

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Enerģētikas institūts

Laboratorijas darbs disciplīnā  
„Elektriskās sistēmas”

**3-FAŽU ĪSSLĒGUMU APRĒĶINAŠANA IZMANTOJOT  
DATORPROGRAMMU PowerWorld version 14**

Metodiskie norādījumi laboratorijas darbu izpildei izmantojot datorprogrammu PowerWorld  
version 14

Sastādīja: asoc.prof. I. Zicmane  
asist.zin.d. E. Antonovs

**Rīga 2010**

### **Laboratorijas darba mērķis:**

- Iepazīties ar modelēšanas datorprogrammas PowerWorld version 14 pamatfunkcijām.








### **Laboratorijas darba uzdevums:**

- Izveidot elektriskās shēmas modeli datorprogrammas PowerWorld vidē ar visu nepieciešamo parametru ievadīšanu;
- Veikt 3-fāžu īsslēgumu aprēķināšanu datorprogrammas PowerWorld vidē.

### **Atskaites saturs:**

- Shēmā jānorāda shēmas izejdati un īsslēguma vieta;
- Aprēķina rezultātu apkopošana, īsslēguma pilnā strāva, paliekošais spriegums un strāva pa zariem (tabulas veidā);
- Secinājums par paveikto darbu.

## SATURS

Laboratorijas darba mērķis:.....	2
Laboratorijas darba uzdevums: .....	2
Atskaites saturs:.....	2
SATURS.....	3
Ievads datorprogrammā powerworld simulator (v. 14) .....	4
Izejshēma un tās parametri.....	5
Ievads.....	6
Kopnes (Bus)  .....	7
Generators (Generator)  .....	8
Sinhronais kompensators (Generator)  .....	10
Asinhronais dzinējs (Generator)  .....	10
Līnija (Transmission Line)  .....	11
Divtinumu transformators (Transformer)  .....	12
Trīstinumu transformators (Three-Winding Transformer) .....	13
Slodze (Load)  .....	16
Īsslēguma aprēķins .....	16
Jaudas plūsmas aprēķina iespējas.....	18
Izmantotie informācijas avoti.....	20
Pielikums 1 .....	21
Pielikums 2 .....	22

## Ievads datorprogrammā powerworld simulator (v. 14)

PowerWorld® Simulator – tā ir energosistēmas modelēšanas pakete (simulators) ar ļoti interaktīvu un draudzīgu interfeisu un grafisku daļu. Simulators var būt izmantots kā instruments nopietnai inženieru analīzei.

Simulators sastāv no veselas virknes integrētu produktu, un ir visaptverošs un drošs veicot aprēķinus shēmai līdz 100 kopnēm. Dotā programma ļauj lietotājiem vizualizēt sistēmas izmantojot krāsainas animācijas shēmas, kas tiek aprīkotas ar zumēšanas un panoramēšanas iespējām. Pārvadāmā līnija var būt ieslēgta / atslēgta, jauns elements var būt pievienots un jauna operācija var būt uzstādīta tikai ar dažiem peles klikšķiem. Grafikas un animācijas plaša pielietošana simulatorā, ievērojami palielina lietotāja sapratni par raksturlīknēm, problēmām un ierobežojumiem, kā arī par to, kā tās izlabot.

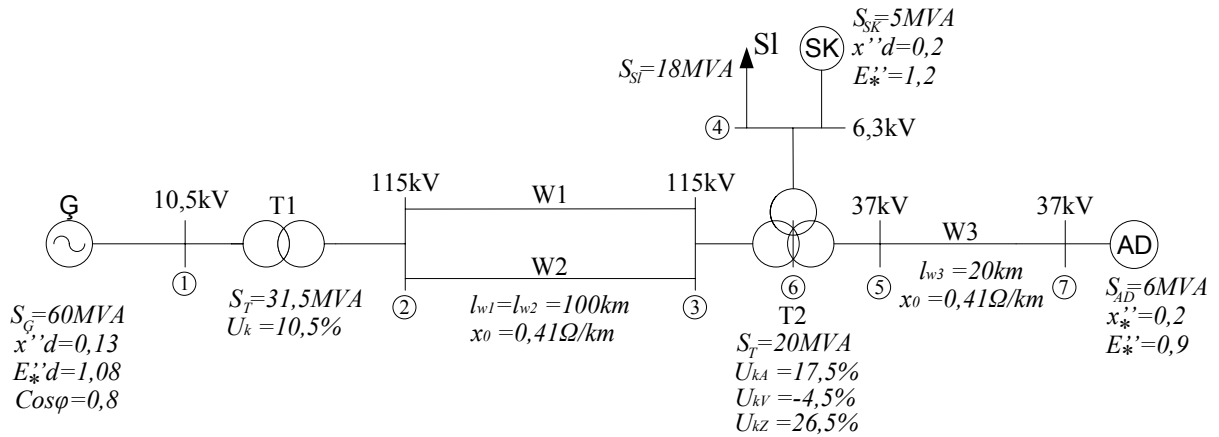
Programmas bāzes pakete ietver sevī visus nepieciešamus instrumentus lai realizēt

- kompleksu ekonomisku dispečerizāciju;
- rajona transakcijas ekonomisko analīzi;
- jaudas pārnesuma sadalīšanas koeficientu aprēķināšanu;
- īsslēguma analīzi;
- avārijas seku analīzi.

Visi augstāk minētie instrumenti un iespējas ir pieejamas ar secīga un krāsaina vizuālā interfeisa palīdzību.

PowerWorld® Simulator – tā ir pakete ar interaktīvu elektroenerģētisko sistēmu modelēšanu, kas ir domāta lai simulēt augsta sprieguma elektroenerģētisko sistēmu vadību uz laiku, kas var ilgt no dažām minūtēm līdz dažām diennaktīm.

## Izejskāma un tās parametri



1.1. att. Elektriskās sistēmas izejas shēma

1.1. attēlā shēmas parametri tiek uzdoti ar sekojošiem lielumiem:

Generators:

$$S_G = 60 MVA$$

$$x''_d = 0,13$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

Transformators 1:

$$S_{T1} = 31,5 MVA$$

$$U_k = 10,5\%$$

Līnijas 1; 2:

$$l_{w1} = l_{w2} = 100 km$$

$$x_0 = 0,41 \Omega/km$$

Transformators 2:

$$S_{T2} = 20 MVA$$

$$U_{kA} = 17,5\%$$

$$U_{kV} = -4,5\%$$

$$U_{kZ} = 26,5\%$$

Līnija 3:

$$l_{w3} = 20 km$$

$$x_0 = 0,41 \Omega/km$$

Asinhronais dzinējs:

$$S_{AD} = 6 MVA$$

$$x''_* = 0,2$$

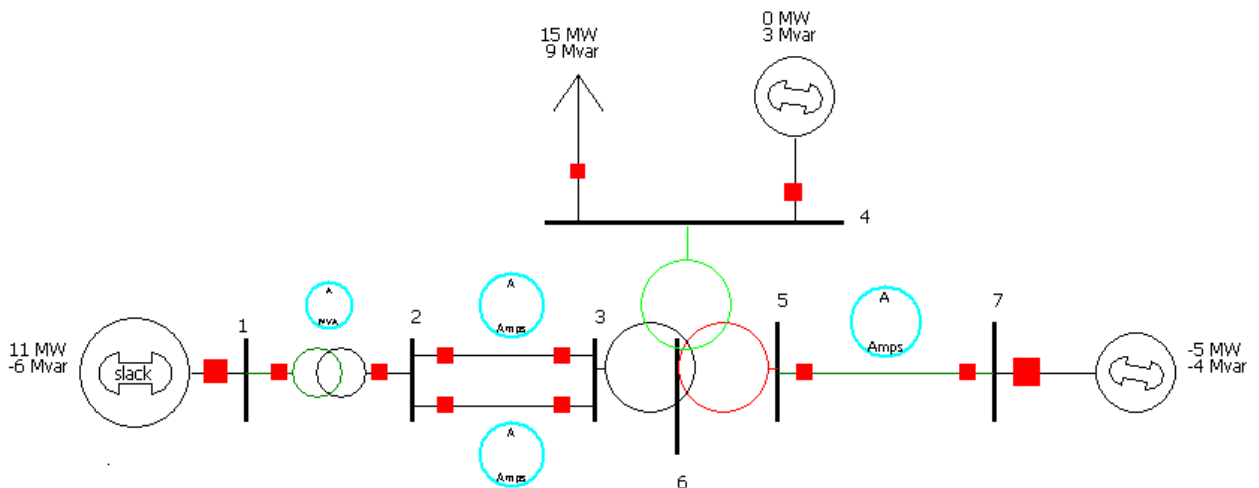
Slodze:

$$S_{SI} = 18 MVA$$

Sinhronais kompensators:

$$S_{SK} = 5 MVA$$

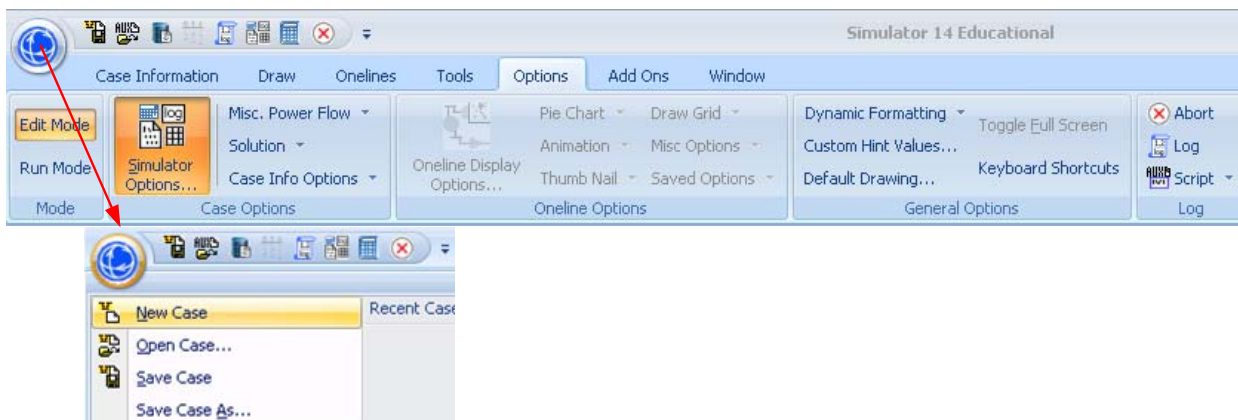
$$x''_* = 0,2$$



1.2. att. Elektriskās sistēmas izejskāma PowerWorld formātā

## Ievads

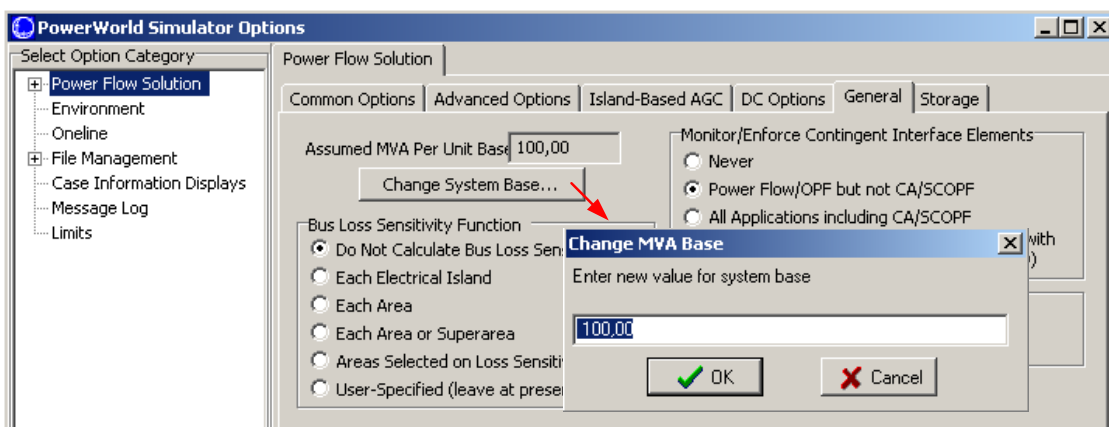
Iepazīšanās ar datorprogrammu *PowerWorld*, kā arī nepieciešamo parametru un datu ievadišanu izskatīsim uz 1.1. att. shēmas parauga. Lai izveidotu jaunu failu, uzdevuma panelī jāuzklikšķina uz zilo aplīti augšējā kreisajā stūrī un piedāvātajā izvēlnē jāizvēlas *New Case* (1.3. att.). Darba laukuma fons izmainīsies no gaiši zila uz baltu (pēc standarta iestatījumiem).



1.3. att. Uzdevuma panelis

Shēmas elementu parametru ievadišanas laikā, uzdevuma panelī (1.3. att.), jābūt izvēlētam ***EDIT MODE*** režīmam!

Shēmas elementu parametru vērtības jāievada relatīvajās vienībās līdz ar to, pirms shēmas zīmēšanas un elementu parametru ievadišanas nepieciešams uzdot **bāzes jaudu**. Tad uzdevuma panelī jāizvēlas *Options > Simulator Options* (1.3. att.). Parādīsies jauns rediģēšanas logs kur kreisajā malā būs jāizvēlas *Power Flow Solution >* un darbības laukā jāizvēlas aizliktne *General* (1.4. att.), un ievadišanas logā blakus *Assumed MVA Per Unit Base* būs norādīta uzdotā bāzes jauda (100 MVA pēc noklusējuma). Gadījumā ja, vajag nomainīt bāzes jaudas vērtību, tad jānospiež poga *Change System Base*, parādīsies vēl viens ievadišanas logs kur ir jānomaina bāzes jauda. Pēc veiktajām izmaiņām spiežam pogu *OK*.



1.4. att. Modelēšanas programmas opcijas

## Kopnes (Bus)

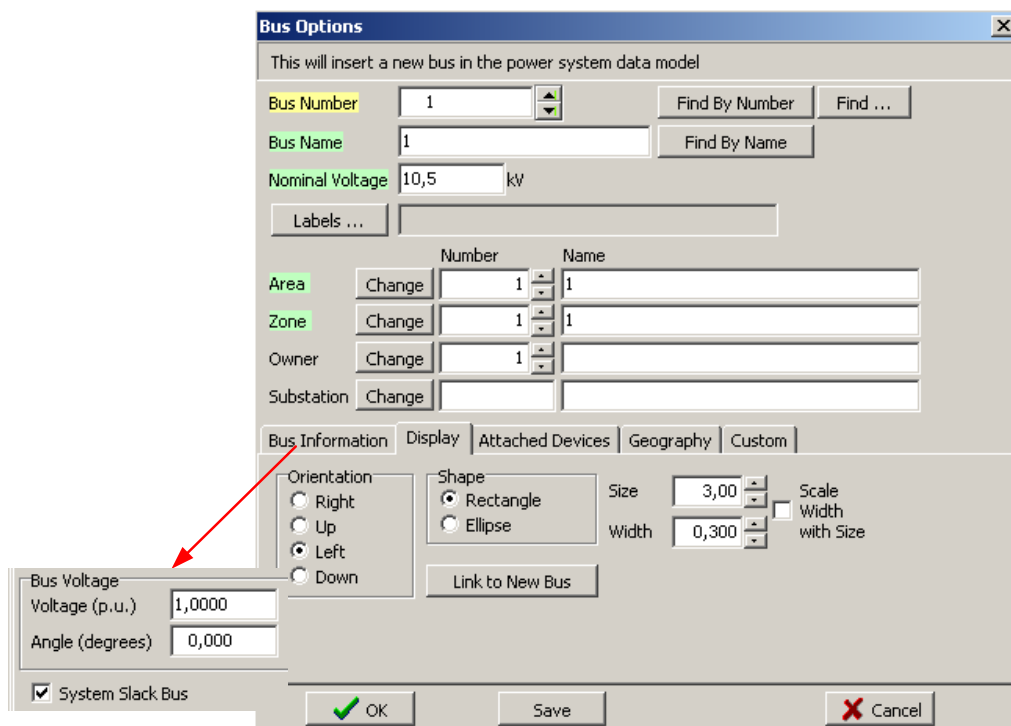
Shēmas elementu ievadišanu sāksim ar kopnēm. Uzdevuma panelī (1.3.att.), jāizvēlas *Draw > Network > Bus*. Tālāk kursorš (krustiņš) jāuzvada uz baltā laukuma un jānoklikšķina uz tā, parādīsies kopnes rediģēšanas logs (1.5. att.). *Bus Number* un *Bus Name* ir līdzīgas un programma automātiski uzdod tās pati pēc ievadišanas kārtas. Šajā logā jāuzdod kopnes spriegumu – *Nominal Voltage* un nepieciešamo elementa orientāciju – *Orientation*. *Right, Left* – pagriež elementu horizontālā stāvoklī. *Up, Down* – izvieto elementu vertikālā stāvoklī.

Kopni, kurai pievienots ģenerators vai sistēma, jāuzdod par balansējošo – aizliktnē *Bus Information* jāieliek ķeksītis pie *System Slack Bus*, t.i. šis mezgls notur uzdotas sākotnējās vērtības, neskatoties uz zudumiem sistēmā vai uz nesabalansētu ģenerāciju un slodzi (1.5. att.), uz pārējām kopnēm tās neattiecas.

Visas kopnes nepieciešams iepriekš sanumurēt un paredzēt vienu papildu (brīvu) kopni trīstinumu transformatoram, tā kā šajā programmā trīstinumu transformators tiek modelēts no trīs divtinumu transformatoriem, kuri saistīti ar trīstinumu transformatora kopējo vai iekšējo mezglu/kopni, kas saucas par *Star Bus*. Mūsu gadījumā tā ir kopne ar numuru 6.

Visu ievadīto informāciju par jebkuru elementu var labot darba gaitā izsaucot rediģēšanas logu:

- ar dubultklikšķi uz elementu;
- ar labo pogu jānoklikšķina uz elementu un jāizvēlas (*elementa nosaukums*) *Information Dialog*.

