# 3. Преодни процеси во трифазни кола

**Пример 3.1.** Разгледуваме 400 kV вод со должина 113,5 km чиј што распоред на проводниците на главата на столбот е даден на сликата 3.1, додека нивните координати се дадени во табелата 3.1. Фазните спроводници се изведени со сноп од 2 спроводника со дијаметар од 30,6 mm поставени на растојание од 40 cm, додека заштитните јажиња се единечни и имаат дијаметар од 14,2 mm. Надолжната активна отпорност на фазните спроводници изнесува 0,058  $\Omega$ /km, а на заштитното јаже 0,62  $\Omega$ /km. Специфичниот отпор на земјата над која што поминува водот изнесува 200  $\Omega$ m. Напонот на почетокот на водот изнесува 400 kV, а вредноста на струјата на трифазна куса врска во собирниците каде што тој е приклучен изнесува  $I_{K3} = 16$  kA и е познато дека односот помеѓу активниот отпор и реактанцијата во системот изнесува X/R = 10. Во моментот t = 1/4 периода (максимален вредност на напонот) се вклучува само фазата A од водот, а се исклучува во моментот t = 4 периоди. Фазите B и C за целото време се оставени отворени. Да се одредат параметрите на водот, а потоа да се пресметаат напоните на фазите A и B на крајот од водот. Пресметките да се направат за два случаи:

- а) водот е претставен со дистрибуирани параметри,
- б) водот е претставен со две редно поврзани л-шеми.



Слика 3.1. Распоред на спроводниците на главата на столбот

Табела 3.1. Координати	и на спроводниците на главата	на столбот
------------------------	-------------------------------	------------

Спроводник	<i>x</i> (m)	<i>y</i> (m)
А	-8,47	10
В	0	10
С	8,47	10
Р	-5,07	17
Q	5,07	17

### Решение

Моделот на колото според кое што ќе го симулираме еднофазното вклучување на трифазен вод е Primer3\_1.mdl и неговиот изглед е даден на сликата 3.2.

Напонскиот генератор е со фреквенција од 50 Hz, фазен агол еднаков на нула и максимална вредност на напонот еднаква на 400e3/sqrt(3)\*sqrt(2), додека паралелната

RL гранка ја симулира еквивалентната отпорнот и индуктивност на системот во јазелот каде што што е приклучен водот.

Паралелната RLC е дефинирана со блокот

Parallel RLC Branch

кој што се наоѓа во SimPowerSystems/Elements.

Во примерот 2.5 системот беше претставен со редна RL гранка чии што параметри R и L беа пресметани со следните изрази 400/sqrt(3)/16/10 и 400/sqrt(3)/16/(100\*pi), односно тие изнесуваа  $R = 1,434 \ \Omega$  и  $L = 45,9 \ mH$ . Доколку таквата редна гранка ја еквивалентираме со паралелна, може да се покаже дека вредностите на R и L од паралелната гранка ќе изнесуваат  $R = 145,8 \ \Omega$  и  $L = 46,3 \ mH$ .

симулира 400 kV со трифазна  $\pi$ -шема. Двата елементи се наоѓаат во се наоѓа во SimPowerSystems/Elements.

Почетната состојба на двата прекинувачи е 0, а временските моменти во кои што тие ќе ја променат состојбата се [ 0.25/50 4/50 ].



Слика 3.2. Модел за симулација на еднофазното вклучување на трифазен вод

Параметрите на водот  $(r, l \, u \, c)$  за директен и нулти систем можеме да ги пресметаме користејќи ги податоците за спроводниците на водот и нивниот распоред на главата на столбот. За таа цел е потребно во командниот простор во Matlab да ја напишеме командата power\_lineparam со што го добиваме прозорецот од сликата 3.3. Прозорецот од сликата 3.3 е поделен на 3 дела. Во горниот лев агол се внесуваат податоците за фреквенцијата и специфичниот отпор на земјиштето, додека во горниот десен агол се внесуваат бројот на фази и заштитни јажиња, како и координатите на спроводниците заедно со нивниот тип (во случајот 1 или 2). Податоците за типските проводници се внесуваат во долниот дел од прозорецот како што е прикажан на самата слика. За пресметка на сопствената индуктивност на спроводниците се користи односот T/D кој што е дефиниран на сликата 3.4 каде што се претпоставува дека во општ случај спроводникот е шуплив со дебелина на ѕидот T и надворешен пречник D. За полни проводници овој однос изнесува T/D = 0.5.

🛃 Power_lineparam. Lin	e Data of Pri	mer3_1_koo	ordinati.mat					
Units: metric Frequency (Hz): 50 Ground resistivity (ohm.m): Comments:	200	Line ( Num Num	Geometry Iber of phase co Iber of ground v Stor Phase	onductors (bund vires (bundles): X	iles): 3 2 Y tower	] ] Y min	Conductor	
	<u> </u>	(pund	ie) number	(m)	(m)	(m)	(bundle) type	
		p1	1	-8.47	10	10	1	
		p2	2	0	10	10	1	
		рЗ	3	8.47	10	10	1	
		g1	0	-5.07	17	17	2	
		<b>g</b> 2	0	5.07	17	17	2	
Conductor and Bundle Characteristics         Number of conductor types       Conductor internal inductance evaluated from or bundle types:         2       T/D ratio								
Conductor Conductor (bundle) outside diameter type (cm)	Conductor T/D ratio	Conductor GMR (cm)	Conductor DC resistance (Ohm/km)	Conductor relative permeability	Number of conductors per bundle	Bundle diameter (cm)	Angle of conductor 1 (degrees)	
1 3.06	0.5	1.19514	0.058	1	2	40	0	
2 1.42	0.5	0.552964	0.62	1	1	0	0	
Load     Save     Compute RLC line parameters     Help     Close								

Слика 3.3. Пресметка на параметрите на водот



Слика 3.4. Дефиниција на величините Т и D за спроводниците

Со кликнување на Compute RLC line parameters го добиваме резултатот кој што е прикажан на сликата 3.5. Доколку во моделот Primer3\_1.mdl го селектираме елеметот кој што го моделира водот со дистрибуирани параметри тогаш со кликнување врз Selected Block во долниот дел од сликата 3.5 го добиваме следниот изглед

Send RLC parameters to block:	
Primer3_1/Vod so distribuirani parametri	Selected block
Download: RLC Matrices or Sequences	

каде што ни е овозможено на елментот  $Primer3_1/Vod$  so distribuirani parametri автоматски да му ги зададеме пресметаните параметри со кликнување врз RLC Matrices или Sequences. Во првиот случај на елеметот  $Primer3_1/Vod$  so distribuirani parametri му се задаваат матрици со димензии  $3\times3$  со сопствените и меѓусебните отпорности,

индуктивности и капацитивности за сите 3 фази, додека во вториот случај му се задаваат параметрите r, l и c за директен и нулти систем (тука е користен овој случај кај двата елемента). На сличен начин може да им се зададат и параметрите на блоковите Primer3\_1/Sekcija 1 и Primer3\_1/Sekcija 2.

