 \cdot 1 = 31,3A \quad (5.4)$$

p – predstavuje prevod transformátora T3 (Tab. 2-2), ktorú je nutné zaradiť do výpočtu pri prepočte primárneho a terciárneho vinutia.

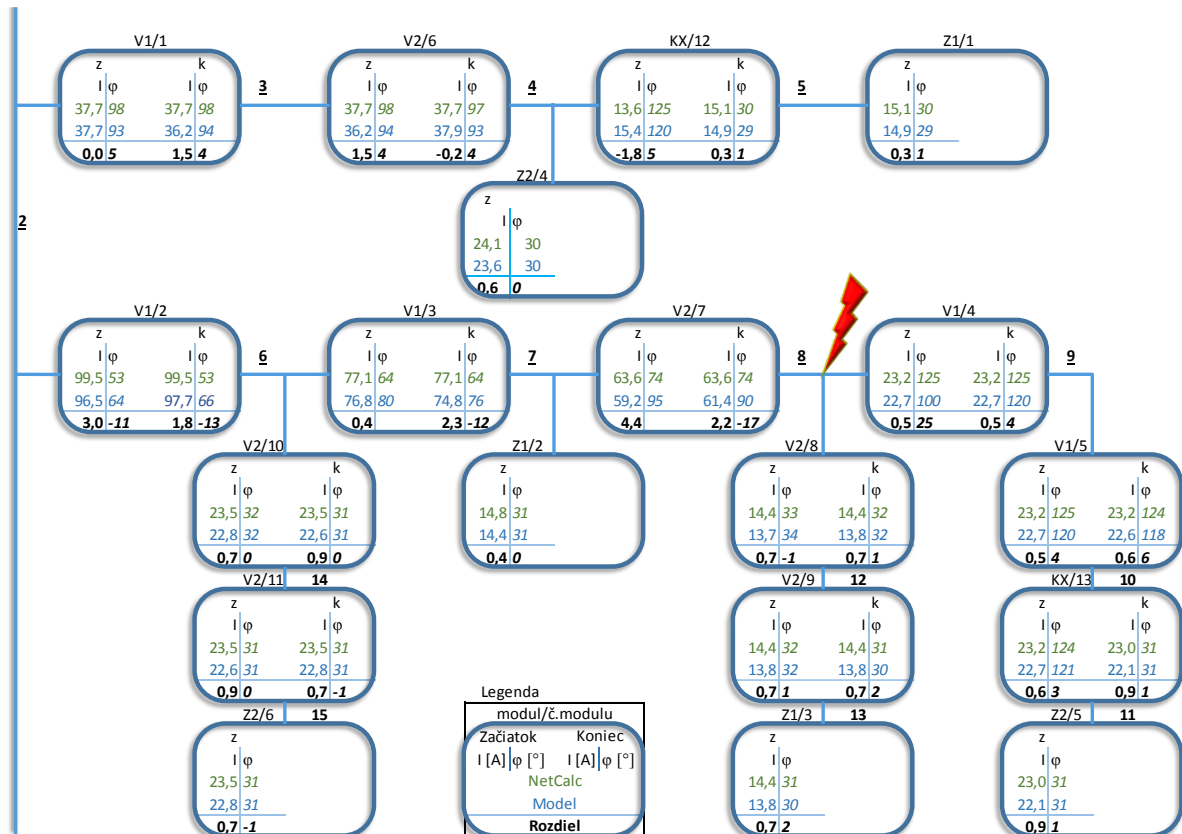
Meraná hodnota fázových posuvov sa preráta cez referenčnú hodnotu, podľa rovnice (5.5)

$$\varphi_{real} = (\varphi_{mer} + (\varphi_{h.ref} - \varphi_{ref})) = -156 + (34 - 34) = -156^\circ \quad (5.5)$$

Aby bolo možné porovnať fázové posuny prúdov je potrebné ich zjednotiť. Fázový posun fáze φ_{Ic} bol natočený na -90° a poľa neho boli pootočené fáze φ_{Ia} a φ_{Ib} Tento postup je vykonaný pre numericky a j fyzikálny model siete.

$$\varphi = \varphi_{Ic} - \varphi_{Ia} - 90 = 11 - (-156) - 90 = 77^\circ \quad (5.6)$$

Pre lepšiu predstavu nameraných hodnôt je v Obr. 5-2 je znázornená schéma výstupných hodnôt pre poruchovú fázu I_a a ich porovnanie.



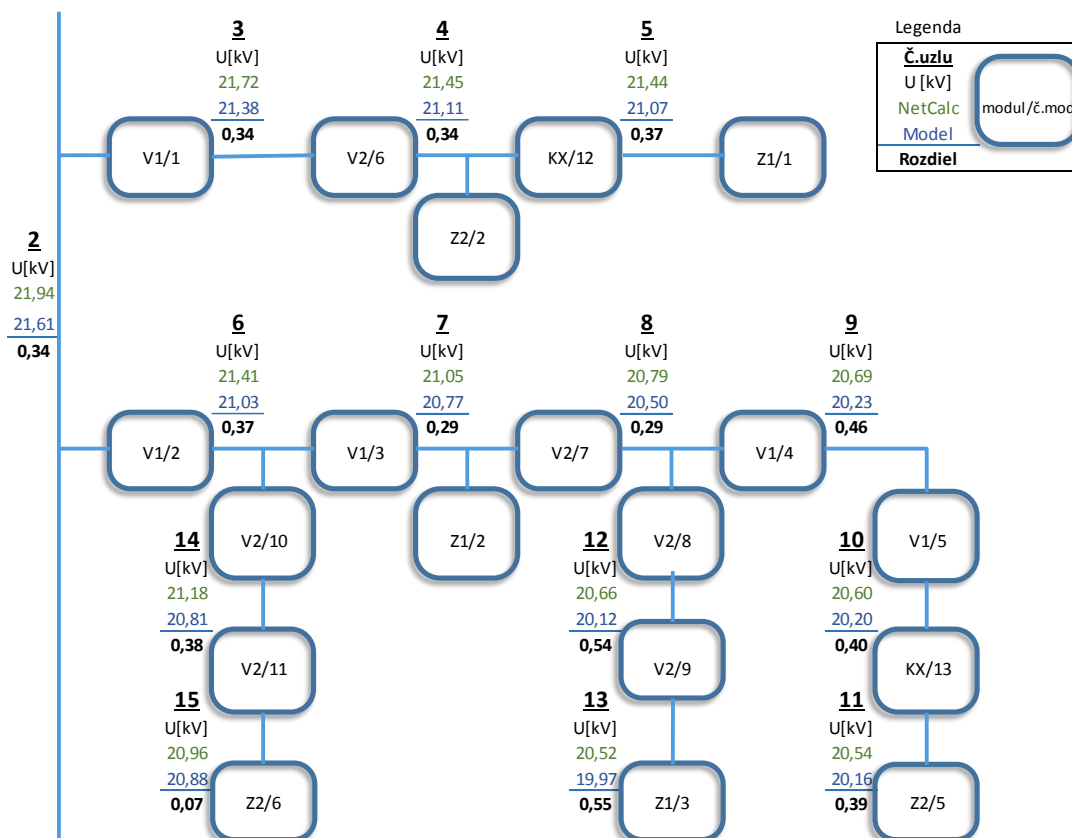
Obr. 5-2 Schéma výstupných hodnôt prúdu zemného spojenia pre fyzikálny a numerický model siete

5.2 Prevádzkový stav

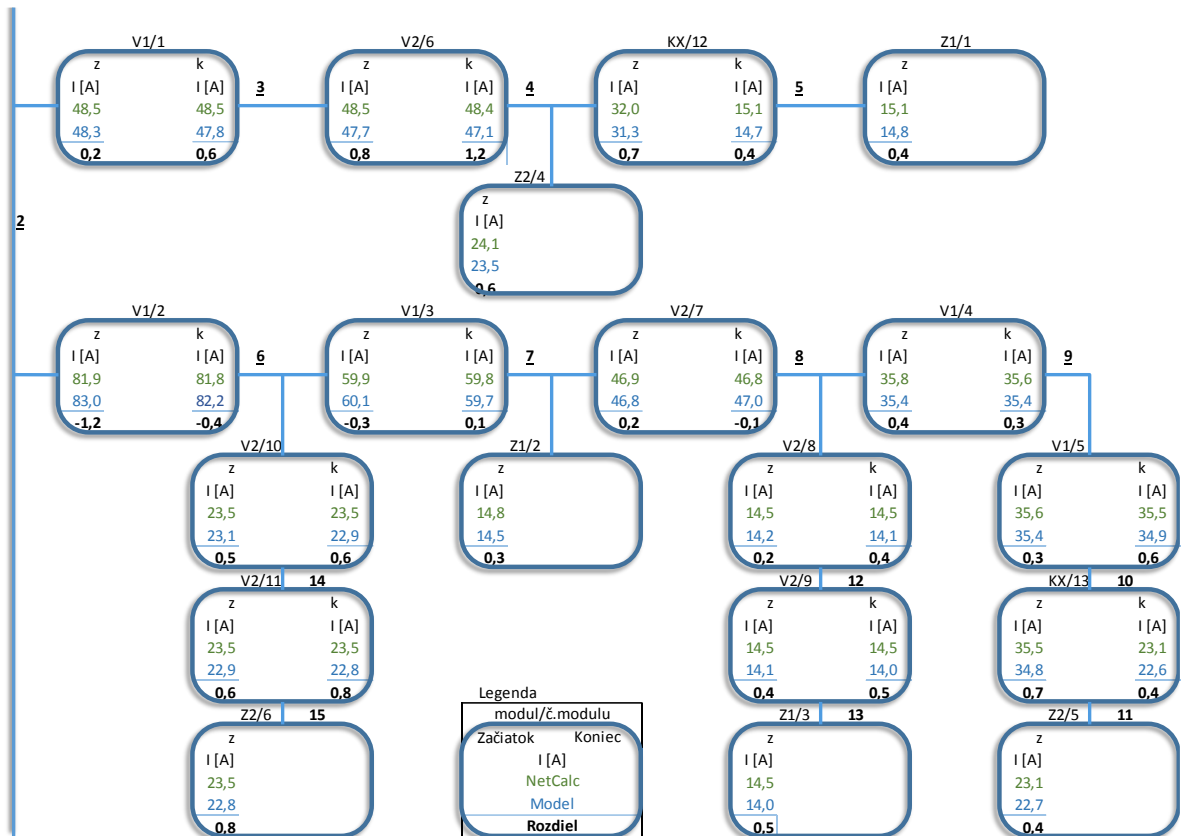
Ako prvé boli uskutočnené merania efektívnych hodnôt napätia a prúdu v ustálenom stave. Počas merania bol uzol sekundárneho vinutia transformátora T3 priamo uzemnený. Následne boli hodnoty orientačne porovnané s numerickým výpočtom, aby sa potvrdila správnosť nastavenia siete. Meranie hodnôt napätia a prúdu boli uskutočnené multimetrom, ktorý bol postupne pripájaný do jednotlivých uzlov modelu siete a namerané hodnoty boli zapísané do tabuľky. Pre každú fázu boli

odmerané hodnoty napätia a prúdu. Napätia v každom uzle a prúdy pre vstupy a výstupy každého modulu.

Schéma na Obr. 5-3 znázorňuje namerané hodnoty napätia a schéma na Obr. 5-4 namerané hodnoty prúdu pri sieti v prevádzkovom stave.



Obr. 5-3 Schéma výstupných hodnôt napätia prevádzkového stavu pre fyzikálny a numerický model siete

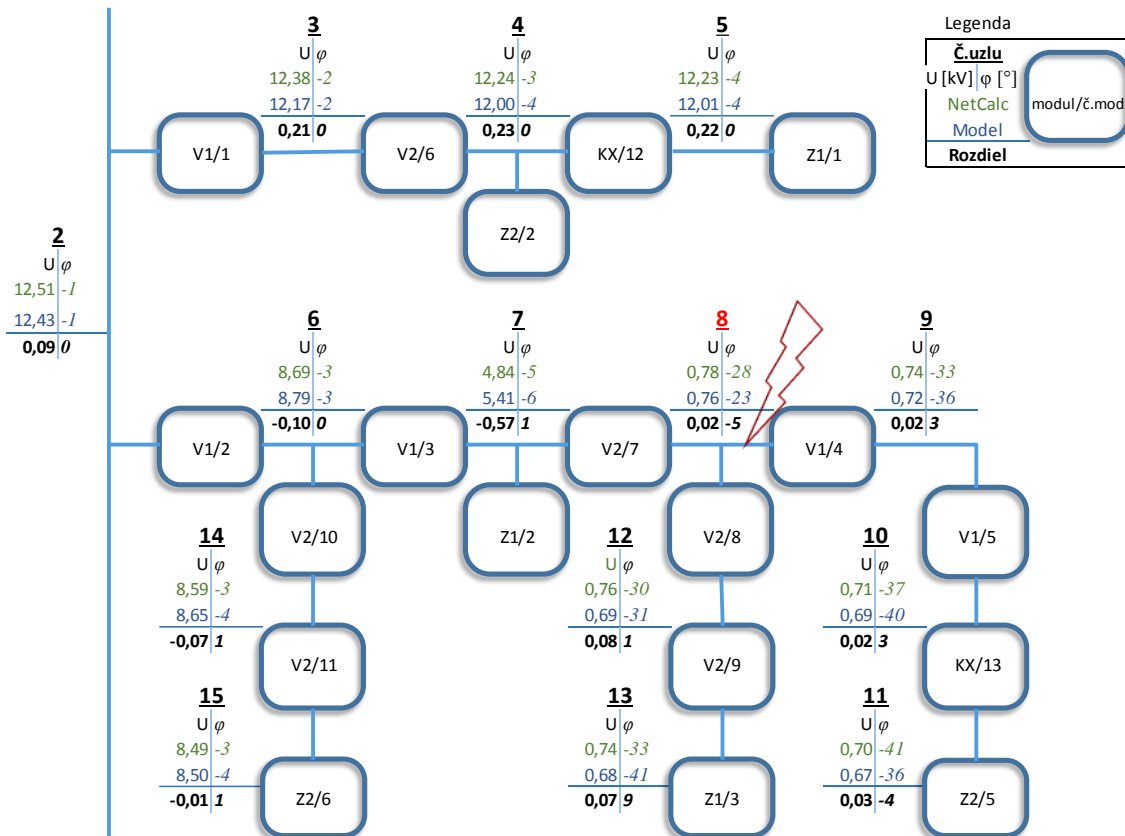


Obr. 5-4 Schéma výstupných hodnôt prúdu prevádzkového stavu pre fyzikálny a numerický model siete

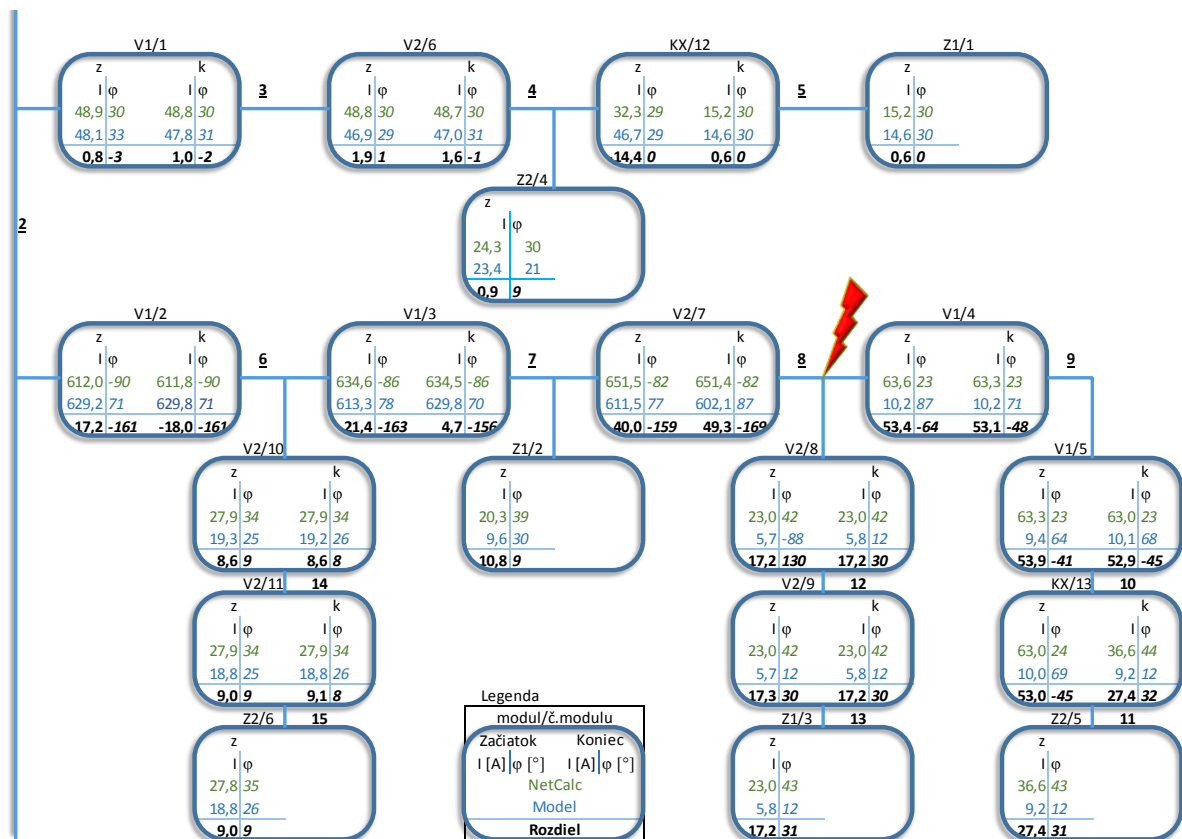
5.3 Jednofázový skrat

Pri meraní jednofázového skratu bol nulový bod sekundárneho vinutia transformátora priamo uzemnený. V uzle číslo 8 medzi fázou L_a a zemou je simulovaný skrat s kovovým spojením. Aj keď simulujeme skrat s kovovým spojením, medzi fázou L_a a zemou vzniká prechodový odpor, ktorý je zohľadnený v numerickom modeli siete.

Schéma na Obr. 5-5 znázorňuje namerané hodnoty napätia a schéma na Obr. 5-6 namerané hodnoty prúdu pri simulácii jednofázového skratu v sieti.



Obr. 5-5 Schéma výstupných hodnôt napätia jednofázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete

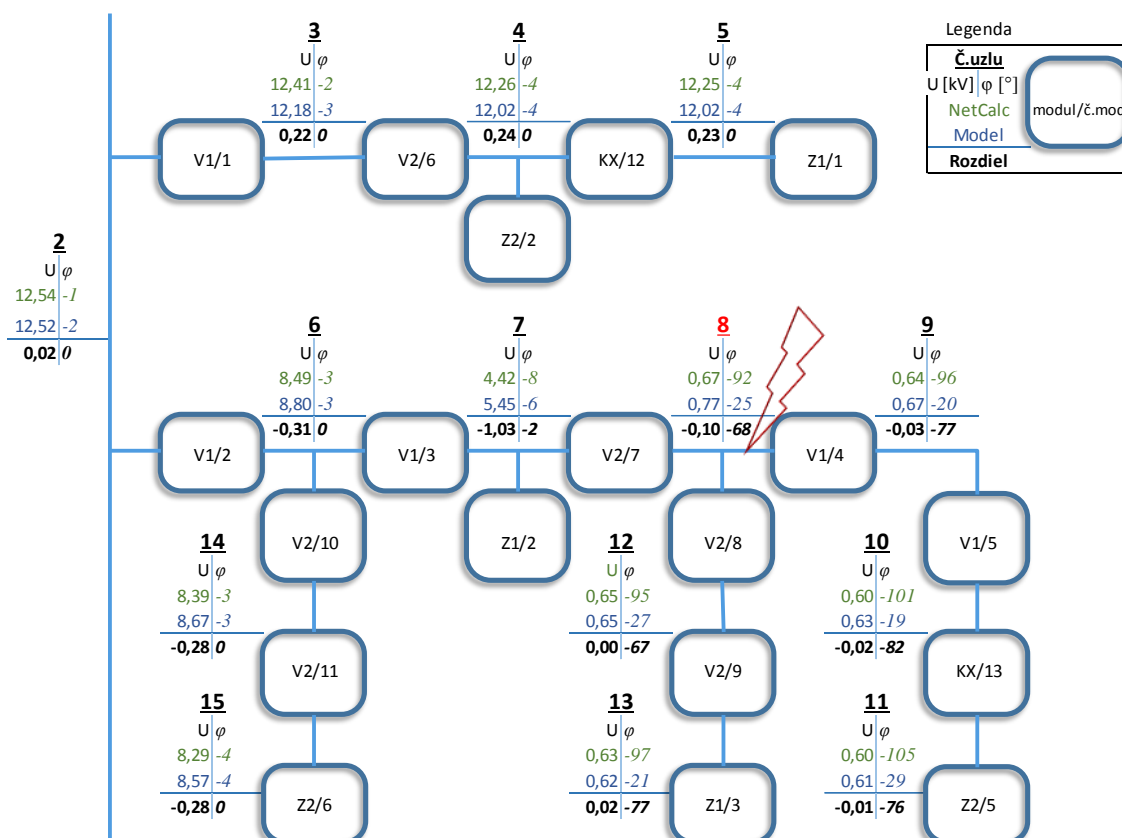


Obr. 5-6 Schéma výstupných hodnôt prúdu jednofázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete

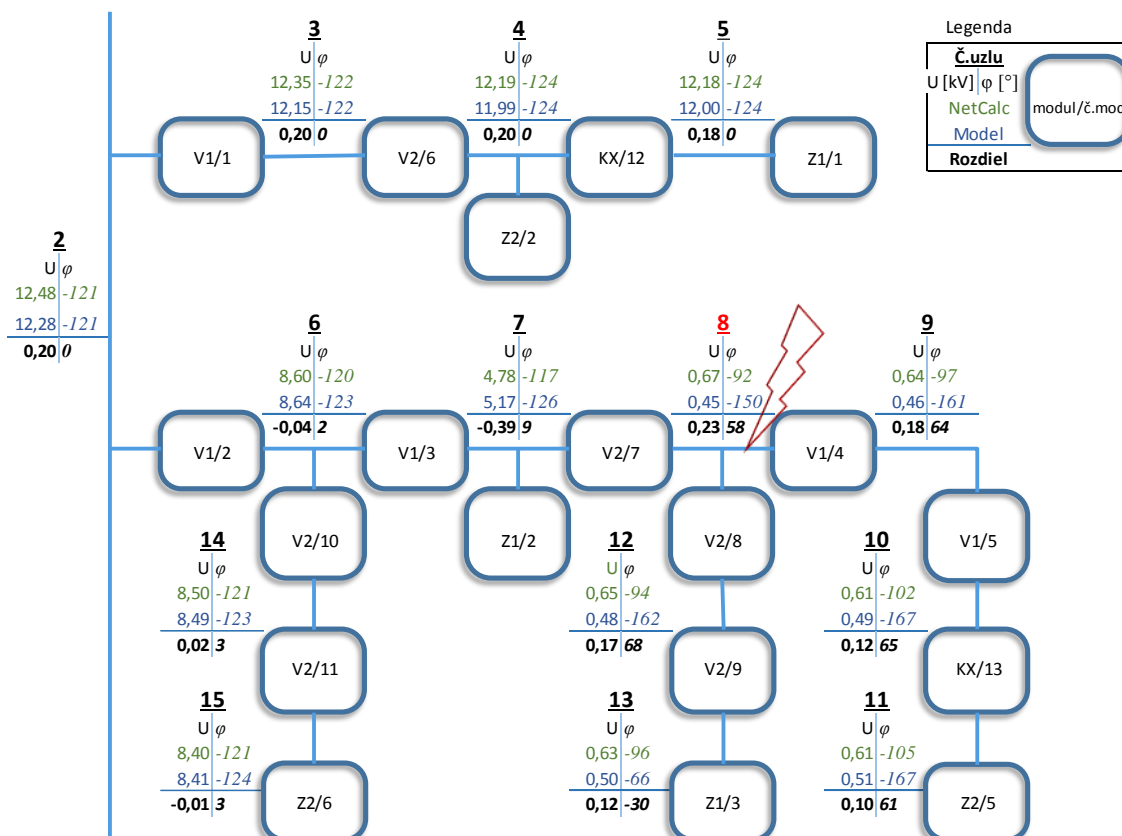
5.4 Dvojfázový skrat

Pri meraní dvojfázového skratu bol nulový bod sekundárneho vinutia transformátoru priamo uzemnený. V uzle číslo 8 medzi fázou L_a , L_b a zemou je simulovaný skrat s kovovým spojením. Vzniknutý prechodový odpor v mieste skratu je $R_s = 0,836 \Omega$, ktorý je zohľadnený v numerickom modeli siete.