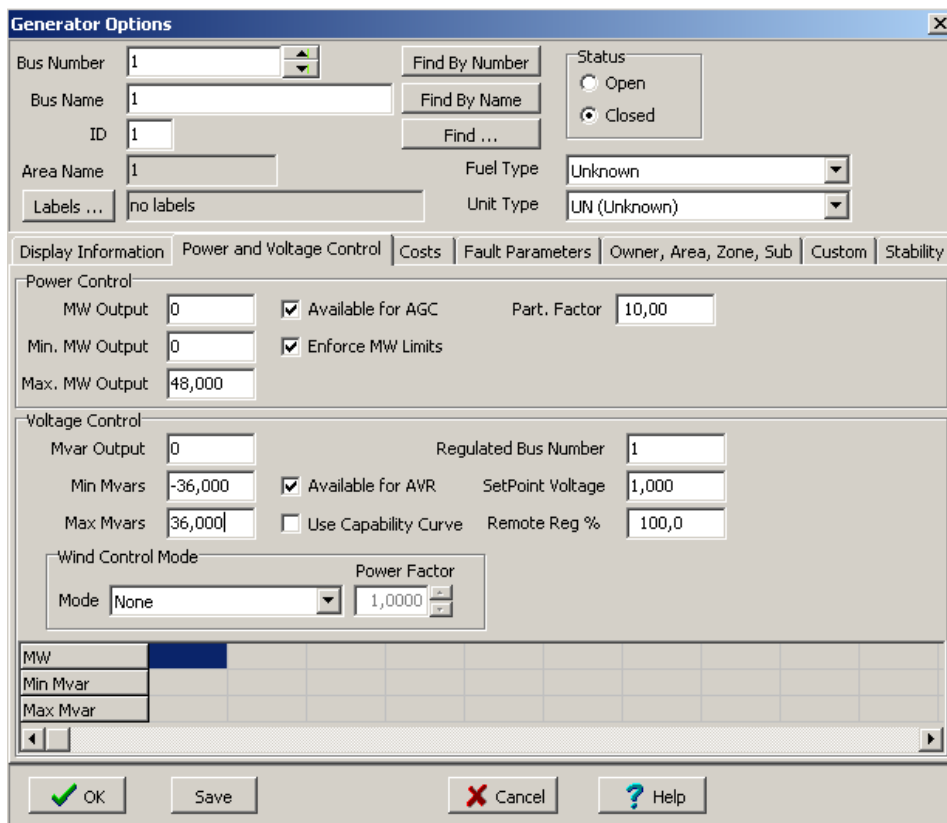


1.5. att. Kopnes rediģēšanas logs

Kad visas kopnes ir uzzīmētas, nepieciešams saglabāt failu. Uzdevuma panelī jānoklikšķina uz zilo aplīti augšējā kreisajā stūrī (1.3. att.), un jāizvēlas *Save Case As*. Fails ir jāsavienā divas reizes, otro faila saglabāšanu programma piedāvā pati.

## Ģenerators (Generator)

Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Draw > Network > Generator* un noklikšķinot uz kopni, pie kuras tiek paredzēts pieslēgt ģeneratoru (mūsu gadījumā uz kopni ar numuru 1), parādīsies ģenerators rediģēšanas logs, kur augšējā pusē, būs redzams pie kuras kopnes tiek pieslēgts ģenerators (1.6. att.).



1.6. att. Ģenerators rediģēšanas logs

### **Power Control:**

**MW Output** - esošā ģenerators izejas aktīvā jauda, šī vērtība tiks uzdots ģeneratoram, pieslēgtam pie *Slack Bus*, tikai nosacīti, jo ģenerators reālā izejas jauda ir atkarīga no sistēmas slodzes un zudumiem. Mūsu gadījumā, šajā ailītē jāliek 0, tā kā aktīvās jaudas plūsma tiek kontrolēta automātiski ar sekojošu funkciju palīdzību, kuras jāatzīmē ar ķeksīti:

- **Available for AGS** – definē vai ģenerators būs pieejams automātiskai ģenerācijas kontrolei (*AGS – Automatic Generation Control*). Līdz ar to ģenerators ģenerē nepieciešamo jaudu tīklam.

**Min** un **Max MW Output** – minimālā un maksimālā ģenerators aktīvās jaudas robeža. Ja tiek aktivēta funkcija, programma nedod izejošu aktīvo jaudu **MW Output**, mazāku par uzdots minimālo **Min.MW Output** vai lielāku par uzdots maksimālo **Max. MW Output** :

- **Enforce MW Limits** – piespiestais MW līmenis. Ja šī funkcija ir aktivēta un ģenerators pārsniedz reālu jaudas robežu, tad ģenerators izejoša jauda uzreiz būs izmainīta. Lai šī funkcija veiksmīgi darbotos, ir nepieciešams, lai tā būtu iepriekš aktivēta simulatora opcijas *Options > Simulator Options > Power Flow Solution* (1.3. att.) un aizliktnē **Common Options** darba laukā **MW Control (Outer) Loop Options** jāuzliek ķeksīti pie **Enforce Generator MW Limits**.



Ģeneratoram Min MW Output jāieliek 0, bet Max. MW Output ailītē jāievada aktīvās jaudas vērtību, iegūtu no formulas:

$$P = S \cdot \cos\varphi, MW \quad (1.1)$$

**Voltage Control:**

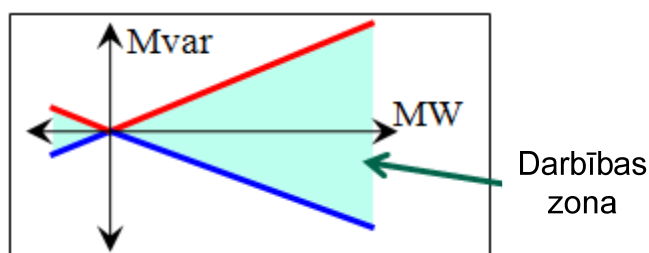
Mvar Output – esošā ģeneratora izejošā reaktīvā jauda. Mūsu gadījumā jāliek 0. Šo parametru var ievadīt/koriģēt tikai tad, kad nav aktivizēta Available for AVR funkcija.

- Available for AVR - definē vai ģenerators būs pieejams automātiskai sprieguma regulēšanai (AVR – Automatic Voltage Regulation). Līdz ar to ģenerators automātiski izmaina savu izejošo reaktīvo jaudu lai uzturot pieprasītu gala spriegumu norādītās reaktīvās jaudas robežās. Ja reaktīvas jaudas robeža būs sasniegta, tad ģenerators nebūs spējīgs ilgi uzturēt savu spriegumu uzdotā vērtībā un tās reaktīva jauda būs uzturēta kā const uz robežvērtības.

Min un Max Mvar Output – definē minimālu un maksimālu ģeneratora izejošās reaktīvas jaudas vērtības. Abās ailītēs jāievada viena vērtība, kas aprēķināta pēc reaktīvās jaudas formulas:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, M \text{ var} \quad (1.2)$$

Uzdodot Min Mvars ar mīnus zīmi un Max Mvars ar plus zīmi mēs uzdodam darbības robežas kurās ģeneratoram ir jāstrādā.



1.7. att. Jaudas koeficienta robežas

Set Point Voltage – definē ģeneratora uzstādīto sprieguma vērtību lielumu relatīvajās vienībās ar tālāku regulēšanu kopnē. Šī uzdota vērtība tiks uzturēta tikai ģeneratoram, pieslēgtam pie Slack Bus kopnes, parējos gadījumos, palaižot shēmas aprēķinu, ģeneratora rediģēšanas logā (ieejot no Run Mode) var redzēt abas vērtības, kā ievadītu (Deisred), tā arī reālu (Actual) (1.8. att.). Pēc noklusējuma Set Point Voltage tiek automātiski uzdots vienāds ar 1.

Desired Reg. Bus Voltage	0,9000
Actual Reg. Bus Voltage	0,7290

1.8. att. Spriegums uz pieslēgta elementa kopnes

Aizliktnē Fault Parametrs (1.9. att), jāievada Generator MVA Base (ģeneratora nominālā jauda), jānoņem ķeksītis no Neutral Grounded.

1.9. att. Ģenerators ĩsslĒģumu parametru rediģēšanas logs

Internal Sequence Impedances – ŗis darbības lauks reprezentē ģenerators iekšējo pretestību visām trim secībām. Mūsu gadījumā, pĒtot 3-fāžu ĩsslĒģumu, nepieciešama tikai tiešās secības pretestība, Positive. Tās vērtību jāievada ailītē zem X un var iegūt no formulas:

$$X = X^{\prime\prime}d \cdot \frac{S_B}{S_{nom}}, r.v. \quad (1.3)$$

Kad visi augšminĒtie parametri tiks ievadīti, spiežam OK pogu ģenerators rediģēšanas pamatlogā, 1.6. att. .

### Sinhronais kompensators (Generator)

Tā kā sinhronais kompensators - ir sinhrona mašīna, kura strādā dzinĒja režīmā bez aktīvās slodzes, tad sinhronu kompensatoru ievadīšana ir lĒdzīga ģenerators ievadīšanai. Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas Draw > Network > Generator un sinhronā kompensators gadījumā ir jānoņem ķeksītis no Available for AGS un Enforce MW Limits, bet Power Control darbības laukā visās MW Output ailītēs jābūt nullēm, lĒdz ar to neļaujot tām piedalīties aktīvās jaudas ģenerācijā.

