

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт ядерной энергии и промышленности

В.Г. Слюсаренко, Ю.И. Рясков, Н.М. Шайтор

Расчет токов короткого замыкания на ЭВМ

Учебно-методическое пособие

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 621.3
ББК 31.278
С497

Р е ц е н з е н т:

А.В. Горпинченко - канд. техн. наук, доцент кафедры
«Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»
Института ядерной энергии и промышленности СевГУ

Слюсаренко В.Г.

С497 Расчет токов короткого замыкания на ЭВМ: учеб.- метод. пособие
/ В.Г. Слюсаренко, Ю.И. Рясков, Н.М. Шайтор. – Севастополь:
СевГУ, 2018. – 44 с.

Задача данного учебно-методического пособия - научить студентов рассчитывать токи коротких замыканий в электроэнергетике с применением ЭВМ. В методическом пособии показана целесообразность использования таких пакетов прикладных математических программ как «Elplek» и «Matlab».

Пособие предназначено для студентов Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, направление подготовки 13.03.02 и 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль подготовки «Электроснабжение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Электрические станции» для бакалавров и «Развивающиеся высокотехнологичные системы электроснабжения» для магистров.

Оно может быть использовано студентами дневной и заочной форм обучения при выполнении курсовых проектов и при дипломном проектировании.

УДК 621.3
ББК 31.278

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Возобновляемые источники энергии и Электрические системы и сети» Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», протокол № 4/18 от 21 февраля 2018 г.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании учёного совета Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», протокол № 2/18 от 28 февраля 2018 г.

© Слюсаренко В.Г., Рясков Ю.И.,
Шайтор Н.М., 2018
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2018

1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров, магистров электроэнергетического профиля в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по, предусмотренному направлению подготовки 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» учебными планами высшего учебного заведения, занимающегося подготовкой специалистов в области энергетики.

Предлагаемое учебное пособие отражает содержание лекций, читаемых для студентов направления подготовки 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: профиль подготовки «Электроснабжение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Электрические станции» для бакалавров и «Развивающиеся высокотехнологичные системы электроснабжения» для магистров всех видов обучения - дневного и заочного.

Цель данного учебного пособия – дать студентам необходимые знания в области анализа аварийных режимов при эксплуатации электроэнергетических систем.

Учебное пособие включает две главы. В первой главе рассматриваются методы расчётов токов короткого замыкания (кз) с использованием прикладной программы Elplek. Во второй главе рассмотрен расчет переходных процессов в ЭЭС при симметричном трехфазном КЗ с использованием Matlab. В заключении приводится таблица сравнения результатов расчета токов кз классическим методом вручную и с помощью ПВМ.

Методическое указание предназначено для расчета токов короткого замыкания, которые необходимы для выбора и проверки электрооборудования по условиям короткого замыкания, для выбора установок и оценки возможного действия релейной защиты и автоматики

В учебном пособии даны краткие описания Elplek и системы MATLAB R2014b (академическая версия), системы Simulink – главного пакета расширения MATLAB, реализующего визуальное блочное имитационное моделирование, как самого общего, так и конкретного назначения, системы SimPower-Systems Specialized Technology – расширения Simulink, предназначенной для моделирования электроэнергетических и электротехнических устройств.

Представлен пример расчета кз электроэнергетической системы напряжением выше 1000 В, с использованием этих программных продуктов. Дано краткое описание соответствующих библиотек.

2. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ **ELPLEK**

Программа предназначена для расчетов всех видов короткого замыкания, а также для симуляции действия устройств релейной защиты.

Elplek может также использоваться для расчета режимов (потокораспределения мощностей, load flow (англ.)).

Достоинств у программы много, остановимся лишь на некоторых:

1. Программа бесплатная (freeware);
2. Имеет достаточно простой и понятный интерфейс;
3. Довольно широкий выбор устройств релейной защиты (токовые защиты, ОЗЗ, дистанционные и др.)
4. Можно проследить, как реагирует защита на возникающие повреждения.

За самой программой и дополнительной информацией добро пожаловать на ее **сайт**. Язык интерфейса - английский.

Для краткого ознакомления с возможностями программы возьмем задачу, решение которой классическим методом заранее известно, и сравним с результатами программы.

Пример из книги С.О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлєв, В.О. Мунтян, В.В. Козирський, І. П. Радько, Ю.М. Куценко Проектування систем електропостачання в Апк Мелітополь Люкс 2009 р.

Ниже приведена электрическая принципиальная схема для данного примера, выполненная в **Elplek**.

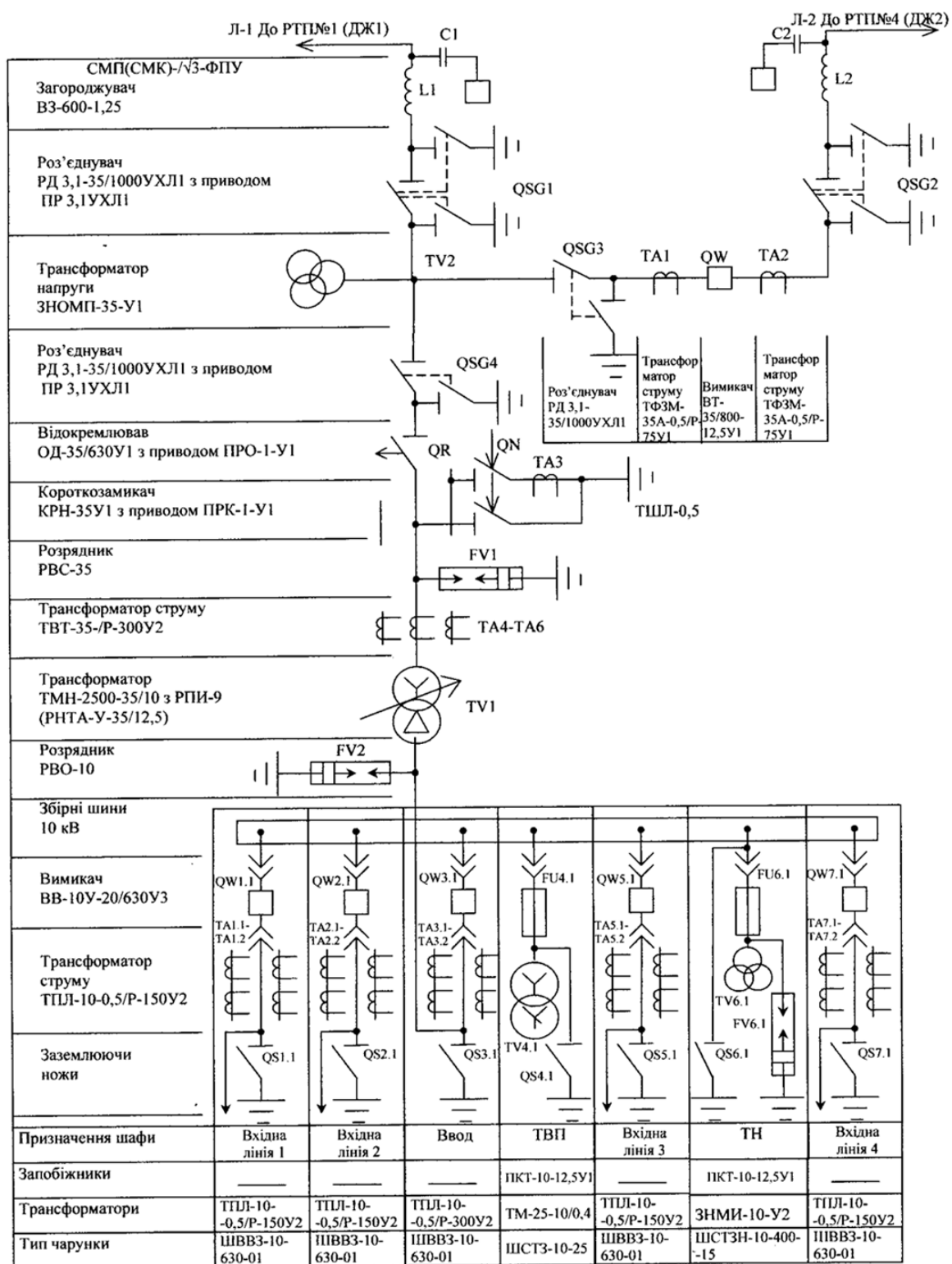


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема подстанции 35/ 10 кВ

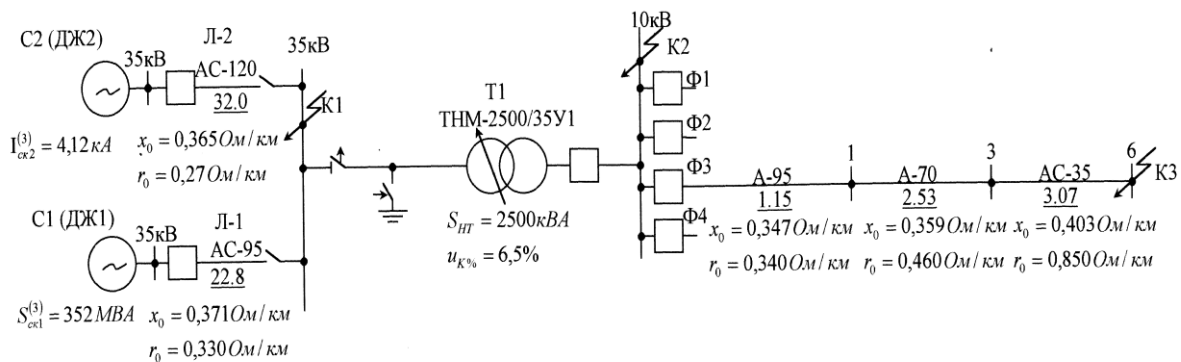


Рис. 2. Расчетная схема подстанции 35/ 10 кВ

Запускаем программу Elplek, появляется окно, в котором, используя рис. 1, 2, составляем расчетную схему для данного примера, выполненную в Elplek (рис. 3).

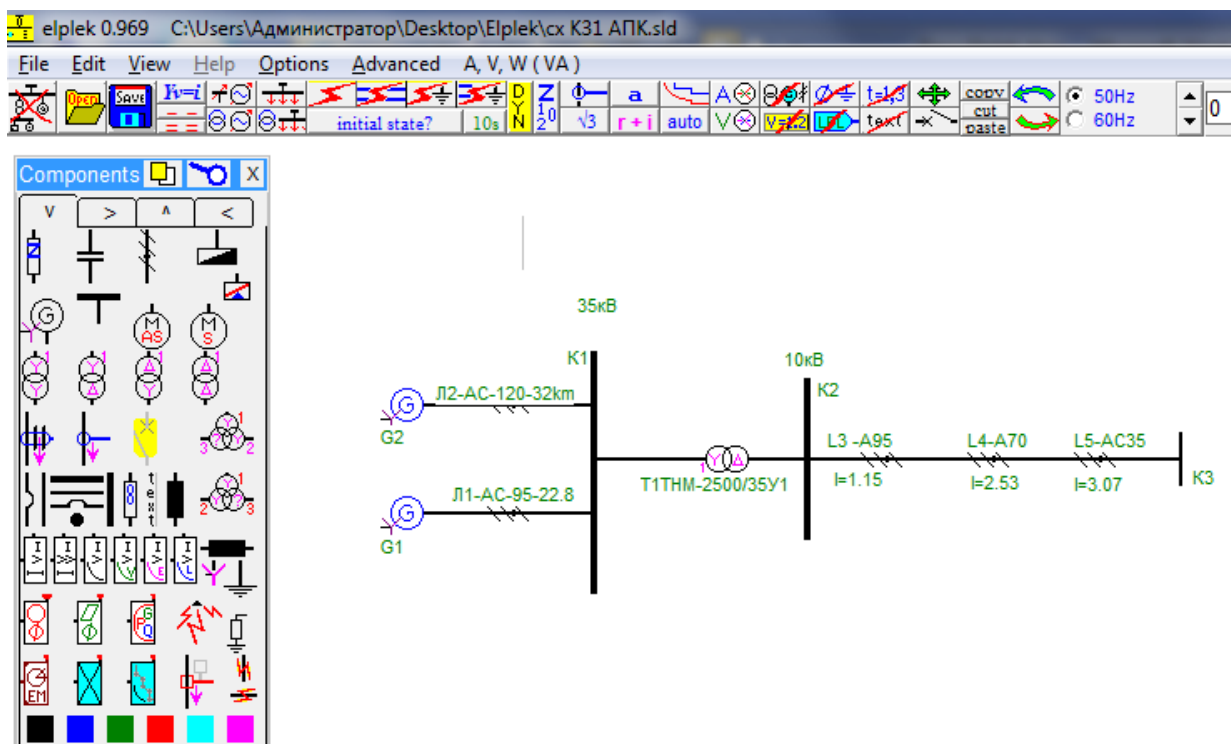


Рис. 3. Расчетная схема программы Elplek

Каждый элемент задаем своим сопротивлением, как это сделать, будет рассказано на отдельной странице. Однако сразу следует заметить, что сопротивления не нужно приводить к базисным единицам, а рассчитывать их для номинального напряжения установки элемента, что очень удобно.

Далее расставляем точки КЗ и вид КЗ.

2.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках К1

Первая точка К-1 (рис.4.) - трехфазное КЗ на шине 35 кВ и нажимаем на кнопку Short Circuit Calculation. Результат появится в окошке справа.

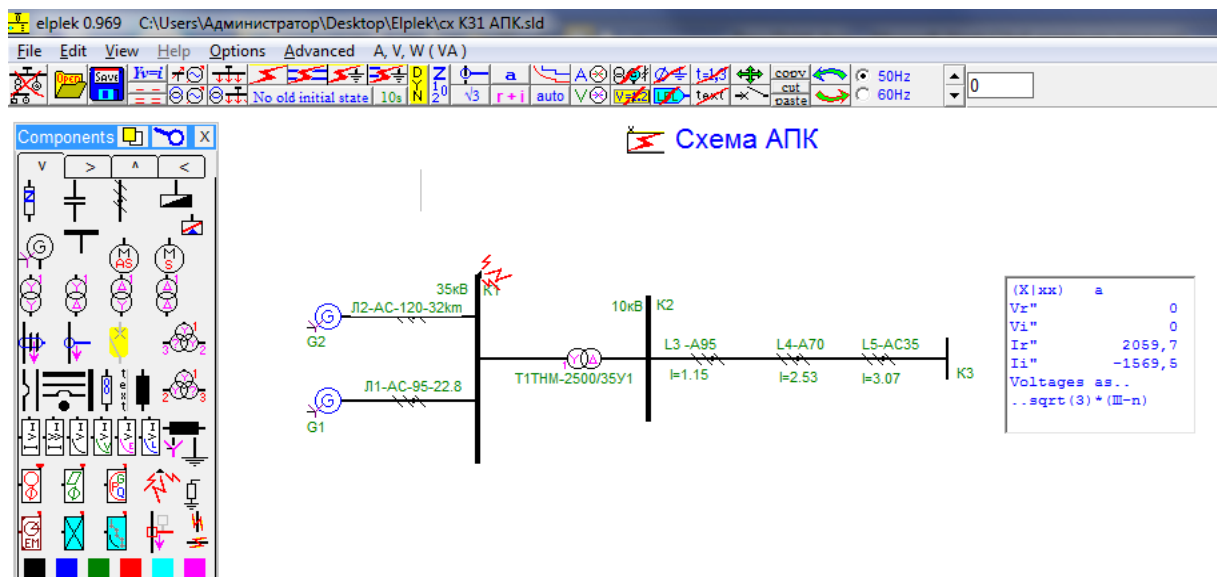


Рис. 4. Расчетная схема и результат расчета трехфазного КЗ в точках К1

Результаты в **Elplek** предоставляются в виде активных и реактивных составляющих тока / напряжения. Без особого труда найдем модуль полного тока: $\sqrt{2059.7^2 + 1569.5^2} = 2.59 \times 10^3$.

2.2. Расчет тока двухфазного КЗ в точках К1

Аналогичным образом рассчитаем ток двухфазного КЗ в точках К1 (рис. 5).

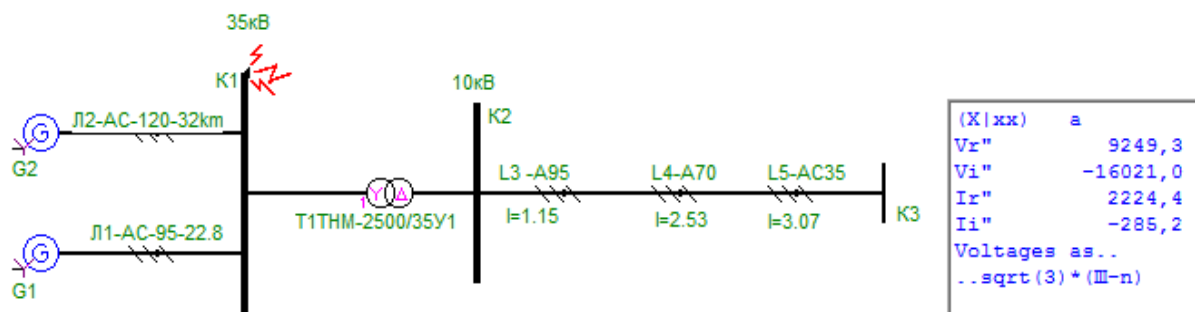


Рис. 5. Расчетная схема и результат расчета двухфазного КЗ в точках К1

Модуль полного тока: $\sqrt{2224.4^2 + 285.2^2} = 2.243 \times 10^3$.