🛃 Display RLC Values	
RLC line parameters:	
Frequency (Hz):	^
50	
Ground resistivity (ohm.m): 200	
Resistance matrix R_matrix (ohm/km):	
0.11637 0.089266 0.08553 0.089266 0.12127 0.089266 0.08553 0.089266 0.11637	
Inductance matrix L_matrix (H/km):	
0.001529 0.0005496 0.000433 0.0005496 0.0014906 0.0005496 0.000433 0.0005496 0.001529	
Capacitance matrix C_matrix (F/km):	
1.0643e-008 -1.3918e-009 -3.4639e-010 -1.3918e-009 1.0936e-006 -1.3918e-009 -3.4639e-010 -1.3918e-009 1.0643e-008	~
Send RLC parameters to block:	
Selecte	d block
Download: RLC Matrices or Sequences	
Sand RI C narameters to workenage Create a report	Close
Senume parameters to workspace	CIUSE

Слика 3.5. Пресметани вредности на параметрите *r*, *l* и *c* 

Обликот на напонот ќе го прикажеме до времето од 0,1 s, а бараниот резултат го прикажуваме на осцилоскопите UA и UB на кои што ги прикажуваме напоните на фазите A и B пресметани со моделирање на водот со вод со дистрибуирани параметри (жолта линија) и со две редно поврзани трифазни  $\pi$ -шеми (лилјакова линија). Покрај тоа напоните на фазите A и B ги испраќаме во работниот простор во променливите ua и ub.

Резултатите од симулацијата се прикажани на сликите 3.6 и 3.7, додека максимални вредности на напоните можеме да ги добиеме со пишување на наредбата max(abs(ua)) и max(abs(ub)) во командниот простор во MATLAB со што добиваме 655,0 kV и 132,7 kV.

Коефициентот на пренапон на фазата А за овој случај изнесува

$$k = \frac{655}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 2,01.$$

Доколку сликата 3.6 се зумира околу моменто на вклучување, како што тоа е прикажано на сликата 3.8, се забележуваат остри промени на напонот кај моделот на водот со дистрибуирани параметри (жолта линија). Овие скокови во напонот се поради рефлексијата на патувачките бранови на двата од водот. Кај моделот со  $\pi$ -шема овие скокови се филтрирани и се прикажани со заоблени линии. На крајот, по исклучувањето на водот напоните на фазите А и В остануваат на вредностите кои што се акумулирани во капацитивноста на водот во моментот на исклучување.



Слика 3.6. Напон на фазата А на крајот на водот при еднофазно вклучување



Слика 3.7. Напон на фазата В на крајот на водот при еднофазно вклучување



Слика 3.8. Напон на фазата А на крајот на водот непосредно по моментот на вклучување

**Пример 3.2.** Вод со карактеристики како во примерот 3.1 поврзува две трафостаници при што напонот на неговиот почеток изнесува 410 kV, додека напонот на неговиот крај изнесува 395 kV и фазно заостанува во однос на напонот на почетокот за 2,5<sup>0</sup>. Струјата на трифазна куса врска на собирниците на почетокот на водот изнесува 16 kA, а на собирниците на крајот од водот изнесува 14 kA. Освен тоа е познато дека односот помеѓу активниот отпор и реактанцијата во системот на двата краја од водот изнесува изнесува X/R = 10. Во моментот t = 0,06 s (3 периоди) на средината на водот настанува еднофазна кус врска на фазата A. Во моментот t = 0,2 s (10 периоди) реагира заштитата на двата краја од водот и ја ислучува фазата A, со што се елиминира лакот од кусата врска во моментот t = 0,3 s (15 периоди). Во моментот t = 0,4 s (20 периоди) прекинувачите на двата краја на водот повторно ја вклучуваат фазата A со што се воспоставува нормален работен режим. Да се одреди обликот на фазните напони на почетокот на водот, како и обликот на струјата на куса врска.

# Решение

Моделот на колото според е даден во Primer3\_2.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.9. Водовите V1 и V2 имаат исти параметри како и водот од примерот 3.1 а нивните должини изнесуваат 113,5/2 km.



Слика 3.9. Модел за симулација на автоматско повторно вклучување на трифазен вод при еднофазна куса врска

Еквивалентите на електроенергетскиот систем на двата краја на водот се моделирани со трифазни напонски генератори со блокот



кој што се наоѓа во SimPowerSystems/Electrical Sources. Со двојно кликнување врз него се добива прозорецот од сликата 3.10 каде што се внесуваат ефективната вредност на напонот (410e3), фазниот агол на фазата A (0), фреквенцијата (50), начинот на поврзување (Yg – заземјена ѕвезда), вредноста на моќноста на трифазна куса врска (sqrt(3)\*400e3\*16e3) и напонот при кој што таа моќност е пресметана (400e3) и односот

X/R (10). На сличен начин се внесуваат сите наведени податоци за другиот крај на водот.

🗑 Block Parameters: Three-Phase Source 🛛 🗙
Three-Phase Source (mask) (link)
Three-phase voltage source in series with RL branch.
Parameters
Phase-to-phase rms voltage (V):
410e3
Phase angle of phase A (degrees):
0
Frequency (Hz):
50
Internal connection: Yg
Specify impedance using short-circuit level
3-phase short-circuit level at base voltage(VA):
sqrt(3)*400e3*16e3
Base voltage (Vrms ph-ph):
400e3
X/R ratio:
10
OK Cancel Help Apply

Слика 3.10. Дефинирање на параметрите на трифазен напонски генератор

На двата краја на водот има поставено трифазни прекинувачи кои што се наоѓаат во SimPowerSystems/Elements. Нивната почетна е closed, а временските моменти во кои што тие ќе ја променат состојбата се [ 10/50 20/50 ] при што промената на состојбата се однесува само на фазата А како што тоа е прикажано на сликата 3.11.

🗟 Block Parameters: Three-Phase Breaker 🛛 🛛 🔀
Three-Phase Breaker (mask) (link)
Connect this block in series with the three-phase element you want to switch. You can define the breaker timing directly from the dialog box or apply an external logical signal. If you check the "External control" box, the external control input will appear.
Parameters
Initial status of breakers closed
Switching of phase A
Switching of Phase B
Switching of phase C
Transition times (s)
[ 10/50 20/50 ]
External control of switching times
Breakers resistance Ron (ohms)
0.001
Snubbers resistance Rp (Ohms)
1e6
Snubbers capacitance Cp (Farad)
inf
Measurements None
OK Cancel Help Apply

Слика 3.11. Дефинирање на параметрите на трифазен прекинувач

Кусата врска се симулира со блокот



кој што се наоѓа во SimPowerSystems/Element. Временските моменти во кои што настанува и исчезнува кусата врска се [ 3/50 15/50] при што е дефинирано дека настанува спој со земја на фазата А како што тоа е прикажано на сликата 3.12.