Schéma na Obr. 5-7 a Obr. 5-8 znázorňuje namerané hodnoty napätia pri simulácii dvojfázového skratu v sieti pre fázu U_a a U_b .

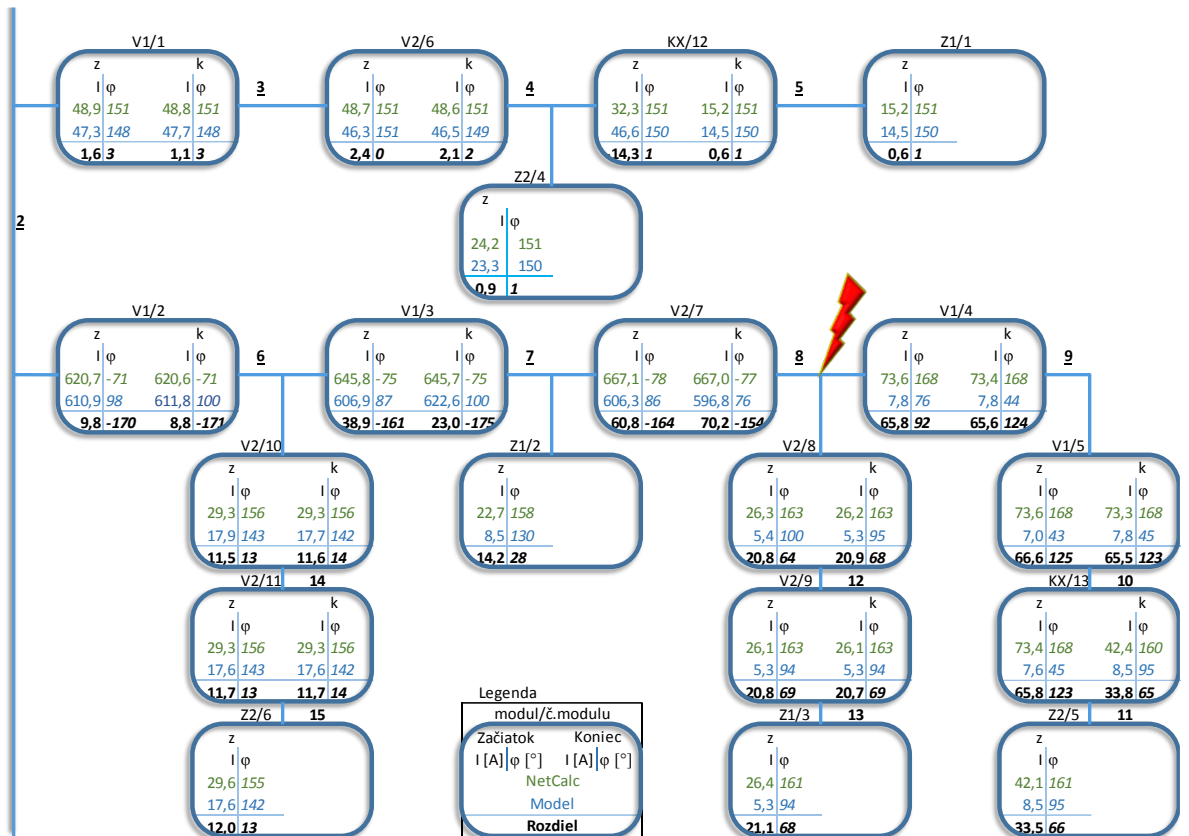


Obr. 5-7 Schéma výstupných hodnôt napätia dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a

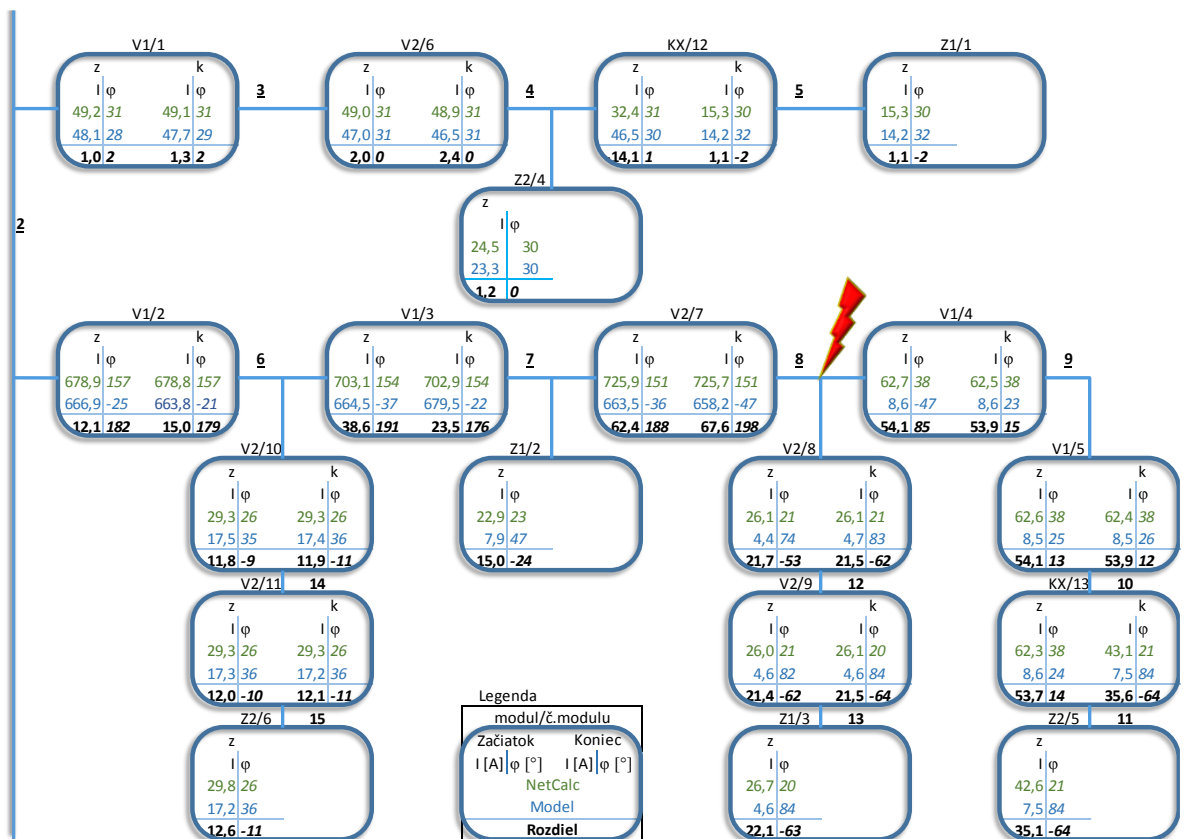


Obr. 5-8 Schéma výstupných hodnôt napätia dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b

Schéma na Obr. 5-9a Obr. 5-10 znázorňuje namerané hodnoty prúdu pri simulácii dvojfázového skratu v sieti pre fázu U_a a U_b .



Obr. 5-9 Schéma výstupných hodnôt prúdu dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a

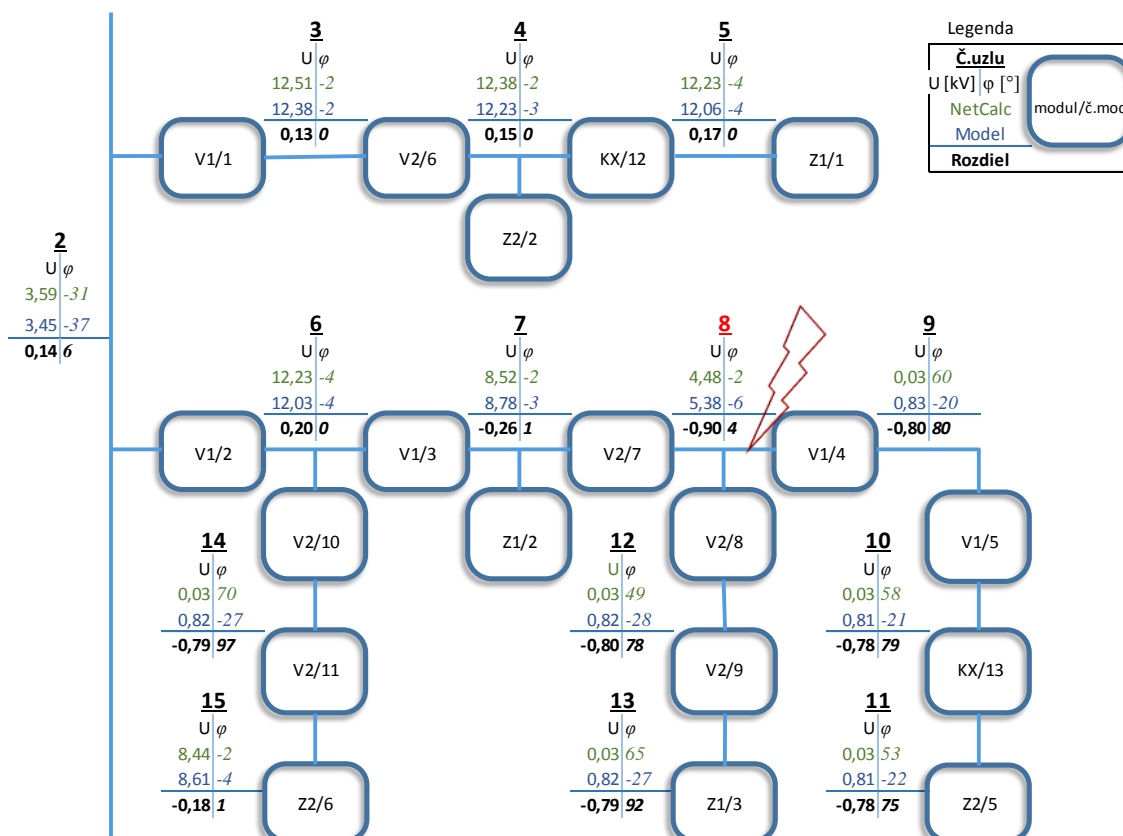


Obr. 5-10 Schéma výstupných hodnôt prúdu dvojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b

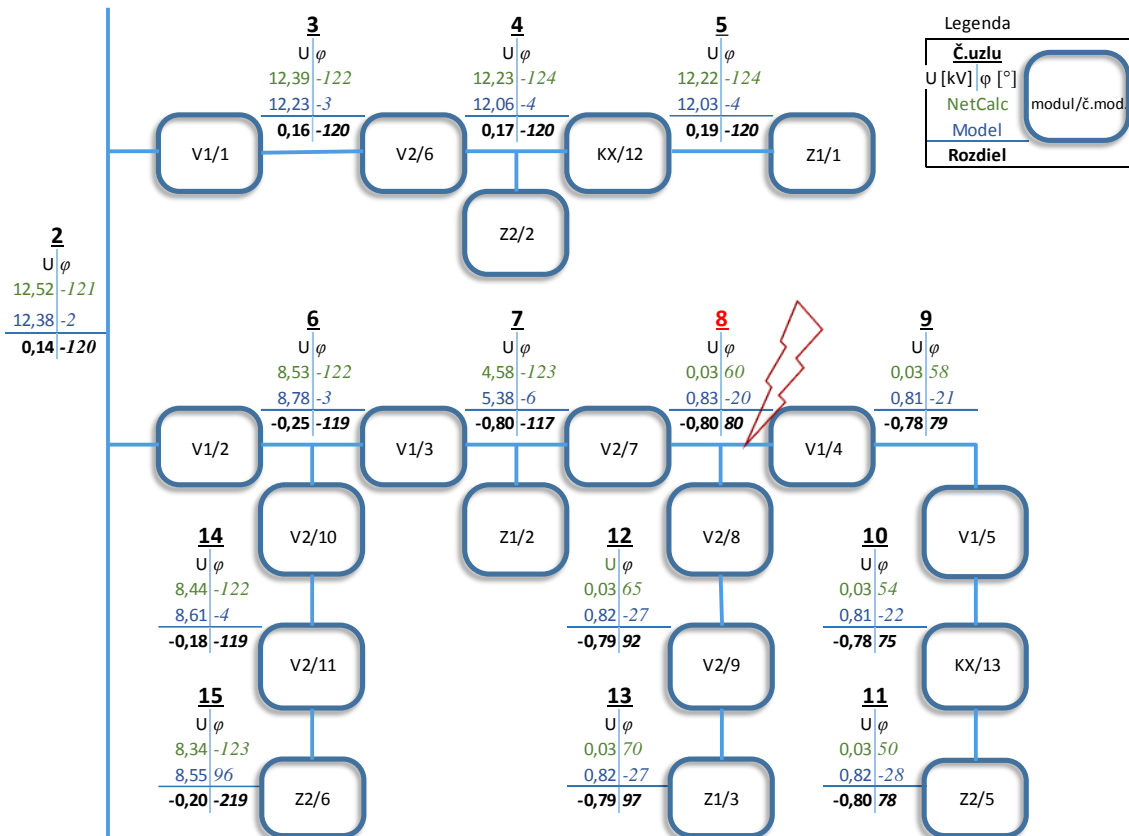
5.5 Trojfázový skrat

Pri meraní trojfázového skratu bol nulový bod sekundárneho vinutia transformátora priamo uzemnený. V uzle číslo 8 medzi fázou L_a , L_b , L_c a zemou je simulovaný skrat s kovovým spojením. Vzniknutý prechodový odpor v mieste skratu je $R_s = 0,836 \Omega$, ktorý je zohľadnený v numerickom modeli siete.

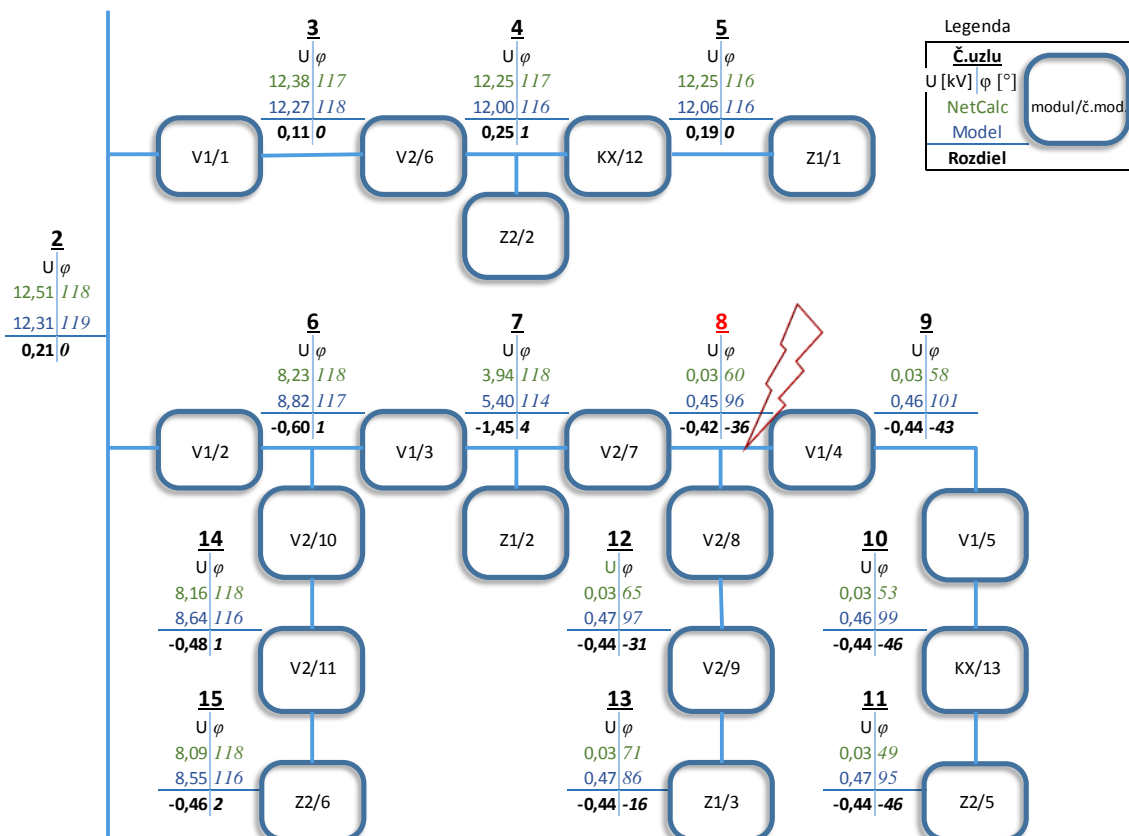
Schéma na Obr. 5-11, Obr. 5-12 a Obr. 5-13 znázorňuje namerané hodnoty napätia pri simulácii dvojfázového skratu v sieti pre fázu U_a , U_b a U_c .



Obr. 5-11 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu

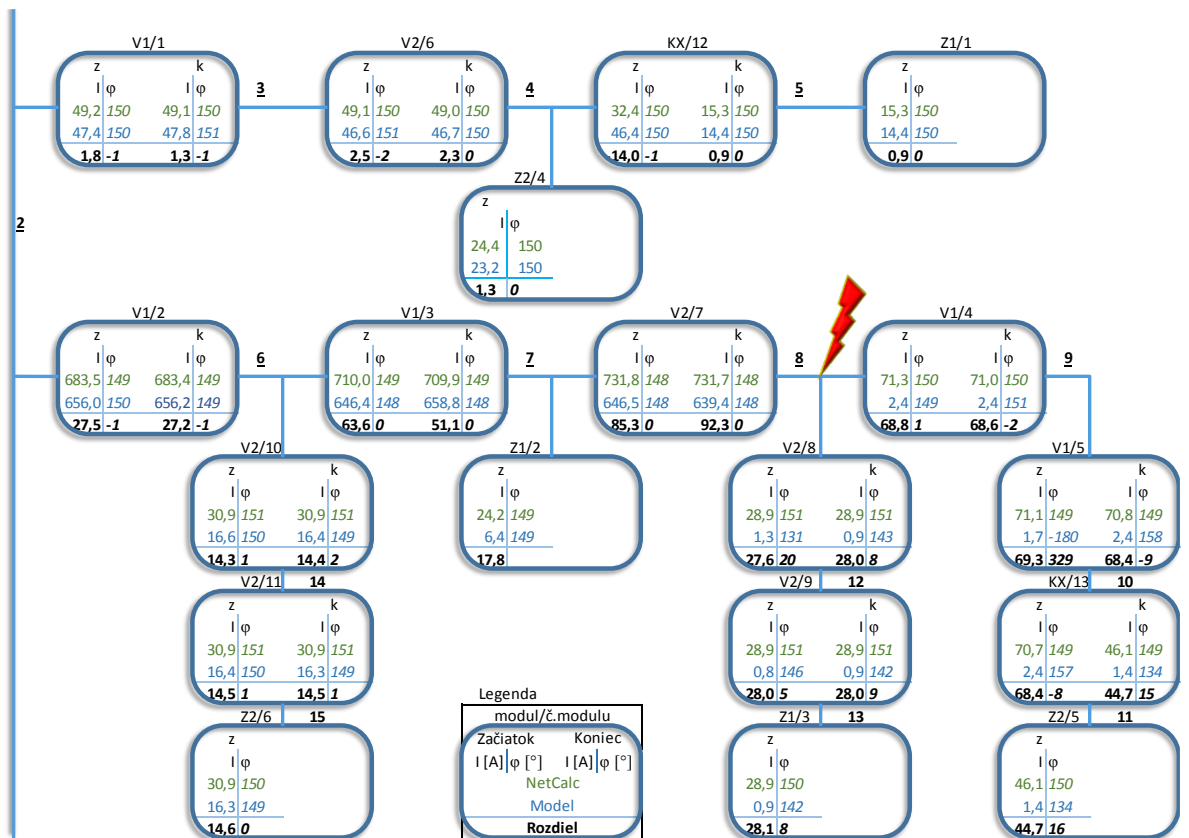


Obr. 5-12 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b

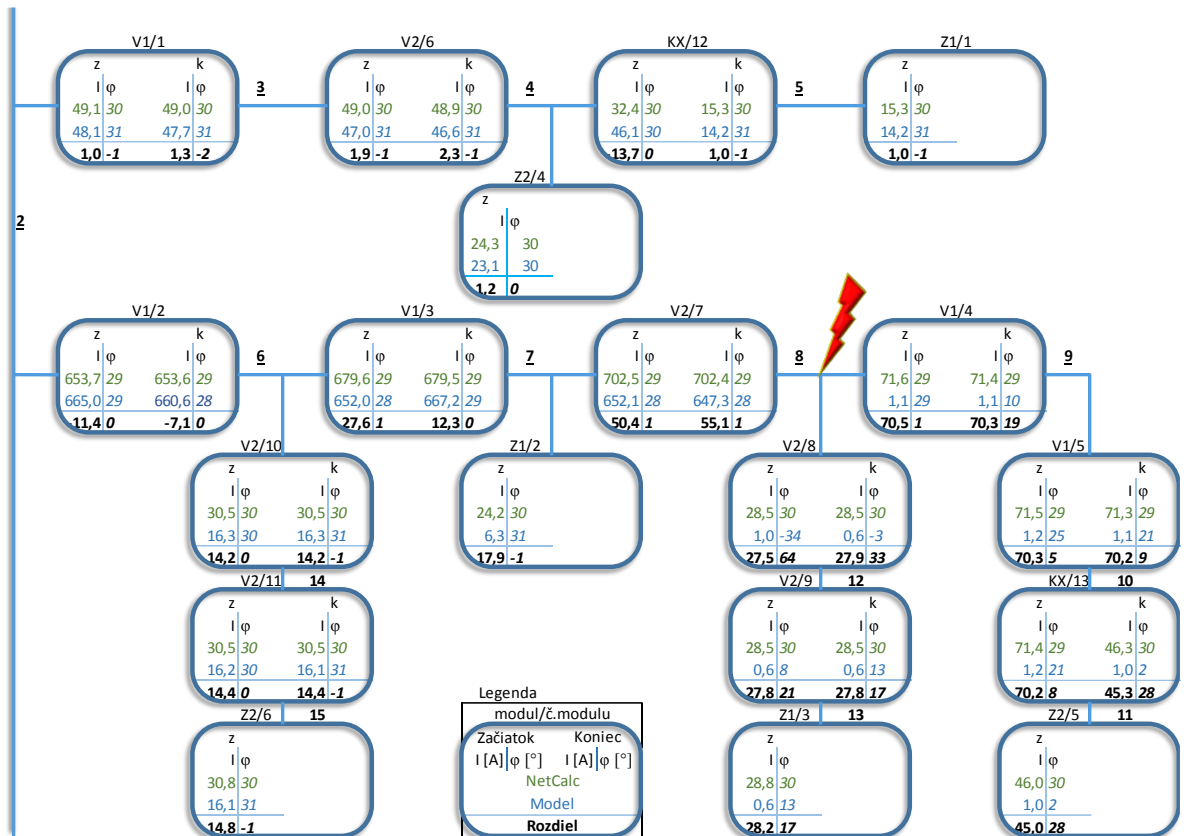


Obr. 5-13 Schéma výstupných hodnôt napätia trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_c

