СИМГРИД V 2.3

Программа расчета установившихся режимов в электрической сети и анализа поведения устройств релейной защиты при коротких замыканиях

Руководство пользователя

2015 – 2018 ООО "Релгрид"
Copyright by Relgrid

Тиражирование, а также передача программы и ее приложений запрещена.
Нарушение обязывает к возмещению ущерба. Все права сохраняются.

Оглавление

1. ВСТУПЛЕНИЕ 6

1.1 Применение 6
1.2 Основные положения 6
1.3 Установка ПО СИМГРИД 7
1.3.1 Минимальные требования к аппаратному и программному обеспечению 7
1.3.2 Рекомендуемое аппаратное и программное обеспечение 7
1.3.3 Процесс инсталляции 7
1.4 Пуск и окончание программы 8
1.4.1 Пуск программы 8
1.4.2 Окончание программы 8

2. ПРОЕКТ 8

2.1 Открытие *проекта* 8
2.1.1 Открытие нового проекта 8
2.1.2 Открытие существующего проекта 9
2.2 Создание новой *Схемы* внутри проекта 10
2.3 Переход от одной схемы к другой внутри одного проекта 10

3. СОЗДАНИЕ СХЕМЫ СЕТИ 11

3.1 Рабочее окно 11
3.2 Библиотека элементов 12
3.2.1. Выбор элемента из библиотеки 13
3.2.2 Поворот элемента схемы в рабочем окне 13
3.2.3 Перемещение элемента в схеме 14
3.2.4 Удлинение (укорочение) сборных шин и линий 14
3.2.5. Поворот линии относительно одного из концов 14
3.2.6 Установить (убрать) выключатель 14
3.2.7 Включить/отключить выключатель 15
3.2.8. Замкнуть/разомкнуть разъединители 16
3.2.9 Выбор элементов 16
3.2.10 Работа с элементами 16
3.2.11 Работа с текстом 17
3.3 Соединение элементов схемы 17
3.3.1 Соединение двух элементов 17
3.3.2 Соединение нескольких элементов 18
3.3.3. Корректировка положения отдельных элементов 19
3.3.4 Маркировка концов элементов 19
3.4 Параметры элементов схемы 19
3.4.1 Вызвать окно задания параметров 19
3.4.2 Окно Редактирование параметров 19
3.4.3 Окно Обмотки 20
3.4.4 Окна Заголовок и Экран 20
3.4.5 Задание/корректировка параметров элементов кнопкой Таблица элементов 21
3.5 Установка защиты 21
3.5.1 Задание защиты 22
3.5.2 Выбор защиты и задание имени защиты 22
3.5.3 Задание данных трансформаторов тока и напряжения 22
3.5.4 Полярность трансформаторов тока 23
3.6 Место и вид повреждения 23
3.6.1 Задание места повреждения 23
3.6.2 Задание вида повреждения 24
3.7 Контроль соединений в схеме 24
3.8 Исправление схемы 25
3.9 Распечатка данных схемы 25
3.9.1 Распечатка схемы 25
3.9.2 Список элементов 26
3.10 Описание сети 26

4. ОДНОРАЗОВЫЙ РАЧЁТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 27

4.1 Установка защиты (точки измерений) 27
4.2 Одноразовый расчёт электрических величин в одной ветви 27

4.2.1 Таблица с результатами расчёта *27*
4.2.2 Анализ электрических величин в Z-плоскости *28*
4.3 Расчёт КЗ в заданных точках схемы 28
4.4 Общая таблица расчёта КЗ 29
4.5 Этапы выполнения однократного расчёта 29

5. ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТЫ 30

5.1 Общее 30
5.2 Рабочее окно „Редактирование параметров“ 30
5.3 Задание имени защиты 30
5.4 Задание функций защиты 31
5.5 Уставки защитных функций 31
5.5.1 Открытие окна функции для задания уставок *31*
5.5.2 Уставки максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени *33*
5.5.3 Уставки дистанционной защиты (DS-функция, фаза-фаза) *34*
5.5.4 Уставки дистанционной защиты (DSE-функция, фаза-ноль) *38*
5.6 Список параметров защит 38
5.6.1 для одной защиты *38*
5.6.2 Список параметров для всех интегрированных в сеть устройств защиты *39*
5.7 Архив защит 39
5.7.1 Назначение архива *39*
5.7.2 Внесение данных в архив *39*
5.7.3 Внесение архивных данных для выбранной защиты *41*
5.7.4 Корректировка уже существующих уставок защиты *41*
5.7.5 Копирование данных защиты в архив с новым именем *42*
5.7.6 Стирание данных в архиве *42*

6. РАСЧЁТ СХЕМЫ СЕТИ 43

6.1 Варианты расчета 43
6.1.1 Одноразовый расчет *43*
6.1.2 Многоразовый расчет *43*
6.2 Анализ действия защит при одноразовом расчете 43
6.2.1 Сообщения защит *43*
6.2.2 Анализ сообщений одной защиты *43*
6.2.3 Одновременный анализ сообщений многих устройств защиты *52*
6.3 Значения токов, напряжений и импедансов короткого замыкания при многоразовом расчёте 54
6.4 Анализ отдельной защиты при многоразовом расчёте 56
6.4.1 Сообщения защиты *56*
6.4.2 Измеряемые величины при коротком замыкании и анализ в Z-плоскости *56*
6.5 Проверка резервирования релейной защиты в сети 59

7. РАСПЕЧАТКА СХЕМЫ 61

7.1 Режим просмотра страницы 62
7.2 Выбор и установка принтера (плоттера) 62

8. СТУПЕНЧАТАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЩИТЫ 63

8.1 Область применения 63
8.2 Фиксация "Цепи" 65
8.3. Ступенчатая характеристика защиты 65
8.4 Дополнительные возможности анализа с помощью функции "*Ступенчатая характеристика*" 66
8.4.1 Анализ по ступенчатой характеристике *66*
8.4.2 Анализ по таблице ступенчатой характеристики *69*
8.5 Формирование и распечатка протокола ступенчатой характеристики 73

9. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫБОРА УСТАВОК ЗАЩИТ (АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСИ И СЕЛЕКТИВНОСТИ (АЧС)) 74

9.1 Чувствительность и селективность защит сети 74
9.2 Фиксация контролируемого участка сети 77
9.3 Ввод дополнительных данных для теста АЧС 77
9.3.1 Ввод ELS-выключателей *77*
9.4 Анализ защит с помощью АЧС-функции 80
9.5 Углубленный анализ с помощью АЧС-функции 81
Пример 9.1 ..... *83*

Пример 9.2. ..... *88*

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОПИСАНИЕ ПАНЕЛЕЙ РЕДАКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ **92**

Эквивалентная система (Gs) 92
Генератор (G) 92
Двухобмоточный трансформатор (T) 92
Трехобмоточный трансформатор (T) 93
Автотрансформатор (AT) 93
Реактор (P) 93
Нагрузка (N) 93
Комплексное сопротивление (Z) 93
Конденсатор (батарея конденсаторов) - (C) 93
Короткая линия (RL) 94
Параллельные линии (SL) 94
Длинная линия (RLC) 94
Управление разъединителем и выключателем 94

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ (УСТАВОК) ЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ **95**

П. 2.1. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени (IT) 95
П. 2.2. Максимальная токовая защита от замыканий на землю с независимой выдержкой времени (ITE) 95
П. 2.3. Максимальная токовая защита с зависимой выдержкой времени (IA) 95
П. 2.4. Максимальная токовая защита от замыканий на землю с зависимой выдержкой времени (IAE) 96
П. 2.5. Дистанционная защита от междуфазных КЗ (DS) и дистанционная защита от замыканий на землю (DSE) 96
П. 2.6. Токовая защита обратной последовательности (I_2T) 97
П. 2.7. Защита минимального напряжения (UT<) 97
П. 2.8. Защита максимального напряжения (UT>) 97

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОГРАММЫ **97**

П. 3.1. Пункт меню *Схема* 97
П. 3.2. Пункт меню *Вид* 98
П. 3.3. Контекстное меню на поле схемы 99

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРИМЕР ВЫБОРА УСТАВОК ЗАЩИТЫ **99**

Таблица П1. 104

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КЛЮЧЕЙ **105**

Общие положения 105
Установка драйверов Guardant 105
Порядок установки USB-ключа *106*
Правила эксплуатации и хранения *106*

1. Вступление

1.1 Применение

Программа СИМГРИД рассчитывает:

- действующие значения тока и напряжения и их симметричных составляющих,
- полные сопротивления (фаза-фаза и фаза-ноль) в любых точках сети в режиме нагрузки и при повреждениях при различных видах повреждений и структурах сети.

СИМГРИД дает пользователю эффективную поддержку при

- выборе установок защиты,
- контроле селективности и чувствительности устройств защиты при изменяющейся схеме сети, месте и виде и повреждения,
- координации характеристик устройств защиты в сети.

1.2 Основные положения

Программа СИМГРИД располагает специальным графическим редактором. Благодаря дружественным свойствам графического редактора можно без проблем построить на экране сеть любой конфигурации (например, - рис. 1.1).

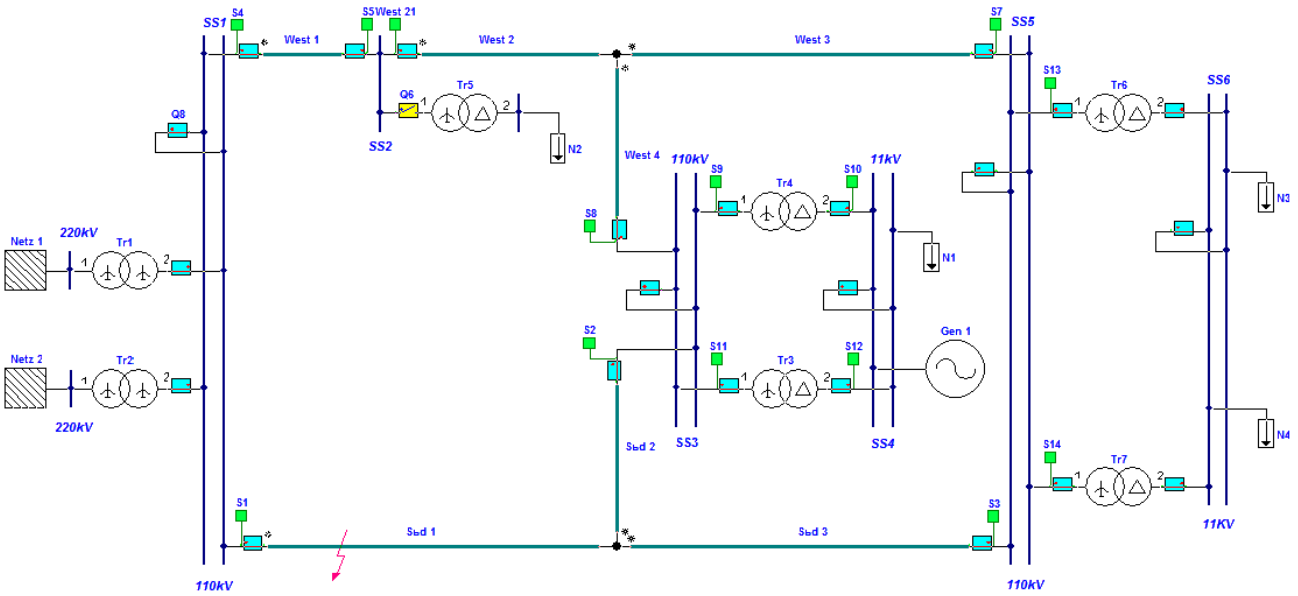


Рис. 1.1. Пример сети

Программа **СИМГРИД** дает возможность моделировать функции защит, установленных в сети заданной конфигурации и проверять их селективность при различных случаях повреждений в реальной сети потребителя.

Пользователь получает выбранные установки защит в обозримой форме, а именно:

- табличное представление измеренных защитой аварийных величин тока, напряжения и импеданса, а также графическое представление импеданса,
- обобщение реакций многих устройств защиты в форме графика.

Пользователю предоставляется возможность построить свою конкретную электрическую систему с генераторами, трансформаторами, линиями электропередачи, шинами, выключателями и т.п. и установить в ней в необходимых местах релейную защиту. Моделируются как все элементы электрической системы, так и функции релейной защиты.

Для построения модели электрической сети (в дальнейшем – схемы) используется специально разработанный графический редактор (редактор схем). Пользователь просто строит свою схему из

числа графических элементов (генератор, трансформатор и т.п.) заранее подготовленных разработчиком и расположенных в так называемой библиотеке элементов.
Элементы электрической сети имеют определенные параметры, которые вносятся пользователем. Кроме этого пользователь вносит данные о месте установки защиты, её параметрах и о виде и месте повреждения. Меню параметров каждого элемента зависит от вида элемента.
Для моделирования процессов, возникающих при различных повреждениях, программа вызывает так называемый расчетный модуль, который определяет все установившиеся токи и напряжения на входах, установленных в электрической системе защит в доаварийном режиме и в режиме повреждения.
При этих расчетах предусматривается действие защит на выключатели сети, т.е. пересчет и анализ реакции защит выполняется при каждом отключении выключателя, пока повреждение не будет устранено.
Моделируются характеристики всех устройств защиты в сети, и выдается реакция отдельных защит как дальнейший результат моделирования повреждения. На этой основе можно оценивать селективность, степень защищённости и резервирования устройств защиты в сети.
Пользователь имеет возможность создавать архив для различных структур сети. Этот архив содержит для каждой структуры ее конфигурацию, параметры всех элементов первичной схемы и устройств защиты.

1.3 Установка ПО СИМГРИД

1.3.1 Минимальные требования к аппаратному и программному обеспечению

- ПК с Intel совместимым процессором
- Microsoft Windows Vista или выше

1.3.2 Рекомендуемое аппаратное и программное обеспечение

- ПК с Intel совместимым процессором
- Microsoft Windows Vista или выше.

1.3.3 Процесс инсталляции

Программа СИМГРИД поставляется с соответствующими каталогами и файлами данных на съемном носителе или по сети Ethernet. Совместно с поставляемой программой установки программа легко инсталлируется под операционной системой MICROSOFT *Windows* на любом персональном компьютере, который соответствует минимальным требованиям.

Программа СИМГРИД дееспособна только с Электронным ключем, который включён в объем поставок.

Этот электронным ключ вставляется в USB порт компьютера и служит для защиты против несанкционированного распространения программы.

Электронный ключ функционирует ***без установки*** дравера. В некоторых случаях может потребоваться установка дравера.

<u>Указания к установке программы:</u>

- Установите, *при необходимости*, драйвер электронного USB ключа (см. Приложение 5)

!!! Этот шаг возможно пропустить, и требуется только в очень редких случаях.

- Подсоедините электронный ключ к порту (должна появиться световая индикация ключа).
- Запустите программу установки SETUP.EXE.

- Следуйте за указаниями программы установки.

Если при установке программы **СИМГРИД** или драйвера электронного ключа встречаются проблемы, обратитесь пожалуйста в отдел технической поддержки и "горячей " линии обслуживания.

1.4 Пуск и окончание программы

1.4.1 Пуск программы

Пуск программы вызовом программы-приложения *SIMGRID.exe* в списке программ. После пуска появляется главное окно программы.

1.4.2 Окончание программы

Окончание программы - вызовом поля *"Закрыть"* в выпадающем меню *Файл*.

2. Проект

Под *Проектом* подразумевается совокупность предназначенных для расчета схем. Примером могут быть возможные конфигурации одной сети, появляющиеся при учете минимального и максимального режимов оборудования, и т.п.
Имя проекта есть одновременно и имя соответствующего каталога, например, "Nord3". В этом каталоге сохраняются все данные отдельных схем, которые требуются программе *СИМГРИД* для проведения анализа. В качестве каталога для хранения *Проектов* может быть использован и каталог самой программы *СИМГРИД*.
Чтобы изменить *Проект* нужно открыть каталог с соответствующим именем.

2.1 Открытие *проекта*

2.1.1 Открытие нового проекта

Чтобы создать новый проект, нужно выбрать в разворачивающемся меню путь *Файл - Новый проект*, выбрать в открывающемся окне желаемый каталог, ввести имя нового проекта и нажать клавишу *Открыть* (рис. 2.1, 2.2).

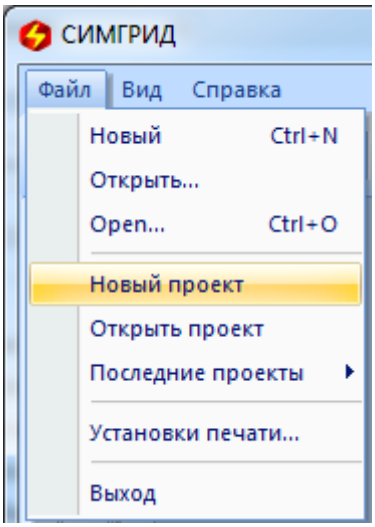


Рис. 2.1. Выпадающее меню

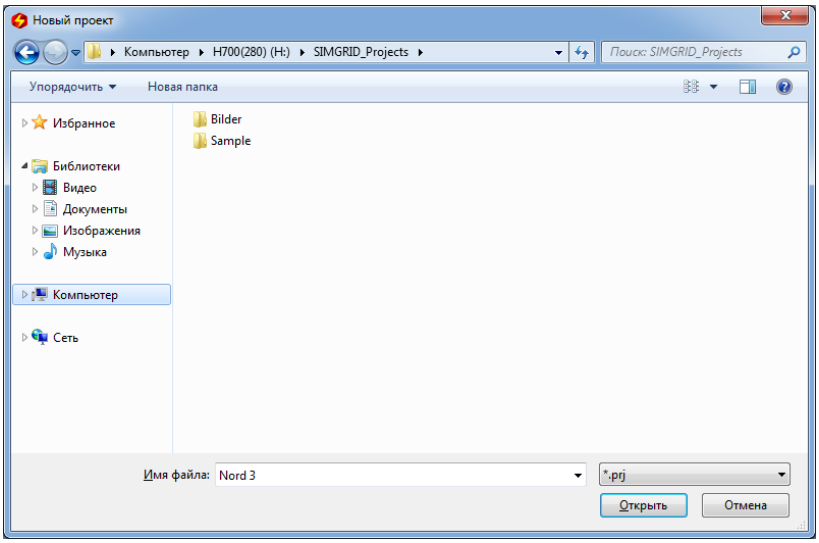


Рис. 2.2. Окно *Новый проект*

2.1.2 Открытие существующего проекта

Чтобы открыть уже существующий проект (например, проект *Nord3*, схема *Nord3-2*) нужно в разворачивающемся меню выбрать путь *Файл - Открыть проект* (рис. 2.3, 2.4)

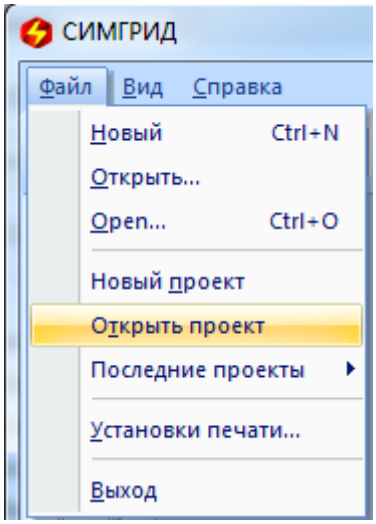


Рис. 2.3. Выпадающее меню

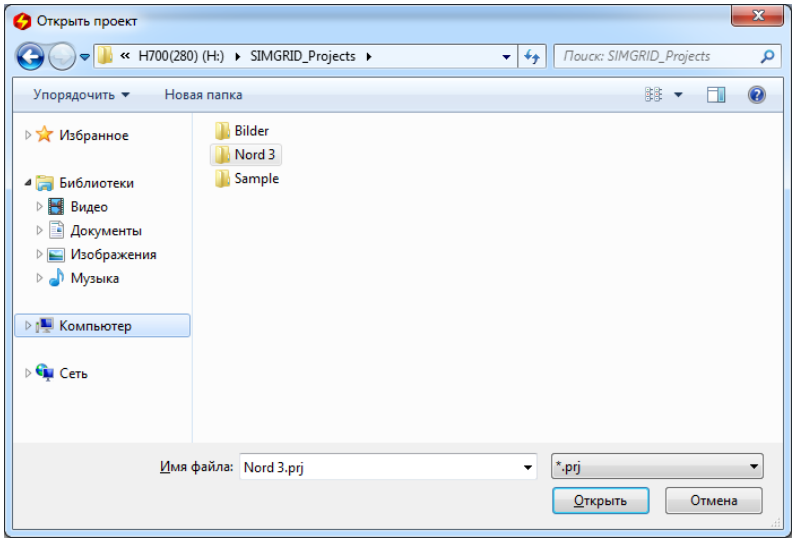


Рис. 2.4. Окно *Открыть проект*

и в проекте *Nord3* найти схему *Nord3*-2 (рис. 2.5, 2.6. 2.7).

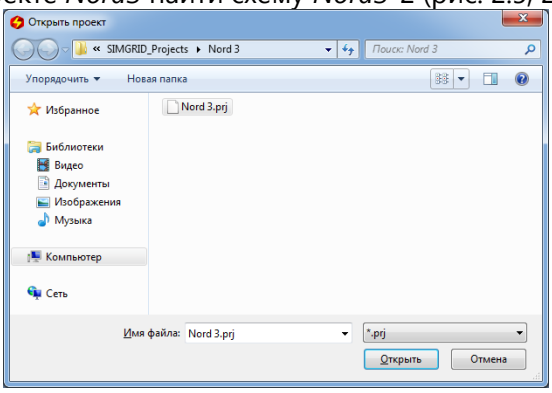


Рис. 2.5. Открытие проекта *Nord 3.prj*

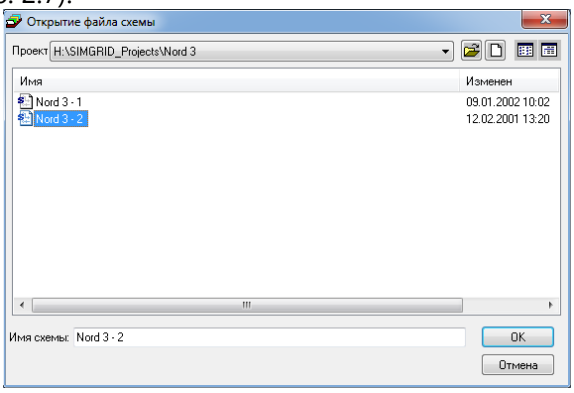


Рис. 2.6. Выбор схемы *Nord 3-2*

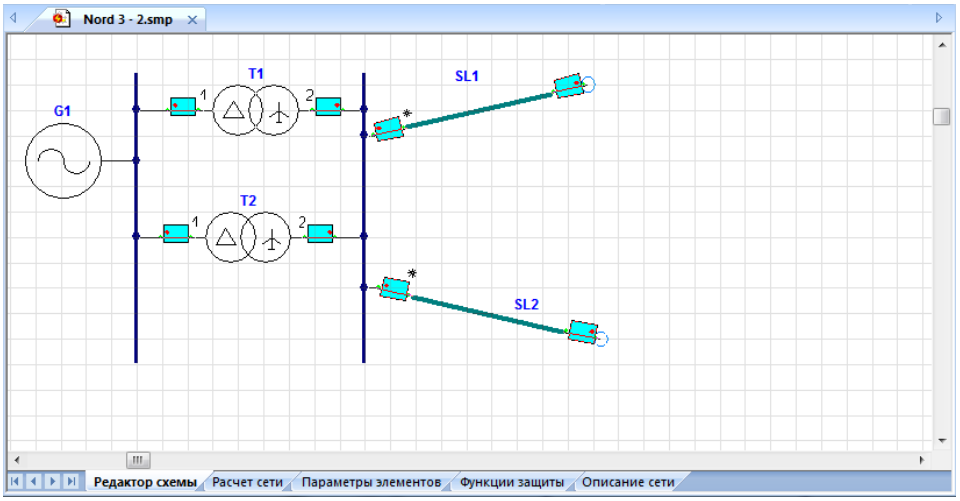


Рис. 2.7. Открытие схемы *Nord 3-2*

2.2 Создание новой *Схемы* внутри проекта

Чтобы создать новую *Схему* в рамках *Проекта* необходимо:

- запустить программу (п. 1.4)
- открыть выбранный проект с имеющейся схемой (п. 2.1.2)
- в выпадающем списке "*Файл*" выбрать строку "*Новый*"
- создать новую *Схему* с помощью средств графического редактора (п. 3 – см. далее)
- выбрать в списке "*Файл*" строку "*Сохранить как*" (рис. 2.8)

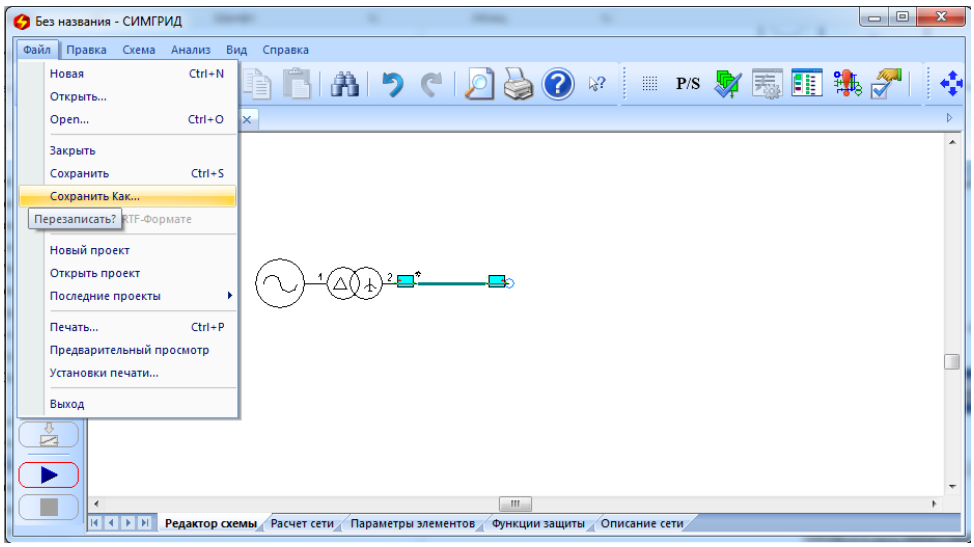


Рис. 2.8. Окно "Сохранить как..."

в возникшей таблице задать в окне "*Имя схемы*" имя создаваемой *Схемы*, например, *Nord 3-3* (рис.2.9):

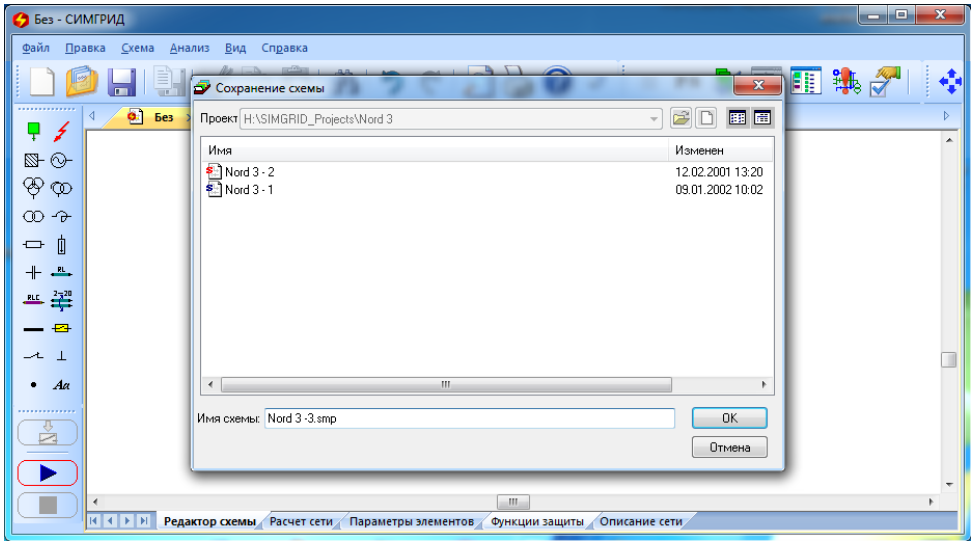


Рис. 2.9. Сохранение схемы под именем *Nord 3-3*

В результате в каталоге "*Nord 3*" появится новый файл "*Nord3-3*", соответствующий созданной *Схеме*.

2.3 Переход от одной схемы к другой внутри одного проекта

Рассмотрим, например, переход от схемы "*Nord3-2*" к схеме "*Nord3-2*".
В открытой схеме (например, "*Nord3-2*" в проекте "*Nord3*") через выпадающее меню *Файл* выбрать строку *Открыть* (рис.2.10):

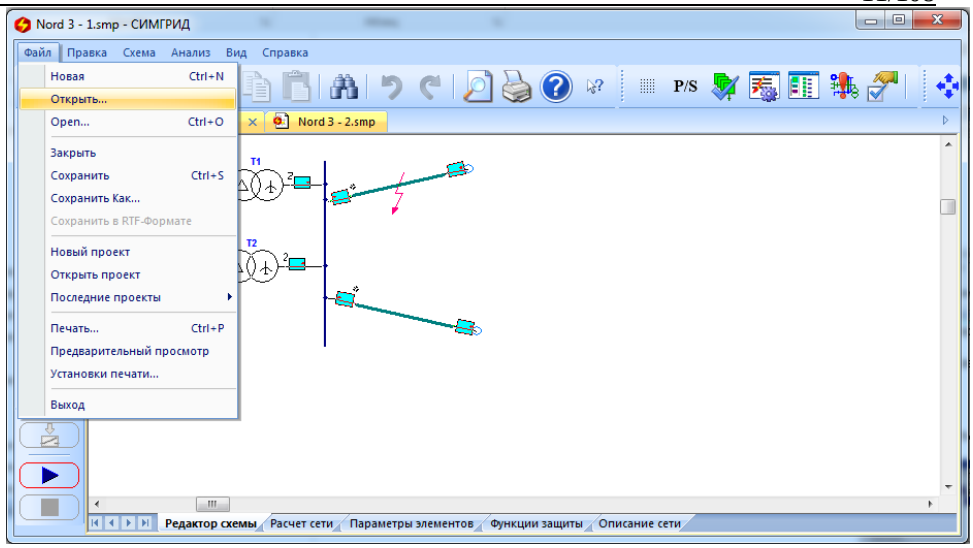
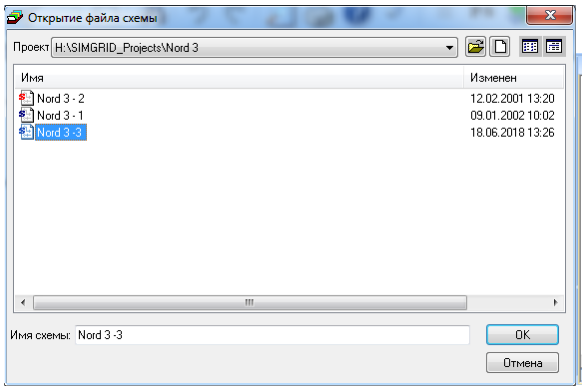


Рис. 2.10. Выбор строки *Открыть*

и далее - имя другой схемы (например, “*Nord3-3*” (рис. 2.11, 2.12).



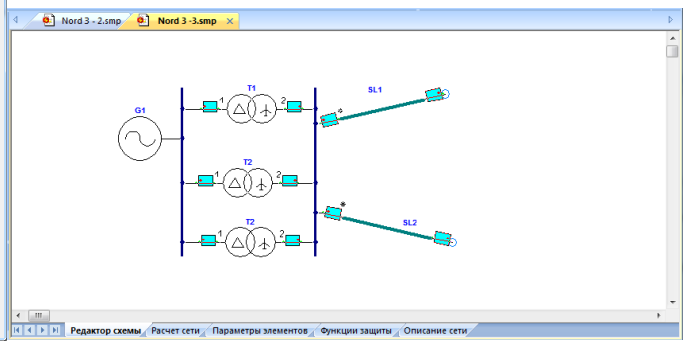


Рис. 2.11. Выбор имени другой схемы

Рис. 2.12. Схема *Nord 3-3* открыта

3. Создание схемы сети

При запуске программы на экране дисплея появляются основные элементы пользовательской среды:

- рабочее окно;
- библиотека элементов;
- главное меню;
- кнопки;

3.1 Рабочее окно

В рабочем (рис. 3.1) окне пользователь при помощи редактора схем вводит и редактирует схему сети, устанавливает место и вид повреждения, редактирует параметры (характеристики) всех элементов, входящих в схему, в том числе устройств релейной защиты.

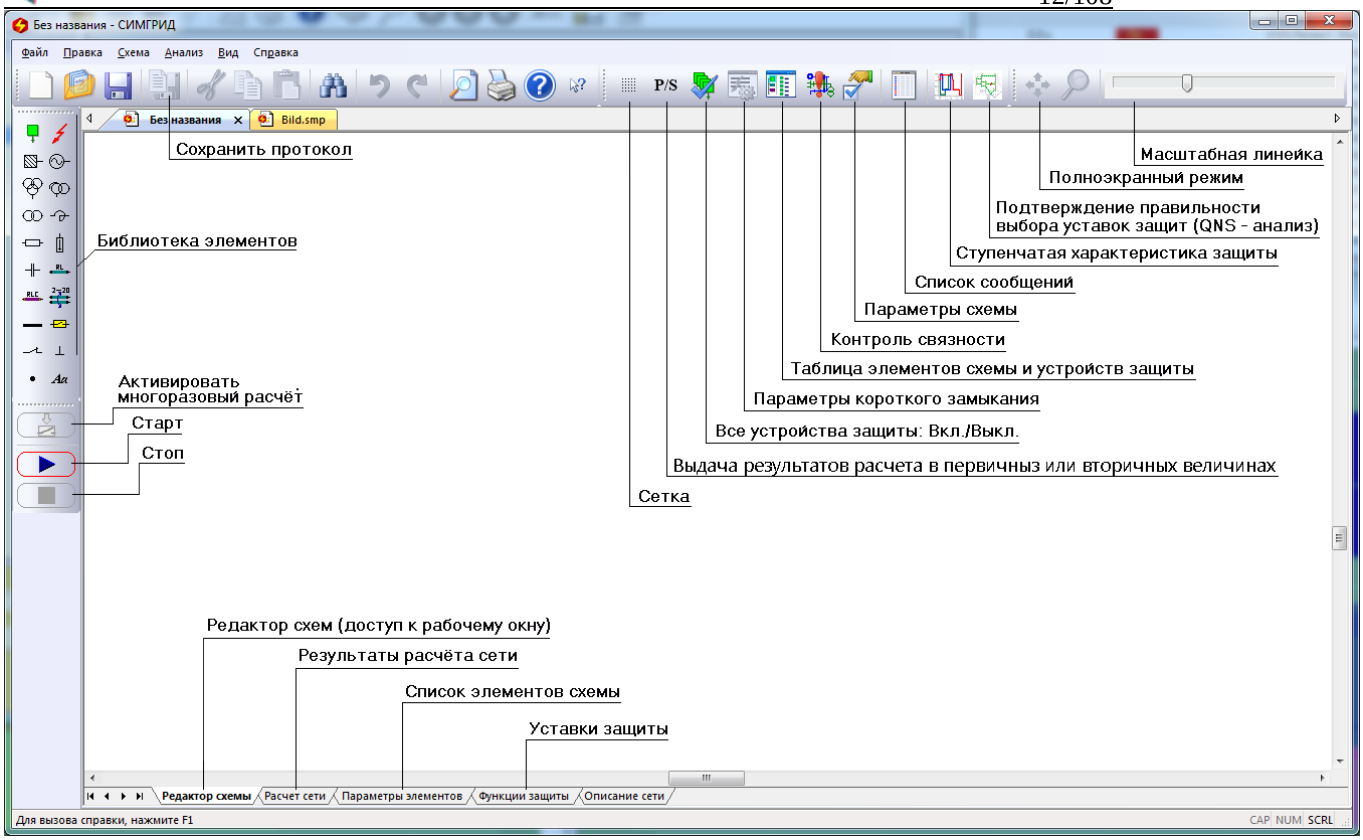


Рис. 3.1. Рабочее окно

Рабочее окно снабжено вертикальным и горизонтальным скроллингами, которые используются для просмотра схем, занимающих более одного экрана.
Масштаб схем можно изменить при помощи движка линейки, расположенной в правом верхнем углу.
После инсталляции программы на экране появляется пустое или заполненное рабочее окно редактора.
Можно начинать создание *Схемы* сети. Для этого нужно создать новый *Проект* (п. 2.1.1) или открыть уже существующий *Проект*(п. 2.1.2). Для открытия нового *Проекта* нужно нажать кнопку или в списке "*Файл*" выбрать строку "*Новый*". При этом гасится содержание заполненного рабочего окна для подготовки к созданию новой Схемы сети. Для работы с уже существующей *Схемой* используйте путь "*Файл*" - "*Открыть*" (п. 2.3).

3.2 Библиотека элементов

Схемы электрических распределительных сетей строятся на экране компьютера как совокупность *Элементов,* содержащихся в *Библиотеке,* соединяемых при построении схемы между собой. С помощью *Библиотеки* устанавливаются также устройства релейной защиты в различных точках сети, место КЗ, а также вспомогательные функции (заземление, узел, текстовый режим).
Библиотека элементов располагается в левой части экрана. Содержащиеся в *Библиотеке Элементы* и используются при построении *Схемы* пользователя.
Состав Библиотеки:

Эквивалентная электрическая система (характеризуется, в общем случае, наличием сопротивлений нулевой последовательности) – схема замещения источника мощности

Генератор (сопротивление нулевой последовательности равно бесконечности)

Трехобмоточный трансформатор

Автотрансформатор

Двухобмоточный трансформатор

Реактор

Импеданс (полное сопротивление)

Нагрузка

Конденсатор.

Заземление

“Короткая” линия (R, L)

“Длинная” линия (R, L, C)

Параллельные линии. Их число (по умолчанию - 2) может быть изменено при помощи диалогового окна

Сборные шины

Разъединитель

Выключатель

Устройство релейной защиты

Место повреждения

Узел

Ввод текста

Рис. 3.2. Элементы библиотеки.

3.2.1. Выбор элемента из библиотеки

После активизации соответствующего элемента библиотеки пользователь перемещает курсор мыши в заданную точку рабочего окна и нажимает левую кнопку мыши. Выбранный элемент при этом изображается в рабочем окне.
Изображение нескольких одинаковых элементов не требует повторной активизации библиотеки. Чтобы выбранный *Элемент* повторно (многократно) ввести в *Схему,* нужно расположить курсор в рабочем окне, нажать на правую кнопку мыши и выбрать в возникающем списке строку “*Новый элемент*”.

3.2.2 Поворот элемента схемы в рабочем окне

Для удобства компоновки схемы предусмотрена возможность поворота элемента по часовой стрелке.
Чтобы повернуть *Элемент* схемы при необходимости на 90 градусов проделайте следующее:

- введите курсор в область этого *Элемента* (вызов символа)
- нажмите на правую кнопку мыши
- в появившемся списке выберите строку “*Повернуть*”
- многократно нажмите правую кнопку мыши, для установки элемента в требуемое положение (рис. 3.3)

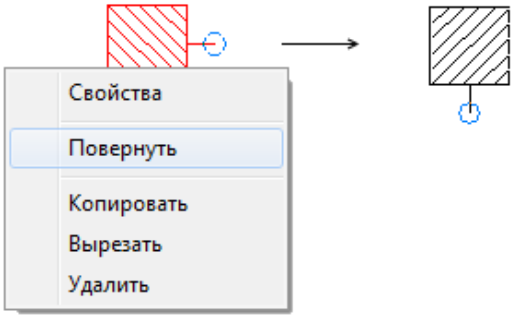


Рис 3.3. Поворот элемента

- выведите курсор из области элемента и нажмите левую кнопку мыши.

Поворот элемента может быть выполнен и другим путем. Выделите нужный элемент в схеме сети (подведите курсор к элементу схемы и нажмите левую кнопку мыши) и используйте путь "*Схема*" - "*Повернуть*" в главном меню программы.

3.2.3 Перемещение элемента в схеме

Для изменения положения элемента в схеме необходимо:

- ввести курсор мыши в поле элемента
- нажать правую кнопку мыши (элемент окрашивается в красный цвет)
- удерживая кнопку, передвинуть элемент в нужное место рабочего окна
- по окончании перемещения вывести курсор из поля элемента и нажать левую кнопку мыши.

3.2.4 Удлинение (укорочение) сборных шин и линий

Установите курсор мыши недалеко от конца элемента в рабочем окне и, удерживая нажатой кнопку мыши, добейтесь возникновения знака . Затем, удерживая нажатой кнопку мыши, двигайте курсор в направлении удлинения (укорочения) (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Удлинение сборных шин и линий

3.2.5. Поворот линии относительно одного из концов

Поверните линию с помощью курсора, удерживая нажатой кнопку мыши (аналогично рис. 3.4, только для линий). Центр поворота – это фиксированный конец линии (рис. 3.5).

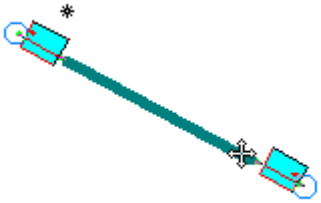


Рис. 3.5. Поворот линии

3.2.6 Установить (убрать) выключатель

Имеется 2 способа установить выключатель в схеме:

- как концевую часть элемента схемы или
- как отдельный элемент схемы.

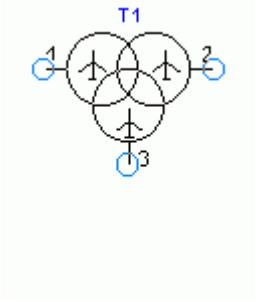
3.2.6.1 Выключатель как конечный элемент элемента схемы

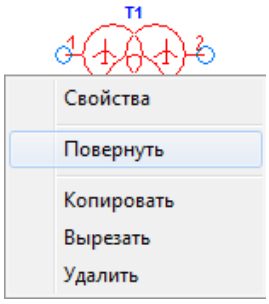
Первый способ допускается только для вновь создаваемой схемы, но не для уже существующей схемы, т.к. в последнем случае это вызывает нарушение связи между элементами из-за того, что

выключатель и элементы схемы образуют в этом случае "блок".

Установить (убрать) выключатели на одном или обоих концах элемента в рабочем окне:

- Подвести курсор к элементу в рабочем окне и активизировать элемент.
- нажать правую кнопку мыши (рис. 3.6а):



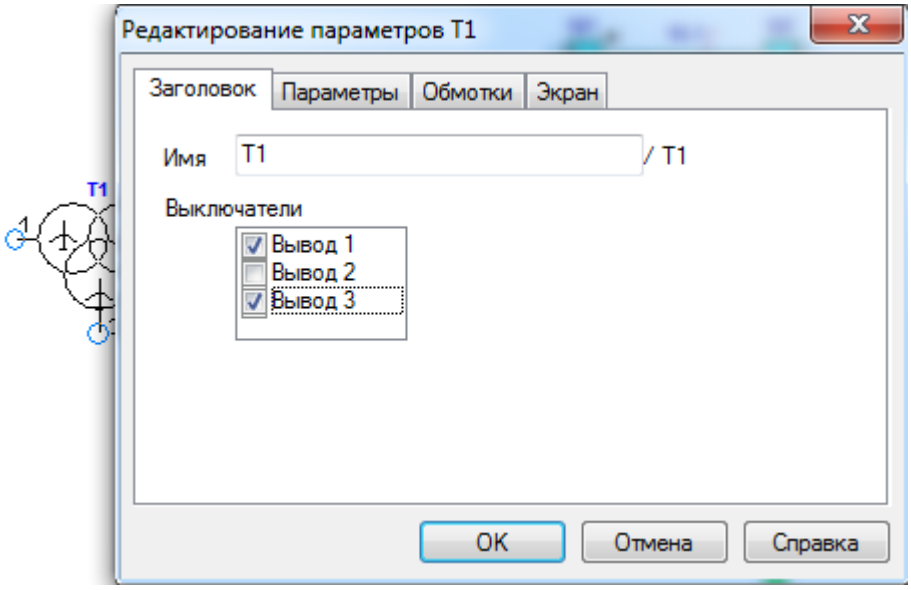


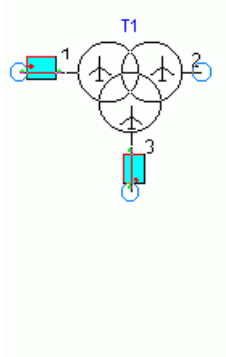
a) b)

Рис. 3.6. Вызов *Свойств* элемента

- из возникшего списка выбрать левой кнопкой мыши путь: “ *Свойства*” - “ *Заголовок*” (рис. 3.6а):

Установите флаги в окошках (например, "Конец1" и "Конец3" – рис. 3.7а) и нажмите OK. Теперь новый элемент будет установлен с выключателями по концам 1 и 3 (рис. 3.7b):





a) b)

Рис. 3.7. Установка выключателей

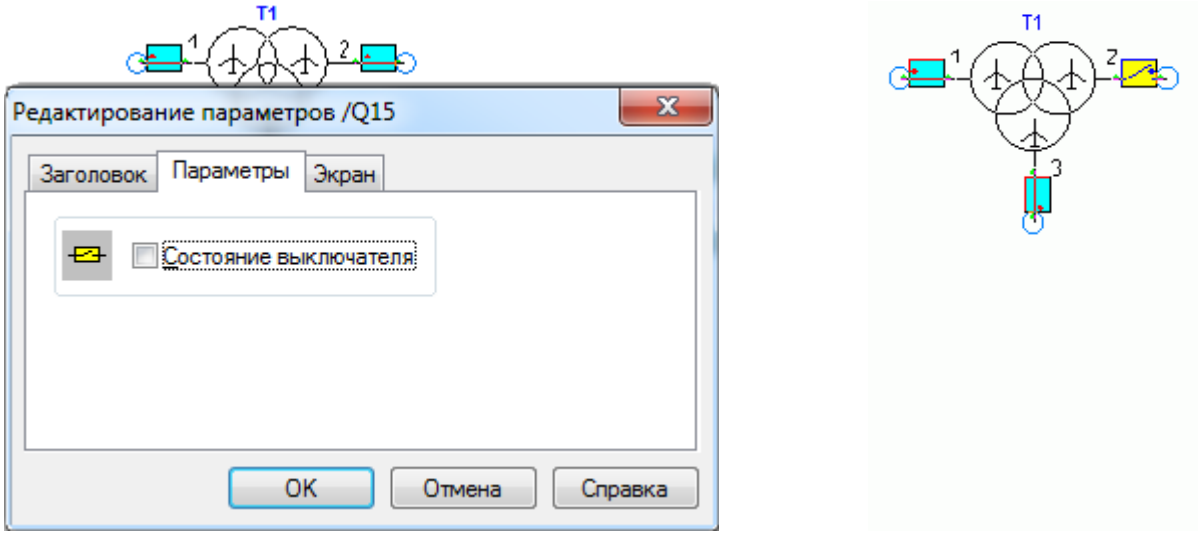
Чтобы удалить выключатель на изображении элемента в рабочем окне, просто удалите галочку в окошке у соответствующего выключателя, снова щёлкнув мышью в этом окошке.