Аналогичным образом рассчитаем токи трехфазного и двухфазного КЗ в точках К2 и К3.

2.3. Расчет токов трехфазного и двухфазного КЗ в точках К2

2.3.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках К2

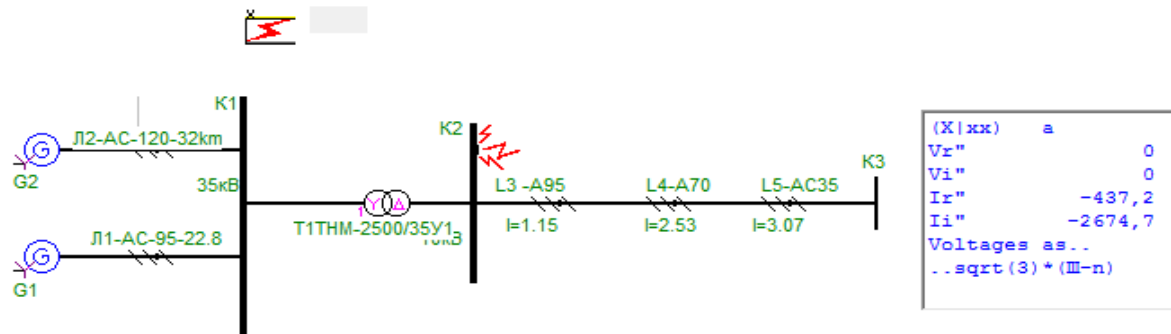


Рис. 6. Расчетная схема и результат расчета трехфазного КЗ в точках К2

Модуль полного тока: $\sqrt{437.2^2 + 2674.7^2} = 2.71 \times 10^3$.

2.3.2. Расчёт тока двухфазного КЗ в точках К2

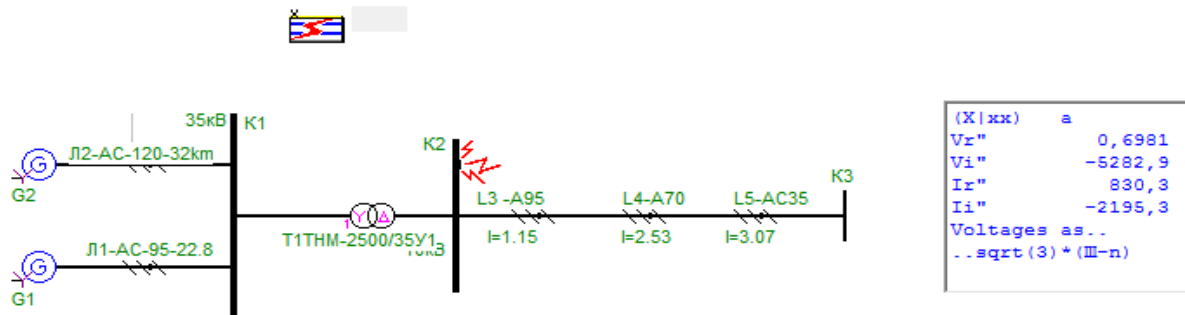


Рис. 7. Расчетная схема и результат расчета двухфазного КЗ в точках К2

Модуль полного тока: $\sqrt{830.3^2 + 2195.3^2} = 2.347 \times 10^3$.

2.4. Расчет токов трехфазного и двухфазного КЗ в точках КЗ

2.4.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках КЗ

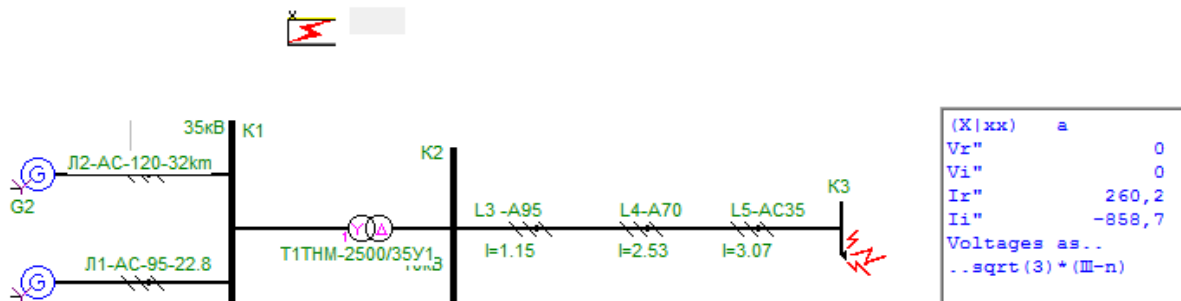


Рис. 8. Расчетная схема и результат расчета трёхфазного КЗ в точках КЗ

Модуль полного тока: $\sqrt{260.2^2 + 858.7^2} = 897.257 \times 10^3$.

2.4.2. Расчёт тока двухфазного КЗ в точках КЗ

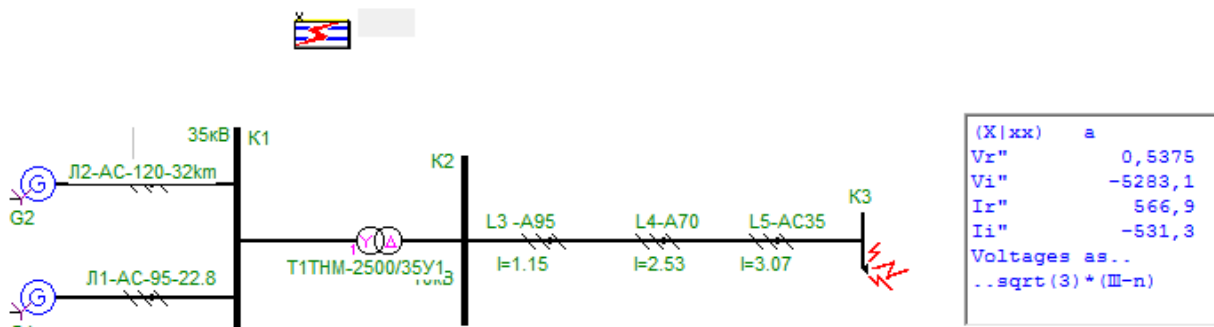


Рис. 9. Расчетная схема и результат расчета двухфазного КЗ в точках КЗ

Модуль полного тока: $\sqrt{566.9^2 + 531.3^2} = 776.953 \times 10^3$.

Ниже приводятся параметры элементов используемых в расчетной схеме программы Elplek

Линии (рис. 10, 11)

Transmission line

Parameters | Damage curve

display: Ω/km Ω pu Amp

Length 22,8 s1 0,5

R1	0,33	$[\Omega/\text{km}]$	Z1	0,49653
X1	0,371		$\angle 1(^{\circ})$	48,347
R0	0,33		Z0	1,3393
X0	1,298		$\angle 0(^{\circ})$	75,735
B	2,81E-6			

R1	7,524	$[\Omega]$	Z1	11,321
X1	8,4588		$\angle 1(^{\circ})$	48,347
R0	7,524		Z0	30,536
X0	29,594		$\angle 0(^{\circ})$	75,735
B	6,407e-5			

r1	7,524	[pu]	z1	11,321
x1	8,4588		$\angle 1(^{\circ})$	48,347
r0	7,524		z0	30,536
x0	29,594		$\angle 0(^{\circ})$	75,735
b	6,407e-5			

Z base = 1.0 Ω

1 MVA - Base - kV 1

Ampacity limits [A]

A1	A2	A3	A4
0	0	0	0

OK Cancel Hint pu calc

Send damage curve to graph

Transmission line

Parameters | Damage curve

display: Ω/km Ω pu Amp

Length 32 s1 0,5

R1	0,27	$[\Omega/\text{km}]$	Z1	0,45401
X1	0,365		$\angle 1(^{\circ})$	53,509
R0	0,27		Z0	1,3052
X0	1,277		$\angle 0(^{\circ})$	78,062
B	2,81E-7			

R1	8,64	$[\Omega]$	Z1	14,528
X1	11,68		$\angle 1(^{\circ})$	53,509
R0	8,64		Z0	41,767
X0	40,864		$\angle 0(^{\circ})$	78,062
B	8,992e-6			

r1	0,00631	[pu]	z1	0,01061
x1	0,00853		$\angle 1(^{\circ})$	53,509
r0	0,00631		z0	0,03051
x0	0,02985		$\angle 0(^{\circ})$	78,062
b	6,568e-9			

Z base = 1369.0 Ω

1 MVA - Base - kV 37

Ampacity limits [A]

A1	A2	A3	A4
0	0	0	0

OK Cancel Hint pu calc

Send damage curve to graph

Рис. 10

The image shows three instances of the 'Transmission line' dialog box, each with a different length and parameter set. The first instance has a length of 1.15 km, the second 2.53 km, and the third 2.53 km. Each instance displays a table of parameters (R1, X1, R0, X0, B) and their corresponding values in different units (Ω/km, Ω, pu, Amp). It also shows ampacity limits (A1, A2, A3, A4) and a 'Send damage curve to graph' button.

Рис. 11

Трансформатор

```

9 7 13 14 15 16      10000.0  0
V1    V2    X      Io1 R      0:1 Rg1 Xg1 tap +30? VAn  Vs1 Vs2 tmin tmax
35000 10000 20,8  1  3,2  1  0  0  0  0  2500 0  0  1  3

```

Генератор

```

1 2 3      37000.0  0
Vn    Rs X  fi X'  X"  T'  T"  X0  X2  Xq'  Xq"  Tq'  Tq"  P  VAn pf  Vs
37000 5  1  0  0,2  0,1  0,25  0,1  0,05  0,1  0,2  0,1  0,2  0,1  0  1  0,8  0

```

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В MATLAB R2014b + SIMPOWERSYSTEMS

Введение. В учебном пособии дано краткое описание системы MATLAB R2014b (академическая версия), системы Simulink – главного пакета расширения MATLAB, реализующего визуально блочное имитационное моделирование, как самого общего, так и конкретного назначения, системы SimPowerSystems Specialized Technology – расширения Simulink, предназначенной для моделирования электроэнергетических и электротехнических устройств.

3.1. Установка и запуск Matlab R2014b

Для установки на ПК на диске компьютера должно быть свободного места не менее 10.5 ГБ. С интернета скачать программу Matlab R2014b. На рабочем столе создать ярлык Matlab R2014b.

3.1.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога

Для запуска программы необходимо на рабочем столе найти ярлык MATLAB и щелкнуть его два раза. Через 2-3 мин на рабочем столе появляется заставка (рис. 12).

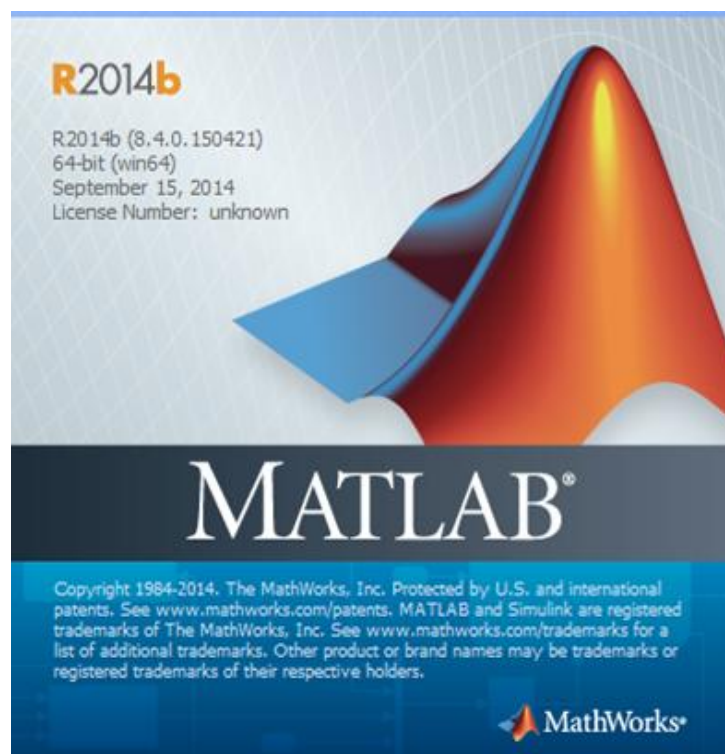


Рис. 12. Заставка Matlab R2014b

Еще через 2-3 мин появится основное окно рабочей среды MATLAB (рис. 13).

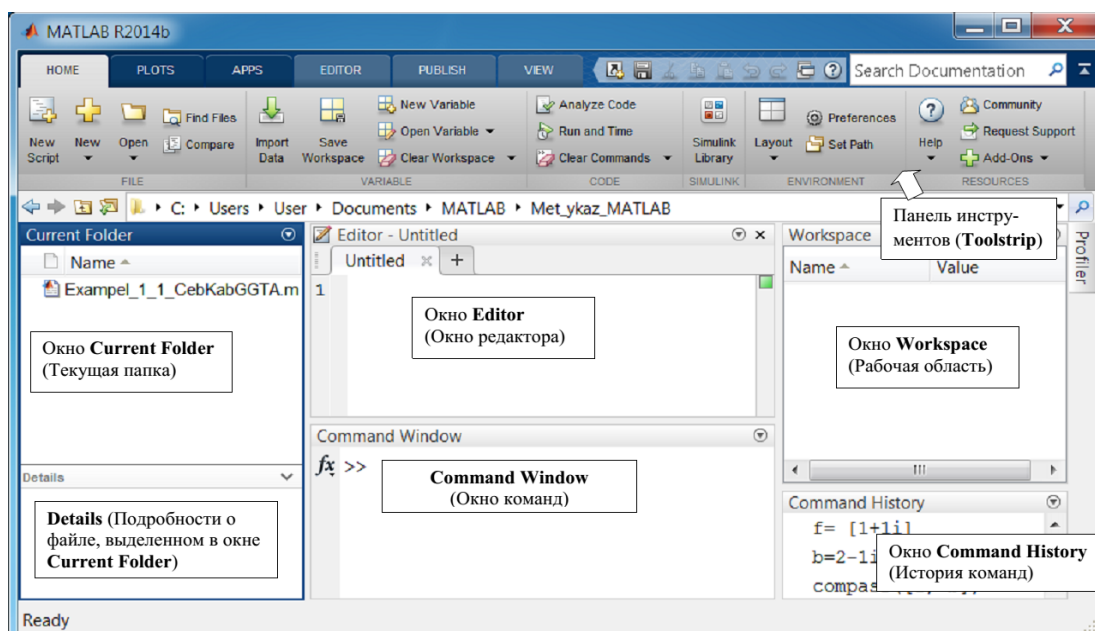


Рис. 13. Основное окно рабочей среды MATLAB

Окно содержит: строку заголовка (MATLAB R2014b); Toolstrip (Панель инструментов); Command Window (Окно команд); Workspace (Рабочая область); Current Folder (Текущая папка); Command History (История команд); Details (Подробности о файле, выделенном в окне Current Folder). На панели инструментов (Toolstrip) располагаются шесть вкладок – HOME (Главная), PLOTS (Графики), EDITOR (Редактор), APPS (Приложения), PUBLISH (Опубликовать) и VIEW (Вид).

3.2. Состав библиотеки Simulink

Библиотека Simulink представляет собой набор различных визуальных блоков. Для доступа к ним необходимо нажать кнопку Simulink Library на панели инструментов MATLAB (рис. 13). При этом появляется окно браузера (обозревателя, навигатора, программы просмотра) библиотеки, представленное на рис. 14.

Окно содержит следующие элементы:

- 1) Заголовок, с названием окна – Simulink Library Browser.
- 2) Панель инструментов, с ярлыками наиболее часто используемых команд.
- 3) Окно комментария для вывода поясняющего сообщения о выбранном блоке.
- 4) Список разделов библиотеки, реализованный в виде дерева.

5) Окно содержимого раздела библиотеки (список вложенных разделов библиотеки или блоков).