Datu ievadīšana darbības laukā Voltage Control (1.6. att.), un Fault Parameters (1.9. att.), ir lĒdzīga ģenerators parametru ievadīšanai, kā arī atbilstošās vērtības var iegūt no 1.2 un 1.3. izteiksmēm.

### Asinhronais dzinĒjs (Generator)

Asinhrona dzinĒja ievadīšana ir lĒdzīga ģenerators ievadīšanai. Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas Draw > Network > Generator. Power Control darbības laukā (1.6. att.), jāievada asinhrona dzinĒja vienu aprĒķinātu, pĒc 1.1 izteiksmes, aktīvās jaudas vērtību trijās ailītēs ar mĒinus zĒmi, MW Output un Min un Max. MW Output, kā arī jānoņem ķeksīši no:

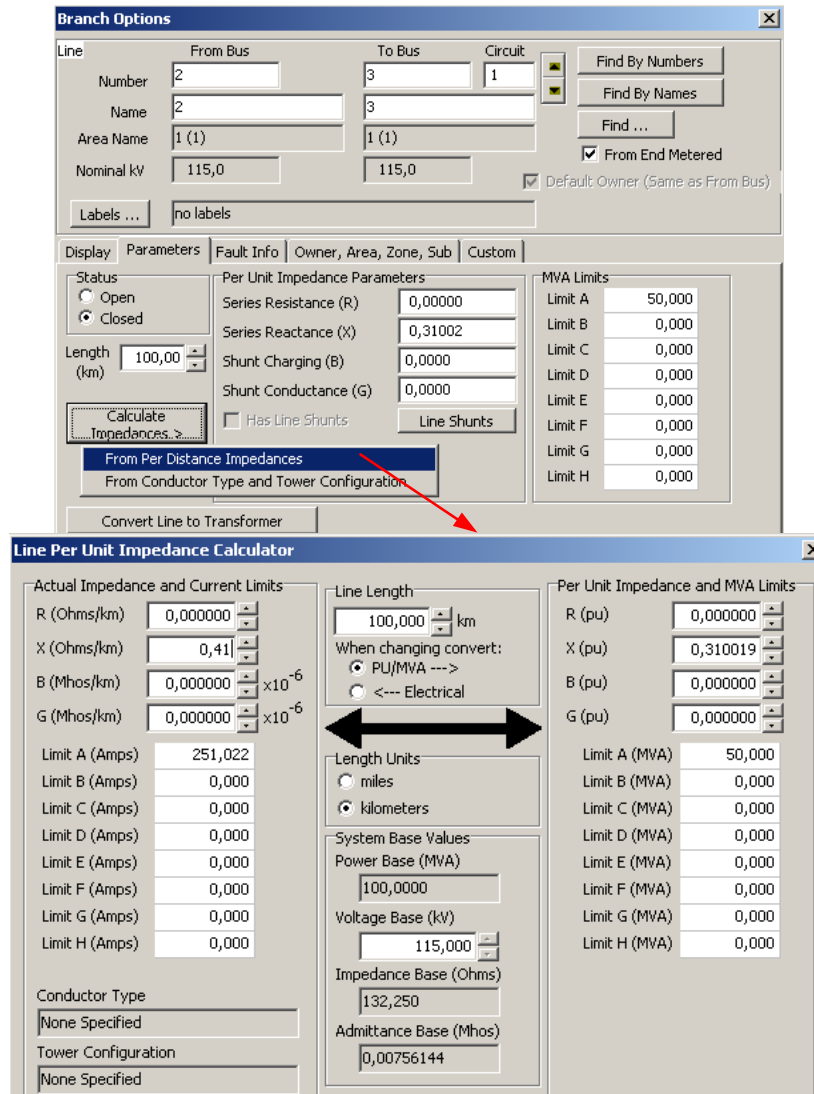
- Available for AGS
- Enforce MW Limits

Voltage Control darbības laukā (1.6. att.), jāievada asinhrona dzinĒja viena aprĒķināta, pĒc 1.2 izteiksmes, reaktīvās jaudas vērtība trijās ailītēs ar mĒinus zĒme, Mvar Output un Max Mvars, kā arī jānoņem ķeksītis no Available for AVR.

Darbības laukā Fault Parameters (1.9. att.), ievadīšana ir lĒdzīga ģenerators parametru ievadīšanai, kā arī atbilstošās vērtības var iegūt no 1.3. izteiksmes.

## Līnija (Transmission Line)

Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Draw > Network > Transmission Line*. Kreisais klikšķis uz kopnes kur līnija sākas tad jāvelk līnija nespiežot uz peles pogas līdz kopnei, kur līnija beidzas un tur jāuzklikšķina divas reizes. Automātiski parādīsies līnijas rediģēšanas logs (1.10. att.).



The image shows two overlapping dialog boxes from a software application. The top dialog is titled "Branch Options" and contains fields for "Line Number", "Name", "Area Name", and "Nominal kV". It also has buttons for "Find By Numbers", "Find By Names", and "Find ...". The bottom dialog is titled "Line Per Unit Impedance Calculator" and is divided into several sections: "Actual Impedance and Current Limits", "Line Length", "Per Unit Impedance and MVA Limits", "System Base Values", "Conductor Type", and "Tower Configuration". A red arrow points from the "From Per Distance Impedances" button in the "Branch Options" dialog to the "Line Per Unit Impedance Calculator" dialog.

1.10. att. Līnijas parametru rediģēšanas logs

Rediģēšanas logā augšējā daļā jau būs informācija par kopnes numuriem, *From Bus* un *To Bus* un tiem atbilstošiem spriegumiem starp kuriem ir pieslēgta līnija.

Ja ir zināma informācija par līnijas pretestības parametriem relatīvajās vienībās tad var uzreiz ievadīt tās darbības laukā *Per Unit Impedance Parameters* (1.10. att.). Pretējā gadījumā līnijas parametri būs jākonvertē noklikšķinot uz *Calculate Impedances* pogu un zem tās parādīsies tabuliņa, kurā jāizvēlas pirmā rindiņa *From Per Distance Impedances* (1.10. att.). Izvēloties šo funkciju parādīsies jauns ievadišanas logs *Line Per Unit Impedance Calculator* (1.10. att.), kur var konvertēt faktiskās pretestības un strāvas vērtības uz pretestības un MVA relatīvajās vienībās un atpakaļ. Darbības laukā *Line Length* jāievada līnijas garums un *Actual Impedance and Current Limits* ailītē pretī *X(Ohms/km)* jāievada līnijas īpatnējā vadītspēja. Līnijas īpatnējā vadītspēja būs automātiski pārskaitīta relatīvajās vienībās, logā labajā pusē – *Per Unit Impedance and MVA Limits > X(pu)*.

Nepieciešams uzdot arī līnijas ierobežojumu, ko var panākt divējādi:

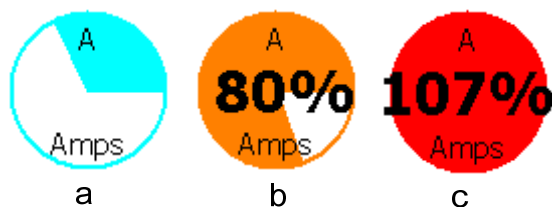
- Nosauktās vienībās - rediģēšanas logā kreisajā pusē, darbības laukā *Actual Impedance and Current Limits* jāuzdod *Limit A(Amps)* – līnijas ierobežojums pēc strāvas;
- Relatīvās vienībās - rediģēšanas logā labajā pusē, darbības laukā *Per Unit Impedance and MVA Limits* jāuzdod *Limit A(MVA)* – līnijas ierobežojums pēc jaudas. Mūsu gadījumā jāievada vērtība 50 MVA. Kopsummā programma atļauj ievadīt līdz 8 ierobežojumiem.

Visi dati ievadītie konvertorā būs redzami arī līnijas rediģēšanas pamatlogā (1.10. att. Branch Options), tikai daži no tiem jau pārkonvertēta (relatīvās vienībās) veidā.

Kad visi līnijas parametri ir ievadīti tad spiežam OK pogu abos logos.

Otras, paralēlas līnijas ievadīšanas gadījumā programma pati piedāvā līnijai uzdot pirmās līnijas parametrus.

Līnijas/transformatora plūsmas riņķa diagramma (1.11. att.), tiek izmantota lai procentuāli attēlotu līnijas vai transformatora slodzi MVA, MW vai Mvar. Riņķa diagrammas aizpildīšanas leņķis rāda cik tuvu ir ierīce savai robežvērtībai (pie nosacījuma ka ierobežojums ir uzdots). Līnijas plūsmas riņķa diagramma būs pilnīgi aizpildīta kad plūsma caur līniju sasniedz vai pārsniedz 100% no savas nominālās vērtības.