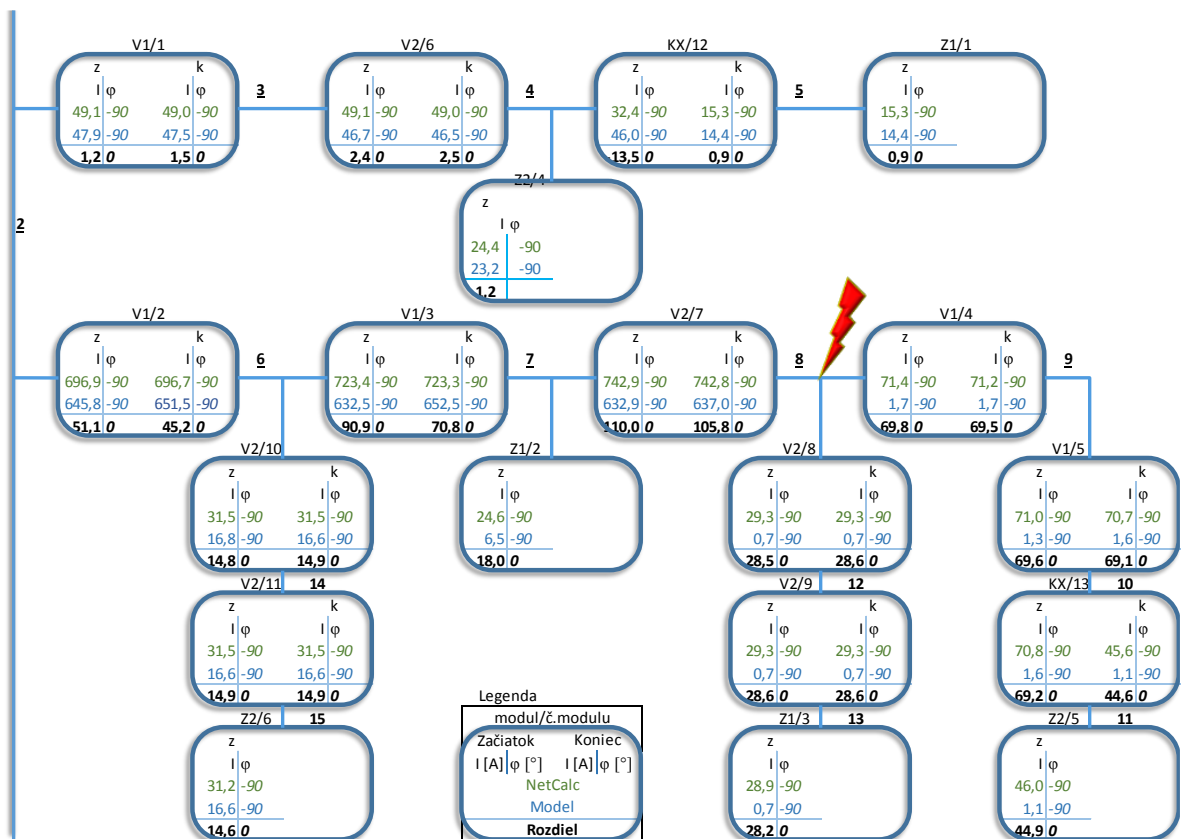
Schéma na Obr. 5-14, Obr. 5-15 a Obr. 5-16 znázorňuje namerané hodnoty prúdu pri simulácii dvojfázového skratu v sieti pre fázu U_a , U_b a U_c .



Obr. 5-14 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_a



Obr. 5-15 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_b



Obr. 5-16 Schéma výstupných hodnôt prúdu trojfázového skratu pre fyzikálny a numerický model siete pre fázu U_c

6 POROVNANIE

Rozdiel medzi získanými hodnotami z numerického a fyzikálneho modelu siete sú pre prehľadnosť farebne odlišené. Už pri meraní fyzikálneho modelu bolo vidno, že napájací transformátor vykazuje na primárnom a terciárnom vinutí výraznú asymetriu medzi fázami. Táto asymetria bola zistená aj v bakalárskej práci [1]. Z toho dôvodu vzniká pri porovnaní napätí a prúdov primárneho a terciárneho vinutia napájacieho transformátora výrazná odchýlka.

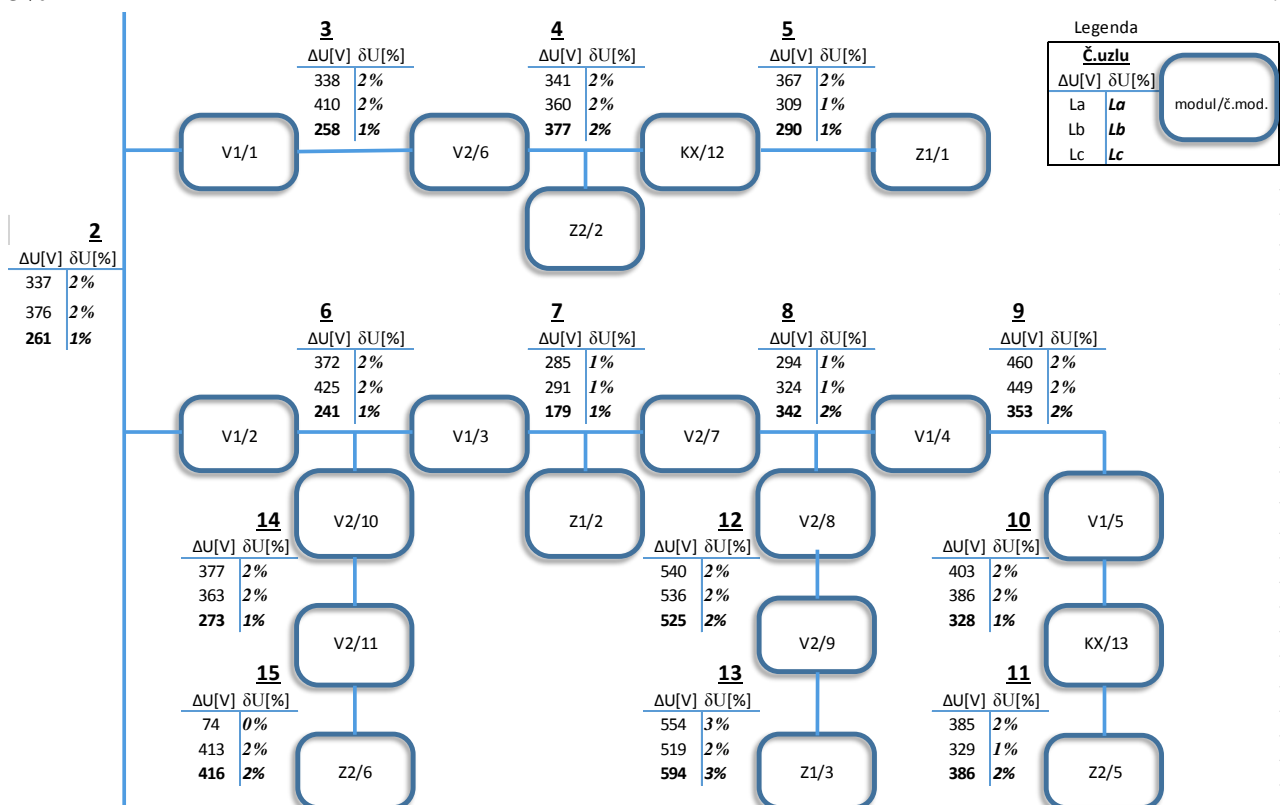
Hodnoty získane z numerického a fyzikálneho modelu siete nemusia zodpovedať skutočnosti, preto pre určenie relatívnej odchýlky pri efektívnych hodnotách prúdu a napätia sú stanovené vzťažné hodnoty.

Model predstavuje 22 kV distribučnú sieť, zvolená vzťažná hodnota napätia je $U_{n,22} = 22$ kV. Pre primárnu stranu transformátora (uzol číslo 1) je vzťažná hodnota napätia $U_{n,110} = 110$ kV a pre terciárnu stranu (uzol číslo 16) je $U_{n,63} = 6,3$ kV. Pri poruchových fázach merania skratu a zemného spojenia je ako vzťažná hodnota $U_{n,num}$ stanovená podľa numerického výpočtu.

Vzťažná hodnota prúdu je zvolená podľa skutočnej menovitej hodnoty prúdu sústavy $I_{n,160} = 160$ A. Pri nízkych odchýlkach je vzťažná hodnota $I_{n,num}$ stanovená podľa numerického výpočtu.

6.1 Prevádzkový stav

Podľa Obr. 6-2 vidno, že relatívne odchýlky napätí pri prevádzkovom stave nepresiahli hodnotu 5%



Obr. 6-1 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt napätia pri prevádzkovom stave pre fyzikálny a numerický model siete

Príklad výpočtu:

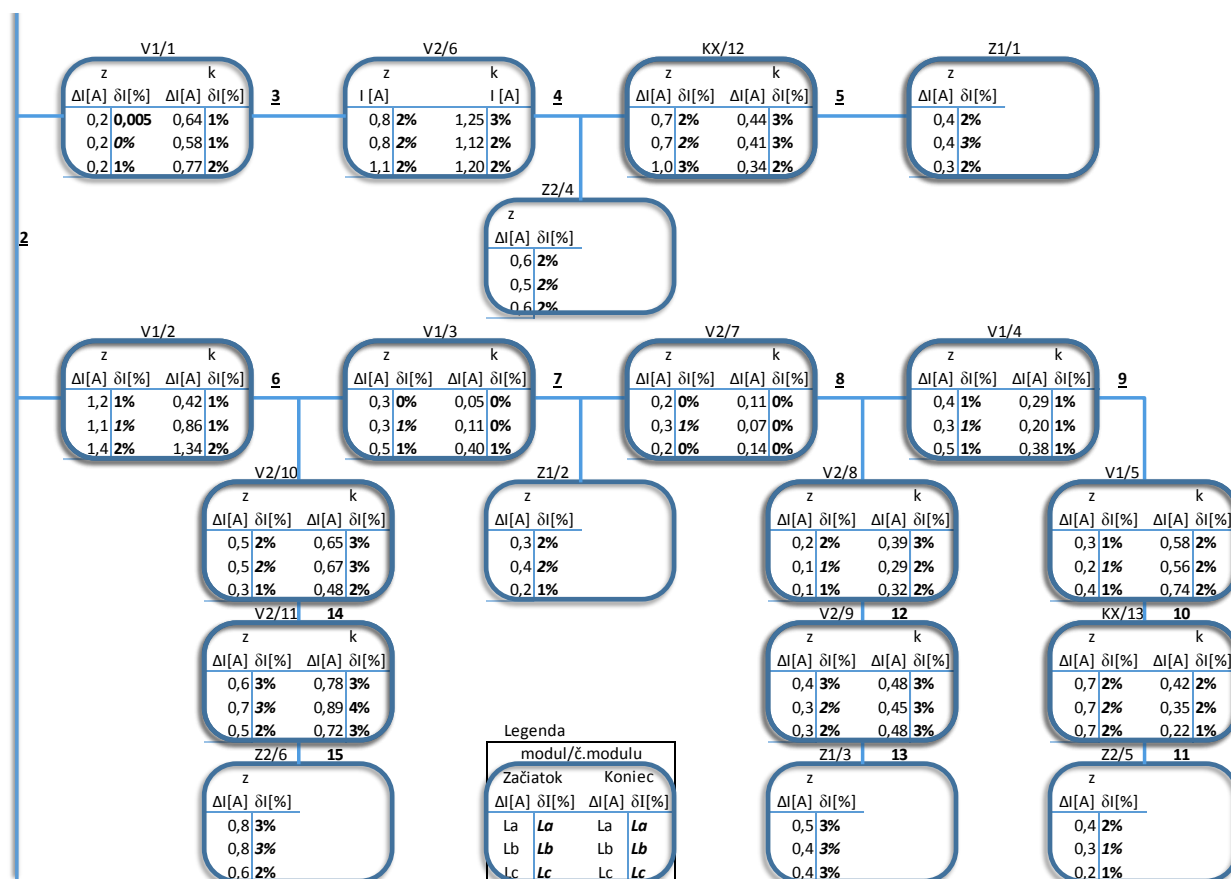
Pre príklad výpočtu absolútnej a relatívnej odchýlky bol vybraný 3. riadok Tabuľka 12 z prílohy dokumentu. Absolútna odchýlka ΔU_{ab} sa určí rozdielom výstupných hodnôt numerického a fyzikálneho modelu, podľa rovnice (6.1).

$$\Delta U_a = U_{a,(num.)} - U_{a,(fyz.)} = 21\,606\text{ V} - 21\,943\text{ V} = 337\text{ V} \quad (6.1)$$

Relatívna odchýlka δU_a (viadrená v percentách) je podľa rovnice (6.2) daná podielom odchýlky ΔU_{ab} a vzťažnej hodnoty napätia 22 kV siete.

$$\delta U_a = \frac{\Delta U_a}{U_{n,22}} \cdot 100 = \frac{337\text{ V}}{22\,000\text{ V}} \cdot 100 = 2\% \quad (6.2)$$

Podľa Obr. 6-1 vidno, že relatívne odchýlky prúdu pri prevádzkovom stave nepresiahli hodnotu 5%



Obr. 6-2 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt prúdu pri prevádzkovom stave pre fyzikálny a numerický model siete

Príklad výpočtu:

Absolútne a relatívne odchýlky hodnôt prúdu sa určia rovnako ako odchýlky hodnôt napätia. Pre príklad výpočtu absolútnej a relatívnej odchýlky bol vybraný 2. riadok Tabuľka 11 z prílohy dokumentu, podľa rovnice (6.3)

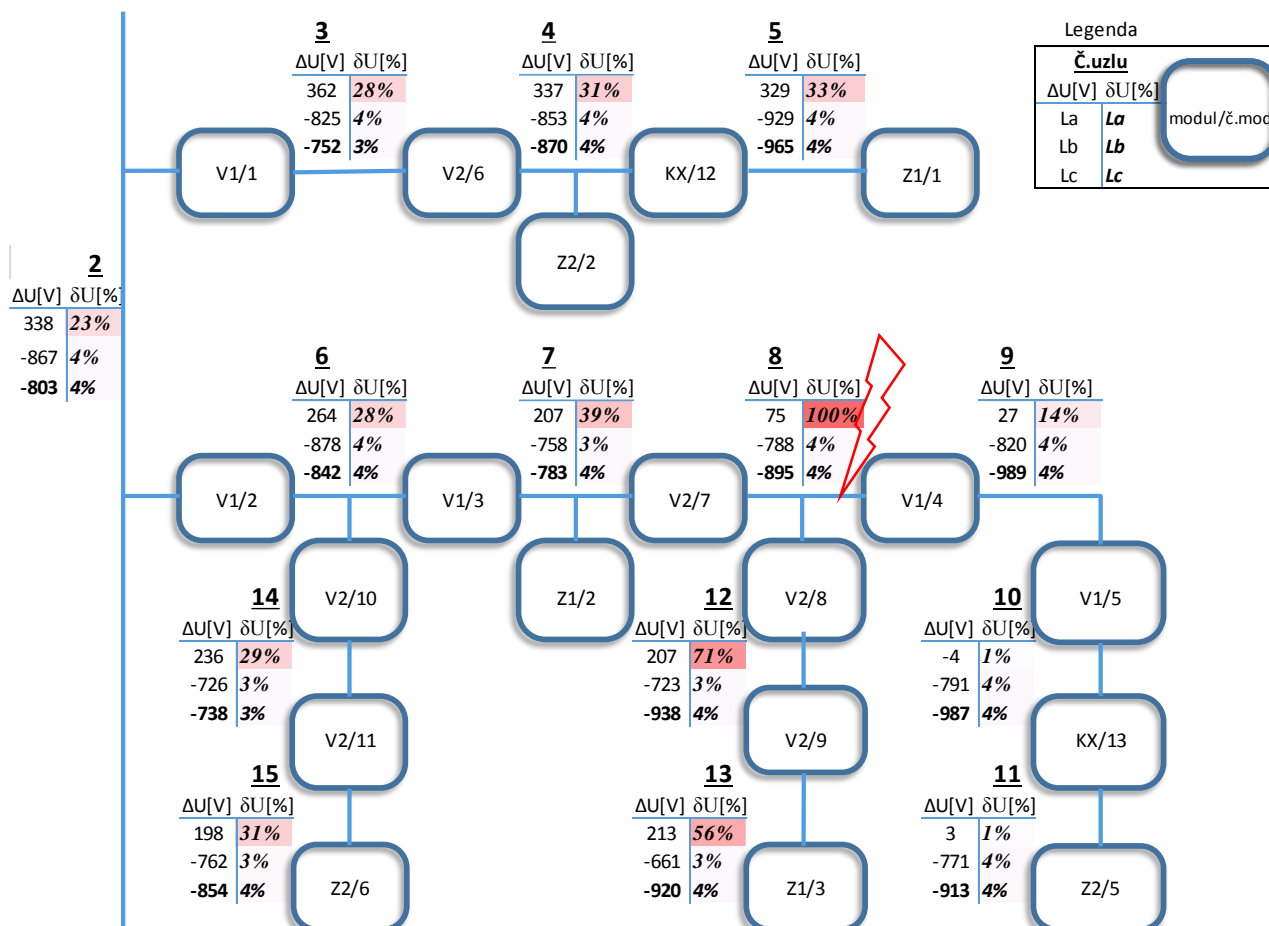
$$\Delta I_a = I_{a,(num.)} - I_{a,(fyz.)} = 129,10\text{ A} - 124,2\text{ A} = 4,93\text{ A} \quad (6.3)$$

Relatívna odchýlka δI_a (vyjadrená v percentách) je podľa rovnice (6.4) daná podielom odchýlky ΔI_a a vzťažnej hodnoty prúdu z výstupných hodnôt merania numerického modelu siete.

$$\delta I_a = \frac{\Delta I_a}{I_{n,num.}} \cdot 100 = \frac{4,39\text{ A}}{129,1\text{ A}} \cdot 100 = 4\% \quad (6.4)$$

6.2 Zemné spojenie

Podľa Obr. 6-3 vidno, že najväčšiu relatívnu odchýlku vykazujú hodnoty napätia v poruchovej fáze. Výrazná relatívna odchýlka v poruchovej fáze L_a je spôsobená vzťahnými hodnotami napätia, ktoré boli určené podľa výstupných hodnôt fyzikálneho modelu siete.