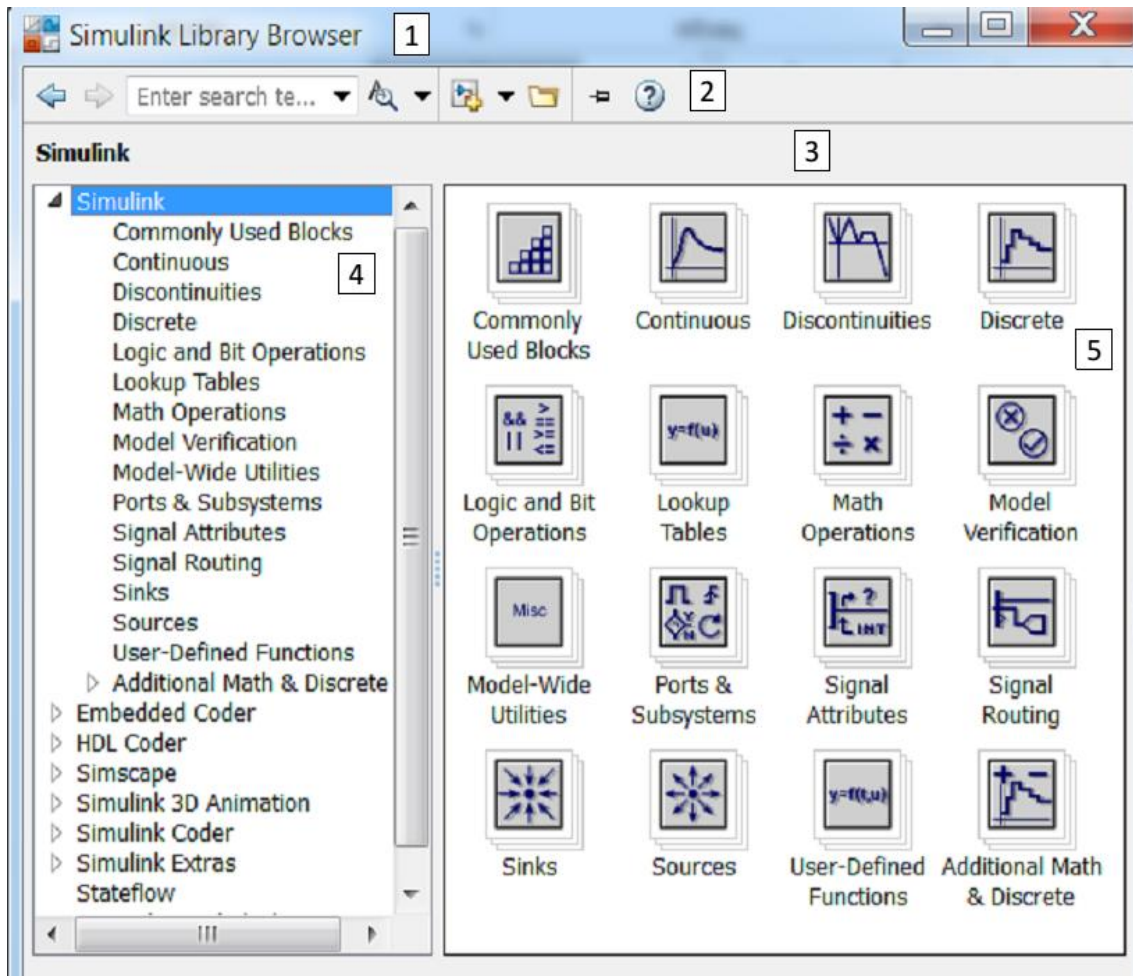


Рис. 14. Разделы библиотеки MATLAB R2014b

Ниже представлены некоторые разделы и блоки библиотеки Simulink (рис. 15), используемые при расчете коротких замыканий.

Полный перечень блоков доступен в Help. Для его получения достаточно два раза щелкнуть по любому блоку и в открытом окне параметров блока нажать кнопку Help.

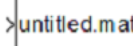
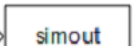
Sinks – приемники сигналов		
1	 Display	Цифровой дисплей.
2	 Floating Scope	«Плавающий» осциллограф.
3	 Out1	Выходной порт.
4	 Scope	Осциллограф.
5	 Stop Simulation	Блок остановки моделирования.
6	 Terminator	Концевой приемник.
7	 To File	Блок записи в файл.
8	 To Workspace	Блок записи в рабочую область MATLAB.
9	 XY Graph	Графопостроитель.

Рис. 15. Разделы библиотеки MATLAB R2014b

3.2.1. Создание, редактирование и запуск Simulink модели

Для создания Simulink модели нажимаем кнопку New model панели инструментов окна браузера (программы просмотра) библиотеки Simulink Library (рис. 13). К аналогичному результату приводят действия с вкладки основного окна MATLAB: HOME □ New □ Simulink Model. При этом создается пустое окно с названием файла untitled1 (рис. 16).

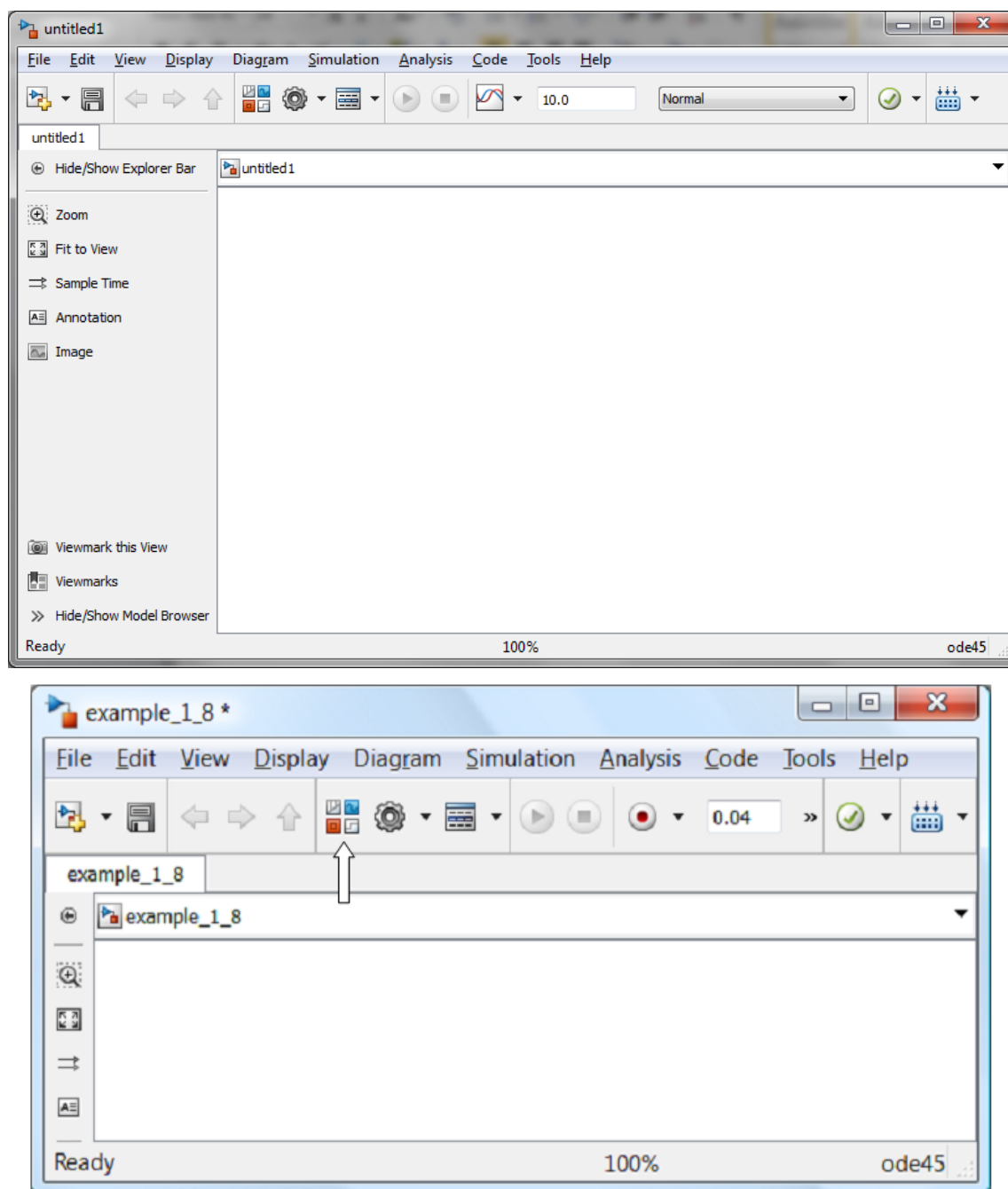


Рис. 16. Окно для создания и сохранения Simulink

Сохраняем эту модель в новой папке, например, `example_1_8`, под другим названием, например, `example_1_8`, с расширением `*.slx` или `*.mdl`.

Для этого последовательно нажимаем на панели инструментов `File` ☐ `Save As...` и т.д. Следует отметить, что использование кириллицы в названии файла, папки или во всём пути к файлу может стать причиной появления ошибки при сохранении модели в файле с расширением `*.mdl` (Не совпадают кодовые страницы операционной системы и MATLAB).

3.3. SimPowerSystems

3.3.1. Система моделирования SimPowerSystems

Для моделирования электроэнергетических систем, а также устройств электротехники и промышленной электроники в Matlab используется пакет расширения SimPowerSystems.

В этом пакете имеются блоки большинства электротехнических элементов и устройств: трансформаторов, ЛЭП, синхронных генераторов, асинхронных двигателей, полупроводниковых элементов, преобразователей, измерительных приборов и т.д.

Методика построения моделей SimPowerSystems практически не отличается от методики построения Simulink моделей. И в том, и в другом случае используются блоки, которые соединяют между собой.

Отличие же заключается в том, что в моделях Simulink это линии передачи сигнала, а в моделях SimPowerSystems линии – некие виртуальные проводники, по которым протекает виртуальный ток. Для измерения этого тока используется блок измерителя тока, который подключается в разрыв проводника (линии), а сигнал с этого блока поступает на осциллограф, дисплей или иной блок расширения Simulink.

Таким образом, эти два блока очень тесно связаны между собой. Особое внимание необходимо уделить изучению обширной библиотеки SimPowerSystems.

3.3.2. Создание, редактирование и запуск модели SimPowerSystems

После запуска Matlab R2014b, как было описано выше, нажимаем на панели инструментов кнопку Library Browser, в панели инструментов библиотеки нажимаем на кнопку New model. При этом создается пустое окно с названием файла untitled (рис. 17).

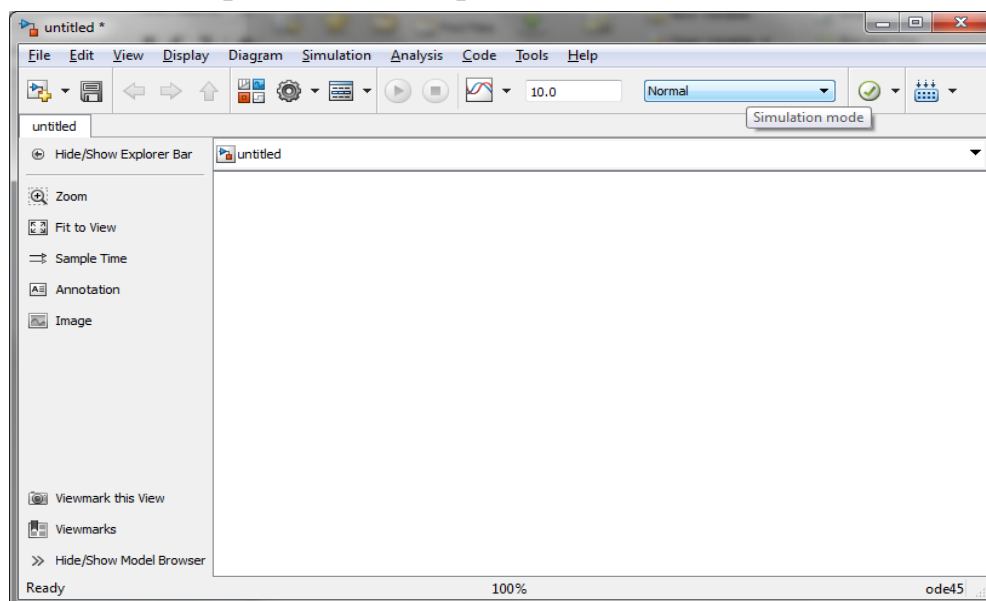


Рис. 17. Окно сохранения модели

Сохраним это окно в новой папке, например, example10, под названием example10, с расширением файла *.slx или *.mdl. Для этого нажимаем на панели инструментов File  Save As... и т.д.

Следует еще раз напомнить, что использование кириллицы в названии файла, папки или во всём пути к файлу может стать причиной появления сообщения об ошибке при сохранении модели в формате *.mdl (Не совпадают кодовые страницы операционной системы и MATLAB).

После этого переходим к окну библиотеки блоков Library Browser, если оно не перекрыто другими окнами. В противном случае, на панели инструментов окна модели следует нажать кнопку Library Browser и закрепить его поверх остальных открытых окон, нажав на кнопку Stay on top.

В списке разделов библиотеки переходим к папке Simscape → SimPowerSystems → Specialized Technology → Electrical Sources (рис. 18).

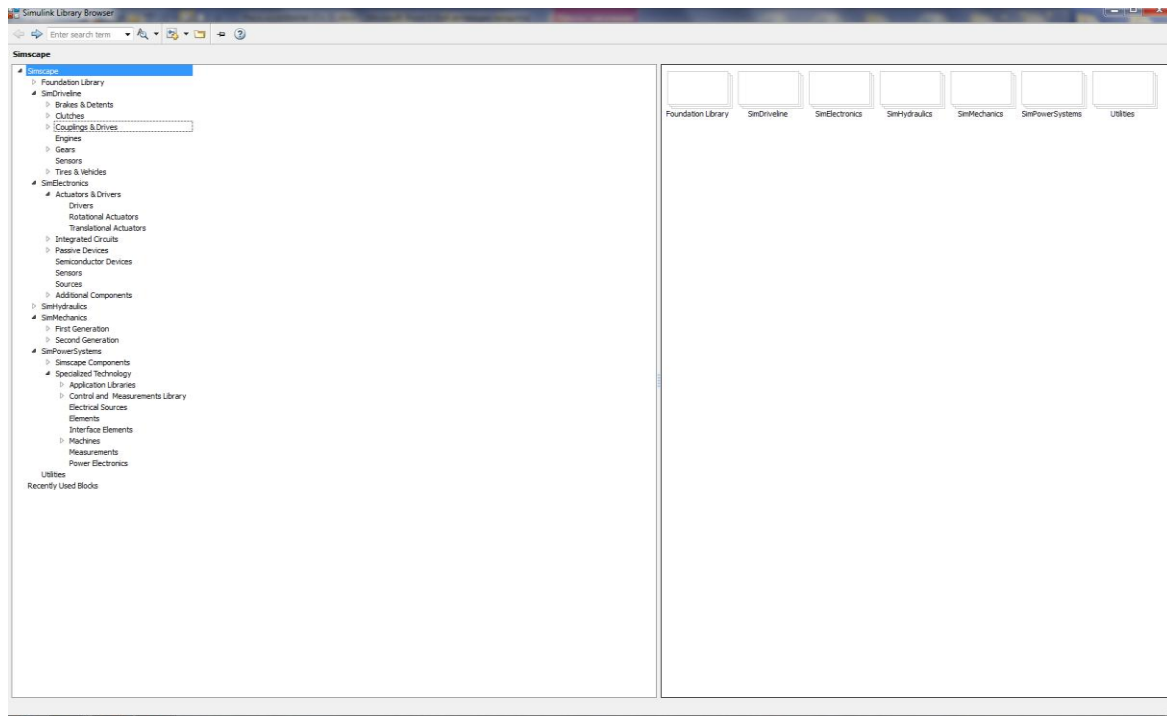


Рис. 18

В этом разделе (папке) выбираем источник переменного напряжения AC Voltage Source (Alternate Current – переменный ток) и перетаскиваем его в окно модели.

Для измерения тока нам потребуется блок Current Measurement, который находится в разделе Measurements. Этот блок также перетаскиваем в окно модели.

Блок измерения тока Current Measurement при его включении в цепь SimPowerSystems вырабатывает сигнал, который может подаваться

на любой приемник расширения Simulink. Остановим свой выбор на блоке Scope и перенесем его из библиотеки в окно модели.

В данном случае ток короткого замыкания ограничивается только активно-индуктивным сопротивлением короткого замыкания трансформатора. В связи с этим, при создании модели воспользуемся блоком Series RLC Branch (последовательная RLC ветвь), который находится в разделе Elements.

Поскольку блоки SimPowerSystems отличаются от блоков Simulink, то отличаются и способы их подключения. Так, в блоках Simulink выход и вход обозначены треугольником " $\square$ " и знаком больше ">", т.е. сигнал передается от выхода к входу.

В блоках SimPowerSystems условные клеммы для подключения блоков SimPowerSystems обозначены квадратом " $\square$ ".

После того, как все блоки соединены, вводим из моделируемого примера (рис. 16) в соответствующие блоки значения напряжения сети и параметры короткого замыкания трансформатора.

Устанавливаем время расчета 0,1 с. Для работы модели необходимо установить ещё один блок, который называется Powergui block и находится в разделе Specialized Technology.

Как и в случае с Simulink необходимо установить в решателе максимальный шаг равный 0,0005 с.

Ниже показаны блоки библиотеки в папке Simscape → SimPowerSystems → Specialized Technology → Electrical Sources, которые будут использованы для создания модели расчета КЗ в рассматриваемом примере (рис. 19 - 22).

