

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

КГЭУ

высшего профессионального образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВПО «КГЭУ»)

Кафедра № ЭСиС

Экз. №

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по учебной дисциплине

«Б1.В.ДВ.02.01.09 Физико-математическое моделирование электроэнергетических систем»

Лабораторные работы

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИТАЮЩИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Методическое пособие по выполнению виртуальных лабораторнопрактических работ по дисциплине «Электроэнергетические сети и системы»

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Цель работы: научиться составлять трёхфазные модели электрических сетей, освоить приемы моделирования электрических систем распределительных сетей.

3.1. Моделирование электрической распределительной сети

Распределительными сетями называют сети, к которым присоединяются потребители электроэнергии. Напряжение таких сетей, как правило, составляет 20 кВ. К питающим сетям относят сети с номинальным напряжением 35 кВ и выше.

В некоторых случаях напряжение в сети может составлять 35 и 110 кВ из-за их разветвленности, поэтому они могут называться распределительными.

В настоящее время большинство потребителей электрической энергии питаются от сетей 10 (6) или 0,4 кВ, поэтому такие сети находятся в зоне пристального внимания.

Для исследования предлагается применить трёхфазную конфигурацию распределительной электрической сети (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Вид трёхфазной распределительной сети: ГПТ – главный понизительный трансформатор; РТ1–РТ5 – распределительные трансформаторы

Трёхфазная сеть (рис. 3.1) является сетью магистрального типа с напряжением 10 кВ. Потребители (А, Б, В, Г) получают питание от пяти сетей напряжением 0,4 кВ, которые через распределительные трансформаторы РТ1– РТ5 подключены к основной магистрали.

При составлении имитационной модели данной трёхфазной сети потребуются следующие элементы.

1. **3-Phase Source** – источник трёхфазного переменного напряжения. Элемент расположен в библиотеке **Sim Power Systems** в подразделе источников питания **Electrical Sources**. Он содержит настройки действующего значение линейного напряжения (phase-to-phase rms voltage), частоты (frequency), схему соединения фаз источника (internal connection). Применимы виды соединений: Y – звезда; Yn – звезда с нулевым проводом; Yg – звезда с заземленной нейтралью.



2. Three-phase Transformer (Two Windings) – двухобмоточный трёхфазный трансформатор напряжения. Элемент находится в библиотеке Sim Power Systems в подразделе Elements.



Параметры блока: полная номинальная мощность и частота (nominal power and frequency); схема соединения первичной обмотки winding 1 (ABC) connection, её активное R1 и индуктивное сопротивления L1. Параметры элемента задаются, как правило, в относительных (безразмерных) величинах (английское обозначение **p.u.**).

Перевод из системы СИ в относительные p.u. единицы для сопротивлений и индуктивностей производится по следующим выражениям:

$$\begin{cases} R = 0,002 \frac{U^2}{S} \\ L = 0,08 \frac{U^2}{314S} \end{cases}$$
(1)

где *U* – номинальное напряжение обмотки трансформатора, кВ; *S* – полная номинальная мощность трансформатора, MBA.

Для вторичной обмотки трансформатора применимы следующие параметры: действующее значение междуфазного напряжения первичной обмотки (Winding 2 parameters), активное сопротивление *R2* и индуктивность *L2* вторичной обмотки; схема соединения фаз вторичной обмотки

(winding 2 (abc) connection).

3. **3-phase Series RLC Branch** – трёхфазный RLC-контур с последовательным соединением элементов. Элемент системы находится в библиотеке **Sim Power Systems** в подразделе **Elements**. Его характеристики аналогичны блоку **Series RLC Branch**. Этот блок моделирует участки ЛЭП.