1.11. att. Līnijas/transformatora plūsmas riņķa diagramma

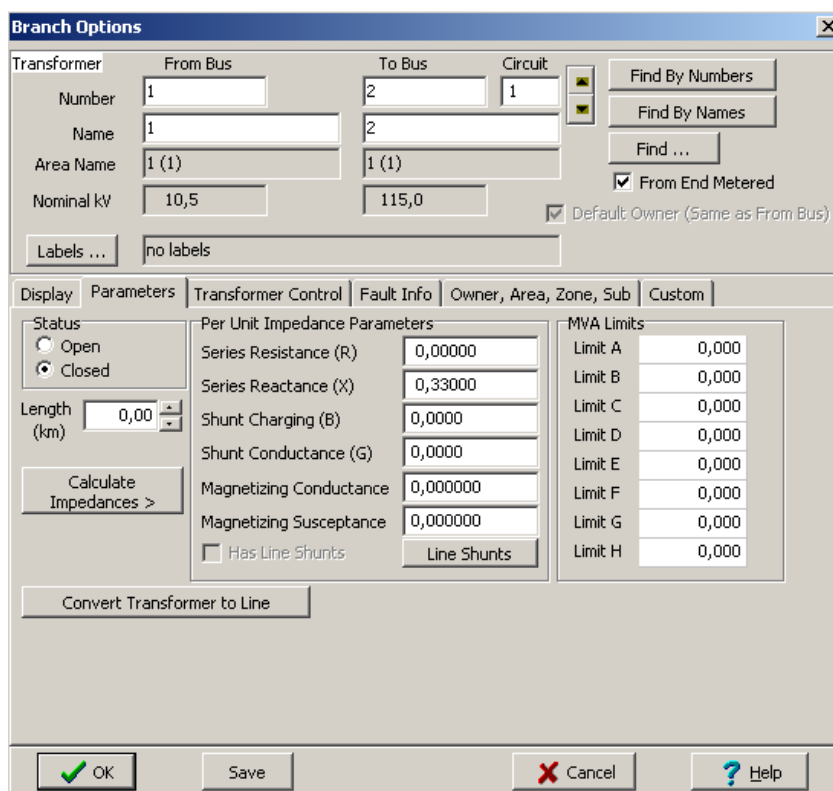
Slodzes plūsmai sasniedzot 80% no nominālās uzdotās vērtības riņķa diagrammas iekrāsotais lauks paliek oranžā krāsā, bet sasniedzot 100% un vairāk iekrāsotais lauks paliek sarkanā krāsā (iestatījums pēc noklusējuma).

### Divtinumu transformators (Transformer)

Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Draw > Network > Transformer*. Transformatoru ievadīšana shēmā, ir līdzīga līniju ievadīšanai. Transformatora rediģēšanas logā (1.12. att.), jāievada transformatora aprēķinātā pretestības vērtība pie bāzes nosacījumiem pēc 1.4 izteiksmes, ailītē *Per Unit Impedance Parameters > Series Reactance (X)* un jāuzdod ierobežojums *MVA Limits* darbības laukā, mūsu gadījumā jāievada vērtība 50, ailītē blakus *Limit A*. Šī pretestības vērtība būs automātiski ierakstīta aizliktnē *Fault Info > Zero Sequence Impedance* darba laukā.

$$X_T = \frac{Uk\%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{Tnom}}, r.v. \quad (1.4)$$

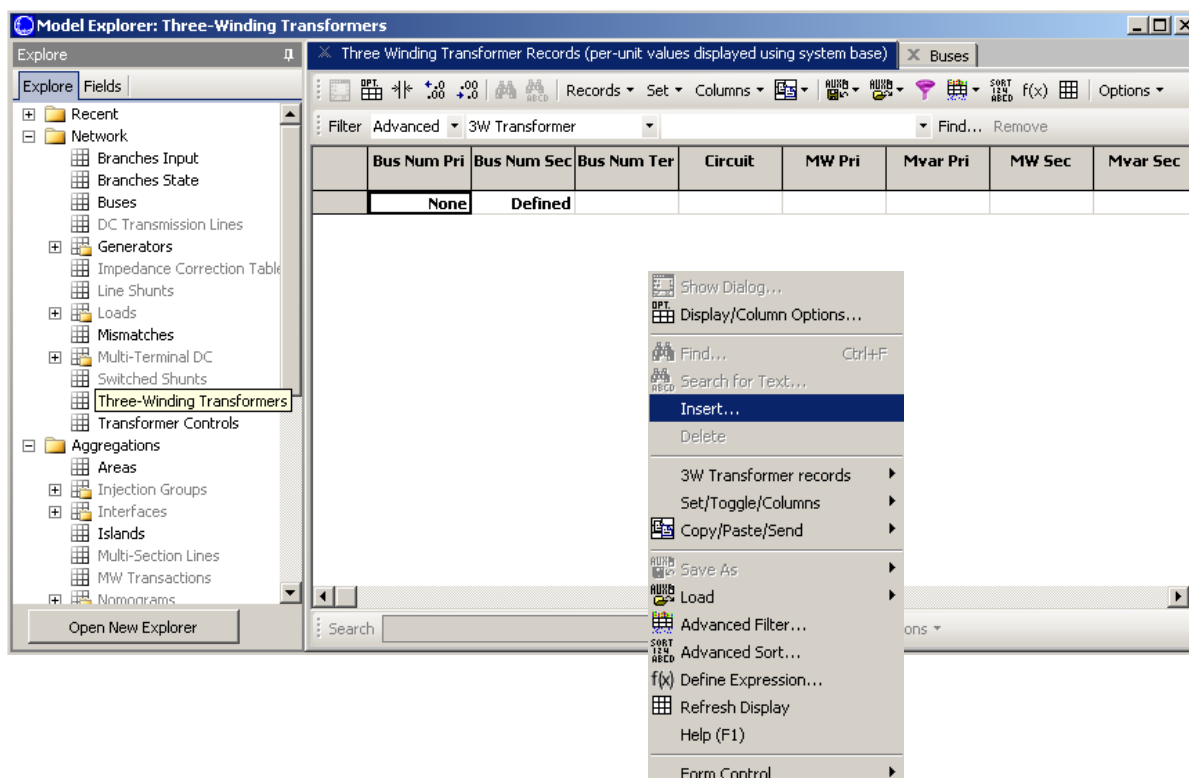
Rediģēšanas logā augšējā daļā var redzēt kopnes numurus un tiem atbilstošus spriegumus starp kuriem ir pieslēgts transformators (1.12. att.). Kā arī kreisajā augšējā stūrī ir redzams uzraksts *Transformer*, kas arī atšķiras no līnijas rediģēšanas loga kur augšējā kreisajā stūrī ir uzraksts *Line*.



1.12. att. Transformatora rediģēšanas logs

## Trīstinumu transformators (Three-Winding Transformer)

Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Case Information > Model Explorer* un kreisajā malā jāizvēlas *Three-Winding Transformers* (1.13. att.).



1.13. att. Analīzes programmas logs

Tālāk ar labo pogu nospiežot uz baltā laukuma, jāizvēlas *Insert*. Parādīsies jauns rediģēšanas logs (1.14. att.), kur jāievada katram tinumam atbilstošs kopnes numurs un spriegums.

Note: The per-unit values for impedance and tap are on the SYSTEM base. Changes to the impedance values should be made assuming the system base.

From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Type	Status	Tap Ratio	Phase (Deg)
1	3 3	6 6	6 6	1	Fixed	Closed	1,00000	0,00000
2	5 5	6 6	6 6	1	Fixed	Closed	1,00000	0,00000
3	4 4	6 6	6 6	1	Fixed	Closed	1,00000	0,00000

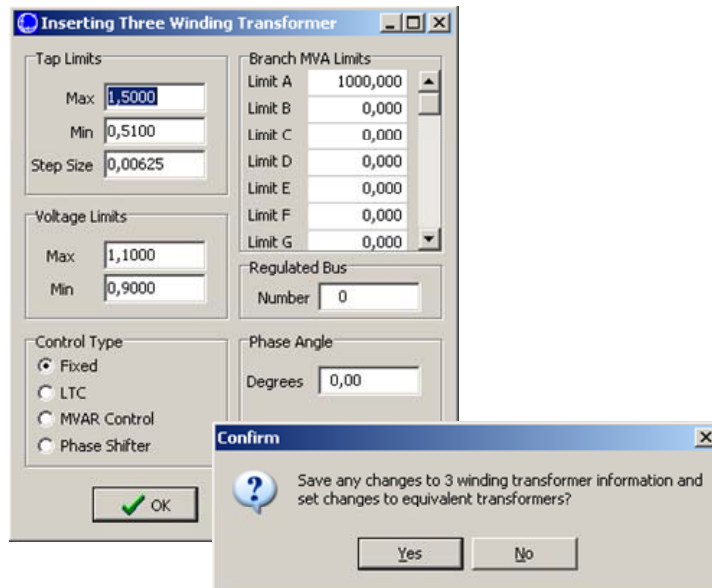
1.14. att. Trīstinumu transformatora rediģēšanas logs

Programmā, trīstinumu transformators tiek veidots no trīs divtinumu transformatoriem, kuri tiek saistīti ar iekšējo mezglu - *Star Bus*. *Star Bus* darbības laukā nepieciešams ievadīt kopnes numuru, kurš bija speciāli paredzēts šim nolūkam.