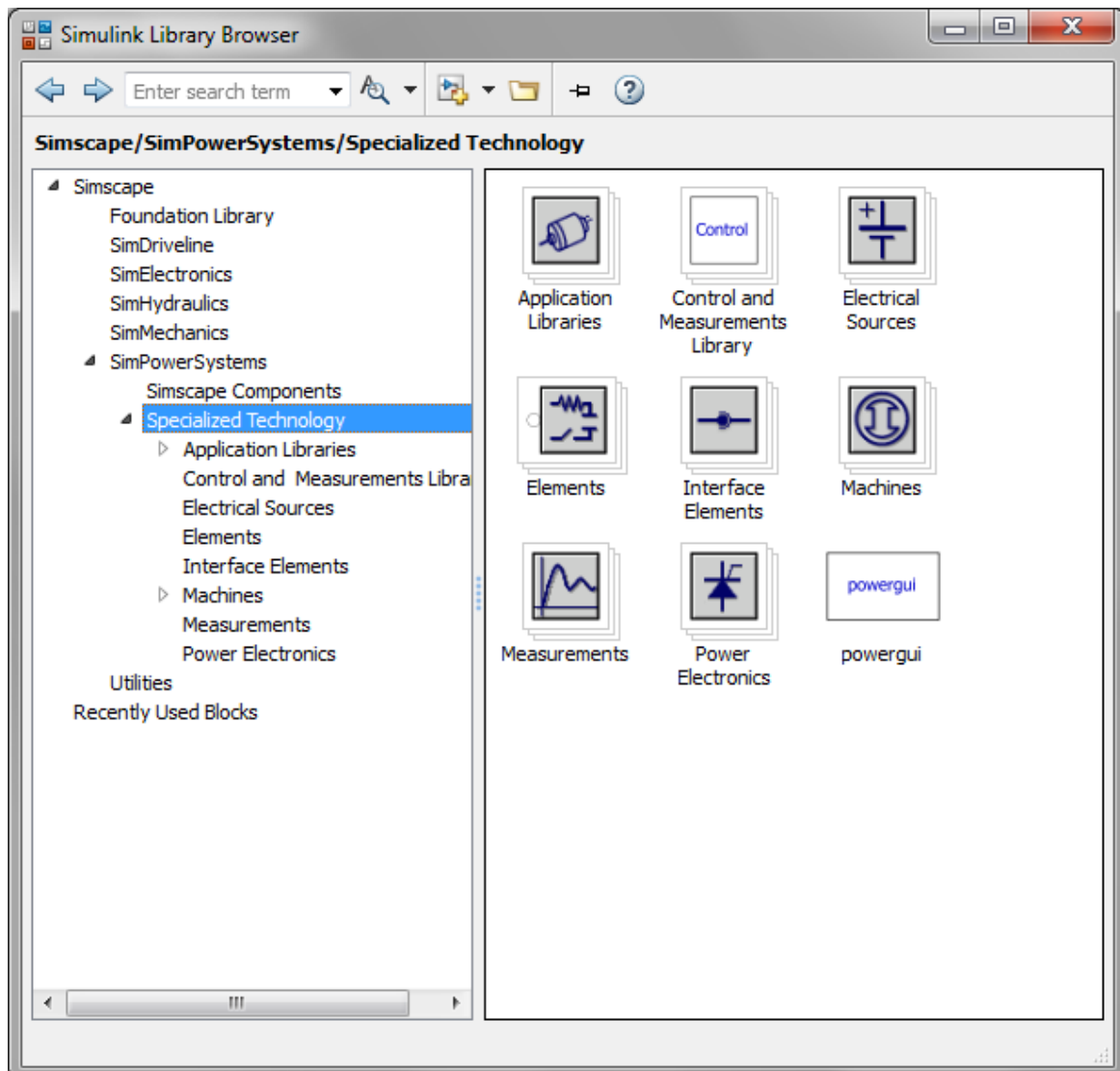


Рис. 19

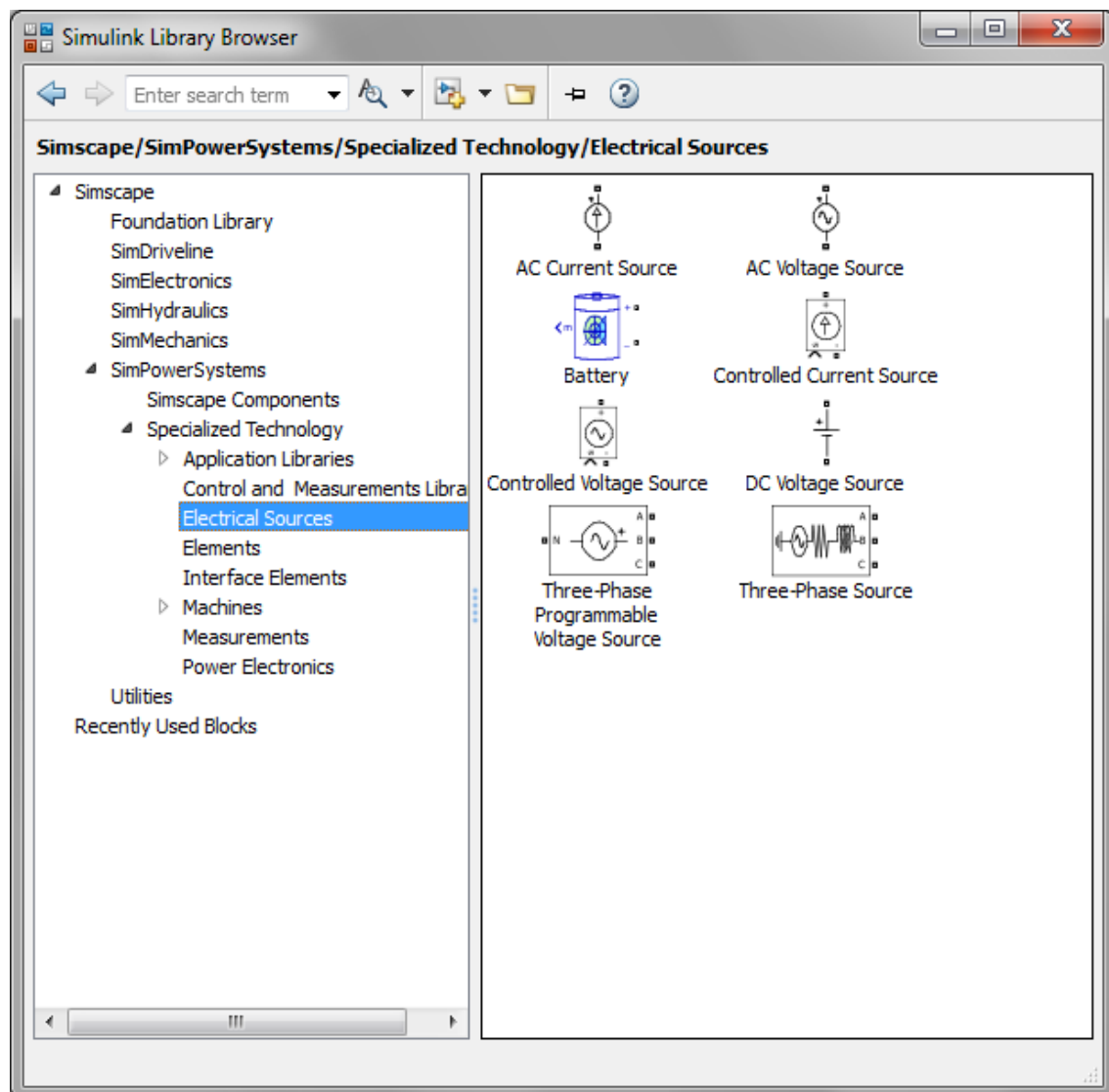


Рис. 20

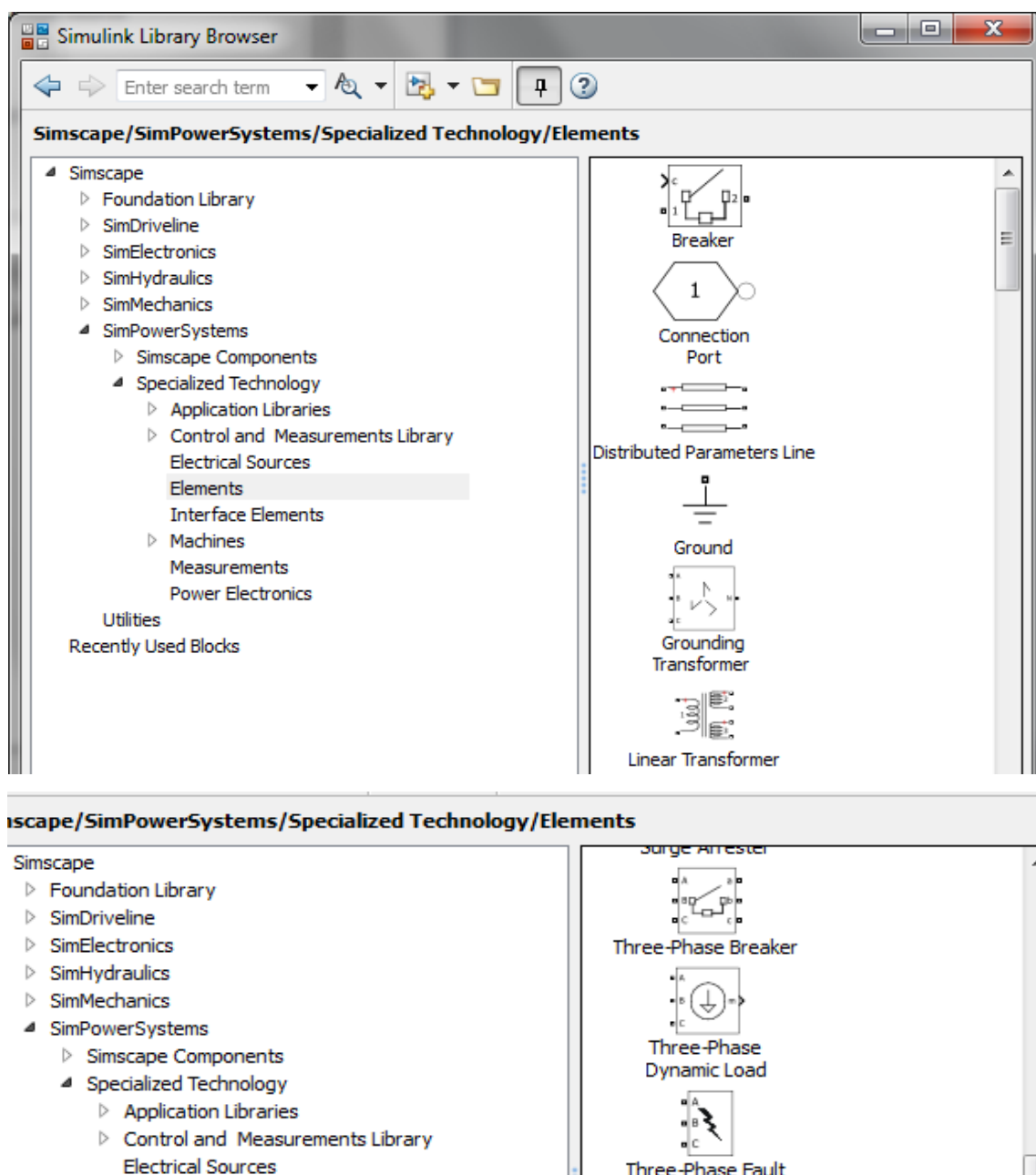


Рис. 21

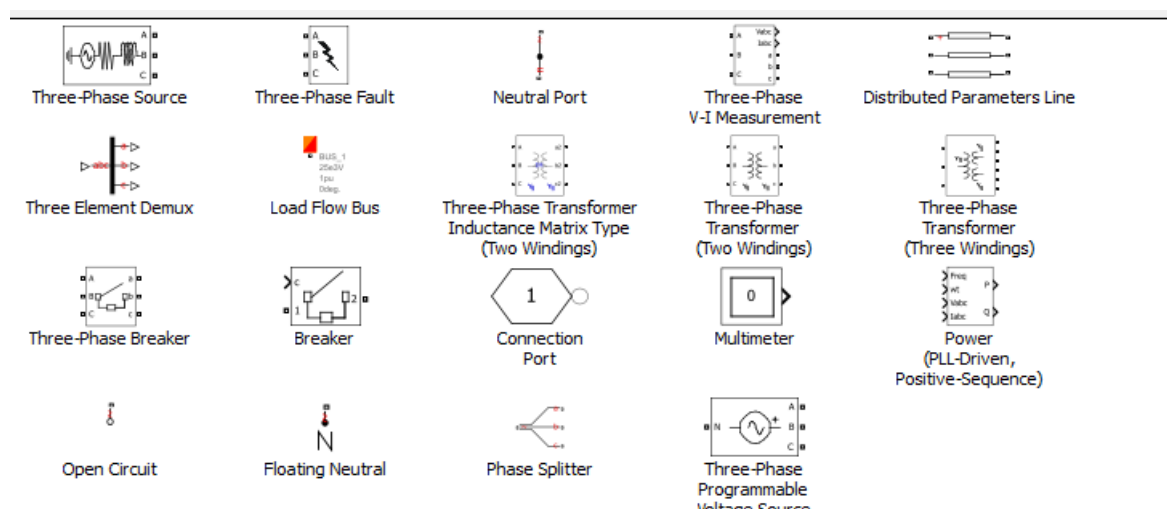


Рис. 22

3.4. Моделирование расчета токов короткого замыкания подстанции 35/ 10 кВ с помощью Matlab R2014b и блоков SimPowerSystems