3.2.6.2 Выключатель как отдельный элемент схемы

Используйте элемент *Выключатель* из *Библиотеки* (подобно остальным элементам библиотеки).

3.2.7 Включить/отключить выключатель

Подвести курсор к изображению выключателя в рабочем окне и дважды щелкнуть левой кнопкой мыши. Положение выключателя определяется наличием (отсутствием) флага в окне “*Положение выключателя*” в открывающейся панели “*Редактирование параметров*”/ "*Значение*" (рис.3.8).



a) b)

Рис. 3.8. Включение выключателя

3.2.8. Замкнуть/разомкнуть разъединители

Положение разъединителя управляется при подведении к нему курсора и двойном щелчке левой кнопки мыши.

3.2.9 Выбор элементов

При построении схемы бывает нужно удалить, скопировать или переместить символ, или часть схемы, уже установленные на экране. То же относится и к группам элементов или схемам.
Чтобы **выделить отдельный элемент** щелкните на нем левой кнопкой мыши. Символ приобретет красный цвет.
Чтобы **выделить часть схемы** установите курсор близко от нее, нажмите и удерживайте левую кнопку мыши. Перетаскивайте курсор по диагонали через выбранную часть схемы, пока все ее элементы не окажутся внутри пунктирного прямоугольника. Отпустите кнопку. Объекты внутри прямоугольника становятся красными.
Чтобы **выделить все символы** в схеме щелкните на пункте меню *Правка/Выделить всё*.
Чтобы **отменить выделение** щелкните левой кнопкой мыши где-нибудь на свободном месте схемы.

3.2.10 Работа с элементами

Комбинации клавиш для Копирования, Вставки и Удаления.
Выбор действий с элементами производится

- либо через пункт меню *Правка* (перед этим нужно выделить элемент),
- либо через выпадающий список, который возникает, если щелкнуть правой кнопкой мыши по символу,

или при помощи комбинаций клавиш:

- Ctrl + C - копировать
- Ctrl + V или Shift + Ins - вставить
- Ctrl + X - вырезать

Копировать и вставить - Элементы можно копировать внутри схемы. При копировании возникает новый элемент с теми же свойствами, но с другим (очередным) *ID* – номером. Функция копирования работает и между различными схемами и проектами.
Вырезать - удаляет элемент из схемы с возможностью его последующей *Вставки*, например, на другое место.
Удалить – полностью удаляет элемент из схемы.

Повернуть - чтобы повернуть элемент на 90 градусов по часовой стрелке выделите элемент, выберите в меню команду *Схему/Повернуть* или подведите курсор к элементу (стрелка курсора превращается в символ руки), нажмите правую кнопку мыши и из выпадающего меню выберите строку *Повернуть* (рис.3.9):

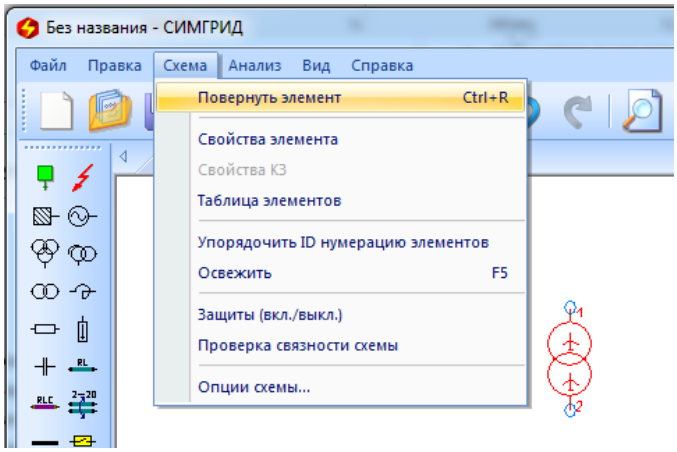


Рис. 3.9. Поворот элемента схемы

Каждое последующее нажатие на правую кнопку в очередной раз поворачивает элемент на 90 градусов.
Для отмены последнего действия элементом служит команда меню *Правка/Отменить*.
Для возврата последнего действия, удаленного командой *Отменить,* служит команда *Правка/Восстановить*.

3.2.11 Работа с текстом

Текст вводится в схему так же, как и другие символы: переносом значка из библиотеки элементов. При этом в месте установки текста открывается окно *Текст*, в котором и набирается сам текст. Нажав на кнопку *Шрифт* в этом окне можно изменить параметры текста: шрифт, кегль и т.д. Чтобы изменить текст, щелкните по нему 2 раза левой кнопкой мыши, – появится вновь редактируемое окно *Текст*.
При закрытии окна *Текст* текст устанавливается на схеме.
Дальнейшая работа с текстом (поворот, перемещение и т.д.) не отличается от работы с другими символами.

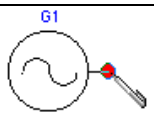
3.3 Соединение элементов схемы

3.3.1 Соединение двух элементов

Два элемента могут быть соединены или непосредственно, или линией. При прямом соединении нужно подвести символ к другому символу, так, чтобы концы их были близко друг от друга (менее 3 мм.), но не накладывались друг на друга. Программа автоматически устанавливает связь концов символов. Но не в случае, если элементы “наехали” один на другой (программа рассматривает их в этом случае как один символ, и связь не устанавливается).
Вторая возможность выполнить соединение – при помощи линии кнопки “*Линия*”.
Пример В 3.1:
Генератор G1 соединить с импедансом Z1.
Выполнение:

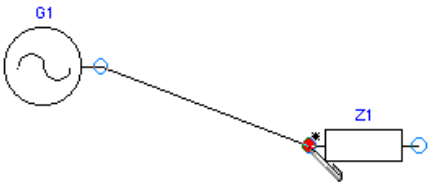
- Установите курсор на конце элемента G1. Появится красное пятно в месте контакта (позиция 1).

Позиция 1.



- Нажмите левую кнопку мыши и проведите курсором линию к импедансу Z1 (позиция 2).

Позиция 2.



- После того, как вы провели соединительную линию до импеданса (появилось красное пятно у конца Z1), отпустите левую кнопку мыши. Соединение выполнено (позиция 3).

Позиция 3.

При проведении линии нет необходимости вести ее в обход других элементов. Программа делает это автоматически.

3.3.2 Соединение нескольких элементов

При формировании узла, к которому подсоединено несколько элементов, необходимо учитывать, что к концу элемента может быть подведена только одна линия. Это обозначает, что объединить несколько элементов можно только, используя соединительную линию (рис. 5), на которой образуется дополнительный узел при помощи элемента *Узел:*

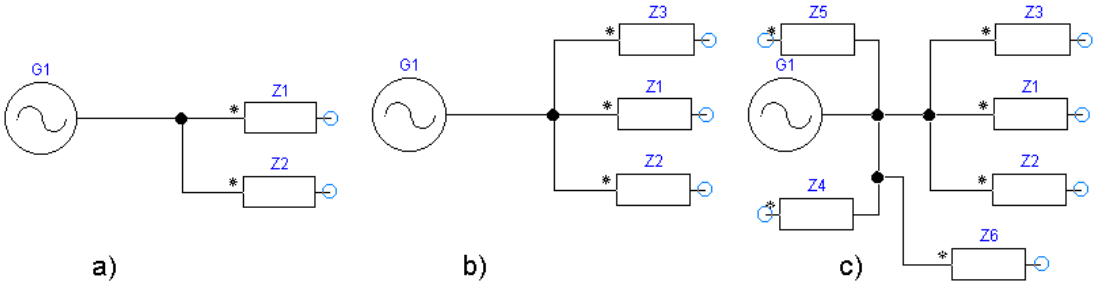


Рис. 3.10. Соединение нескольких элементов

- Для подключения элемента Z2 к имеющейся связи G1 – Z1 необходимо установить курсор на конце элемента Z2, добившись появления красного пятна.
- Нажав левую кнопку мыши, провести курсором линию до пересечения с соединительной линией G1 – Z1 (на соединительной линии возникает тёмно-зелёное пятно).
- Отпустить левую кнопку мыши. Возникает узел в месте соединения элементов G1, Z1, Z2 (рис. 3.10b).

К этой точке может быть подключён и элемент Z3.

Замечание:

Следует иметь в виду, что к такому узлу не могут подводиться более 4-х соединительных линий, причем линии выходят из узла с разных сторон под углами 90 градусов (рис. 3.10b). Если же требуется электрическое объединение более 4-х элементов, то формируются дополнительные узлы (например, 3.10c). Сформировать узел на соединительной линии или просто в рабочем окне можно, перенеся элемент “*Узел* “ из библиотеки в соответствии с общим правилом переноса (п. 3.2.1).

Формируя линию, выходящую из узла, необходимо устанавливать курсор мыши и добиваться возникновения красного пятна в той стороне точки, которая соответствует направлению формируемой линии (рис. 3.10b).

3.3.3. Корректировка положения отдельных элементов

После выполнения соединений возможна корректировка расположения элементов на схеме простым перемещением любого из них в соответствии с п. 3.2.3.
Соединения между элементами при этом не нарушаются!

3.3.4 Маркировка концов элементов

После того, как элементы схемы соединены (например, линиями), можно изменять положение элементов на схеме. Это выполняется просто перемещением любого из элементов в соответствии с п. 3.2.3.

3.4 Параметры элементов схемы

Задание параметров любых элементов схемы производится по одинаковой методике. Рассмотрим пример задания двухобмоточного трансформатора (рис. 3.11):

Рис. 3.11. Символ двухобмоточного трансформатора

3.4.1 Вызвать окно задания параметров

Наложить курсор мыши на изображение трансформатора и два раза щелкнуть левой кнопкой мыши или один раз правой кнопкой с последующим выбором строки “*Свойства*”.
Возникает окно “ *Редактирование параметра*” с четырьмя под окнами, из которых три (*Заголовок*, *Параметры, Экран*) имеются во всех элементах (рис. 3.12), а подокно *Обмотки* характерно только для трансформаторов (рис. 3.13):

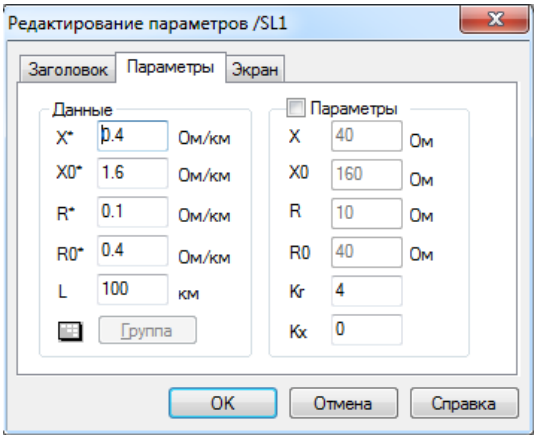


Рис. 3.12. Окно Редактирование параметров для линии

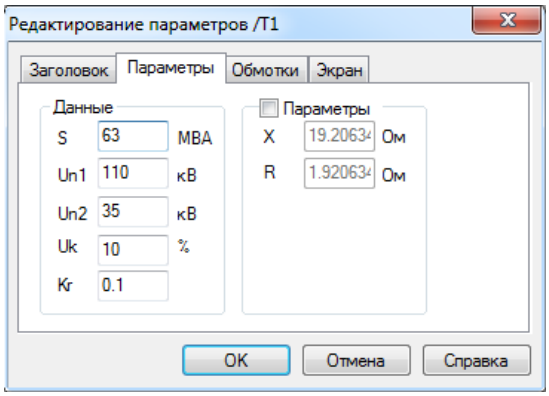


Рис. 3.13. Окно *Редактирование параметров* для трансформатор

3.4.2 Окно Редактирование параметров

Это окно позволяет задать все требуемые данные элемента (рис.3.13). При установленном маркере *Параметры* задаются величины и схемы замещения (рис.3.14).

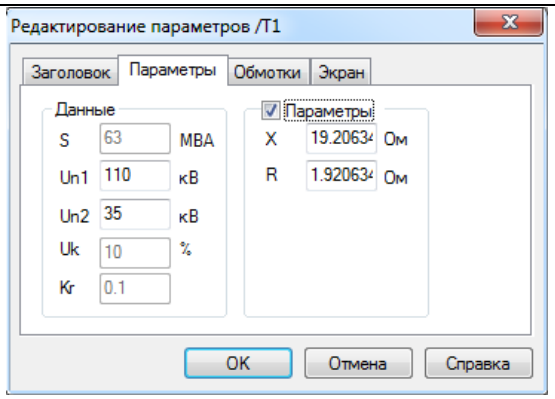


Рис. 3.14. Окно Редактирование параметров с маркером Параметры

3.4.3 Окно Обмотки

Это окно позволяет выбрать схему соединения первичной и вторичной обмоток трансформатора (рис. 3.15).

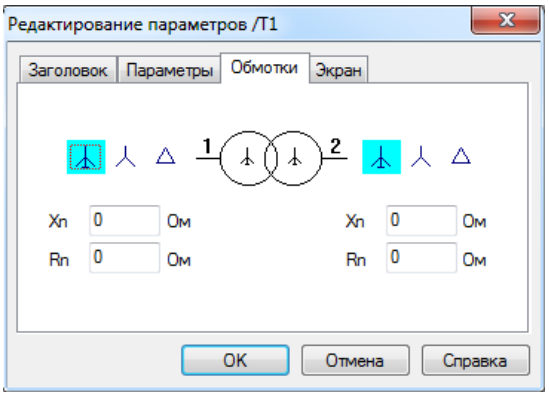
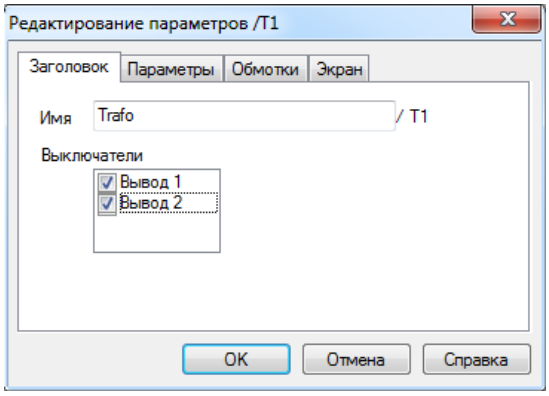


Рис. 3.15. Окно *Обмотки*

3.4.4 Окна Заголовок и Экран

программа предусматривает для каждого элемента внутреннее буквенное обозначение и текущий номер, например, *T1*. Пользователь может назвать каждый элемент собственным именем, например, *Тр8*. Это имя задаётся в окне *Заголовок* (рис. 3.16a). В окне *Заголовок* можно также установить/удалить выключатели на концах элемента (см. также п. 3.2.6). Окно *Экран* в зависимости от того, стоит ли у элемента схемы его порядковый номер (флаг в окне *ID*) и его имя (флаг в окне *Имя*) определяет, какое обозначение показывается у элемента (рис. 3.16b).



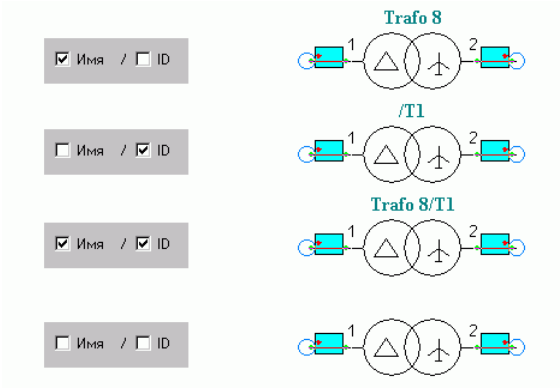


Рис. 3.16a. Окно „Заголовок"

Рис. 3.16b. Варианты представления имени и ID-номера

3.4.5 Задание/корректировка параметров элементов кнопкой Таблица элементов

Альтернативный вариант вызова окна задания параметров – использование кнопки *Таблица элементов* в верхней части рабочего окна. Для этого нужно, используя курсор, нажать кнопку и затем вызвать имя элемента в левой части появившегося окна, например, *Двухобмоточный трансформатор* (рис. 3. 17).

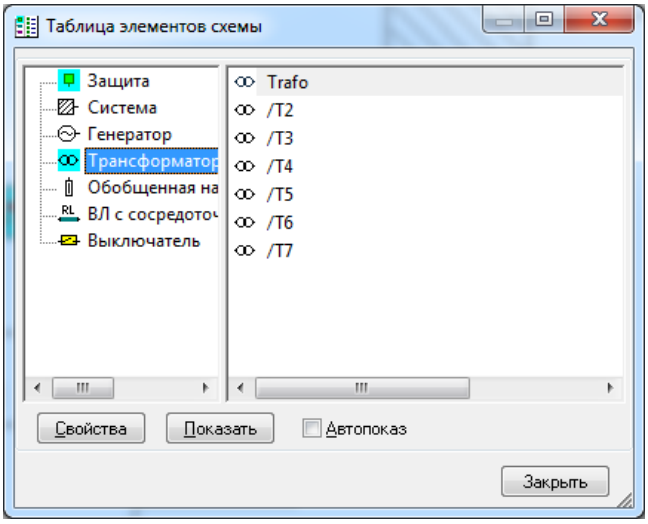


Рис. 3.17. Вызов элемента

Из ряда элементов в правой части окна выбирают требуемый элемент. Двойным щелчком левой кнопки мыши вызывается окно задания параметров элемента (рис. 3.18).

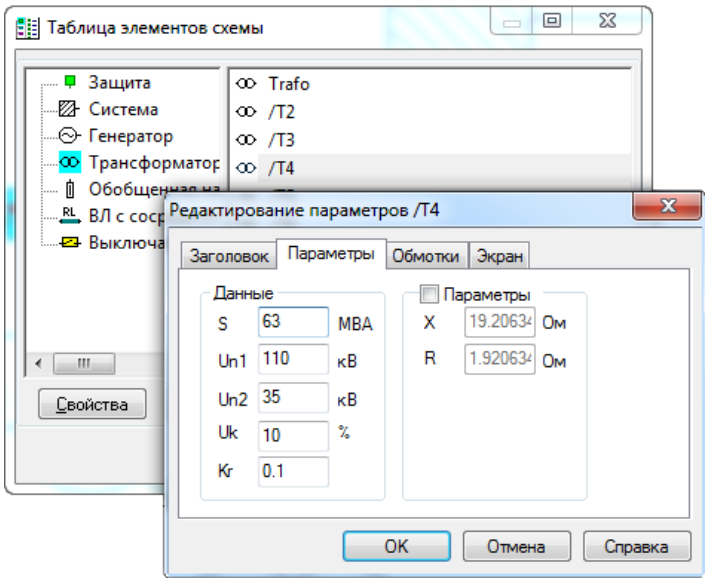


Рис. 3.18. Вызов окна для корректировки параметров

Описание окна данных для параметров элементов схемы дано в Приложении 1.

3.5 Установка защиты

3.5.1 Задание защиты

Для задания места установки защиты вначале активируется элемент библиотеки “Защита”. Установка активизированного элемента *Защита* выполняется выбором того конца выключателя, на котором надо установить защиту, и щелчком левой кнопкой мыши.
Защиту можно установить только на элемент “Выключатель” в сети. В процессе установки защиты программа показывает тонкой красной линией возможное место привязки защиты. (рис. 3.19).

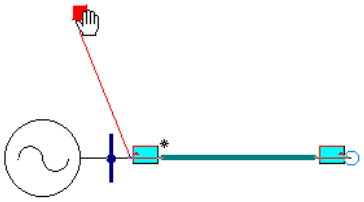


Рис. 3.19. Показ текущего места установки защиты

3.5.2 Выбор защиты и задание имени защиты

При подведении курсора к обозначению защиты и двойном нажатии левой кнопки мыши или одном нажатии правой кнопки с дальнейшим переходом в “*Свойства*”, возникает окно “*Редактирование параметров*” (рис. 3.20).

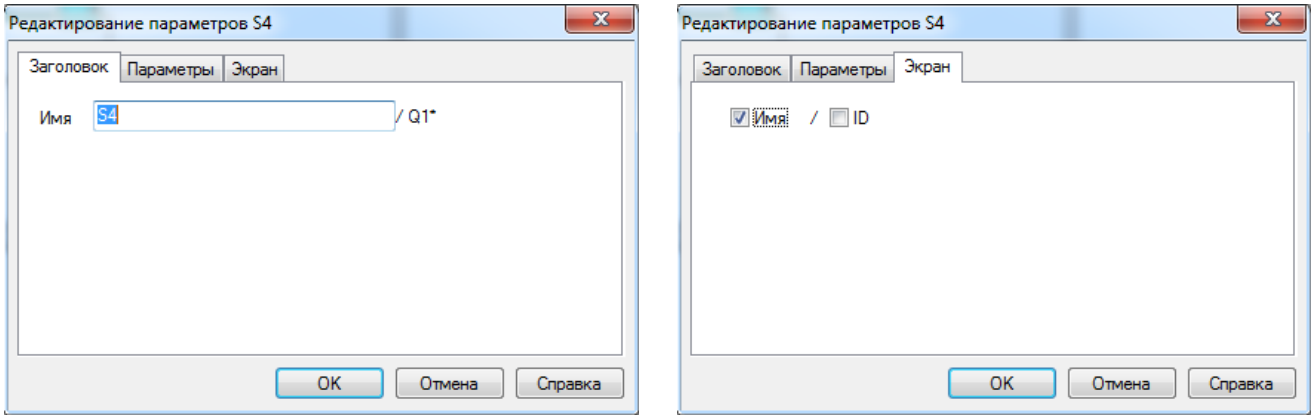


Рис. 3.20. Окна „*Заголовок*“ и „*Экран*“ для установки защиты

Окна “*Заголовок*” и “*Экран*” позволяют ввести имя защиты и определить, показывается ли на схеме порядковый номер защиты и ее имя (аналогично п.п. 3.4.4).

3.5.3 Задание данных трансформаторов тока и напряжения

Войти в защиту (по п. 3.5.2).
Выбрать следующий путь: “*Свойства*”– “*Редактирование параметров*”.
В окнах *Uprim, Usec, Iprim, Isec* устанавливаются первичные и вторичные номинальные величины для трансформаторов тока, и напряжения (рис.3.21).

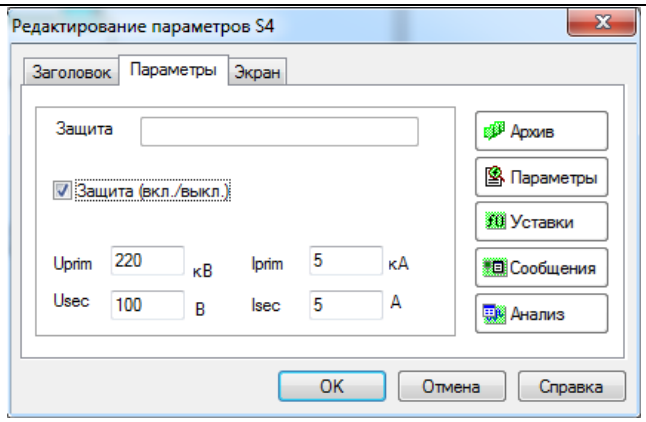


Рис. 3.21. Задание параметров ТТ и ТН

3.5.4 Полярность трансформаторов тока

Соединительная линия к месту установки защиты показывает точку подключения к трансформатору тока и определяет направленность защиты.

Защита на стороне сборных шин: направленность защиты – *вперёд* (рис. 3.22):

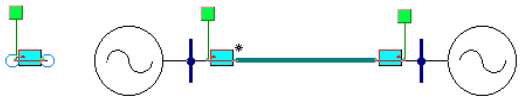


Рис. 3.22. Направленность защиты – *Вперёд*

Защита на стороне линии: направленность защиты – *назад* (рис. 3.23):

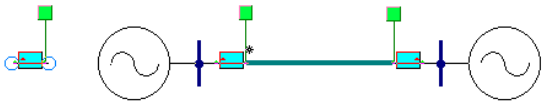


Рис. 3.23. Направленность защиты – *Назад*

В зависимости от места установки символа защиты меняется направление токов, которые рассчитываются программой и используются при анализе поведения защиты.

3.6 Место и вид повреждения

3.6.1 Задание места повреждения

Для задания места повреждения активизируется кнопка в библиотеке элементов. Затем нужно щелкнуть левой кнопкой мыши в том месте схемы, где надо установить повреждение.

Повреждение можно установить:

- на одном из концов любого элемента,
- в любой точке линии (рис. 3.24).

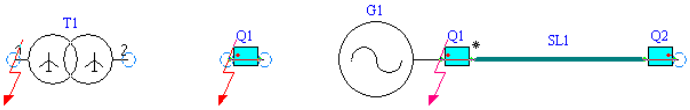


Рис. 3.24. Задание места повреждения

Если повреждение устанавливается на линии, то в дополнительном окне фиксируется его точное удаление от начала линии (“*”) в % от длины линии. В этом окне можно также напрямую задать удаление (рис. 3.25).

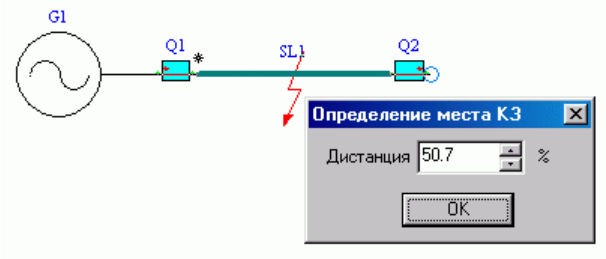


Рис. 3.25. Задание удаления КЗ

3.6.2 Задание вида повреждения

Вид повреждения задается одновременно с заданием места повреждения. Для этого служит панель с параметрами короткого замыкания. Для вызова этой панели нужно:

- подвести курсор к знаку защиты в сети и нажать правую кнопку после этого выбрать строку "*Свойства*" или два раза нажать левую кнопку.

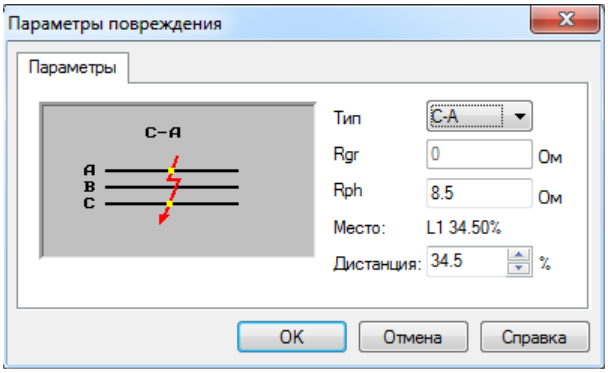


Рис. 3.26. Окно Параметры повреждения

В появившемся окне (рис. 3.26) открыты поля задания:

- вида короткого замыкания (*Тип),*
- сопротивления дуги при замыканиях на землю (R_{gr}) или между фазами (R_{ph}),
- расстояния от места повреждения до начала линии в % (если короткое замыкание устанавливается на линии).

Имеется также возможность вызвать окно КЗ (рис. 3.26) напрямую кнопкой *Параметры повреждения* в верхней части рабочего окна.

3.7 Контроль соединений в схеме

Как уже упоминалось в п. 3.3.2, не подсоединённый элемент маркируется голубым кружком. Чтобы контролировать связи в схеме с большим числом элементов. используется кнопка *Проверка связности* в верхней части рабочего окна. При нажатии на эту кнопку на схеме показываются результаты проверки связности всей схемы. Несоединённые части схемы окрашиваются в разные цвета (рис. 3.27).

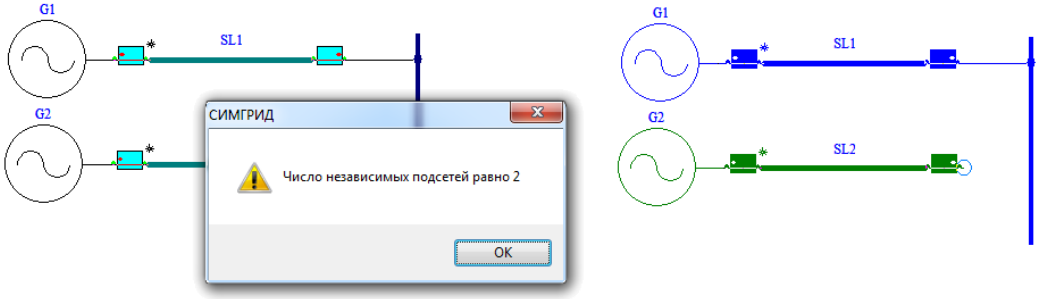


Рис. 3.27. Проверка связности

3.8 Исправление схемы

При построении схемы может потребоваться часть её удалить, копировать или переместить. Для любого действия требуется вначале выбрать нужную часть схемы.

Маркировать всю схему:

- Выбрать в главном меню путь *Правка – Выделить всё*.

Выбор части схемы:

- Нажав и удерживая левую кнопку мыши, протащить курсор наискосок через выбранную часть схемы, так чтобы она оказалась внутри пунктирного прямоугольника. После освобождения кнопки мыши выбранная часть схемы окрашивается в красный цвет.

Дальнейшая правка зависит от выбранной функции и выполняется через главное меню *Правка* или через контекстное меню, вызываемое правой кнопкой мыши.

Удаление части схемы:

- Выбрать функцию в меню *Удалить*.

Копирование части схемы:

- Выбрать функцию в меню *Копировать*;
- Переместить курсор в нужное место рабочего окна и вне пунктирного прямоугольника щёлкнуть левой кнопкой мыши.
- Выбрать функцию в меню *Вставить*;

Перемещение части схемы:

- Выбрать функцию в меню *Вырезать*;
- Переместить курсор в нужное место рабочего окна и вне пунктирного прямоугольника щёлкнуть левой кнопкой мыши.
- Выбрать функцию в меню *Вставить*

или:

- Выделенную часть схемы переместить в нужное место рабочего окна и вне пунктирного прямоугольника щёлкнуть левой кнопкой мыши.

Другие функции правки схемы:

Отмена выделения:

В любом месте рабочего окна вне пунктирного прямоугольника щёлкнуть левой кнопкой мыши.

Увеличение выделенной части схемы:

Нажать кнопку .

Показать схему в полном окне:

Нажать кнопку .

Другие вспомогательные функции описаны в приложении 4.

3.9 Распечатка данных схемы

3.9.1 Распечатка схемы

Чтобы выдать схему на печать, в активном редакторе выберите в главном меню строку *Файл – Предварительный просмотр* (Рис. 3.28) и затем - кнопку *Печать* или просто нажмите кнопку *Печать* в редакторе.

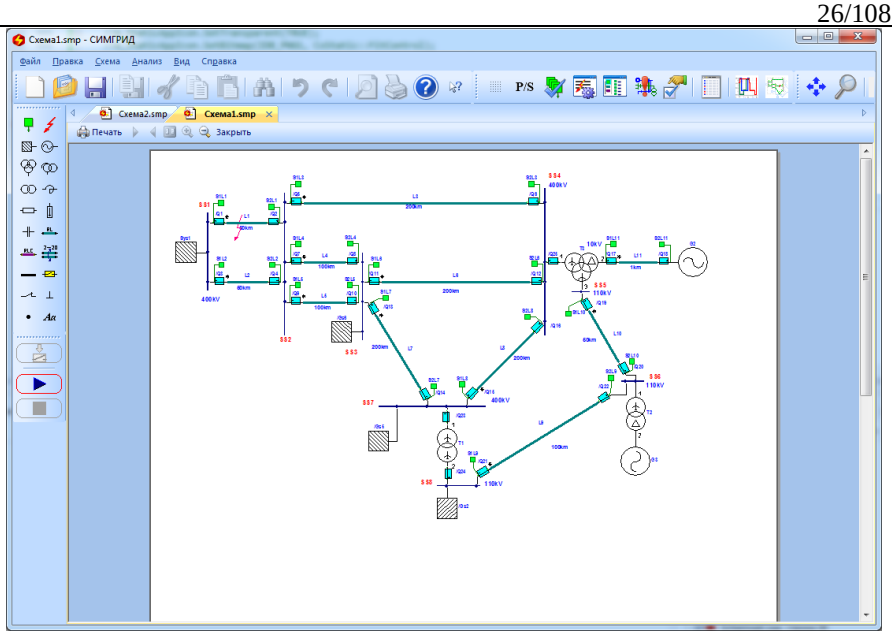


Рис 3.28. Выдача схемы на печать

Примечание:
Редактор вызывается нажатием кнопки *Редактор* в левой нижней части рабочего окна.

3.9.2 Список элементов

Эта функция представляет на экране полный список элементов, использованных в схеме, их обозначения и текущие параметры, места установки защит, данные измерительных т, данные измерительных трансформаторов. Все эти величины могут быть распечатаны в удобной для обзора форме.
Чтобы распечатать все параметры элементов схемы, вызовите список элементов, нажав закладку *Параметры элементов* в нижней части рабочего окна.
Можно распечатать документ как файл в формате *RTF*. для этого в режиме показа списка элементов нажмите кнопку в верхней части рабочего окна, в появившемся окне выберите директорию и задайте имя, например, *Betriebsmittel N3* (рис. 3.29).

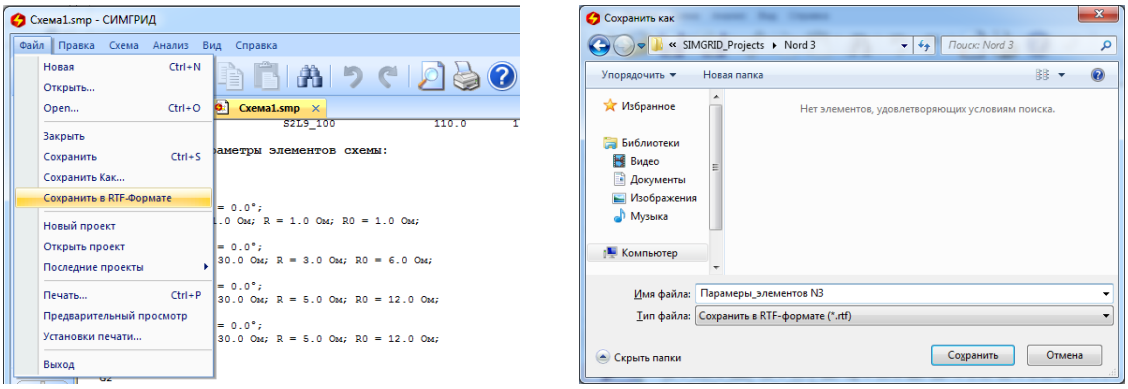


Рис. 3.29. Выдача списка параметров в *RTF*-формате

3.10 Описание сети

Выбрать лист *Описание сети* в нижней части рабочего окна.
Эта функция позволяет привести дополнительные данные или комментарии к схеме, которые вносятся в открывшееся окно, ведённый текст впечатывается в протокол (п. 4.2.1, п. 4.4). Описание схемы может содержать не только любые текстовые документы, но также и рисунки.

4. Одноразовый рачёт короткого замыкания

4.1 Установка защиты (точки измерений)

Точка измерений входных величин защиты при КЗ задаётся символом согласно п. 3.5.1 (рис.4.1). Без установки, по крайней мере, одной защиты расчёт не производится.

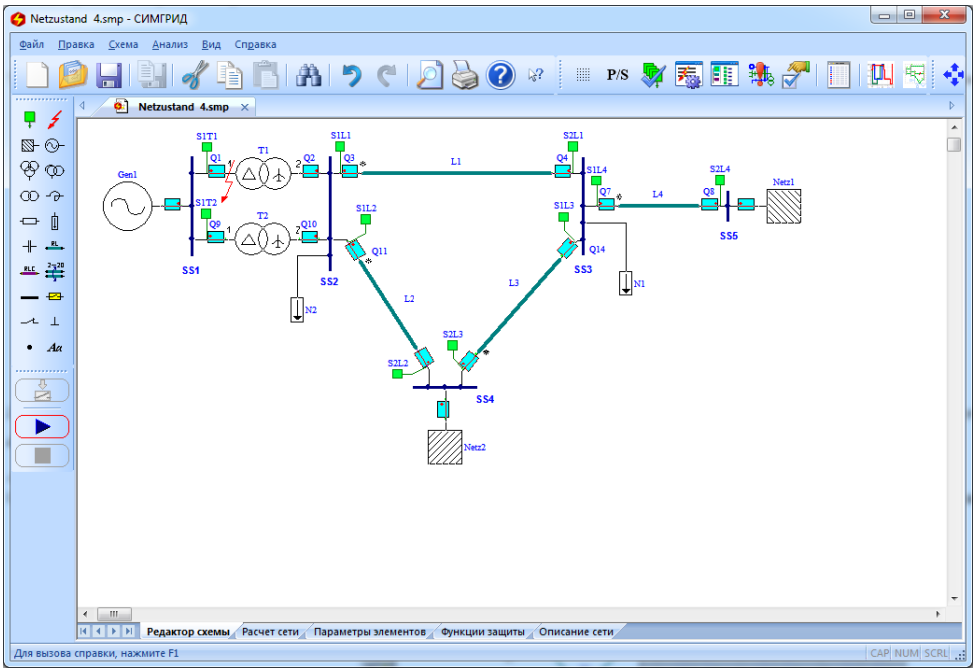


Рис. 4.1. Схема с установленной защитой (точкой измерений)

Для каждой точки измерений (точки установки защиты) задаются коэффициенты трансформации для ТТ и ТН по п. 3.5.3, так как моделирование и представление результатов производится во вторичных величинах.

4.2 Одноразовый расчёт электрических величин в одной ветви

4.2.1 Таблица с результатами расчёта

Щёлкните правой кнопкой мыши на символе защиты в анализируемой части схемы и выберите строку "*Анализ*" (рис. 4.2). В результате программа стартует и производит расчёт.

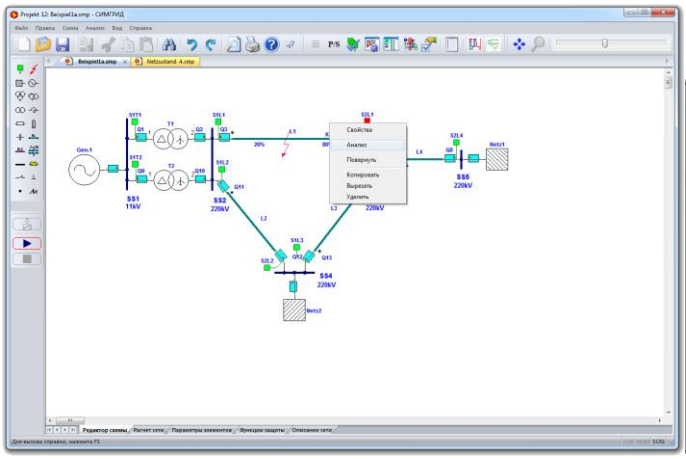


Рис. 4.2. Вызов таблицы "Анализ"

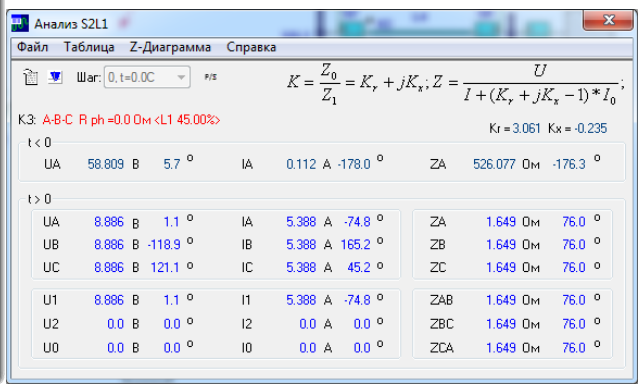


Рис. 4.3. Таблица "Анализ"

Появившаяся таблица (рис. 4.3) содержит следующие конечные данные:

- Токи (*IL x*),
- Напряжения (*UL x*),
- их симметричные составляющие (*U1, U2, U0 und I1, I2, I0*),
- Измеренный импеданс отдельных фаз (результаты представляются во вторичных величинах с учётом коэффициентов трансформации ТТ и ТН).

Нажмите кнопку , чтобы распечатать результаты расчёта (рис. 4.4).

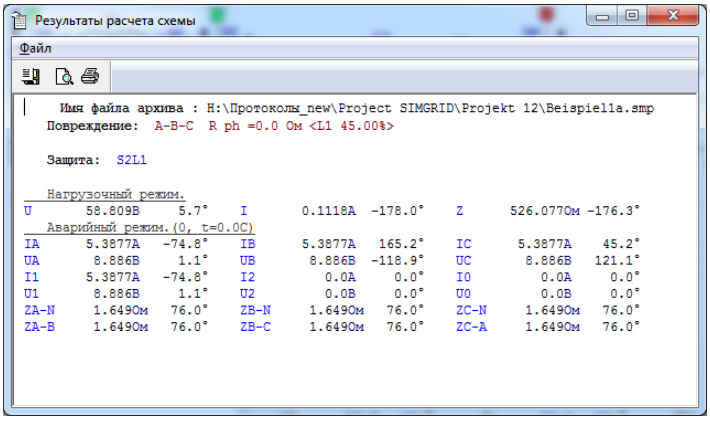


Рис. 4.4. Результаты расчёта

Если нужно перевести данные в *RTF*-формат, нажмите кнопку , чтобы создать выходной файл. В этом случае (на экране – таблица рис. 4.4) доступ к полной расчётной таблице возможен для всех заданных точек сети (п. 4.3) нажатием закладки *Расчёт сети* в нижней части рабочего окна.

4.2.2 Анализ электрических величин в Z-плоскости

Для анализа импедансов фаза-фаза и фаза-ноль в Z-плоскости нужно выбрать в расчётной таблице (Рис. 4.3) кнопку . В результате появляется – R/X-диаграмма (рис. 4.5), в которой анализируется положение импедансов, измеренных в месте установки защиты.

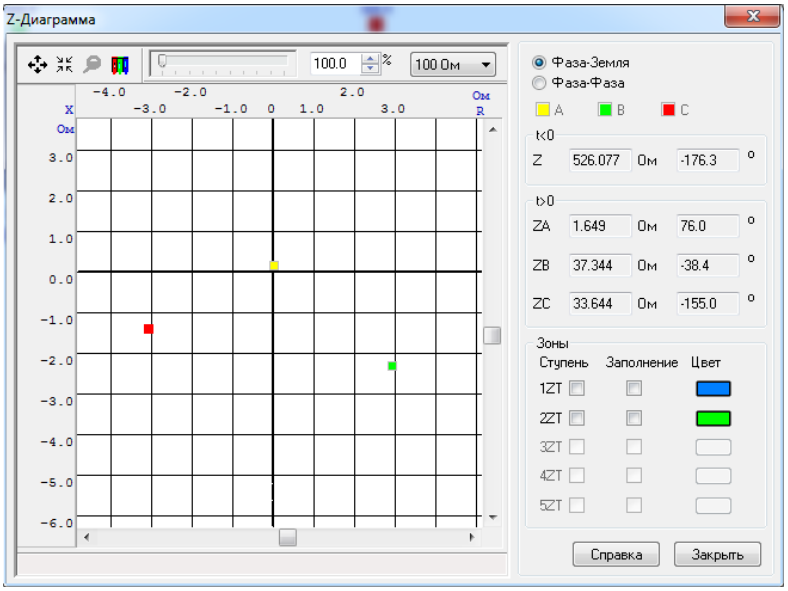


Рис. 4.5. Положение импедансов в месте установки защиты

4.3 Расчёт КЗ в заданных точках схемы

Программа стартует после нажатия кнопки *Старт* (рис. 3.1). Чтобы получить результаты

расчётов, нужно, чтобы были выполнены следующие условия:

- в схеме имелся выключатель,
- был установлен по крайней мере один пункт измерений (защита – п. 4.1),
- было установлено место КЗ (п. 3.6),
- произведен останов расчёта кнопкой *Стоп* . Если запущенный расчёт не остановлен, пуск программы невозможен, так как кнопка пуска загашена.

4.4 Общая таблица расчёта КЗ

Общая таблица с результатами расчёта для всех установленных точек измерений (мест установки защит) вызывается нажатием закладки *Расчёт сети* в нижней части рабочего окна. Таблица (рис. 4.6) содержит все требуемые проектные данные и параметры КЗ

В таблице *Расчёт сети* приведены результаты расчёта установившихся значений (статический расчёт) в нормальном рабочем режиме и при КЗ.

Распечатка результатов выполняется нажатием кнопки . Сохранение данных в *RTF* –формате возможно при использовании кнопки *Сохранить как* (рис. 4.6).

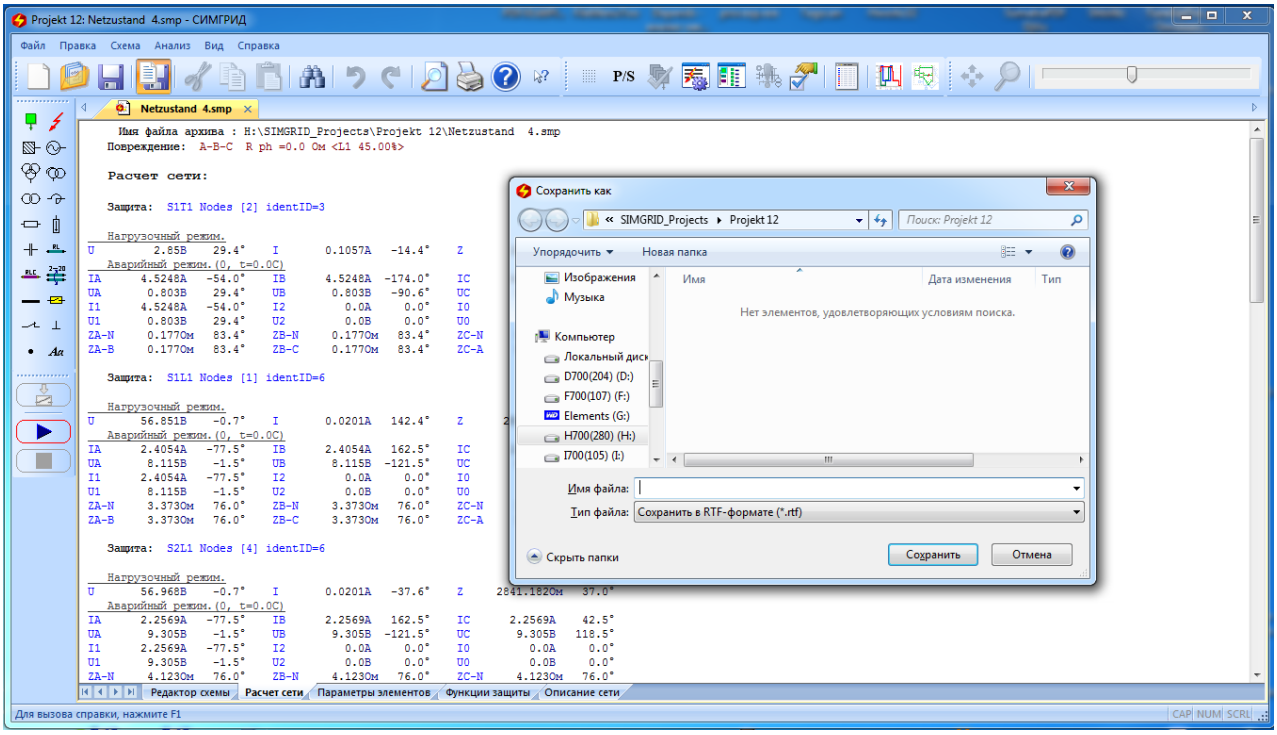


Рис. 4.6. Сохранение данных в *RTF*-формате

4.5 Этапы выполнения однократного расчёта

Этапы выполнения однократного расчёта повторены в нижеприведенной таблице.