Obr. 6-3 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt napätí pri zemnom spojení pre fyzikálny a numerický model siete

Príklad výpočtu:

Pre príklad výpočtu absolútnej a relatívnej odchýlky bol vybraný 3. riadok Tabuľka 12 z prílohy dokumentu. Absolútna odchýlka ΔU_a sa určí rozdielom výstupných hodnôt numerického a fyzikálneho modelu, podľa rovnice (6.5).

$$\Delta U_a = U_{a,(num.)} - U_{a,(fyz.)} = 1157 - 1495 = 338 \text{ V} \quad (6.5)$$

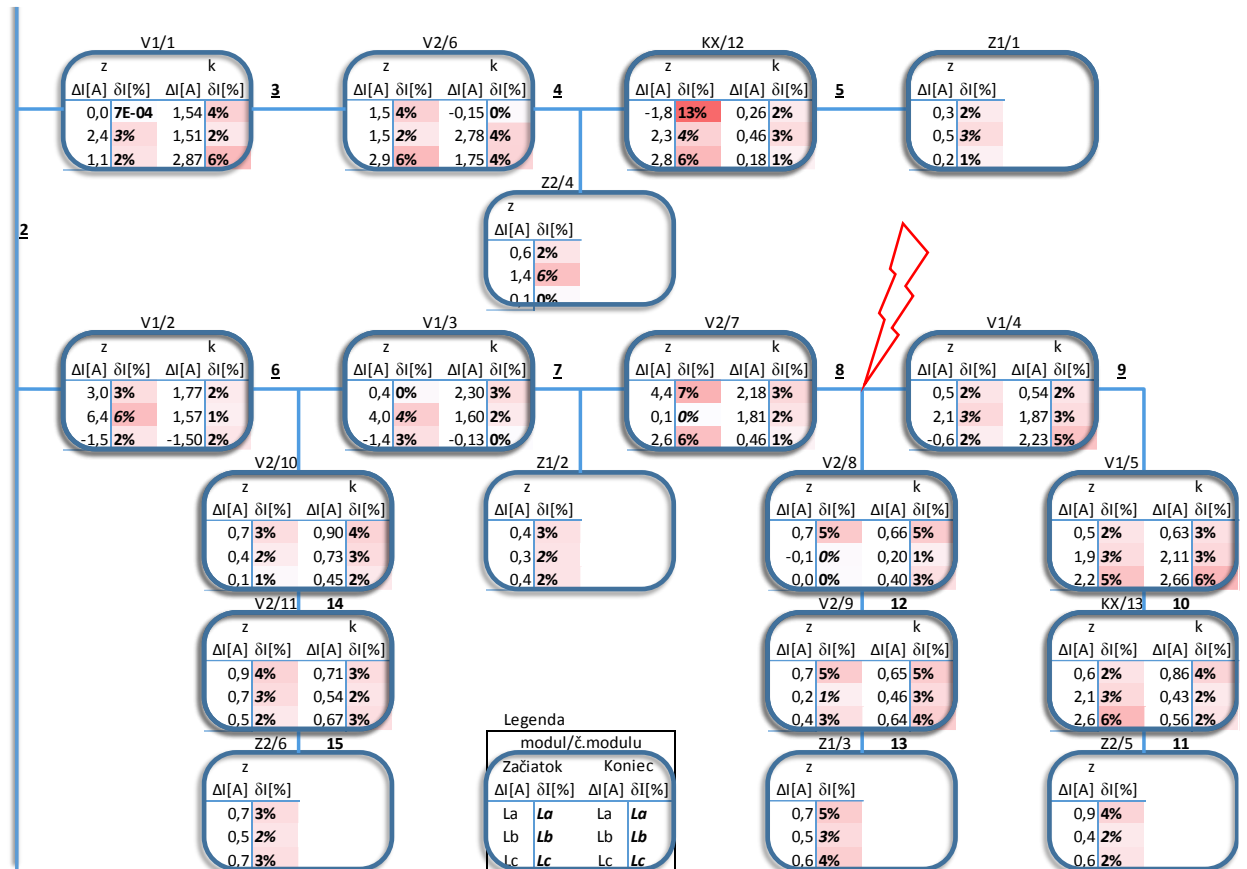
Relatívna odchýlka δU_a vyjadrená v percentách je podľa rovnice (6.6) daná podielom odchýlky ΔU_a a vzťahnej hodnoty prúdu z výstupných hodnôt merania numerického modelu siete.

$$\delta U_a = \frac{\Delta U_a}{U_{n,vztl.}} \cdot 100 = \frac{338}{1495} \cdot 100 = 23 \% \quad (6.6)$$

Absolútna odchýlka $\Delta \varphi_a$ sa určí rozdielom výstupných hodnôt numerického a fyzikálneho modelu, podľa rovnice (6.7).

$$\Delta \varphi_a = \varphi_{a,(num.)} - \varphi_{a,(fyz.)} = 40,3^\circ - 39,8^\circ = 0,6^\circ \quad (6.7)$$

Podľa Obr. 6-4 vidno že nevznikajú výrazné odchýlky. Menšia odchýlka vznikla na začiatku modulu KX/12 čo mohlo byť spôsobené chybou pri meraní.



Obr. 6-4 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt prúdu pri zemnom spojení pre fyzikálny a numerický model siete

Príklad výpočtu:

Absolútne a relatívne odchýlky hodnôt prúdu sa určia rovnako ako odchýlky hodnôt napätia. Pre príklad výpočtu absolútnej a relatívnej odchýlky bol vybraný 2. riadok Tabuľka 11 z prílohy dokumentu, podľa rovnice (6.8).

$$\Delta I_a = I_{a,(num.)} - I_{a,(fyz.)} = 136,6 A - 134,9 A = 1,5 A \quad (6.8)$$

Relatívna odchýlka δI_a (vyjadrená v percentách) je podľa rovnice (6.9) daná podielom odchýlky ΔI_a a vzťažnej hodnoty prúdu z výstupných hodnôt merania numerického modelu siete.

$$\delta I_a = \frac{\Delta I_a}{I_{n,num.}} \cdot 100 = \frac{1,5 A}{136,4 A} \cdot 100 = 1 \% \quad (6.9)$$

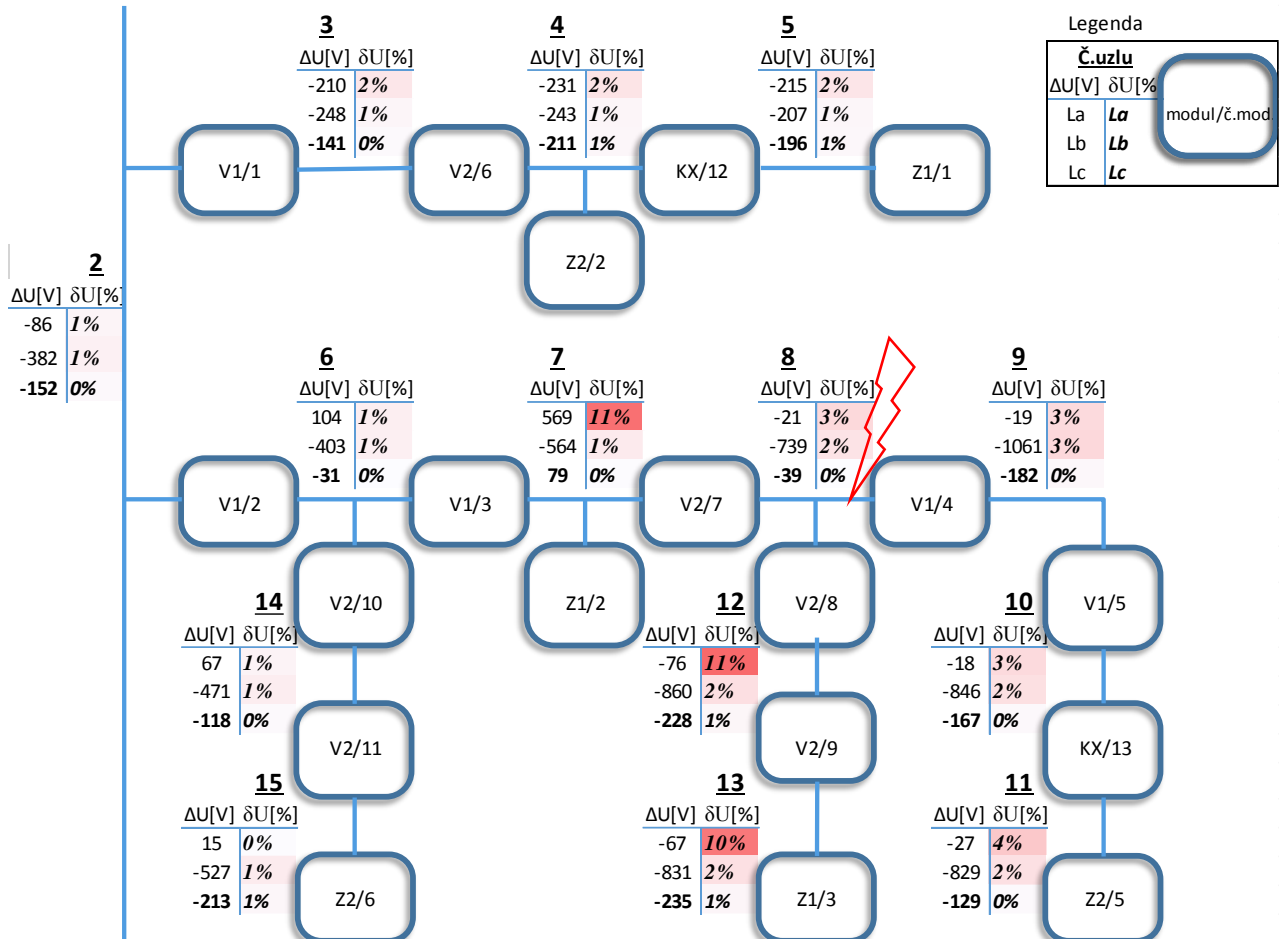
Absolútna odchýlka $\Delta \varphi_{Ia}$ sa určí rozdielom výstupných hodnôt numerického a fyzikálneho modelu, podľa rovnice (6.10)

$$\Delta \varphi_{Ia} = \varphi_{Ia,(num.)} - \varphi_{Ia,(fyz.)} = 70^\circ - 77^\circ = 7^\circ \quad (6.10)$$

6.3 Jednofázový skrat

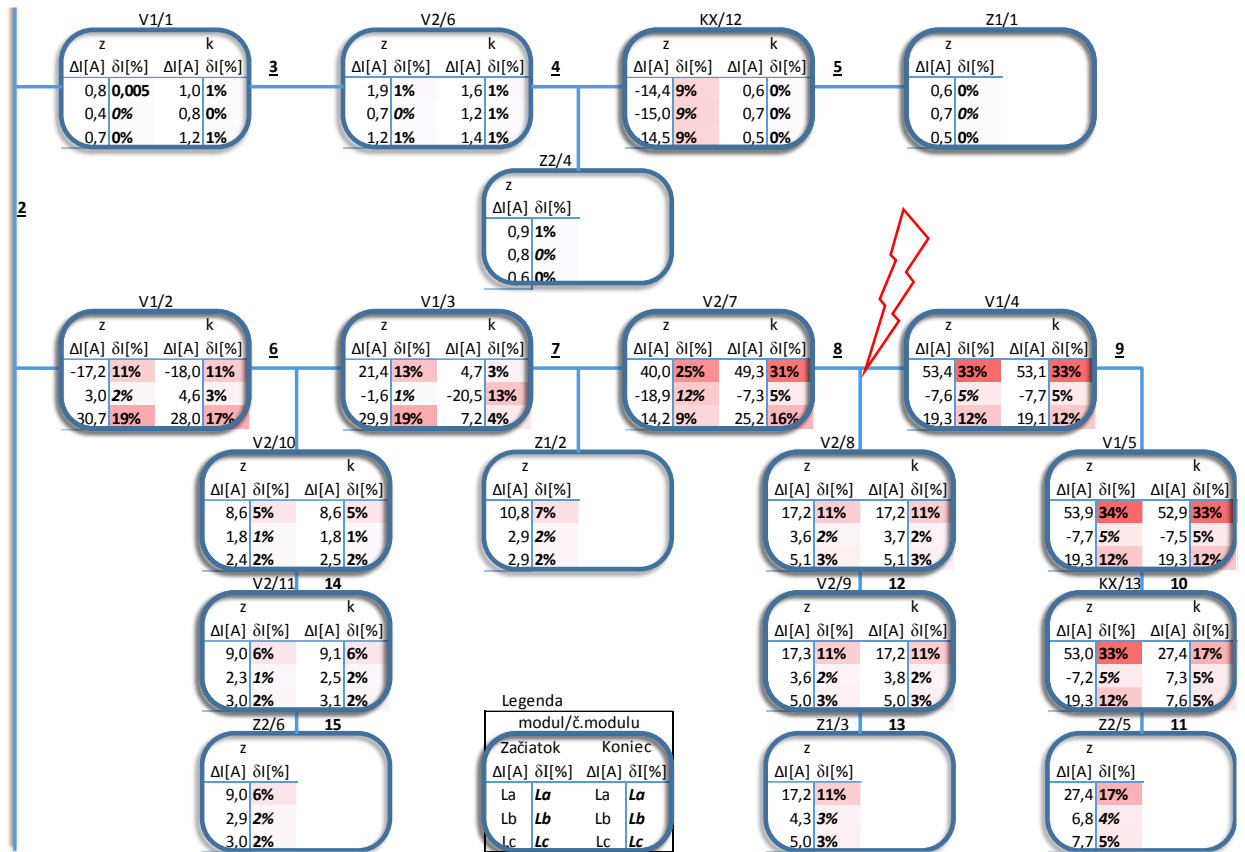
Porovnanie hodnôt napätí v Obr. 6-5 nevykazuje výrazne odchýlky, vzniknutá relatívna odchýlka v uzle 7 a 12 mohla byť spôsobená nepresnosťou pri meraní. Ako vzťažná hodnota pre

určenie relatívnej odchýlky poruchovej fáze U_{ab} boli použité výstupné hodnoty numerického modelu. Pri skrate sa združené hodnoty napätia U_{ab} a U_{ac} neporušených fáz premenia na fázové U_b a U_c hodnoty. Ako vzťažná hodnota je zvolená fázová hodnota napätia $U_{nf} = 12,7kV$. Postup výpočtu je rovnaký ako pri výpočte zemnom spojení.



Obr. 6-5 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt napätí pri jednofázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

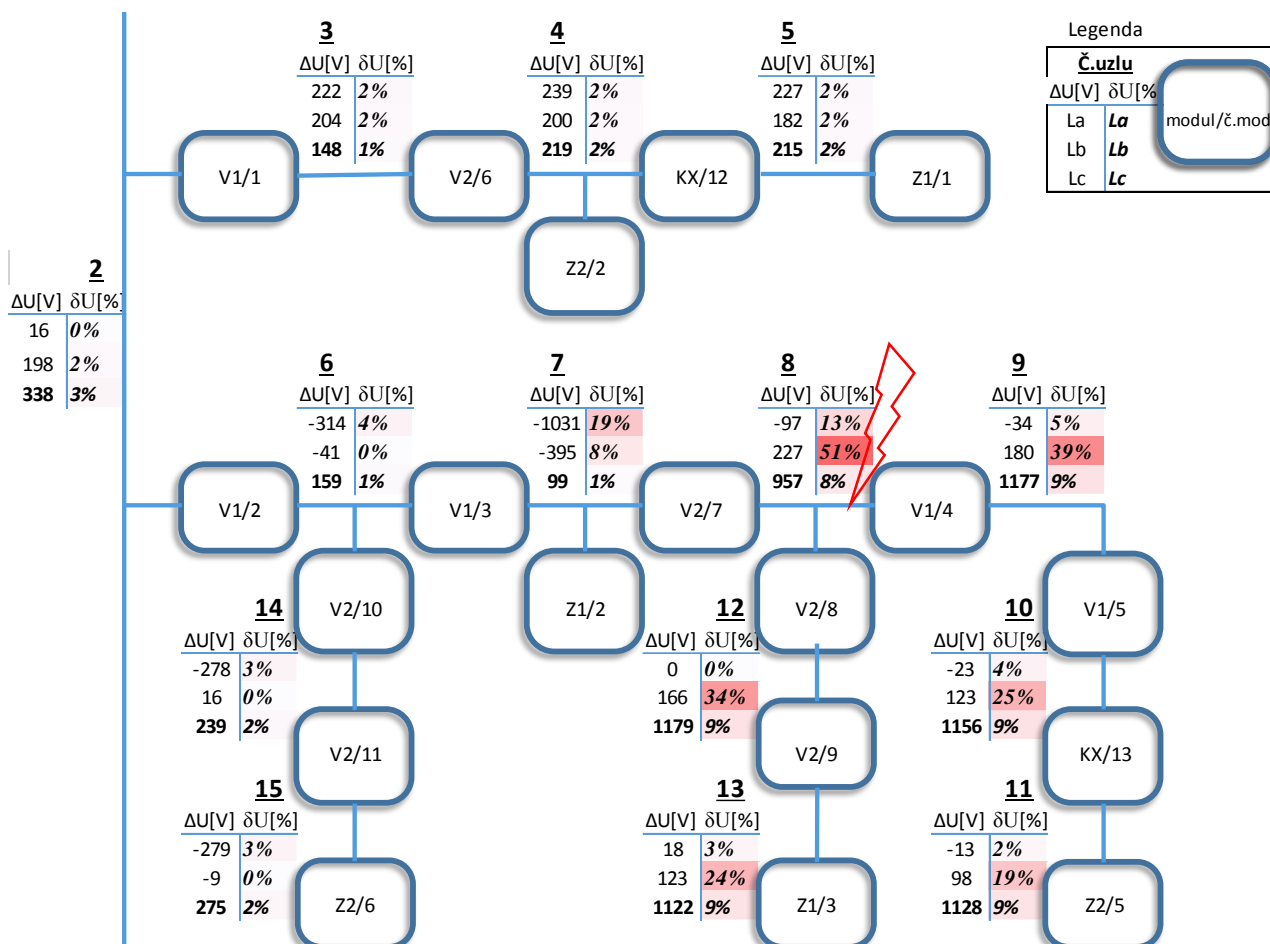
Podľa Obr. 6-6 vidno že pri porovnaní výstupných hodnôt fyzikálneho a numerického modelu siete vznikajú výrazné odchýlky. Najväčšie odchýlky vznikajú v oblasti skratu. Sú spôsobené chybným nastavením záťaže. Modul záťaže fyzikálneho modelu siete má odporový charakter, zatiaľ čo maska záťaže použitá v numerickom modeli siete má výkonový charakter. Postup výpočtu je rovnaký ako pri výpočte zemnom spojení. Ako vzťažné hodnoty pre výpočet relatívnej odchýlky sú použité výstupné hodnoty z numerického modelu siete.



Obr. 6-6 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt prúdu pri jednofázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

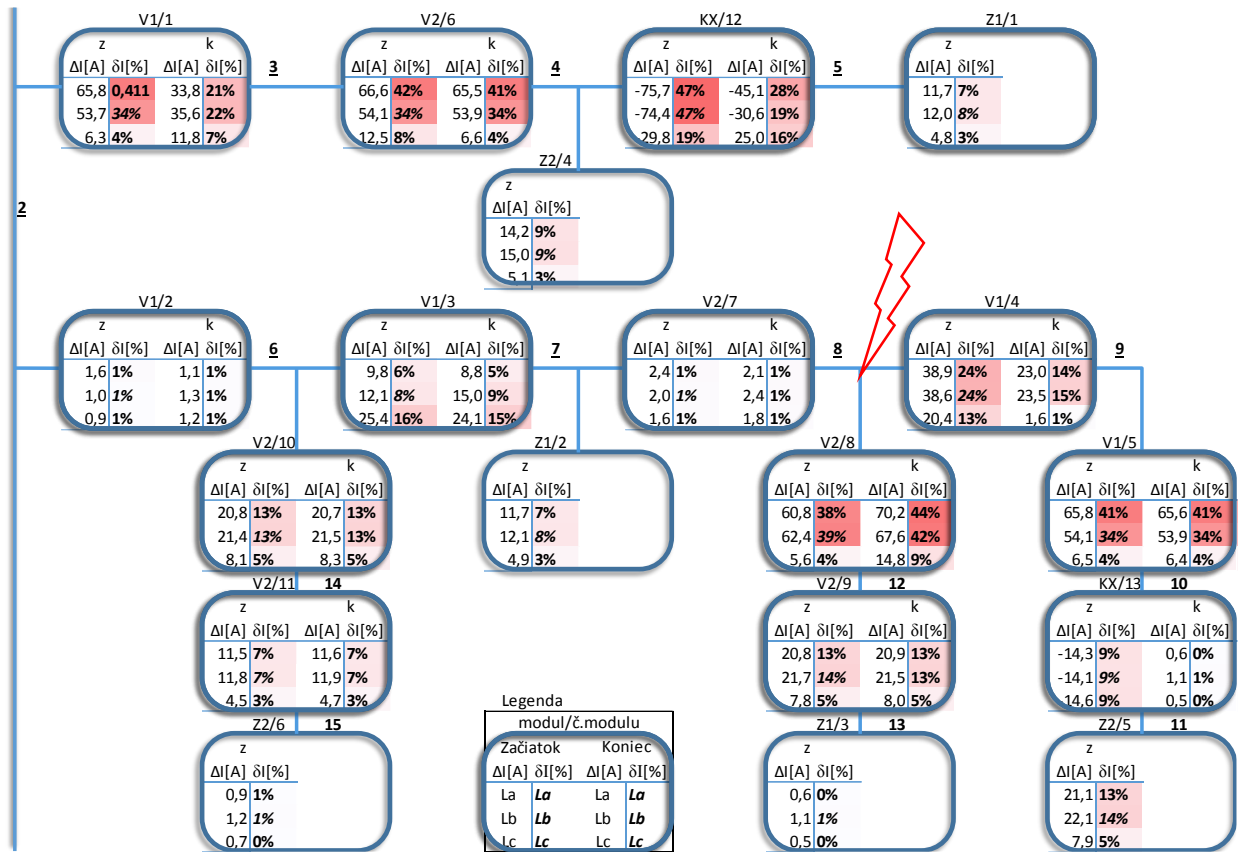
6.4 Dvojfázový skrat

Porovnanie hodnôt napätí v Obr. 6-7 vykazuje výrazne relatívne odchýlky, vo fáze U_b a ktoré sú spôsobené použitou vzťahnou hodnotou ktorá bola stanovená podľa výstupných hodnôt numerického modelu siete. Ako vzťahná hodnota pre fázu U_c je zvolená fázová hodnota napätia $U_{nf} = 12,7kV$. Postup výpočtu je rovnaký ako pri výpočte zemnom spojení.