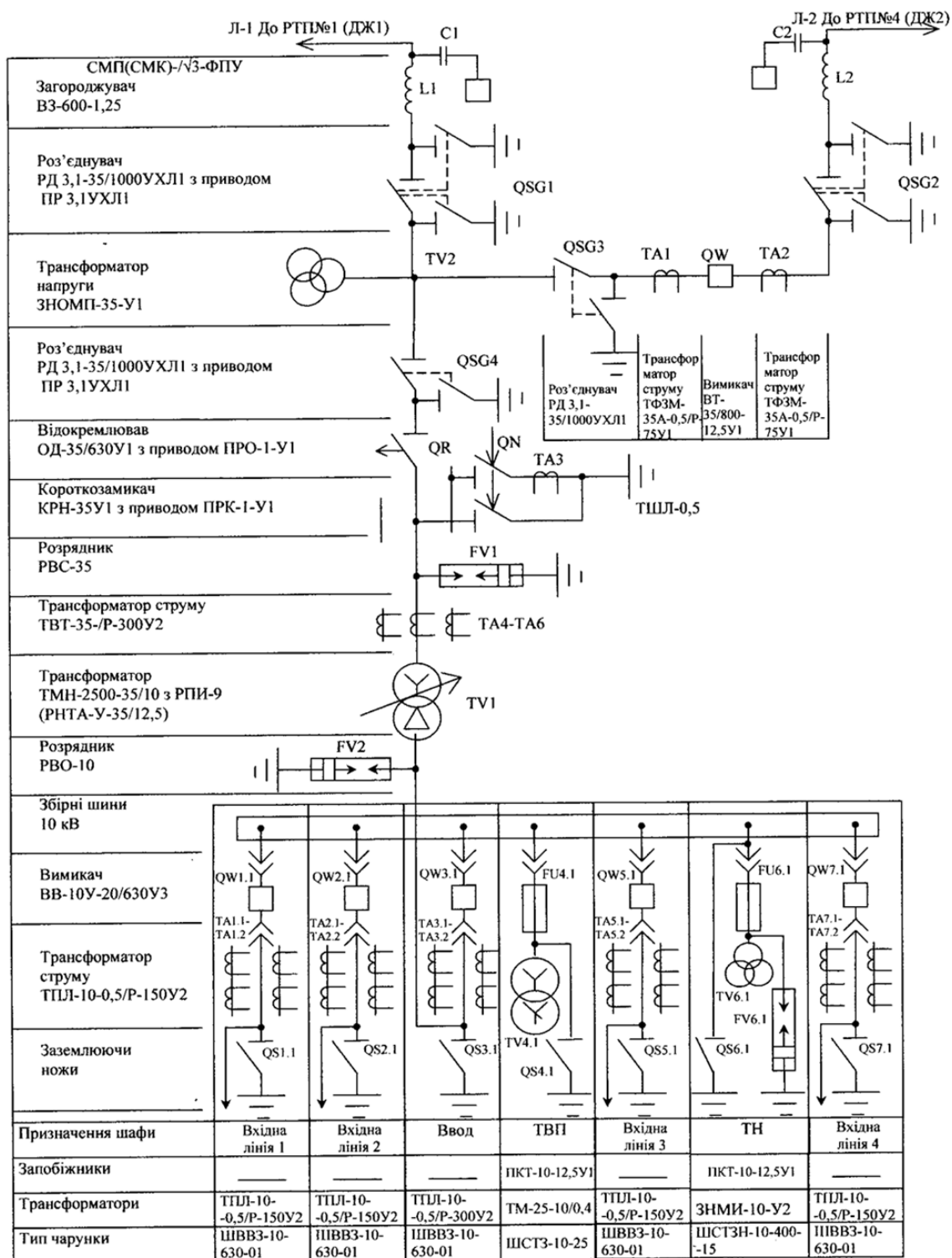


Рис. 23. Принципиальная электрическая схема подстанции 35/ 10 кВ

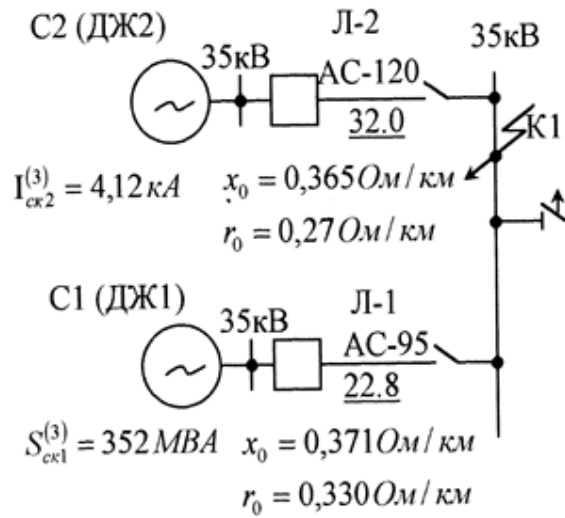


Рис. 24. Расчетная схема подстанции 35/ 10 кВ

3.4.1. Схема модели расчета трехфазного КЗ в т. К1 подстанции 35/ 10 кВ

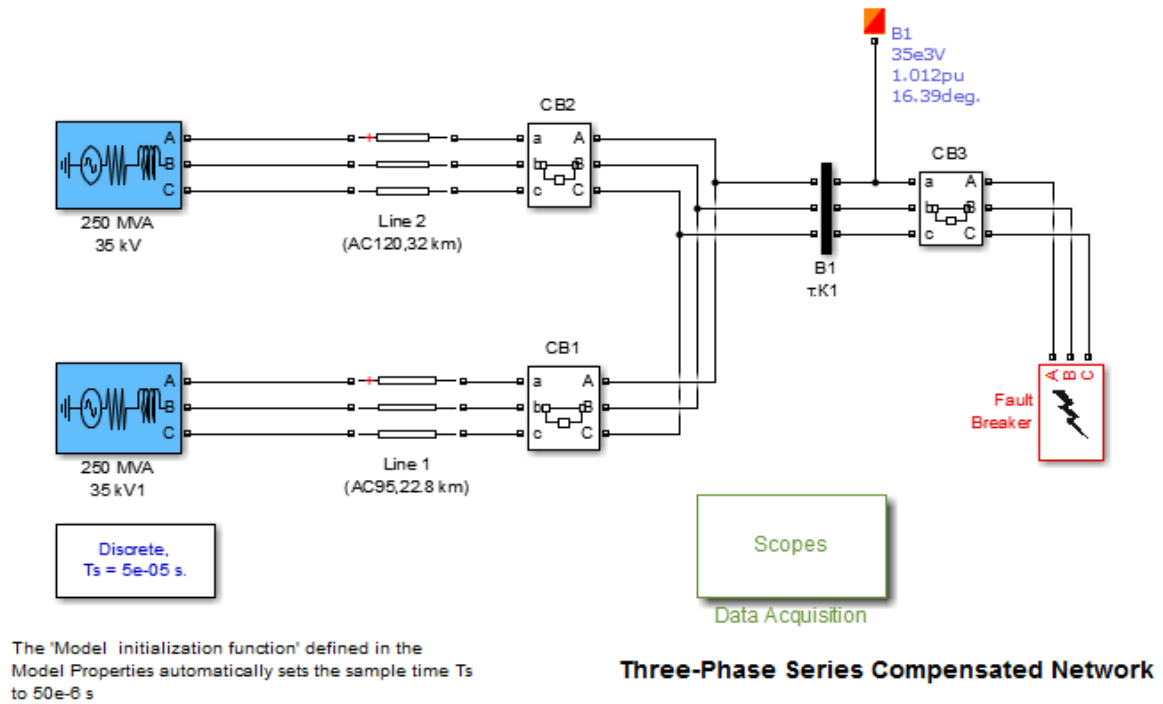


Рис. 25. Схема расчета трехфазного КЗ в т. К1 подстанции 35/ 10 кВ в соответствии с рисунками 19 - 23

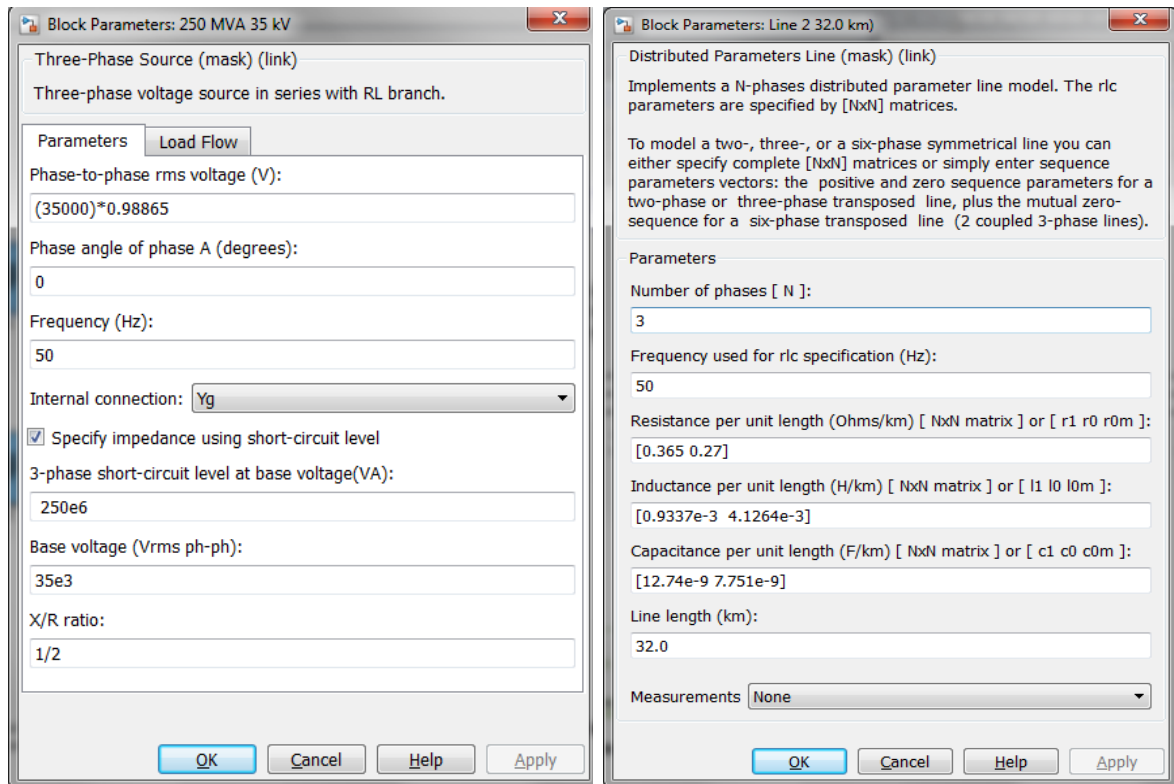


Рис. 26

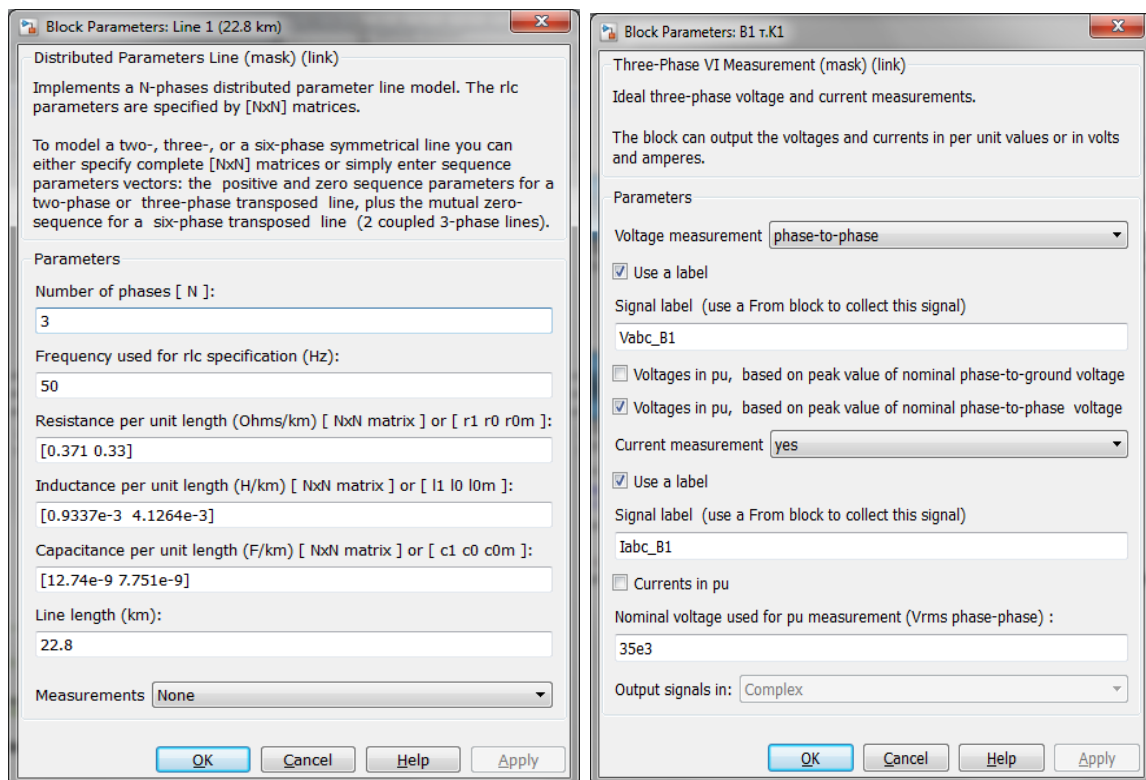


Рис. 27

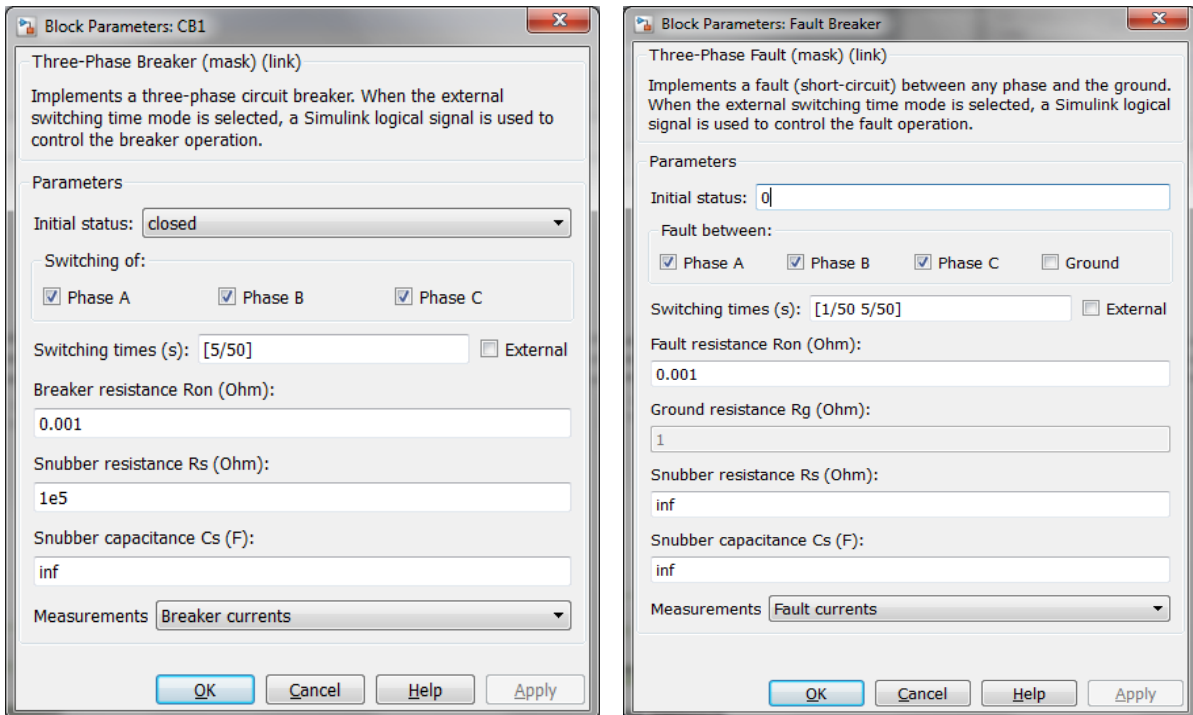


Рис. 28

Результат расчета трехфазного короткого замыкания в т.К1 (рис. 29 - 33).