📓 Block Parameters: Three-Phase Fault
Three-Phase Fault (mask) (link)
Use this block to program a fault (short-circuit) between any phase and the ground. You can define the fault timing directly from the dialog box or apply an external logical signal. If you check the 'External control' box , the external control input will appear.
Parameters
Phase A Fault
Phase B Fault
Phase C Fault
Fault resistances Ron (ohms) :
0.001
🗹 Ground Fault
Ground resistance Rg (ohms) :
0.001
External control of fault timing :
Transition status (1,0,1):
[1 0]
Transition times (s):
[ 3/50 15/50]
Snubbers resistance Rp (ohms) :
Leo Sauthan Canadanan Ca (Canada
Shubbers Lapacitance Lp (Farad)
OK Cancel Help Apply

Слика 3.12. Дефинирање на параметрите на кусата врска

Резултатите од симулацијата се прикажани на сликата 3.13, додека максимални вредности на напоните можеме да ги добиеме со пишување на наредбите max(abs(ua)), max(abs(ub)) и max(abs(uc)) во командниот простор во MATLAB со што добиваме 353,3 kV; 367,8 kV и 374,5 kV.

Коефициентот на пренапон за одделните фази за овој случај изнесува

$$k_{A} = \frac{353,3}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,08;$$

$$k_{B} = \frac{367,8}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,13;$$

$$k_{C} = \frac{374,5}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,15.$$

Од сликата се забележува дека кај напоните на фазите В и С практично нема никакви промени. Освен тоа, коефициентите на пренапони на сите три фази се многу мали.

Обликот на струјата на куса врска е даден на сликата 3.14 а нејзината ударна вредност изнесува 23,8 kA.



Слика 3.13. Фазни напони на почетокот на водот при еднофазна куса врска на средината на водот



Слика 3.14. Струја на куса врска на средината на водот

Доколку мерењета на напоните ги направиме на средината на водот (модело Primer3\_2b.mdl) во кој што мерењата се групирани во еден подсистем како што тоа е прикажано на сликата 3.15 (изгледот на подсистемот Trifazno merenje е даден на сликата 3.16), тогаш максимални вредности на фазните напоните на местото каде што настанала кусата врска изнесуваат 362,5 kV; 380,9 kV и 408,8 kV.

Коефициентот на пренапон за одделните фази за овој случај изнесува

$$k_{A} = \frac{362,5}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,11;$$

$$k_{B} = \frac{380,9}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,17;$$

$$k_{C} = \frac{408,8}{\sqrt{2} \frac{400}{\sqrt{3}}} = 1,25.$$



Слика 3.15. Мерење на напоните на местото на куса врска при автоматско повторно вклучување на трифазен вод при еднофазна куса врска



Слика 3.16. Изглед на подсистемот Trifazno merenje

**Пример 3.3.** Нека во примерот 3.2 го занемариме постоењето на трифазната куса врска на средината на водот, со што разгледуваме негова нормална работа. Да се анализира колото во преоден режим со времетраење од 1 s при што почетните услови во колото да се зададе да бидат еднакви со крајните (нема преоден процес). Да се одреди:

- а) активната и реактивната моќност на почетокот на водот,
- б) загубите на активна и реактивна моќност во водот.

# Решение

Моделот на колото за случајот под а) е даден во Primer3\_3a.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.17. За разлика од сликата 3.9 во колото од сликата 3.17 ги нема прекинувачите на двата краја од водот и кусата врска на неговата средина. Во овој случај на почетокот од водот сериски со него е поврзан блокот Three-Phase V-I Measurement кој што се наоѓа во SimPowerSystems/Extra Library/Measurements. Неговата намена е да ги мери струите низ него, како и фазните напони на кои што тој е приклучен. Тој има трифазен влез (ABC) и трифазен излез (abc) кои што се поврзуваат редно со елеметот каде што сакаме да направиме мерења. Како излезни резултати од мерењата тој дава два излезни сигнали кои што содржат по три вектори со измерени врдности за трите фазни напони (Vabc) и трите фазни струи (Iabc) посебно.



Слика 3.17. Мерење на моќности на почетокот на еден трифазен вод

Излезните сигнали од блокот за мерење на напони и струи се носат во блокот 3phase Instantaneous Active & Reactive Power кој врз основа на моменталните вредности на напоните (Vabc) и струите (Iabc) (кои може и да не се со чист синусен облик) ги пресметмува вредностите на активната и реактивната моќност кои што ги дава во еден излезен сигнал (PQ). Овој блок исто така се наоѓа во SimPowerSystems/Extra Library/Measurements. Heroвиот излезен сигнал го носиме до демултиплексер (Demux) кој што се наоѓа во библиотеката Simulink/Signal Routing и кој што тука има еден влез и два излези. Тој врз основа на сложениот сигнал кој што во себе ги содржи вредностите на P и Q заедно прави два одвоени сигнали со посебни вредности за P и Q. Овие два одвоени сигнали ги носиме на два дисплеи (земени од библиотеката Simulink/Sinks) каде што отчитуваме дека бараните вредности на моќнстите изнесуваат:

$$P = 1,147 \cdot 10^8 \text{ W} = 114,7 \text{ MW};$$
  
 $Q = 4,567 \cdot 10^7 \text{ var} = 45,67 \text{ Mvar}.$ 

За случајот под б) е потребно да направиме мерења на активната и реактивната моќност на двата краја од водот и резултатите да ги собереме со што ќе ги добиеме загубите на моќност во водот (референтната насока за моќноста и кај двете мерења е од почетокот кон крајот на водот). Моделот на колото за овој случај е даден во Primer3 3b.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.18.

За разлика од сликата 3.17 во колото од сликата 3.18 блокот за мерење на фазните напони и струи, заедно со блокот за пресметка на моќностите и демултиплексерот се ставени во подсистеми означени со Merenje1 и Merenje2. Изгледот на овие подсистеми е прикажан на сликата 3.18. Во подсистемите пред да се направи демултиплексирање на излезните сигнали тие се помножени со  $10^{-6}$  со помош на блокот Gain кој што се наоѓа во библиотеката Simulink/Math Operations. На таков начин на излезот од подсистемот за активната и реактивната моќност ќе добиеме вредности изразени во МW и Mvar.