Obr. 6-7 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt napätí pri dvojfázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

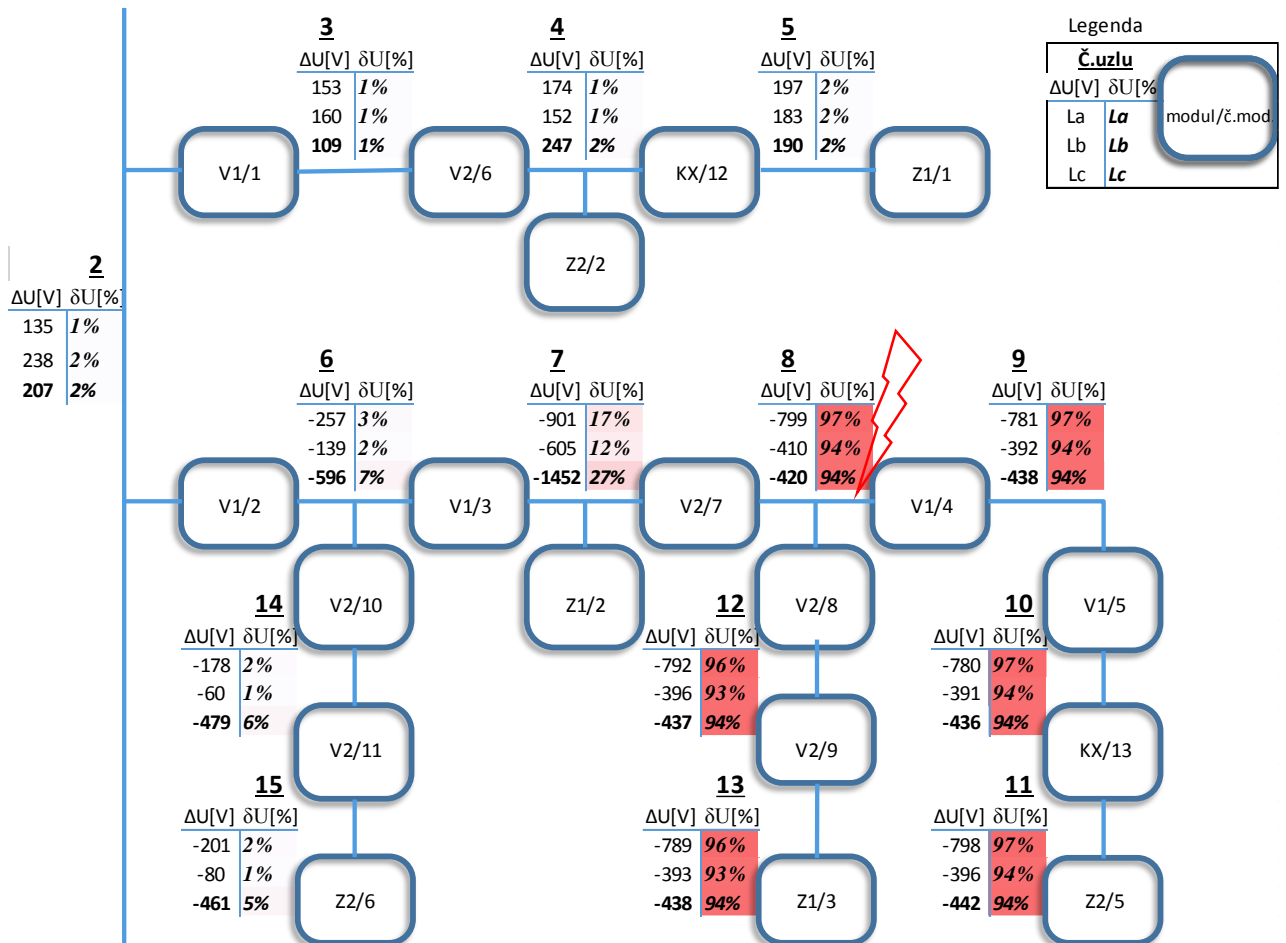
Rovnako ako pre porovnaný hodnôt jednofázového skratu vidno v Obr. 6-8 že odchýlky vznikajú v oblasti skratu. Sú spôsobené rozdielnym charakterom záťaže pre fyzikálny a numerický model siete. Ako vzťažné hodnoty pre výpočet relatívnej odchýlky sú použité výstupné hodnoty z numerického modelu siete.



Obr. 6-8 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt prdu pri dvojfázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

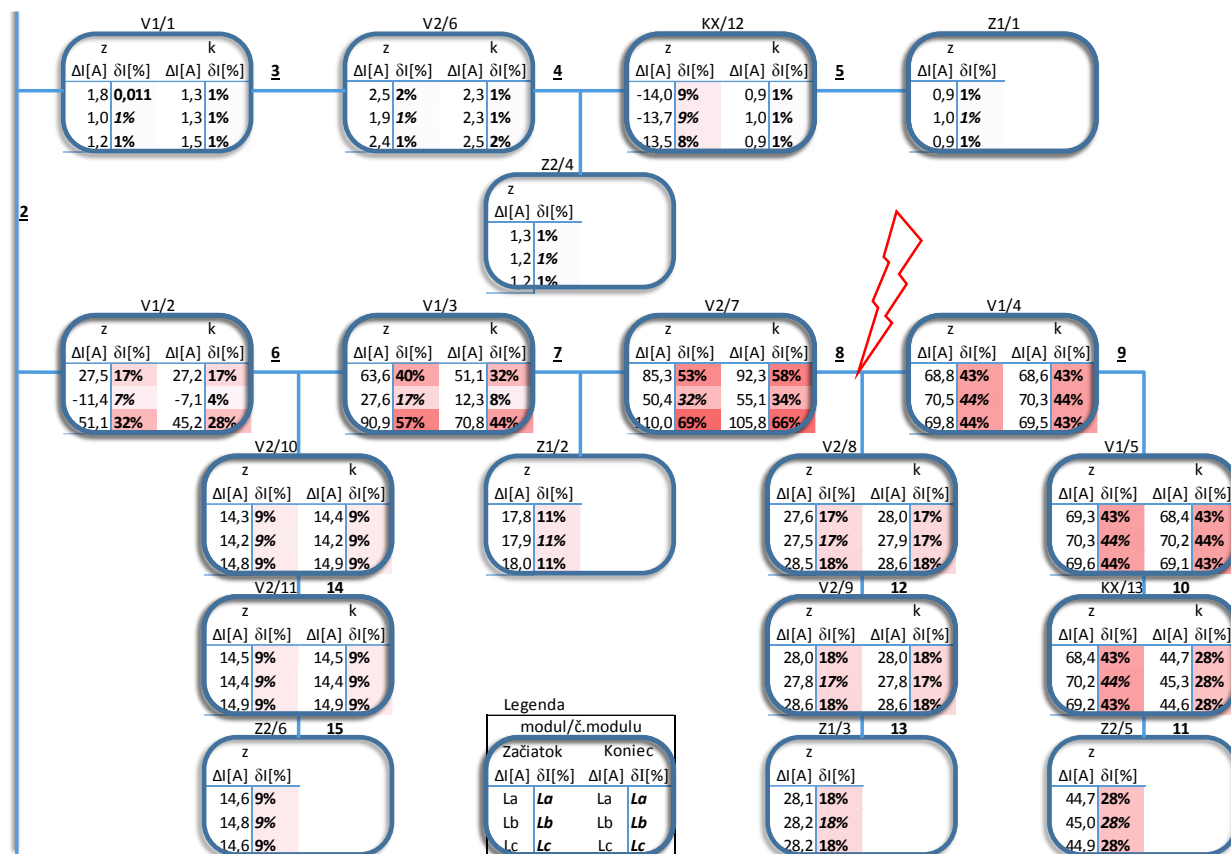
6.5 Trojfázový skrat

Porovnanie hodnôt napätí v Obr. 6-9 vykazuje výrazne relatívne odchýlky v oblasti skratu. Sú spôsobené rozdielnym charakterom záťaže pre fyzikálny a numerický model siete. vzťažnou hodnotou ktorá bola stanovená podľa výstupných hodnôt numerického modelu siete. Ako vzťažné hodnoty pre výpočet relatívnej odchýlky napätia sú použité výstupné hodnoty z numerického modelu siete.



Obr. 6-9 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt napätí pri trojfázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

Rovnako ako pre porovnaný hodnôt jednofázového a dvojfázového skratu vidno v Obr. 6-10 , že odchýlky vznikajú v oblasti skratu. Sú spôsobené rozdielnym charakterom záťaže pre fyzikálny a numerický model siete.



Obr. 6-10 Absolútna a relatívna odchýlka nameraných hodnôt prúdu pri trojfázovom skrate pre fyzikálny a numerický model siete

ZÁVER

V tejto práci sme sa zamerali na meranie ustáleného stavu siete, zemného spojenia a jednofázového, dvojfázového a trojfázového. Ďalej sme si zvolili typológiu siete. Určili sme miesto poruchy s uvážením dostupnosti modulov fyzikálneho modelu DS, tak aby bol viditeľný vplyv zadaných výpočtov na jednotlivé prvky siete. Súčasťou práce je tiež jednoduchý popis tvorby, nastavenie a výpočet siete v numerickom programe NetCalc3.

Napájacia sieť vykazovala pri meraní asymetriu jednotlivých fáz, čo mohlo byť spôsobené vplyvom nesúmerných záťaží zapojených v sieti. V budúcnosti sa tento nepriaznivý vplyv dá odstrániť pripojením fyzikálneho modelu na ostrovnú sieť. Zároveň na primárnom a terciálnom vinutí transformátora 3T vzniká výrazná nesymetria fázových napätí. Táto asymetria fáz bola zistená aj v bakalárskej práci z ktorej boli prevzaté hodnoty modulov. [1] Z toho dôvodu vzniká pri porovnaní primárneho a terciálneho vinutia napájacieho transformátora výrazná odchýlka. Ďalšie odchýlky, môžu byť spôsobené odčítavaním z meracích prístrojov, vplyvom tepelných účinkov a pri matematickom prepočte hodnôt z modelovej siete na reálnu sieť.

Ako prvé sa uskutočnilo meranie efektívnych hodnôt napätí a prúdov v ustálenom stave. Následné porovnanie nameraných hodnôt fyzikálneho modelu s numerickým modelom, potvrdili správnosť vstupných hodnôt v numerickom výpočte.

Pre meraní zemného spojenia bolo potrebné nastavenie zhášacej tlmivky. Indukčnosť tlmivky bola nastavená manuálne na hodnotu najmenšieho poruchového prúdu, aby sa dosiahla efektívna kompenzácia poruchových prúdov pri zemnom spojení. Nastavenie parametrov tlmivky fyzikálneho a numerického modelu siete sa nezhodovali. Preto sa impedančné hodnoty tlmivky v numerickom modeli siete zadali pokusne. Aby sa dosiahla rovnaká funkčnosť tlmivky oba modely siete.

Skratky boli merané podobným spôsobom ako zemné spojenie s tým rozdielom, že uzlový bod sekundárneho vinutia transformátora bol priamo uzemnený.

Porovnaním hodnôt prúdov a napätí získaných z fyzikálneho a numerického modelu siete pre prevádzkový stav, relatívne odchýlky neprekročili 5 %.

Hodnoty získane pri simulácií zemného spojenia vykazovali väčšie relatívne odchýlky v miestach vzniku zemného spojenia. Uvedené odchýlky v mieste zemného spojenia, boli spôsobené nezhodným nastavením zhášacej tlmivky.

Pri porovnaní hodnôt napätí a prúdov získaných pri simuláciách skratov, boli veľké relatívne odchýlky v mieste skratu. Sú spôsobené rozdielnym charakterom záťaže pre fyzikálny a numerický model siete. Rovnaká chyba nastáva pri meraní siete pre jednofázové, dvojfázové a trojfázové skraty.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] HLAVÁČ, J. Ověření a testování experimentálního modelu distribuční soustavy 22 kV. Bakalárska práca. Brno : Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brne, 2016, 87 strán. Vedúci bakalárskej práce Ing. David Topolánek. Ph.D.
- [2] BODOR. A. Referenční příručka výpočetního jádra programu NetCalc [program]. Brno 2016, 236 strán
- [3] Bodor. A. Uživatelská příručka programu NetCalc [program]. Brno 2016, 48 strán
- [4] Yokogawa Meters and Instruments Corporation. DL850/DL850V ScopeCoder User's Manual [online] September 2010, 213 strán., http://www.electro-meters.com/Assets/pdf2_files/Yokogaw0i-a/Oscilloscope_folder/DL850/DL850_Manual_Features_Guide.pdf
- [5] Fluke Corporation. 80i-110s AC/DC Current Probe Instruction [online] Januar 2017,12 strán http://media.fluke.com/documents/80i110s_iseng0100.pdf
- [6] Chauvin Arnoux Group. User's manual. [online] Maj 2013, 40 strán, http://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/D00PUZ70_205.PDF

PRÍLOHA

Tabuľka 1 Namerané hodnoty napätia pri prevádzkovom stave

uzol	Model			NetCalc					
	Uab	Ubc	Uac	Uab	φ_{Uab}	Ubc	φ_{Ubc}	Uac	φ_{Uac}
	[V]	[V]	[V]	[kV]	[°]	[kV]	[°]	[kV]	[°]
1	218,839	237,664	221,154	109 752	29,9	109 752	-90,1	109 753	149,9
16	35,8	68,3	66	6 282	-0,2	6 282	-120,2	6 282	119,8
2	56,7	56,6	56,9	21 943	29,8	21 943	-90,2	21 943	149,8
3	56,1	55,9	56,3	21 715	28,8	21 710	-91,2	21 711	148,8
4	55,4	55,3	55,4	21 451	27,7	21 432	-92,2	21 488	147,8
5	55,3	55,4	55,6	21 440	27,3	21 419	-92,6	21 476	147,4
6	55,2	55	55,5	21 406	28,5	21 383	-91,5	21 389	148,5
7	54,5	54,4	54,7	21 053	27,4	21 020	-92,7	21 023	147,5
8	53,8	53,6	53,7	20 794	26,3	20 748	-93,6	20 804	146,4
9	53,1	53	53,4	20 694	25,4	20 645	-94,5	20 701	145,6
10	53	52,9	53,2	20 599	24,6	20 543	-95,3	20 600	144,8
11	52,9	52,9	52,9	20 543	24,1	20 487	-95,8	20 543	144,3
12	52,8	52,7	52,9	20 659	26,1	20 618	-93,8	20 683	146,3
13	52,4	52,4	52,4	20 521	25,9	20 486	-93,9	20 561	146,1
14	54,6	54,6	54,9	21 182	28,2	21 169	-91,7	21 193	148,3
15	54,8	53,9	54	20 956	28,0	20 952	-91,9	20 993	148,0

Tabuľka 2 Namerané hodnoty prúdu pri prevádzkovom stave

zapoј.	la	lb	lc	la	φ_{La}	lb	φ_{lb}	lc	φ_{lc}	
	[mA]	[mA]	[mA]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	
1-1	292,9	345,5	438,2	32,4	-41,7	32,3	-161,8	32,3	78,3	
2-2	776,0	797,9	815,6	129,1	-156,9	128,9	83,1	128,9	-36,8	
4-5	z	195,6	195,5	194,2	32,0	59,4	32,0	-60,7	32,0	179,6
	k	91,7	91,6	92,2	15,1	177,3	15,1	57,3	15,1	-62,6
10-11	z	217,5	217,3	217,3	35,5	44,0	35,5	-76,1	35,5	164,1
	k	141,5	141,5	142,3	23,1	174,2	23,0	54,1	23,0	-65,8
2-3	z	302,0	301,7	301,8	48,5	33,7	48,5	-86,3	48,5	153,9
	k	298,8	298,8	297,9	48,5	-146,5	48,4	93,6	48,4	-26,3
2-6	z	519,0	518,0	520,0	81,9	16,8	81,8	-103,3	81,8	136,9
	k	514,0	516,0	519,0	81,8	-163,3	81,7	76,6	81,7	-43,2
6-7	z	375,8	375,8	376,4	59,9	23,6	59,8	-96,5	59,7	143,7
	k	373,4	372,5	375,5	59,8	-156,5	59,7	83,4	59,7	-36,4
8-9	z	221,0	221,2	220,0	35,8	44,3	35,7	-75,8	35,7	164,5
	k	221,0	221,2	220,0	35,6	-135,9	35,6	104,0	35,6	-15,7
9-10	z	221,0	221,2	220,0	35,6	44,1	35,6	-76,0	35,6	164,3
	k	218,4	218,2	217,0	35,5	-136,0	35,5	103,9	35,5	-15,9
3-4	z	298,0	297,4	296,0	48,5	33,5	48,4	-86,5	48,4	153,7
	k	294,4	294,8	294,6	48,4	-146,7	48,3	93,4	48,3	-26,4
7-8	z	292,4	294,5	293,9	46,9	31,4	46,9	-88,6	46,9	151,6
	k	293,5	291,8	291,4	46,8	-148,8	46,8	91,2	46,8	-28,6
8-12	z	88,9	89,2	89,7	14,5	-2,7	14,4	-122,7	14,4	117,5
	k	88,0	88,3	88,3	14,5	176,6	14,4	56,7	14,4	-63,2
12-13	z	88,1	88,2	88,5	14,5	-3,4	14,4	-123,4	14,4	116,8
	k	87,4	87,3	87,3	14,5	176,0	14,4	56,0	14,4	-63,8
6-14	z	144,2	143,5	145,4	23,5	-1,2	23,5	-121,2	23,5	118,9
	k	143,0	142,6	144,0	23,5	178,4	23,5	58,4	23,5	-61,5
14-15	z	143,0	142,5	143,9	23,5	-1,6	23,5	-121,6	23,5	118,5
	k	142,2	141,2	142,5	23,5	178,0	23,5	58,0	23,5	-61,9
5-5	92,2	91,7	92,7	15,1	-2,7	15,1	-122,7	15,1	117,4	
7-7	90,6	90,3	91,1	14,8	-2,6	14,8	-122,7	14,8	117,4	
13-13	87,6	87,4	87,6	14,5	-4,0	14,4	-124,0	14,4	116,2	
4-4	147,0	146,9	146,8	24,1	-2,3	24,0	-122,3	24,1	117,8	
11-11	141,6	141,7	142,4	23,1	-5,8	23,0	-125,9	23,0	114,3	
15-15	142,3	142,0	143,4	23,5	-2,0	23,5	-122,0	23,5	118,1	

Tabuľka 3 Namerané hodnoty napätia pri zemnom spojení

uzol	Model						referenčný uzol		NetCalc					
	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]
1	208,8	-62	249,8	-178	222,1	69	6,8	-29	109 752	30	109 752	-90	109 753	150
16	58,3	16	44,5	165	71,8	-82	6,8	90	6 282	0	6 282	-120	6 282	120
2	6,8	-29	90,7	153	94,5	89	6,8	-29	21 943	30	21 943	-90	21 943	150
3	6,0	-130	90,9	51	94,5	-12	6,8	-130	21 715	29	21 710	-91	21 711	149
4	4,9	-128	90,9	49	93,8	-13	6,8	-130	21 451	28	21 432	-92	21 488	148
5	4,6	143	90,8	-39	93,4	-102	6,8	141	21 440	27	21 419	-93	21 476	147
6	4,3	142	90,0	-38	93,1	-101	6,8	141	21 406	28	21 383	-92	21 389	149
7	2,4	-13	90,3	168	92,6	106	6,8	-10	21 053	27	21 020	-93	21 023	147
8	0,3	-27	90,2	167	91,9	106	6,8	-10	20 794	26	20 748	-94	20 804	146
9	0,9	-29	90,3	-28	91,5	-89	6,7	155	20 694	25	20 645	-94	20 701	146
10	1,5	-32	90,8	-29	91,6	-89	6,7	155	20 599	25	20 543	-95	20 600	145
11	1,9	29	91,0	35	91,8	-24	6,8	-139	20 543	24	20 487	-96	20 543	144
12	1,3	24	90,3	37	91,4	-24	6,8	-139	20 659	26	20 618	-94	20 683	146
13	1,7	-148	90,3	-139	91,2	161	6,8	45	20 521	26	20 486	-94	20 561	146
14	3,6	47	90,3	-135	93,0	163	6,8	45	21 182	28	21 169	-92	21 193	148
15	2,9	-2	89,7	175	92,0	113	6,9	-4	20 956	28	20 952	-92	20 993	148

Tabuľka 4 Namerané hodnoty prúdu pri zemnom spojení

zapoj.	Model						referenčný uzol		NetCalc						
	la [mA]	φ_{La} [°]	lb [mA]	φ_{Lb} [°]	lc [mA]	φ_{Lc} [°]	la [mA]	φ_{La} [°]	la [A]	φ_{La} [°]	lb [A]	φ_{Lb} [°]	lc [A]	φ_{Lc} [°]	
1-1	1062,1	-94	352,6	138	509,7	47	3743,0	-95	115,9	155	110,2	36	119,1	-84	
2-2	4067,7	-88	815,7	-151	712,1	78	3743,0	-95	667,6	-37	637,5	-157	678,4	84	
4-5	z	292,2	158	293,8	38	291,7	-83	3711,5	91	32,4	61	32,4	-59	32,4	-179
	k	91,3	122	90,8	3	91,2	-118	3711,5	91	15,3	179	15,3	59	15,3	-61
10-11	z	62,5	135	244,1	63	161,7	-66	3702,1	96	70,7	44	71,4	-76	70,8	164
	k	57,3	127	124,6	22	123,0	-132	3702,1	96	46,1	174	46,3	54	45,6	-65
2-3	z	300,3	162	301,7	45	299,3	-75	3741,5	98	49,2	35	49,1	-85	49,1	155
	k	298,6	162	298,8	45	295,7	-77	3741,5	98	49,1	-145	49,0	95	49,0	-25
2-6	z	3932,4	-164	513,3	136	423,5	-3	3717,3	-167	683,5	146	653,7	27	696,9	-92
	k	3936,4	-164	503,2	135	440,3	-3	3717,3	-167	683,4	-34	653,6	-153	696,7	88
6-7	z	3833,0	104	390,5	53	286,3	-89	3746,0	102	710,0	148	679,6	28	723,4	-91
	k	3936,0	104	508,5	151	427,4	-95	3746,0	102	709,9	-32	679,5	-152	723,3	89
8-9	z	63,7	104	247,4	59	166,2	-80	3707,0	102	71,3	44	71,6	-76	71,4	165
	k	63,7	137	247,4	69	166,2	-62	3707,0	102	71,0	-136	71,4	104	71,2	-16
9-10	z	58,9	-45	248,2	-120	163,8	109	3703,0	-87	71,1	44	71,5	-76	71,0	165
	k	63,4	-49	246,4	-119	163,4	109	3703,0	-87	70,8	-136	71,3	104	70,7	-16
3-4	z	293,0	14	298,9	-106	295,5	133	3731,3	-52	49,1	35	49,0	-85	49,1	155
	k	293,9	13	295,6	-105	293,9	133	3731,3	-52	49,0	-145	48,9	95	49,0	-25
7-8	z	3821,9	-14	387,2	-65	285,6	153	3716,0	-16	731,8	149	702,5	29	742,9	-90
	k	3763,2	-15	314,4	-57	215,8	163	3716,0	-16	731,7	-31	702,4	-151	742,8	90
8-12	z	35,9	-59	79,4	93	76,6	-58	3751,3	166	28,9	-2	28,5	-123	29,3	117
	k	36,0	-162	78,6	94	76,4	-60	3751,3	166	28,9	178	28,5	56	29,3	-64
12-13	z	35,6	153	79,1	47	77,0	-105	3746,6	120	28,9	-2	28,5	-124	29,3	116
	k	36,0	150	77,9	46	76,4	-108	3746,6	120	28,9	177	28,5	56	29,3	-64
6-14	z	120,4	-152	139,7	91	140,6	-37	3774,8	173	30,9	0	30,5	-121	31,5	119
	k	120,3	-155	139,2	91	139,7	-39	3774,8	173	30,9	179	30,5	59	31,5	-62
14-15	z	117,7	-52	136,1	-168	136,7	63	3703,0	-86	30,9	-1	30,5	-121	31,5	118
	k	117,6	-54	135,3	-169	136,2	62	3703,0	-86	30,9	179	30,5	58	31,5	-62
5-5		91,3	122	90,8	3	91,2	-118	3711,5	91	15,3	-1	15,3	-121	15,3	119
7-7		59,8	127	83,8	7	85,1	-114	3754,9	95	24,2	-3	24,2	-122	24,6	117
13-13		36,0	150	77,9	46	76,4	-108	3746,6	120	28,9	-4	28,8	-124	28,9	116
4-4		146,4	126	146,5	16	146,5	-123	3754,9	95	24,4	-1	24,3	-121	24,4	119
11-11		57,3	127	124,6	22	123,0	-132	3702,1	96	46,1	-6	46,0	-126	46,0	114
15-15		117,6	-54	135,3	-169	136,2	62	3703,0	-86	30,9	-2	30,8	-121	31,2	118