Jāievada transformatora, augstākā-vidējā, vidējā-zemākā un zemākā-augstākā pretestību vērtības starp tinumiem, aprēķinātas pie bāzes nosacījumiem pēc 1.4 izteiksmes (1.14. att.).

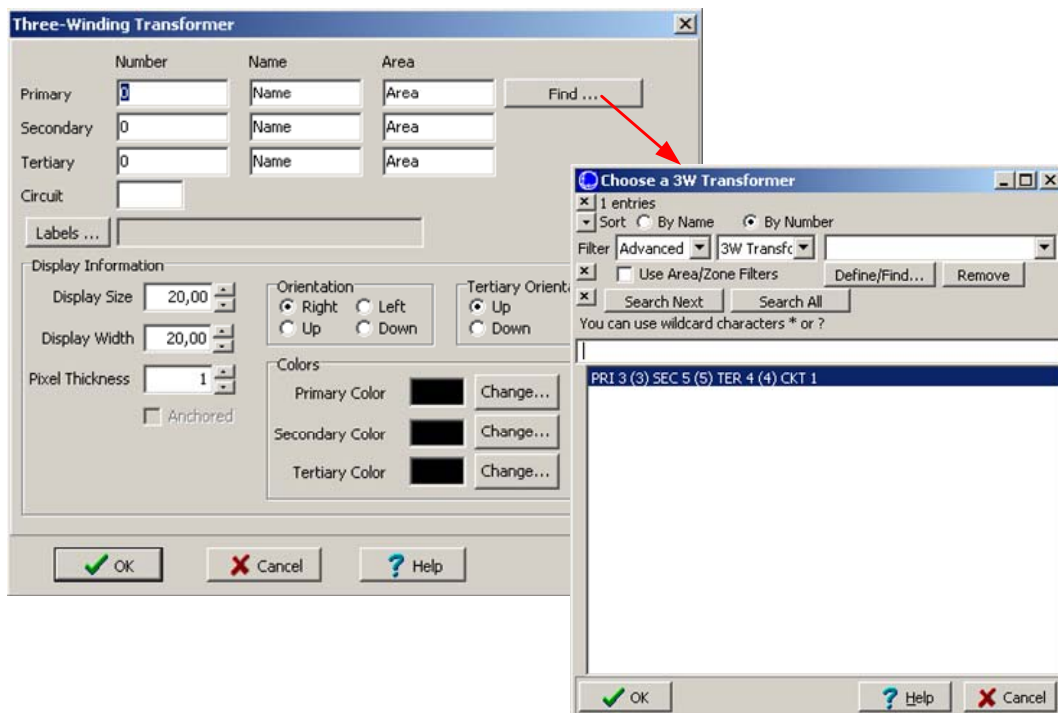
Kad visi augstāk minētie parametri ir ievadīti, jānospiež *Set Two-Winding Equivalent Transformers* lai programma izveido divtinuma transformatora ierakstu. Parādīsies jauns rediģēšanas logs (1.15. att.), kur neko nemainot vienkārši jānospiež *OK*. Tad parādīsies vel viena tabuliņa ar jautājumu zīmi kur arī jānospiež *Yes*.

Pēc šīs operācijas veiksmīgas paveikšanas tabulas beigās (1.14. att.) jāparādās datiem par matemātiska ekvivalenta trīs divtinuma transformatoriem. Spiežam *OK* un pēc tam var aiztaisīt ciet *Model Explorer* logu.



1.15. att. Trīstinumu transformatora izmaiņas saglabšanas logs

Tālāk uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Draw > Network > Three-Winding Transformer*. Tad jānoklikšķina uz jebkuru shēmas vietu ar peles kreiso pogu. Jaunajā rediģēšanas logā (1.16. att.), jāuzklikšķina *Find* pogu un pēc tam attiecīgajā logā jāizvēlas ar dubulto klikšķi agrāk izveidotais ieraksts ar trīstinumu transformatoru.



1.16. att. Trīstinumu transformatora izvēles logs

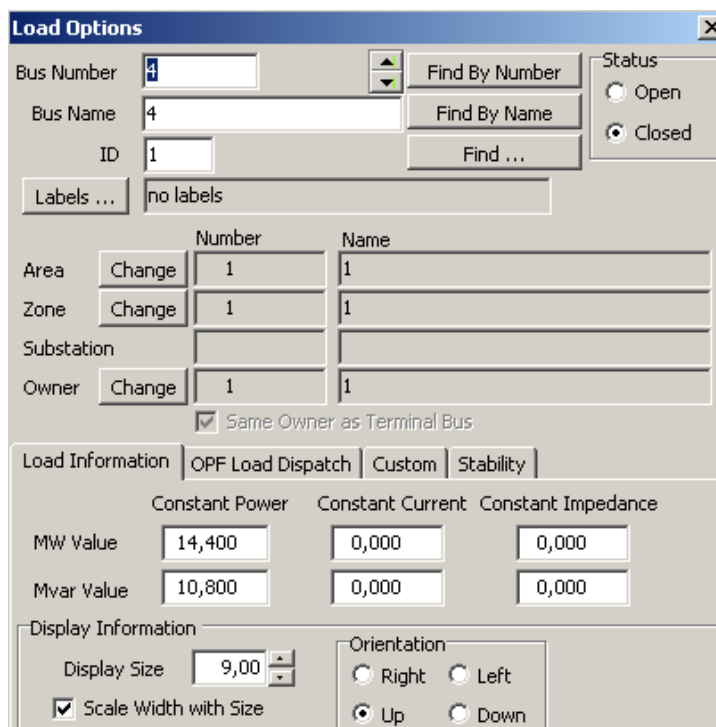
Lai shēma būtu pārskatāma un lai būtu redzams kur ir kāds trīstinuma transformatora tinums, var uzdot tinumu krāsu *Color* darbības laukā, mainot tinuma krāsu izmantojot tam paredzēto pogu *Change* (1.16. att.). Kad krāsas ir izvēlētas, pamatlogā spiežam pogu *OK*.



## Slodze (Load)

Uzdevuma panelī (1.3. att.), jāizvēlas *Draw > Network > Load*, tad jāuzklikšķina uz kopni kur paredzēta slodze. Parādīsies jauns rediģēšanas logs (1.17. att.), kur būs jāievada iegūtā pēc 1.1 izteiksme slodzes aktīvā un pēc 1.2 izteiksmes iegūtā slodzes reaktīvā jauda, ailītēs zem *Constant Power*, atbilstoši *MW Value* un *Mvar Value*.

Ja elementa orientācija neatbilst vēlamai, tad ar dubulto klikšķi uz elementu izsaucam rediģēšanas logu (1.17. att.), un *Orientation* darbības laukā jānomaina elementa orientācija.

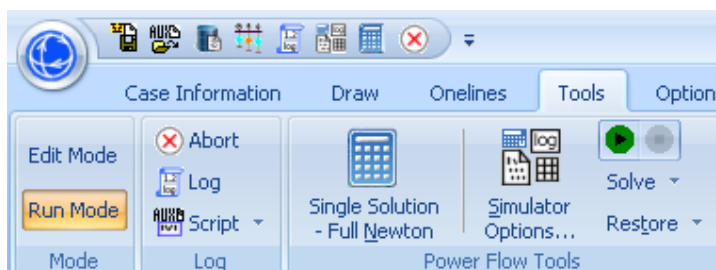


1.17. att. Slodzes rediģēšanas logs

## Īsslēguma aprēķins

Kad visas shēmas elementi ir ievadīti un uzdotas tās parametru vērtības var pāriet pie shēmas palaišanas un īsslēguma aprēķina.

Sākumā ir jāpalaiž shēma un jāpārlicinās, ka viss darbojas! Uzdevuma panelī, jāizvēlas **RUN MODE > Tools** un jāuzklikšķina uz zaļo bultiņu (*Play*), (1.18. att.).

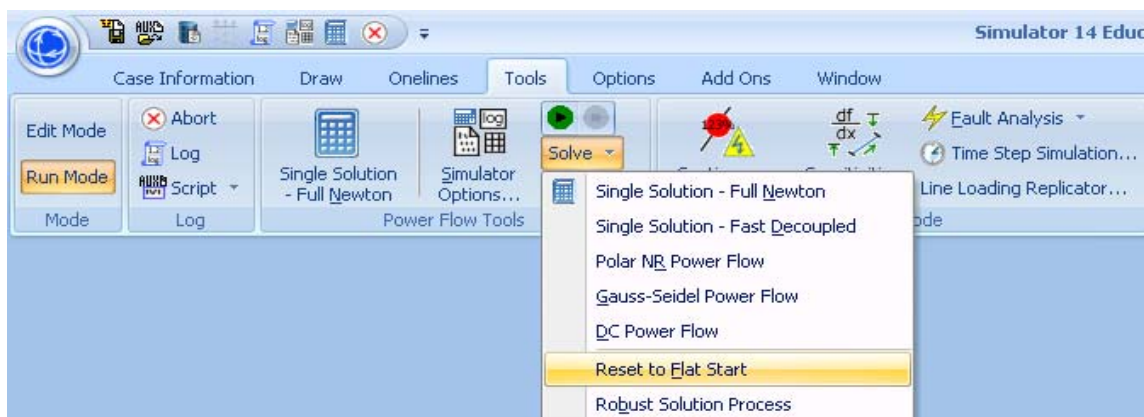


1.18. att. Uzdevuma panelis

Ja neiestājas „*blackout*” tad shēma darbojas un var pāriet pie īsslēguma aprēķina. Ja shēmas palaišanas brīdī parādījās „*blackout*” īsziņa, tad jāmeklē kļūda. Uzdevuma panelī, jāizvēlas *Edit Mode* un jāpārbauda katra elementa ievadītais parametrs, kā arī vai nav ielikts kāds