Слика 3.18. Мерење на моќности на двата краја на еден трифазен вод



Слика 3.19. Подсистем за мерење на моќности во трифазна гранка

Вредностите на загубите на активна и реактивна моќност во водот ги добиваме со собирање на активната и реактивната моќност на двата краја од водот со користење на суматор кој што се наоѓа во библиотеката Simulink/Math Operations. На таков начин добиваме:

 $\Delta P = 0,64 \text{ MW};$  $\Delta Q = -64,59 \text{ Mvar.}$ 

**Пример 3.4.** Вод со карактеристики како во примерот 3.1 со својот почеток е поврзан во трафостаница каде што напонот е идеално симетричен и изнесува 410 kV, при што струјата на трифазна куса врска на собирниците изнесува 16 kA. Освен тоа е познато дека односот помеѓу активниот отпор и реактанцијата во системот на двата краја од водот изнесува изнесува X/R = 10. На крајот од водот е приклучен идеално симетричен трифазен потрошувач кој што има чисто активна моќност  $P_2$ . Да се утврди степенот на несиметрија на фазните напони на крајот од водот за случаите кога моќноста  $P_2$  има вредности од 0, 250, 500, 750 и 1000 MW.

Во разгледуваниот случај несиметријата се должи на фактот дека водот е несиметричен трифазен елемент па и покрај тоа што изворот и потрошувачот се наполно симетрични трифазни елементи, сепак фазните струи и напони во било која точка по должината на водот ќе образуваат трифазни несиметрични системи. Степенот на несиметрија на трифазните величини се изразуваат преку т.н. "фактори на несиметрија". Така, на пример, кога се работи за трифазните напони во јазолот k, факторите на несиметрија за инверзниот и нултиот редослед се дефинираат на следниот начин:

$$f_k^i = \frac{U_k^i}{U_k^d} \cdot 100$$
, за инверзниот редослед и (3.1)

$$f_k^0 = \frac{U_k^0}{U_k^d} \cdot 100$$
, за нултиот редослед. (3.2)

Симетричните компоненти  $\underline{U}_{k}^{d,i,0}$  на фазните напони во јазолот k се пресметуваат преку познатите фазни напони  $\underline{U}_{k}^{a,b,c}$  во истиот јазол со помош на матричната равенка (3.3):

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{k}^{d} \\ \underline{U}_{k}^{i} \\ \underline{U}_{k}^{0} \\ \underline{U}_{k}^{0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \underline{a} & \underline{a}^{2} \\ 1 & \underline{a}^{2} & \underline{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_{k}^{a} \\ \underline{U}_{k}^{b} \\ U_{k}^{c} \\ \end{bmatrix}.$$
(3.3)

Во равенката (3.3) фигурира комплексниот оператор <u>а</u> дефиниран на следниот начин:

$$\underline{a} = e^{j2\pi/3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$
(3.4)

Наместо равенките (3.1) – (3.4) ние тука ќе користиме готови блокови од Simulink кои што ги прават наведените пресметки.

### Решение

Моделот на колото е даден во Primer3\_4.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.19. За разлика од сите до сега наведени примери во овој случај параметрите на водот ќе ги се задаваме со матрици со димензии 3×3 со сопствените и меѓусебните отпорности, индуктивности и капацитивности за сите 3 фази. Тоа го правиме со постапката опишана во примерот 3.1 само што сега на дијалогот за префрлање на

параметрите во блокот за водот треба да кликнеме на тастерот RLC Matrices

Трифазниот потрошувач на крајот на водот е симулиран со блокот



Three-Phase Series RLC Load

кој што е поврзан преку блокот Three-Phase V-I Measurement чија што намена е да ги мери струите низ него, како и фазните напони на кои што тој е приклучен. Со двојно кликнување врз блокот Three-Phase Series RLC Load го добиваме дијалогот од сликата 3.21 каде што одбираме врската на потрошувачот да биде заземјена ѕвезда, за номинален линиски напон внесуваме 400е3, а за номинална фреквенција внесуваме 50. Активната моќност на потрошувачот според условот во задачата ја менуваме при што внесуваме 1, 250е6, 500е6, 750е6 и 1000е6, додека за реативната моќност (капацитивна и индуктивна) цело време задаваме вредност 0. Работата на водот во празен од ја симулираме со потрошувач од 1 W, затоа што во овој блок не е дозволено и активната и реактивната моќност да бидат едновремено еднакви на нула.



Слика 3.20. Одредување на степенот на несиметрија на крајот од трифазен вод

📓 Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load 🛛 🛛 🔀
Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)
Implements a three-phase series RLC load.
Parameters
Configuration Y (grounded)
Nominal phase-to-phase voltage Vn (Vrms)
400e3
Nominal frequency fn (Hz):
50
Active power P (W):
1000e6
Inductive reactive power QL (positive var):
0
Capacitive reactive power Qc (negative var):
0
Measurements None
OK Cancel Help Apply

Слика 3.21. Параметри на трифазниот потрошувач

Одредувањето на симетричните компоненти на напоните на крајот на водот го правиме со помош на блокот



кој што се наоѓа во библиотеката SimPowerSystems/Extra Library/Phasor Library. Овој блок на влезот прифаќа трифазен (мултиплексиран) сигнал, а на излезот дава два мултиплексирани сигнали составени од три компоненти кои што ги даваат модулите (Mag) и фазните агли (Phase) на симетричните компоненти. Со двојно кликнување врз овој блок го добиваме дијалогот од сликата 3.22 каде што имаме внесено дека на излезот сакаме да ги добиеме сите компоненти (одбрано е Positive Negative Zero во Sequence).



Слика 3.22. Параметри на блокот за одредување симетрични компоненти

Резултатот за пресметаните симетрични компоненти на напоните е помножен со коефициент  $1/\sqrt{2}$  и е прикажан на дисплеј каде што се прикажани три вредности (дисплеот е истегнат по вертикала за да покаже повеќе од една вредност) за сите симетрични компоненти на напоните одделно. Истовремено, резултатите се испраќаат и во демултиплексер со три излезни каде што добиваме три одделни сигнали за секоја симетрична компонента на напонот посебно.

Релациите (3.1) и (3.2) се моделирани со помош на блок за делење на сигнали



кој што се наоѓа во библиотеката Simulink/Math Operations. Резултатот од делењето на крајот е помножен со 100 и е прикажан на два одделни дисплеја.

Во овој случај симулацијата нема да ја правиме во временски домен туку во доменот на фазори (решавање на коло за наизменична струја со копмплексни броеви). За тоа да го напрвиме кликнуваме два пати врз објектот

Continuous powergui со што го добиваме дијалогот од сликата 3.23 каде што ја одбираме опцијата Phasor simulation и внесуваме фреквенција од 50 Hz. Со тоа во моделот го добиваме следниот објект



powergui

со што ни е сигнализирано дека сме одбрале симулација со помош на фазори.