Tabuľka 5 Namerané hodnoty napätia pri jednofázovom skrate

uzol	Model						referenčný uzol		NetCalc					
	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]
1	214,0	-66	240,1	175	227,2	60	55,8	-64	62912	-1	63389	-120	63347	120
16	54,8	162	54,3	-68	61,8	47	55,9	163	3625	-31	3594	-150	3627	90
2	56,5	176	55,9	64	56,9	-56	55,8	-64	12515	-1	12677	-120	12663	120
3	55,3	-12	55,9	-133	56,3	108	55,8	-11	12383	-2	12546	-121	12527	119
4	54,6	-14	55,2	-134	55,4	106	55,8	-11	12236	-3	12385	-122	12395	118
5	54,6	126	55,3	6	55,4	-114	55,9	129	12229	-4	12378	-123	12388	118
6	40,0	127	56,2	7	55,2	-112	55,9	129	8689	-3	12766	-122	12172	121
7	24,6	128	56,4	10	54,0	-107	55,9	133	4843	-5	12966	-123	11794	121
8	3,5	111	56,6	8	52,3	-106	55,9	133	783	-28	13184	-124	11535	122
9	3,3	98	55,1	6	51,4	-108	55,4	132	742	-33	13173	-125	11490	122
10	3,1	93	56,0	5	51,3	-108	55,4	132	706	-37	13163	-126	11444	121
11	3,1	-90	56,1	176	51,2	63	55,5	55	702	-41	13164	-127	11400	121
12	3,1	-85	55,7	178	51,1	63	55,5	55	762	-30	13125	-125	11472	122
13	3,1	-61	55,6	-49	50,8	98	55,8	-21	743	-33	13064	-125	11410	122
14	39,3	-24	55,3	-144	54,3	98	55,8	-21	8588	-3	12642	-122	12066	120
15	38,6	13	54,5	-108	53,4	134	55,5	15	8486	-3	12518	-122	11958	120

Tabuľka 6 Namerané hodnoty prúdu pri jednofázovom skrate

zapoj.	Model						referenčný uzol		NetCalc						
	la [mA]	φ_{La} [°]	lb [mA]	φ_{Lb} [°]	lc [mA]	φ_{Lc} [°]	la [mA]	φ_{La} [°]	la [A]	φ_{La} [°]	lb [A]	φ_{Lb} [°]	lc [A]	φ_{Lc} [°]	
1-1	1062,1	-93,6	352,6	137,9	509,7	47,1	3743,0	-95,3	100,6	151,8	35,7	-164,7	32,4	85,0	
2-2	4067,7	-87,5	815,7	-150,5	712,1	78,0	3743,0	-95,3	598,1	-41,6	129,8	74,6	147,0	-33,8	
4-5	z	292,2	158,0	293,8	37,6	291,7	-82,6	3711,5	91,3	32,3	60,5	32,0	-60,9	32,1	179,7
	k	91,3	122,1	90,8	3,3	91,2	-118,3	3711,5	91,3	15,2	178,0	15,2	57,3	15,0	-62,2
10-11	z	62,5	135,1	244,1	63,2	161,7	-66,2	3702,1	96,3	63,0	49,9	31,8	-91,1	45,2	163,5
	k	57,3	126,5	124,6	22,0	123,0	-131,7	3702,1	96,3	36,6	172,8	27,3	41,5	27,3	-53,2
2-3	z	300,3	162,1	301,7	45,1	299,3	-75,2	3741,5	98,0	48,9	34,7	48,7	-86,5	48,6	154,2
	k	298,6	161,8	298,8	45,2	295,7	-76,7	3741,5	98,0	48,8	-145,5	48,6	93,3	48,5	-25,9
2-6	z	3932,4	-164,1	513,3	136,0	423,5	-3,0	3717,3	-167,0	612,0	142,8	85,1	-116,1	98,5	142,5
	k	3936,4	-164,4	503,2	134,9	440,3	-3,4	3717,3	-167,0	611,8	-37,2	85,1	63,8	98,4	-37,6
6-7	z	3833,0	103,7	390,5	53,0	286,3	-88,6	3746,0	101,8	634,6	144,3	60,9	-112,6	75,7	148,6
	k	3936,0	104,4	508,5	151,4	427,4	-95,2	3746,0	101,8	634,5	-35,7	60,9	67,2	75,6	-31,5
8-9	z	63,7	103,5	247,4	59,4	166,2	-79,7	3707,0	101,8	63,6	50,3	32,0	-91,2	45,9	163,6
	k	63,7	136,8	247,4	68,9	166,2	-62,2	3707,0	101,8	63,3	-129,9	31,9	88,6	45,7	-16,6
9-10	z	58,9	-44,9	248,2	-119,6	163,8	109,4	3703,0	-87,2	63,3	50,2	32,0	-91,1	45,5	163,5
	k	63,4	-49,4	246,4	-119,4	163,4	108,8	3703,0	-87,2	63,0	-130,0	32,0	88,7	45,4	-16,6
3-4	z	293,0	14,3	298,9	-105,8	295,5	133,1	3731,3	-52,3	48,8	34,5	48,6	-86,7	48,5	154,0
	k	293,9	12,8	295,6	-105,4	293,9	133,4	3731,3	-52,3	48,7	-145,7	48,5	93,1	48,4	-26,1
7-8	z	3821,9	-13,9	387,2	-64,8	285,6	153,2	3716,0	-15,8	651,5	145,3	43,0	-104,7	59,8	153,1
	k	3763,2	-14,5	314,4	-57,3	215,8	162,7	3716,0	-15,8	651,4	-34,7	43,0	75,1	59,7	-27,0
8-12	z	35,9	-59,4	79,4	93,0	76,6	-57,6	3751,3	166,0	23,0	-3,9	16,3	-136,8	17,4	128,1
	k	36,0	-161,8	78,6	93,8	76,4	-60,0	3751,3	166,0	23,0	175,3	16,3	42,7	17,3	-52,5
12-13	z	35,6	152,6	79,1	46,6	77,0	-105,5	3746,6	119,6	23,0	-4,7	16,2	-137,5	17,3	127,2
	k	36,0	150,0	77,9	45,7	76,4	-107,8	3746,6	119,6	23,0	174,5	16,3	42,0	17,2	-53,3
6-14	z	120,4	-152,4	139,7	91,5	140,6	-37,4	3774,8	172,7	27,9	-1,7	24,1	-126,0	24,9	122,3
	k	120,3	-154,8	139,2	90,9	139,7	-38,7	3774,8	172,7	27,9	177,9	24,1	53,6	24,9	-58,1
14-15	z	117,7	-52,2	136,1	-168,4	136,7	63,0	3703,0	-86,4	27,9	-2,1	24,1	-126,4	24,9	121,9
	k	117,6	-54,1	135,3	-168,9	136,2	61,6	3703,0	-86,4	27,9	177,5	24,1	53,2	24,9	-58,5
5-5	91,3	122,1	90,8	3,3	91,2	-118,3	3711,5	91,3	15,2	-2,0	15,2	-122,7	15,0	117,8	
7-7	59,8	126,7	83,8	6,7	85,1	-113,6	3754,9	94,5	20,3	-3,7	16,3	-131,5	16,5	125,2	
13-13	36,0	150,0	77,9	45,7	76,4	-107,8	3746,6	119,6	23,0	-5,4	16,8	-137,1	17,2	127,9	
4-4	146,4	125,9	146,5	16,4	146,5	-122,9	3754,9	94,5	24,3	-1,6	24,2	-122,3	24,0	118,2	
11-11	57,3	126,5	124,6	22,0	123,0	-131,7	3702,1	96,3	36,6	-7,2	26,8	-139,1	27,4	125,9	
15-15	117,6	-54,1	135,3	-168,9	136,2	61,6	3703,0	-86,4	27,8	-2,5	24,6	-126,5	24,8	122,2	

Tabuľka 7 Namerané hodnoty napätia pri dvojfázovom skrate

uzol	Model						referenčný uzol		NetCalc					
	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]
1	214,4	145	239,6	26	227,4	-89	56,0	147	62988	-1	62804	-121	63373	120
16	54,7	-161	54,4	-31	62,1	84	56,1	-126	3630	-31	3591	-151	3589	90
2	56,9	-93	55,8	27	56,1	147	56,0	147	12540	-1	12479	-121	12672	120
3	55,4	44	55,2	-76	56,3	164	55,9	45	12406	-2	12349	-122	12538	119
4	54,6	43	54,5	-77	55,4	163	55,9	45	12257	-4	12191	-124	12408	118
5	54,7	122	54,6	3	55,4	-118	55,9	125	12250	-4	12184	-124	12401	118
6	40,0	124	39,3	4	56,3	-116	55,9	125	8491	-3	8601	-120	12548	120
7	24,8	146	23,5	26	56,5	-91	56,3	151	4418	-8	4779	-117	12532	120
8	3,5	127	2,0	2	56,0	-91	56,3	151	673	-92	673	-92	13267	120
9	3,0	105	2,1	-37	54,9	-119	55,4	123	637	-96	641	-97	13252	119
10	2,8	105	2,2	-43	54,9	-120	55,4	123	603	-101	613	-102	13238	118
11	2,8	93	2,3	-44	55,0	-122	55,5	121	600	-105	612	-105	13223	118
12	3,0	95	2,2	-40	54,7	-121	55,5	121	653	-95	650	-94	13211	120
13	2,8	9	2,3	-36	54,7	146	55,8	28	634	-97	626	-96	13154	120
14	39,4	26	38,6	-93	55,5	147	55,8	28	8390	-3	8503	-121	12447	120
15	38,9	150	38,2	29	54,9	-90	55,9	152	8287	-4	8404	-121	12344	119

Tabuľka 8 Namerané hodnoty prúdu pri dvojfázovom skrate

zapoj.	Model						referenčný uzol		NetCalc						
	la [mA]	φ_{La} [°]	lb [mA]	φ_{lb} [°]	lc [mA]	φ_{lc} [°]	la [mA]	φ_{La} [°]	la [A]	φ_{La} [°]	lb [A]	φ_{lb} [°]	lc [A]	φ_{lc} [°]	
1-1	1127,8	107,4	1167,5	-23,7	405,4	-131,8	3668	102,9	104,8	159,8	112,4	25,5	35,1	80,0	
2-2	4046,6	107,4	4375,7	-15,3	723,2	-79,4	3668	102,9	602,3	-34,4	669,5	-165,7	140,7	-41,2	
4-5	z	291,4	69,1	290,5	-50,8	292,1	-171,1	3647	5,8	32,3	60,7	32,4	-59,7	32,1	179,5
	k	90,8	32,9	88,7	-85,3	91,3	152,6	3647	5,8	15,2	178,5	15,3	58,1	15,2	-62,3
10-11	z	47,7	-85,7	53,7	-106,9	197,8	139,4	3646	-66,5	73,4	51,0	62,3	-79,3	38,0	152,7
	k	53,4	-94,5	46,8	-105,5	100,6	80,3	3646	-66,5	42,4	-176,3	43,1	43,9	27,9	-66,7
2-3	z	295,5	158,8	300,8	39,5	299,1	-78,9	3684	98,4	48,9	35,1	49,2	-85,5	48,8	154,0
	k	297,8	158,4	298,4	39,0	296,9	-80,0	3684	98,4	48,8	-145,1	49,1	94,4	48,7	-26,2
2-6	z	3818,0	21,4	4168,0	-101,3	427,3	-166,8	3675	17,8	620,7	149,8	678,9	18,4	93,8	131,3
	k	3824,0	19,9	4149,0	-101,2	435,6	-169,9	3675	17,8	620,6	-30,2	678,8	-161,6	93,8	-48,9
6-7	z	3793,1	123,9	4152,9	0,7	307,2	-52,6	3705	123,4	645,8	151,3	703,1	19,8	69,5	135,9
	k	3891,5	124,1	4246,7	1,6	424,4	-66,0	3705	123,4	645,7	-28,7	702,9	-160,1	69,5	-44,2
8-9	z	48,8	95,3	53,6	-27,5	199,1	-70,8	3653	95,2	73,6	51,3	62,7	-79,3	38,4	153,0
	k	48,8	75,2	53,6	53,8	199,1	-58,8	3653	95,2	73,4	-128,9	62,5	100,5	38,3	-27,2
9-10	z	43,7	73,0	53,0	54,5	159,7	-60,4	3649	93,9	73,6	51,1	62,6	-79,3	38,0	152,8
	k	48,9	74,4	53,1	54,6	196,2	-60,9	3649	93,9	73,3	-129,1	62,4	100,5	37,9	-27,4
3-4	z	289,5	64,3	293,9	-56,0	294,3	-176,9	3668	0,8	48,7	35,0	49,0	-85,7	48,7	153,8
	k	290,5	62,8	290,9	-55,6	292,8	-176,5	3668	0,8	48,6	-145,2	48,9	94,2	48,6	-26,4
7-8	z	3789,4	124,4	4146,8	1,6	304,6	-51,9	3686	124,2	667,1	152,2	725,9	20,9	54,4	139,8
	k	3730,2	124,1	4113,6	1,1	246,8	-42,3	3686	124,2	667,0	-27,8	725,7	-159,1	54,3	-40,3
8-12	z	33,8	-169,7	27,5	164,9	64,6	0,5	3706	-153,6	26,3	8,6	26,1	-133,6	18,2	115,4
	k	33,3	-178,3	29,2	169,7	63,5	-3,4	3706	-153,6	26,2	-172,1	26,1	45,7	18,2	-65,1
12-13	z	32,9	94,1	28,8	82,7	62,9	-89,6	3690	119,8	26,1	8,1	26,0	-134,5	18,2	114,9
	k	33,2	91,9	28,9	82,1	61,9	-91,8	3690	119,8	26,1	-172,7	26,1	44,8	18,2	-65,6
6-14	z	111,6	139,8	109,3	32,2	132,9	-93,3	3651	115,2	29,3	4,2	29,3	-126,2	25,8	117,8
	k	110,9	137,3	108,8	31,8	131,9	-94,7	3651	115,2	29,3	-176,3	29,3	53,4	25,8	-62,5
14-15	z	110,2	-54,9	108,0	-162,4	131,3	72,1	3637	-78,8	29,3	3,7	29,3	-126,6	25,8	117,5
	k	110,2	-56,8	107,5	-162,8	130,7	70,8	3637	-78,8	29,3	-176,7	29,3	53,0	25,8	-62,9
5-5		90,8	32,9	88,7	-85,3	91,3	152,6	3647	5,8	15,2	-1,5	15,3	-121,9	15,2	117,7
7-7		53,2	146,0	49,4	62,6	76,1	-74,1	3707	136,3	22,7	4,6	22,9	-131,0	17,2	116,1
13-13		33,2	91,9	28,9	82,1	61,9	-91,8	3690	119,8	26,4	6,3	26,7	-134,6	17,8	114,9
4-4		145,6	164,8	145,7	45,0	146,5	-74,9	3707	136,3	24,2	-1,1	24,5	-121,5	24,2	118,1
11-11		53,4	-94,5	46,8	-105,5	100,6	80,3	3646	-66,5	42,1	4,4	42,6	-136,5	28,3	113,0
15-15		110,2	-56,8	107,5	-162,8	130,7	70,8	3637	-78,8	29,6	2,6	29,8	-126,8	25,4	117,5

Tabuľka 9 Namerané hodnoty napätia pri trojfázovom skrate

uzol	Model						referenčný uzol		NetCalc					
	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]
1	213,7	150,8	239,8	32,0	227,1	-82,7	55,9	153,3	62902	-1	62929	-121	62913	119
16	54,8	74,3	54,0	-155,2	62,2	-39,8	56,1	109,7	3592	-31	3592	-151	3595	89
2	56,3	86,4	55,8	33,8	55,9	153,3	55,9	153,3	12511	-2	12520	-121	12514	118
3	55,6	-41,0	55,6	-160,7	55,8	79,1	56,0	-39,9	12380	-2	12389	-122	12382	117
4	54,8	-42,4	54,9	-162,1	54,6	77,6	56,0	-39,9	12233	-4	12228	-124	12252	117
5	54,7	165,3	54,7	45,6	54,8	-74,6	55,9	168,2	12226	-4	12221	-124	12246	116
6	39,9	166,5	39,4	47,4	40,1	-73,4	55,9	168,2	8523	-2	8531	-122	8226	118
7	24,4	104,6	23,6	-14,6	24,5	-135,7	56,3	109,1	4476	-2	4580	-123	3944	118
8	3,8	90,3	2,0	-37,3	2,0	-153,5	56,3	109,1	28	60	28	60	28	60
9	3,7	100,5	1,9	-26,3	2,1	-138,1	55,4	119,9	27	58	27	58	27	58
10	3,7	99,6	1,9	-27,5	2,1	-139,5	55,4	119,9	26	53	26	54	26	53
11	3,7	-96,2	1,9	141,3	2,1	27,4	55,6	-69,3	26	49	26	50	26	49
12	3,7	-95,0	1,9	142,6	2,1	29,0	55,6	-69,3	29	65	29	65	29	65
13	3,7	-157,9	1,9	80,2	2,1	-44,9	55,6	-132,8	31	70	30	70	30	71
14	39,2	-135,0	38,6	105,9	39,3	-15,0	55,6	-132,8	8436	-2	8438	-122	8157	118
15	38,9	-34,7	38,3	106,2	38,8	-14,7	55,8	-132,2	8348	-2	8345	-123	8085	118

Tabuľka 10 Namerané hodnoty prúdu pri trojfázovom skrate

zapoj.	Model						referenčný uzol		NetCalc						
	la [mA]	φ_{La} [°]	lb [mA]	φ_{Lb} [°]	lc [mA]	φ_{Lc} [°]	la [mA]	φ_{La} [°]	la [A]	φ_{La} [°]	lb [A]	φ_{Lb} [°]	lc [A]	φ_{Lc} [°]	
1-1	1216,3	-17,8	1232,5	-136,1	1309,5	107,6	4011	-17,1	115,9	154,8	110,2	35,9	119,1	-83,7	
2-2	4291,2	-12,0	4315,2	-132,1	4178,5	112,2	4011	-17,1	667,6	-37,5	637,5	-157,3	678,4	84,0	
4-5	z	290,1	-168,7	287,9	71,1	287,4	-49,1	3970	127,1	32,4	60,6	32,4	-59,4	32,4	-179,1
	k	90,1	155,5	88,9	36,3	90,1	-84,7	3970	127,1	15,3	178,5	15,3	58,5	15,3	-61,3
10-11	z	14,7	170,1	7,5	33,6	10,0	-77,3	3971	109,5	70,7	43,7	71,4	-76,2	70,8	164,5
	k	8,8	109,1	6,3	-23,1	6,6	-114,8	3971	109,5	46,1	173,7	46,3	54,3	45,6	-65,5
2-3	z	296,1	-158,4	300,4	82,3	299,4	-38,7	4030	140,0	49,2	34,9	49,1	-85,1	49,1	155,2
	k	298,5	-158,6	298,0	81,9	297,0	-39,5	4030	140,0	49,1	-145,2	49,0	94,8	49,0	-25,0
2-6	z	4099,7	-65,8	4156,5	173,2	4036,0	54,6	4020	-67,8	683,5	146,5	653,7	26,8	696,9	-92,1
	k	4101,0	-66,2	4129,0	172,9	4072,0	54,4	4020	-67,8	683,4	-33,5	653,6	-153,2	696,7	87,9
6-7	z	4039,9	81,5	4074,9	-38,3	3953,4	-156,7	4308	80,7	710,0	147,8	679,6	28,3	723,4	-90,9
	k	4117,6	82,1	4169,9	-37,6	4078,0	-156,4	4308	80,7	709,9	-32,2	679,5	-151,7	723,3	89,2
8-9	z	15,1	92,0	6,9	-28,0	10,4	-146,6	3985	91,3	71,3	44,3	71,6	-76,0	71,4	164,7
	k	15,1	152,7	6,9	11,8	10,4	-88,4	3985	91,3	71,0	-135,9	71,4	103,9	71,2	-15,5
9-10	z	10,8	-22,3	7,3	-177,7	8,4	67,4	3983	-97,4	71,1	43,9	71,5	-76,0	71,0	164,6
	k	15,2	-36,7	6,9	-174,3	10,2	74,8	3983	-97,4	70,8	-136,3	71,3	103,9	70,7	-15,6
3-4	z	290,9	-96,8	294,0	142,9	292,0	21,9	3993	-161,0	49,1	34,8	49,0	-85,3	49,1	155,0
	k	291,7	-98,3	291,0	143,4	290,5	22,2	3993	-161,0	49,0	-145,4	48,9	94,6	49,0	-25,2
7-8	z	4040,8	-159,5	4075,4	79,9	3955,6	-37,8	4020	-160,4	731,8	148,6	702,5	29,4	742,9	-89,9
	k	3996,4	-159,8	4045,5	79,8	3981,1	-38,1	4020	-160,4	731,7	-31,4	702,4	-150,6	742,8	90,1
8-12	z	8,4	112,1	6,2	-53,0	4,5	-109,2	4044	81,5	28,9	-1,8	28,5	-123,1	29,3	117,1
	k	5,8	91,5	3,7	-54,5	4,4	-141,2	4044	81,5	28,9	177,5	28,5	56,3	29,3	-63,5
12-13	z	5,3	135,5	3,9	-2,5	4,4	-100,9	4024	124,9	28,9	-2,4	28,5	-123,8	29,3	116,5
	k	5,4	128,2	3,9	-0,3	4,1	-103,5	4024	124,9	28,9	176,9	28,5	55,6	29,3	-64,2
6-14	z	103,9	127,4	101,9	7,7	104,9	-112,4	3980	96,2	30,9	-0,5	30,5	-120,9	31,5	118,9
	k	102,7	125,1	101,7	7,2	104,0	-113,6	3980	96,2	30,9	179,1	30,5	58,7	31,5	-61,6
14-15	z	102,2	139,3	101,0	19,7	104,0	-100,4	3984	109,2	30,9	-0,9	30,5	-121,3	31,5	118,5
	k	102,1	137,4	100,5	19,2	103,6	-101,7	3984	109,2	30,9	178,7	30,5	58,3	31,5	-61,9
5-5	90,1	155,5	88,9	36,3	90,1	-84,7	3970	127,1	15,3	-1,5	15,3	-121,5	15,3	118,7	
7-7	40,2	179,1	39,2	61,5	40,8	-59,9	4030	153,0	24,2	-3,2	24,2	-122,2	24,6	117,5	
13-13	5,4	128,2	3,9	-0,3	4,1	-103,5	4024	124,9	28,9	-4,0	28,8	-124,0	28,9	116,2	
4-4	144,7	-177,3	144,3	62,6	145,0	-57,2	4030	153,0	24,4	-1,1	24,3	-121,1	24,4	119,1	
11-11	8,8	109,1	6,3	-23,1	6,6	-114,8	3971	109,5	46,1	-5,8	46,0	-125,9	46,0	114,3	
15-15	102,1	137,4	100,5	19,2	103,6	-101,7	3984	109,2	30,9	-2,1	30,8	-121,4	31,2	118,4	