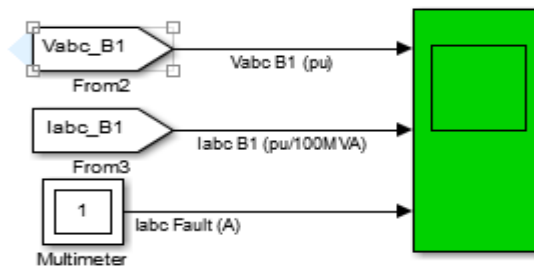


Рис. 29

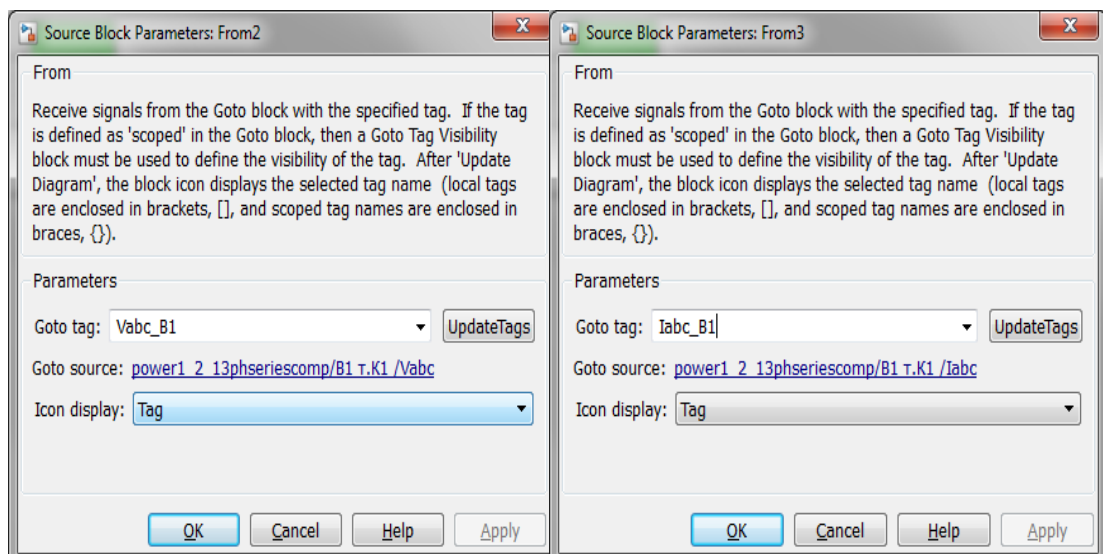


Рис. 30

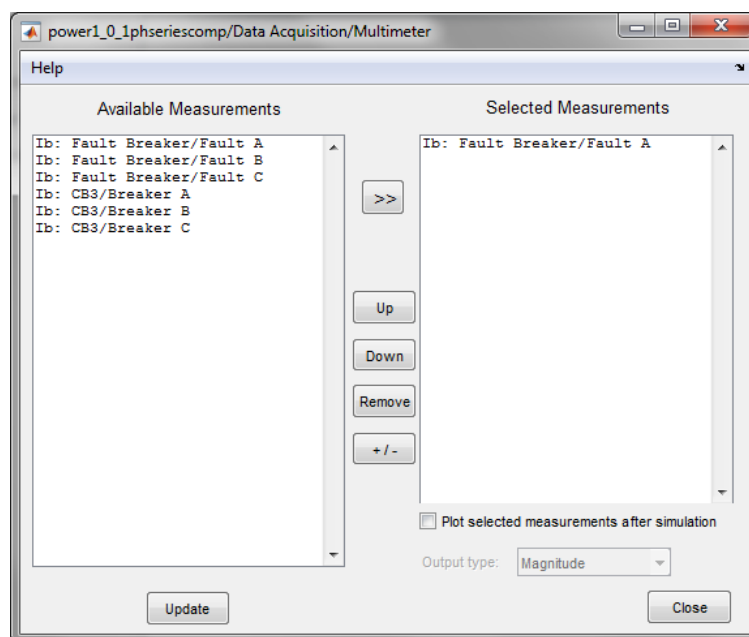


Рис. 31

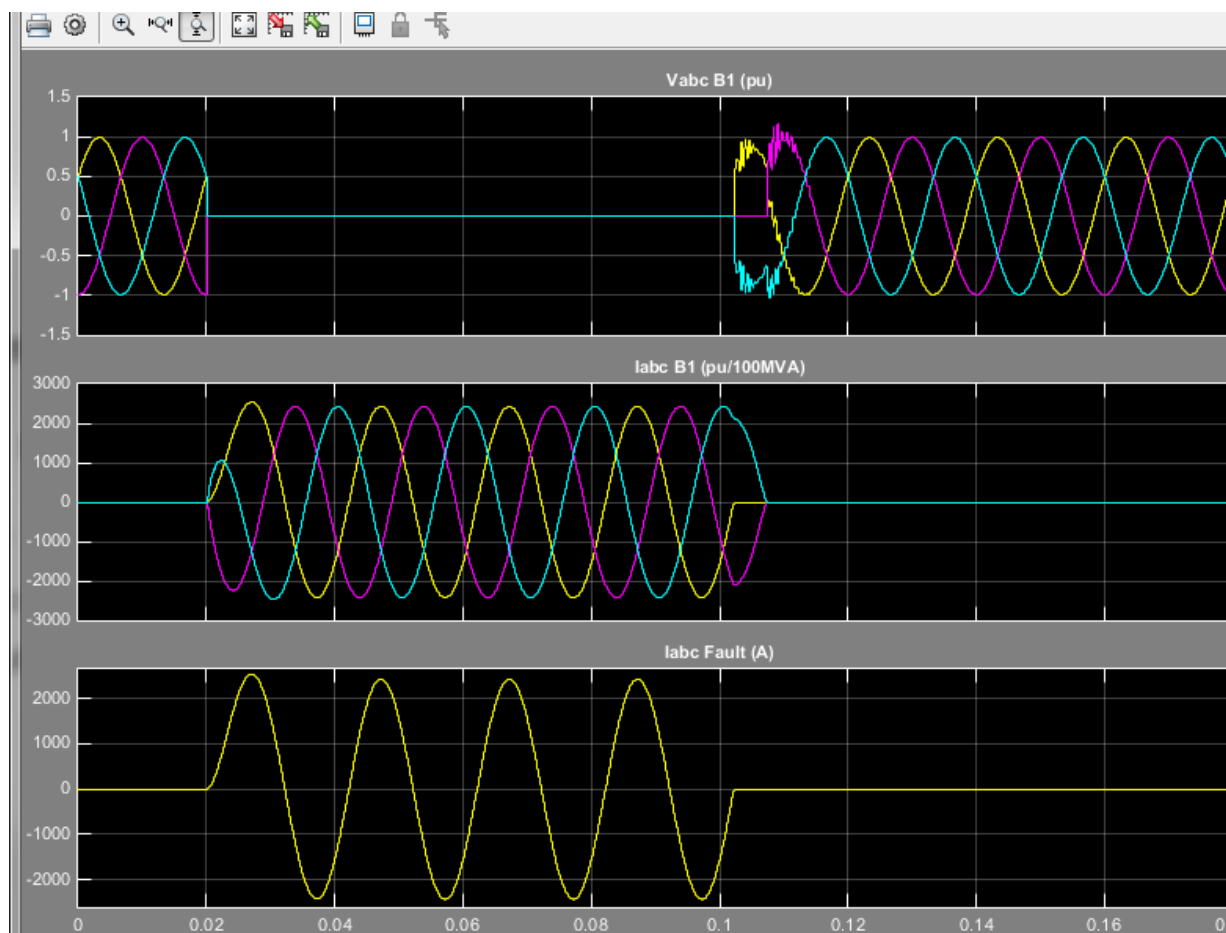


Рис. 32

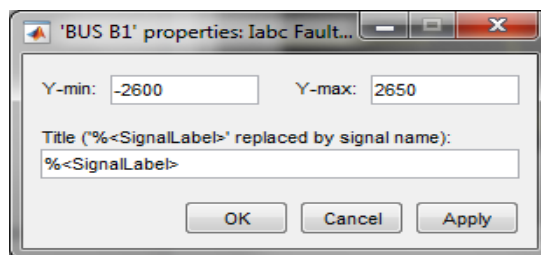


Рис. 33

Аналогично выполняем операции для расчета двухфазного короткого замыкания в т.К1 (рис. 34, 35).

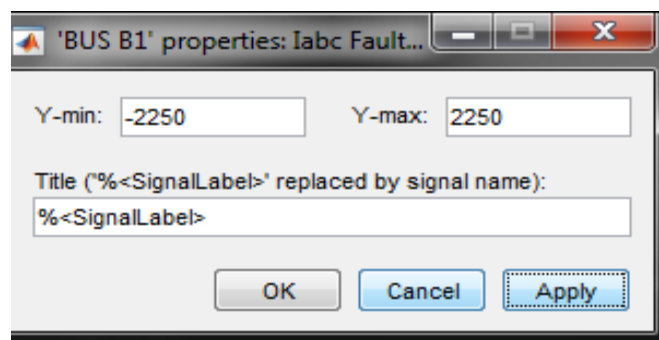
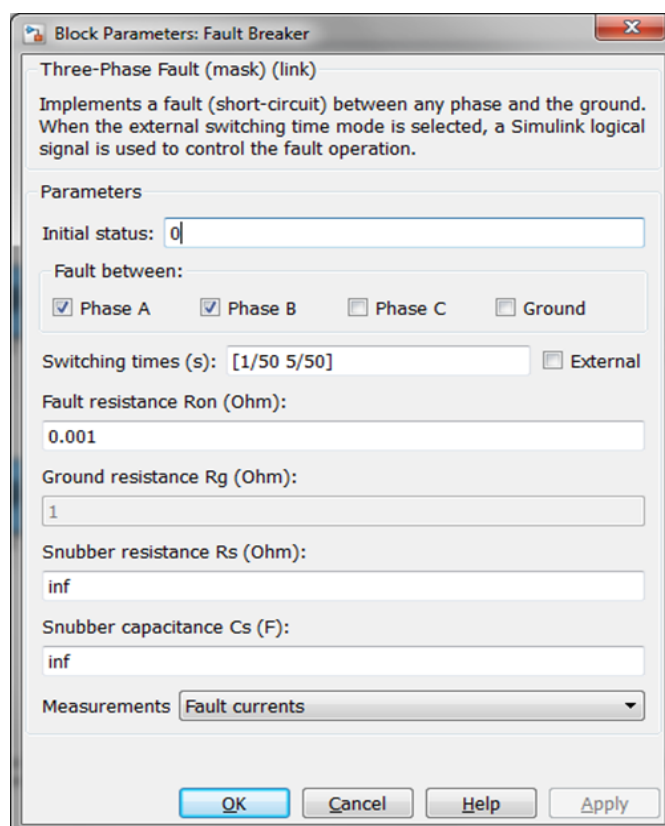


Рис. 34

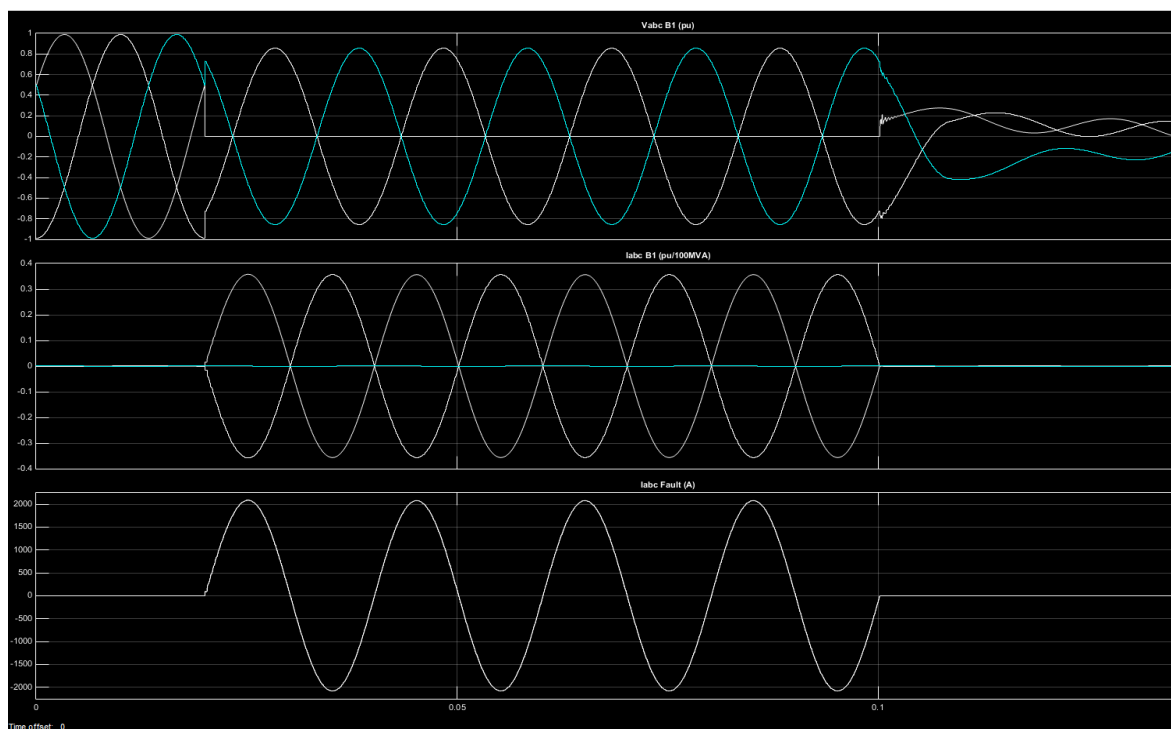


Рис. 35. Результат расчета двухфазного короткого замыкания в т.К1

3.4.2. Расчет трехфазного КЗ в т. К1, К2, К3

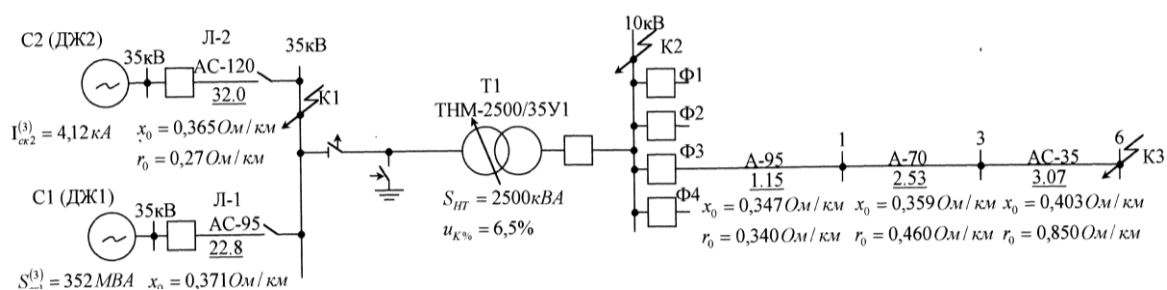


Рис. 36. Расчётная схема

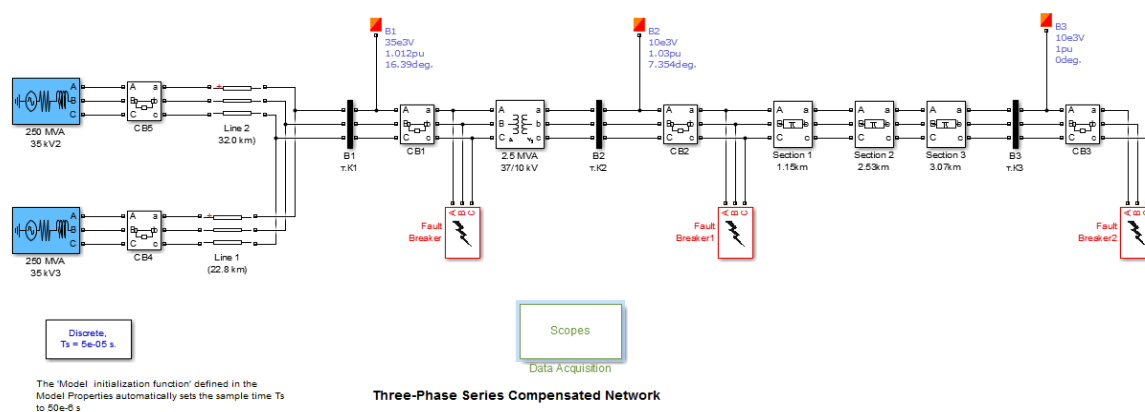


Рис. 37. Полная схема моделирования расчета трехфазного КЗ в т. К1, К2, К3

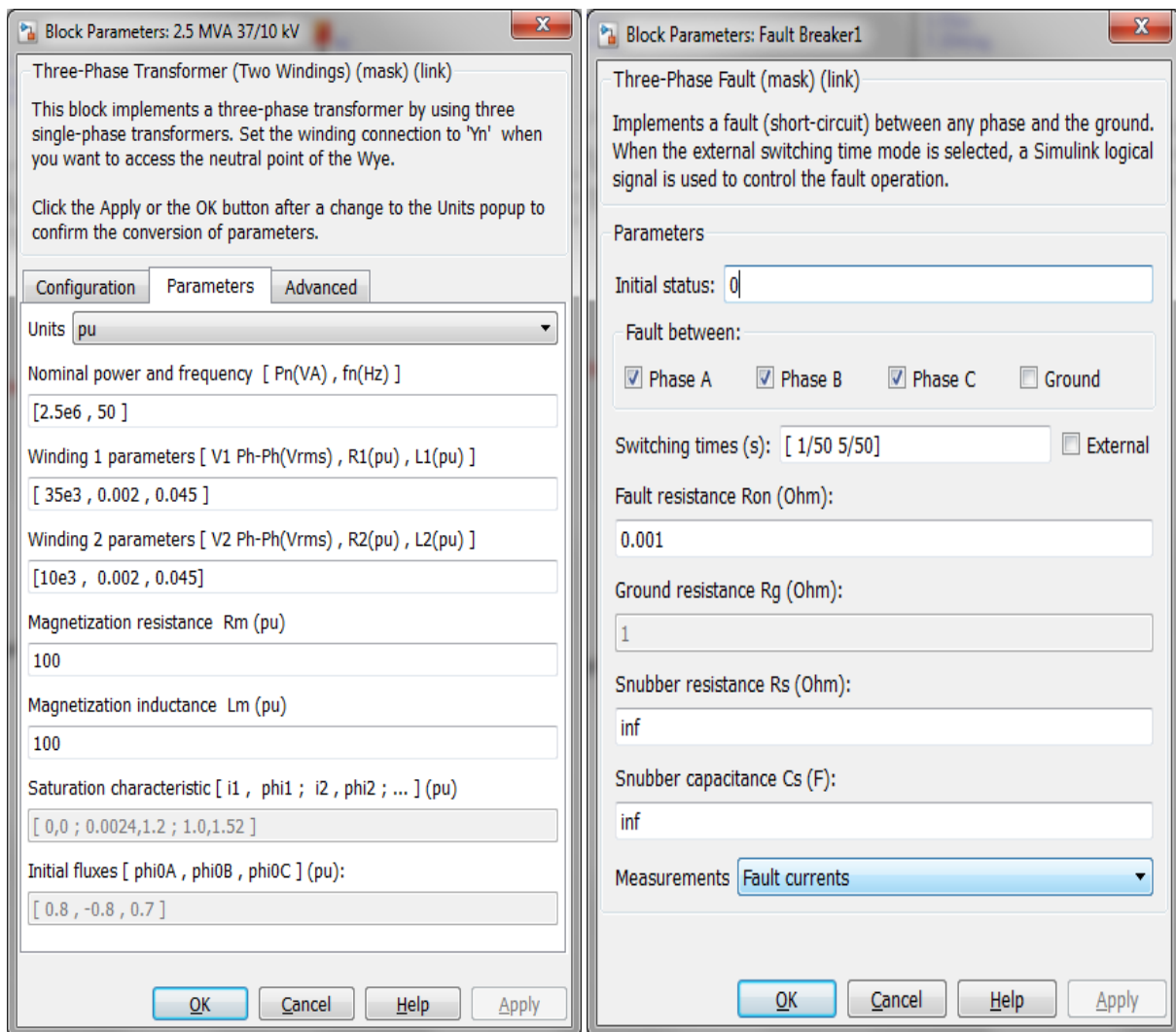


Рис. 38. Параметры трансформатора и короткозамыкателя для определения трехфазного КЗ в т. К2