🛃 Primer3_4_phasors/power 🔳 🗖 🗙				
Simulation type				
Phasor simulation				
Frequency (Hz): 50				
O Discretize electrical model				
Sample time (s): 50e-6				
O Continuous				
Options				
Show messages during analysis				
Restore disabled links? warning				
Analysis tools				
Steady-State Voltages and Currents				
Initial States Setting				
Load Flow and Machine Initialization				
Use LTI Viewer				
Impedance vs Frequency Measurement				
FFT Analysis				
Generate Report				
Hysteresis Design Tool				
Compute RLC Line Parameters				
Help Close				

Слика 3.23. Избор на видот на симулација

Резултатите од пресметаните коефициенти на несиметрија за различен степен на оптовареност на водот се прикажани во табелата 3.1. Секоја одделна редица од табелата е добиена со посебно активирање на симулацијата при што е менувана активната моќност на крајот од водот. Резултатите од последната редица од табелата може да се видат и на сликата 3.20.

$P_2(MW)$	$f_i$ (%)	$f_0$ (%)
0	0,02	0,03
250	0,50	0,15
500	0,97	0,28
750	1,45	0,39
1000	1,89	0,48
		]

Табела 3.1. Степен на несиметрија на напоните на крајот на водот

Пример 3.5. Надземните водови со напон од 400 kV, без исклучок, се штитат од директни атмосферски празнења во фазните спроводници со две заштитни јажиња. Тие се поставуваат на врвот од столбот поради што имаат несиметрична положба во однос на трите фазни спроводници. Поради тоа во нормален режим на работа, дури и во услови на строга симетрија на товарот, фазните струи ќе индуцираат електромоторни сили во заштитните јажиња кои пак од своја страна ќе предизвикаат течење на струи во самите заштитни јажиња што претставува извор на дополнителни загуби на моќност и енергија. Може да се покаже<sup>1</sup> дека струите во заземјувачкиот систем главно циркулираат низ контурите формирани од заштитните јажиња и главите на столбовите, додека струи низ заземјувачите течат само кај неколку столба на почетокот и крајот на водот. Сето тоа не води до идејата за многу поедноставно решавање на проблемот: бидејќи не течат струи низ заземјувачите на столбовите можеме да сметаме дека заштитните јажиња не се споени со земјата освен во разводните постројки на почетокот и крајот од водот со што добиваме една контура чија должина е еднаква со должината на водот како што тоа е прикажано на сликата 3.24. На таа слика со R<sub>A</sub> и R<sub>B</sub> се означени отпорите на заземјувачите во постројките А и В на двата краја од водот.



Слика 3.24. Модел на трифазен вод за пресметка на загубите на моќност во заштитните јажиња

Користејќи го моделот на водот од сликата 3.24 да се пресметаат загубите на активна моќност во заштитните јажиња на водот од примерот 3.4 за случаите кога моќноста на неговиот крај  $P_2$  изнесува 0, 250, 500, 750 и 1000 MW. Отпорноста на зазмејувачите на двата краја од водот изнесува  $R_A = R_B = 0.5 \Omega$ .

#### Решение

Моделот на колото е даден во Primer3\_5.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.25. Во овој случај водот е претставен како петфазен елемент затоа што тука сакаме да ги пресметаме приликите токму во 4 и 5 проводник (заштитните јажиња). Во претходните случаи 4 и 5 проводник беа еквивалентирани и пресметките се однесуваа само на еквивалентниот вод составен од три проводници. Тоа значи дека сега параметрите на водот ќе ги се задаваме со матрици со димензии  $5 \times 5$  со сопствените и меѓусебните отпорности, индуктивности и капацитивности. Матриците ги пресметуваме со помош на програмата power\_lineparam со постапката опишана во примерот 3.1. Во овој случај во одбираме 5 фазни проводници и 0 заштитни јажиња како што тоа е прикажано на сликата 3.26. На таков начин програмата ќе ги пресмета

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Р. Ачковски, М. Тодоровски, "Нов метод за пресметување на загубите на моќност во заштитните јажиња кај високонапонските надземни водови", Зборник на трудови на Електротехнички факултет, Скопје, год. 20, бр. 1-2, стр. 27-37, 1997.

бараните матрици со димензии 5×5 кои што ги префрламе во блокот со кој е претставен водот (по 5 приклучоци од двете страни).



Слика 3.25. Модел за пресметка на загубите на моќност во заштитните јажиња

🛿 Power_lineparam. Line Data of Primer 3_5_koor dinati.mat								
Units: metric Frequency (Hz): 50 Ground resistivity (ohm.m): Comments:	200	Line Ge Number Number	cometry r of phase co r of ground w r Phase	nductors (bund ires (bundles): X	les): 5 0 V tower	] ]	Conductor	
	^	(bundle)	number	(m)	(m)	(m)	(bundle) type	
		p1	1	-8.47	10	10	1	1
		p2	2	0	10	10	1	
		р3	3	8.47	10	10	1	
		p 4	4	-5.07	17	17	2	
	~	p5	5	5.07	17	17	2	
Conductor and Bundle Characteristics         Number of conductor types       Conductor internal inductance evaluated from or bundle types:         2       T/D ratio								
Conductor Conductor (bundle) outside diameter type (cm)	Conductor C T/D ratio	Conductor Co GMR r (cm)	onductor DC resistance (Ohm/km)	Conductor relative permeability	Number of conductors per bundle	Bundle diameter (cm)	Angle of conductor 1 (degrees)	
1 3.06	0.5 1	1.19514	0.058	1	2	40	0	
2 1.42	0.5 0.	.552964	0.62	1	1	0	0	
Load Save Compute RLC line parameters Help Close								

Слика 3.26. Пресметка на параметрите на водот претставен со 5 проводници

На почетокот водот се напојува преку симетричен трифазен извор, а заштитните јажиња се меѓусебно споени и заземјени преку отпорникот  $R_{\rm A}$ . Тие исто така се поврзани на крајот од водот и се заземјени преку отпорникот  $R_{\rm B}$  додека на трите фазни проводници е поврзан симетричен трифазен потрошувач. На крајот на водот, сериски со него, е поврзан блок за мерење на сите напони и струи чиј што изглед е прикажан на сликата 3.27. Во него редно со секоја фаза е поврзан елемент за мерење струја, а помеѓу

секоја фаза и земјата е поврзан елемент за мерење напон. Измерените сигнали се групирани по 5 (посебно за напоните и струите) преку мултиплексери, па потоа се помножени со  $1/\sqrt{2}$  (за да се добијат ефективни вредности) и се испраќаат на два одделни излези.

Во главниот модел измерените напони и струи се праќаат во работниот простор во векторите napon и struja кои што имаат по 5 елементи. Симулацијата, како и во примерот 3.4 ја правиме во доменот на фазори (решавање на коло за наизменична струја со копмплексни броеви) и за времето до кое што таа треба да трае ставаме 0.