Prevádzkový stav

Tabuľka 11: Výstupné hodnoty merania prúdu v prevádzkovom stave a ich porovnanie

zapoj.	NetCalc						Model						absolutna odchylka						relativna odchylka					
	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc	la	lb	lc
	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1-1	32,4	32,3	32,3	37,5	44,2	56,1	5,13	11,88	23,81	16%	37%	74%												
2-2	129,1	128,9	128,9	124,2	127,7	130,5	4,93	1,24	1,54															
z	32,0	32,0	32,0	31,3	31,3	31,1	0,73	0,72	0,97															
k	15,1	15,1	15,1	14,7	14,7	14,8	0,44	0,41	0,34															
z	35,5	35,5	35,5	34,8	34,8	34,8	0,72	0,70	0,69															
k	23,1	23,0	23,0	22,6	22,6	22,8	0,42	0,35	0,22															
z	48,5	48,5	48,5	48,3	48,3	48,3	0,23	0,21	0,24															
k	48,5	48,4	48,4	47,8	47,8	47,7	0,64	0,58	0,77															
z	81,9	81,8	81,8	83,0	82,9	83,2	1,17	1,12	1,45															
k	81,8	81,7	81,7	82,2	82,6	83,0	0,42	0,86	1,34															
z	59,9	59,8	59,7	60,1	60,1	60,2	0,26	0,35	0,48															
k	59,8	59,7	59,7	59,7	59,6	60,1	0,05	0,11	0,40															
z	35,8	35,7	35,7	35,4	35,4	35,2	0,41	0,32	0,50															
k	35,6	35,6	35,6	35,4	35,4	35,2	0,29	0,20	0,38															
z	35,6	35,6	35,6	35,4	35,4	35,2	0,29	0,20	0,38															
k	35,5	35,5	35,5	34,9	34,9	34,7	0,58	0,56	0,74															
z	48,5	48,4	48,4	47,7	47,6	47,4	0,77	0,80	1,08															
k	48,4	48,3	48,3	47,1	47,2	47,1	1,25	1,12	1,20															
z	46,9	46,9	46,9	46,8	47,1	47,0	0,16	0,26	0,16															
k	46,8	46,8	46,8	47,0	46,7	46,6	0,11	0,07	0,14															
z	14,5	14,4	14,4	14,2	14,3	14,4	0,25	0,15	0,10															
k	14,5	14,4	14,4	14,1	14,1	14,1	0,39	0,29	0,32															
z	14,5	14,4	14,4	14,1	14,1	14,2	0,37	0,31	0,29															
k	14,5	14,4	14,4	14,0	14,0	14,0	0,48	0,45	0,48															
z	23,5	23,5	23,5	23,1	23,0	23,3	0,46	0,52	0,26															
k	23,5	23,5	23,5	22,9	22,8	23,0	0,65	0,67	0,48															
z	23,5	23,5	23,5	22,9	22,8	23,0	0,65	0,68	0,50															
k	23,5	23,5	23,5	22,8	22,6	22,8	0,78	0,89	0,72															
z	15,1	15,1	15,1	14,8	14,7	14,8	0,36	0,40	0,26															
k	14,8	14,8	14,8	14,5	14,4	14,6	0,31	0,36	0,21															
z	14,5	14,4	14,4	14,0	14,0	14,0	0,45	0,43	0,43															
k	24,1	24,0	24,1	23,5	23,5	23,5	0,57	0,52	0,58															
z	23,1	23,0	23,0	22,7	22,7	22,8	0,40	0,32	0,21															
k	23,5	23,5	23,5	22,8	22,7	22,9	0,76	0,76	0,58															

Tabuľka 12: Výstupné hodnoty merania napätia v prevádzkovom stave a ich porovnanie

uzol	NetCalc			Model			absolutna odchylka			relativny odch.		
	Uab [kV]	Ubc [kV]	Uac [kV]	Uab [kV]	Ubc [kV]	Uac [kV]	Uab [V]	Ubc [V]	Uac [V]	Uab [%]	Ubc [%]	Uac [%]
1	109,75	109,75	109,75	104,24	113,20	105,34	5 516	3 450	4 414	5%	3%	4%
16	6,28	6,28	6,28	3,90	7,44	7,19	2 380	1 162	911	38%	18%	14%
2	21,94	21,94	21,94	21,61	21,57	21,68	337	376	261	2%	2%	1%
3	21,72	21,71	21,71	21,38	21,30	21,45	338	410	258	2%	2%	1%
4	21,45	21,43	21,49	21,11	21,07	21,11	341	360	377	2%	2%	2%
5	21,44	21,42	21,48	21,07	21,11	21,19	367	309	290	2%	1%	1%
6	21,41	21,38	21,39	21,03	20,96	21,15	372	425	241	2%	2%	1%
7	21,05	21,02	21,02	20,77	20,73	20,84	285	291	179	1%	1%	1%
8	20,79	20,75	20,80	20,50	20,42	20,46	294	324	342	1%	1%	2%
9	20,69	20,64	20,70	20,23	20,20	20,35	460	449	353	2%	2%	2%
10	20,60	20,54	20,60	20,20	20,16	20,27	403	386	328	2%	2%	1%
11	20,54	20,49	20,54	20,16	20,16	20,16	385	329	386	2%	1%	2%
12	20,66	20,62	20,68	20,12	20,08	20,16	540	536	525	2%	2%	2%
13	20,52	20,49	20,56	19,97	19,97	19,97	554	519	594	3%	2%	3%
14	21,18	21,17	21,19	20,81	20,81	20,92	377	363	273	2%	2%	1%
15	20,96	20,95	20,99	20,88	20,54	20,58	74	413	416	0%	2%	2%

Zemné spojenie

Tabuľka 13: Výstupné hodnoty merania napätia pri zemnom spojení a ich porovnanie

č-uzlu	NetCalc						Model						absolutna odchýlka						relatívna odch.		
	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [%]	Ubc [%]	Uac [%]
1	63,33	0	63,40	-120	63,41	120	57,41	7	68,69	-109	61,08	138	-5913	-7	5298	-11	-2335	-18	5%	5%	2%
16	3,63	-30	3,63	-150	3,63	90	3,67	-35	2,80	114	4,52	-133	39	5	-827	-264	892	222	1%	13%	14%
2	1,16	40	20,81	-151	21,60	147	1,49	40	19,95	-138	20,80	158	338	1	-867	-13	-803	-12	23%	4%	4%
3	0,95	46	20,82	-152	21,53	146	1,31	40	19,99	-140	20,78	157	362	6	-825	-12	-752	-11	28%	4%	3%
4	0,73	55	20,85	-153	21,50	146	1,07	42	19,99	-141	20,63	156	337	13	-853	-12	-870	-11	31%	4%	4%
5	0,68	56	20,89	-154	21,51	146	1,00	41	19,97	-141	20,54	157	329	15	-929	-13	-965	-11	33%	4%	4%
6	0,69	43	20,68	-152	21,32	146	0,95	40	19,80	-140	20,47	158	264	3	-878	-13	-842	-11	28%	4%	4%
7	0,32	47	20,62	-154	21,15	146	0,53	63	19,86	-142	20,37	156	207	-16	-758	-12	-783	-11	39%	3%	4%
8	0,00	72	20,64	-155	21,12	145	0,07	77	19,85	-143	20,22	156	75	-6	-788	-12	-895	-10	100%	4%	4%
9	0,16	-172	20,70	-156	21,13	145	0,19	-145	19,88	-144	20,14	156	27	-27	-820	-12	-989	-11	14%	4%	4%
10	0,33	-172	20,76	-157	21,14	144	0,32	-147	19,97	-145	20,16	155	-4	-25	-791	-12	-987	-11	1%	4%	4%
11	0,41	-166	20,80	-157	21,12	144	0,42	-153	20,03	-146	20,20	154	3	-14	-771	-12	-913	-10	1%	4%	4%
12	0,08	-163	20,59	-155	21,04	145	0,29	-157	19,87	-145	20,11	155	207	-6	-723	-11	-938	-10	71%	3%	4%
13	0,17	-163	20,53	-155	20,97	145	0,38	-154	19,87	-144	20,05	155	213	-9	-661	-11	-920	-10	56%	3%	4%
14	0,57	49	20,59	-153	21,20	146	0,80	41	19,87	-140	20,46	157	236	7	-726	-12	-738	-11	29%	3%	3%
15	0,45	57	20,50	-153	21,08	146	0,65	62	19,74	-121	20,23	177	198	-5	-762	-32	-854	-31	31%	3%	4%

Tabuľka 14: Výstupné hodnoty merania prúdu pri zemnom spojení a ich porovnanie

zapoj.	NetCalc												Model												absolutna odchýlka						relativna odch.		
	la			lb			lc			φ_{la}			φ_{lb}			φ_{lc}			la	lb	lc	φ_{la}	φ_{lb}	φ_{lc}	la	lb	lc						
	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[A]	[A]	[°]	[%]	[%]	[%]	
1-1	38,5	-45	38,4	-147	21,2	76	33,3	159	30,4	40	31,1	-77	5,2	-204	8,0	-187	-9,9	152	13%	21%	47%												
2-2	136,4	-171	184,9	83	111,9	-11	134,9	-170	180,1	93	112,8	-3	1,5	-1	4,8	-10	-0,9	-8	1%	3%	1%												
z	13,6	2	56,5	-77	44,0	-142	15,4	-157	54,2	120	41,2	53	-1,8	160	2,3	-197	2,8	-195	13%	4%	6%												
k	15,1	177	15,1	57	15,1	-63	14,9	-171	14,6	69	14,9	-51	0,3	348	0,5	-12	0,2	-11	2%	3%	1%												
10-z	23,2	-10	61,8	-86	41,6	-155	22,7	171	59,8	94	38,9	23	0,6	-181	2,1	-180	2,6	-178	2%	3%	6%												
11 k	23,0	172	22,7	54	23,3	-66	22,1	177	22,2	58	22,7	-63	0,9	-4	0,4	-4	0,6	-4	4%	2%	2%												
z	37,7	-1	75,8	-90	46,8	-173	37,7	-166	73,4	102	45,7	16	0,0	166	2,4	-192	1,1	-189	0%	3%	2%												
k	37,7	179	75,6	90	46,6	7	36,2	-172	74,0	97	43,7	11	1,5	352	1,5	-7	2,9	-4	4%	2%	6%												
z	99,5	13	110,1	-102	69,1	156	96,5	-175	103,6	82	70,7	-21	3,0	188	6,4	-184	-1,5	177	3%	6%	2%												
k	99,5	-167	109,8	78	69,1	-24	97,7	-170	108,3	89	70,6	-14	1,8	3	1,6	-11	-1,5	-10	2%	1%	2%												
z	77,1	18	87,8	-97	52,4	172	76,8	-171	83,9	93	53,8	-1	0,4	188	4,0	-190	-1,4	172	0%	4%	3%												
k	77,1	-162	87,6	83	52,2	-9	74,8	179	86,0	79	52,4	-15	2,3	-342	1,6	4	-0,1	6	3%	2%	0%												
z	23,2	-10	62,3	-85	42,1	-155	22,7	-176	60,2	98	42,7	14	0,5	166	2,1	-183	-0,6	-169	2%	3%	2%												
k	23,2	170	62,1	95	41,8	25	22,7	166	60,2	88	39,6	16	0,5	5	1,9	7	2,2	9	2%	3%	5%												
z	23,2	-10	62,1	-85	41,8	-155	22,7	166	60,2	88	39,6	16	0,5	-175	1,9	-173	2,2	-171	2%	3%	5%												
k	23,2	170	61,8	95	41,6	25	22,6	176	59,7	96	38,9	25	0,6	-6	2,1	-2	2,7	0	3%	3%	6%												
z	37,7	-1	75,6	-90	46,6	-173	36,2	96	74,0	5	43,7	-80	1,5	-97	1,5	-95	2,9	-93	4%	2%	6%												
k	37,7	179	75,3	90	46,4	7	37,9	-176	72,5	93	44,7	7	-0,2	356	2,8	-3	1,7	0	0%	4%	4%												
z	63,6	23	74,7	-92	45,2	-173	59,2	-172	74,6	97	42,6	13	4,4	195	0,1	-189	2,6	-186	7%	0%	6%												
k	63,6	-157	74,4	88	45,0	7	61,4	-173	72,6	91	44,5	7	2,2	16	1,8	-3	0,5	-1	3%	2%	1%												
z	14,4	-6	14,5	-122	14,4	118	13,7	178	14,6	60	14,3	-58	0,7	-184	-0,1	-183	0,0	176	5%	0%	0%												
k	14,4	174	14,4	57	14,5	-63	13,8	180	14,2	61	14,1	-59	0,7	-5	0,2	-4	0,4	-5	5%	1%	3%												
z	14,4	-6	14,4	-123	14,5	117	13,8	180	14,2	61	14,1	-59	0,7	-185	0,2	-184	0,4	175	5%	1%	3%												
k	14,4	174	14,2	56	14,6	-64	13,8	-171	13,8	70	14,0	-51	0,7	345	0,5	-14	0,6	-14	5%	3%	4%												
z	23,5	-3	23,7	-121	23,3	119	22,8	-179	23,3	62	23,2	-56	0,7	176	0,4	-183	0,1	176	3%	2%	1%												
k	23,5	177	23,5	59	23,5	-61	22,6	-175	22,8	66	23,0	-53	0,9	352	0,7	-8	0,5	-8	4%	3%	2%												
z	23,5	-3	23,5	-122	23,5	119	22,6	-175	22,8	66	23,0	-53	0,9	172	0,7	-188	0,5	172	4%	3%	2%												
k	23,5	177	23,4	58	23,6	-62	22,8	0	22,8	-119	22,9	121	0,7	178	0,5	177	0,7	-183	3%	2%	3%												
z	15,1	-3	15,1	-123	15,1	117	14,9	-171	14,6	69	14,9	-51	0,3	168	0,5	-192	0,2	169	2%	3%	1%												
k	14,8	-4	14,7	-123	14,9	117	14,4	-165	14,3	75	14,5	-45	0,4	162	0,3	-198	0,4	162	3%	2%	2%												
z	14,4	-6	14,2	-124	14,6	116	13,8	-171	13,8	70	14,0	-51	0,7	165	0,5	-194	0,6	166	5%	3%	4%												
k	24,1	-2	24,0	-122	24,1	118	23,6	-169	22,7	71	24,0	-49	0,6	167	1,4	-193	0,1	167	2%	6%	0%												
z	23,0	-8	22,7	-126	23,3	114	22,1	177	22,2	58	22,7	-63	0,9	-184	0,4	-184	0,6	176	4%	2%	2%												
k	23,5	-3	23,4	-122	23,6	118	22,8	0	22,8	-119	22,9	121	0,7	-2	0,5	-3	0,7	-3	3%	2%	3%												

Jednofázový skrat

Tabuľka 15 : Tabuľka 16: Výstupné hodnoty merania napätia pri jednofázovom skrate a ich porovnanie

č-uzlu	NetCalc						Model						absolutna odchýlka						relativna odch.		
	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [%]	Ubc [%]	Uac [%]
1	62,91	-1	63,39	-120	63,35	120	58,84	-4	66,03	-123	62,47	122	-4073	3	2646	3	-880	-2	-4%	2%	-1%
16	3,63	-31	3,59	-150	3,63	90	3,45	-2	3,41	-96	3,89	148	-180	-28	-180	-55	264	-59	-3%	-3%	4%
2	12,51	-1	12,68	-120	12,66	120	12,43	-1	12,29	-114	12,51	119	-86	0	-382	-7	-152	1	1%	1%	0%
3	12,38	-2	12,55	-121	12,53	119	12,17	-2	12,30	-123	12,39	118	-210	0	-248	1	-141	1	2%	1%	0%
4	12,24	-3	12,39	-122	12,39	118	12,00	-4	12,14	-124	12,18	116	-231	0	-243	2	-211	2	2%	1%	1%
5	12,23	-4	12,38	-123	12,39	118	12,01	-4	12,17	-124	12,19	116	-215	0	-207	2	-196	2	2%	1%	1%
6	8,69	-3	12,77	-122	12,17	121	8,79	-3	12,36	-123	12,14	118	104	0	-403	2	-31	2	1%	1%	0%
7	4,84	-5	12,97	-123	11,79	121	5,41	-6	12,40	-125	11,87	118	569	1	-564	2	79	3	11%	1%	0%
8	0,78	-28	13,18	-124	11,54	122	0,76	-23	12,44	-127	11,50	119	-21	-5	-739	2	-39	3	3%	2%	0%
9	0,74	-33	13,17	-125	11,49	122	0,72	-36	12,11	-128	11,31	118	-19	3	-1061	2	-182	3	3%	3%	0%
10	0,71	-37	13,16	-126	11,44	121	0,69	-40	12,32	-129	11,28	118	-18	3	-846	2	-167	4	3%	2%	0%
11	0,70	-41	13,16	-127	11,40	121	0,67	-36	12,34	-130	11,27	117	-27	-4	-829	3	-129	4	4%	2%	0%
12	0,76	-30	13,12	-125	11,47	122	0,69	-31	12,26	-128	11,24	118	-76	1	-860	4	-228	5	11%	2%	1%
13	0,74	-33	13,06	-125	11,41	122	0,68	-41	12,23	-128	11,18	118	-67	9	-831	4	-235	4	10%	2%	1%
14	8,59	-3	12,64	-122	12,07	120	8,65	-4	12,17	-124	11,95	118	67	1	-471	2	-118	3	1%	1%	0%
15	8,49	-3	12,52	-122	11,96	120	8,50	-4	11,99	-124	11,74	118	15	1	-527	2	-213	3	0%	1%	1%

Tabuľka 17: Výstupné hodnoty merania prúdu pri jednofázovom skrate a ich porovnanie

zapoj.	NetCalc						Model						absolutna odchýlka						relatívna odch.		
	la	φ _{La}	lb	φ _{Lb}	Ic	φ _{Ic}	la	φ _{La}	lb	φ _{Lb}	Ic	φ _{Ic}	la	φ _{La}	lb	φ _{Lb}	Ic	φ _{Ic}	la	lb	Ic
	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]
1-1	100,6	-157	35,7	20	32,4	-90	102,0	51	33,9	1	48,9	-90	-1,4	-207	1,8	19	-16,5	0	1%	1%	10%
2-2	598,1	-82	129,8	18	147,0	-90	650,8	76	130,5	41	113,9	-90	-52,7	-158	-0,7	-23	33,1	0	33%	0%	21%
4-5	z	32,3	29	32,0	29	32,1	-90	46,7	29	47,0	30	46,7	-90	-14,4	0	-15,0	-1	-14,5	0	9%	9%
k	15,2	30	15,2	29	15,0	-90	14,6	30	14,5	32	14,6	-90	0,6	0	0,7	-2	0,5	0	0%	0%	0%
10-11	z	63,0	24	31,8	15	45,2	-90	10,0	69	39,1	39	25,9	-90	53,0	-7,2	-24	19,3	0	33%	5%	12%
k	36,6	44	27,3	5	27,3	-90	9,2	12	19,9	64	19,7	-90	27,4	32	7,3	-59	7,6	0	17%	5%	5%
2-3	z	48,9	30	48,7	29	48,6	-90	48,1	33	48,3	30	47,9	-90	0,8	0,4	-1	0,7	0	1%	0%	0%
k	48,8	30	48,6	29	48,5	-90	47,8	31	47,8	32	47,3	-90	1,0	-2	0,8	-3	1,2	0	1%	0%	1%
2-6	z	612,0	-90	85,1	11	98,5	-90	629,2	71	82,1	49	67,8	-90	-17,2	3,0	-38	30,7	0	11%	2%	19%
k	611,8	-90	85,1	11	98,4	-90	629,8	71	80,5	48	70,4	-90	-18,0	-161	4,6	-37	28,0	0	11%	3%	17%
6-7	z	634,6	-86	60,9	9	75,7	-90	613,3	78	62,5	52	45,8	-90	21,4	-1,6	-43	29,9	0	13%	1%	19%
k	634,5	-86	60,9	9	75,6	-90	629,8	70	81,4	157	68,4	-90	4,7	-156	-20,5	-148	7,2	0	3%	13%	4%
8-9	z	63,6	23	32,0	15	45,9	-90	10,2	87	39,6	49	26,6	-90	53,4	-7,6	-34	19,3	0	33%	5%	12%
k	63,3	23	31,9	15	45,7	-90	10,2	71	39,6	41	26,6	-90	53,1	-48	-7,7	-26	19,1	0	33%	5%	12%
9-10	z	63,3	23	32,0	15	45,5	-90	9,4	64	39,7	41	26,2	-90	53,9	-7,7	-26	19,3	0	34%	5%	12%
k	63,0	23	32,0	15	45,4	-90	10,1	68	39,4	42	26,1	-90	52,9	-45	-7,5	-26	19,3	0	33%	5%	12%
3-4	z	48,8	30	48,6	29	48,5	-90	46,9	29	47,8	31	47,3	-90	1,9	0,7	-2	1,2	0	1%	0%	1%
k	48,7	30	48,5	29	48,4	-90	47,0	31	47,3	31	47,0	-90	1,6	-1	1,2	-2	1,4	0	1%	1%	1%
7-8	z	651,5	-82	43,0	12	59,8	-90	611,5	77	62,0	52	45,7	-90	40,0	-18,9	-40	14,2	0	25%	12%	9%
k	651,4	-82	43,0	12	59,7	-90	602,1	87	50,3	50	34,5	-90	49,3	-169	-7,3	-38	25,2	0	31%	5%	16%
8-12	z	23,0	42	16,3	5	17,4	-90	5,7	-88	12,7	61	12,3	-90	17,2	3,6	-55	5,1	0	11%	2%	3%
k	23,0	42	16,3	5	17,3	-90	5,8	12	12,6	64	12,2	-90	17,2	30	3,7	-59	5,1	0	11%	2%	3%
12-13	z	23,0	42	16,2	5	17,3	-90	5,7	12	12,7	62	12,3	-90	17,3	3,6	-57	5,0	0	11%	2%	3%
k	23,0	42	16,3	5	17,2	-90	5,8	12	12,5	63	12,2	-90	17,2	30	3,8	-58	5,0	0	11%	2%	3%
6-14	z	27,9	34	24,1	22	24,9	-90	19,3	25	22,4	39	22,5	-90	8,6	1,8	-17	2,4	0	5%	1%	2%
k	27,9	34	24,1	22	24,9	-90	19,2	26	22,3	40	22,4	-90	8,6	8	1,8	-18	2,5	0	5%	1%	2%
14-15	z	27,9	34	24,1	22	24,9	-90	18,8	25	21,8	39	21,9	-90	9,0	2,3	-17	3,0	0	6%	1%	2%
k	27,9	34	24,1	22	24,9	-90	18,8	26	21,7	39	21,8	-90	9,1	8	2,5	-18	3,1	0	6%	2%	2%
5-5	z	15,2	30	15,2	29	15,0	-90	14,6	30	14,5	32	14,6	-90	0,6	0	-2	0,5	0	0%	0%	0%
7-7	z	20,3	39	16,3	13	16,5	-90	9,6	30	13,4	30	13,6	-90	10,8	9	-17	2,9	0	7%	2%	2%
13-13	z	23,0	43	16,8	5	17,2	-90	5,8	12	12,5	63	12,2	-90	17,2	3,1	-58	5,0	0	11%	3%	3%
4-4	z	24,3	30	24,2	29	24,0	-90	23,4	21	23,4	49	23,4	-90	0,9	9	0,8	-20	0,6	0	1%	0%
11-11	z	36,6	43	26,8	5	27,4	-90	9,2	12	19,9	64	19,7	-90	27,4	3,1	-59	7,7	0	17%	4%	5%
15-15	z	27,8	35	24,6	21	24,8	-90	18,8	26	21,7	39	21,8	-90	9,0	2,9	-18	3,0	0	6%	2%	2%