Elle Edit Yiew Help	Simulink Library Browser		
Image Acquisition Toolbox Strike Image Acquisition Toolbox Image Acquisition Toolbo	ile <u>E</u> dit <u>V</u> iew <u>H</u> elp		
Like such rotin Like such rotin Like such rotin Mast Frequently Used Blocks Sources Sources User-Defined Functions Sources User-Defined Functions	Enter search term -	A+	
Libraries Libraries Search Results: (one) Most Frequently Used Blocks Sinks Sources User-Defined Functions Breaker Image: Connection Port Image: Connec			
 Sinks Sources User-Defined Functions Additional Math & Discrete Adorspace Blockset Computer Vision System Toolbox DSP System Toolbox DSP System Toolbox EDA Simulator Link EDA Simulator Link Enabedded Coder Fuzzy Logic Toolbox Fuzzy Logic Toolbox<	raries	Library: Simscape/SimPowerSystems/Elements Search Results: (none) Most Frequently Used Blocks	
Sources Sources Ground Sources User-Defined Functions Breaker 1 Connection Port Parameters Line Ground Nutral Additional Math & Discrete Aerospace Blockset Image Accusition System Toolbox Nutral Neutral Neutral Parallel RLC Communications System Toolbox Control System Toolbox Parallel RLC Image Accusition Toolbox Neutral	Sinks		
Image: Additional Math & Discrete	Sources	Breaker (1) Connection Port - Parameters Line - Grou	und V Transformer
 Advisible Multi-Winding Transformer Advisible Multi-Winding Transformer Computer Vision System Toolbox Computer Vision System Toolbox Control System Toolbox Data Acquisition Toolbox Data Acquisition Toolbox Enbedded Coder Fuzzy Logic Toolbox Gauges Blockset Instrument Control Toolbox Multi-Winding Transformer Three-Phase Prise Pris			
 Antopage Blockset Transformer (Thr Three-Phase Transformer (Thr<td>- Accession and a discrete</td><td>공토 Linear 생물 Multi-Winding 'JTL' Mutual / Neuf</td><td>utral Parallel RLC</td>	- Accession and a discrete	공토 Linear 생물 Multi-Winding 'JTL' Mutual / Neuf	utral Parallel RLC
 Computer Vision System Toolbox Control System Toolbox DSP System Toolbox DSP System Toolbox Data Acquisition Toolbox Embedded Coder Fuzzy Logic Toolbox Gauges Blockset Image Acquisition Toolbox Three-Phase Series RLC Load Three-Phase Transformer (Tw Three-Pha	Communications System Toolbox	Transformer , Transformer , Transformer , Transformer	Li⊷ Branch
Image: Control System Toolbox Image: Transformer Image: Transformer <t< td=""><td>Computer Vision System Toolbox</td><td>r‱n Parallel RLC</td><td>ies RLC</td></t<>	Computer Vision System Toolbox	r‱n Parallel RLC	ies RLC
 Line Disp System Toolbox Data Acquisition Toolbox Enbedded Coder Fuzzy Logic Toolbox Gauges Blockset Instrument Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox OPC Toolbox OPC Toolbox 		• ⁺ /mm ⁻ +• Load • [−] / [−]	nch •-W Load
Data Acquisition Toolbox Doc Toolbox Do	DSP System Toolbox		
EDA Simulator Link Image Enhance Image Enh	Data Acquisition Toolbox	Three-Phase Three-Pha	e-Phase Three-Phase
 Embedded Coder Fuzzy Logic Toolbox Gauges Blockset Instrument Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox OPC Toolbox OPC Toolbox OPC Toolbox 	EDA Simulator Link		
Fuzzy Logic Toolbox Italia Inductan Italia I	- The Embedded Coder	(1	ee-Phase P
Gauges Blockset Gauges Blockset Model Predictive Control Toolbox OPC Toolbox O	Fuzzy Logic Toolbox	《스케이스, utual Inductan , 은 프 문, Section Line , 은 나 문, arallel RLC Br 말 arall	Iel RLC Lo.
Image Acquisition Toolbox Image	- 🙀 Gauges Blockset	Three-Phase S-	ee-Phase Tr-
Instrument Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox OPC Toolbox OPC Toolbox	🙀 Image Acquisition Toolbox	eries RLC Load 👯 ansformer (Thr 👯 ansformer (Tw	former 12 🕴 ansformer Ind
Model Predictive Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox Model Predictive Control Toolbox OPC Toolbox OPC Toolbox	🙀 Instrument Control Toolbox		
Neural Network Toolbox	🙀 Model Predictive Control Toolbox	Three-Phase Tr- ansformer Ind.	
- Dec Toolbox	📲 Neural Network Toolbox		
	💽 OPC Toolbox		
Real-Time Windows Target	🙀 Real-Time Windows Target		
Report Generator	🙀 Report Generator		
Robust Control Toolbox	🙀 Robust Control Toolbox		
🔅 🙀 SimEvents	- 🙀 SimEvents		
🕆 🗑 SimRF	- 🙀 SimRF		
🕂 🙀 Simscape	- 🙀 Simscape		
용- Foundation Library	-Foundation Library		
e-	🗄 💀 SimDriveline		
8- Million SimElectronics	SimElectronics		
Bit SimHydraulics	E SimHydraulics		
0-MiSimMechanics			
r □ · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	- 👷 SimPowerSystems		
- Liednical sources	Electrical Sources		
	Lientents		



Series RLC

Load-трёхфазная

RLC-нагрузка

последовательного соединения элементов. Блок находится в библиотеке в подразделе.



Наряду с перечисленными элементами для моделирования нужны блоки для измерения действующих значений напряжения (**RMS**).

В процессе моделирования удобно пользоваться субситемами, т.е. объединять блоки в один блок. Для этого используется специальный блок подсистем (или **Subsystem**), который является частью Simulink-модели, в виде отдельного блока, имеющего свои входы (**Inport**) и выходы (**Out port**).



Удобство использования такого блока при моделировании заключается в следующем:

1) уменьшается количество отображаемых блоков в рабочей области, что облегчает восприятие всей модели;

2) имеется возможность собирать и настраивать отдельные части модели, что облегчает технологию сборки модели;

3) появляется возможность для создания собственных библиотек элементов.