Слика 3.27. Петфазно мерење на напони и струи

Симулацијата ја активираме 5 пати за 5 различни вредности на активната моќност и тоа 1, 250е6, 500е6, 750е6 и 1000е6, додека за реативната моќност (капацитивна и индуктивна) цело време задаваме вредност 0. При секоја симулација во работниот простор добиваме нови вектори пароп и struja кои што ги користиме за да ги пресметаме загубите на активна моќност во заштитните јажиња. Пресметката ја правиме со помош на програмата DP.m кој што го има следниот изглед:

Во неа прво е внесена матрицата на капацитивностите на водот која што е ископирана од програмата power\_lineparam. Земено е дека водот е претставен со својата

π-шема во која што половина од проводноста заради капацитетите на водот е поврзана на почетокот на водот, а другата половина на неговиот крај. Таа проводност тука е означена со матрицата Y која што е пресметана со изразот

```
Y = j * 100*pi * C_matrix * 113.5/2;

Изразот

strujal = abs(struja' - Y * napon');
```

ги пресметува модулите на струите кои што течат на крајот на водот пред напречната гранка со која што е симулирана проводноста од капацитетите на водот.

На крајот се пресметуваат загубите на моќност со изразот

```
DPzj = 0.62 * 113.5 * (struja1(4)^2 + struja1(5)^2) / 1000
```

во кој што е резултатот е прикажан во kW. Резултатите од пресметките се дадени во табелата 3.2. Ако претпоставиме дека просечната вредност на загубите изнесува 100 kW во текот на годината вкупната загуба на енергија ќе изнесува 876 MWh што при цена на електричната енргија од 80 €/MWh ќе изнесува околу 70000 €.

Табела 3.2. Загуби на активна моќност во заштитните јажиња на водот

$P_2(MW)$	$\Delta P_{zj}$ (kW)
0	0,6
250	39,0
500	147,7
750	314,1
1000	523,8

Еден од начините загубите да се елиминираат е заштитните јажиња да не се заземјуваат директно на двата краја, туку на едниот крај да бидат изолирани преку искриште. Тоа се прави по должината на водот во одделни распони, но ако претпоставиме дека тие заземјени само на едниот крај а изолирани само на другиот крај ќе го добиеме моделот на водот од сликата 3.28 (Primer3\_5b.mdl). И во овој случај во јажињата ќе се индуцира напон но тој нема да предизвика течење на струја затоа што нема затворени контури па поради тоа нема ни течење на струи ниту загуби на моќност во нив. Индуцираните напоните во заштитните јажиња за случајот кога е  $P_2 = 1000$  MW се 4,6 и 6,1 kV (слика 3.28).



Слика 3.28. Вод со заштитни јажиња заземјени само на едниот крај

**Пример 3.6.** Разгледуваме енергетски трансформатор со следните параметри 400/115,5 kV/kV, 300 MVA,  $u_k = 12\%$  и  $P_{Cun} = 900$  kW. Трансформаторот се вклучува во празен од на 400 kV собирници каде што моќноста на трифазна куса врска изнесува 10000 MVA. Актуелната вредноста на напонот на собирниците изнесува 395 kV, при што вклучувањето се случува при максимална вредност на напонот. Намотките на трансформаторот се поврзани во ѕвезда и се заземјени од двете страни. Отпорноста на гранката за магнетизирање во еквивалентата шема на трансформаторот изнесува  $R_m = 200$  k $\Omega$ . Земајќи го предвид заситувањето на јадрото на трансформаторот да се одреди обликот на струјата на празен од во сите три фази, како и напонот на фазата A на секундарната страна. Да се одреди и големината на третиот хармоник во обликот на струјата (примар) и напонот (секундар) на фазата A.

## Решение

Најнапред ќе ги пресметаме параметрите на намотките на трансформаторот во единечни вредности. Доколку усвоиме базен напон од 400 kV и базна моќност од 100 MVA тогаш базната импеданција ќе изнесува 1600  $\Omega$ , додека базната индуктивност ќе изнесува 1600/ $\omega$  = 5,093 H.

Активната отпорност на редната гранка на трансформаторот изнесува

$$R_T = \Delta P_{Cu} \frac{U_n^2}{S_n^2} \cdot \frac{1}{1600} = 0,001 \text{ pu}, \qquad (3.5)$$

а нејзината индуктивност е

$$L_T = \frac{u_k}{100} \frac{U_n^2}{S_n \cdot \omega} \cdot \frac{1}{\frac{1600}{\omega}} = \frac{u_k}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{1}{1600} = 0,04 \text{ pu}.$$
(3.6)

Ако претпоставиме дека во единечни вредности параметрите на двете намотки се идентични, тогаш имајќи предвид дека во еквивалентата шема тие се поврзани сериски, за нивните параметри можеме да напишеме:

$$R_1 = R_2 = \frac{R_T}{2} = 0,0005 \text{ pu}, \qquad (3.7)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{L_T}{2} = 0,02 \text{ pu}.$$
 (3.8)

Единечната вредност на отпорот на гранката за магнетизирање изнесува

$$R_m = \frac{200000}{1600} = 125 \text{ pu}.$$
(3.9)

Моделот на колото е даден во Primer3\_6.mdl а неговиот изглед е прикажан на сликата 3.29. Трансформаторот во колото е претставен со блок кој што се наоѓа во SimPowersystems/Elements, а дијалогот преку кој што се внесуваат неговите параметри е даден на сликата 3.30. Во него имаме одбрано дека параметрите ќе ги внесуваме во единечни вредности. За двете намотки селектираме врска заземјена ѕвезда (Yg) и ги имаме внесено параметрите за линискиот напон, отпоноста и индуктивноста на намотките: [ 400е3 0.0005 0.02 ] за примарната и [ 115.5е3 0.0005 0.02] за секундарната намотка. За податоците за гранката за магнетизирање го внесуваме нејзиниот отпор (125 ри) и селектираме дека јадрото е со заситување (нема константна индуктивност на

намотките) при што за кривата на магнетизирање, во недостаток на други податоци, ги оставаме податоците дефинирани во самиот блок.



Слика 3.29. Симулација на вклучување на трифазен трансформатор во празен од

📓 Block Parameters: 300 MVA 400/110 kV Trifazen transform 🔀				
Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)				
This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.				
Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.				
Parameters				
Units pu				
Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]				
Winding 1 (ABC) connection : Xa				
Winding r (Abc) connection. Ty				
[ 400e3 0 0005 0 02 1				
Winding 2 (abc) connection : Yg				
Winding parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(pu) , L2(pu) ]				
[ 115.5e3 0.0005 0.02]				
Saturable core				
Magnetization resistance Rm (pu)				
125				
Saturation characteristic (pu) [ i1 , phi1 ; i2 , phi2 ; ]				
[0 0; 0.0 1.2; 1.0 1.52]				
Simulate hysteresis				
Specify initial fluxes				
Measurements None				
Show additional parameters				
OK Cancel Help Apply				

Слика 3.30. Параметри на трифазен трансформатор

Трансформаторот се напојува преку идеален трифазен извор чии параметри се внесуваат на идентичен начин како во претходните примери. Во серија со него се

поврзани трифазно мерење на струи и трифазен прекинувач чие што време на вклучување е 0,05 s. На секундарот на трансформаторот, на фазата A, е приклучен блок за мерење на напонот. Мултиплекисираните сигнали од трите фазни струи и сигналот од напонот се носат на осцилоскоп со 4 влеза.