Dvojfázový skrat

Tabuľka 18: Výstupné hodnoty merania napätia pri dvojfázovom skrato a ich porovnanie

č-uzlu	NetCalc						Model						absolutna odchylka						relativna odch.		
	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [%]	Ubc [%]	Uac [%]
1	62,99	-1	62,80	-121	63,37	120	58,97	-4	65,89	-123	62,54	122	4019	3	-3088	2	838	-2	4%	-3%	1%
16	3,63	-31	3,59	-151	3,59	90	3,44	-37	3,42	94	3,91	-151	189	6	170	-245	-317	241	3%	3%	-5%
2	12,54	-1	12,48	-121	12,67	120	12,52	-2	12,28	-121	12,33	118	16	0	198	0	338	1	0%	2%	3%
3	12,41	-2	12,35	-122	12,54	119	12,18	-3	12,15	-122	12,39	117	222	0	204	0	148	2	2%	2%	1%
4	12,26	-4	12,19	-124	12,41	118	12,02	-4	11,99	-124	12,19	116	239	0	200	0	219	2	2%	2%	2%
5	12,25	-4	12,18	-124	12,40	118	12,02	-4	12,00	-124	12,19	115	227	0	182	0	215	2	2%	2%	2%
6	8,49	-3	8,60	-120	12,55	120	8,80	-3	8,64	-123	12,39	118	-314	0	-41	2	159	2	4%	0%	1%
7	4,42	-8	4,78	-117	12,53	120	5,45	-6	5,17	-126	12,43	117	-1031	-2	-395	9	99	3	19%	8%	1%
8	0,67	-92	0,67	-92	13,27	120	0,77	-25	0,45	-150	12,31	117	-97	-68	227	58	957	3	13%	51%	8%
9	0,64	-96	0,64	-97	13,25	119	0,67	-20	0,46	-161	12,07	116	-34	-77	180	64	1177	3	5%	39%	9%
10	0,60	-101	0,61	-102	13,24	118	0,63	-19	0,49	-167	12,08	116	-23	-82	123	65	1156	3	4%	25%	9%
11	0,60	-105	0,61	-105	13,22	118	0,61	-29	0,51	-167	12,09	115	-13	-76	98	61	1128	3	2%	19%	9%
12	0,65	-95	0,65	-94	13,21	120	0,65	-27	0,48	-162	12,03	116	0	-67	166	68	1179	3	0%	34%	9%
13	0,63	-97	0,63	-96	13,15	120	0,62	-21	0,50	-66	12,03	116	18	-77	123	-30	1122	4	3%	24%	9%
14	8,39	-3	8,50	-121	12,45	120	8,67	-3	8,49	-123	12,21	117	-278	0	16	3	239	3	3%	0%	2%
15	8,29	-4	8,40	-121	12,34	119	8,57	-4	8,41	-124	12,07	117	-279	0	-9	3	275	3	3%	0%	2%

Tabuľka 19: Výstupné hodnoty merania prúdu pri dvojfázovom skrate a ich porovnanie

zapoj.	NetCalc						Model						absolutna odchýlka						relativna odch.		
	la	φ _{la}	lb	φ _{lb}	lc	φ _{lc}	la	φ _{la}	lb	φ _{lb}	lc	φ _{lc}	la	φ _{la}	lb	φ _{lb}	lc	φ _{lc}	la	lb	lc
	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[A]	[°]	[%]	[%]	[%]
1-1	104,8	-10	112,4	-144	35,1	-90	180,4	149	186,8	18	64,9	-90	-75,7	-159	-74,4	-163	-29,8	0	47%	47%	19%
2-2	602,3	-83	669,5	145	140,7	-90	647,5	97	700,1	-26	115,7	-90	-45,1	-180	-30,6	171	25,0	0	28%	19%	16%
z	32,3	151	32,4	31	32,1	-90	46,6	150	46,5	30	46,7	-90	-14,3	1	-14,1	1	-14,6	0	9%	9%	9%
k	15,2	151	15,3	30	15,2	-90	14,5	150	14,2	32	14,6	-90	0,6	1	1,1	-2	0,5	0	0%	1%	0%
z	73,4	168	62,3	38	38,0	-90	7,6	45	8,6	24	31,6	-90	65,8	123	53,7	14	6,3	0	41%	34%	4%
k	42,4	160	43,1	21	27,9	-90	8,5	95	7,5	84	16,1	-90	33,8	65	35,6	-64	11,8	0	21%	22%	7%
z	48,9	151	49,2	31	48,8	-90	47,3	148	48,1	28	47,8	-90	1,6	3	1,0	2	0,9	0	1%	1%	1%
k	48,8	151	49,1	31	48,7	-90	47,7	148	47,7	29	47,5	-90	1,1	3	1,3	2	1,2	0	1%	1%	1%
z	620,7	-71	678,9	157	93,8	-90	610,9	98	666,9	-25	68,4	-90	9,8	-170	12,1	182	25,4	0	6%	8%	16%
k	620,6	-71	678,8	157	93,8	-90	611,8	100	663,8	-21	69,7	-90	8,8	-171	15,0	179	24,1	0	5%	9%	15%
z	645,8	-75	703,1	154	69,5	-90	606,9	87	664,5	-37	49,1	-90	38,9	-161	38,6	191	20,4	0	24%	24%	13%
k	645,7	-75	702,9	154	69,5	-90	622,6	100	679,5	-22	67,9	-90	23,0	-175	23,5	176	1,6	0	14%	15%	1%
z	73,6	168	62,7	38	38,4	-90	7,8	76	8,6	-47	31,9	-90	65,8	92	54,1	85	6,5	0	41%	34%	4%
k	73,4	168	62,5	38	38,3	-90	7,8	44	8,6	23	31,9	-90	65,6	124	53,9	15	6,4	0	41%	34%	4%
z	73,6	168	62,6	38	38,0	-90	7,0	43	8,5	25	25,6	-90	66,6	125	54,1	13	12,5	0	42%	34%	8%
k	73,3	168	62,4	38	37,9	-90	7,8	45	8,5	26	31,4	-90	65,5	123	53,9	12	6,6	0	41%	34%	4%
z	48,7	151	49,0	31	48,7	-90	46,3	151	47,0	31	47,1	-90	2,4	0	2,0	0	1,6	0	1%	1%	1%
k	48,6	151	48,9	31	48,6	-90	46,5	149	46,5	31	46,8	-90	2,1	2	2,4	0	1,8	0	1%	1%	1%
z	667,1	-78	725,9	151	54,4	-90	606,3	86	663,5	-36	48,7	-90	60,8	-164	62,4	188	5,6	0	38%	39%	4%
k	667,0	-77	725,7	151	54,3	-90	596,8	76	658,2	-47	39,5	-90	70,2	-154	67,6	198	14,8	0	44%	42%	9%
z	26,3	163	26,1	21	18,2	-90	5,4	100	4,4	74	10,3	-90	20,8	64	21,7	-53	7,8	0	13%	14%	5%
k	26,2	163	26,1	21	18,2	-90	5,3	95	4,7	83	10,2	-90	20,9	68	21,5	-62	8,0	0	13%	13%	5%
z	26,1	163	26,0	21	18,2	-90	5,3	94	4,6	82	10,1	-90	20,8	69	21,4	-62	8,1	0	13%	13%	5%
k	26,1	163	26,1	20	18,2	-90	5,3	94	4,6	84	9,9	-90	20,7	69	21,5	-64	8,3	0	13%	13%	5%
z	29,3	156	29,3	26	25,8	-90	17,9	143	17,5	35	21,3	-90	11,5	13	11,8	-9	4,5	0	7%	7%	3%
k	29,3	156	29,3	26	25,8	-90	17,7	142	17,4	36	21,1	-90	11,6	14	11,9	-11	4,7	0	7%	7%	3%
z	29,3	156	29,3	26	25,8	-90	17,6	143	17,3	36	21,0	-90	11,7	13	12,0	-10	4,8	0	7%	8%	3%
k	29,3	156	29,3	26	25,8	-90	17,6	142	17,2	36	20,9	-90	11,7	14	12,1	-11	4,9	0	7%	8%	3%
z	15,2	151	15,3	30	15,2	-90	14,5	150	14,2	32	14,6	-90	0,6	1	1,1	-2	0,5	0	0%	1%	0%
z	22,7	158	22,9	23	17,2	-90	8,5	130	7,9	47	12,2	-90	14,2	28	15,0	-24	5,1	0	9%	9%	3%
z	26,4	161	26,7	20	17,8	-90	5,3	94	4,6	84	9,9	-90	21,1	68	22,1	-63	7,9	0	13%	14%	5%
z	24,2	151	24,5	30	24,2	-90	23,3	150	23,3	30	23,4	-90	0,9	1	1,2	0	0,7	0	1%	1%	0%
z	42,1	161	42,6	21	28,3	-90	8,5	95	7,5	84	16,1	-90	33,5	66	35,1	-64	12,2	0	21%	22%	8%
z	29,6	155	29,8	26	25,4	-90	17,6	142	17,2	36	20,9	-90	12,0	13	12,6	-11	4,5	0	7%	8%	3%

Trojfázový skrat

Tabuľka 20: Výstupné hodnoty merania napätia pri trojfázovom skrato a ich porovnanie

č-uzlu	NetCalc						Model						absolutna odchýlka						relatívna odch.		
	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [kV]	φ_{Uab} [°]	Ubc [kV]	φ_{Ubc} [°]	Uac [kV]	φ_{Uac} [°]	Uab [V]	φ_{Uab} [°]	Ubc [V]	φ_{Ubc} [°]	Uac [V]	φ_{Uac} [°]	Uab [%]	Ubc [%]	Uac [%]
1	62,90	-1	62,93	-121	62,91	119	58,77	-4	65,95	-123	62,45	123	4128	3,1	-3026	1,9	464	-3,5	4%	-3%	0%
16	3,59	-31	3,59	-151	3,59	89	3,45	-37	3,40	94	3,91	-151	143	6	197	-245	-317	240	2%	3%	-5%
2	12,51	-2	12,52	-121	12,51	118	12,38	-2	12,28	-121	12,31	119	135	0	238	0	207	0	1%	2%	2%
3	12,38	-2	12,39	-122	12,38	117	12,23	-3	12,23	-122	12,27	118	153	0	160	0	109	0	1%	1%	1%
4	12,23	-4	12,23	-124	12,25	117	12,06	-4	12,08	-124	12,00	116	174	0	152	0	247	1	1%	1%	2%
5	12,23	-4	12,22	-124	12,25	116	12,03	-4	12,04	-124	12,06	116	197	0	183	0	190	0	2%	2%	2%
6	8,52	-2	8,53	-122	8,23	118	8,78	-3	8,67	-122	8,82	117	-257	1	-139	0	-596	1	3%	2%	7%
7	4,48	-2	4,58	-123	3,94	118	5,38	-6	5,18	-125	5,40	114	-901	4	-605	2	-1452	4	17%	12%	27%
8	0,03	60	0,03	60	0,03	60	0,83	-20	0,44	-148	0,45	96	-799	80	-410	208	-420	-36	97%	94%	94%
9	0,03	58	0,03	58	0,03	58	0,81	-21	0,42	-148	0,46	101	-781	79	-392	206	-438	-43	97%	94%	94%
10	0,03	53	0,03	54	0,03	53	0,81	-22	0,42	-149	0,46	99	-780	75	-391	202	-436	-46	97%	94%	94%
11	0,03	49	0,03	50	0,03	49	0,82	-28	0,42	-151	0,47	95	-798	78	-396	201	-442	-46	97%	94%	94%
12	0,03	65	0,03	65	0,03	65	0,82	-27	0,42	-150	0,47	97	-792	92	-396	215	-437	-31	96%	93%	94%
13	0,03	70	0,03	70	0,03	71	0,82	-27	0,42	-148	0,47	86	-789	97	-393	219	-438	-16	96%	93%	94%
14	8,44	-2	8,44	-122	8,16	118	8,61	-4	8,50	-123	8,64	116	-178	1	-60	0	-479	1	2%	1%	6%
15	8,35	-2	8,34	-123	8,09	118	8,55	96	8,42	-123	8,55	116	-201	-98	-80	1	-461	2	2%	1%	5%

Tabuľka 22 Namerané hodnoty zo silového testu transformátoru (jednofázový ekvivalent)

Transformátor	Výrobné číslo	Kombinace vinutí	Vztažené napätí U_{nf} (V)	u_k (%)	i_o (%)	ΔP_k (W)	ΔP_{Fe} (W)
Trojvinuťový	11973	<i>P-S</i>	230	2,523	8,59 (<i>P-S</i>)	46,65	75,91
		<i>P-T</i>	230	5,001		102,5	21,34
		<i>S-T</i>	57,7	5,345		107	32,79
	11974	<i>P-S</i>	230	2,756	10,79 (<i>P-S</i>)	56,14	48,33
		<i>P-T</i>	230	5,184		106,6	22,5
		<i>S-T</i>	57,7	5,172		103,1	33,66
Dvojvinuťový	54505	<i>S-P</i>	230	7,109	0,76	27,45	0,534
	54506	<i>S-P</i>	230	7,057	0,69	27,34	0,2

UKÁŽKA TEXTOVÉHO VÝPOČETNÉHO PROGRAMU NETCALC3 PRE VÝPOČET USTÁLENÉHO STAVU SIETE

=Nazev_akce: Šablona pro výpočet chodu jako lineární úloha

=Varianta: 1

; Zpracoval: ...

; Datum: 30.04.2015 (aktualizace)

=Soustava

frekvence: 50 ;50, 60 (Hz)

model: trojfazovy ;trojfazovy, slozkovy, jednofazovy

typ sítě: trivodicova ;trivodicova, ctvrvodicova

převody traf: skutečne ;skutečne, nominalni, fiktivni

modely prvků: impedancni ;impedancni, reaktancni, rezistancni

provozní stav: maximalni ;maximalni, minimalni

stav zatížení: zatizena ;zatizena, nezatizena

=Chod_PQ

it.metoda: ImplicitZBus ;ImplicitZBus, ExplicitZBus, NewtonRaphson, GaussSeidel, FBSweep

solver: Sparlin ;Sparlin, GEM

epsilon U: 1E-9 ;doporučeno 1E-9

max.kroků: 200 ;max. počet iterací; záporná hodnota určí pevný počet iter.

čas.limit: 600 ;max. doba výpočtu [s] (má nejvyšší prioritu)

; dU%, uzal: 2 39 ;max. % změna napětí v zadaném uzlu 39 po připojení elektrárny

=Uzly

```
;-----  
; č.u.    Unom  
; [-]    [kV]  Označení uzlu  
;-----  
  1      110   "Napájací uzol,primár T3"  
  2       22   "Sekundár T3"  
  3       22  
  4       22  
  5       22  
  6       22  
  7       22  
  8       22   "zemné spojenie/ skrat"  
  9       22  
 10      22  
 11      22  
 12      22  
 13      22  
 14      22  
 15      22  
 16      6,3   "Uzel terciáru T3"
```

```
;-----  
=Vztazne_napeti_kV: 22  
;-----
```

=Vetve SI ;Napájecí uzel sítě

; zapoj	kód	Sk	cosFi	Uab	Ubc	Uca	Un	alfaUab	alfaUn	Rn	Xn	R0/R1	X0/X1	Označení větve
; i-j	SI	MVA	-	kV	kV	kV	kV	deg	deg	ohm	ohm	-	-	
1-1	SI	2000	0	110	110	110	0	30.00	0.00	0	0	1	1	napájanie

=Vetve T3 ;Transformátor trojvinuťový, terciár má spojení vinutí D ;(11973)

; zapoj	kód	uz3	Sn12	Sn13	Sn23	Un1	Un2	Un3	uk12	uk13	uk23	dPk12	dPk13	dPk23	io	dPo
; i-j	T3	#	MVA	MVA	MVA	kV	kV	kV	%	%	%	kW	kW	kW	%	kW
1-2	T3	16	70,4	70,4	70,4	110	22	6,3	2.523	5.001	5.345	103	226	235	8,59	95,4

Rn1	Xn1	Rn2	Xn2	R0/R1	X0/X1	R0/R1	X0/X1	G0/G1	B0/B1	Sp1	Sp2	H.úhel	H.úhel	Reg.U	BlokTr	Označení větve
ohm	ohm	ohm	ohm	nakrátko	pri	nakrátko	sek	naprázdno	mag	pri	sec	pr\sek	pr\ter	%	ANO/NE	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	YN	yn	0	1	0	NE	T3: 1-2

= Vetve KX ;Jednožilový kabel s kovovým pláštěm - parciální parametry Rk,Gk,Lk,Ck

; zapoj	kód	fáze	R1	R2	R3	G	L1	L2	L3	C10	C20	C30	S	I	Imax	Označení větve
; i-j	KX*0	ABC	ohm/km	uhm/km	uhm/km	uS/km	mH/km	mH/km	mH/km	nF/km	nF/km	nF/km	mm2	km	A	
4-5	KX	ABC	0,122	0,125	0,123	0	0,360	0,360	0,360	290.91	290.91	290.91	240	25	163	K 2-3
10-11	KX	ABC	0,122	0,122	0,123	0	0,360	0,360	0,360	290.91	290.91	290.91	240	25	163	K 4-5

=Vetve VX ;Nesymetrické třívodičové vedení bez zemního lana s uvažováním vlivu země - parciální kilometrové parametry Rk,Gk,Lk,Mk,Ck

zpoj	kód	fáze	R1	R2	R3	G	L1	L2	L3	M12	M23	M13	C10	C20	C30	C12	C23	C13	S	I	Imax	Označení větve
i-j	VX*0	ABC	ohm/km	uhm/km	uhm/km	uS/km	mH/km	mH/km	mH/km	uH/km	uH/km	uH/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	nF/km	mm2	km	A	
2-3	VX	ABC	0.4765	0.4770	0.4694	0	0.8119	0.8246	0.8101	153.4	152.3	176.1	4.55	4.55	4.55	2.0218	2.0218	1.45	70	10	290	VI 6-7
2-6	VX	ABC	0.4657	0.4741	0.4788	0	0.8100	0.8231	0.8088	153.1	153.0	178.7	4.27	4.27	4.27	2.0218	2.0218	1.45	70	10	290	VI 7-8
6-7	VX	ABC	0.4836	0.4804	0.4892	0	0.8078	0.8213	0.8102	155.2	155.8	178.2	4.96	4.96	4.96	2.0218	2.0218	1.45	70	10	290	VI 8-11
8-9	VX	ABC	0.4850	0.4790	0.4712	0	0.8141	0.8232	0.8060	154.7	155.6	180.2	4.90	4.90	4.90	2.0218	2.0218	1.45	70	10	290	VI 11-12
9-10	VX	ABC	0.4773	0.4848	0.4753	0	0.8049	0.8239	0.8048	154.8	156.3	180.1	4.15	4.15	4.15	2.0218	2.0218	1.45	70	10	290	VI 12-15
3-4	VX	ABC	0.5345	0.4933	0.5375	0	0,8582	0,9999	0,8587	140.5	424.1	142.0	4.11	4.11	4.11	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 15-16
7-8	VX	ABC	0.5283	0.4920	0.5316	0	0,8575	0,9977	0,8587	145.3	421.9	145.3	4.18	4.18	4.18	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 16-17
8-12	VX	ABC	0.5297	0.4968	0.5295	0	0,862	0,9961	0,8616	147.4	379.2	146.4	4.91	4.91	4.91	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 8-9
12-13	VX	ABC	0.5367	0.4945	0.5380	0	0,8614	0,9956	0,8579	145.8	420.8	145.8	4.24	4.24	4.24	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 9-10
6.14	VX	ABC	0.5325	0.4962	0.5319	0	0,8588	0,997	0,8593	144.7	417.2	144.2	4.50	4.50	4.50	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 12-13
14-15	VX	ABC	0.5379	0.5003	0.5434	0	0,8595	0,9947	0,8586	145.1	421.6	145.4	4.02	4.02	4.02	1.45	1.45	0.9905	150	10	163	VII 13-14

=Vetve ZQ ;Zátěž s konstantní impedancí, SER/PAR/CIGRE model s kompenzací

zpoj	kód	fáze	sp.fází	model	P	Q	Qk	Označení větve
i-j	ZQ	ABC	D,Y,Yn	PAR	kW	kvar	kvar	
5-5	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0	ID
7-7	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0	ID
13-13	ZQ	ABC	D	PAR	590	0	0	ID
4-4	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0	ID
11-11	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0	ID
15-15	ZQ	ABC	D	PAR	940	0	0	ID

=Konec_dat.