№	Шаг	№ пункта
1	Пуск	1.4
2	Открыть проект или схему (существующую или новую) как составную часть проекта	2
3	Создать схему сети или произвести требуемые изменения в существующей схеме	3.1…3.4
4	Задать все требуемые точки измерений величин (точки для анализа) при КЗ установкой символа защиты	3.5.1, 3.5.2, 4.1
5	Задать параметры ТТ и ТН	3.5.3
6	Задать место и вид КЗ	3.6
7	Проверить соединения в схеме сети	3.7

8	Пуск программы выбором защиты или кнопкой *Старт*	4.2, 4.3
9	Анализ результатов	4.4
10	Распечатка данных схемы	3.9.1...3.9.2
11	Распечатка протокола расчёта	4.2.1, 4.4

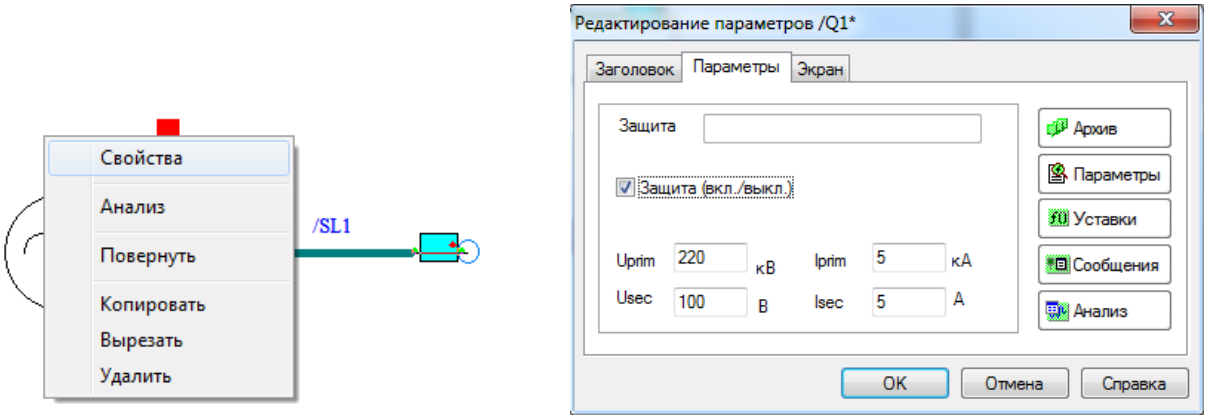
5. Задание параметров защиты

5.1 Общее

Программа **СИМГРИД** рассчитывает не только токи КЗ в сети, но также и моделирует релейную защиту в сети, то есть при расчётах сети учитывается действие релейной защиты на выключатели (многократный расчёт). При каждом таком действии в процессе устранения КЗ изменяется конфигурация сети после отключения выключателей. это требует нового вычисления и нового анализа поведения релейной защиты.

5.2 Рабочее окно „Редактирование параметров“

Символ *Защиты* находится в библиотеке элементов. Установка защиты на элементе схемы, задание имени защиты и задание параметров измерительных трансформаторов описано в п. 3.5.1 - 3.5.3. Всё это вводится в рабочем окне защиты „*Редактирование параметров*“. Для его вызова - подвести курсор мыши к символу защиты и дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши или щёлкнуть правой кнопкой мыши и выбрать строку *Свойства* – рис. 5.1.



a) b)

Рис. 5.1. Вызов рабочего окна защиты „*Редактирование параметров*“

С помощью этого рабочего окна можно выполнять следующие задачи:

- Задавать имя защиты в схеме – закладка *Заголовок,*
- Фиксировать обозначение защиты – закладка *Экран*,
- Задавать функции защиты – кнопка *Уставки*,
- Сохранять, вызывать и изменять данные в архиве – кнопка *Архив*,
- Список параметров защит (уставки) – кнопка *Параметры,*
- Сообщения о КЗ - кнопка Сообщения,
- Расчёт входных величин защиты при КЗ - кнопка *Анализ*
- Действие защиты на выключатель (защита-вкл./выкл.) – маркер (*Защита-вкл./выкл.*).

5.3 Задание имени защиты

Программа предусматривает для каждой защиты внутренний номер, который соответствует номеру того выключателя, на котором установлена защита. Кроме того, пользователь может назвать защиту по-своему, например, *West 21*. Это имя вводится на листе *Заголовок* (рис. 5.1, 5.2).

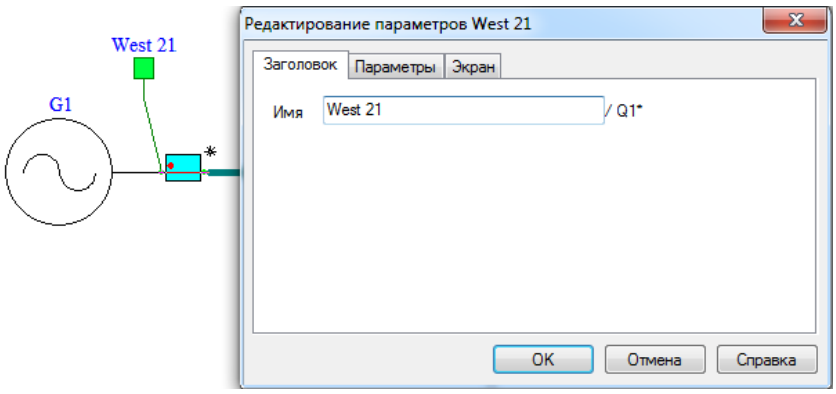


Рис. 5.2. Задание имени защиты

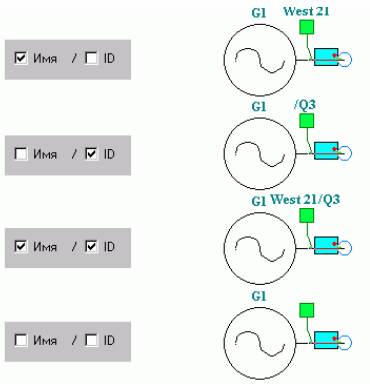


Рис. 5.3. Различные наименования защиты

Окно *Экран определяет,* какое имя будет стоять у элемента схемы на экране при работе со схемой (рис. 5.3).

5.4 Задание функций защиты

Каждое устройство защиты может выполнять много защитных функций, например, токовой защиты, дистанционной защиты и т. п. Чтобы включить вышеназванные функции, нужно нажать в рабочем окне защиты кнопку *Уставки*. При этом возникает окно *Функции защиты* (Рис. 5.4).
Каждая функция характеризуется кратким обозначением (например, *IT, UT>* и т.д.). Окно функций снабжено скроллером для просмотра полного списка функций. Чтобы активировать (включить) функцию, нужно установить галочку в соответствующей строке. Изменение параметров (уставок) функции возможно только после включения функции.
Настоящая версия программы содержит следующие функции:

- Токовая максимальная защита с независимой выдержкой времени **IT** (направленная или ненаправленная) с 5-ю ступенями.
- Токовая максимальная защита с зависимой выдержкой времени **IA** (направленная или ненаправленная).
- Токовая максимальная защита от замыканий на землю с независимой выдержкой времени **ITE** (направленная или ненаправленная) с 5-ю ступенями.
- Токовая максимальная защита от замыканий на землю с зависимой выдержкой времени **IAE** (направленная или ненаправленная).
- Дистанционная защита (фаза-фаза) **DS,** с 5-ю ступенями.
- Дистанционная защита (фаза-земля) **DSE,** с 5-ю ступенями.
- Токовая защита обратной последовательности **I2T** (направленная или ненаправленная) с 3-мя ступенями.
- Защита от понижения напряжения **UT<,** с 3-мя ступенями.
- Защита от повышения напряжения **UT>,** с 3-мя ступенями.

5.5 Уставки защитных функций

5.5.1 Открытие окна функции для задания уставок

Чтобы задать параметры защитной функции, эта функция должна быть сначала выбрана. Открыть окно параметров функции можно, дважды щёлкнув левой кнопкой мыши по маркированной строке функции в списке функций (рис. 5.4) или нажав на кнопку *Свойства*.

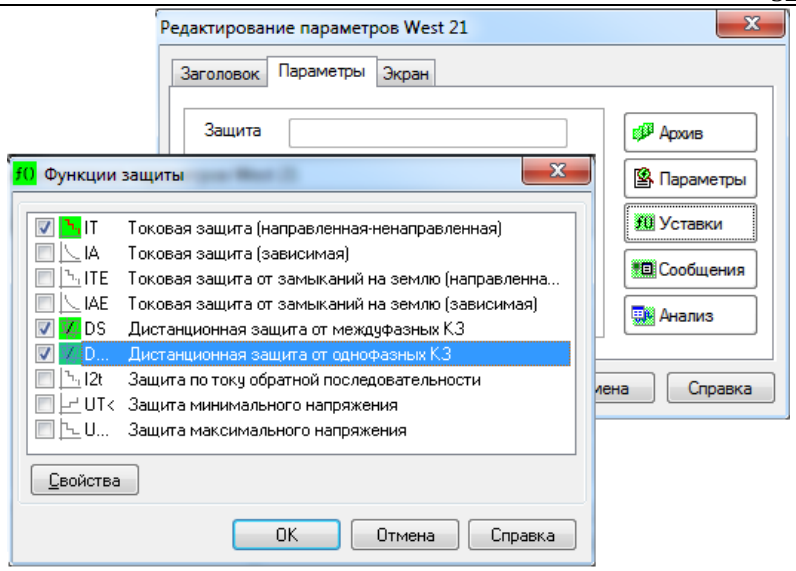


Рис. 5.4. Активирование функции защиты

В качестве примера рассмотрим в этом разделе задание параметров для двух функций – токовой максимальной защиты и дистанционной защиты.

Задание параметров всех остальных функций защиты приведено в приложении 4.

5.5.2 Уставки максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени

После активирования функции (см. выше) возникает следующее окно для задания уставок (рис. 5.5). Прежде всего, в этом окне надо установить маркеры для подключённых к защите ТТ. В качестве примера – рис. 5.5 и 5.6.

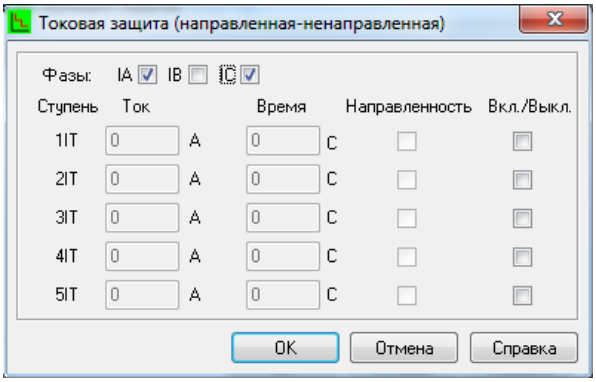


Рис. 5.5. 2 подключённых ТТ

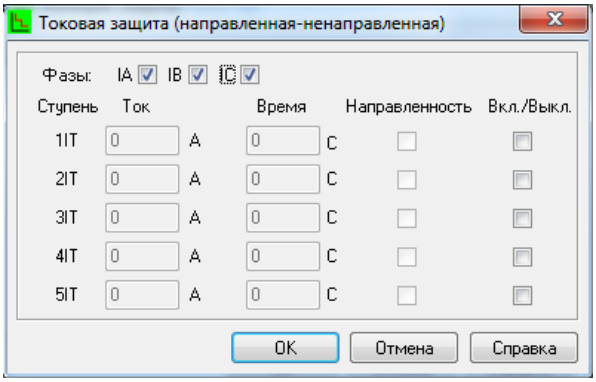


Рис. 5.6. 3 подключённых ТТ

Далее фиксируется число ступеней, которые содержит каждая данная функция. Для этого нужно установить маркеры в соответствующих ячейках Вкл./Выкл. крайнего справа столбца (рис. 5.7 для 3-ступенчатой IT-функции)
Следующий столбец определяет, какие ступени направлены, - в соответствующих окошках установить маркеры.
Так, например, рис. 5.8 соответствует случаю 1-й и 3-й направленным ступеням IT-функции.

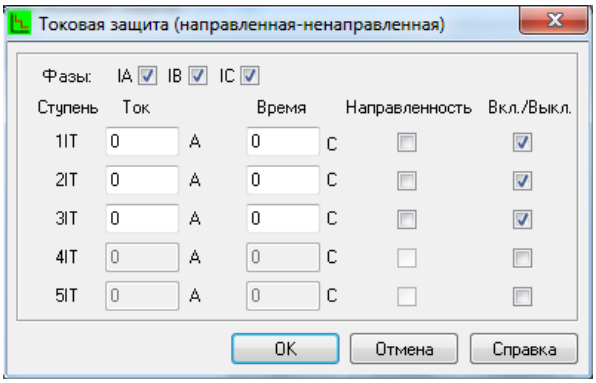


Рис. 5.7. Выбор включённых ступеней

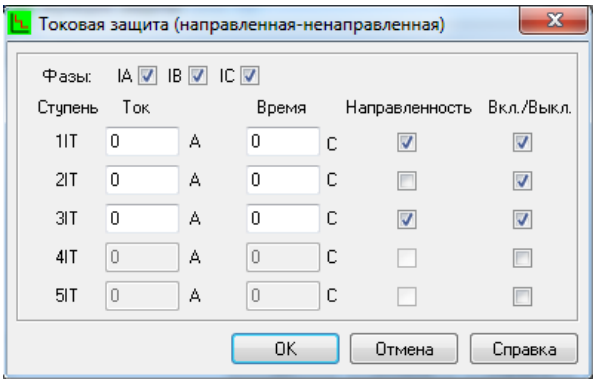


Рис. 5.8. Выбор направленных ступеней МТЗ с независимой выдержкой времени

Уставки по току и времени срабатывания вносятся в соответствующие поля *Ток* и *Время* для каждой отдельной ступени (рис. 5.9).

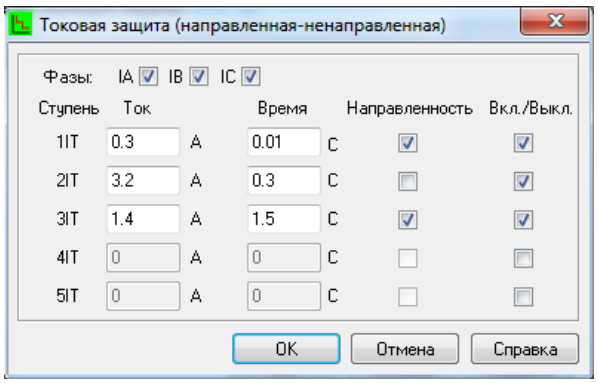


Рис. 5.9. Ввод значений тока и времени срабатывания

5.5.3 Уставки дистанционной защиты (DS-функция, фаза-фаза)

5.5.3.1 Выбор ступени

После включения функции появляется следующее поле для задания уставок (рис. 5.10):

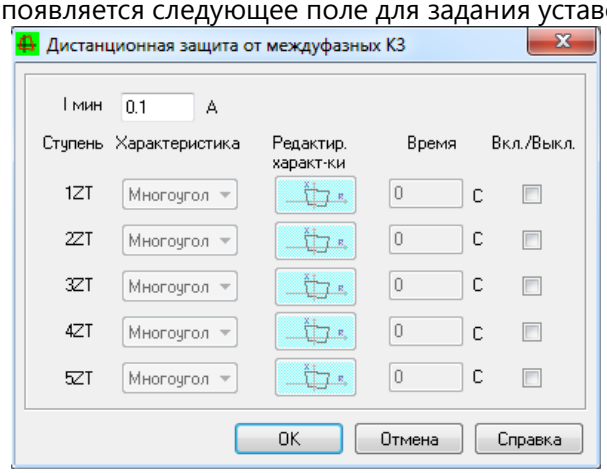


Рис. 5.10. Поле для задания уставок дистанционной защиты

В поле $I_{мин}$ вверху окна вносится минимальный ток, при котором пускается DS-функция. Это означает, что ток $I<I_{мин}$ не вызывает реакции защиты. Далее устанавливается число ступеней, которые содержит ДЗ. Для этого нужно установить маркеры в соответствующих ячейках Вкл./Выкл. крайнего справа столбца (рис. 5.11 для 3-ступенчатой ДЗ). В колонке *Время* для каждой активной ступени вносится время срабатывания

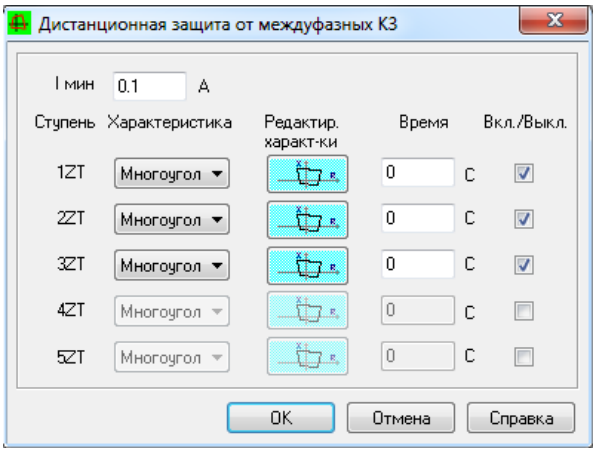


Рис. 5.11. Выбор включённых ступеней ДЗ

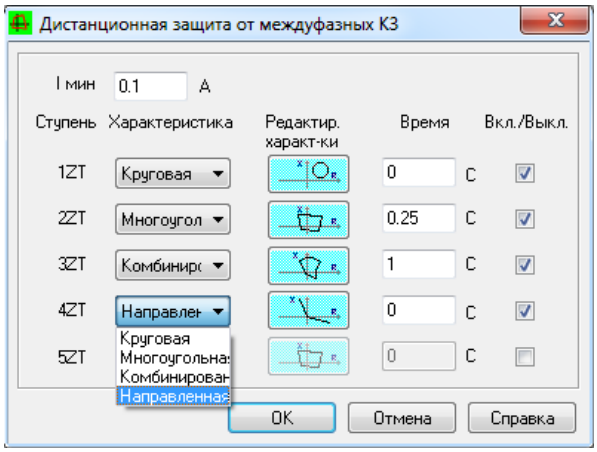


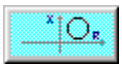
Рис. 5.12. Выбор определённой характеристики

5.5.3.2 Выбор характеристики для отдельной ступени

В колонке *Характеристика* выбирается характеристика для отдельной ступени (*Окружность*, *Многоугольник*, *Комбинированная*, *Направленная*).

На рис. 5.12 для каждой из 4-х ступеней выбраны различные характеристики. Выбор определённой характеристики показан на рис. 5.12 на примере 4-й ступени.

5.5.3.3 Установка характеристики "Окружность"

Нажать кнопку графического представления характеристики  (в колонке "*Редактирование характеристики*"). В открывшемся окне (рис. 5.13) в клетках „*Ro, Xo*“ задать координаты центра окружности, а в клетке „*r*“ – её радиус.

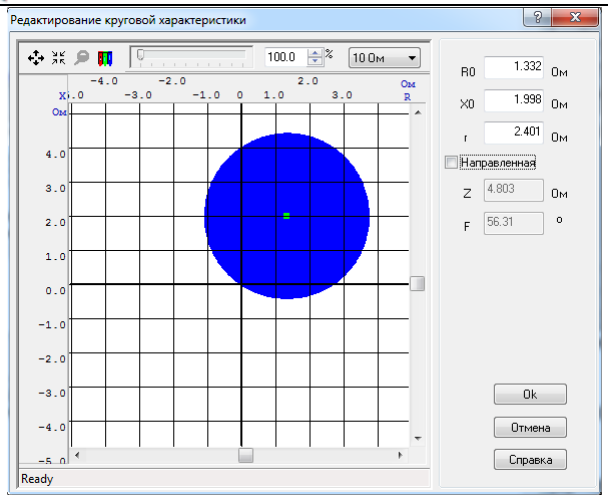


Рис. 5.13. Окно с характеристикой "*Окружность*"

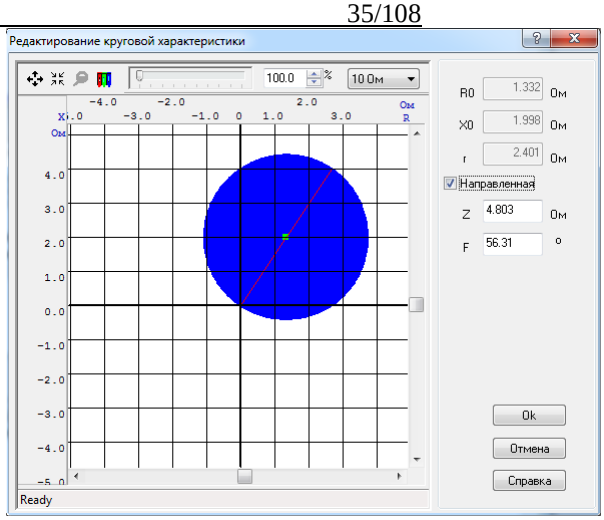
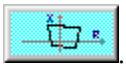


Рис. 5.14. Направленная характеристика "*Окружность*"

Имеется возможность смещать характеристику в Z-плоскости. Для этого нужно подвести курсор к центру окружности до появления "креста", а затем при нажатой левой кнопке мыши перемещать окружность в Z-плоскости.
Если круговая характеристика должна быть направленной, следует установить маркер в клетке "*Охват нуля (0,0)*" (рис. 5.14).
Для случая направленной характеристики нужно ввести данные в поля *Z* (диаметр характеристики) и *F* (угол наклона диаметра к действительной оси).

5.5.3.4 Установка характеристики "Многоугольник"

Нажать кнопку графического представления характеристики  . В открывшемся окне (рис. 5.13) в клетках *„Ro, Xo“* задать число вершин характеристики и координаты каждой вершины (см., например, рис. 5.15, 5.16).

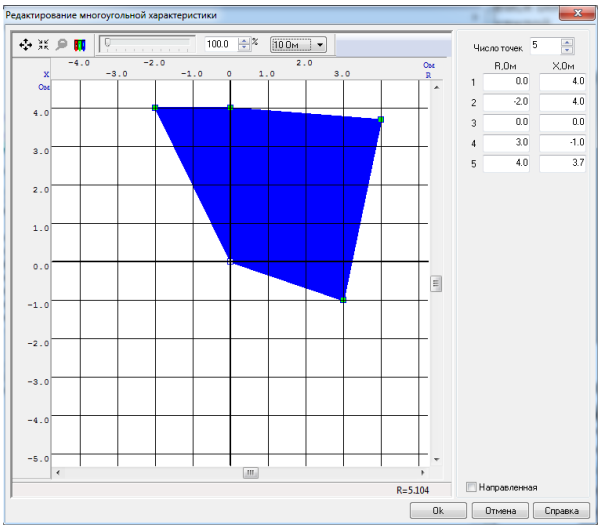


Рис. 5.15. Многоугольник с 5-ю вершинами

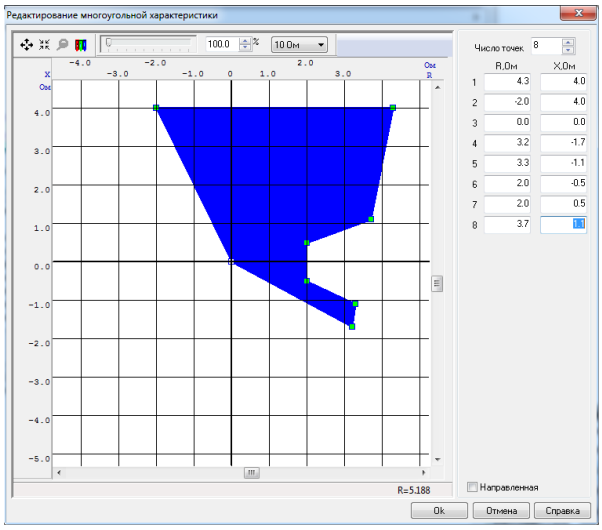
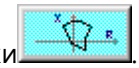


Рис. 5.16. Многоугольник с 8-ю вершинами

Любую вершину можно смещать в *Z*-плоскости. Для этого нужно подвести курсор к вершине до появления "креста", а затем при нажатой левой кнопке мыши перемещать вершину в Z-плоскости.
Внимание! Наличие нескольких голубых точек означает, что в данной вершине находится несколько вершинных точек характеристики с одинаковыми координатами. Если многоугольная характеристика направлена (одна из вершин лежит в начале координат), то для этой точки нужно задать координаты (0,0) и поставить маркер в поле "*Охват нуля (0,0)*".

5.5.3.5 Установка характеристики "Комбинированная"

Нажать кнопку графического представления характеристики  . В открывшемся окне (рис. 5.13) задать параметры комбинированной в соответствии с рис. 5.17.
При наличии маркеров в клетках „*Инверсная*", „*Ненаправленная*" характеристики приобретают следующий вид: *Вперёд* (Рис. 5.18), *Назад* (Рис. 5.19), *Ненаправленная* (Рис. 5.20).

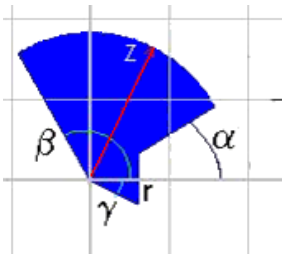


Рис. 5.17. Параметры комбинированной характеристики

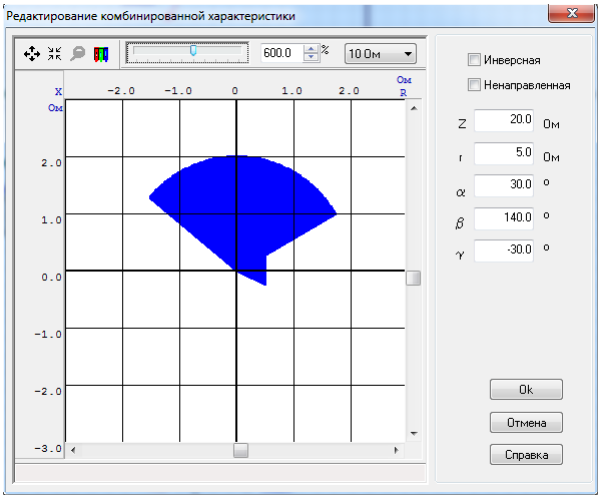


Рис. 5.18. Характеристика *Вперёд*

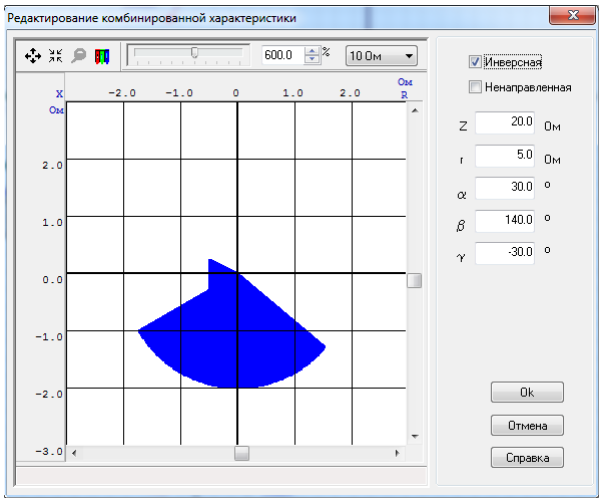


Рис. 5.19. Характеристика *Назад*

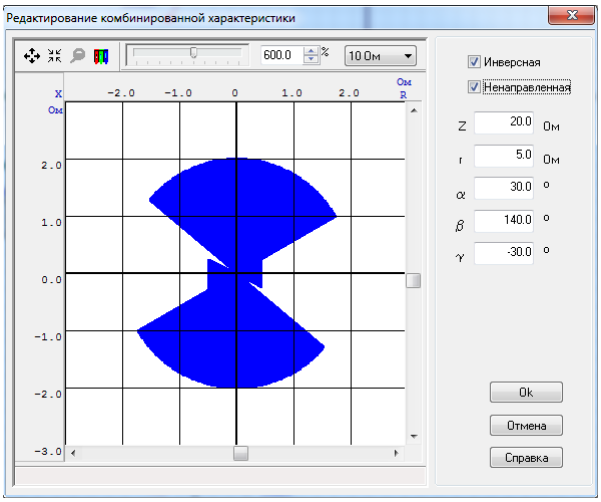
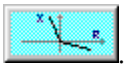


Рис. 5.20. Характеристика *Ненаправленная*

5.5.3.6 Установка характеристики "Направленная"

Нажать кнопку графического представления характеристики  . В открывшемся окне (рис. 5.21) задать параметры F1, F2 (Углы наклона обеих прямых к действительной оси).
При наличии маркера в клетке „*Инверсная*" характеристика занимает область *Назад* (Рис. 5.22).

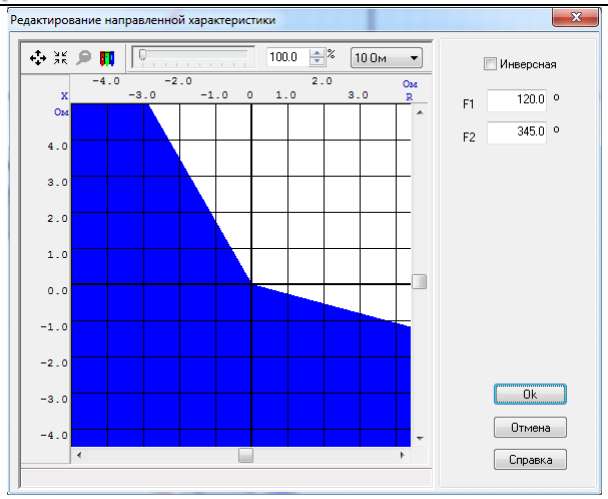


Рис. 5.21. Характеристика, направленная *Вперёд*

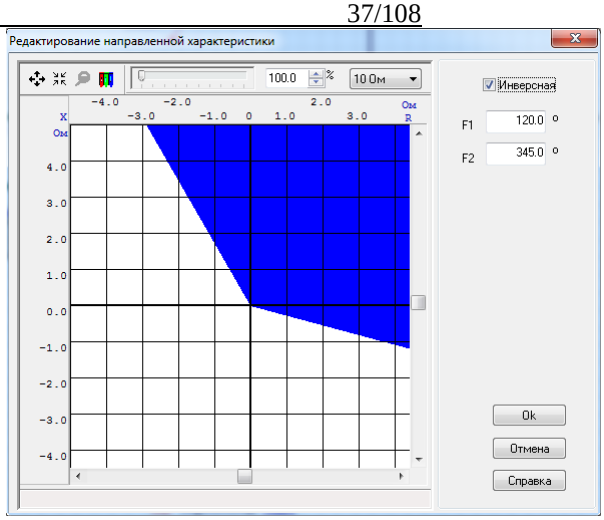


Рис. 5.22. Характеристика, направленная Назад

5.5.3.7 Возможности представления характеристики в Z-плоскости

Рис. 5.23 показывает элементы окна, которые позволяют нужным для пользователя образом изменять представление всех вышеназванных характеристик.

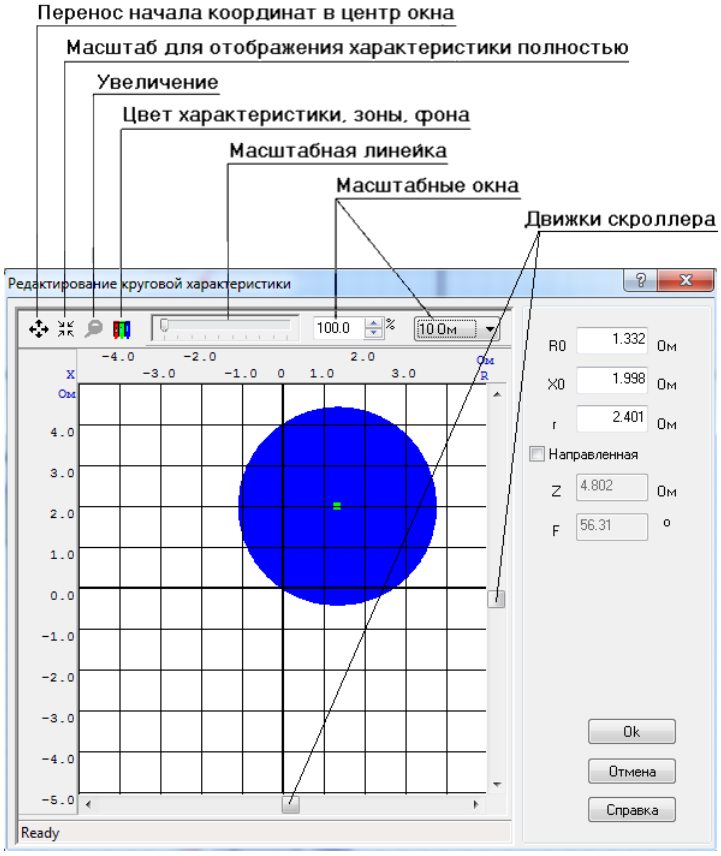


Рис. 5.23. Назначение функциональных кнопок

5.5.4 Уставки дистанционной защиты (DSE-функция, фаза-ноль)

Значения уставок для характеристики дистанционной защиты фаза-ноль задаются аналогично DS-функции (п. 5.5.3).

Основное различие заключается в измеренной петле КЗ. Так, например, измеренный фазный импеданс для фазы А равен:

$$Z_A = \frac{U_A}{I_A + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} * I_0} = \frac{U_A}{I_A + (\frac{Z_0}{Z_1} - 1) * I_0} = \frac{UA}{I_A + (K-1) * I_0}$$

где $K = Z_0 / Z_1 = k_r + j * k_x$.

В окне выбора характеристик для ступней дистанционной защиты DSE (рис. 5.24) имеются дополнительные поля "*Kr*" и "*Kx*" для задания коэффициентов.

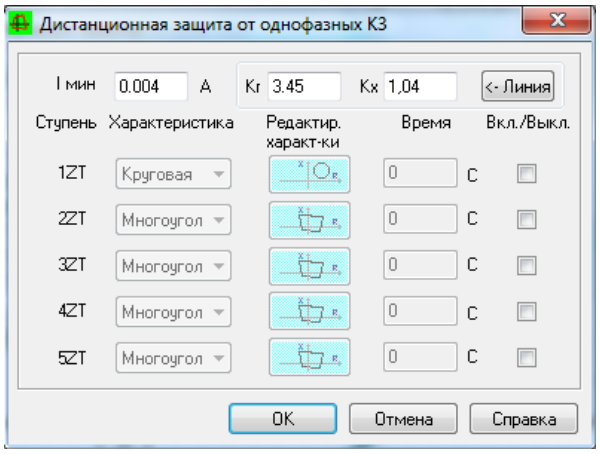
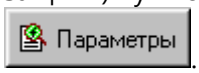


Рис. 5.24. Поле выбора характеристик для ступеней дистанционной защиты *DSE*

5.6 Список параметров защит

5.6.1 для одной защиты

Чтобы вызвать список всех установленных параметров одной защиты (одного места установки защиты) нужно в активном окне защиты (п. 5.2, рис. 5.1) левой кнопкой мыши нажать на кнопку 

. При этом появляется полный перечень параметров для соответствующей защиты (пример на рис. 5.25).

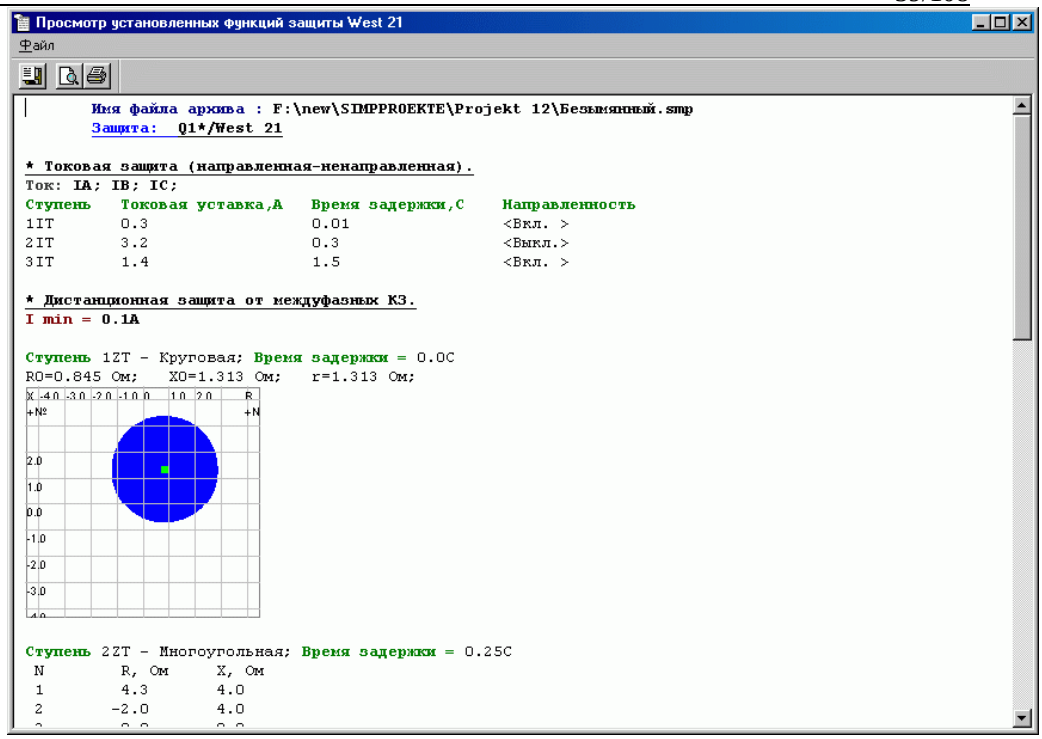


Рис. 5.25. Список параметров для одной защиты

Список может быть также распечатан (кнопка) или помещён в каталог в виде файла (кнопка). Различные способы представления документа предлагаются кнопкой .

5.6.2 Список параметров для всех интегрированных в сеть устройств защиты

Чтобы представить на рассмотрение полный список параметров защит достаточно вызвать лист *"Функции защит"* внизу рабочего окна (Рис. 3.1). Чтобы показать полный список параметров всех защит в сети, достаточно выбрать лист *„Функции защит"* внизу рабочего окна (рис. 3.1). Эти данные могут быть распечатаны с помощью кнопки в верхней части рабочего окна редактора или сохранены в виде файла (аналогично п. 5.6.1).

5.7 Архив защит

5.7.1 Назначение архива

Элемент *Защита* занимает в программе особое место. На основе заданных пользователем параметров защит (функции, уставки и т.д.) выполняется анализ поведения защит при КЗ в различных точках сети.
Для упрощения задания параметров защит и их хранения в программе предусмотрен архив защит, который содержит конфигурированные пользователем варианты защит.

5.7.2 Внесение данных в архив

Архив становится доступным только после активирования конкретного устройства защиты (п. 3.5.2), когда на экране показывается поле *Редактирование параметров* (рис. 5.26). После нажатия кнопки *архив* становится доступным главное окно архива (рис. 5.27).

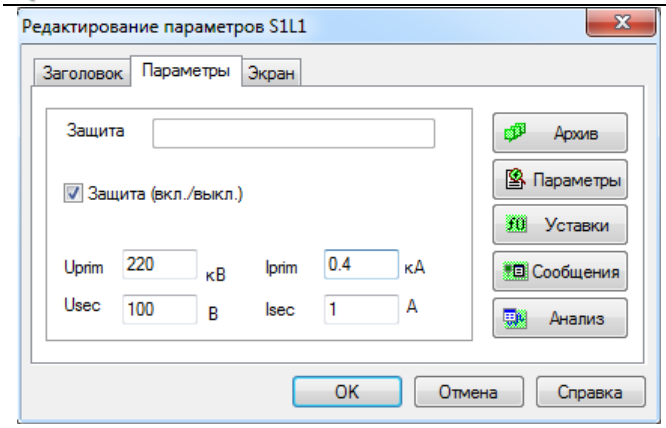


Рис. 5.26. Окно *Редактирование параметров*

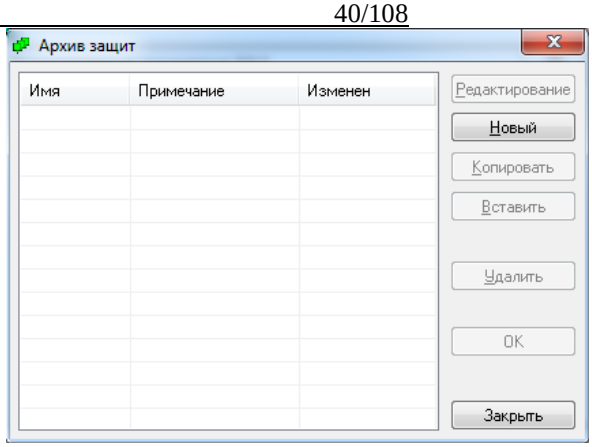


Рис. 5.27. Главное окно архива

После нажатия кнопки *Новый* вносится имя защиты и, если нужно, примечания (рис. 5.28):

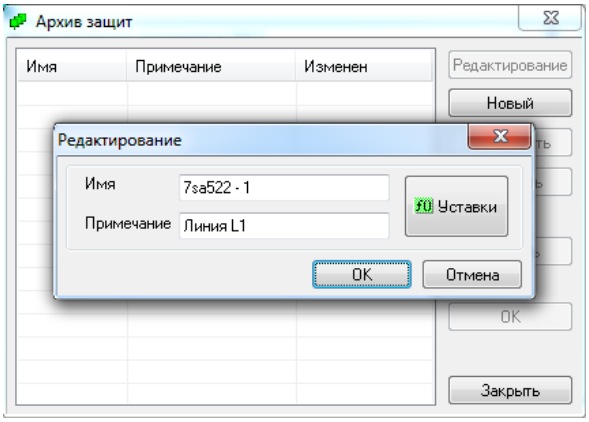


Рис. 5.28. Внесение имени защиты и примечания

После нажатия кнопки *Уставки* появляется окно выбора защитных функций (рис. 5.4) и далее задаются функции защиты по пп. 5.4 и 5.5.

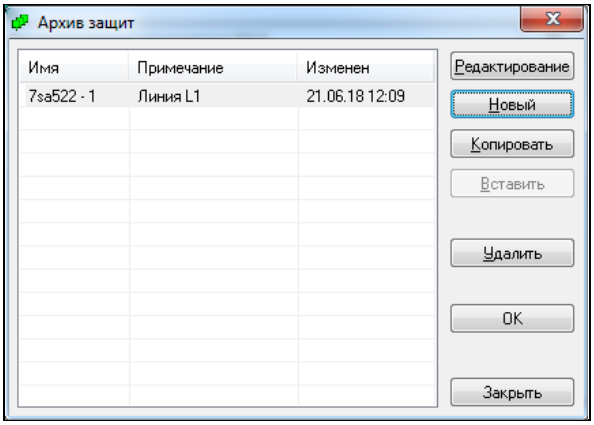


Рис. 5.29. Окно архива

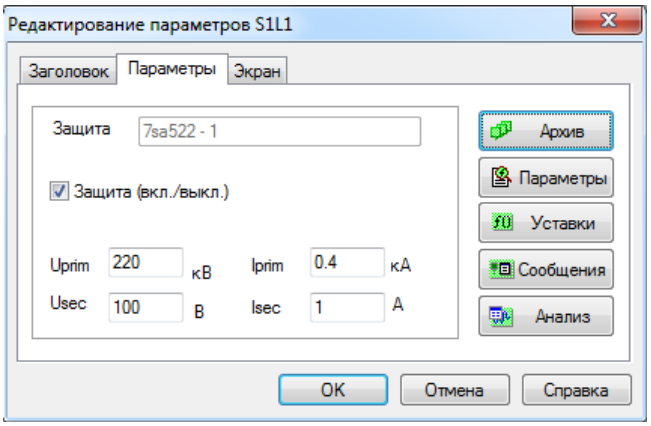


Рис. 5.30. Рабочее окно защиты с именем архива

После задания уставок возвращаются назад по кнопке *OK*.
После нажатия кнопки *OK* показываются окно архива и рабочее окно защиты с именем архива (рис. 5.29, 5.30). Нужно заметить, что архивное имя защиты не всегда совпадает с именем защиты в сети, так как это имя обычно характеризует исполнение защиты и её уставки.

5.7.3 Внесение архивных данных для выбранной защиты

Активировать соответствующую защиту и нажатием кнопки *Архив* войти в поле архива с уже внесёнными данными.
Двойной щелчок по строке с заданными данными вызывает перенос искомых данных из архива в защиту. В поле *защита* рабочего окна защиты появляется название выбранного файла данных защиты (например, как на рис. 5.30).

5.7.4 Корректировка уже существующих уставок защиты

Во многих случаях большинство параметров защиты одинаковы и требуется изменить только несколько параметров. для этого достаточно:

- переписать уже установленные и прочитанные параметры другой подходящей защиты (п. 5.7.3) из архива соответствующей защиты;
- внести заданные изменения уставок защиты в соответствии с пп. 5.4 и 5.5. Этот процесс начинается с нажатия кнопки Уставки *Уставки*;
- после изменения уставок (подтверждение – нажатием кнопки *OK*) появляется окно с вопросом, требуется ли занесение изменённых данных в архив защит с новым именем (Рис. 5.31).

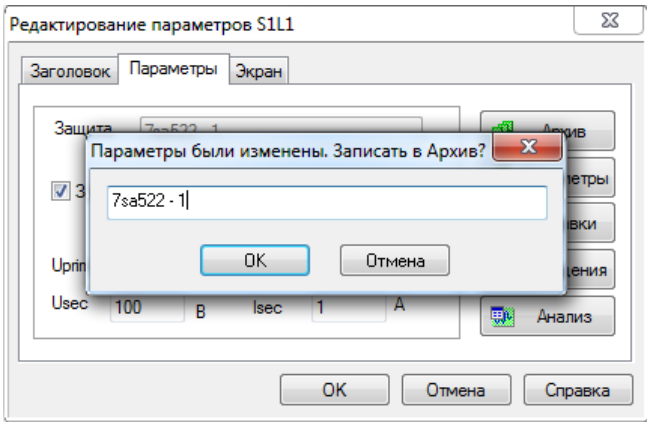


Рис. 5.31. Диалоговое окно

Если этот вопрос игнорируется (нажата кнопка *OK*), изменённые данные считываются в архив под старым именем. Если в окно вписывается новое имя, например, *7saS22*-2 (рис. 5.32), защита перенимает это новое архивное имя, и данные будут сохранены под этим именем в архиве (рис. 5.33).