На другите два влеза од осцилоскопот доаѓаат сигналите од фуриевата анализа на примарната струја во фазата A и напонот на секундарот од фазата A. Блокот за фуриева трансформација се наоѓа во SimPowerSystems/Extra Library/Measurements, а дијалогот за негово нагодување е прикажан на сликата 3.31. Во него се внесува основната фреквенција (50 Hz) и редниот број на хармоникот кој што сакаме да го добиеме на излезот од блокот.

Резултатите од симулацијата се прикажани на сликата 3.32, а дијаграмите зумирани во опсегот 0,9–1 s се прикажани на сликата 3.33 каде што се забележува значителна компонента на третиот хармоник на струјата чиј што облик е далеку од синусен.

🙀 Function Block Parameters: Fourier1	×			
Fourier analyser (mask) (link)				
The Fourier block performs a Fourier analysis of the input signal over a running window of one cycle of the fundamental frequency. First and second outputs return respectively the magnitude and phase (degrees) of the harmonic component specified.				
Parameters				
50				
Harmonic n (0=DC; 1=fundamental; 2=2nd harm;):				
3				
OK Cancel Help App	ly 🛛			

Слика 3.31. Параметри на блокот за фуриева трансформација



Слика 3.32. Струи и напони при пуштање на трансформатор во празен од



Слика 3.33. Струи и напони при пуштање на трансформатор во празен од (детаљ)

**Пример 3.7.** Турбогенератор G преку својот блок трансформатор T може да се смета дека е поврзан на крута мрежа чиј што напон е константен и изнесува 115,5 kV. Моќноста која што генераторот ја оддава во мрежата изнесува 50 MW колку што е и механичката моќност на турбината (активните отпорности на генераторот и трансформаторот се занемарени). Во моментот  $t_1 = 0,5$  s доаѓа до зголемување на механичката моќност на турбината на вредност од 60 MW. Да се одреди временскиот тек на промената на брзината на вртење на генераторот, оддадената електрична моќност како и аголот  $\delta$  до моментот  $t_2 = 5$  s.

#### Бројни вредности:

G: S<sub>n</sub> = 100 MVA; U<sub>n</sub> = 10,5 kV; X"<sub>d</sub> = X<sub>i</sub> = 12%; X'<sub>d</sub> = 30%; X<sub>d</sub> = 120%; T<sub>J</sub> = 6 s, K = 20 (конст. на придушување).
T: S<sub>n</sub> = 100 MVA; U<sub>n1</sub>/U<sub>n2</sub> = 10,5/115,5 kV/kV; u<sub>k</sub> =12 %.



#### Решение

Моделот на колото според кое ќе ги правиме симулациите е Primer3\_7.mdl и е даден на сликата 3.34. Синхрониот генератор е претставен со упростен модел во единечни вредности (Simplified Synchronous Machine pu Units) кој што се наоѓа во библиотеката SimPowerSystems/Machines. Тој има три приклучоци за фазите A, B и C и два влезни сигнали за параметрите Pm (механичка моќност) и E (електромоторна сила). Освен тоа тој има и еден излезен сигнал означен со m кој што всушност е збир од поголем број сигнали за кои ќе стане збор подоцна. Со двојно кликнување врз блокот го добиваме дијалогот за внесување податоци прикажан на сликата 3.35.



#### Слика 3.34. Синхрон генератор на крута мрежа

📓 Block Parameters: Simplified Synchronous Machine pu Units 🛛 🔀				
Simplified Synchronous Machine (mask) (link)				
Implements a 3-phase simplified synchronous machine. Machine is modeled as an internal voltage behind a R-L impedance. Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.				
Use this block if you want to specify per unit parameters.				
Parameters				
Connection type: 3-wire Y				
Nom. power, L-L volt., and freq. [ Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz) ]:				
[100e6 10.5e3 50]				
Inertia, damping factor and pairs of poles [H(sec) Kd(pu_T/pu_w) p()]				
[6 20 1]				
Internal impedance [ R(pu) X(pu) ]:				
[0 0.3+0.12]				
Init. cond. [ dw(%) th(deg) ia,ib,ic(pu) pha,phb,phc(deg) ]:				
[0,0_0,0,0_0,0]				
OK Cancel Help Apply				

Слика 3.35. Параметри на сихрониот генератор

Параметрите на синхрониот генератор се состојат од 4 групи на податоци кои се внесуваат како 4 матрици во соодветните полиња на дијалогот. Во првата група на податоци се внесуваат номиналнатамоќност, напон и френвенција [100e6 10.5e3 50]. Во втората група на податоци се внесуваат времето на залет, коефициентот на придушување на осцилациите и бројот на парови полови [6 20 1]. Во третата група на податоци се внесуваат активниот отпор и реактакцијата на генераторот [0 0.3+0.12]. За реактанцијата на генераторот тука е внесен збирот од реактанциите на генераторот и трансформаторот изразени во единечни вредности (0.3+0.12). На таков начин во блокот за генераторот е еквивалентиран и трансформаторот поради што немаме внесено посебен блок за него. Во четвртата група на податоци се внесуваат податоци за почетната состојба на одредени величини како што се промена на аголната брзина, аголот  $\delta$ , вредностите на фазните струи и нивните фазни агли. Тука привремено имаме внесено вектор со нули [ 0,0 0,0,0 0,0,0 ], а потоа почетните услови ќе ги пресметаме со помош на самиот Simulink.

Механичката моќност на генераторот е дефинирана со помош на правоаголен импулс зададен со Step блок кој што се наоѓа во Simulink/Sources. Дијалогот за внесување на неговите податоци е прикажан на сликата 3.36. Кај него е дефинирана почетна вредност 0.5 (одговара на 50 MW) и крајна вредност 0.6 (одговара на 60 MW), а временскиот момент кога ќе се случи промената е дефиниран во полето Step time и тој изнесува 0.5.

📓 Source Block Parameters: Pm 🛛 🛛 🔀
Step
Output a step.
Parameters
Step time:
0.5
Initial value:
0.5
Final value:
0.6
Sample time:
Interpret vector parameters as 1-D
Enable zero crossing detection
OK Cancel Help

Слика 3.36. Дефинирање на механичката моќност

Електромоторната сила е дефинирана со помош на блок константа кој што се наоѓа во Simulink/Sources. На почетокот на таа константа и задаваме вредност 1.