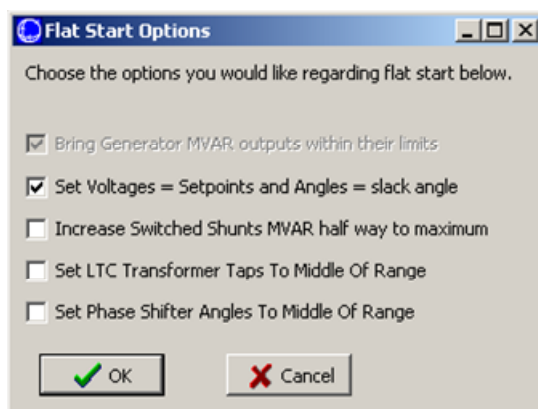


lieks ķeksītis vai ierobežojums. Tas ir ļoti darbietilpīgs process. Pēc kļūdas meklēšanas procesa, pirms shēmas palaišanas brīža uzdevuma panelī jāuzklikšķina Solve un tālāk jāizvēlas Reset to Flat Start (1.19. att.).



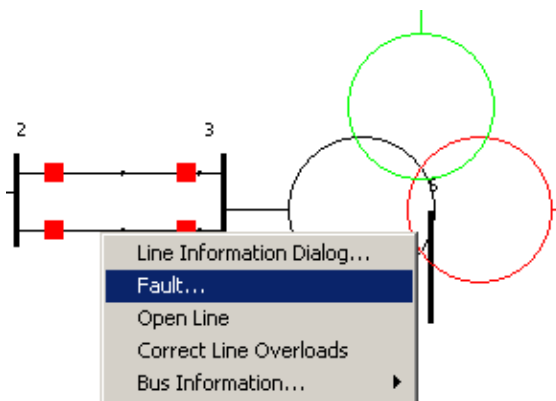
1.19. att. Risinājuma izvēlne

Jaunajā izvēlnē būs jāuzlik ķeksītis pie Set Voltages=Setpoints and Angles=slack angle (1.20. att.). Šī funkcija uzstāda visus sprieguma lielumus un ģeneratora uzstādītās vērtības pie 1.0 relatīvajam vienībām un visus sprieguma leņķus pie nulles vērtībām.



1.20. att.

Īsslēgumu var uztaisīt uz kopnes vai līnijā. Kursors jāpieliek pie potenciāla īsslēguma vietas un noklikšķot ar peles labo pogu, parādīsies izvēlne, kur jāizvēlas Fault (1.21. att.).

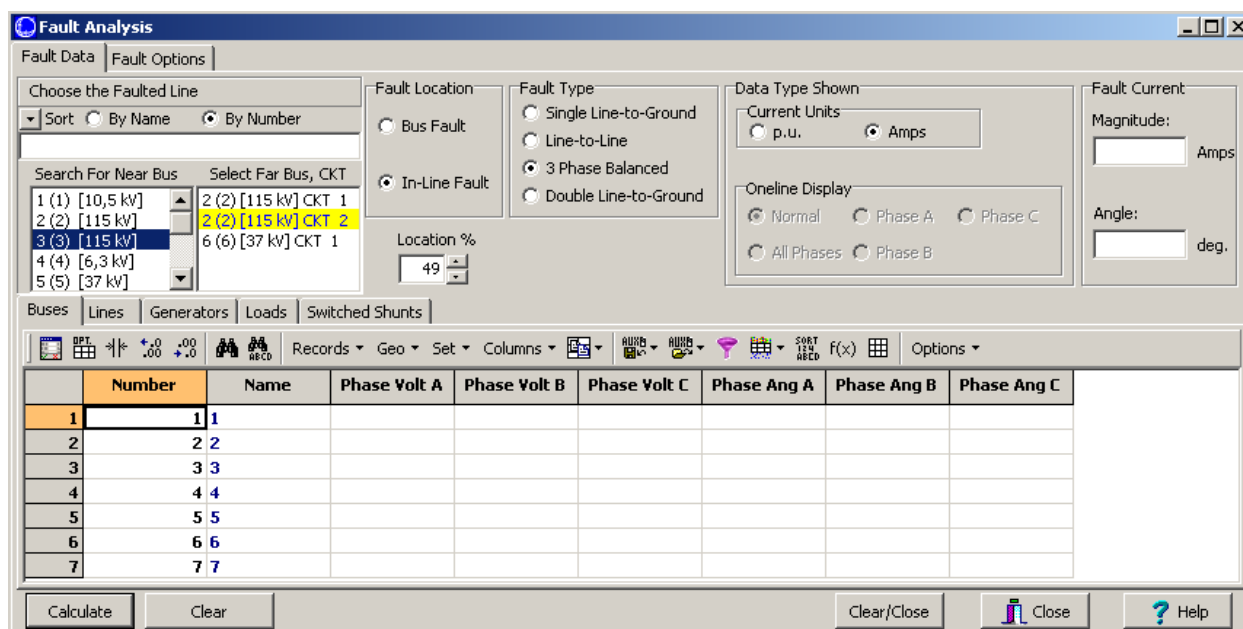


1.21. att. Īsslēguma uzdošana

Fault rediģēšanas logā (1.22. att.), jāizvēlas īsslēguma tips – Fault Type darbības logā jāatzīmē 3 Phase Balanced.

Rezultātā, strāvas vērtību var iegūt relatīvajās vienībās vai ampēros. Mūs interesē ampēri, tad Data Type Shown > Currents Units darbības laukā jāizvēlas Amps (1.22. att.).

Darbības laukā Fault Location atspoguļojas informācija par īsslēguma vietu. Īsslēguma vietu var mainīt tajā pašā Fault Location darbības laukā, izvēloties tam atbilstošās kopnes vai līnijas numuru blakus esošajos logos. Ailītē zem Location atspoguļojas īsslēguma attālums, notiekot īsslēgumam līnijā.



1.22. att. Īsslēguma analīzes logs

Kad tiek izvēlēti visi nepieciešamie iestatījumi, tad apakšējā kreisajā stūrī spiežam Calculate.

1.22. attēlā (Fault Analysis), rediģēšanas logā var redzēt aizliktnes Buses, Lines, Generators, Loads, Switched Shunts. Rezultātā mums vajadzētu iegūt divas tabuliņas ar aprēķinātiem parametriem:

1. Kopnes spriegumus un leņķa vērtības, no aizliktnes Buses;
2. Līnijas fāzes strāvas, no aizliktnes Lines,

kā arī jāpieraksta īsslēguma strāvas vērtība no darbības lauka Fault Current > Magnitude.

Aprēķinātie dati no Buses un Lines aizliktnēm viegli var nosūtīt uz **Microsoft Office Excel**, noklikšķot peles labo taustiņu jebkurā tabulas vietā un piedāvātā izvēlnē izvēlies Copy/Paste/Send > Send All to Excel.

## Jaudas plūsmas aprēķina iespējas

Programmā ir vairākas iespējas jaudas plūsmas aprēķinam. Kad ir pabeigta shēmas parametru ievadīšana, uzdevuma panelī 1.3 att., jāizvēlas RUN MODE > Tools un spiežam uz Solve pogu 1.19. att. kur arī būs piedāvāts jaudas plūsmas aprēķina izvēle:

Single Solution – Full Newton – šī funkcija izpilda jaudas plūsmas aprēķinu ar vienīgo atrisinājumu – Pilna Ņūtona metode. Praktiski visas shēmas vērtības var iegūt pirms shēmas palaišanas izmantojot šo funkciju.

Polar NR Power Flow – funkcija izpilda jaudas plūsmas aprēķinu izmantojot Ņūtona

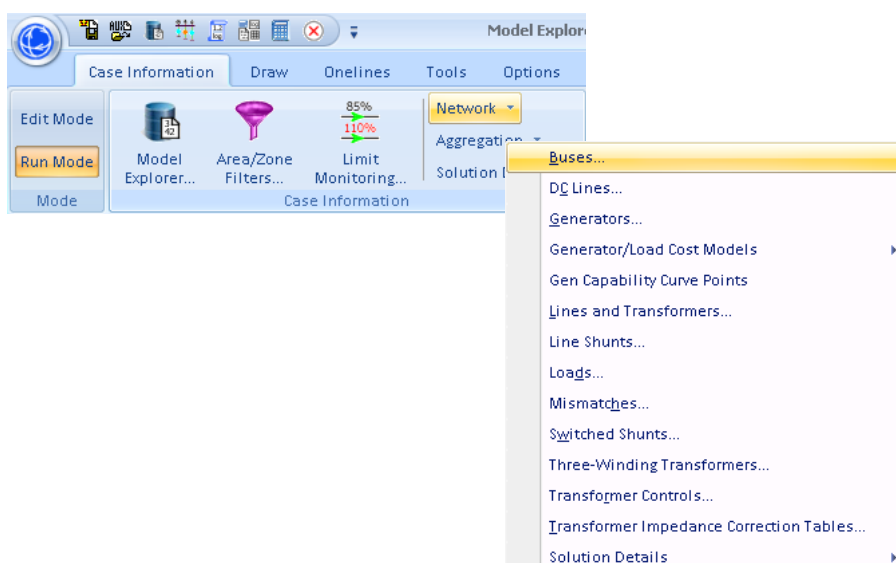
Rapsona metodi ar polāro koordinātu izmantošanu aizvietojojt taisnstūra koordinātes, kas parasti tiek izmantotas aprēķiniem.