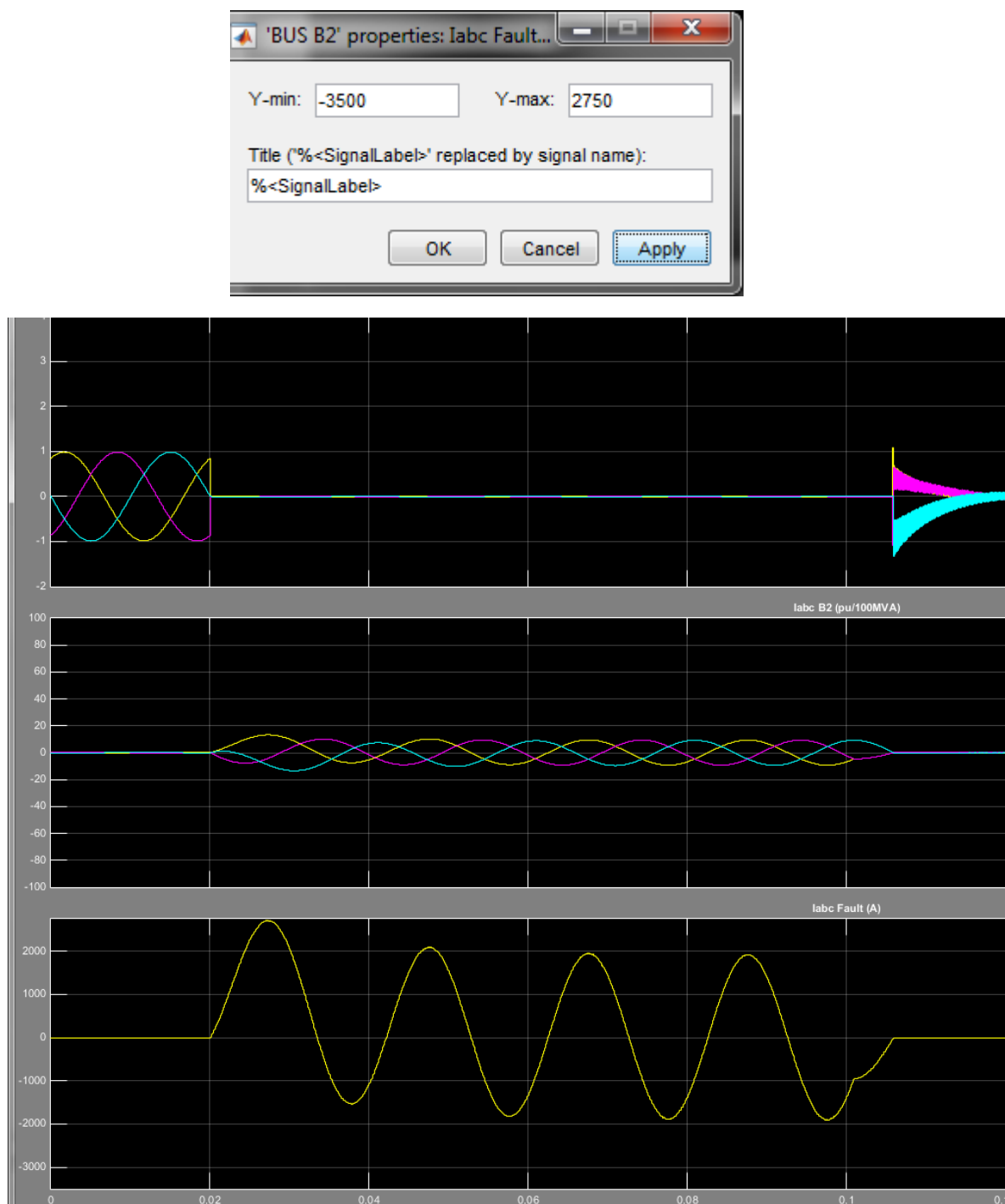
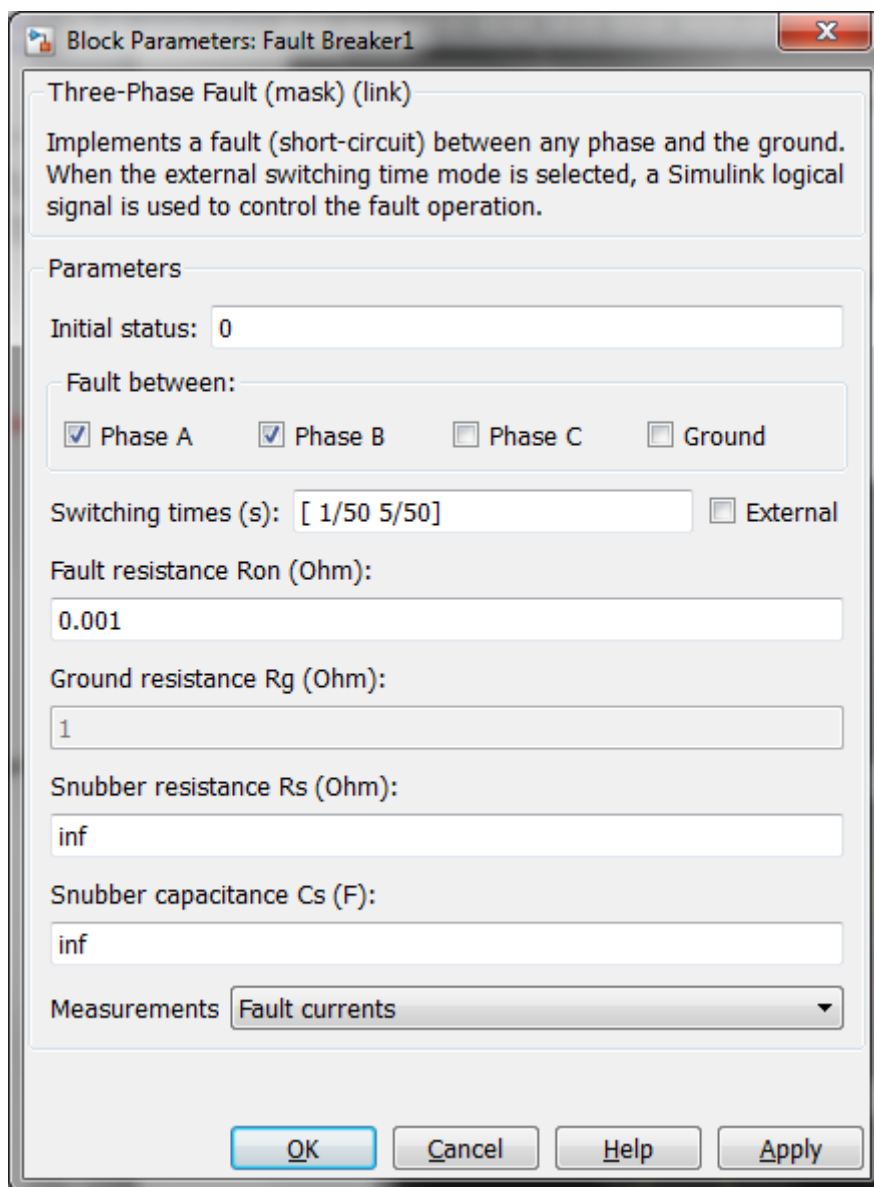


Рис. 39. Результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т.К2



Block Parameters: Fault Breaker1

Three-Phase Fault (mask) (link)

Implements a fault (short-circuit) between any phase and the ground. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the fault operation.

Parameters

Initial status: 0

Fault between:

☒ Phase A ☒ Phase B ☐ Phase C ☐ Ground

Switching times (s): [1/50 5/50] ☐ External

Fault resistance R_{on} (Ohm):

0.001

Ground resistance R_g (Ohm):

1

Snubber resistance R_s (Ohm):

inf

Snubber capacitance C_s (F):

inf

Measurements: Fault currents

OK Cancel Help Apply

Рис. 40. Результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т.К2

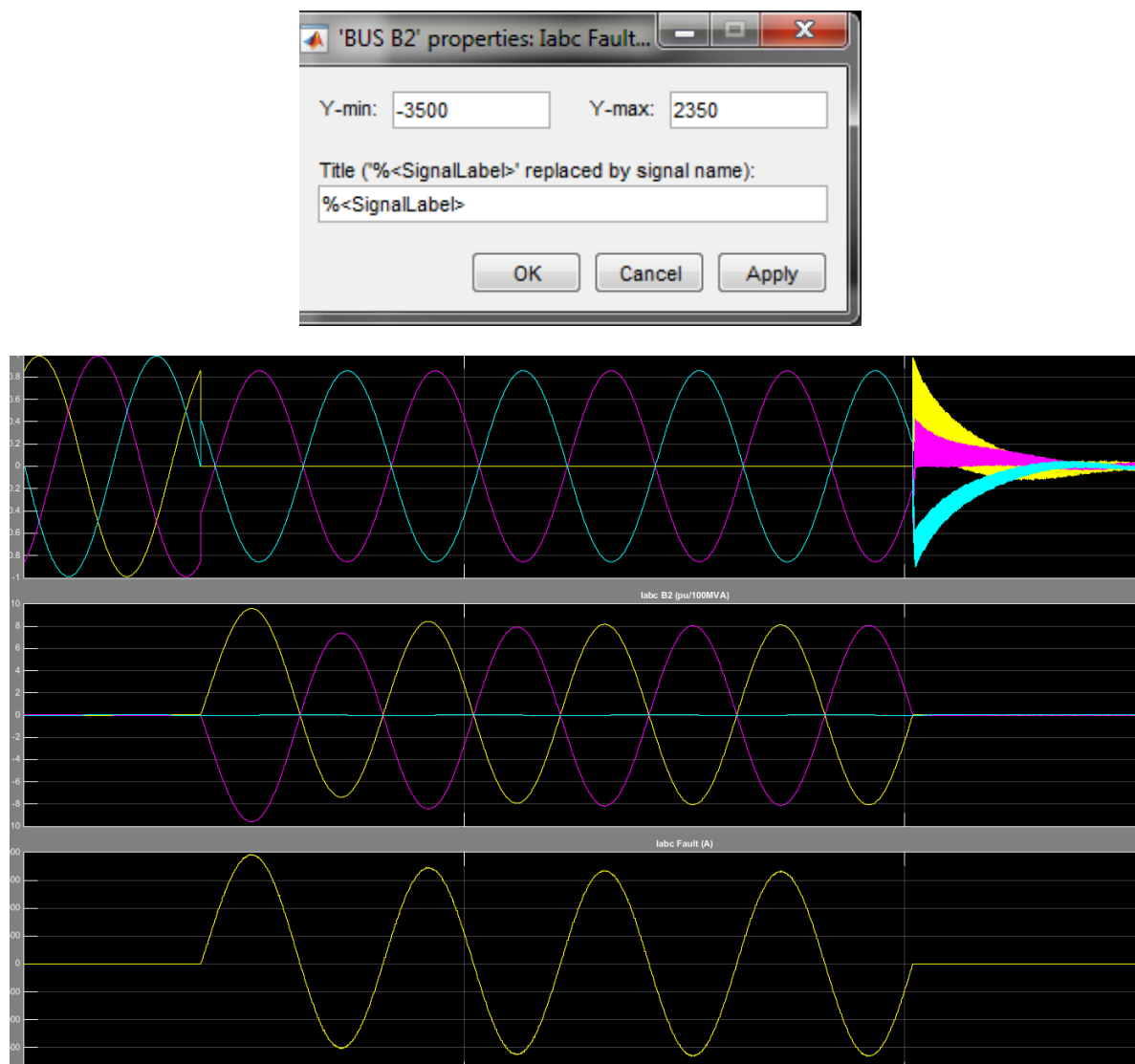


Рис. 41. Результат расчёта двухфазного короткого замыкания в т.К2

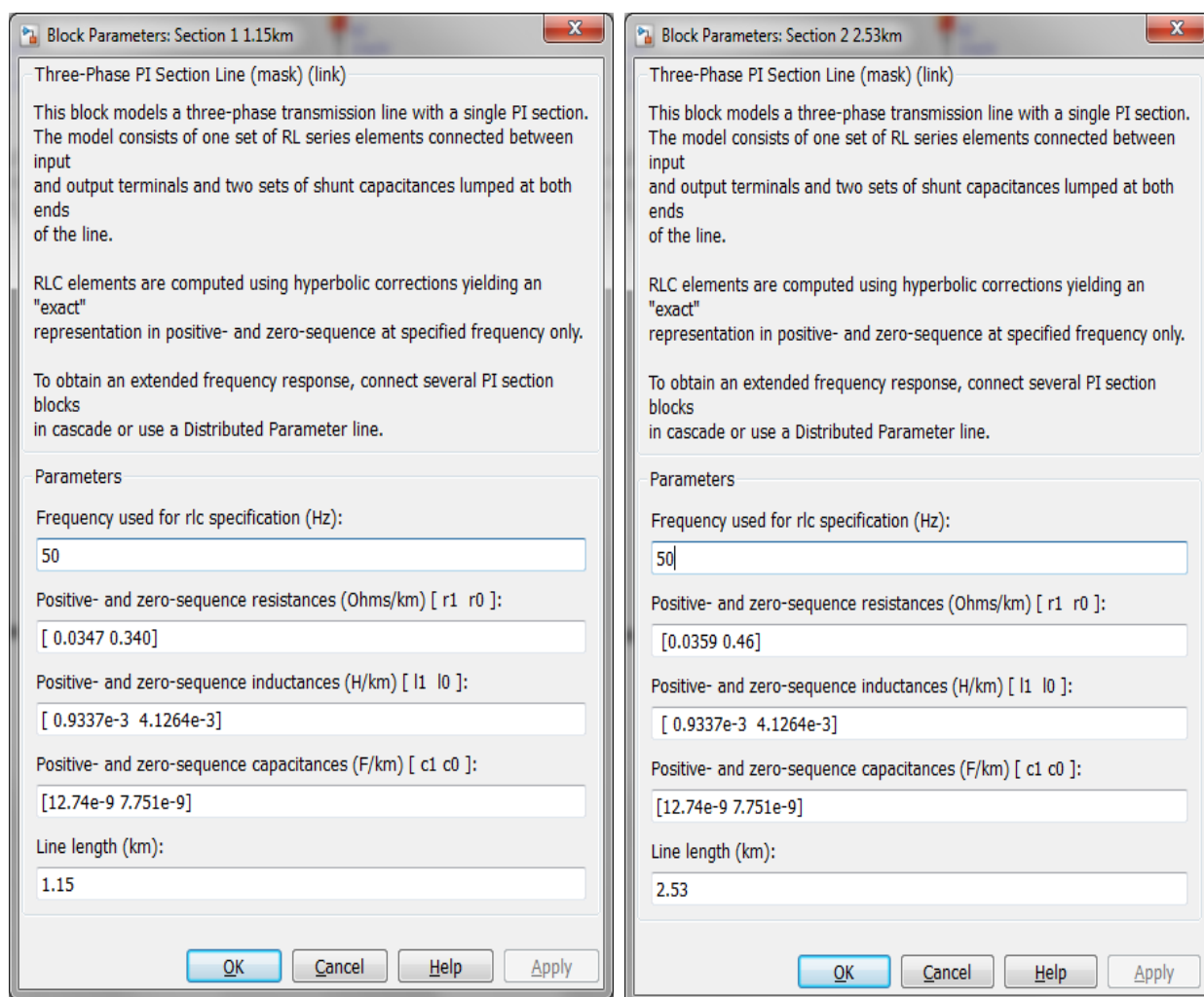


Рис. 42. Параметры элементов и короткозамыкателя для определения КЗ в т. КЗ

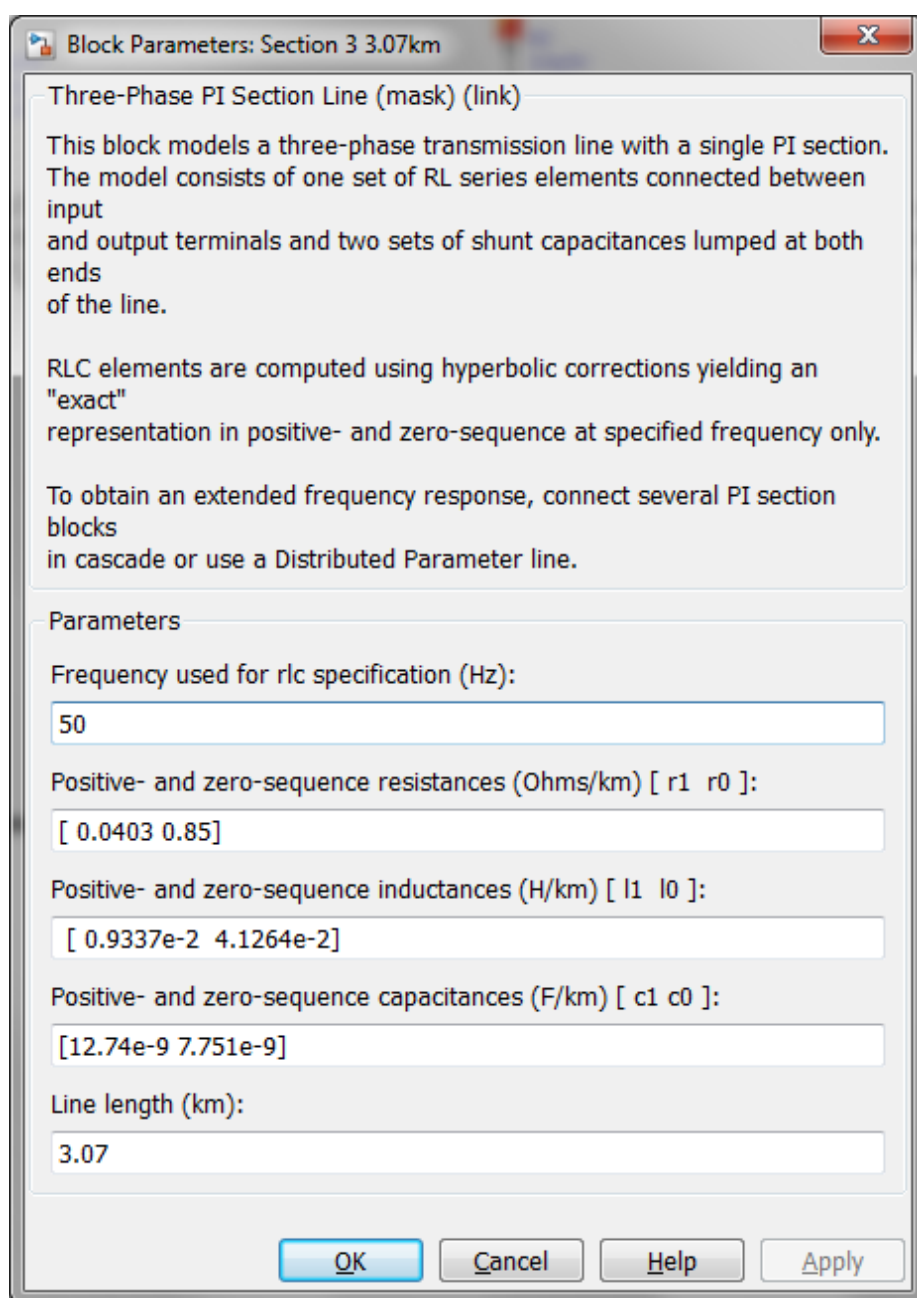


Рис. 43. Параметры элементов и короткозамыкателя для определения КЗ в т. КЗ

3.4.3. Короткозамыкатель и результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т.К3

Block Parameters: Fault Breaker2

Three-Phase Fault (mask) (link)

Implements a fault (short-circuit) between any phase and the ground. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the fault operation.