Крутата мрежа ја моделираме со блокот Three-Phase Programmable Voltage Source кој што се наоѓа во SimPowerSystems/Electrical Sources и кој што всушност претставува трифазен напонски генератор на кој може да му се зададе (програмира) начин на промена на неговиот напон. Дијалогот за внесување на неговите податоци е прикажан на сликата 3.37 каде што се гледа дека имаме одбрано тој да е со константна временски непроменлива ефективна вредност на напонот со тоа што None во полето Time variation of.



Слика 3.37. Параметри на крутата мрежа

Излезениот сигнал означен со m од синхрониот генератор го водиме на блокот Bus Selector кој што се наоѓа во Simulink/Signal Routing. Неговата намена е од еден сигнал кој што се состои од група од повеќе сигнали да оддели некои сигнали кои што сакаме понатаму да ги обработуваме или прикажуваме. Со двојно кликнување врз тој блок го добиваме дијалогот од сликата 3.38. На дијалогот имаме две рамки со сигнали, при што на левата страна се дадени сите можни сигнали (сите кои излегуваат од синхрониот генератор), додека на десната страна се дадени само оние сигнали кои што сакаме да се појава на излезот од блокот Bus Selector. Сигналите од левата рамка ги избираме со покажување со глушецот, а ги префрламе во десната рамка со кликнување врз тастерот Select>>. На таков начин ги имаме одбрано сигналите Terminal voltage Va (pu) – напон на излез од генераторот на фазата A, Internal voltage Ea (pu) – внатрешна електромоторна сила на генераторот на фазата A, Rotor speed wm (pu) – брзина на вртење на роторот на генераторот, Electrical power Pe (pu) – електрична моќност на генераторот.

📓 Function Block Parameters: Bus Selector 🛛 🛛 🔀					
BusSelector This block accepts a bus as input which can be created from a Bus Creator, Bus Selector or a block that defines its output using a bus object. The left listbox shows the signals in the input bus. Use the Select button to select the output signals. The right listbox shows the selections. Use the Up, Down, or Remove button to reorder the selections. Check 'Output as bus' to output a single bus signal.					
Signals in the bus         Stator current is_a (pu)         Stator current is_c (pu)         Stator current is_c (pu)         Terminal voltage Va (pu)         Terminal voltage Va (pu)         Terminal voltage Va (pu)         Internal voltage Va (pu)         Internal voltage Ea (pu)         Internal voltage Eb (pu)         Internal voltage Eb (pu)         Rotor angle theta (rad)         Rotor speed wm (pu)         Electrical power Pe (pu)	Find Select>> Refresh	Selected signals Terminal voltage Va (pu) Internal voltage Ea (pu) Rotor speed wm (pu) Electrical power Pe (pu)	Up Down Remove		
OK Cancel Help Apply					

Слика 3.38. Избор на сигнали за приказ како излезни резултати

Првите два излезни сигнали ги праќаме во блокови за фуриева трансформација на кои им е зададено да го одредат првиот хармоник при што од резултатот од фуриевата трансформација го користиме само податокот за фазниот агол на хармоникот. Со тоа за напонот и електромоторната сила на генераторот ги одредуваме фазните агли, а со нивно одземање го добиваме аголот  $\delta$  кој што го прикажуваме како прв сигнал на осцилоскопот со 3 влезови. Сигналот за брзината на вртење на роторот на генераторот го множиме со 50 со што неговата брзина ја добиваме во Hz и ја прикажуваме како втор сигнал на осцилоскопот. На крајот, сигналот за електричната моќност го множиме со 100 со што добиваме вредности на моќноста изразени во MW кои што ги прикажуваме како трет сигнал на осцилоскопот.

Пред да започнеме со симулацијата е потребно да ги одредиме почетните вредности на претхнодно наведените величини на генераторот. Тоа го правиме на следниот начин. Со двојно кликнување на иконата



(ако неа ја нема во колото тогаш ќе ја активираме симулацијата без пресметка на почетните вредности, со што ќе добиеме погрешни резултати, но ќе постигнеме таа да се појави на шемата) го добиваме дијалогот од сликата 3.23 каде што кликнуваме на Load Flow and Machine Initialization со што го добиваме дијалогот од сликата 3.39. Тука внесуваме вредност на напонот на генераторот (10500) и неговата активна моќност (5е7) и потоа кликнуваме на Update Load Flow. Со тоа се пресметани почетните услови во колото, односно почетните вредности на соодветните величини и автоматски се префрлени во колото. Така на пример, почетните вредности промената на аголната брзина, аголот  $\delta$ , вредностите на фазните струи и нивните фазни агли изнесуваат [0 11.8598 0.5 0.5 0.5 0 -120 120] (овие вредности можеме да ги видиме со двојно кликнување врз генераторот и сите тие на почетокот имаа вредност 0).

Machine Lo	ad Flow Tool. model: Primer3_7	
Machines load fl	ow:	Machines:
Machine: Nominal: Bus Type: Uab: Ubc: Uca: Ia: Ib: Ic: P: Q: Pmec: Torque: E:	Simplified Synchronous Machine pu Units 100 MVA 10.5 kV rms P&V generator 0.00" 10500 Vrms [1 pu] 30.00" 10500 Vrms [1 pu] -90.00" 10500 Vrms [1 pu] 150.00" 2749.3 Arms [0.5 pu] 120.00" 2749.3 Arms [0.5 pu] 120.00" 5e+007 W [0.5 pu] 3.1003e-009 Vars [3.1e-017 pu] 5e+007 W [0.5 pu] 1.5915e+005 N.m [0.5 pu] pu	Simplified Synchronous Mac  Bus type:  P & V generator  Terminal voltage UAB (Vrms):  10500  Active power (Watts):  5e+007  Reactive power (Vars):  X  Phase of UAN voltage (deg):  X  Load flow frequency (Hz):  50  Load flow initial condition:  Auto  Update Circuit & Measurements  Update Load Flow  Close

Слика 3.39. Пресметка на почетните услови на генераторот

Со активирањето на симулацијата ги добиваме бараните промени на соодветните величини кои што се прикажани на сликата 3.40. Од резултатите се забележува дека електричната моќност на генераторот од моментот t = 0,5 s почнува да се менува и од вредност 50 MW на крајот од преодниот процес достигнува вредност од 60 MW. Во исто време аголот  $\delta$  се менува од  $11,9^0$  на  $14,4^0$ , а брзината на вртење во текот на преодниот процес има вредности различни од 50 Hz но на крајот таа повторно се стабилизира на 50 Hz. Промената на сите величини оди со придушени синусни осцилации што значи дека генераторот е динамички стабилен.



Слика 3.40. Промената на брзината на вр<br/>тење на генераторот, оддадената електрична моќност како и аголо<br/>т $\delta$