DC Power Flow – šī funkcija automātiski izmaina modelēšanas programmas opcijas izmantojot līdzstrāvas tuvināto vērtību un uzreiz izpilda līdzstrāvas jaudas plūsmas aprēķinu.

Robust solution Process – piedāvā paņēmieni risinājumu atrašanai gadījumos, kad standarts jaudas plūsmas aprēķins (Ņūtona Rapsona) nedod risinājumu. Robust solution Process izpilda aprēķinu vairākos soļos.

Pirmkārt, Robust solution atslēdz visu elementu kontroli dotajā shēmā. Tad jaudas plūsmas aprēķins būs izpildīts ar Fast Decoupled (ātrs atrisinājums) metodi. Gadījumā, ja jaudas plūsmas „ātrs atrisinājums” (Fast Decoupled) sasniedz atrisinājumu, tad simulators spēj atrisināt jaudas plūsmu sadalījuma uzdevumu, izmantojiet Ņūtona Rapsona jaudas plūsmas aprēķinu (visu elementu kontrole paliek neaktivēta). Jā Ņūtona Rapsona jaudas plūsmas aprēķins bijis veiksmīgs, tad simulators atjauno katra elementa automatikas kontroli (ieslēdzot tos pa vienam uz laiku) un pēc katra elementa kontroles atgriešanas tiek pārrēķinātas jaudas plūsmas.

Lai iegūt rezultātus, uzdevuma panelī 1.3. att. jāizvēlas Case Information un nospiežot uz Network pogu var izvēlēties sev nepieciešamu elementu jaunajā izvēlnē 1.23. att. Tā, piemēram, lai apskatīt spriegumus un leņķus uz kopnēm jāizvēlas Buses – parādīsies jauns logs ar aprēķina rezultātiem, kur augša var arī pārslēgt dažādas aizliktnes.



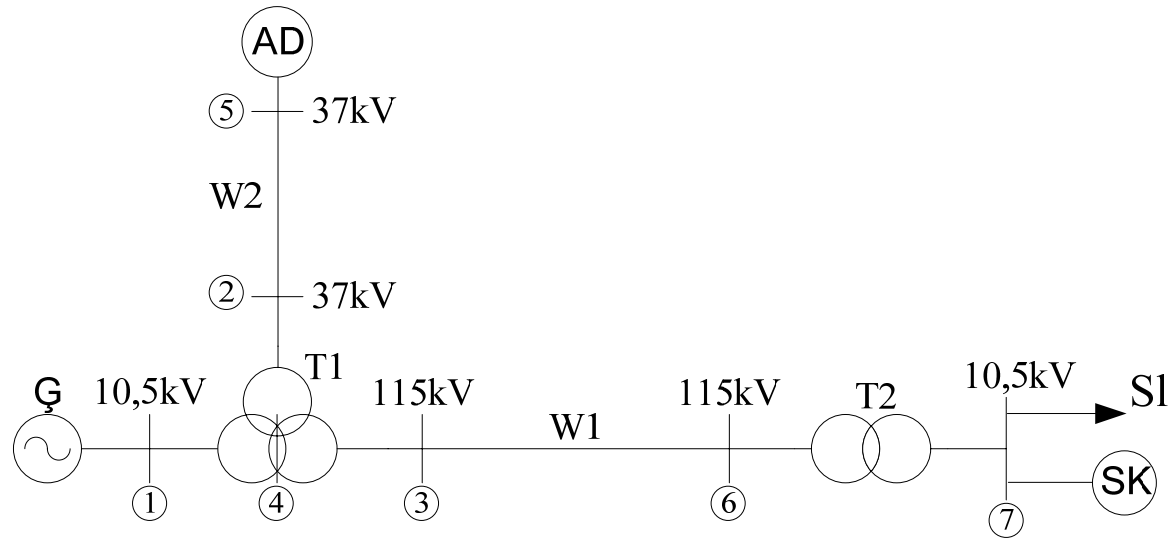
1.23. att.

Atskaite par jaudas plūsmu var saņemt izvēloties Case Information uzdevuma panelī 1.3. att. un tālāk nospiežot Power Flow List pogu.

## Izmantotie informācijas avoti

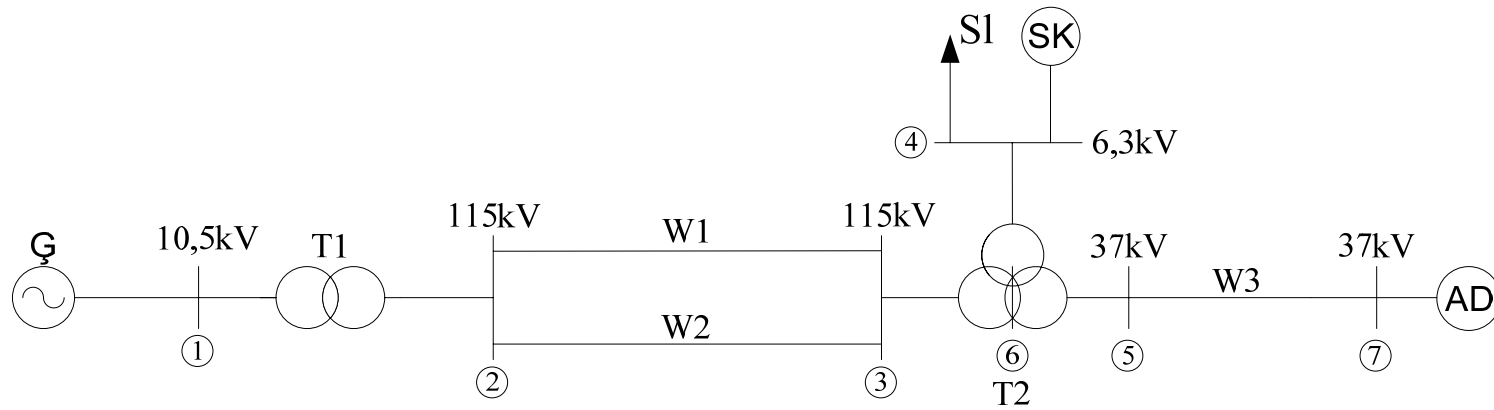
1. *Papkovs B., Zicmane I. Elektromagnētiskie pārejas procesi elektriskās sistēmās. - Rīga: RTU izdevniecība 2007, - 306 lpp.*
2. D. Žalostība. PowerWorld (12.v.) programmas īss apraksts. – Rīga: RTU, 6 lpp.
3. *PowerWorld Simulator Version 14. User's Guide. PowerWorld Corporation, 2009, -1517 p.*
4. [www.powerworld.com](http://www.powerworld.com)

# Pielikums 1



G			T1				w1			w2			T2		SI	Sk		AD	
S <sub>G</sub>	X <sup>"d</sup>	Cosφ	S <sub>T</sub>	U <sub>KA</sub>	U <sub>KV</sub>	U <sub>KZ</sub>	I	X <sub>0</sub>	MVA Limits	I	X <sub>0</sub>	MVA Limits	S <sub>T</sub>	U <sub>k</sub>	S	S	X <sup>"</sup>	S	X <sup>"</sup>
100	0,192	0,8	60	13	33	18,5	130	0,41	100	15	0,41	50	40	10,5	25	7	0,3	6	0,2
110	1,189	0,8	80	11	34	22	150	0,41	100	25	0,41	50	32	10,5	22	4	0,2	8	0,2
80	0,13	0,8	40	11	32	20	100	0,41	100	20	0,41	50	32	10,5	15	4	0,2	5	0,2

## Pielikums 2



G			T1		w1, w2			w3			T2				SI	Sk		AD	
S <sub>G</sub>	X'' <sub>d</sub>	Cosφ	S <sub>T</sub>	U <sub>k</sub>	I	X <sub>o</sub>	MVA Limits	I	X <sub>o</sub>	MVA Limits	S <sub>T</sub>	U <sub>KA</sub>	U <sub>KV</sub>	U <sub>KZ</sub>	S	S	X''	S	X''
60	0,13	0,8	31,5	10,5	100	0,41	50	20	0,41	50	20	17,5	-4,5	26,5	18	5	0,2	6	0,2
80	0,15	0,8	40	10,5	150	0,41	150	50	0,41	50	25	11	32	20	10	6	0,2	4	0,2
100	0,19	0,8	80	10,5	200	0,41	150	100	0,41	50	32	11	34	22	14	7	0,3	7	0,2