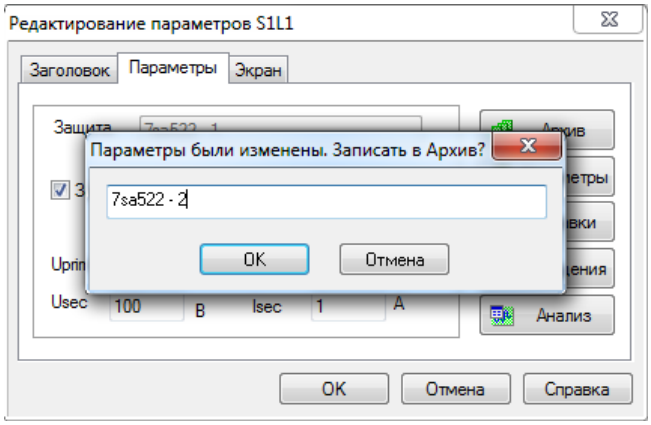


Рис. 5.32. Задание нового имени параметрам защиты

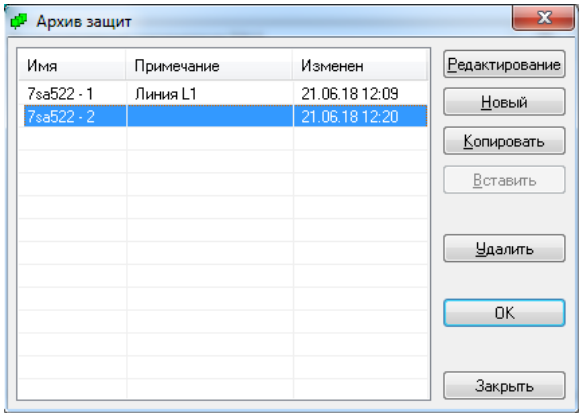


Рис. 5.33. Новое архивное имя в архиве защит

Альтернативой этому методу является использование кнопки *Редактирование*. Для этого нужно:

- активировать поле соответствующей защиты (п.5.7.1) и перейти из главного окна в *Архив*;
- маркировать архивную строку соответствующей защиты;
- нажать кнопку *Редактирование* и ввести архивное имя защиты с изменёнными функциями и необходимыми примечаниями (рис. 5.34).

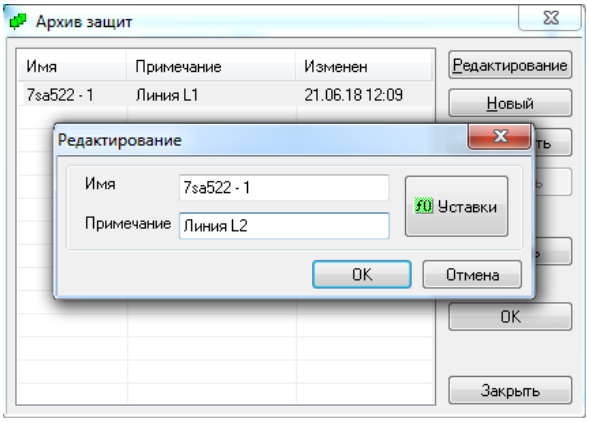


Рис. 5.34. Задание архивного имени защиты

- выполнить соответствующую корректировку функций и уставок защиты в соответствии с п. 5.4 и 5.5, для чего нажать кнопку Уставки *Уставки*;
- выйти из архива, последовательно нажимая кнопку *OK*. При этом исправленные уставки переносятся в активированную защиту и запоминаются под новым именем (рис. 5.28).

5.7.5 Копирование данных защиты в архив с новым именем

- Маркировать в архиве строку копируемой защиты, например, 7sa522-3;
- нажать кнопку *Копировать*;
- нажать кнопку *Вставить* и ввести новое имя, например, 7sa522-4 (рис. 5.35);

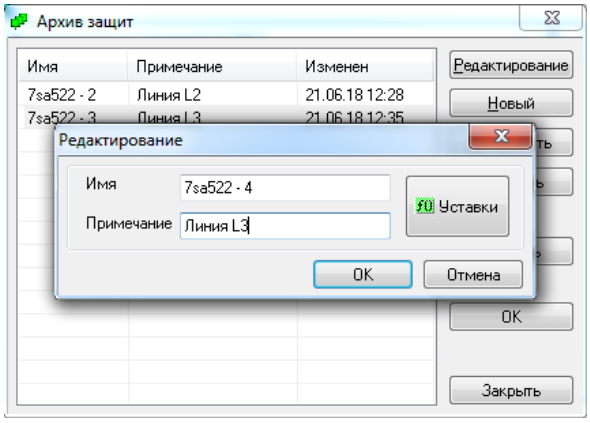


Рис. 5.35. Ввод нового имени

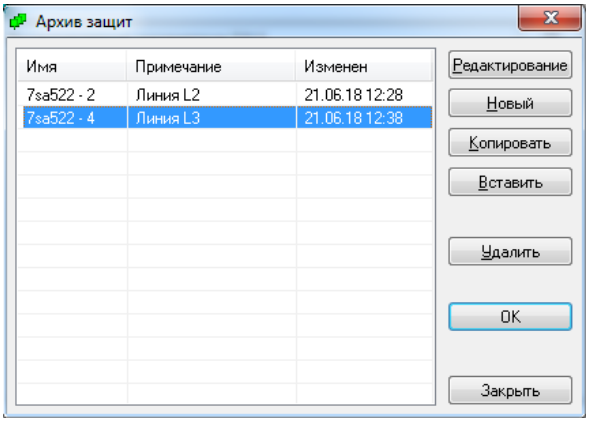


Рис. 5.36. Строка с новым именем

- нажать кнопку *OK*.

При этом в архиве создаётся новая строка с новым именем (*7sa522-4*, рис. 5.36).

5.7.6 Стирание данных в архиве

- Маркировать строку архива;
- нажать кнопку *Удалить* и подтвердить команду.

6. Расчёт схемы сети

6.1 Варианты расчета

Программа предоставляет следующие варианты расчета в зависимости от того, учитывается ли отключение выключателей или нет:

- Одноразовый расчет;
- Многоразовый расчет.

Выбор того или иного варианта осуществляется кнопкой *Режим* (рис. 3.1).

6.1.1 Одноразовый расчет

Расчет электрических величин при повреждениях в сети, причем действие релейной защиты на выключатели не предусматривается.

6.1.2 Многоразовый расчет

Расчет электрических величин при повреждениях в сети, причем предусматривается действие релейной защиты на выключатели.
Расчет в этом варианте может проводиться многократно, так как после каждого отключения выключателя меняются параметры сети в аварийном режиме, и требуется перерасчет электрических величин.

6.2 Анализ действия защит при одноразовом расчете

6.2.1 Сообщения защит

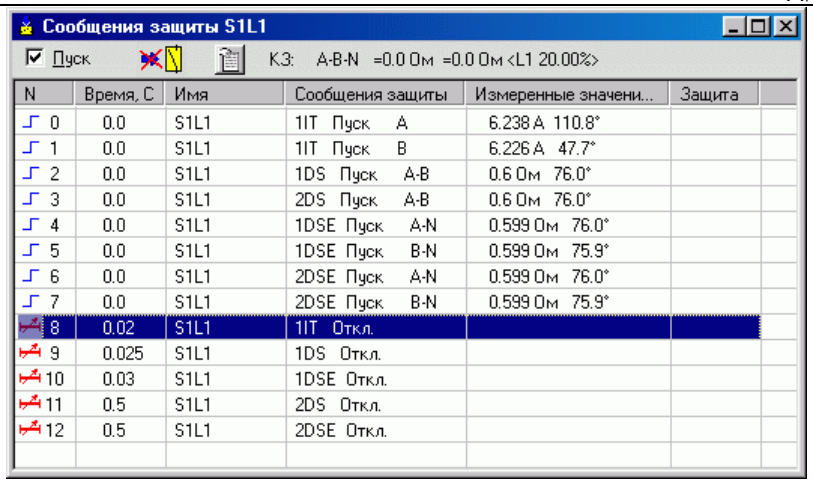
Анализ реакции защит на КЗ и проверка уставок осуществляется через сообщения. Эти сообщения генерируются защитными функциями и соответствующими защитными ступенями при КЗ. Есть 2 вида сообщений:

- *Пуск* – регистрация моментов времени, при которых входные измеряемые величины (ток, напряжение, импеданс) становятся равными установленным в защите для данной ступени значениям и пусковой орган ступени с установленной выдержкой времени находится в зоне срабатывания.
- *Отключение* - регистрация моментов времени, при которых данная ступень защиты действует на отключение.

6.2.2 Анализ сообщений одной защиты

Для того чтобы проанализировать, нужно после того, как установлены вид и место КЗ, вызвать окно защиты (п. 5.2) и нажать кнопку *Сообщения*. рассматриваемой защиты будут показаны в форме таблицы (рис. 6.1). таблица содержит6

- номер и вид сообщения (- Пуск, - Отключение);
- момент сообщения;
- имя защиты и текущий номер выключателя, на котором установлена защита (например, „*SL1/Q3*“ - защита SL1 установлена на выключателе Q3);
- название защитной функции, номер ступени, вид сообщения (например, "*2DSE*" - пуск BN - пуск фазы BN 2-й ступени дистанционной защиты DSE);
- значение входной величины ступени, которая вызвала сообщение (импеданс, ток или напряжение).



Сообщения защиты S1L1

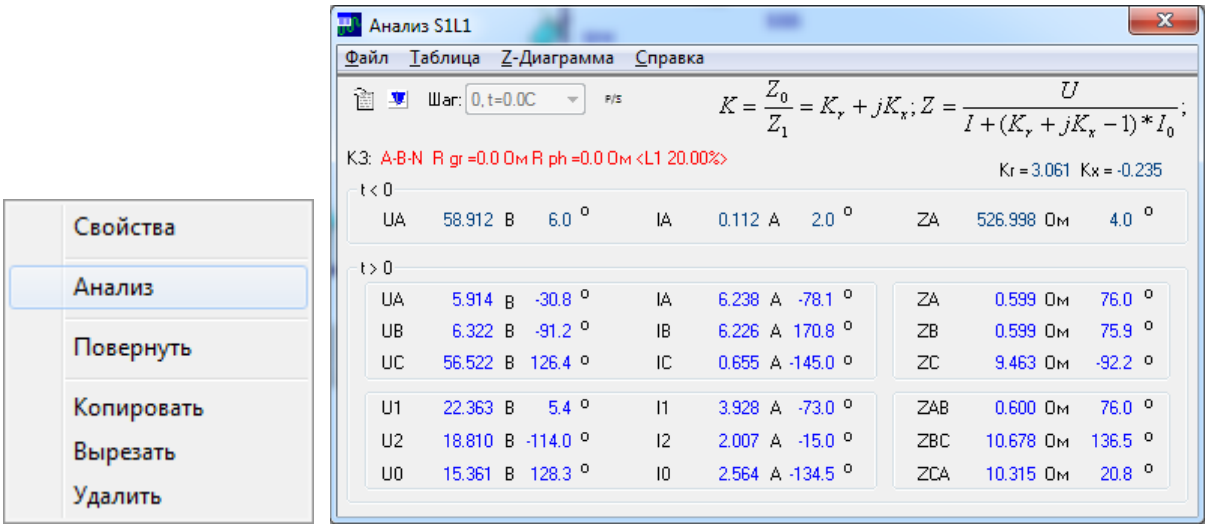
Пуск К3: A-B-N =0.0 Ом =0.0 Ом <L1 20.00%>

N	Время, С	Имя	Сообщения защиты	Измеренные значени...	Защита
0	0.0	S1L1	1IT Пуск A	6.238 A 110.8°	
1	0.0	S1L1	1IT Пуск B	6.226 A 47.7°	
2	0.0	S1L1	1DS Пуск A-B	0.6 Ом 76.0°	
3	0.0	S1L1	2DS Пуск A-B	0.6 Ом 76.0°	
4	0.0	S1L1	1DSE Пуск A-N	0.599 Ом 76.0°	
5	0.0	S1L1	1DSE Пуск B-N	0.599 Ом 75.9°	
6	0.0	S1L1	2DSE Пуск A-N	0.599 Ом 76.0°	
7	0.0	S1L1	2DSE Пуск B-N	0.599 Ом 75.9°	
8	0.02	S1L1	1IT Откл.		
9	0.025	S1L1	1DS Откл.		
10	0.03	S1L1	1DSE Откл.		
11	0.5	S1L1	2DS Откл.		
12	0.5	S1L1	2DSE Откл.		

Рис. 6.1. Таблица сообщений защиты

Основываясь на сообщениях защит и Z-диаграммах, можно анализировать реакцию защиты на КЗ и проверять выбранные уставки.

Анализ поведения дистанционной защиты легко проводить в Z-плоскости, сравнивая измеренные импедансы в фазах ZA, ZB, ZC, ZAB, ZBC, ZCA с характеристиками отдельных ступеней. Для просмотра Z-плоскости нужно вначале в соответствии с пп. 4.2.1 и 4.2.2 вызвать таблицу результатов расчёта, щёлкнув правой кнопкой мыши по символу защиты, и затем выбрать строку *Анализ* из контекстного меню (рис. 6.2a, b).



a) b)

Рис. 6.2. Выбор *Анализа*

Положение измеренного импеданса в Z-плоскости показывает диаграмма (рис. 6.3), возникающая на экране после нажатия кнопки (п. 4.2.2).

Окно *Z-диаграмма* (рис. 6.3, 6.4) содержит следующую информацию:

- характеристики всех ступеней соответствующей защиты (*DS* и *DSE*);
- измеренный импеданс шлейфа фаза-фаза (*ZAB, ZBC, ZCA*) или фаза-ноль (*ZA, ZB, ZC*).

Выбор вида импеданса задаётся установкой маркера в соответствующее поле *Фаза-фаза* или *Фаза-ноль* в верхнем правом углу окна. Для большей ясности измеренные импедансы отдельных фаз маркированы различными цветами.

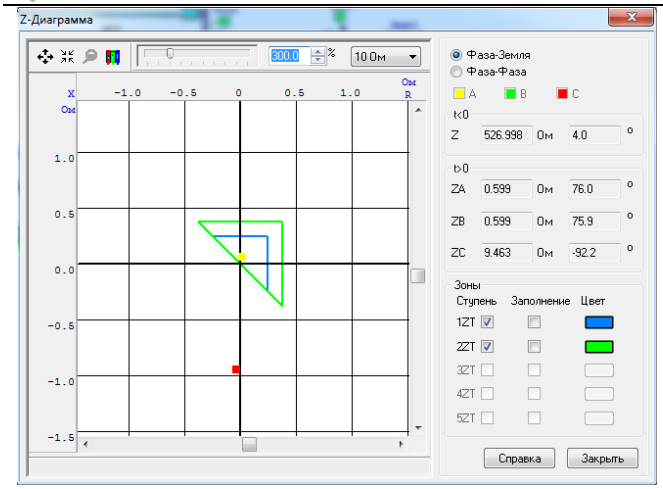


Рис. 6.3. Анализ 2-фазного КЗ на землю в *Z*-плоскости (фаза-земля)

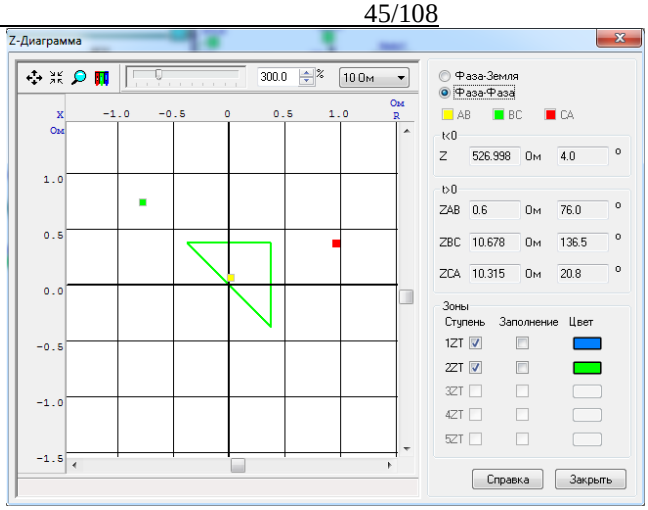


Рис. 6.4. Анализ 2-фазного КЗ на землю в *Z*-плоскости (фаза-фаза)

Значения импедансов представлены графически в Z-плоскости и дополнительно в окнах данных в цифровом виде с указанием модуля и угла.

Таким образом можно довольно просто анализировать селективность защит при различных видах КЗ и различном выборе фаз, что особенно важно при 1-фазных АПВ.

Пример В 6.1

Параметры элементов и уставки защит (схема – рис. 6.5) приведены в Приложении 4.
Каждое устройство защиты содержит:

- одну ступень токовой защиты без выдержки времени (*IT*);
- 2-х ступенчатую дистанционную защиту от КЗ фаза-фаза (*DS*);
- 2-х ступенчатую дистанционную защиту от КЗ фаза-ноль (*DSE*).
-

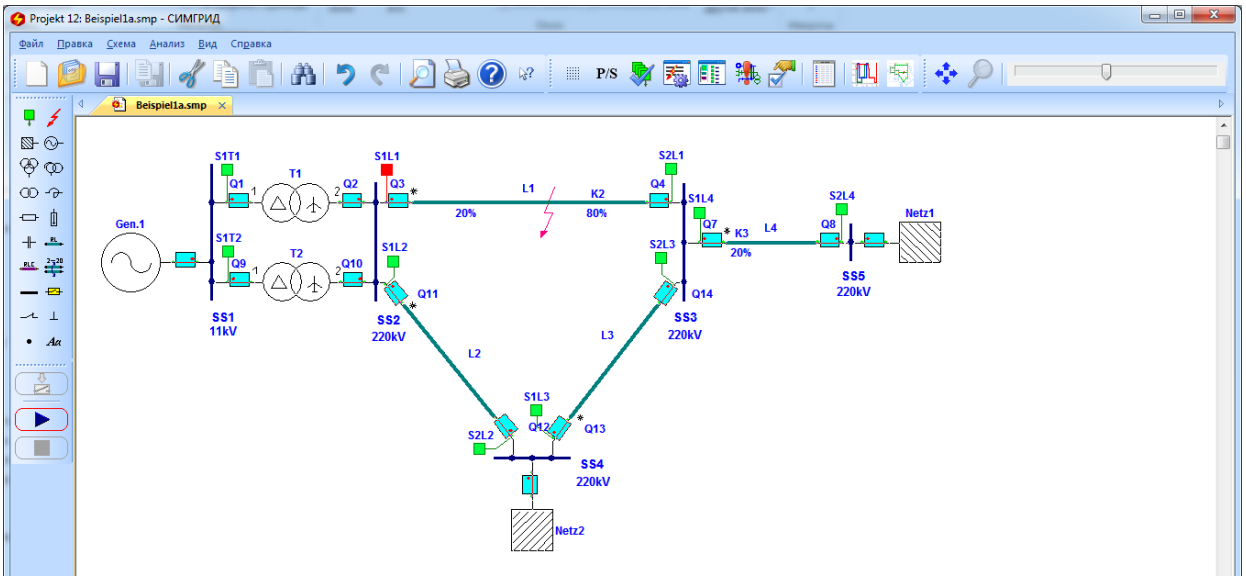


Рис. 6.5. Схема сети

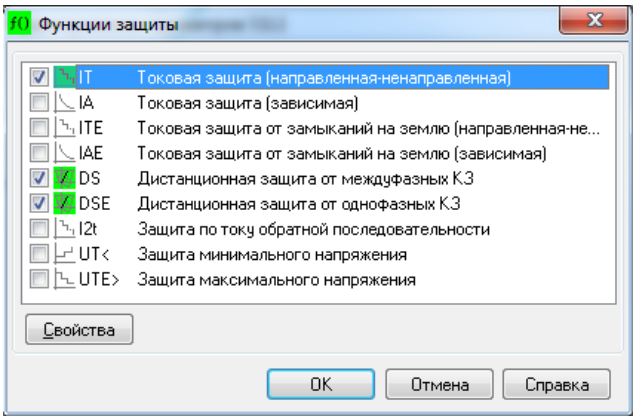
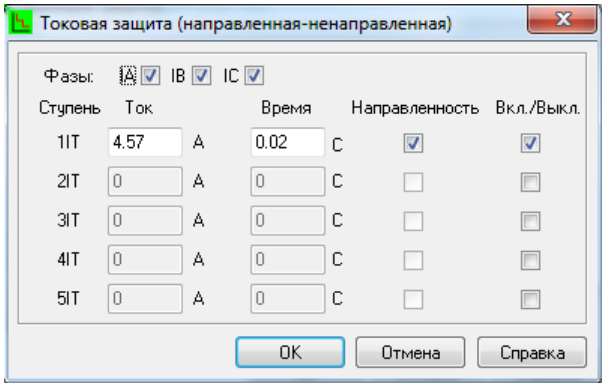
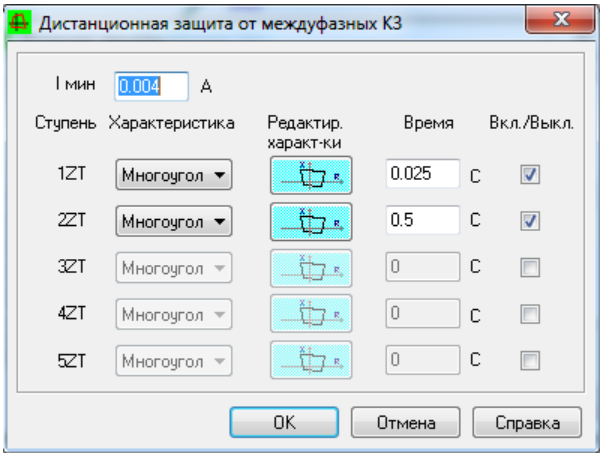


Рис. 6.6. Выбранные функции защиты

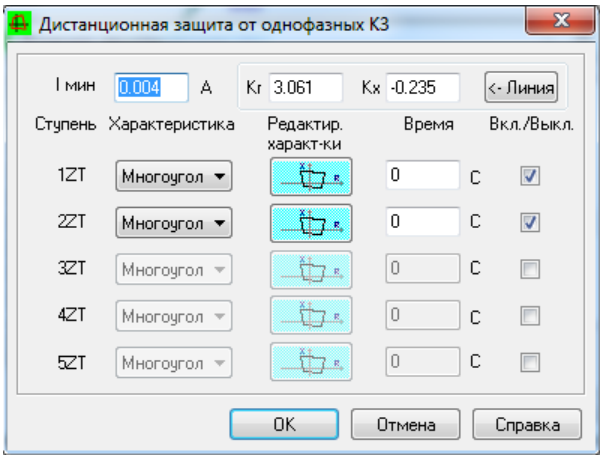
Рис. 6.7 показывает уставки и выдержки времени отдельных ступеней для защиты S1L1.



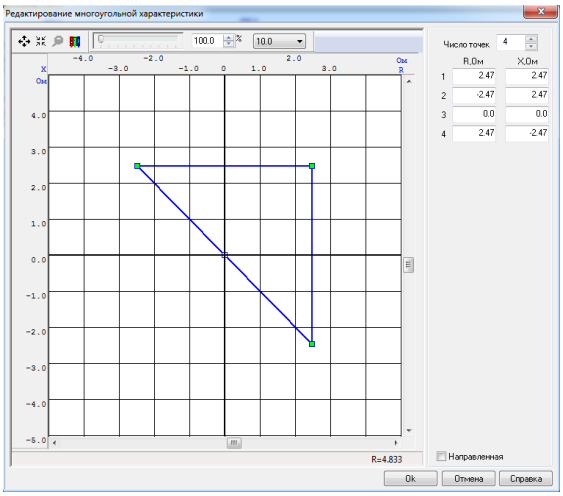
а) *UMZ*-функция (*IT*)



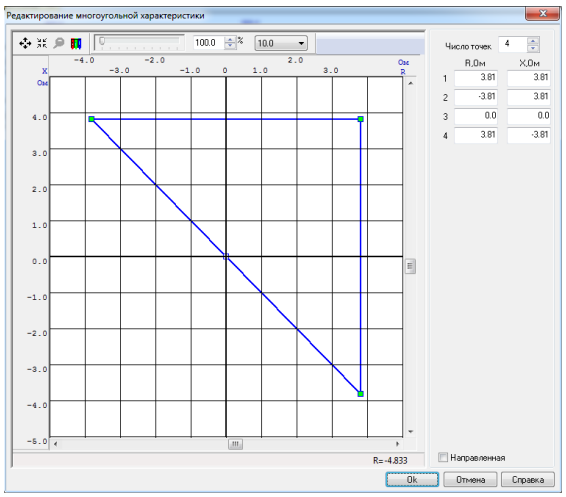
b) Ступени дистанционной защиты фаза-фаза (*DS*)



c) Ступени дистанционной защиты фаза-ноль (*DSE*)



d) Характеристика I ступени защиты (*1DS*, *1DSE*)



e) Характеристика II ступени защиты (*2DS*, *2DSE*)

Рис. 6.7. Уставки для защиты *S1L1*

Установить ступень защиты без выдержки времени с малым временем срабатывания (несколько десятков миллисекунд, это соответствует собственному времени срабатывания I- или Z-органа).

Задание 1

Анализ реакции защиты S1L1 при 1-фазных КЗ (К1, К2) на расстоянии 20% и 80% (от начала линии) длины линии L1 (К1, К2) и 20% от начала линии L4 (К3), см. рис. 6.8. Сопротивление в месте КЗ равно 0.

Анализ проводится следующим образом.

Шаг 1. Вначале устанавливаем символ КЗ на линии L1 (п. 3.6.1 и рис. 6.5).

Шаг 2. Задаём сопротивление в месте КЗ и удаление (п. 3.6.2 и рис. 6.8).

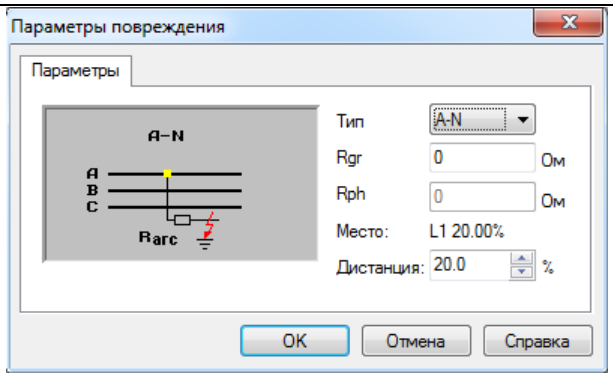
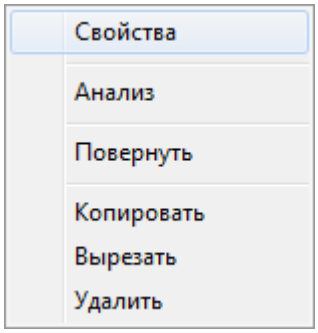


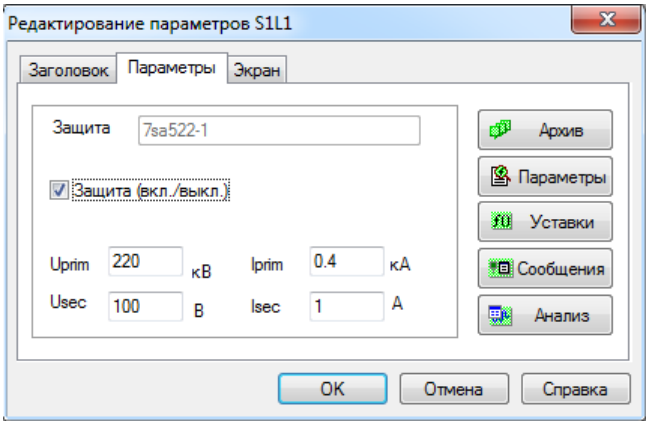
Рис. 6.8. Задание параметров КЗ

Шаг 3. Выбрать рабочее окно защиты S1L1 (рис. 6.9,a,b) и нажать кнопку *Сообщения*

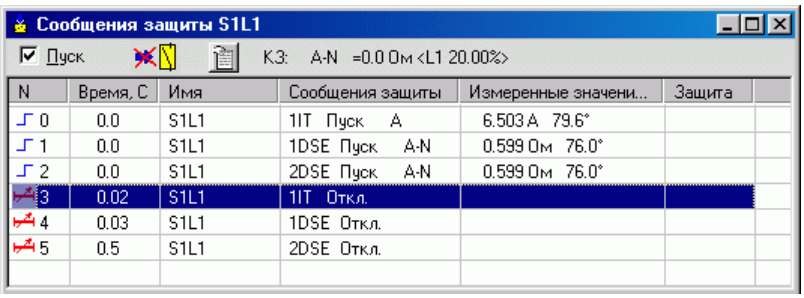
. На экране появляется таблица сообщений (рис. 6.9c).



a)



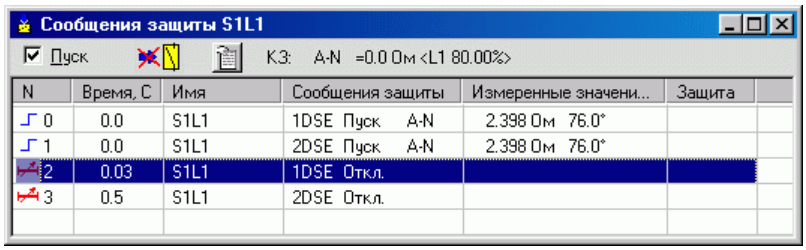
b)



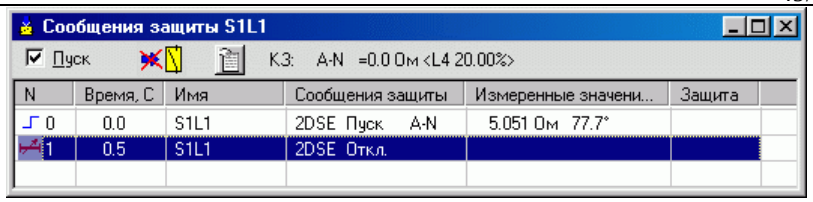
c)

Рис 6.9. Таблица сообщений для короткого замыкания К1

Как видно из сообщений рис. 6.9, все защитные функции действуют при 1-фазном КЗ К1 правильно. То же – при выборе таблицы сообщений для КЗ К2 и КЗ (рис. 6.10 a, 6.10 b).



a)

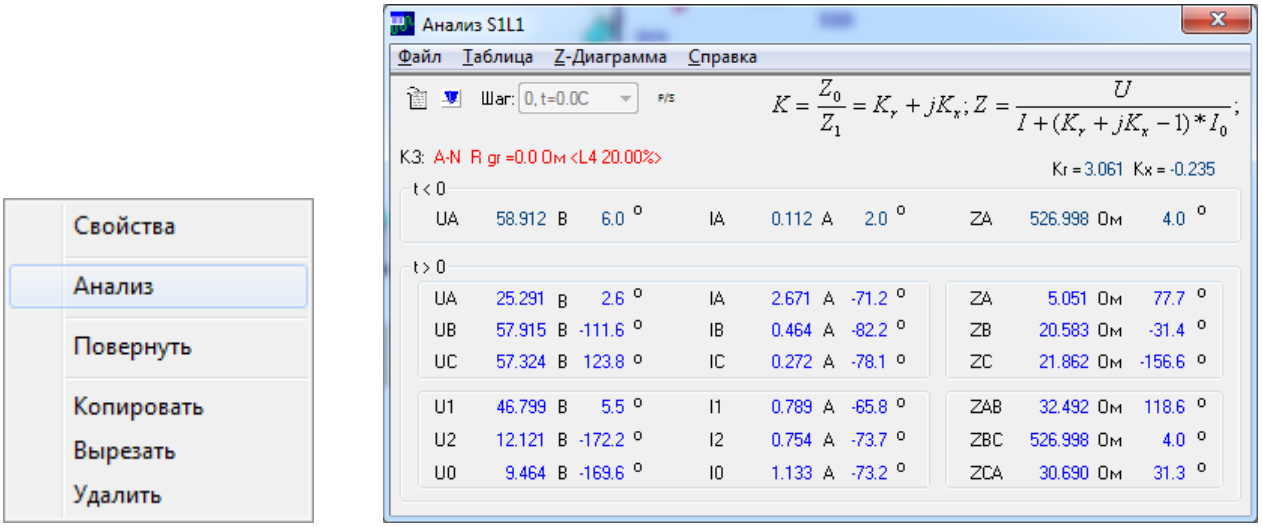


b)

Рис. 6.10. Таблицы сообщений для короткого замыкания K2 (a) и K3 (b)

Как видно из рис. 6.10a, ступень 1IT токовой защиты не срабатывает при K3 K2 (80% длины линии L1) из-за уменьшения тока K3 по сравнению с K3 K1. Достаточной чувствительностью обладает дистанционная защита. 1-я ступень охватывает 80% линии L1 (см. Приложение 4). При коротком замыкании K3 на рассматриваемой линии (20% длины линии L4) защита S1L1 не функционирует (она не посылает сообщений – рис. 6.10b).

Это же можно установить при анализе в Z-плоскости. Щёлкнув правой кнопке мыши на символе защиты S1L1 и выберем строку *Анализ*. На экране появится таблица со значениями входных величин при коротком замыкании (рис. 6.11).



a) b)

Рис. 6.11. Таблица входных величин при коротком замыкании

Для выбора окна "*Z-диаграмма*" нажмём кнопку и выберем режим *Фаза-земля* (точка в кружке вверху справа - рис. 6.12).

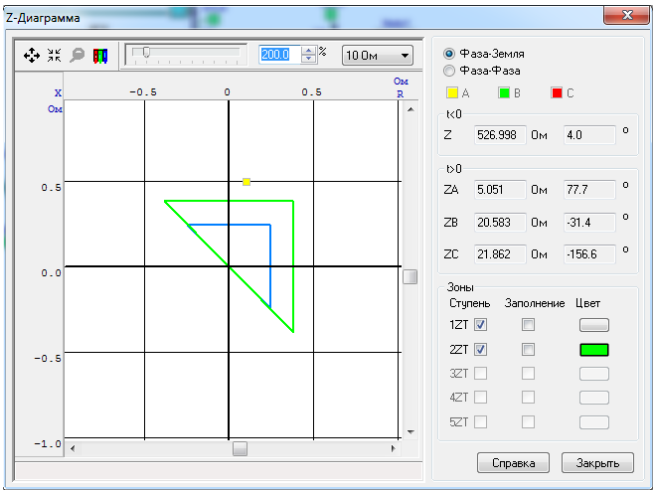


Рис. 6.12. Окно "*Z-диаграмма*"

Как видно из рис. 6.12 защита на линии L4 недостаточно чувствительна к короткому замыканию на землю, так как измеренный импеданс лежит снаружи характеристики 2-й ступени защиты.
Это происходит потому, что через место короткого замыкании дополнительно протекает ток от линии L3. Поэтому измеренный защитой импеданс увеличивается.

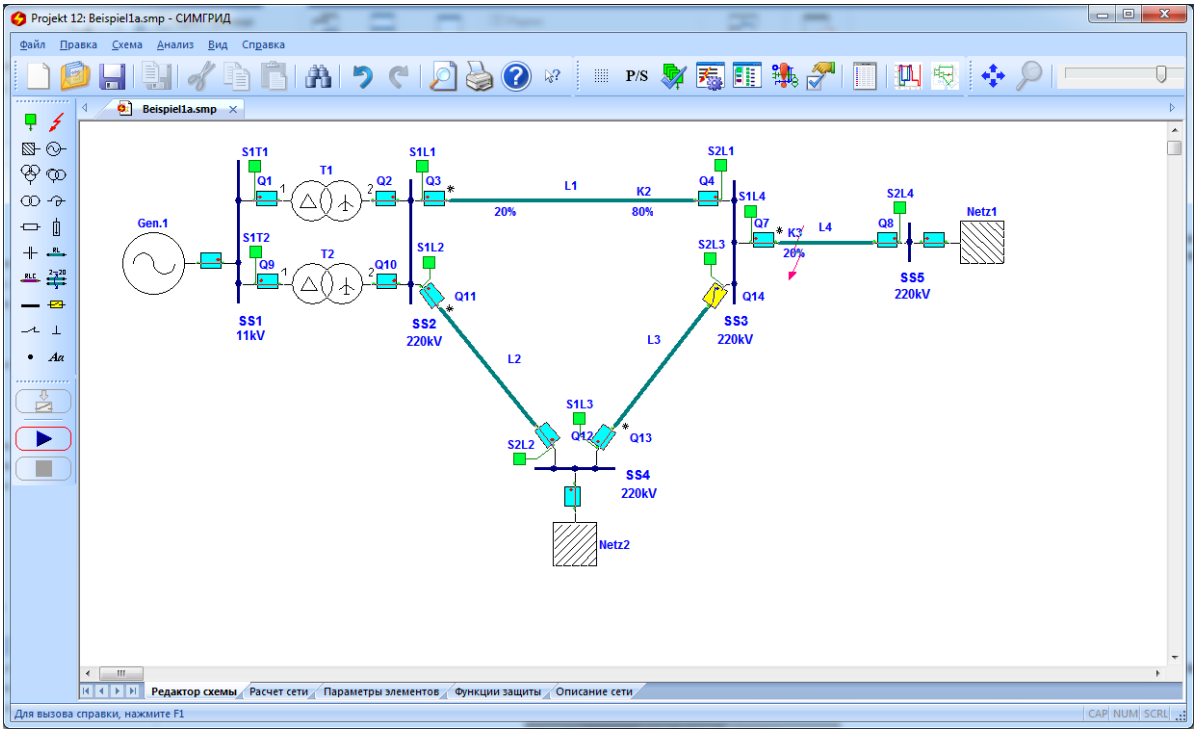


Рис. 6.13. Схема сети после отключения выключателя *Q14*

Проверим это предположение, исключив этот ток, для чего разомкнём выключатель Q14 линии L3 (метод –по п. 3.2.7). Схема сети на рис. 6.13 показывает разомкнутый выключатель Q14.
Диаграмма в Z–плоскости для этого случая при коротком замыкании K3 показана на рис. 6.14.

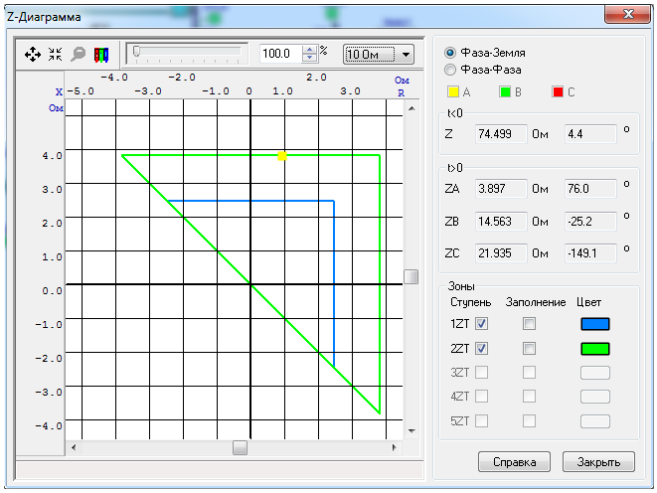


Рис. 6.14. Диаграмма в *Z*–плоскости

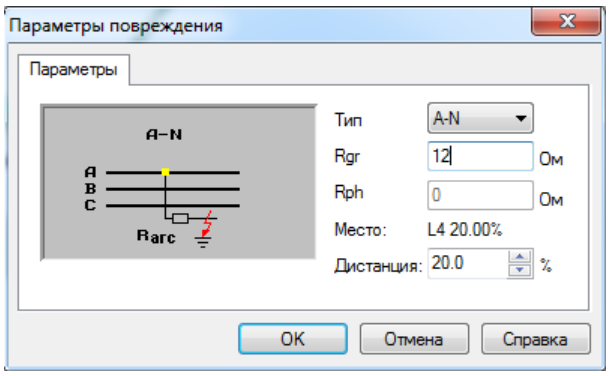


Рис. 6.15. Задание сопротивления в месте K3

Задание 2
Выбор характеристики для дистанционной ступени DSE защиты S1L1 при условии, что 1-фазное короткое замыкание (20% длины линии L4) с сопротивлением дуги 12 Ом ещё охватывается защитой.
установим короткое замыкание в точке K3 (рис. 6.5) и введём значение сопротивления дуги Rgr=12 Ом (рис. 6.15).
Проведём анализ с помощью Z-плоскости аналогично *Заданию* 1 (*Шаг 3*) и получим Z-диаграмму (рис 6.16). Как видно из рис. 6.16, 2-я ступень DSE защиты S1L1 для охвата этого вида короткого

замыкания должна иметь в качестве X-координаты значение больше 5 Ом и в качестве Y - координаты – также больше 5 Ом.

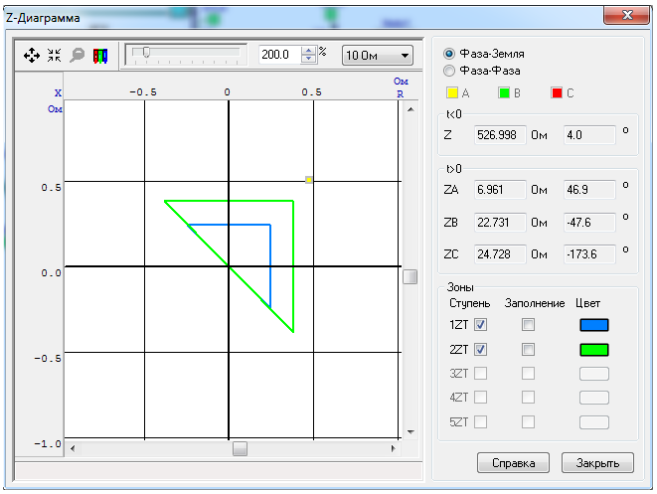


Рис. 6.16. *Z*-диаграмма

Зададим координаты характеристики как показано на рис. 6.17: X=6 Ом, R= 6 Ом.

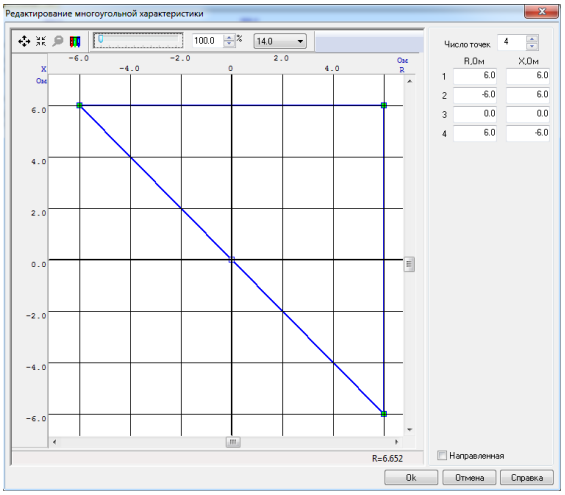


Рис. 6.17. Установка *X*- и *Y*-координат в *Z*-плоскости

Повторный запуск анализа для защиты S1L1 показывает, что с новыми уставками для 2-ступени DSE-функции защита срабатывает на отключение (рис. 6.18).

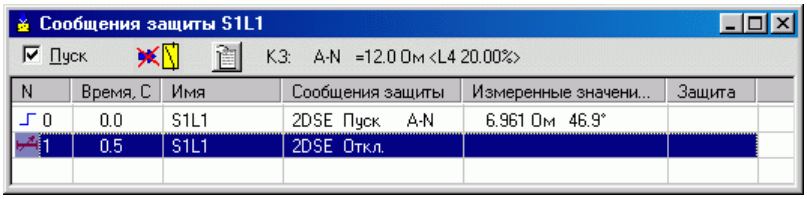


Рис. 6.18. Действие *DSE*-функции

Это подтверждается анализом в Z-плоскости (рис. 6.19).

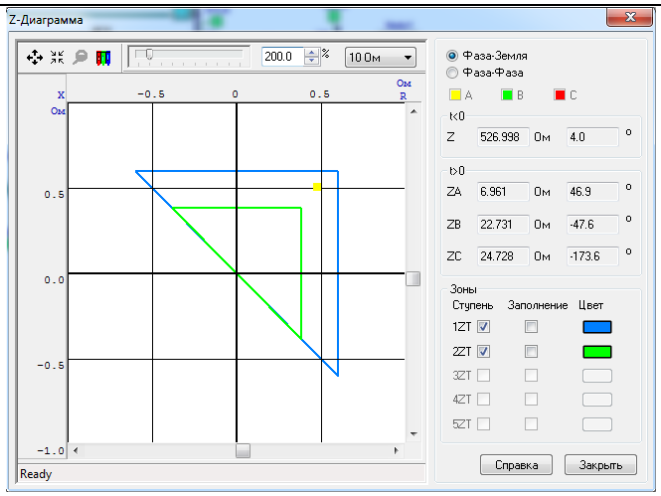


Рис. 6.19. Z-диаграмма для новых уставок *DSE*-функции

6.2.3 Одновременный анализ сообщений многих устройств защиты

Чтобы можно было анализировать сообщения всех установленных в сети устройств, нужно запустить программу кнопкой *Старт* аналогично расчёту сети по п. 4.3. После окончания расчёта появляется таблица сообщений всех установленных в сети устройств (см. Пример В.6.2, рис. 6.20). Эту таблицу можно увеличить или уменьшить при помощи мыши. Нажатием кнопки *Сообщения* вверху рабочего окна (рис. 3.1) эту таблицу можно спрятать или вызвать. Общий возврат программы выполняется кнопкой *Стоп*.

Чтобы получить результаты расчёта, нужно выполнить все упомянутые в п. 4.3 условия, которые требуются для расчёта короткого замыкания в сети.