Parameters

Initial status: 0

Fault between:

☒ Phase A ☒ Phase B ☒ Phase C ☐ Ground

Switching times (s): [1/50 5/50] ☐ External

Fault resistance R_{on} (Ohm): 0.001

Ground resistance R_g (Ohm): 1

Snubber resistance R_s (Ohm): inf

Snubber capacitance C_s (F): inf

Measurements: Fault currents

OK Cancel Help Apply

Рис. 44

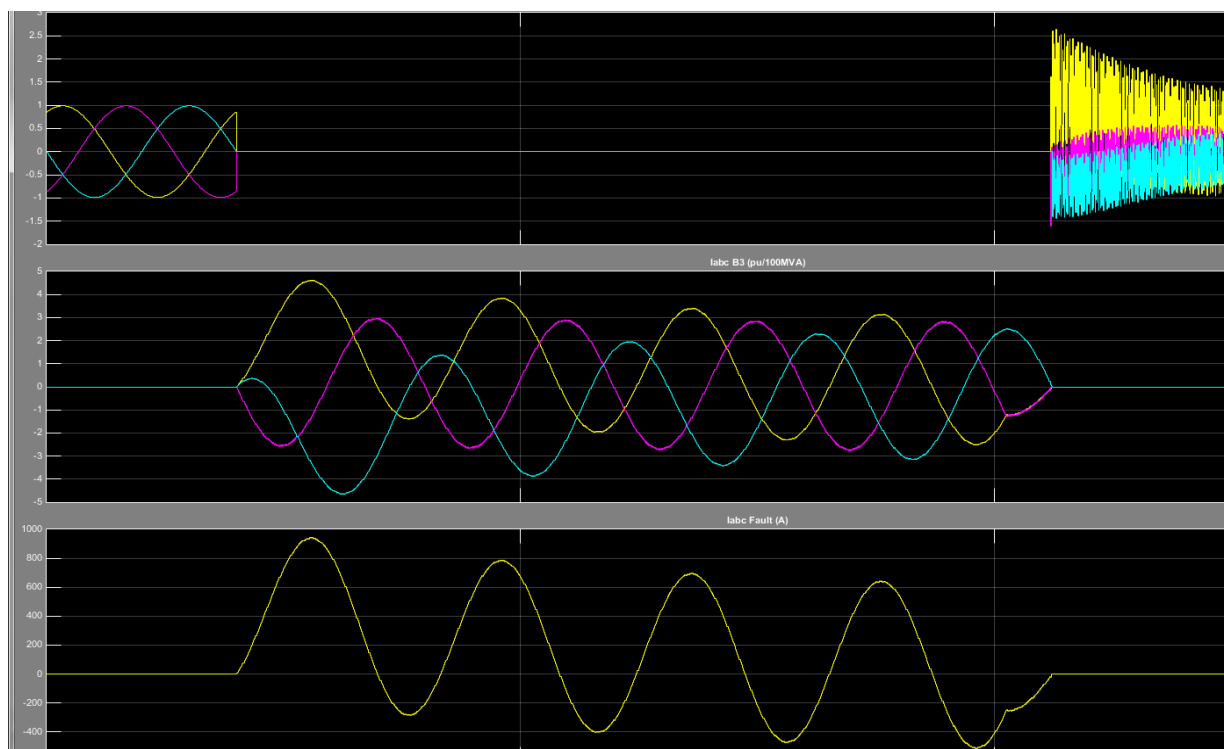
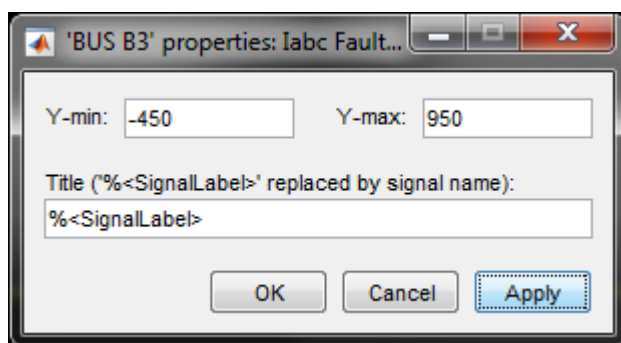


Рис. 45. Результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т.КЗ

3.4.4. Короткозамыкатель и результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т.КЗ

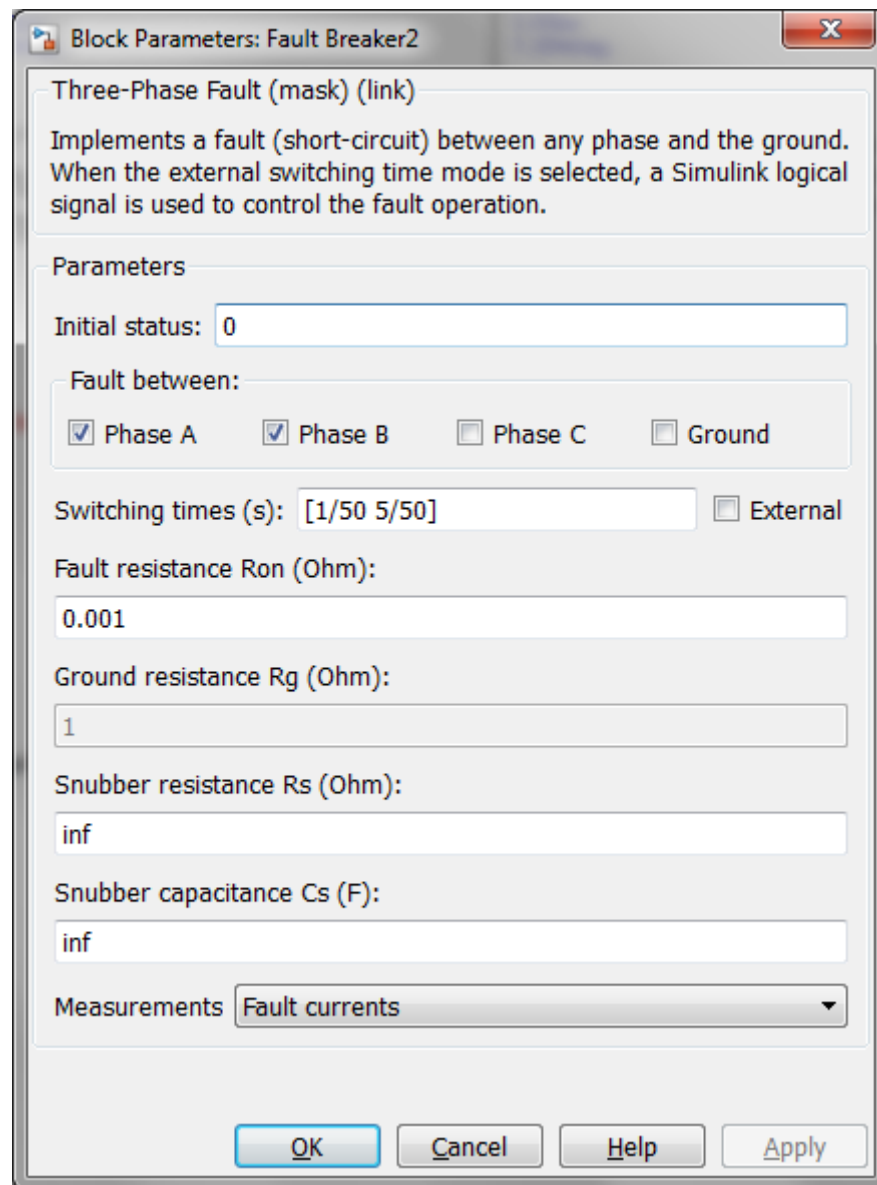


Рис. 46

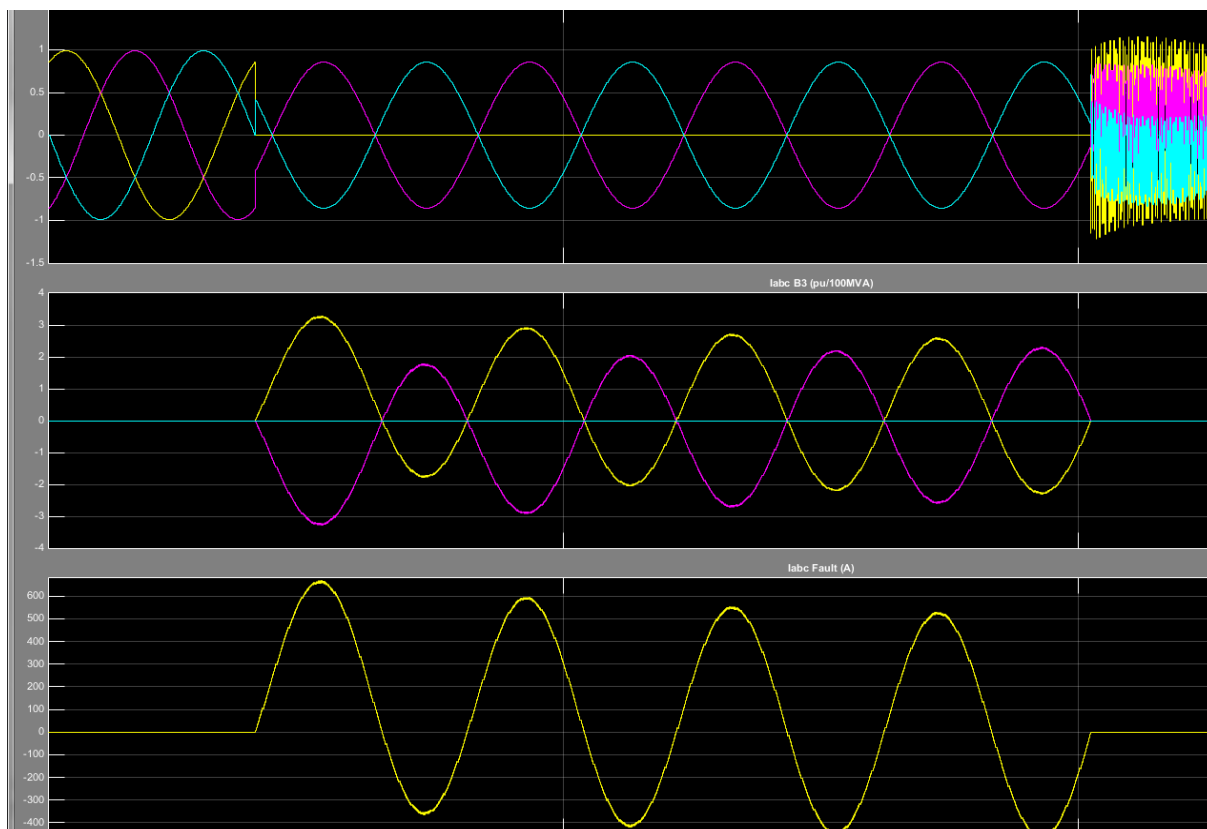
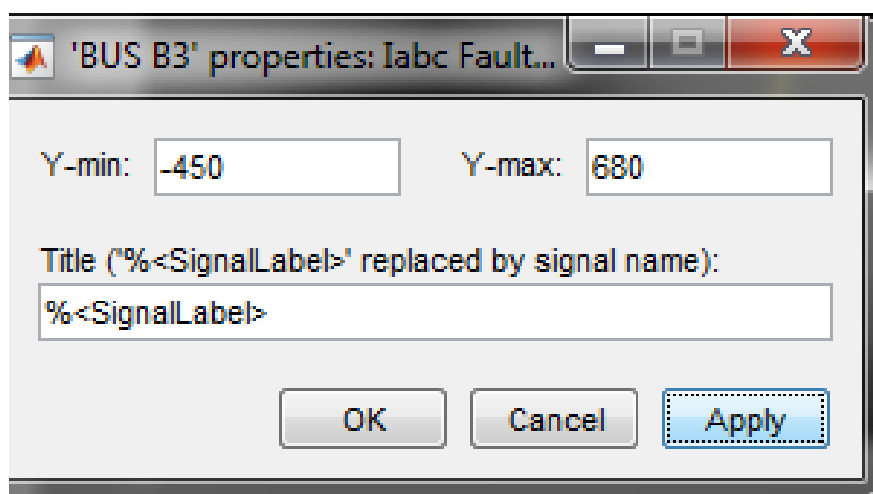


Рис. 47. Результат расчёта двухфазного короткого замыкания в т.К3

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

4.1. Сравнение результатов расчета токов КЗ по рассмотренным методам

Таблица 1

Виды кз	Методы								
	Классический			Elplek			Matlab		
	Токи кз в точках кз (кА)			Токи кз в точках кз (кА)			Токи кз в точках кз (кА)		
	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
3-фазное	2.59	2.72	0.93	2.59	2.71	0.89	2.5	2.75	0.95
2-фазное	2.25	2.37	0.81	2.243	2.347	0.78	2.25	2.35	0.68

Из табл. 1 видно, что наибольшие отклонения в расчетах КЗ от классического метода появляются в Elplek при расчёте трехфазного КЗ в т.КЗ (соответственно 0,93 и 0,89) и методом Matlab при расчёте двухфазного КЗ в т.КЗ (соответственно 0,81 и 0,68). В остальных точках в пределах допустимого.

Из двух прикладных программ ПВМ предпочтение следует отдать Elplek – меньше необходимо памяти в ПВМ (Elplek 2,42 МБ и Matlab R2014b - 9,72 ГБ), простота набора схем и ввода параметров элементов схем.

4.2. Сравнение интерфейсов программ

Что касается интерфейсов сравниваемых программ, то здесь преимущество неоспоримо остается за Elplek. Ее интерфейс, по сравнению с интерфейсом Matlab R2014b, прост и интуитивно понятен.

Окно программы и ее основное меню напоминают стандартное окно Windows, что позволяет даже неопытному пользователю быстро сориентироваться и начать работу.

К недостаткам Elplek следует отнести отсутствие возможности учета напрямую параметров величины полного тока КЗ и графического представления изменения тока КЗ.

Заключение. Проведенный авторами анализ показал, что при выполнении расчетов на одинаковых расчетных схемах результаты, полученные с помощью ПК EnergyCS ТКЗ, полностью соответствуют результатам, полученным в К АРМ СРЗА.

Следовательно, программный комплекс EnergyCS ТКЗ может быть использован службами РЗА филиалов ОАО «СО ЕЭС» и организациями, занимающимися проектированием электрической части станций и подстанций.

При этом следует отметить некоторые преимущества использования ПК EnergyCS ТКЗ по сравнению с ТКЗ-3000 и АРМ СРЗА для расчета, выбора и проверки коммутационного оборудования на отключающую способность:

- полный расчет величин сверхпереходных ЭДС по напряжениям и мощностям доаварийного установившегося режима согласно ГОСТ;
- возможность создания базы данных типового силового оборудования энергосистем;
- возможность визуализации результатов расчета ТКЗ на расчетной схеме;
- возможность расчета величин ударных токов КЗ.

Сравнение интерфейсов программ АРМ СРЗА и EnergyCS ТКЗ однозначно говорит в пользу последнего. Процесс создания схемы в EnergyCS ТКЗ за счет наличия дополнительных функций (калька, импорт графического изображения абстрактной схемы и встроенная база данных) занимает гораздо меньше времени. Результаты расчета, полученные в программе EnergyCS ТКЗ, наглядны и легко могут быть перенесены в другие программы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Предисловие	3
2. Расчет токов короткого замыкания с помощью прикладной программы elplek	4
2.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках К1	7
2.2. Расчёт тока двухфазного КЗ в точках К1	7
2.3. Расчёт токов трехфазного и двухфазного КЗ в точках К2	8
2.3.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках К2	8
2.3.2. Расчёт тока двухфазного КЗ в точках К2	8
2.4. Расчёт токов трехфазного и двухфазного КЗ в точках К3	9
2.4.1. Расчёт тока трехфазного КЗ в точках К3	9
2.4.2. Расчёт тока двухфазного КЗ в точках К3	9
3. Моделирование токов короткого замыкания в Matlab R2014b + SimPowerSystems	12
3.1. Установка и запуск Matlab R2014b	12
3.1.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога	12
3.2. Состав библиотеки Simulink	13
3.2.1. Создание, редактирование и запуск Simulink модели	15
3.3. SimPowerSystems	17
3.3.1. Система моделирования SimPowerSystems	17
3.3.2. Создание, редактирование и запуск модели SimPowerSystems	17
3.4. Моделирование расчета токов короткого замыкания подстанции 35/ 10 кВ с помощью Matlab R2014b и блоков SimPowerSystems	24
3.4.1. Схема модели расчета трехфазного КЗ в т. К1 подстанции 35/ 10 кВ	25
3.4.2. Расчет трехфазного КЗ в т. К1, К2, К3	30
3.4.3. Короткозамыкатель и результат расчёта трехфазного короткого замыкания в т. К3	37
3.4.4. Короткозамыкатель и результат расчёта двухфазного короткого замыкания в т. К3	39
4. Заключение	41
4.1. Сравнение результатов расчета токов КЗ по рассмотренным методам	41
4.2. Сравнение интерфейсов программ	41

У ч е б н о е и з д а н и е

**Слюсаренко Виктор Григорьевич
Рясков Юрий Иванович
Шайтор Николай Михайлович**

**Расчет
токов короткого замыкания
на ЭВМ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 10/18. Объем 2,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»