Подсистема связана с основной моделью посредством либо силовых портов входа (**Inport**) и выхода (**Out port**), либо аналогичным им измерительных портов. При вставке в подсистему этих портов происходит автоматическое отображение названия и номера порта на внешней стороне (верхнем уровне) блока подсистемы.

Создание подсистемы происходит посредством выделения какой-то части модели и выполнения команды: Create Subsystem из меню Edit. В результате выделенный фрагмент заменяется одним блоком подсистемы с соответствующими портами. Нажатие мышью на блоке новой подсистемы

откроет ее содержимое в новом окне. А это позволит работать с содержимым блока как с отдельной моделью, производя соответствующие редактирования.

При выполнении лабораторной работы в качестве подсистем используются сети напряжением $0,4 \ \kappa B$. Выходными параметрами будут выступать действующие значения напряжения в начале сети (Un) и в конце (Uk) линии.

Пример подсистемы участка сети с напряжением 0,4 *кВ* и с четырьмя нагрузками представлен на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Модель участка сети в виде подсистемы с напряжением 0,4 кВ.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Запустите программу Mat Lab и откройте библиотеку Simulink.

2. Создайте новый файл модели командой: File/New/Model.

3. Откройте в **Simulink** подраздел для моделирования трёхфазных систем электроснабжения и добавьте нужные элементы из **Simulink** в окно созданной модели для моделирования части сети 0,4 кВ (см. п.п. 3.1).

4. В соответствии со своим вариантом, выберите параметры по табл. 3.1 и 3.2. Рассчитайте полные значения сопротивления и проводимости участков сети с напряжением 0,4 кВ, определите мощность нагрузок, задайте параметры элементов, соедините блоки так, как на рис. 3.2. *Таблица 3.1*

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина участка										
сети 0,4 кВ, м										
I_1	10	50	45	15	35	25	20	40	35	10
l_2	25	10	20	15	15	10	20	10	10	45
l ₃	15	20	10	20	20	25	10	15	5	15
I_4	10	15	5	10	10	5	15	15	10	20
Удельное					0,63+	-j,297				
сопротивление										
проводов сети										
0,4 кВ, Ом/км										
Мощность										
активной нагрузки										
сети 0,4 кВ, кВт										
А	30	20	24	24	28	24	21	17	22	21
Б	22	24	20	18	20	18	20	20	25	20
В	24	17	24	20	28	20	19	21	15	17
Г	18	21	18	14	18	14	15	15	18	19
Коэффициент										
реактивной										
мощности в										
нагрузке:										
А	0,80	0,73	0,47	0,73	0,47	0,73	0,73	0,47	0,80	0,78
Б	0,88	0,82	0,78	0,82	0,73	0,82	0,82	0,78	0,88	0,88
В	0,47	0,60	0,88	0,60	0,60	0,60	0,60	0,88	0,47	0,60
Г	0,73	0,82	0,60	0,88	0,82	0,88	0,82	0,60	0,73	0,88
Мощность										
РТ, кВА	400	630	400	400	630	400	630	400	400	630

Параметры элементов распределительной сети

Модель рассматриваемой электрической сети представлена на рис. 3.3.



Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина участка										
ЛЭП 10 кВ, км										
I_5	2,4	1,5	2,5	2,0	1,1	2,8	2,4	2,2	2,0	2,0
I ₆	3,5	2,0	1,8	1,5	1,8	3,7	2,2	3,8	1,0	3,0
I_7	1,5	1,0	3,7	2,5	2,5	1,5	1,0	2,9	1,5	2,5
I_8	2,8	2,4	2,0	2,1	2,0	2,8	1,2	1,5	1,7	1,0
I9	1,8	3,5	1,5	1,7	1,5	1,8	1,0	2,0	2,5	3,7
Удельное					0,33+	j0,332				
сопротивление										
проводов ЛЭП										
10 кВ, Ом/км										
Напряжение	110	220	220	110	220	110	110	220	110	220
источника, кВ										
Мощность ГПТ,	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
MB [·] A										

Параметры элементов питающей сети

5. Выделите полученную часть сети, выполнить команду Create Subsystem из меню Edit.

6. Выполните копирование новой подсистемы по числу сетей 0,4 кВ.

7. Поэлементно соберите основную магистраль и подключите ее через главный понизительный трансформатор (ГПТ) от трёхфазного источника питания.

8. Подключите полученные подсистемы к основной магистрали через распределительные трансформаторы в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.1 и рис. 3.3.

9. Задайте параметры трансформаторов в соответствии с рекомендациями, приведенными в подразд. 3.1.

10. Подключите измерительные приборы в контрольных точках (см. рис. 3.3).

11. Задайте параметры решателя и запустите модель на расчёт.

12. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать схемы модели распределительной сети и подсистемы 0,4 кВ.

Контрольные вопросы

1. Назовите отличительные особенности распределительных и питающих сетей?

2. В блоке трёхфазного трансформатора какие параметры характеризуют первичную и вторичную обмотки?

3. Какой блок используется в Simulink для создания подсистем?