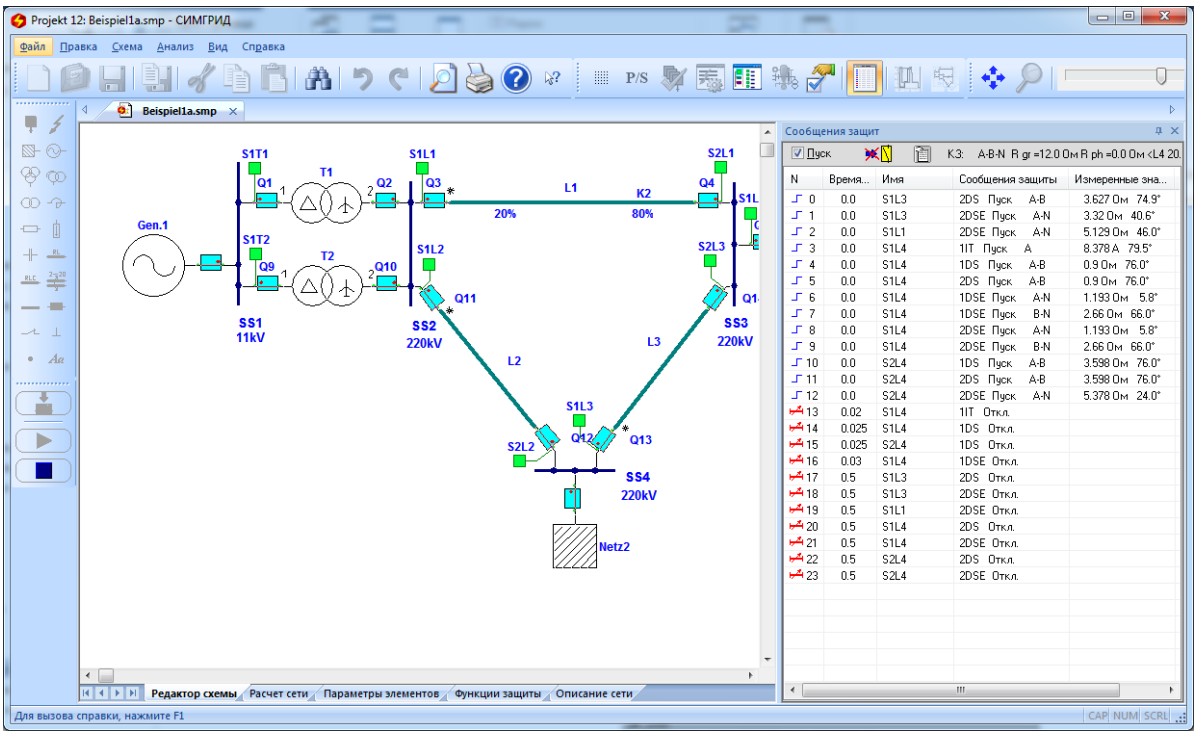
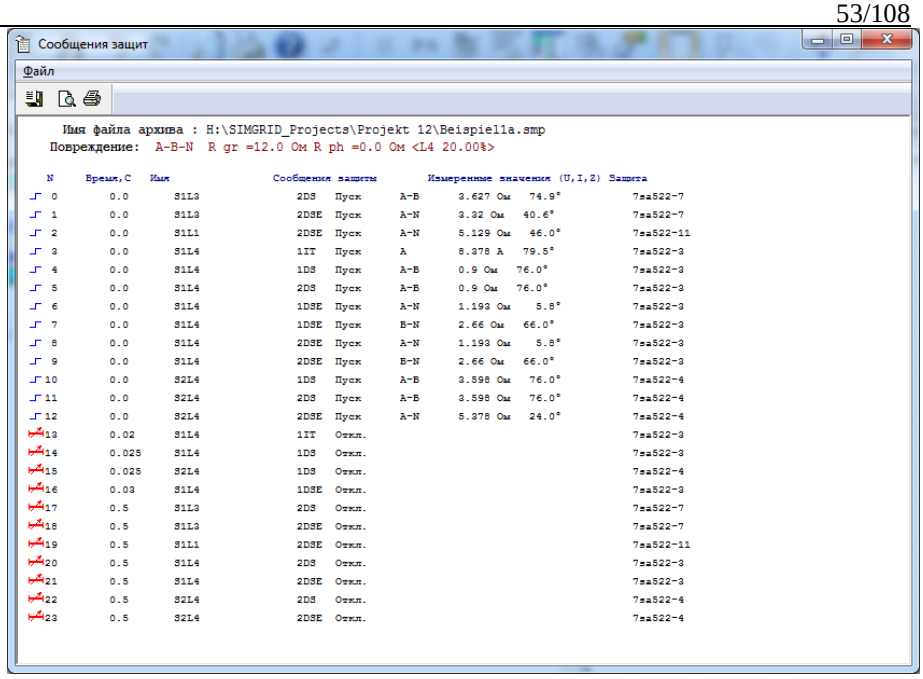


Рис. 6.20. Таблица сообщений

Для распечатки таблицы сообщений нужно нажать кнопку в шапке этого окна (рис. 6.21).



Сообщения защит

Файл

Имя файла архива : H:\SIMGRID_Projects\Projekt 12\Beispiel1a.smp
Повреждение: A-B-N R gr =12.0 Ом R ph =0.0 Ом <L4 20.00%>

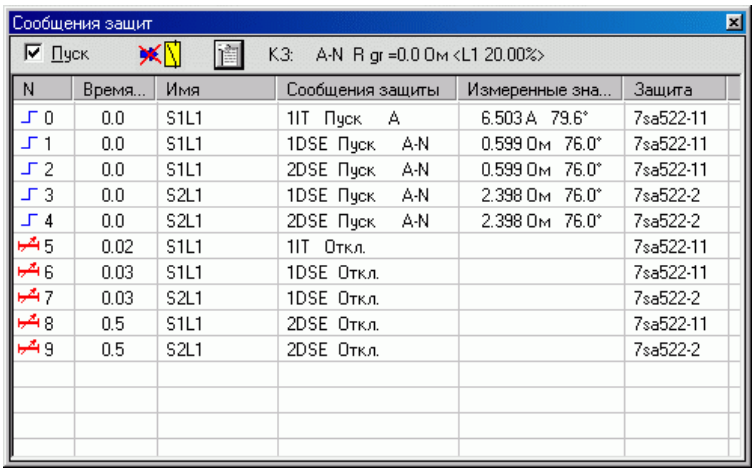
N	Время,С	Имя	Сообщения защиты			Измеренные значения (U,I,Z)		Защита
0	0.0	S1L3	2DS	Пуск	A-B	3.627 Ом	74.9°	7sa522-7
1	0.0	S1L3	2DSE	Пуск	A-N	3.32 Ом	40.6°	7sa522-7
2	0.0	S1L1	2DSE	Пуск	A-N	5.129 Ом	46.0°	7sa522-11
3	0.0	S1L4	1IT	Пуск	A	8.378 A	79.5°	7sa522-3
4	0.0	S1L4	1DS	Пуск	A-B	0.9 Ом	76.0°	7sa522-3
5	0.0	S1L4	2DS	Пуск	A-B	0.9 Ом	76.0°	7sa522-3
6	0.0	S1L4	1DSE	Пуск	A-N	1.193 Ом	5.8°	7sa522-3
7	0.0	S1L4	1DSE	Пуск	B-N	2.66 Ом	66.0°	7sa522-3
8	0.0	S1L4	2DSE	Пуск	A-N	1.193 Ом	5.8°	7sa522-3
9	0.0	S1L4	2DSE	Пуск	B-N	2.66 Ом	66.0°	7sa522-3
10	0.0	S2L4	1DS	Пуск	A-B	3.598 Ом	76.0°	7sa522-4
11	0.0	S2L4	2DS	Пуск	A-B	3.598 Ом	76.0°	7sa522-4
12	0.0	S2L4	2DSE	Пуск	A-N	5.378 Ом	24.0°	7sa522-4
13	0.02	S1L4	1IT	Откл.				7sa522-3
14	0.025	S1L4	1DS	Откл.				7sa522-3
15	0.025	S2L4	1DS	Откл.				7sa522-4
16	0.03	S1L4	1DSE	Откл.				7sa522-3
17	0.5	S1L3	2DS	Откл.				7sa522-7
18	0.5	S1L3	2DSE	Откл.				7sa522-7
19	0.5	S1L1	2DSE	Откл.				7sa522-11
20	0.5	S1L4	2DS	Откл.				7sa522-3
21	0.5	S1L4	2DSE	Откл.				7sa522-3
22	0.5	S2L4	2DS	Откл.				7sa522-4
23	0.5	S2L4	2DSE	Откл.				7sa522-4

Рис. 6.21. Распечатка полученных данных

Сам вывод таблицы на печать производится кнопкой . Выдача данных в *RTF*-формате выполняется нажатием кнопки .
Таблица сообщений (рис. 6.20) содержит как сообщения о пуске отдельных функций, так и о действии их на отключение. Если нужно получить только сообщения о действии на отключение, нужно удалить маркер из поля "*Пуск*" ☑.

Пример В 6.2

Анализ сообщений защит сети (рис. 6.5, Приложение 4) аналогично *Примеру В 6.1* с 1-фазным коротким замыканием в точке K1ли L1 (20% длины линии) и двумя значениями сопротивления дуги: Rgr=0; Rgr=12.0 Ом.
Действия: введём вначале данные короткого замыкания в сети по рис. 6.8 (Rgr=0) и нажимаем кнопку *Старт***.** При этом показывается таблица сообщений (рис. 6.22).



Сообщения защит

☑ Пуск К3: A-N R gr =0.0 Ом <L1 20.00%>

N	Время...	Имя	Сообщения защиты	Измеренные зна...	Защита
0	0.0	S1L1	1IT Пуск A	6.503 A 79.6°	7sa522-11
1	0.0	S1L1	1DSE Пуск A-N	0.599 Ом 76.0°	7sa522-11
2	0.0	S1L1	2DSE Пуск A-N	0.599 Ом 76.0°	7sa522-11
3	0.0	S2L1	1DSE Пуск A-N	2.398 Ом 76.0°	7sa522-2
4	0.0	S2L1	2DSE Пуск A-N	2.398 Ом 76.0°	7sa522-2
5	0.02	S1L1	1IT Откл.		7sa522-11
6	0.03	S1L1	1DSE Откл.		7sa522-11
7	0.03	S2L1	1DSE Откл.		7sa522-2
8	0.5	S1L1	2DSE Откл.		7sa522-11
9	0.5	S2L1	2DSE Откл.		7sa522-2

Рис 6.22. Таблица сообщений при *Rgr*=0 Ом

Подобный же расчёт, проведённый при тех же условиях, но с переходным сопротивлением Rgr=12 Ом в месте короткого замыкания, рис. 6.15, даёт следующие сообщения (рис. 6.23):

Сообщения защит

Пуск К3: A-N R gr =12.0 Ом <L1 20.00%>

N	Время...	Имя	Сообщения защиты	Измеренные зна...	Защита
0	0.0	S1L1	1IT Пуск A	5.792 A 60.4°	7sa522-11
1	0.0	S1L1	1DSE Пуск A-N	2.121 Ом 18.9°	7sa522-11
2	0.0	S1L1	2DSE Пуск A-N	2.121 Ом 18.9°	7sa522-11
3	0.02	S1L1	1IT Откл.		7sa522-11
4	0.03	S1L1	1DSE Откл.		7sa522-11
5	0.5	S1L1	2DSE Откл.		7sa522-11

Рис. 6.23. Таблица сообщений при *Rgr*=12 Ом

Из рис. 6.23 следует, что на данное короткое замыкание реагируют только токовая ступень IT и дистанционные ступени защиты S1L1, то, однако не означает, что в реальных условиях с учётом действия защит на выключатели линии она не будет отключена с другой стороны от защиты S2L1, так как после отключения выключателя Q3 от защиты S1L1 токораспределение значительно изменяется и изменяются условия для функционирования защит (см. п. 6.5 и *пример В 6.3*).
Из рис. 6.23 также видно, что при отказе защиты S1L1 или выключателя Q3 короткое замыкание не будет отключено и с противоположной стороны.

6.3 Значения токов, напряжений и импедансов короткого замыкания при многоразовом расчёте

При многоразовом расчёте учитывается, что на действия защит влияют отключения выключателей, которые вызывают изменение токораспределения в сети во время короткого замыкания. С учётом этого проводится повторный расчёт короткого замыкания для изменяющихся состояний сети в моменты времени, соответствующие отключениям отдельных выключателей.

Для установки функции *Многоразовый расчёт* нужно нажать кнопку *Режим* и для запуска расчёта – кнопку *Старт*.
Рис. 6.24 показывает сообщения защит для случая из *Примера В 6.2* - 1-фазного короткого замыкания K1 на линии L1 (20% длины линии) при сопротивлении дуги R1LE=12.0 Ом в режиме *Многоразовый расчёт*.

Сообщения защит

Пуск К3: A-N R gr =12.0 Ом <L1 20.00%>

N	Время...	Имя	Сообщения защиты	Измеренные зна...	Защита
0	0.0	S1L1	1IT Пуск A	5.792 A 60.4°	7sa522-11
1	0.0	S1L1	1DSE Пуск A-N	2.121 Ом 18.9°	7sa522-11
2	0.0	S1L1	2DSE Пуск A-N	2.121 Ом 18.9°	7sa522-11
3	0.0	S2L1	2DSE Пуск A-N	5.367 Ом 26.9°	7sa522-2
4	0.02	S1L1	1IT Откл.		7sa522-11
5	0.02	S2L1	1IT Пуск A	4.731 A 66.4°	7sa522-2
6	0.02	S2L1	1DSE Пуск A-N	3.033 Ом 51.9°	7sa522-2
7	Повто...	S2L1	2DSE Пуск A-N	3.033 Ом 51.9°	7sa522-2
8	0.04	S2L1	1IT Откл.		7sa522-2

Рис. 6.24. Сообщения защит

Сравнение сообщений на рис.6.23 (тот же случай, но – без многоразового расчёта) и на рис.6.24 показывает, многоразовый расчёт даёт теперь правильную информацию, так как при этом

учитываются изменения состояния сети, которые возникают при действии защит на выключатели. В этом случае вначале пускаются ступени 1IT, 1DSE, 2DSE защиты S1L1 и через 0,02 с от защиты S1L1 (ступень 1IT) отключается выключатель Q3. После отключения выключателя Q3 (t=0,02 с) из-за изменения токораспределения в сети и уменьшения тока через сопротивление дуги в месте короткого замыкания пускаются ступени 1IT, 1DSE, 2DSE защиты S2L1 (рис. 6.24) и после выдержки времени ступени IT от защиты S2L1 отключается выключатель Q4.

После нажатия кнопки *Расчёт сети* (внизу рабочего окна) появляется таблица с расчётными значениями входных величин для каждого устройства защиты в нормальном режиме и для каждого момента времени, когда отключается какой-либо выключатель (рис. 6.25):

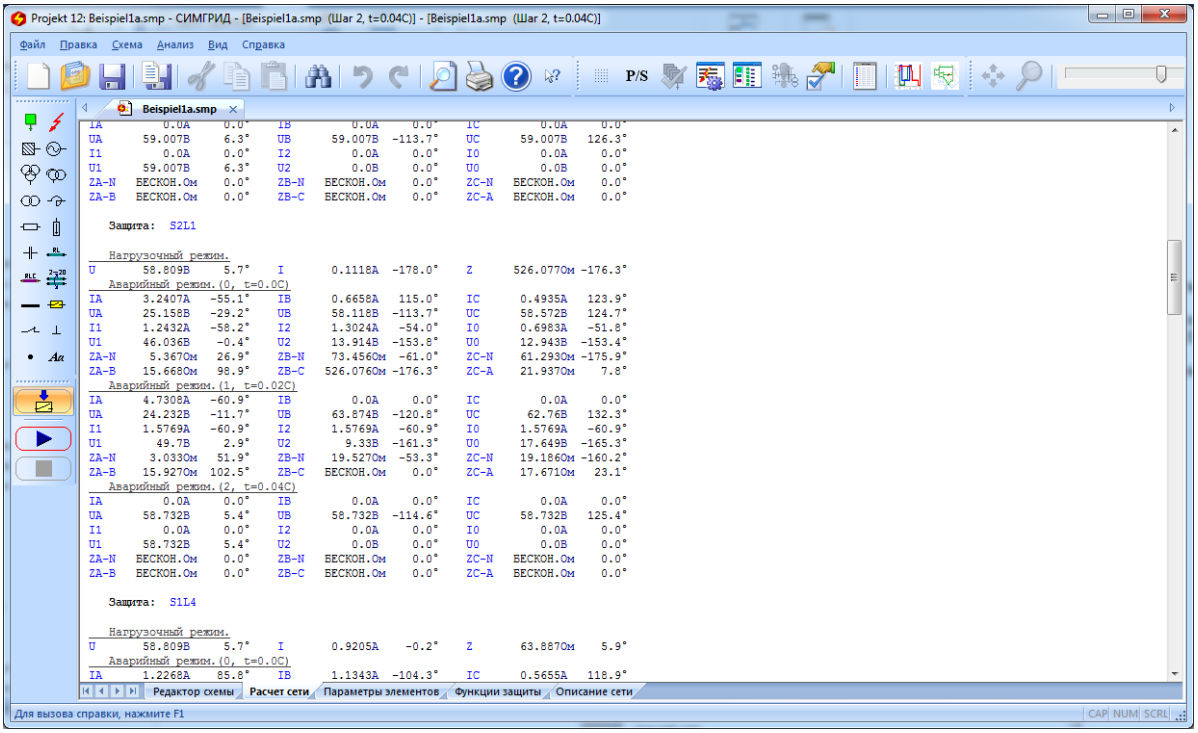


Рис. 6.25. Таблица с расчётными значениями входных величин

Ток I_A=3,24 А и импеданс Z_{AN}=5,37∠27° Ом достаточны для пуска ступени защиты S2L1 при коротком замыкании. После отключения выключателя Q3 (t=0.02 с.) ток увеличивается до 4,7 А, импеданс, напротив, падает до 3,03∠52° Ом, благодаря чему появляется возможность отключения линии с противоположного конца (рис. 6.24).

После нажатия кнопки и затем кнопки сообщения будут распечатаны. Распечатка значений входных величин выполняется прямым нажатием кнопки . Перекодировка сообщений и значений входных величин в *RTF*-формат выполняется при нажатии кнопки .

6.4 Анализ отдельной защиты при многоразовом расчёте

6.4.1 Сообщения защиты

Для просмотра сообщений одной отдельной защиты при многоразовом расчёте нужно вызвать рабочее окно защиты (п. 5.2) и нажать кнопку *Сообщения* (рис. 6.26 для защиты S2L1).

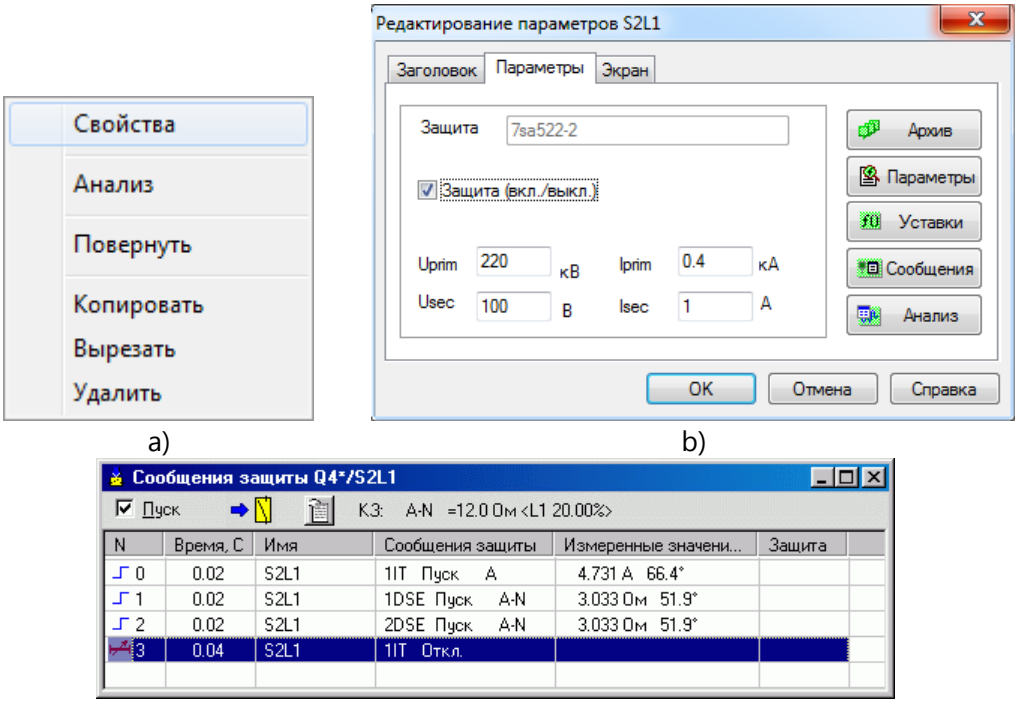


Рис. 6.26. Просмотр сообщений одной отдельной защиты

В таблице показываются сообщения только для моментов времени пуска или срабатывания ступени соответствующей защиты (рис. 6.26c).

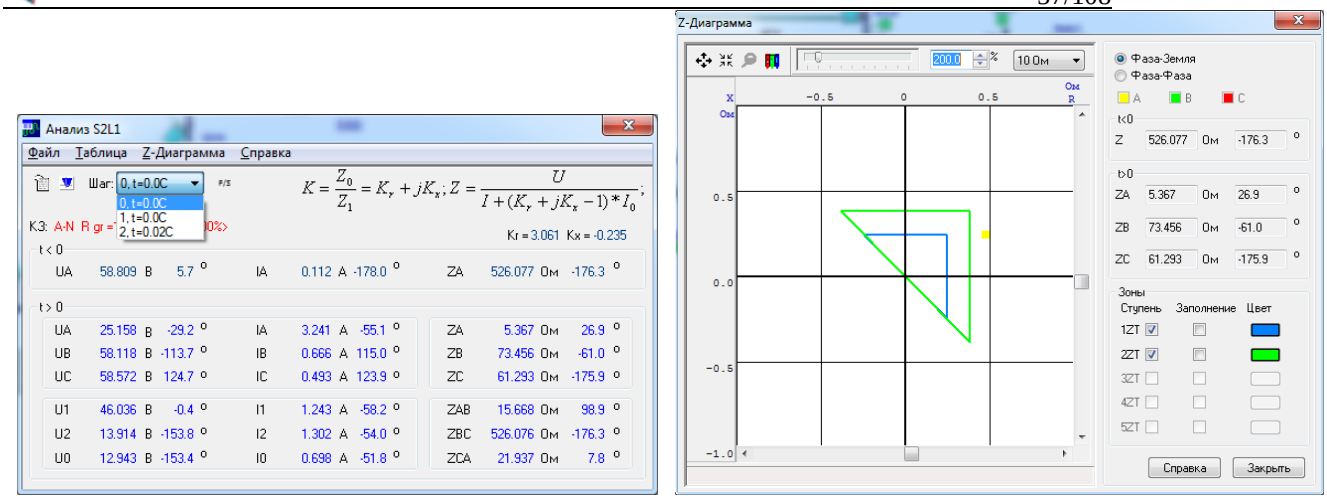
6.4.2 Измеряемые величины при коротком замыкании и анализ в Z-плоскости

Анализ значений входных величин и Z-плоскости выполняется так же, как при однократном расчёте, с тем, однако, различием, что имеется несколько таблиц входных величин и несколько Z-плоскостей, число которых равно числу отключений выключателей при коротком замыкании в сети.

Вначале нужно вызвать таблицу значений входных величин, щёлкнув правой кнопкой мыши по символу защиты и затем вызвать *Анализ* (п. 6.2.2, рис. 6.2).

Рассмотрим далее для примера случай 1-фазного короткого замыкания K1, Rgr=12 Ом, который был проанализирован в предыдущем разделе (рис. 6.24), особенно в части анализа защиты S2L1 (выключатель Q4).

С помощью поля „*Шаг*“ в таблице значений входных величин выберем нужный момент времени переключения в сети и получим входные величины в месте установки защиты для выбранного момента (рис. 6.27a). С помощью кнопки вызовем соответствующую Z-диаграмму.



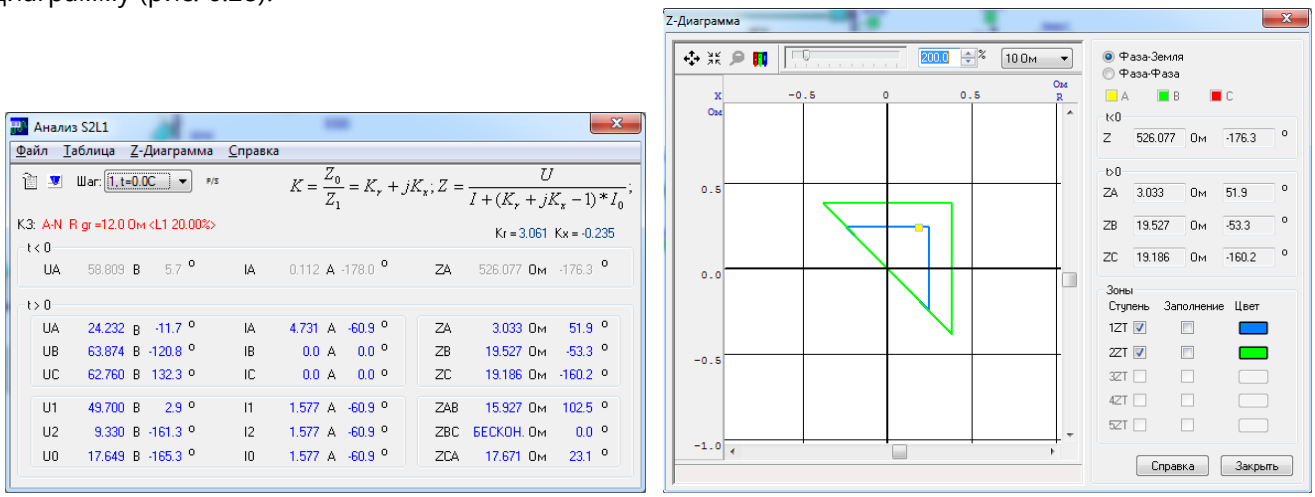
a) b)

Рис. 6.27. Z-диаграмма для момента начала короткого замыкания (t=0)

Значения входных величин на рис. 6.27a согласуются с расчётной таблицей для защиты S2L1 (рис. 6.25) в момент времени t=0.0.

Диаграмма в Z-плоскости (рис. 6.27,b), которая вызывается нажатием кнопки в окне рис. 6.27,a, показывает, что измеренный импеданс лежит вне характеристик ступеней дистанционных защит 1DSE и 2DSE защиты S2L1.

Выберем шаг t=0,02 с. (момент вребмени после отключения выключателя Q3 защитой S1L1 в соответствии с сообщением на рис. 6.24) и откроем следующие значения входных величин и Z-диаграмму (рис. 6.28).



a) b)

Рис. 6.28. a) Таблица значений входных величин для шага t=0,02 с.; b) Z-диаграмма

После отключения выключателя Q3 происходит, в соответствии с изменившимся токораспределением, пуск ступеней IT, 1DSE, 2DSE (см. также список сообщений на рис. 6.24 и таблицу на рис. 6.25). Защита S2L1 (IT-ступень) срабатывает с выдержкой времени 0,02 с. на отключение (рис. 6.24). Общее время от начала короткого замыкания равно 0,04 с. После отключения выключателя Q4 ток короткого замыкания через защиту прекращается (рис. 6.29, выбранный шаг t=0,04 с).

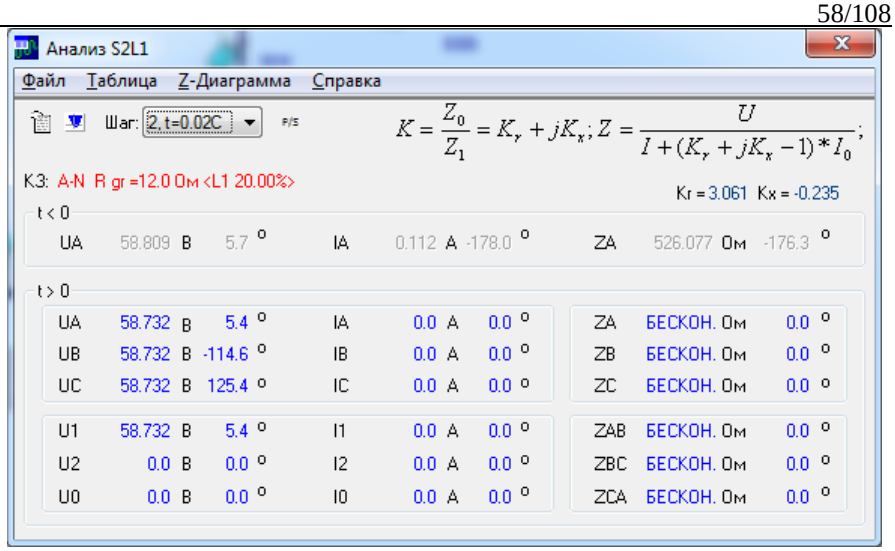


Рис. 6.29. Таблица значений входных величин после отключения выключателя *Q4*

подобным же образом проводится анализ поведения защит в сети с большим числом устройств защиты.

Состояние сети в любой момент времени можно просмотреть, выбирая левой кнопкой мыши нужную строку в таблице сообщений (рис. 6.30a; 6.30b). Так выбранные в таблице сообщений момент времени t=0.02 с. (рис. 6.30a) и t=0,04 с. (рис. 6.30b) соответствуют отключениям выключателей в эти моменты.

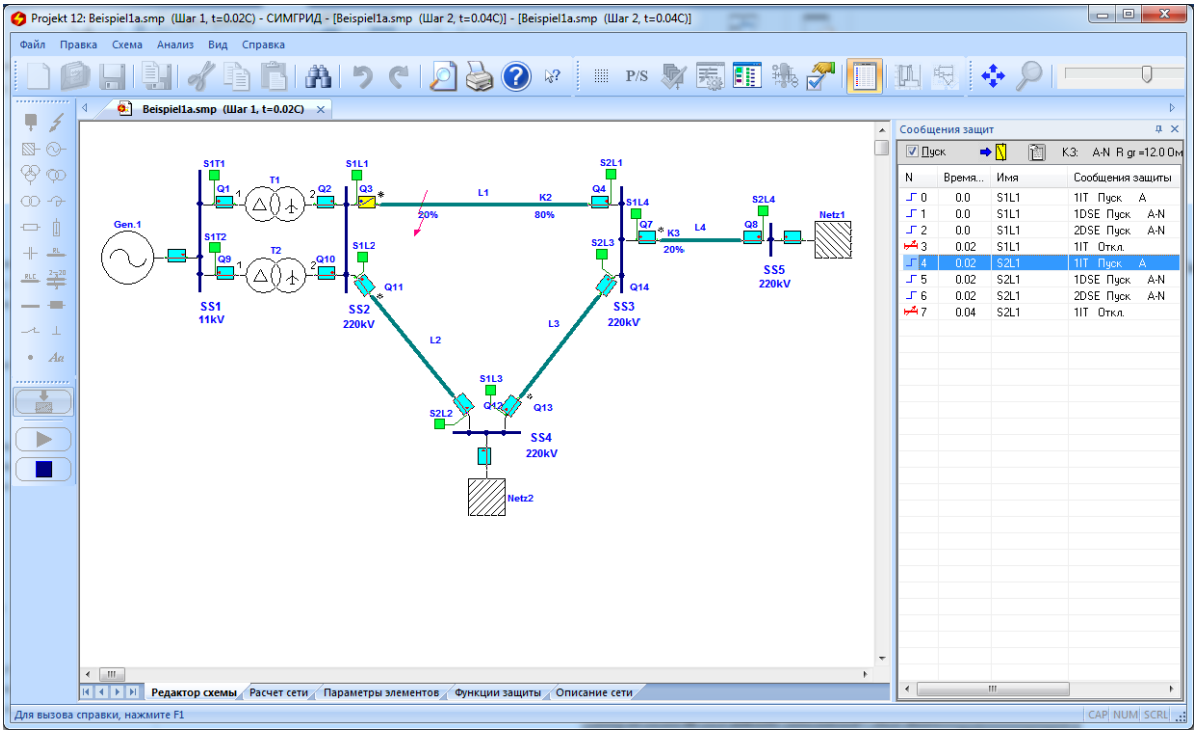


Рис. 6.30,a) Состояние сети в момент времени t=0.02 с;

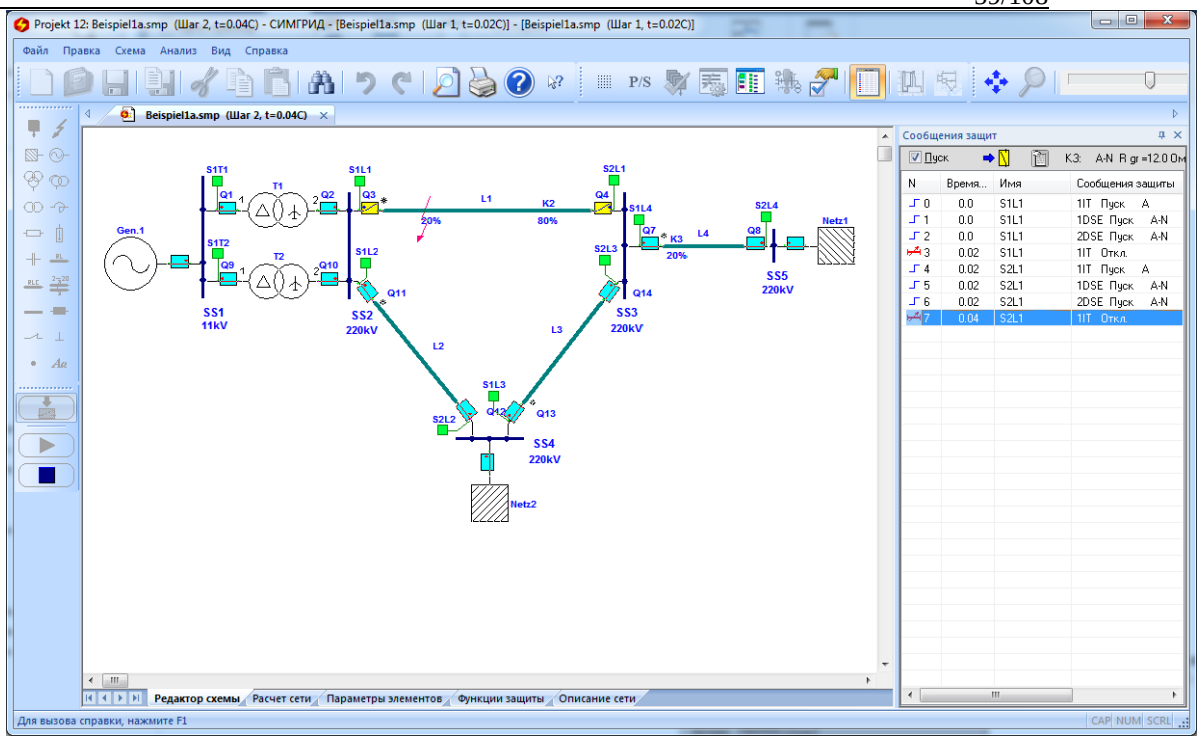


Рис. 6.30,b) Состояние сети в момент времени t=0.04 с.

6.5 Проверка резервирования релейной защиты в сети

Функция *Многоразовый расчёт* позволяет проверить функцию резервирования релейной защиты в сети, которая обычно вступает в действие при отказе выключателя или собственной защиты элемента сети. Моделируется полный отказ защиты, для чего нужно вывести защиту из работы, удалив маркер в поле *„Защита Вкл./Выкл.“* (рис. 6.31).

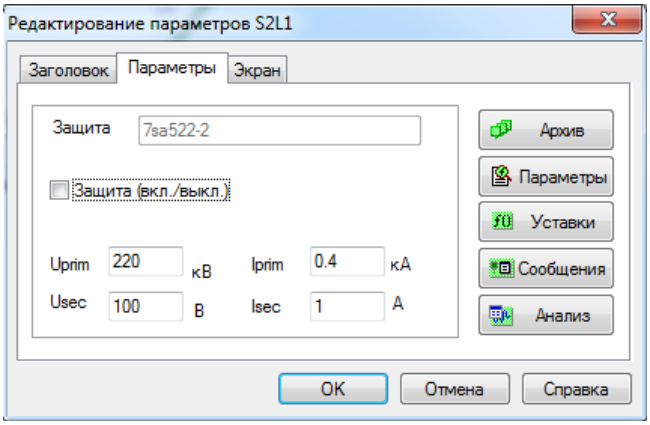


Рис. 6.31. Моделирование полного отказа защиты

Пример В 6.3

Проверка функции резервирования в сети по рис. (см. Приложение 4 при 1-фазном коротком замыкании K2 (80% длины линии L1)) при отказе защиты S2L1 или выключателя Q4.

Шаг 1. Задать параметры короткого замыкания в сети (см., например, рис. 6.8).

Шаг 2. Вывести из работы защиту S2L1 путём удаления маркера в поле " *Защита Вкл./Выкл.*" – рис. 6.31.

Изображение защиты S2L1 в общей схеме меняется (рис. 6.32) – символ защиты становится неокрашенным.

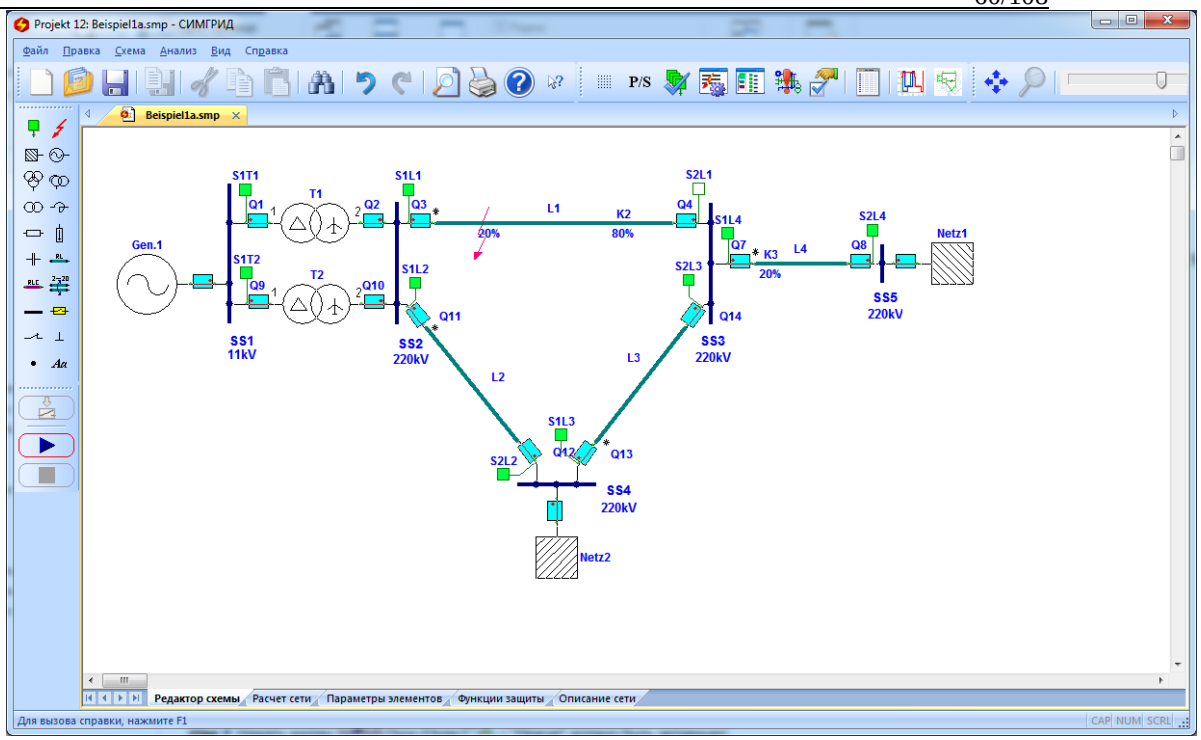


Рис. 6.32. Схема сети с выведенной защитой *S2L1*

Шаг 3. Нажать кнопку *Пуск* (Поле "*Режим*" должно быть активным).
Появляется таблица сообщений для схемы с отключенным выключателем - рис. 6.33.

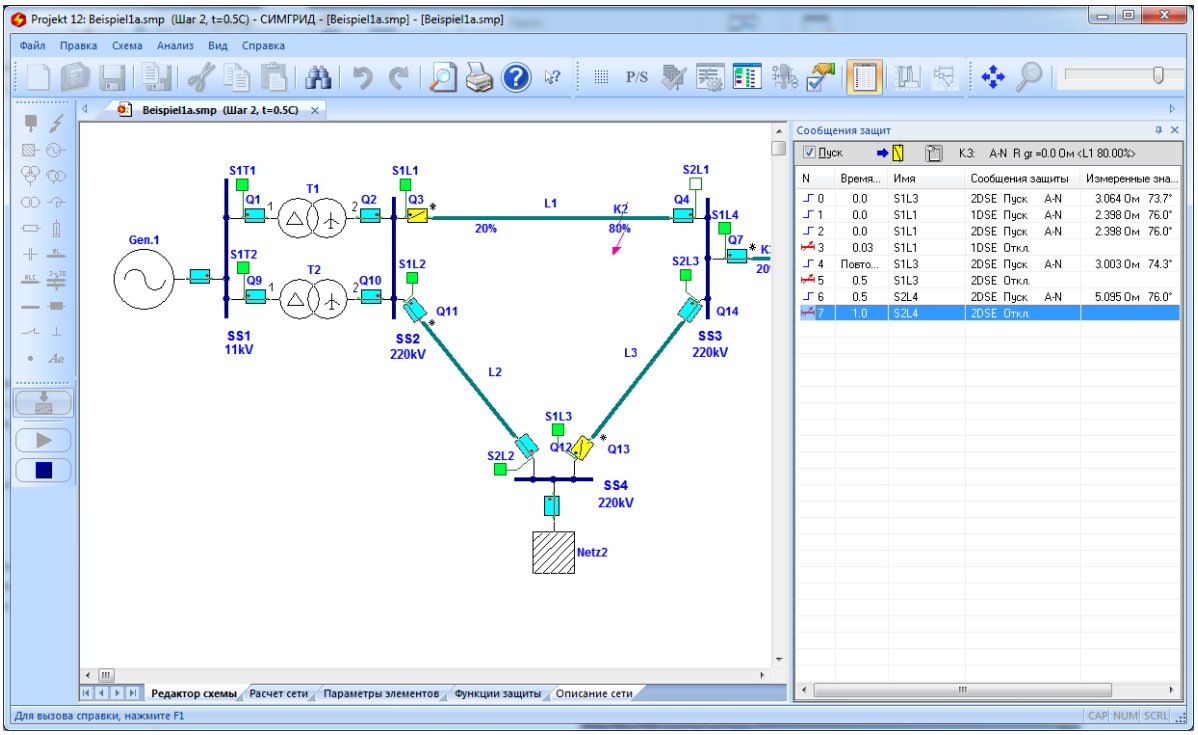


Рис 6.33. Схема с отключенным выключателем и таблица сообщений

Увеличим окно таблицы сообщений мышью (рис. 6.34) или щёлкнув кнопку .

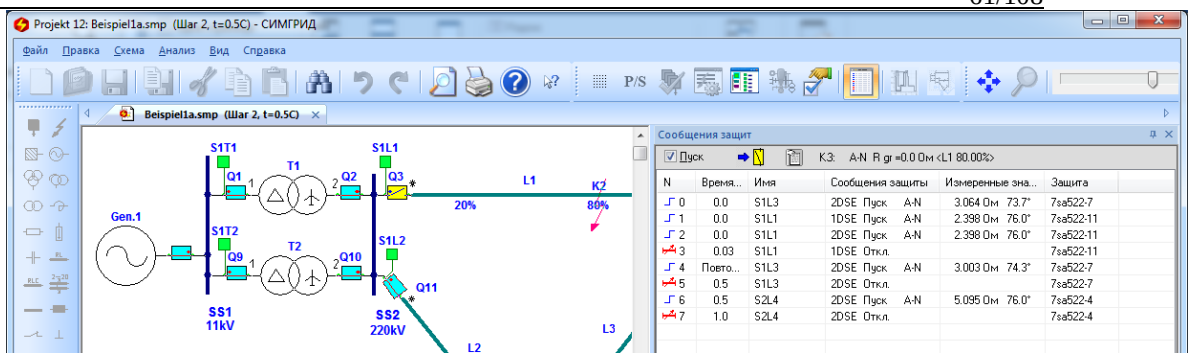


Рис. 6.34. Увеличение окна таблицы сообщений мышью

Вернёмся назад в редактор (вновь нажать кнопку) и выведем на экран схему сети с тремя отключенными выключателями Q3 (S1L1), Q8 (S2L4) и Q13 (S1L3) – рис. 6.35.

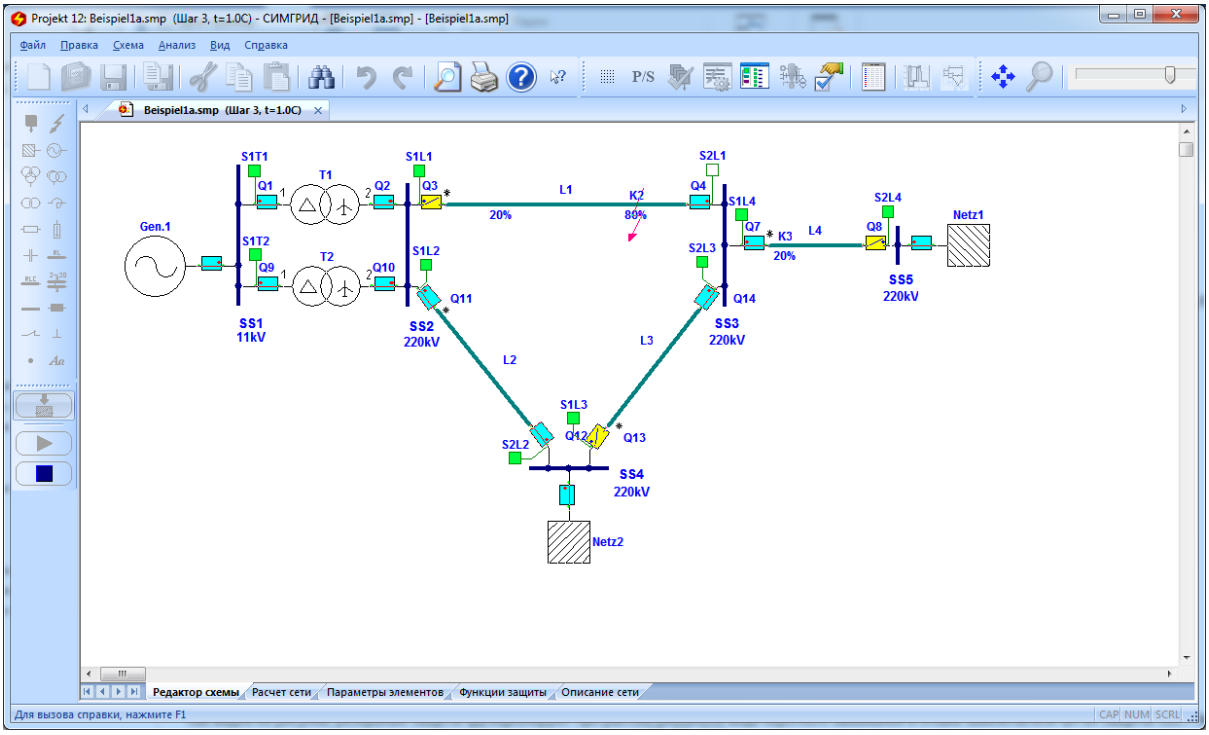


Рис. 6.35. Схема сети с тремя отключенными выключателями

Как видно из рисунка, резервные защиты функционируют при рассматриваемом виде короткого замыкания и отказе выключателя Q4 ил защиты S2L1 безошибочно и изолируют место короткого замыкания от источников питания путём отключения выключателей Q3, Q8, Q13.
Таблица сообщений (рис. 6.34) позволяет проследить этот процесс более подробно.
В первый момент времени пускаются ступени 1DSE, 2DSE защиты S1L1 и ступень 2DSE защиты S1L3. Действие ступени 1DSE защиты S1L1 приводит с выдержкой времени 0.03 с. к отключению выключателя Q3 (сообщение 3). После отключения Q3 остаётся пущенной ступень 2DSE защиты S1L3 (сообщение 4), после истечения выдержки времени этой ступени (0,5 с.) отключается выключатель Q13 (сообщение 5). После отключения Q13 возникает новое распределение входных величин защит, которое приводит к пуску ступени 2DSE защиты S2L4 (сообщение 6). После истечения выдержки времени 0,5 с. этой ступени (время с момента возникновения короткого замыкания - 1,0 с.) отключается выключатель Q8 (сообщение 6). Состояние сети изменяется, как показано на рис. 6.35.

7. Распечатка схемы

Программа СИМГРИД является полноценным Windows-приложением. Она может использовать все

возможности, которые операционная система представляет для выдачи данных на принтер или плоттер.
Если формат бумаги у принтера меньше, чем размер схемы, то программа автоматически разбивает схему на несколько печатных страниц. Располагая в правильном порядке распечатанные страницы, пользователь получает полную схему и может таким путём решить задачу выдачи большой схемы на малоформатный печатающий прибор.

Выберите в меню файла строку *Печать* или нажмите кнопку на панели инструментов, чтобы получить бумажную распечатку схемы.

7.1 Режим просмотра страницы

Перед распечаткой схемы имеет смысл посмотреть её изображение в режиме просмотра страницы, чтобы таким образом заранее получить реальную картину распечатки. В случае необходимости пользователь может изменить масштаб для печати. В режиме просмотра страницы расчёт и моделирование схемы невозможны.

Выберите в меню *Файл* команду *Режим просмотра страницы* или нажмите кнопку на панели инструментов, чтобы активировать этот режим.
После изменения в режиме просмотра страницы изменяется строка меню, панель инструментов и представление схемы в главном окне.
На экране возникает изображение листа бумаги. Если размер бумаги у активного принтера меньше, чем изображённая на экране схема, программа сама автоматически пересчитывает число необходимых для печати страниц.
Панель управления этого окна содержит следующие кнопки:
*Печать***.** Эта кнопка вызывает диалоговое окно " *Печать* ".
Влево. При многостраничном представлении схемы эта кнопка смещает экран на одну страницу влево.
Вправо. При многостраничном представлении схемы эта кнопка смещает экран на одну страницу вправо.
Вверх. При многостраничном представлении схемы эта кнопка смещает экран на страницу, которая расположена сверху текущей страницы.
Вниз. При многостраничном представлении схемы эта кнопка смещает экран на страницу, которая расположена снизу текущей страницы.
Одна страница. В режиме просмотра страницы показывается только одна страница.
Две страницы. В режиме просмотра страницы показывается только две страницы.
и *Увеличение и Уменьшение*. Увеличивает и уменьшает масштаб представления схемы в режиме просмотра страницы для лучшего обозрения.
100% *Масштаб предварительного просмотра*. Задание масштаба (от 10 до 300 %) для увеличения или уменьшения изображения схемы.
Выход *Выход*. Эта кнопка закрывает окно предварительного просмотра. Программа возвращается назад в нормальный рабочий режим.

7.2 Выбор и установка принтера (плоттера)

Программа СИМГРИД позволяет выдать схему на печать через любой принтер или плоттер, для которого имеется в наличии Windows-драйвер. Драйвер входит в комплект поставки прибора. Информация об инсталляции драйвера на компьютер можно найти в документации на печатающее устройство.
Параметрирование принтера или плоттера производится в следующей последовательности:
1. Вызовите команду *Установка печати* в меню *Файл*. Или нажмите кнопку *Свойства* в диалоговом

окне *Печать*.
2. В появившемся на экране диалоговом окне со списком печатающих устройств выберите наименование имеющегося в вашем распоряжении принтера или плоттера.
3. Выберите нужный формат бумаги и настройки.
4. Выберите нужную подачу бумаги для печати.
5. Если нужно задать настройку различных параметров печати (тени, интенсивность и т.д., конкретные параметры зависят от типа печатающего устройства) нажмите кнопку *Опции* для вызова окна системного диалога для драйвера соответствующего устройства.
6. Закройте диалог, нажав кнопку *OK*, и печать будет выполнена.

8. Ступенчатая характеристика защиты

8.1 Область применения

Пользователь имеет возможность проверить согласование уставок отдельных устройств защиты в сети заданной конфигурации при помощи пункта меню "*Ступенчатая характеристика*".
Программа "*Ступенчатая характеристика*" предоставляет пользователю следующие возможности:

- Исследование произвольно выбранной цепи в сети заданной конфигурации (на базе непрерывной цепи элементов схемы "*Цепь*" систематически исследуется реакция устройств защиты на повреждения в различных точках сети).
- Выбор места и вида КЗ, ширины шага перемещения места КЗ при исследовании, а также сопротивления в месте КЗ, которые должны быть установлены для построения ступенчатой характеристики.
- Оценка действия ступеней защиты с помощью программно задаваемых мест КЗ. В каждой точке ступенчатой характеристики рассчитываются величины на входе защиты.
- Показ ступенчатой характеристики и в графической и табличной форме.
- Формирование и распечатка
- протокола характеристики.

Окно «Ступенчатая характеристика», вызывается из главного меню программы *Анализ* -> *Ступенчатая характеристика* или щелчком на функциональной кнопке в ряду кнопок *Опции*.
В результате рабочее окно программы разделяется горизонтально на 2 части. Рабочее окно редактора смещается вниз, вверху открывается вышеупомянутое окно «Ступенчатая характеристика» (рис. 8.1). Оно состоит из верхней части - панели управления и нижней, разделенной на 2 половины. В левой половине размещается диаграмма ступенчатой характеристики, а в правой - таблица.

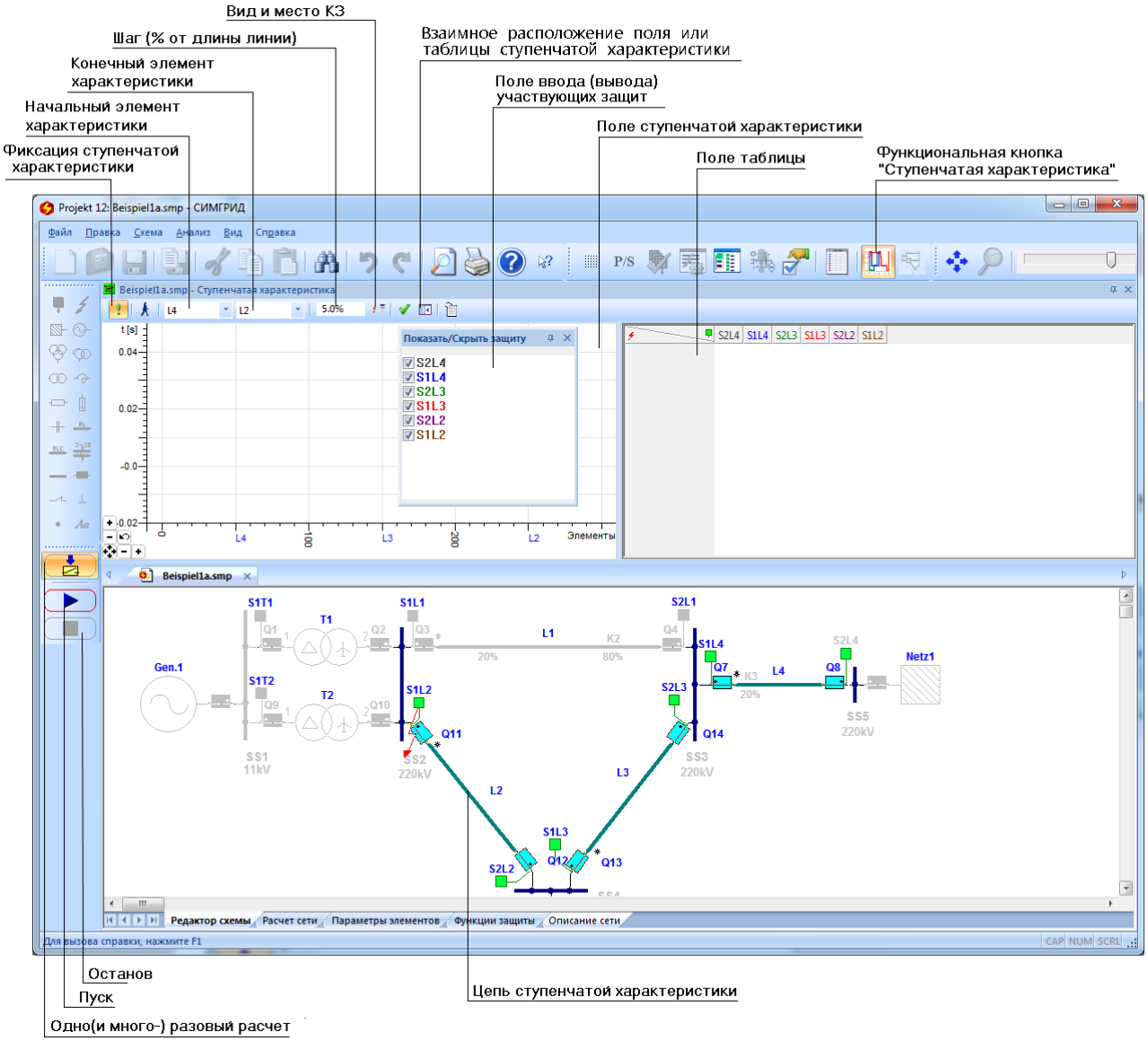


Рис. 8.1. Окно "Ступенчатая характеристика"

8.2 Фиксация "Цепи"

Фиксация выбранной цепи проводится в следующей последовательности (см. рис. 8.2):

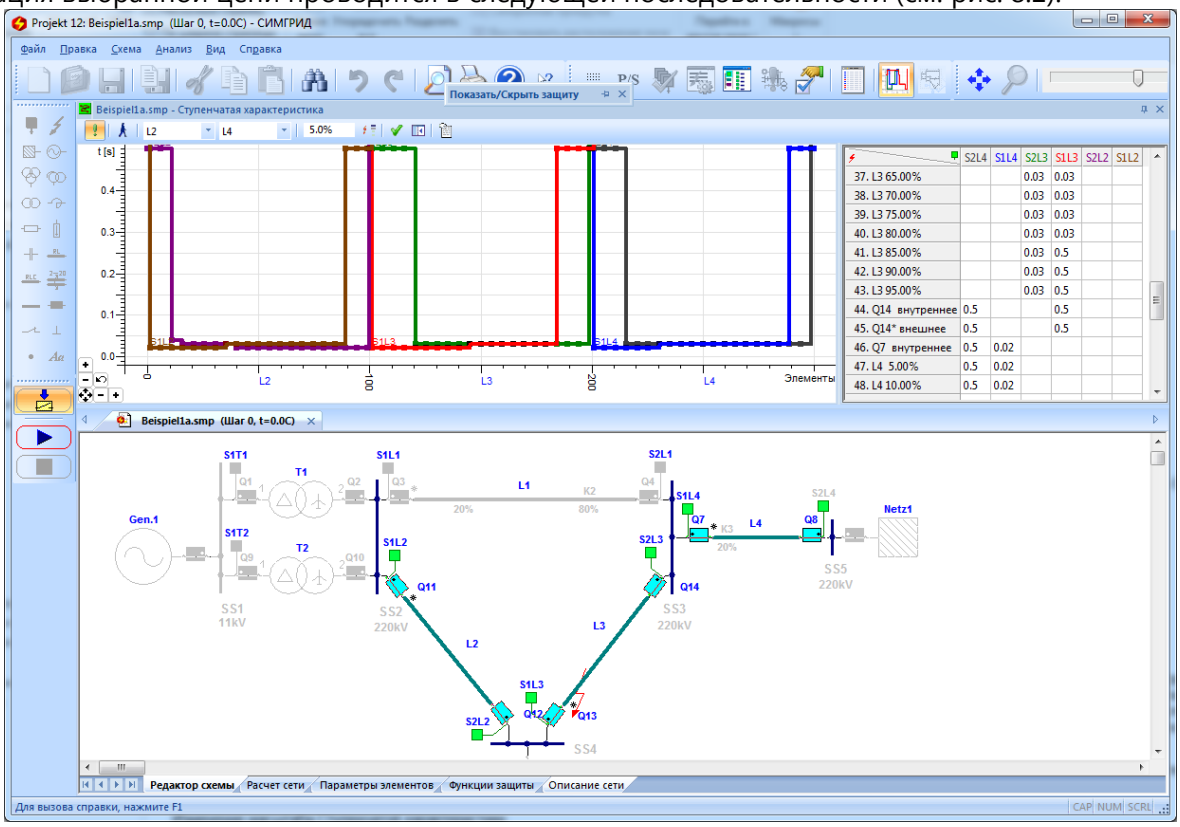


Рис 8.2. Расчёт ступенчатой характеристики (цепь *L2*, *L3*, *L4*)

- В нижней части рабочего окна путем поочередного нажатия левой кнопкой мыши на отдельные элементы выделяем необходимую для анализа цепь (элементы *Цепи* окрашиваются в красный цвет; для отмены выделения – снова нажать левой кнопкой мыши на выделенный элемент).
- Нажимаем кнопку „*Фиксация Цепи*" .
- Выбираем в выпадающих списках начальный и конечный элемент цепи (рис. 8.1).
- Выбираем шаг прохождения цепи.в %.
- Выбираем вид КЗ и сопротивление в месте КЗ (кнопка).
- Выбираем режим работы программы (одно- или многоразовый расчёт - см. пример В6.1).

8.3. Ступенчатая характеристика защиты

Построение ступенчатой характеристики запускается кнопкой "*Пуск*" . Рассчитываются времена отключения для каждого случая КЗ и каждого устройства защиты. Представленные на диаграмме кривые выполняются точками разных цветов для разных устройств защиты (рис. 8.2). Последовательно маркируются в цепи различные места КЗ и автоматически производятся вычисления. Для каждого элемента принимаются места КЗ в начале и в конце элемента. На линиях предусматриваются дополнительные места КЗ в соответствии с выбранным шагом.
Пользователь имеет возможность открыть для просмотра уже рассчитанные ступенчатые характеристики отдельных устройств защиты. Для этого нужно отметить соответствующие устройства защиты в поле "*Характеристику показать/скрыть*".

Пользователь имеет возможность временно прервать тест, щёлкнув кнопку "Пауза" или остановить проверку кнопкой "Стоп" для дополнительного анализа пройденных этапов проверки.

Изменение масштаба Ступенчатой характеристики

Чтобы изменить масштаб любой части *Ступенчатой характеристики*, нужно нажать левую кнопку мыши и, удерживая её, перемещать курсор так, чтобы охватить заданную часть характеристики. После отпускания кнопки мыши изображение изменится так, что целое выделенная часть диаграммы займёт полное окно.
Можно также управлять масштабом диаграммы, щелкая функциональные кнопки в левом нижнем углу окна диаграммы.

- Кнопки изменения масштаба по оси Y
- Кнопки изменения масштаба по оси X
- Кнопка для представления в окне полного изображения диаграммы
- Кнопка отмены последнего действия.

Если нужно рассмотреть фрагмент диаграммы вне текущих пределов окна, нужно использовать вертикальный и горизонтальный скроллеры. Они появляются в окне диаграммы в основе справа и внизу при увеличении масштаба. Для перемещения изображения в окне щелкните кнопки со стрелками по краям скроллеров. Можно также использовать бегунок на скроллере.

Использование контекстных меню

Использование контекстных меню позволяет упростить много операций при анализе ступенчатой характеристики.
Контекстные меню появляются на экране при щелчке правой кнопки мыши. Структура контекстного меню изменяется в зависимости от положения курсора "мыши" в окне. Например, если курсор находится на любой точке диаграммы ступенчатой характеристики, при щелчке правой кнопкой мыши, появляется следующее меню:

8.4 Дополнительные возможности анализа с помощью функции "*Ступенчатая характеристика*"

8.4.1 Анализ по ступенчатой характеристике

8.4.1.1. Сообщения защит

Анализ поведения защит на выбранной цепи проводится в следующей последовательности:

- Подвести курсор мыши к выбранной точке ступенчатой характеристики. На дисплее возникает сообщение о названии защиты, номере теста, месте повреждения, времени отключения.
- При однократном нажатии левой кнопки мыши, установленной на выбранной точке ступенчатой характеристики, в таблице "Ступенчатая характеристика" справа возникает соответствующая

строка, характеризующая действие отдельных защит при выбранном одиночном тесте.

- При двукратном нажатии левой кнопки мыши, установленной на выбранной точке "*Ступенчатой характеристики*" программа выдает таблицу сообщений защиты при выбранном одиночном тесте (рис. 8.3).

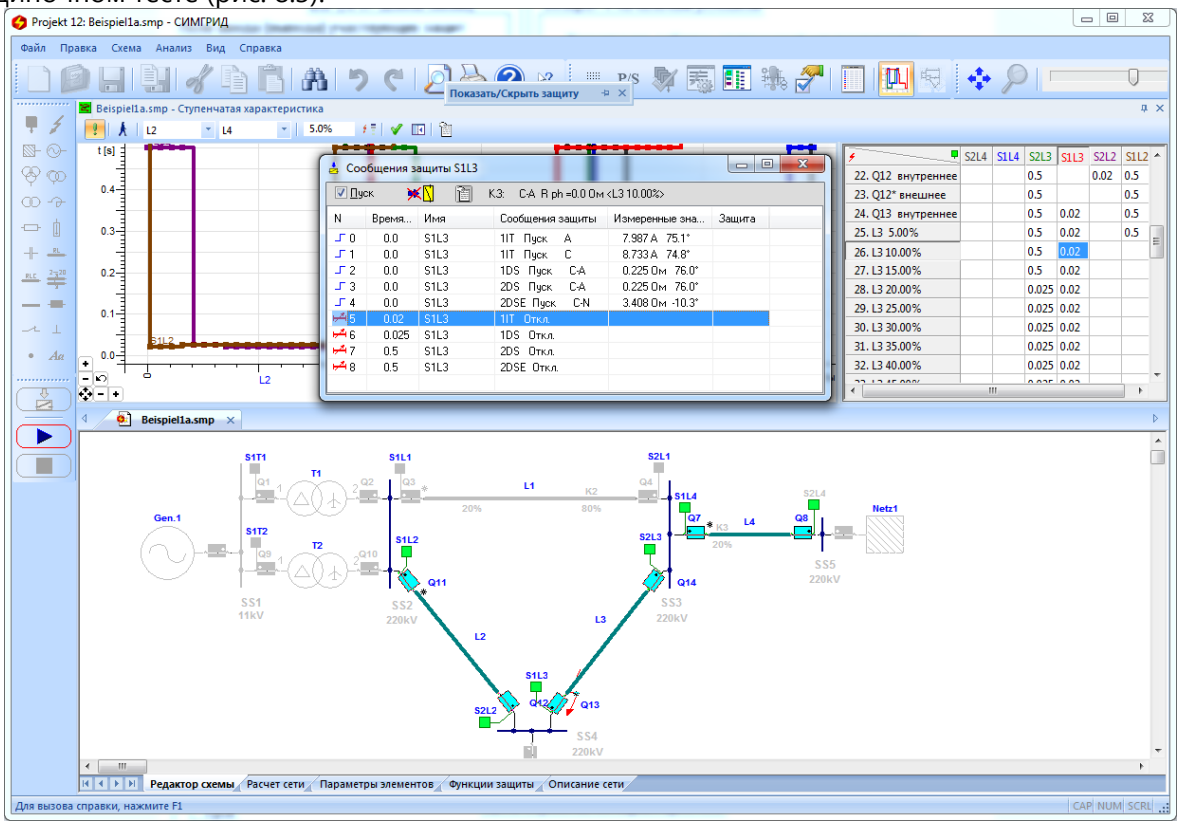


Рис. 8.3. Анализ по ступенчатой характеристике: *Таблица сообщений*

8.4.1.2. Таблица сообщений

При дальнейшем двукратном нажатии левой кнопки мыши на одной из строк таблицы сообщений (рис. 8.2) возникает окно "*Анализ*" (п. 4.2.1) с полученными данными КЗ для анализируемой защиты (рис. 8.4).

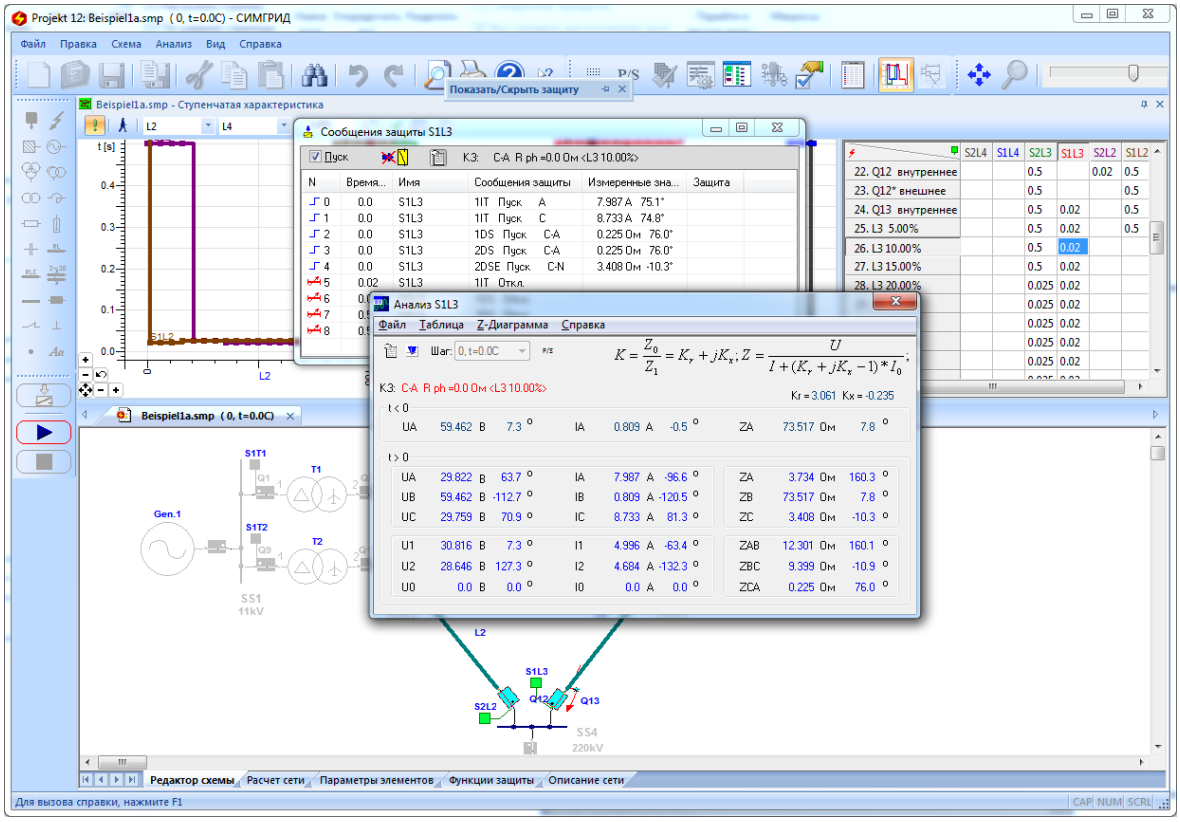


Рис. 8.4. Анализ по ступенчатой характеристике: *Анализ*

8.4.1.3. Z – плоскость

Вызов путем однократного нажатия левой кнопки мыши поля в окне "*Анализ защиты*" позволяет анализировать выбранный одиночный тест в Z – плоскости (рис. 8.5, см. также п. 6.2.2).

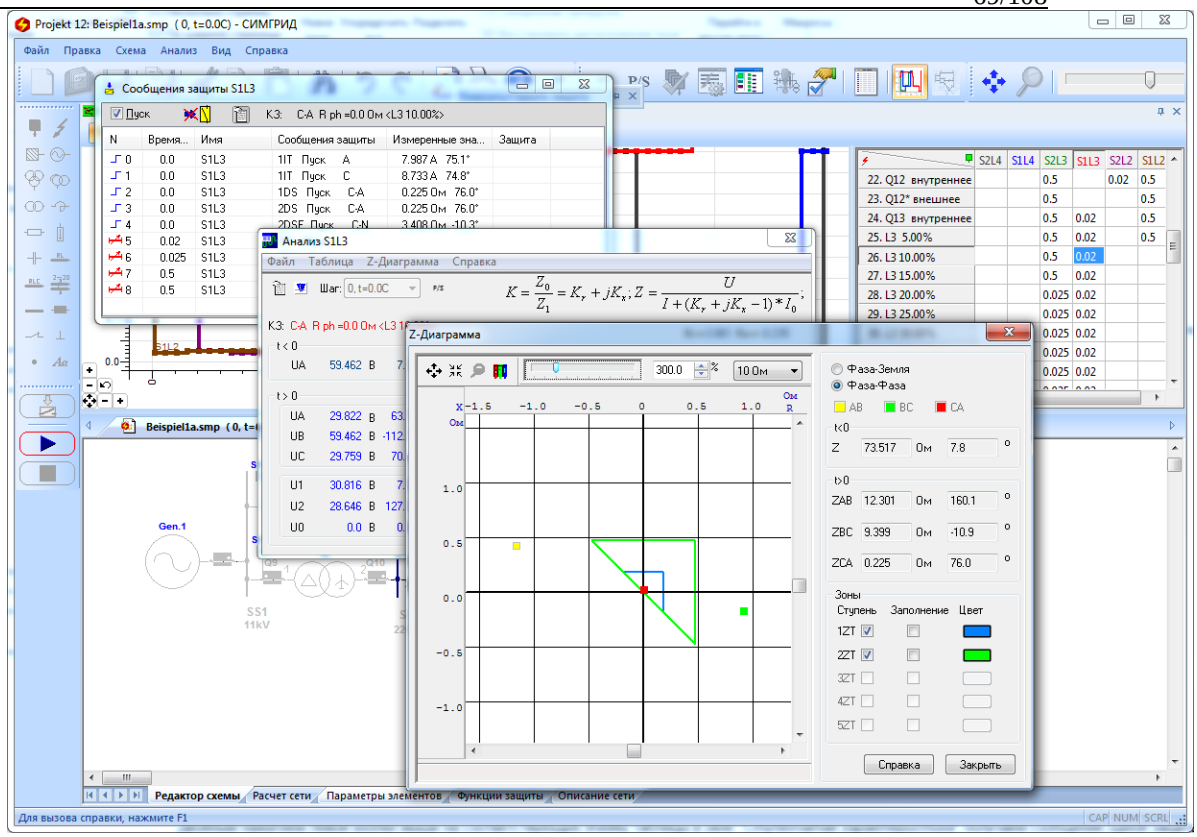


Рис. 8.5. Анализ по ступенчатой характеристике: *Диаграмма*

8.4.2 Анализ по таблице ступенчатой характеристики

8.4.2.1. Сообщения одной защиты

Двойным нажатием левой кнопки мыши на соответствующую ячейку таблицы в окне "*Ступенчатая характеристика*" получаем сообщение одной защиты, например, защиты SL2 (Тест 29) – рис. 8.6.

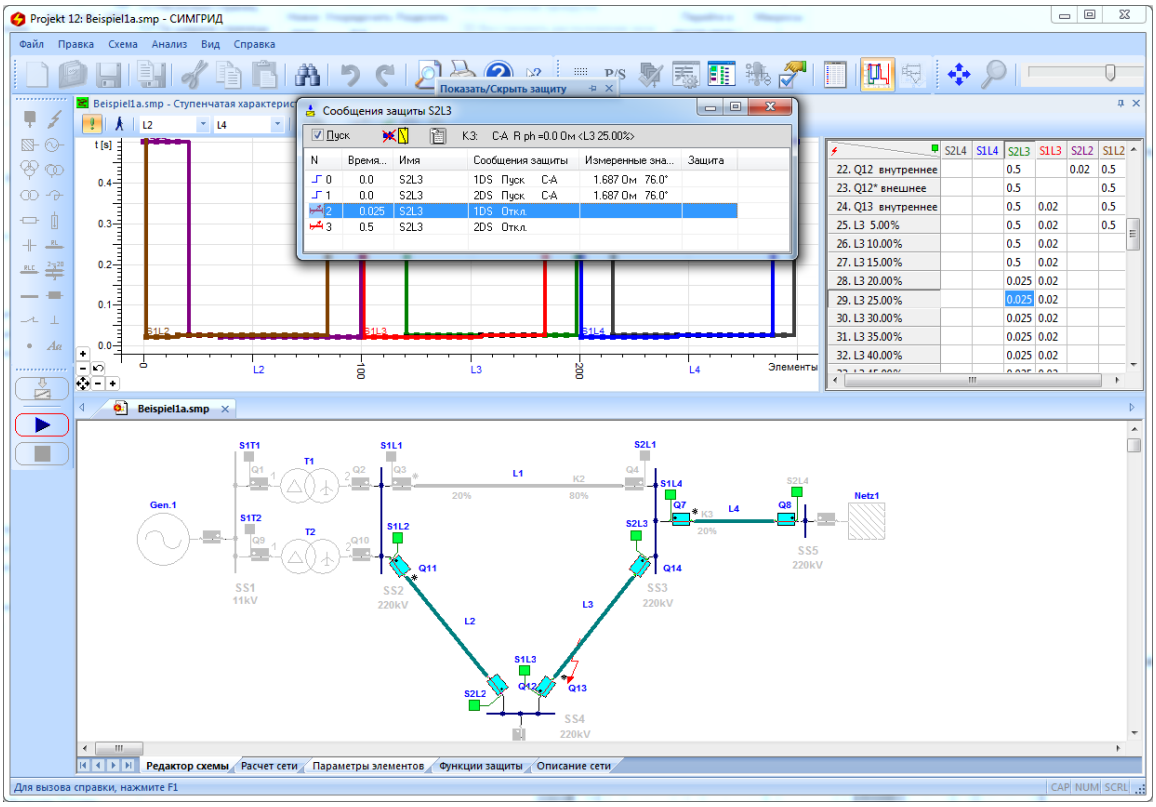


Рис. 8.6. Ступенчатая характеристика -

анализ по таблице ступенчатой характеристики: *Сообщения защиты*

Далее, нажав на одну из строк таблицы сообщений, можно анализировать поведение защит с помощью таблицы "*Анализ*" и Z – плоскости (рис. 8.4, 8.5).

8.4.2.2. Сообщение всех защит

Сообщения всех защит при одиночном тесте (например, тест 29 в таблице) получим путем двойного нажатия левой кнопки мыши на крайнюю левую ячейку таблицы ступенчатой характеристики, содержащую номер теста (рис. 8.7).

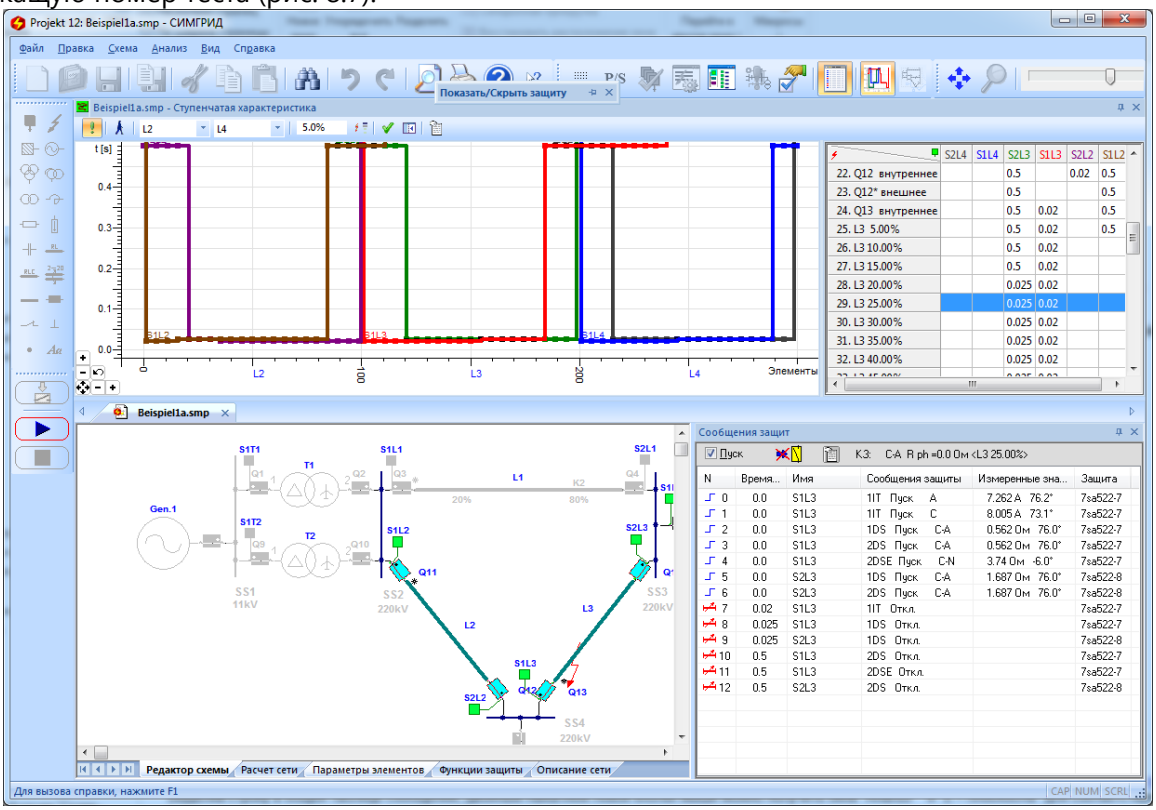


Рис. 8.7. Ступенчатая характеристика -
анализ по таблице ступенчатой характеристики: *Сообщения всех защит*

В нижней части редактора возникают сообщения всех защит при рассматриваемом одиночном тесте. Дальнейшее использование этих сообщений – см. п. 6.2.3.
Выделив строку в общей таблице сообщений, двойным нажатием левой кнопки мыши можно получить окна "*Анализ*" и "*Z – плоскость*" для соответствующей защиты (например, S2L3 – рис. 8.8).

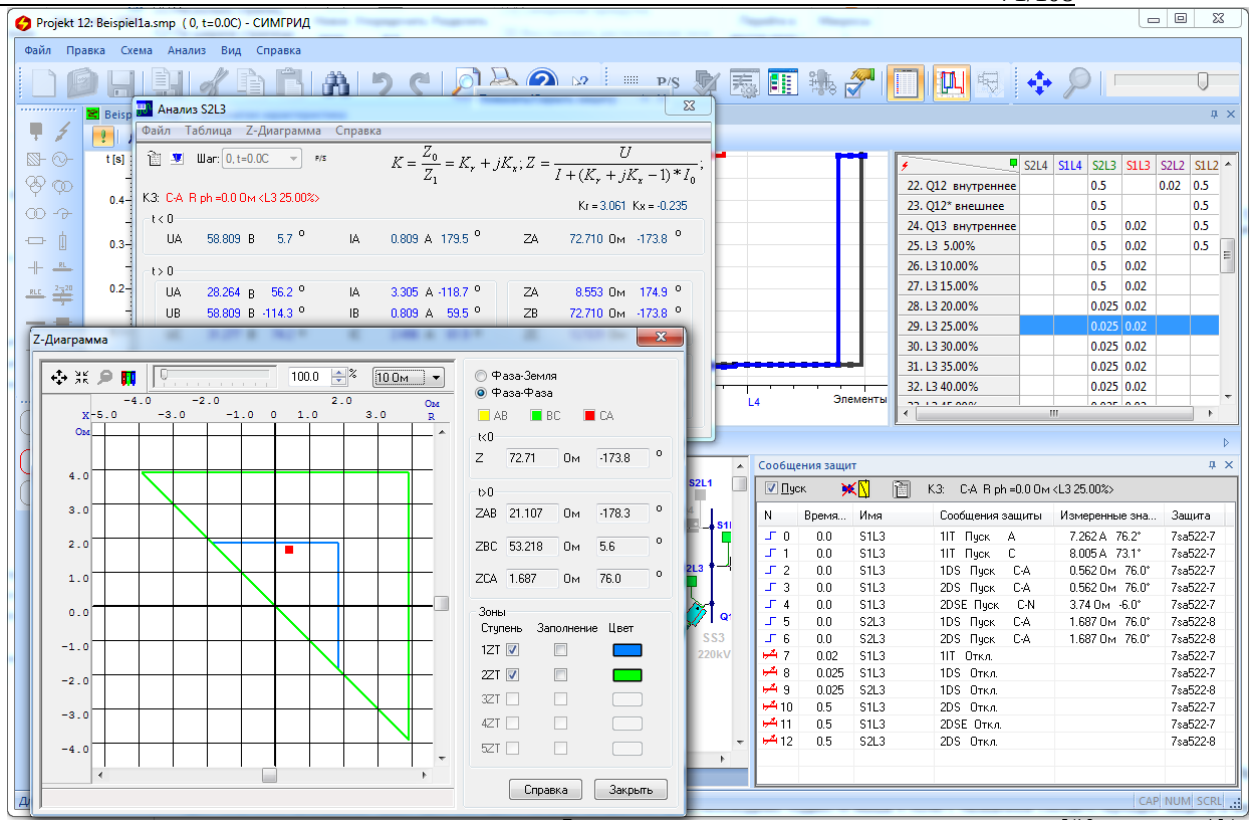


Рис. 8.8. Ступенчатая характеристика -
анализ по таблице: расчёт короткого замыкания и *Z* – плоскость для любой защиты

8.4.2.3. Z – плоскость – Анализ

Эффективным средством для анализа дистанционных защит является отображение на Z – плоскости траектории вектора Z при передвижении К3 по выбранной цепи. Это позволяет выявить реальные участки линии, охватываемые отдельными ступенями.

Для получения диаграммы траектории вектора Z на всей выбранной цепи необходимо подвести мышь к полю с названием соответствующей защиты в верхней строке таблицы ступенчатой характеристики и дважды нажать левую кнопку мыши. Так, например, для анализа чувствительности и селективности защиты S1L2 в начале линии L2 (цепь L2, L3 – рис. 8.1), проводим следующие действия:

- Запускаем расчёт ступенчатой характеристики (п. 8.3, рис. 8.2)
- Двойным нажатием на поле S1L2 в верхней строке полученной таблицы ступенчатой характеристики вызываем траекторию вектора Z защиты S1L2 на Z-плоскости и выбираем масштаб, соответствующий уставкам защиты (рис. 8.9)

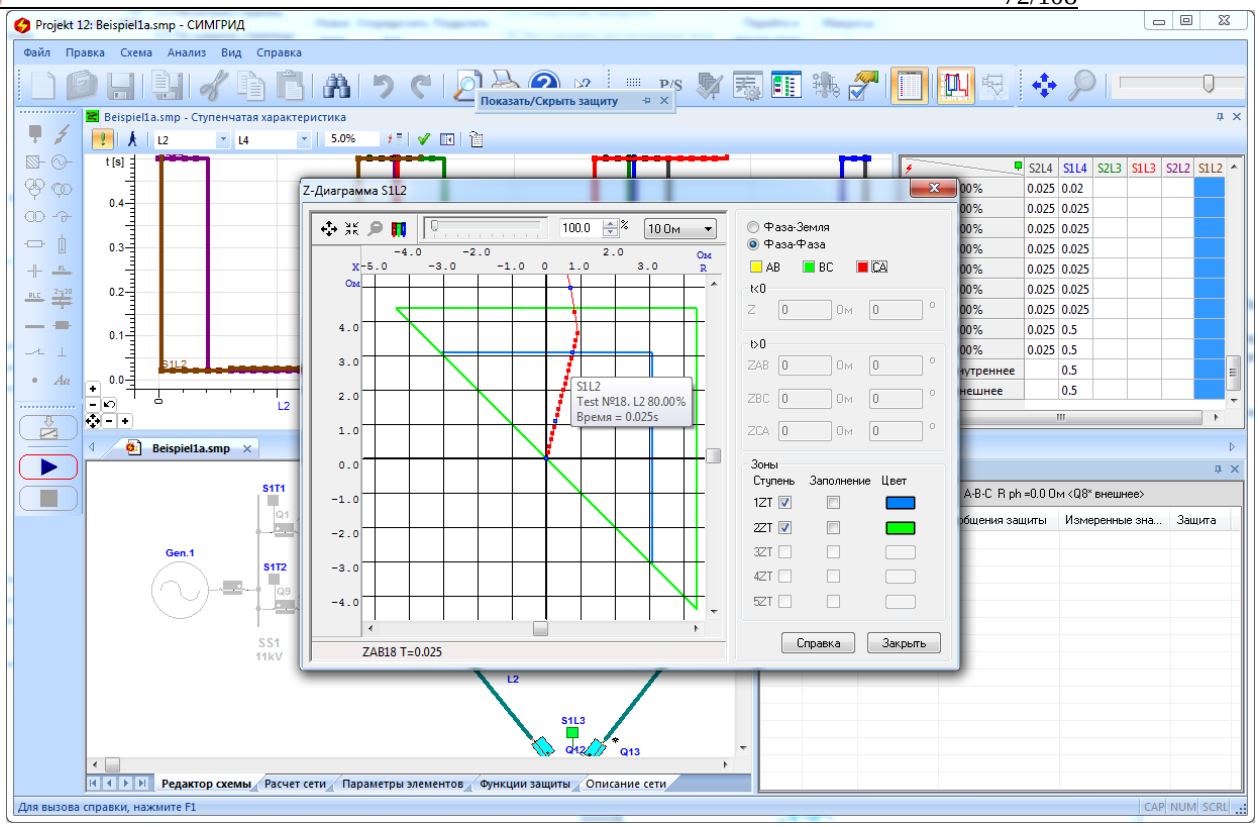


Рис. 8.9. Траектория вектора *Z* на выбранном участке ступенчатой характеристики

Границы действия ступеней определяются точками пересечения траектории вектора Z с границей соответствующей ступени. Визуально это можно определить, подведя мышь к точке на траектории вектора Z вблизи ее пересечения с соответствующей характеристикой защиты. Так из рис. 8.9 видно, что зона 1 ступени защиты S1L2 охватывает 80% линии L2 (тест 18). Эти же данные можно получить и из таблицы ступенчатой характеристики на том же рисунке (при тесте № 19 защита срабатывает уже с временем 0,5 с.). Точки изменения зон действия (и времени отключения) защиты на траектории вектора Z определяются программой и отмечаются голубым цветом. Вторая ступень защиты S1L2 охватывает 5% линии L3 (рис. 8.10).

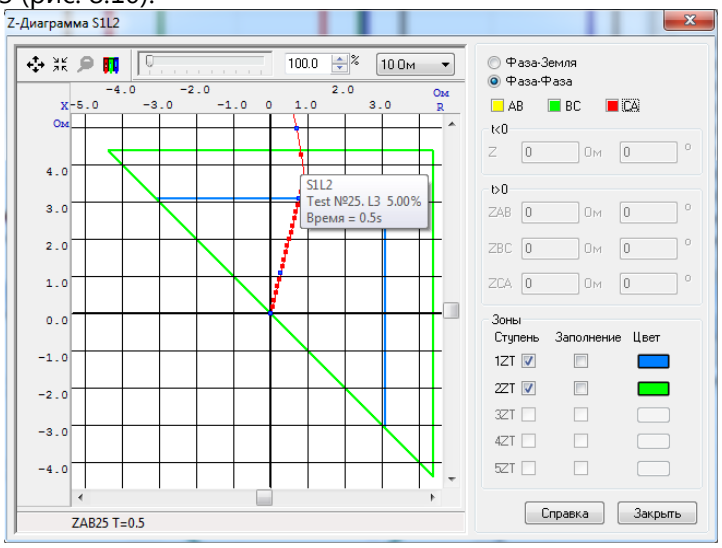


Рис. 8.10. Определение ширины зоны и времени отключения II ступени защиты *S1L2*

Подобный анализ эффективен при оценке зон действия дистанционной защиты с учетом различных влияющих факторов, например, сопротивления дуги. Так при наличии сопротивления дуги Rph= 8 Ом зона действия I ступени уменьшится до 65% линии L2 (рис. 8.11),

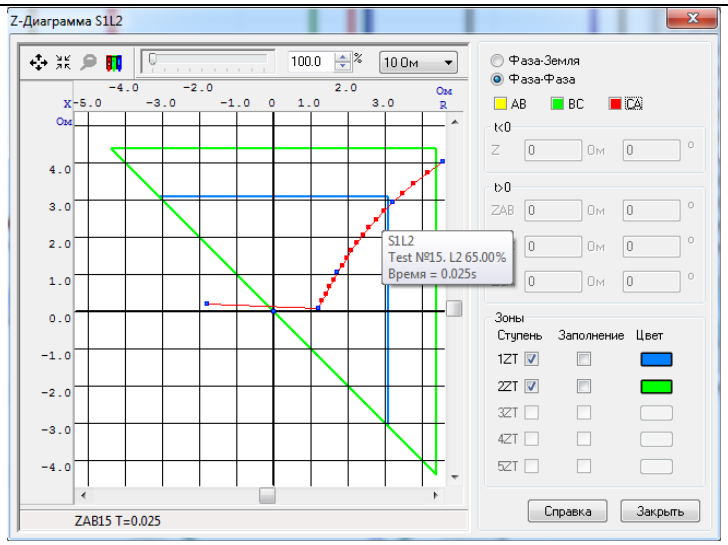


Рис. 8.11. Зона действия I ступени при учёте сопротивления дуги

а II ступень вообще не охватывает сборные шины (зона меньше 90% линии L2 – рис. 8.12).

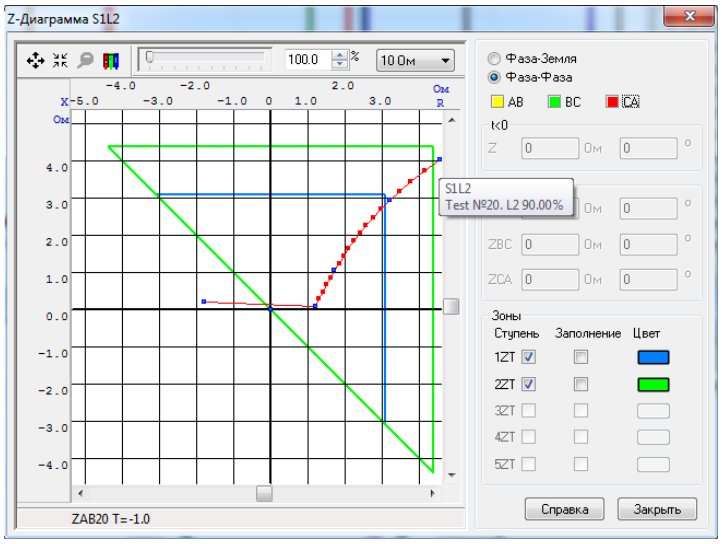


Рис. 8.12. Зона действия II ступени при учёте сопротивления дуги

8.5 Формирование и распечатка протокола ступенчатой характеристики

После окончания построения ступенчатой характеристики активизируется функциональная кнопка «Протокол» в верхнем меню. Если щёлкнуть эту кнопку, появится окно просмотра протокола ступенчатой характеристики.

Пользователь может исключать из протокола или добавить к нему действия отдельных устройств защиты. Для этой цели нужно маркировать соответствующие устройства защиты в поле «Характеристику показать\спрятать» пульта управления в верхнем окне ступенчатой характеристики. Изображение диаграммы в протоколе будет соответствовать текущему виду диаграммы в левом окне.

Пользователь может изменять расположение обозначений (наименований) отдельных защит на её диаграмме. Для этой цели, щелкнув и удерживая левую кнопку мыши на выбранном обозначении, нужно переместить его в заданное место. Или, выбрав точку на характеристике нужно вызвать контекстное меню (правой кнопкой мыши) командой «Визуализация имени кривой».

В режиме просмотра протокола его редактирование невозможно, но операция копирования в обменный буфер разрешена.

Протокол может быть напечатан сразу (кнопка), или сохранён в выбранной папке как RTF файл (кнопка). Щелкая кнопкой , можно вызывать окно предварительного просмотра протокола. На экране будет показан обычное поле печати (лист бумаги). В этом поле будет представлен сформированный протокол.

9. Подтверждение правильности выбора уставок защит (Анализ Чувствительности и Селективности (АЧС))

9.1 Чувствительность и селективность защит сети

Для электрических сетей, в которых протекают токи КЗ или повреждения, особое значение имеют два свойства селективной защиты:

чувствительность qE - свойство селективной защиты, которое, с учетом величины тока короткого замыкания обеспечивает, что ток короткого замыкания отключается в течение, по возможности, короткого времени, и при этом в дальнейшем сохраняется исправность элементов отключённого участка сети, а также и других элементов сети;

селективность qS - свойство селективной защиты, которое с учетом величины тока короткого замыкания обеспечивает, что будет отключён только повреждённый участок элемент сети или минимальное число элементов.

Единичные показатели чувствительности и селективности qE* и qS*
Единичные показатели q_E* и q_S* соответствуют показателям q_E и q_S в случае, когда рассматривается отдельное событие с полной спецификацией условий (структура сети, место короткого замыкания, вид короткого замыкания).
Единичные показатели могут принимать значение 1 (показатель выполнен) или 0 (не выполнен).

Единичный показатель чувствительности q_E* (с q_E * = 1) используется для отдельного события (задано место короткого замыкания, вид короткого замыкания), при котором короткое замыкание отключается в течение такого времени, что для любого элемента сети это время не выходит за пределы его характеристики термической устойчивости при коротких замыканиях.
Если это условие не выполняется, полагают q_E*= 0.
Единичный показатель избирательности q_S* (с q_S* = 1) используется для случая повреждения на выбранном участке сети. При этом отключение короткого замыкания происходит от определенных, заранее установленных выключателей, которые отделяют повреждённый участок сети от питающего источника напряжения ("собственные выключатели" - ELS). Только после отключения всех ELS прерывается ток КЗ. При этом не должно происходить отключения никаких других выключателей.
Если не исполняется это условие, то устанавливают q_S* = 0.

Вышеприведенные положения должны разъясниться в последующем на примере рис. 9.1.

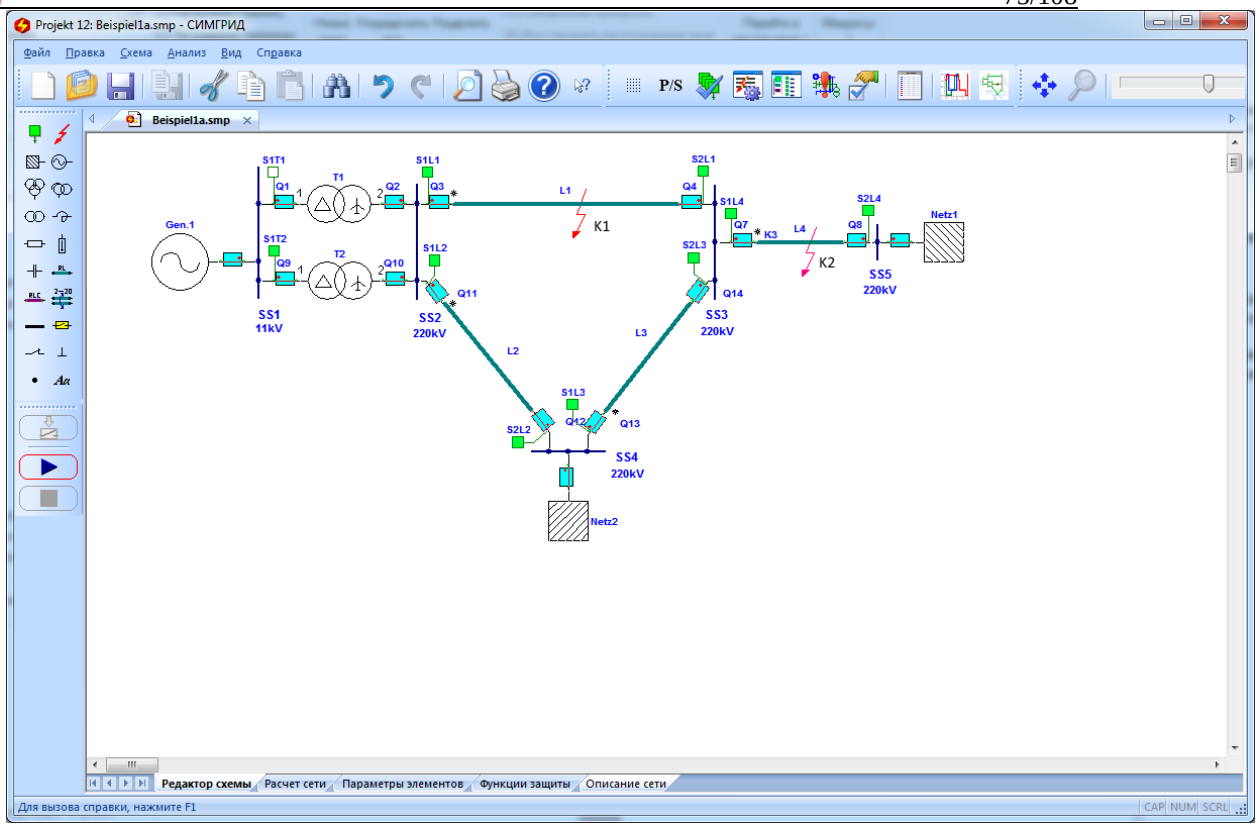


Рис. 9.1. Пример сети.

При коротком замыкании K1 на линии L1 выполняется единичный показатель чувствительности q_E^* = 1, если в интервале времени вплоть до устранения повреждения для любого элемента сети (Gen. 1, T1, T2, L1, L4, ...) величина и продолжительность тока не превосходит стандартные допустимые значения для элементов сети или соответственно дополнительно установленные требования. Эти нормы и требования для каждого элемента сети являются контролируемыми вводными данными сети, которые соответствуют функции EF.

В самом простом случае граничная функция EF ограничивает допустимую длительность тока короткого замыкания t_{KS} временем ΔT.

Единичный показатель избирательность q_S^* (с q_S^* = 1) выполняется в случае K3 K1 (линия L1) (см. рис. 9.1), если отключаются выключатели Q3 и Q4 (ELS линии L1). При этом отключается ток в месте повреждения. Никакие другие выключатели не должны изменять своё состояние. Для линии L4 (короткое замыкание K2) в качестве ELS нужно рассматривать выключатели Q7 и Q8.

С учётом вышесказанного ясно, что анализ всей совокупности возможных случаев короткого замыкания в сети состоит из анализа отдельных событий. Релейная защита сети выполняет при этом свою функцию полностью (т.е. тем не менее, еще не оптимально), если для каждого отдельного события выполняется q_S^* = 1 и q_E^* =1.

На рис. 9.2 приведена таблица для ввода ELS–выключателей и граничных функций EF (в данном случае максимально допустимое время T_{max}) для участка сети рис. 1, включающего линии L1, L2, L3, L4.

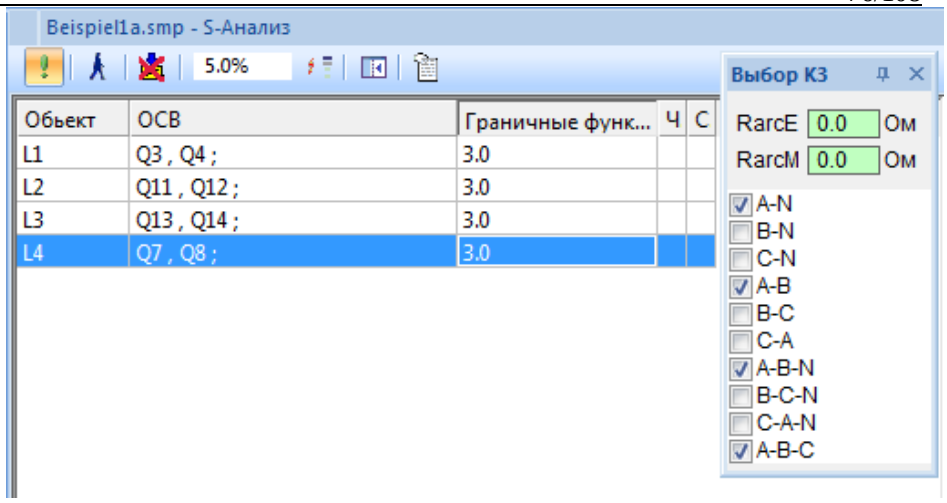


Рис. 9.2 Таблица для ввода *ELS*–выключателей и граничных функций *EF*

В другие окна таблицы рис. 9.2 вводятся виды КЗ, при которых анализируются защиты сети, значение сопротивления в месте КЗ – фаза-земля (RL–E) и фаза-фаза (RL–L), а также шаг dL (в процентах от длины линии) при проведении анализа.

Для проверки избирательности нужно для каждого элемента контролируемой электрической сети так проводить расчёты внутренних КЗ различного вида и расположения, чтобы были смоделированы все устройства защит и их действие на соответствующие выключатели.

Требование чувствительности выполняется, если при любом случае КЗ не будет перейдена граничная функция EF (рис. 9.2).

Требование избирательности выполняется, если при коротком замыкании на любом элементе сети собственные выключатели ELS (рис. 9.2) отключаются всегда быстрее, чем любой другой выключатель в сети.

Это означает, что нет таких участков схемы, где возникшее КЗ не отключилось бы селективной защитой или, соответственно, отключилось бы со слишком большой выдержкой времени (показатель q_E).

Эти положения положены в основу имеющейся в программе СИМГРИД опции «*АЧС-тест*», служащей для подтверждения правильности выбора уставок защиты на выбранном участке сети.

9.2 Фиксация контролируемого участка сети

После создания полной конфигурации сети (например, рис. 6.5) нужно выделить участок сети для АЧС–тест. Для этого нужно нажать левую кнопку мыши и, не отпуская её, протащить курсор по диагонали через выбранный участок сети, пока он целиком не окажется внутри пунктирного прямоугольника. После отпускания кнопки мыши выбранный участок окрашивается в красный цвет.

Затем нужно активировать кнопку *АЧС-тест*. В результате появляется окно " *АЧС-тест*" (рис. 9.3) с таблицей необходимых параметров для *АЧС-теста*.

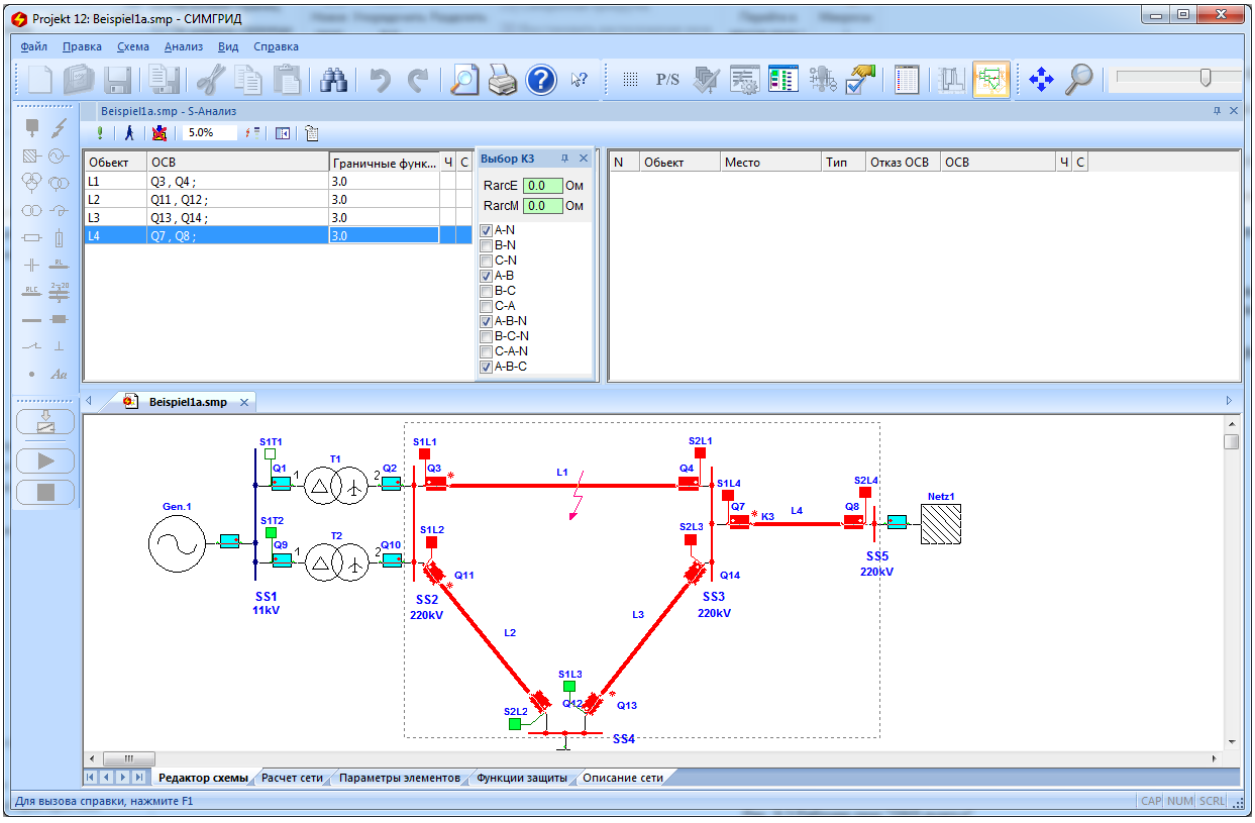
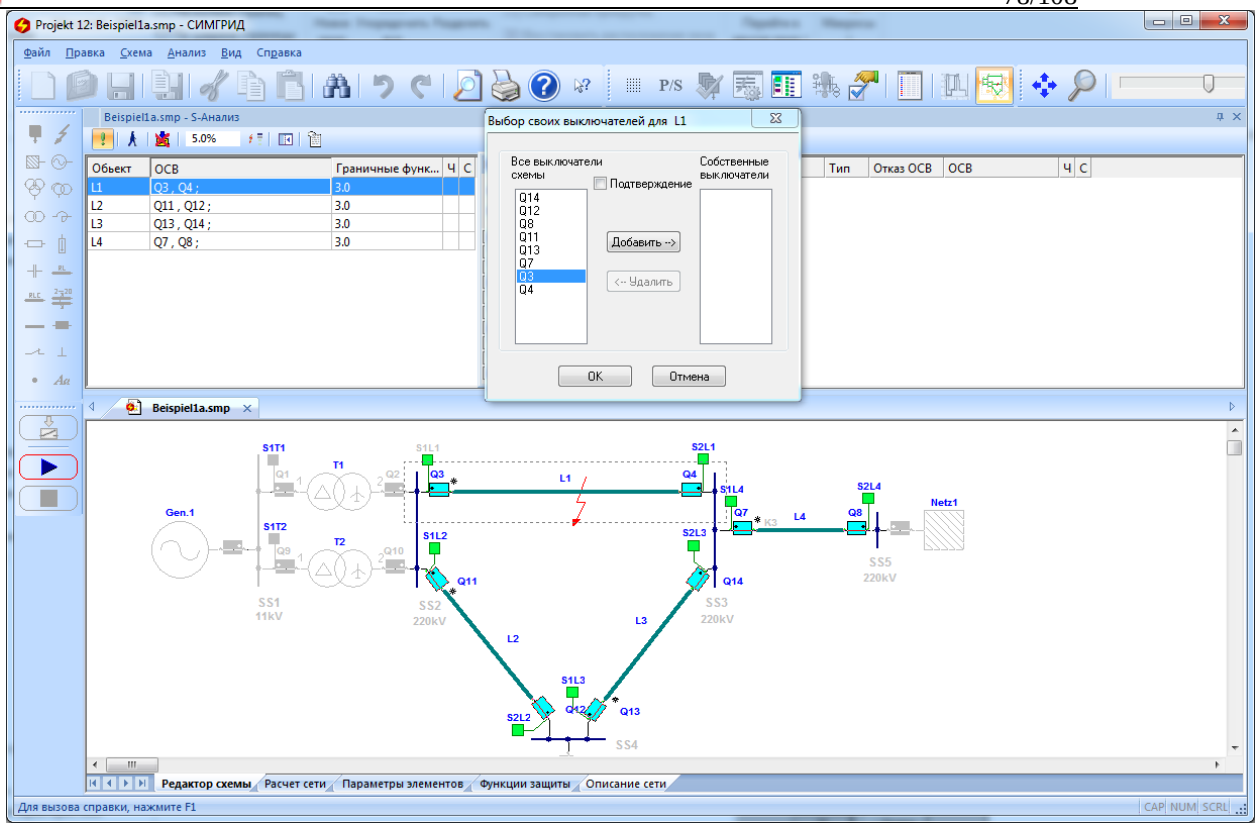


Рис. 9.3 Рабочее окно "*АЧС-тест*"

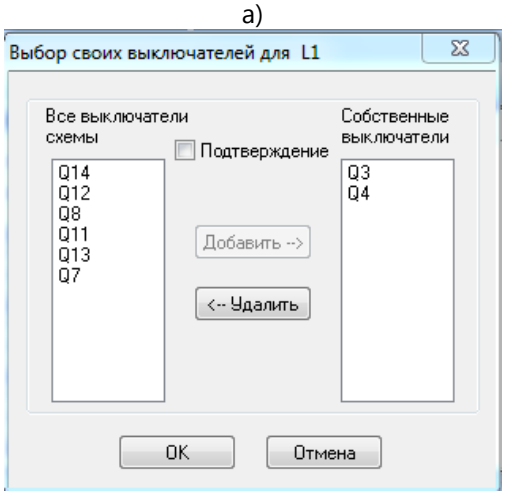
9.3 Ввод дополнительных данных для АЧС-теста

9.3.1 Ввод ELS-выключателей

Для ввода ELS-выключателей (п. 9.2, рис. 9.2) необходимо с помощью мыши нажать кнопку "*Фиксация*" в окне ввода в верхнем левом углу рабочего окна. В результате в левом столбце таблицы возникают наименования всех элементов контролируемого участка, на которых установлены устройства релейной защиты (рис. 9.4).



а)



б)

Рис. 9.4. Таблица с наименованиями всех элементов контролируемого участка (а) и таблица для линии *L1* после выделения выключателей *Q3* и *Q4* (б)

Вызвав двойным нажатием мыши строку, соответствующую одному из элементов, например, L1, получим окно для ввода ELS-выключателей для линии L1. Все выключатели контролируемых объектов сети расположены в левой части возникшего окна.

Линии L1 соответствует ELS-выключатели Q3 и Q4. Для фиксации выключателя, например, Q3, выделяем его в левом столбце с помощью мыши и затем нажимаем кнопку «Вставить». В результате получим таблицу для линии L1 после выделения выключателей Q3 и Q4 (рис. 9.4, b).

Значения граничной функции *T* вносятся в правый столбец окна для ввода данных (рис. 9.5) путем двойного нажатия мыши соответствующего окна.

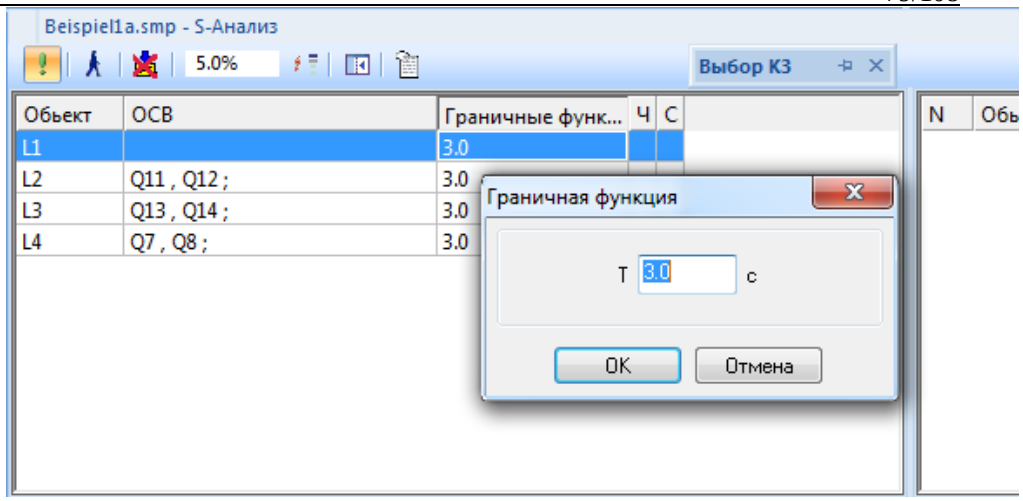


Рис. 9.5. Ввод значений граничной функции *T*

Выбрав шаг АЧС-теста 5% (окно "*dL*") и желаемые виды КЗ, например, AN, AB, получим окончательный вид окна ввода данных (рис. 9.6).

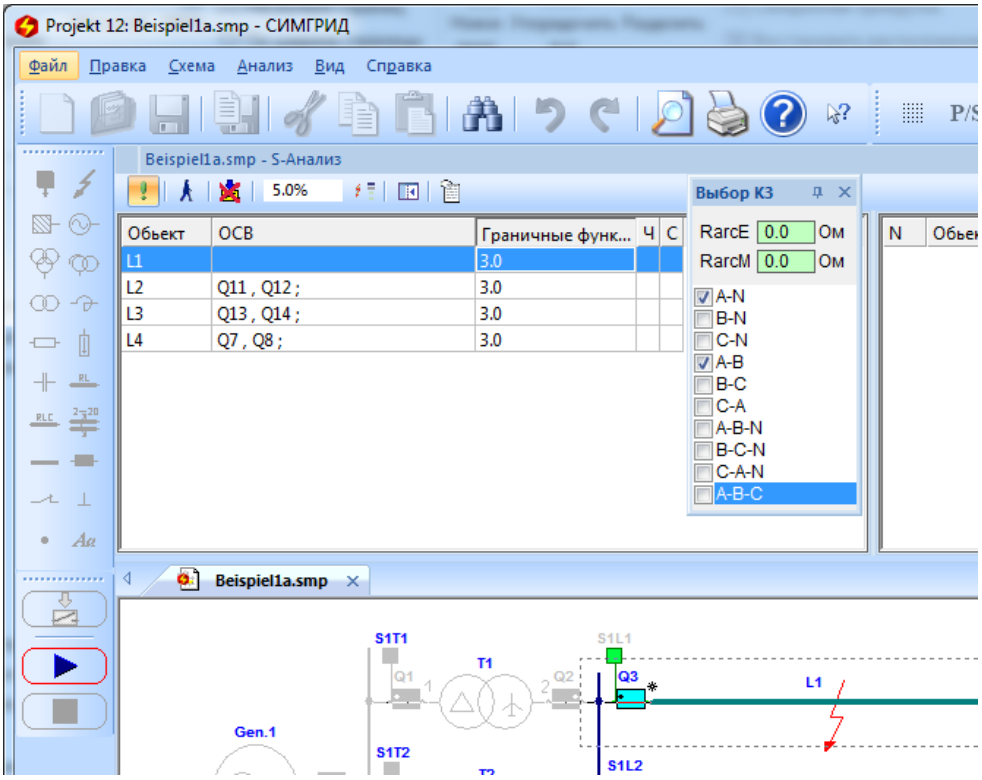


Рис. 9.6 Окончательный вид окна ввода данных

9.4 Анализ защит с помощью АЧС-функции

Запуск программы производиться с помощью кнопки «Старт» . Программа рассчитывает КЗ с заданным шагом на всех элементах выделенного участка сети. При этом каждый расчет фиксируется в таблице, расположенной в верхнем правом углу (рис. 9.7), где в каждой строке указывается номер теста, наименование элемента, место и вид КЗ, переходное сопротивление. В строке указываются также результаты единичного теста чувствительности (З) и селективности (С). При положительном результате соответствующие окна окрашиваются в зеленый цвет и вноситься знак «+», а при отрицательном результате – в красный цвет и вносится знак «-». Окрас окна «Селективность» в желтый цвет означает, что КЗ вообще не отключается защитами ни «своего», ни «чужих» участков.

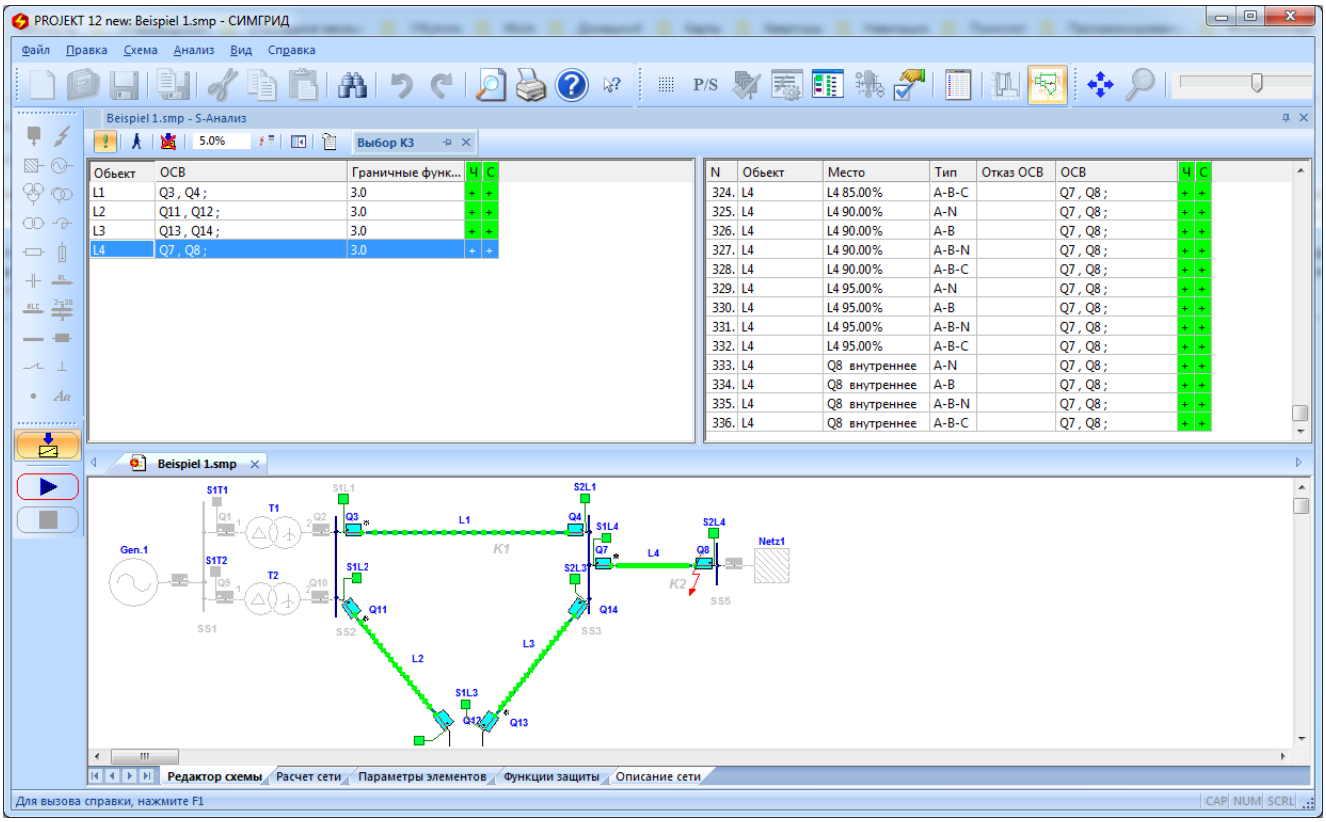


Рис. 9.7. Таблица с результатами расчёта

Окончательные результаты для каждого из объектов проверяемого участка сети вносятся в два последних столбца **Защищенность**, **Селективность** таблицы ввода данных в правой части рис. 9.7. Общий результат проверки отражается в двух столбцах **З**, **С** верхней строки таблицы объектов окна ввода данных (рис. 9.7).

9.5 Углубленный анализ с помощью АЧС-функции

Для того чтобы получить сообщение защит, соответствующих выбранному тесту (выбранной строке с номером), необходимо двойным нажатием левой кнопки мыши, подведенной к строчке, соответствующей тесту, вызвать указанные сообщения (рис. 9.8).

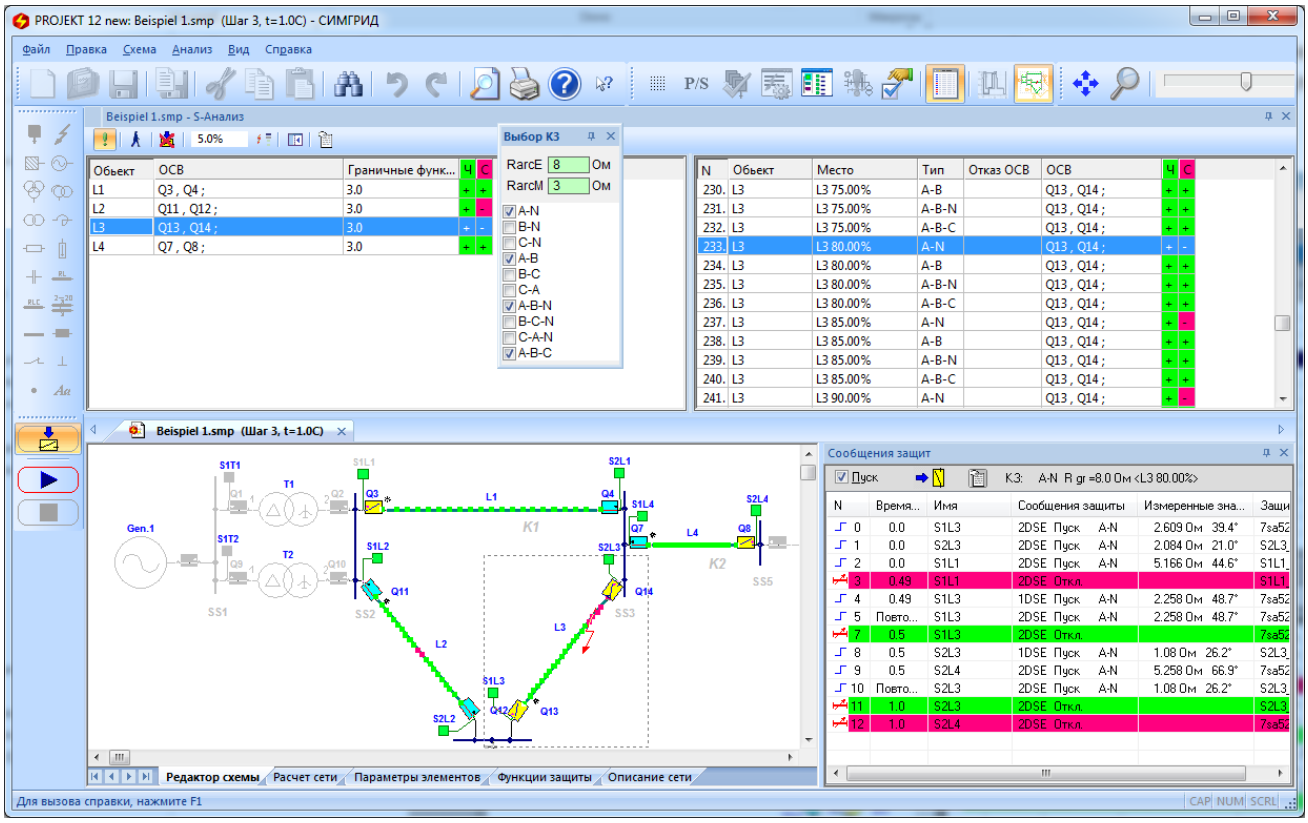


Рис. 9.8. Сообщения защит, соответствующие выбранному тесту

В правом нижнем углу экрана возникнет сообщение всех защит (пуск и отключение). Для того, чтобы проанализировать причины, вызвавшие сообщение, необходимо подвести мышь к строке сообщения и дважды нажать левую кнопку. В результате получаем входные величины в месте КЗ (рис. 9.9). После нажатия кнопки получаем измеренный импеданс Z (Z-плоскость) – рис. 9.9. (Более подробно эта методика анализа сообщений описана в пп.6.2.2 и 6.4.2).

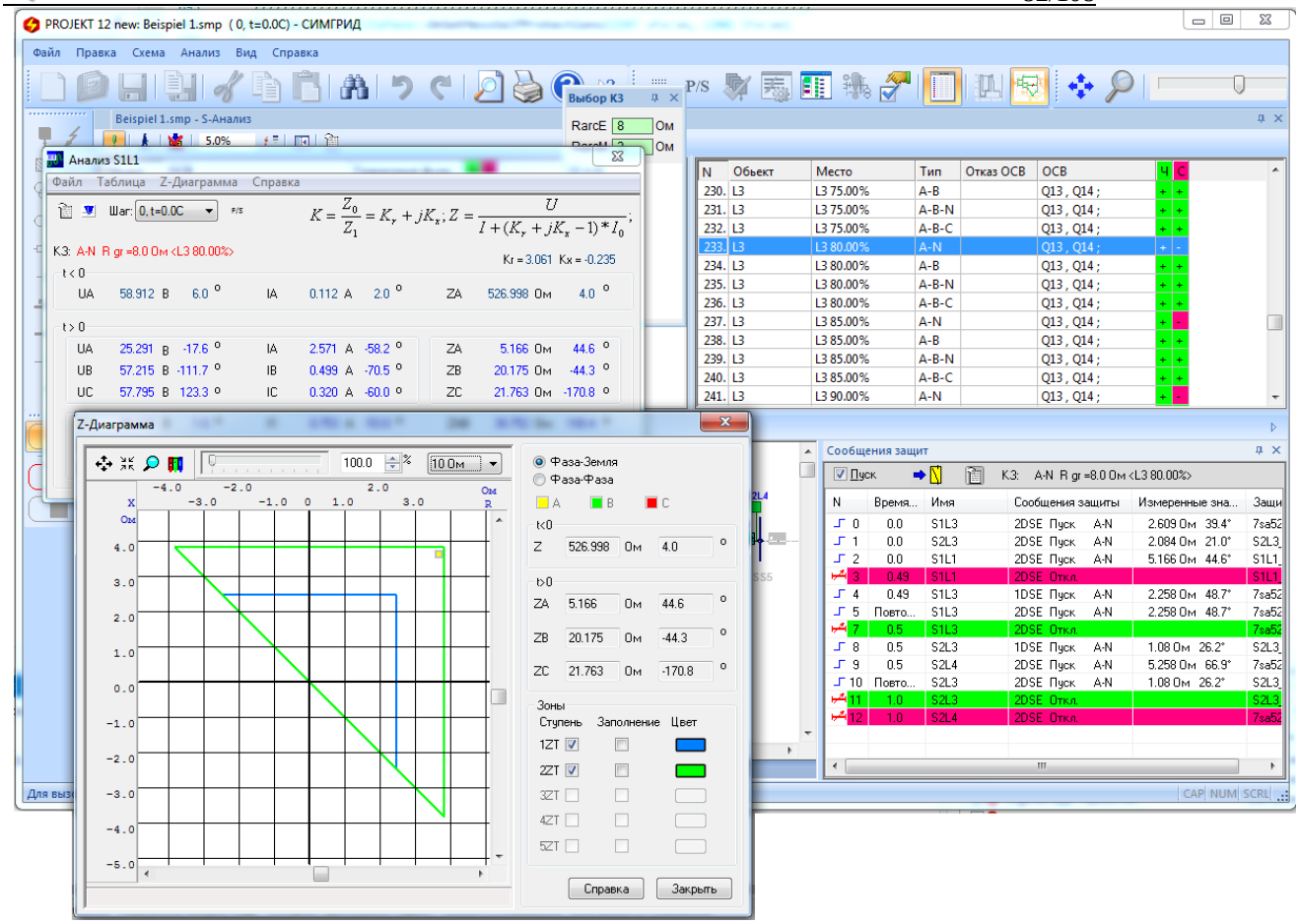


Рис. 9.9 Значения входных сигналов в месте КЗ и измеренные импедансы в плоскости *Z*

Более подробно методика подтверждения правильности выбора уставок защиты рассмотрена ниже в Примерах 9.1 и 9.2.

Пример 9.1

Проверить правильность выбора уставок в примере Приложении 4. Время отключения КЗ (T_{max}) не должно превышать 3 с. Максимальное значение сопротивления дуги при однофазных КЗ – 8,0 Ом, при межфазных КЗ – 3,0 Ом.

Шаг 1. Строим сеть и выделяем анализируемый район (все линии) – рис. 9.10.

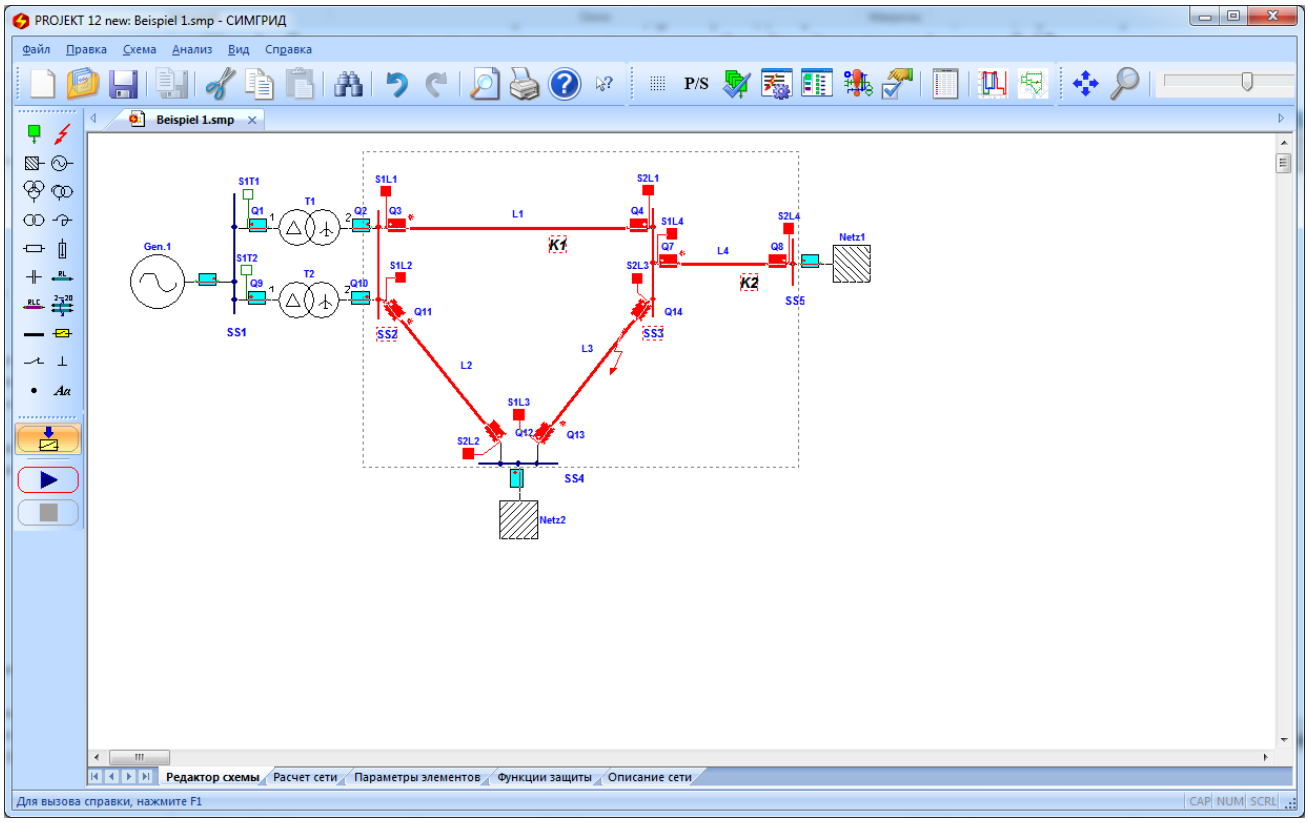


Рис. 9.10. Выделение анализируемого района

Шаг 2. Входим в рабочее окно АЧС-теста (нажимаем кнопку) и вводим необходимые данные (см. П.9.3). Анализ проводят при всех видах КЗ и шаге 5%. Используем режим «Многократный расчёт», учитывающий действие защит на выключатели (кнопка). После нажатия на кнопку "*Старт*" и проведения расчета программой получаем по окончании расчета общее сообщение о наличии неселективности при КЗ на линии L3 (таблица ввода данных в левом верхнем углу экрана) – см. рис. 9.11. Далее, анализируя таблицу тестов справа, имеем в двух случаях неселективное действие защиты (тесты 233 и 237), соответствующие однофазному КЗ на 80% и 85% длины линии L3.

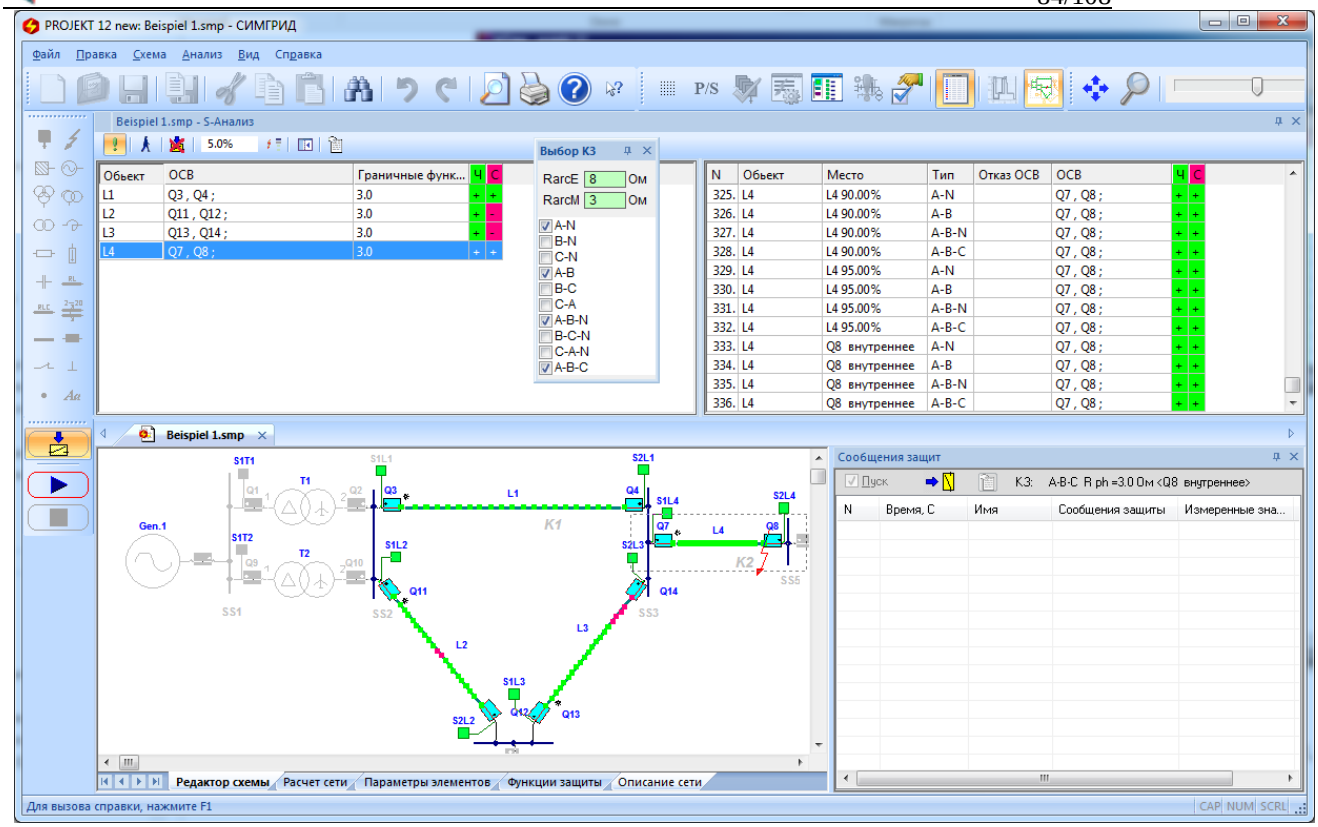


Рис. 9.11. Общее сообщение о неселективности защит при К3 на линии *L3*

<u>Шаг 3.</u> Для того чтобы узнать причины неселективности, вызовем двойным нажатием кнопки строчку, соответствующую тесту 233 (рис. 9.12)

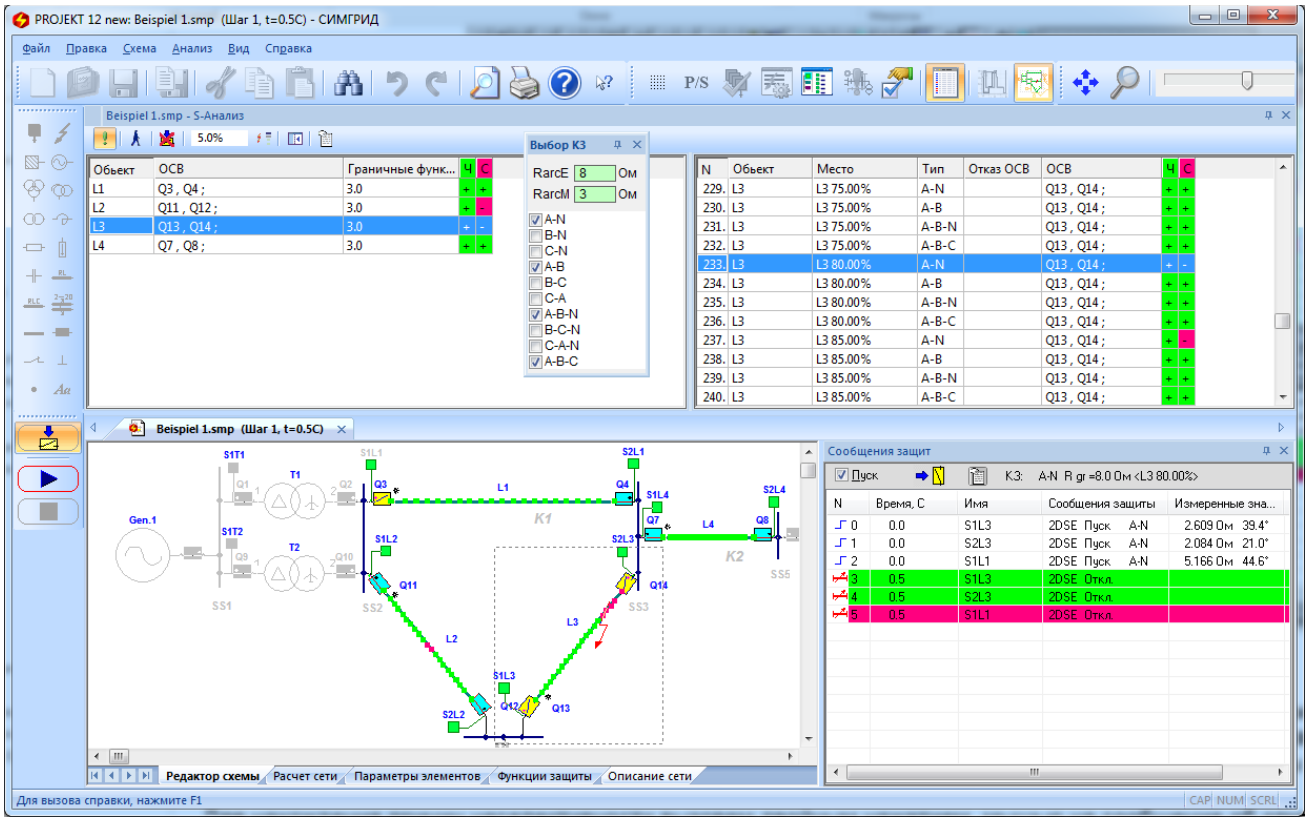
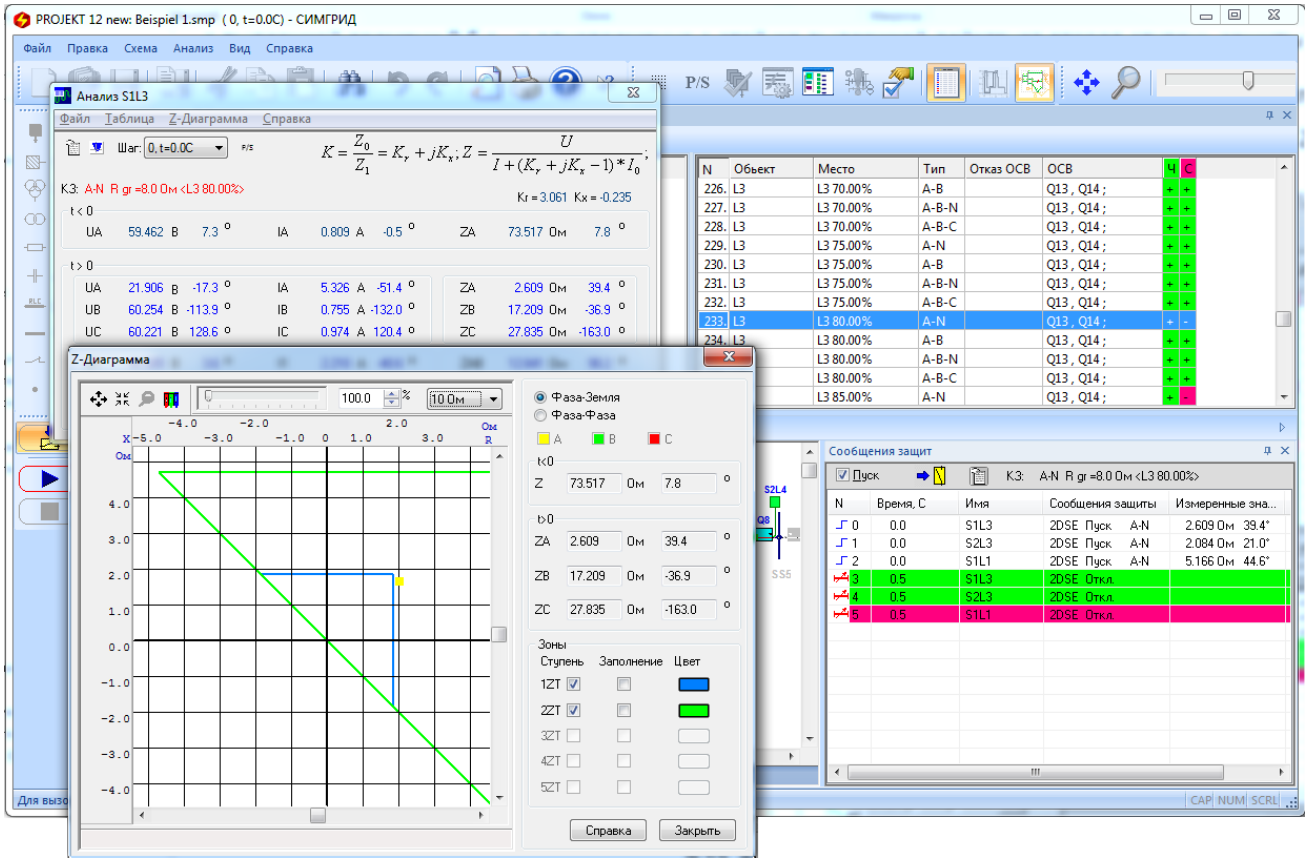


Рис. 9.12. Сообщения о действии защит при тесте 233

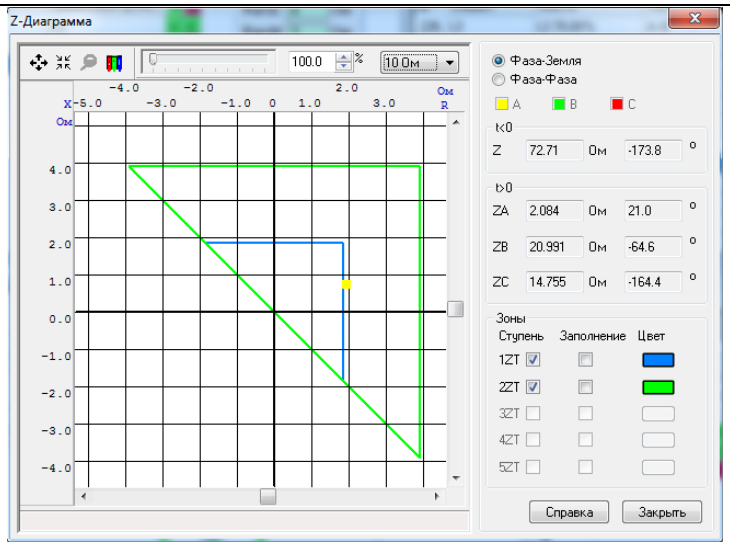
Как видно из возникающих сообщений защит в правом нижнем углу, неселективность защит сети вызвана одновременным действием защит линий L1 и L3. Из-за влияния дуги, однофазное КЗ на 80% длины линии L3 отключается защитами S1L3 и S2L3 с выдержкой времени 0,5 с., и одновременно с этой же выдержкой действует вторая ступень защиты S1L1 линии L1. (Действие ELS-выключателей отмечено в сообщениях желтым цветом).

Для нахождения причин неселективности вызовем двойным нажатием мышью на сообщение об отключении защитой S1L3 (сообщение 3) таблицу входных величин на входе защиты S1L3 и далее, нажав на кнопку , окно Z-плоскость (рис. 9.13).

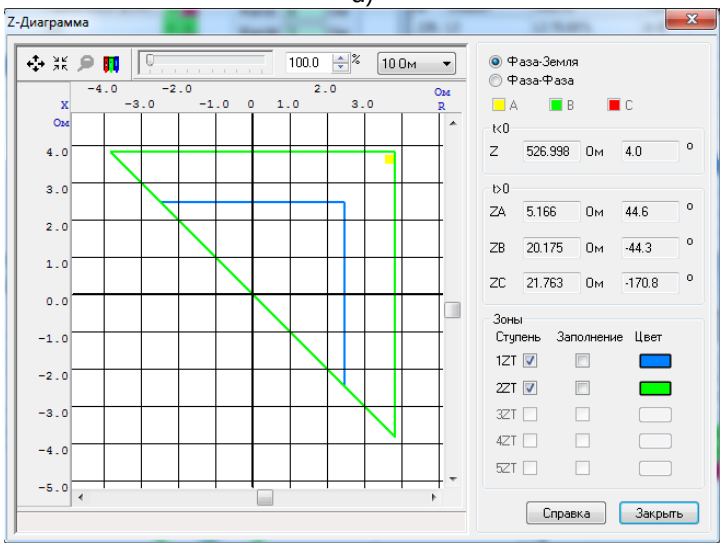


9.13. Анализ в месте установки защиты *S1L3*

Аналогичным образом проанализируем защиты S2L3 и S1L1, вызывая соответствующие строки 4 и 5 в таблице сообщений.



a)



b)

Рис. 9.14. *Z*-анализ в месте установки защит *S2L3* (a) и *S1L1* (b)

.

Как видно из рис. 9.13 и 9.14, измеряемое сопротивление находится вне первых зон защит S1L3 и S2L3 и во второй зоне защиты S1L1.

Наиболее простым способом устранения неселективности защит сети в данном случае является расширение характеристик первых ступеней 1DSE защиты S1L3 и S2L3 линии L3 в направлении от R с целью охвата КЗ через дугу. В этом случае КЗ будет отключено быстрее, чем сработает ступень 2 защиты S1L1.

Шаг 4. Увеличим уставки ступеней 1DSE защит S1L3, S2L3 в направлении от R (таблица П1, Приложение 4) с 1,85 Ом до 2,5 Ом и произведем расчет снова. В данном случае защита сети функционирует при любых рассматриваемых КЗ полностью корректно. Вызвав сообщение защит при рассмотренном выше тесте №233, соответствующем рассмотренному выше однофазному КЗ на 80% длины линии L3, получим селективное отключение КЗ первыми ступенями 1DSE защит S1L3 и S2L3 (рис. 9.15 для защиты S1L3).

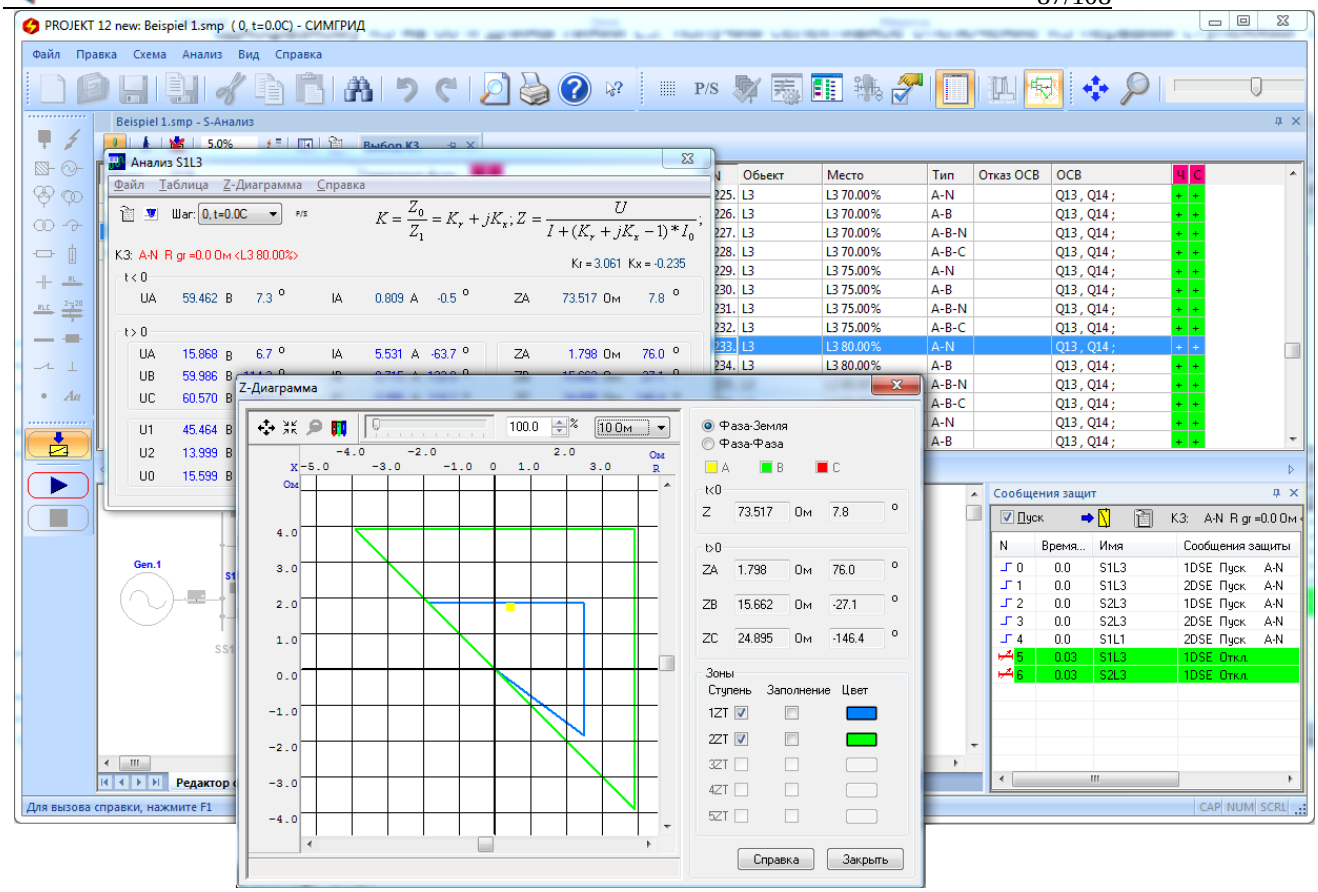


Рис. 9.15. Селективное отключение К3 первыми ступенями защиты *1DSE*

Пример 9.2.

Выбор резервных ступеней защит.

В примере Приложения 4 выбрать резервные ступени защит S2L4 и S1L3 с учетом отказа выключателя Q4 или защиты S2L1.

Шаг 1. Отказ выключателя Q4 имитируем отключением защиты S2L1, воздействующей на выключатель. Для этого, войдя в рабочее окно защиты S2L1 (п. 2), отключим защиту от выключателя, используя окно «вкл./откл.» (рис. 9.16). В результате защита S2L1 на схеме сети окрашивается в белый цвет.

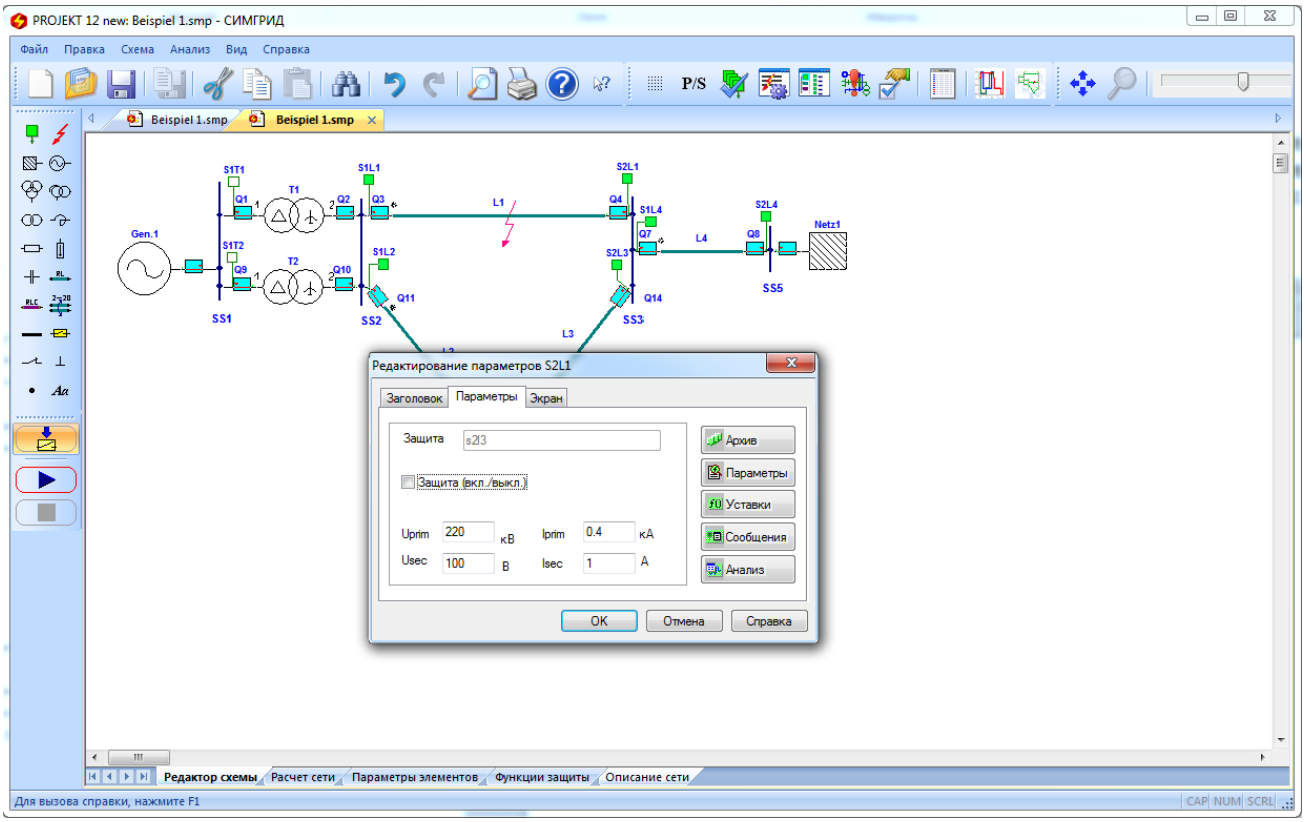


Рис. 9.16. Вывод защиты из действия

Шаг 2. Выделяем анализируемый участок сети и, нажимая кнопку , переходим к АЧС-тесту. В данном случае имеются особенности при выборе ELS-выключателей для линии L1 по сравнению с рис. 9.6 для аналогичной сети. Это вызвано тем, что при К3 на линии L1 помимо Q1 должны быть, в связи с отказом выключателя Q4, отключены линии L3 и L4, чтобы обеспечить отделение места К3 от источников питания.

С учетом этого в строке, соответствующей линии L1 в таблице ввода ELS-выключателя, должны находиться выключатели Q3, Q8, Q13 (рис. 9.17). Запустив *АЧС-тест*, получим в результате, что в данной сети не обеспечивается чувствительность и селективность при К3 в пределах 0 – 75% длины линии L1 (рис. 9.17). Например, при К3 на 70%, длины линии L1 (тест № 58) срабатывают защиты S1L1 и S1L3, но ток К3 продолжает течь ввиду того, что защита S2L4 не срабатывает (рис. 9.17).

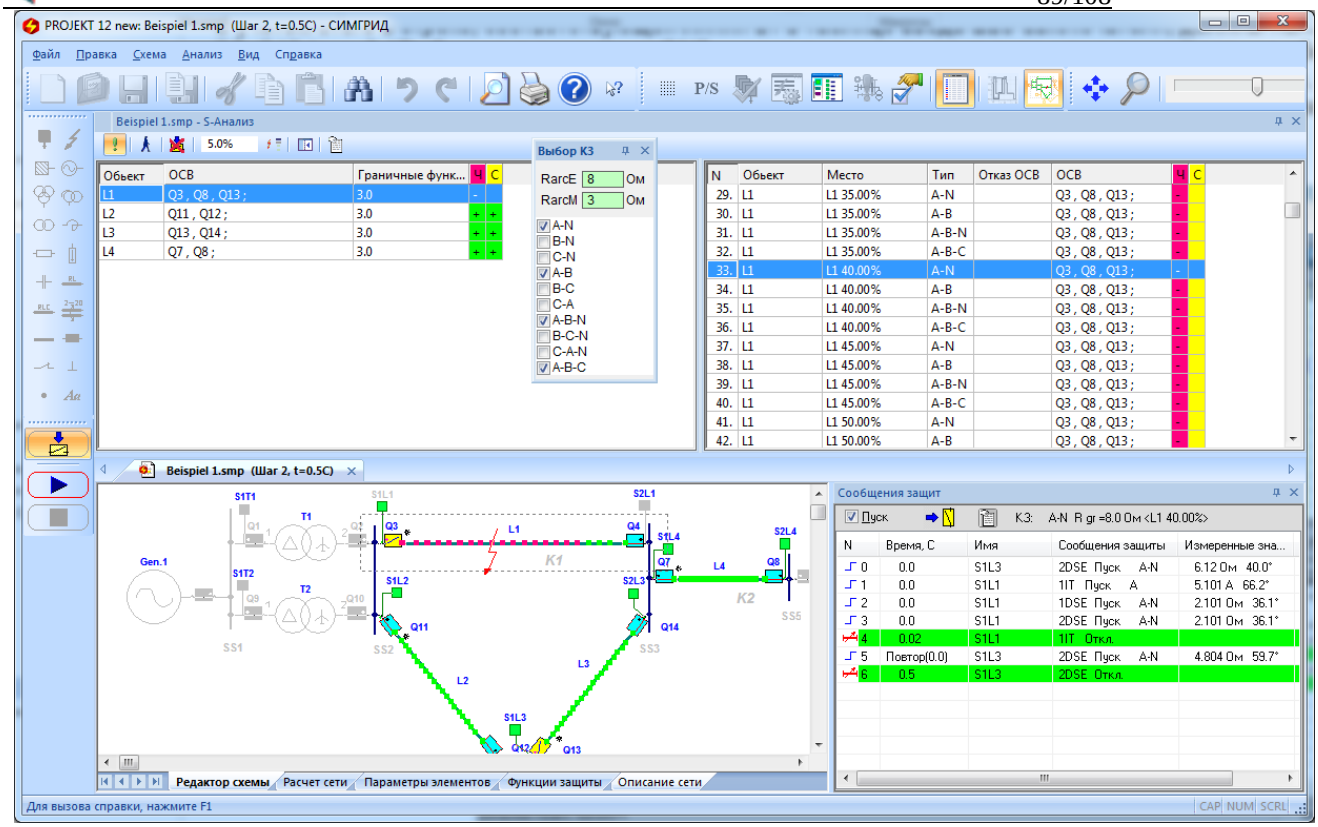


Рис. 9.17 Нечувствительность и неселективность защиты *S2L4* при К3 на 75% длины линии L1

При К3 на 80% длины линии L1 срабатывает только защита S1L1 (рис. 9.18).

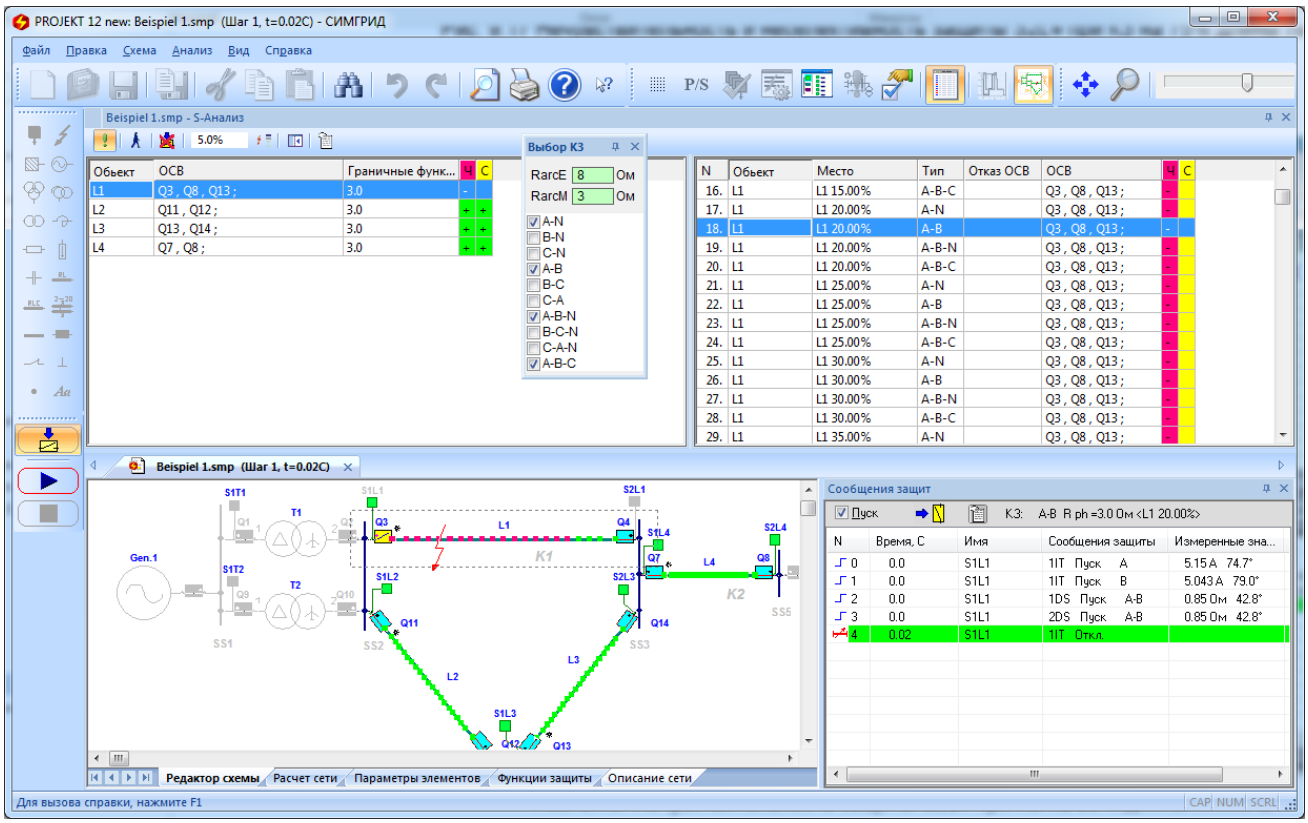


Рис. 9.18. Нечувствительность защиты *S2L4* при К3 на 80% длины линии L1

Обеспечить отключение К3 на линии L1 при отказе выключателя Q4 можно введением

дополнительных третьих ступеней дистанционных защит S2L4 и S1L3, действующих на выключатели Q8 и Q13.

Шаг 3. Выбор уставок третьих ступеней защит S2L4 и S1l3.

Эти ступени должны с запасом охватывать повреждения в начале линии L1. Анализируя импедансы, замеряемые при К3 в начале линии L1, имеем для защиты S2L4: Z = 9,767 ∠90,7° Ом (рис. 9.19) и аналогичным образом для защиты S1L3: Z = 7,361 ∠58,3° Ом.

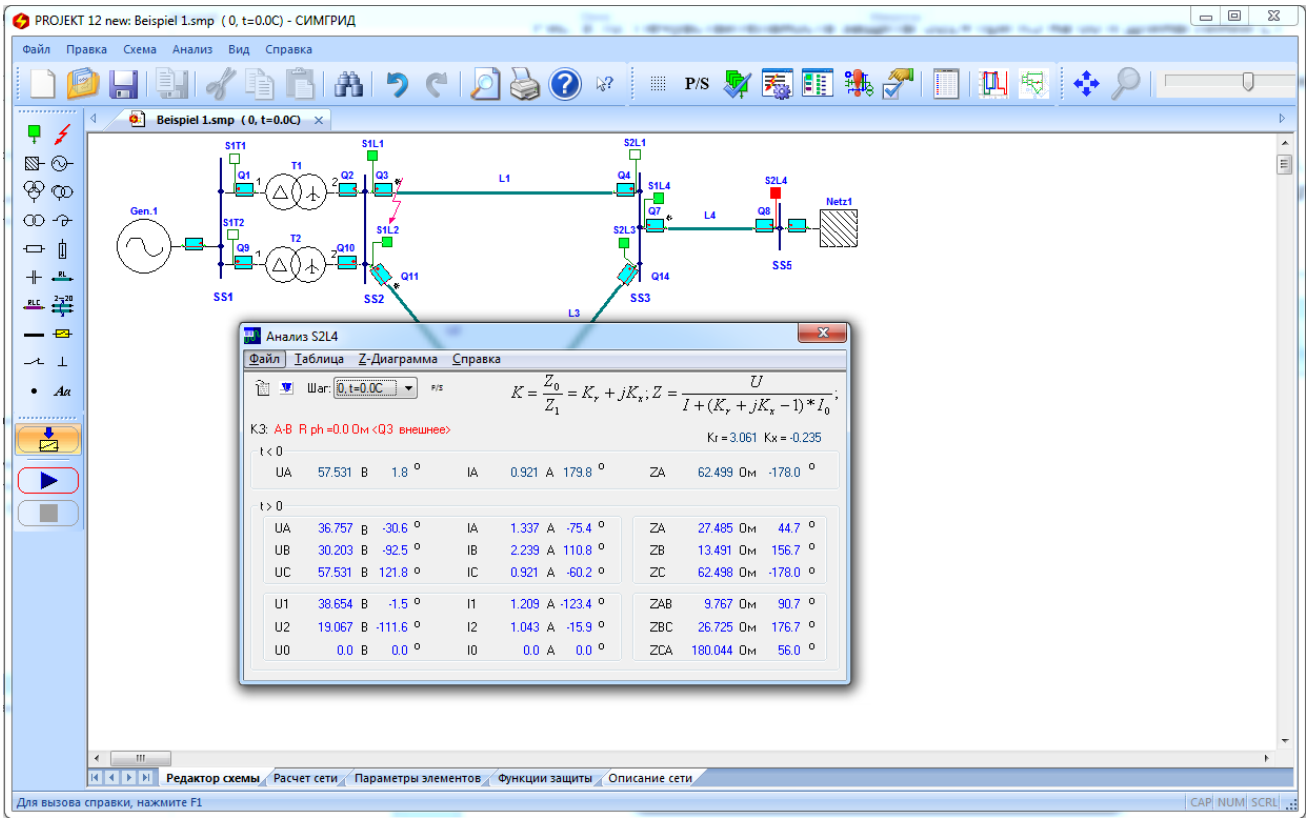


Рис. 9.19. Импедансы, замеряемые защитой *S2L4* при К3 в начале линии L1

Принимаем для третьей ступени защиты с целью надежного охвата начала L1 S2L4 четырёхугольную характеристику с координатами трёх точек: |X| = |R| =12 Ом (фаза-фаза и фаза-земля).

Последовательность введения уставок третьей ступени показана на рис. 9.20.

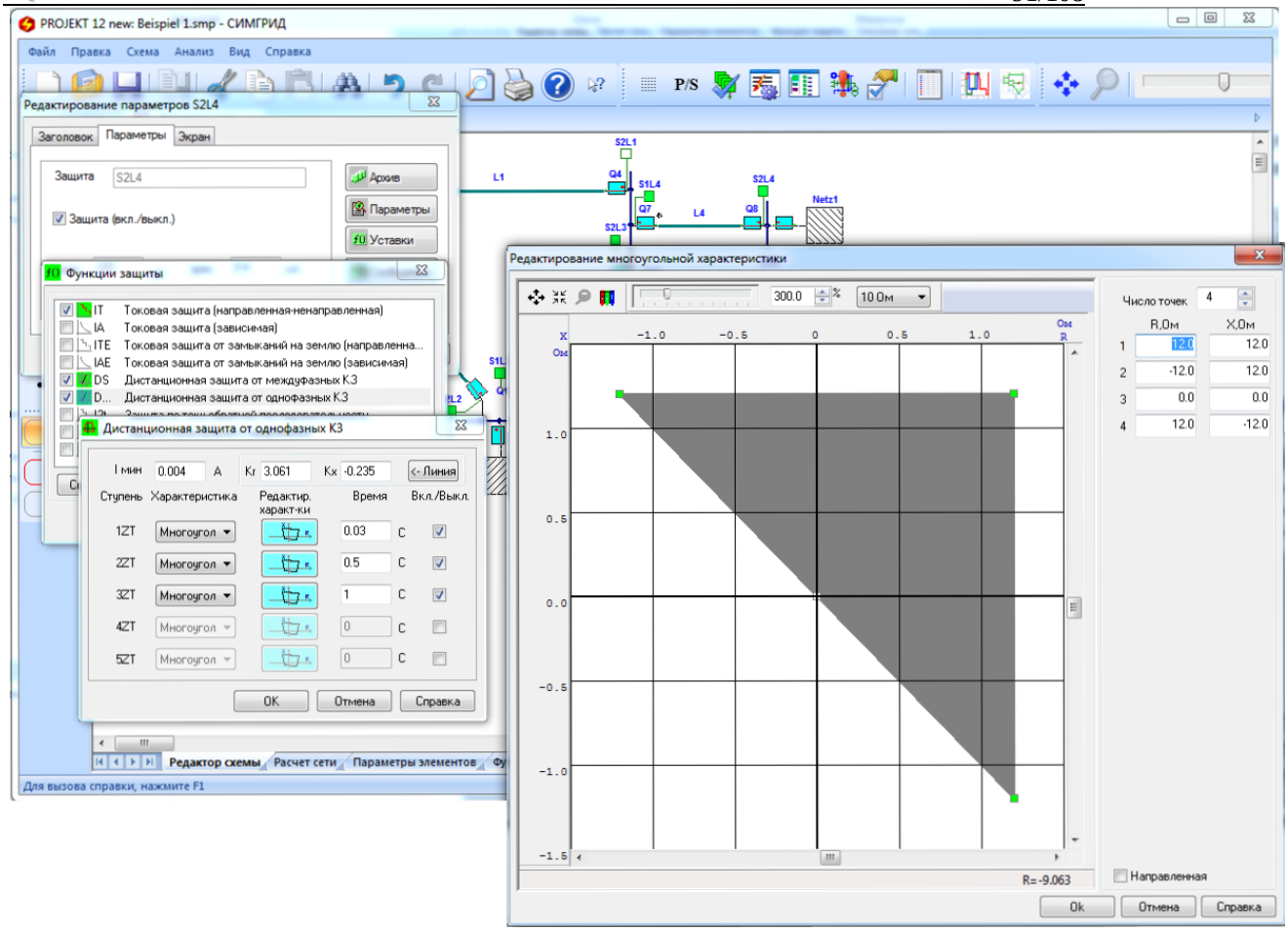


Рис. 9.20. Последовательность введения уставок третьей ступени

Для третьей ступени защиты S1L3 принимаем уставки $|R| = |X| = 8$ Ом, которые вводим аналогичным рис. 9.20 образом. Замедление ступени принимаем равным 1с.

Шаг 4. Проводя АЧС-тест(п. 9.4), подтверждаем, что защита в данном случае при отказе выключателя Q4 функционирует полностью корректно.

Приложение 1. Описание панелей редактирования параметров электрической сети

Эквивалентная система (Gs)

U_s (kV) - линейное напряжение эквивалентной системы
X, R (Ω) - эквивалентное сопротивление прямой последовательности системы
X_o, R_o (Ω) - эквивалентное сопротивление нулевой последовательности системы
φ (°) - угол вектора напряжения эквивалентной системы.
Примечание. При наличии нескольких источников напряжения сдвиг углов между векторами их напряжений должен соответствовать реальным условиям, имеющимся в анализируемой сети.

<u>Генератор (G)</u>

S (MV*A) - номинальная мощность
U_n (kV) - номинальное напряжение
U_g (kV) - реальное напряжение с учетом регулирования возбуждения
x_d* - относительное индуктивное сопротивление генератора
$k_r = r_d* / x_d*$ - коэффициент для учета активного сопротивления генератора $rd* = k_r * x_d*$
φ (°) - угол вектора напряжения генератора
При задании указанных параметров генератор вводится в схему замещения источником с напряжением Ug и сопротивлениями прямой последовательности:
$X = x_d * \bullet (U^2 / S)$ $R = k_r * X$
Если пользователь уже знает приведенные значения X, R, то он может внести их в схему непосредственно, сделав активным флажок «Параметры» ☑, который расположен в верхнем правом углу панели редактирования, то есть, в последнем случае, не требуется внесение данных генератора S, Un, x_d*.

Двухобмоточный трансформатор (T)

S (MV*A) - номинальная мощность трансформатора
U_{n1} (kV)- номинальное напряжение первичной обмотки (на схеме первичная обмотка всегда помечено «*»)
U_{n2} (kV)- номинальное напряжение вторичной обмотки
U_k (%) - напряжение короткого замыкания трансформатора
K_r - коэффициент для учета активного сопротивления трансформатора
С помощью специальных переключателей вводятся схемы соединений первичной и вторичной обмоток (⊥, ⅄, Δ), что важно при расчете несимметричных КЗ.
Rn, Xn - учет сопротивления катушки заземления для обмоток типа «звезда» с заземлением нулевой точки.
В схему замещения трансформатор вводится сопротивлениями, всегда приведенными к напряжению Un1 его первичной стороны (помечена «*» на схеме сети):
X =(Uk/100)/(Un12/S); R = Kr*X
Если пользователь уже знает приведенные значения сопротивлений, то они могут быть введены им непосредственно, сделав активным флажок «Параметры» ☑. Номинальные значения напряжений обмоток должны вводиться в любом случае.

Трехобмоточный трансформатор (Т)

Un1, Un2, Un3 - номинальные напряжения обмоток трансформатора. Для каждой из обмоток можно выбрать соответствующую схему соединения обмоток. Во избежание ошибок при вводе номинальных напряжений следует учесть, что напряжение U1, U2, U3 соответствуют номерам 1, 2, 3 выводов трансформатора в схеме сети.
В схему замещения вводятся соответствующие сопротивления трехлучевой звезды X_1, R_1; X_2, R_2; X_3, R_3, где:

$$X_1 = (U_{k12} + U_{k31} - U_{k23}) * U_{n1}^2 / (2*100*S);$$
$$X_2 = (U_{k12} + U_{k23} - U_{k31}) * U_{n1}^2 / (2*100*S);$$
$$X_3 = (U_{k23} + U_{k31} - U_{k12}) * U_{n1}^2 / (2*100*S);$$
$$R_1 = K_r * X_1; \quad R_2 = K_r * X_2; \quad R_3 = K_r * X_3;$$

Сопротивления трансформатора *всегда* приводятся к напряжению Un1 обмотки, отмеченной на схеме знаком «*».
Если сопротивление трансформатора, приведенные к напряжению Un1 известны, их можно непосредственно внести в схему, сделав активным флажок «*Параметры*» ☑.

Автотрансформатор (АТ)

Соотношения для автотрансформатора принимаются точно такими же, как и для трёхобмоточного трансформатора.

<u>Реактор (Р)</u>

Реактивное и активное сопротивление реактора рассчитываются по формуле:
$X = (X(\%)/100) * (U_{n2}/S)$; $R = K_r * X$.
При активизации флажка «*Параметры*» ☑ можно непосредственно внести известные сопротивления реактора.

<u>Нагрузка (N)</u>

При задании нагрузки сопротивления R и X рассчитываются по формуле:
$X = (U_n^2/S)*\sin\varphi$; $R = (U_n^2/S)*\cos\varphi$,
или вписываются непосредственно в соответствующие окна редактирования.

Комплексное сопротивление (Z)

В окна редактирования вносятся параметры R, L, R_o, L_o.

Конденсатор (батарея конденсаторов) - (С)

В схеме замещения участвует ёмкостное реактивное сопротивление $X = U_{n^2} / S$.

Короткая линия (RL)

Могут быть внесены параметры R*, R_o*, X*, X_o* (Ω / км) и длина линии L, либо (при активизации флажка «Параметры» ☑) - результирующие сопротивления прямой и нулевой последовательности R, R_o, X, X_o (Ω).

Параллельные линии (SL)

Один элемент может содержать до 20 параллельных линий. Число помещаемых в схему параллельных линий может регулироваться в дополнительном окне еще на стадии выбора элемента из библиотеки элементов.
Параметры каждой из линий задаются аналогично параметрам одиночной линии RL (см. изображение панели редактирования RL). Кнопка «Группа», расположенная на основной панели редактирования рассматриваемого элемента, позволяет перейти к вспомогательной панели редактирования коэффициентов взаимной связи (Xм, Rм) между всеми комбинациями из пар линий. На рис. П1, показан пример для двух линий:

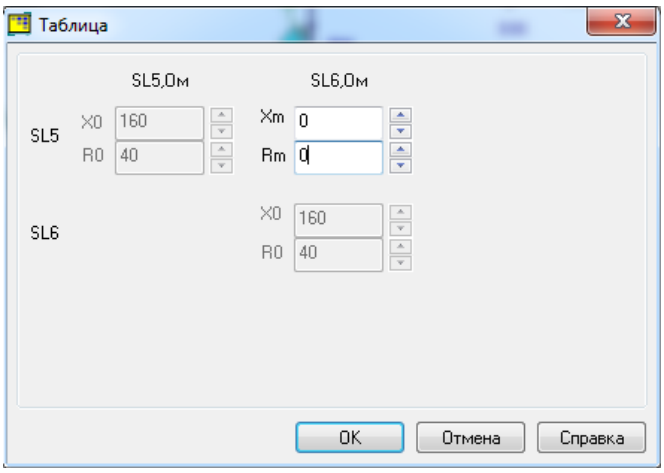


Рис. П.1 Панель задания параметров для двух параллельных линий

Длинная линия (RLC)

Введение параметров для длинной линии RLC отличается от короткой линии RL лишь введением дополнительных параметров B* и B_0* - удельных емкостных проводимостей для прямой и нулевой последовательности.

Управление разъединителем и выключателем

Параметры данных элементов имеют лишь два состояния: «*Замкнут*» или «*Разомкнут*». Чтобы перейти от одного состояния к другому нужно подвести курсор мыши к требуемому элементу на схеме и щёлкнуть правой кнопкой.

Приложение 2. Установка параметров (уставок) защитных функций

П. 2.1. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени (IT)

После активизации и нажатия соответствующей клавиши возникает панель уставок функции IT (рис. П2):

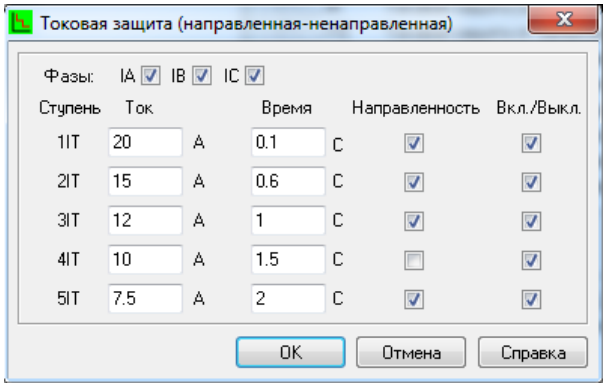


Рис. П2. Панель уставок функции IT

где выбираются:

- контролируемые защитой фазовые токи I_A, I_B, I_C путем включения соответствующих флажков;
- вводимые в действие ступени *1IT, 2IT...5IT* (флажки, расположенные в столбце «*Вкл/ Выкл.*», в строке выбираемых ступеней);
- для вводимых в действие ступеней после включения ступени все ее элементы управления активизируются) - ток срабатывания (столбец «*Ток*»), время замедления («*Время*»), а также признак того, является ли данная ступень направленной или нет (флажок «*Направленность*»).

Для функции IT принимается следующий критерий направленности (нахождение в зоне срабатывания):

$$-45° \leq \arg (U_{BC}*\exp (j90°)/I_A) \leq 135° \text{ или}$$
$$-45° \leq \arg (U_{CA}*\exp (j90°)/I_B) \leq 135° \text{ или}$$
$$-45° \leq \arg (U_{AB}*\exp (j90°)/I_C) \leq 135°.$$

П. 2.2. Максимальная токовая защита от замыканий на землю с независимой выдержкой времени (ITE)

Уставки отдельных ступеней этой функции устанавливаются аналогично функции IT, с той лишь разницей, что контролируется ток $I_E = -3*I_0$.

Критерий направленности имеет следующий вид:

$$135° \leq \arg(U_0/I_0) \leq 315°.$$

П. 2.3. Максимальная токовая защита с зависимой выдержкой времени (IA)

Окно задания параметров (рис. П2.) для этой функции содержит:

- Поля для задания значений тока I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} ("*Фазы*"), контролируемых этой функцией;
- Поле для активизации свойства направленности ("Направленность"). Критерии направленности – как для функции IT (п. П.2.1);
- Поля для выбора вида характеристики (по IEC-255 и нормам ANSI/IEEE) - *„Характеристика“*
- Поля задания параметров *„Ip“*, *„Tp“* для каждой выбранной характеристики.

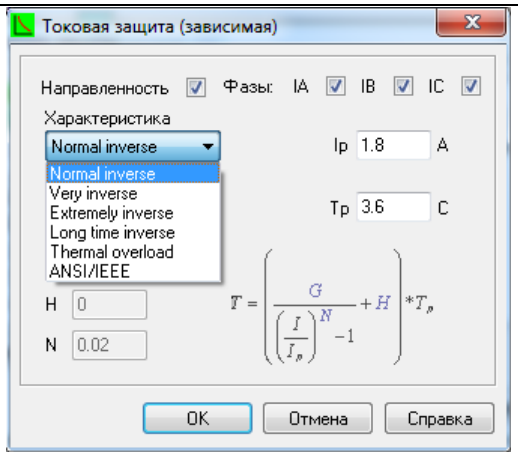


Рис. П3. Окно задания параметров

Для каждой AMZ-характеристики подходит общая формула:

$$T = (G/((I/Ip)^N - 1) + H) * Tp.$$

Здесь:
T – выдержкой времени для действия на отключение;
I - ток короткого замыкания;
G, N, H - коэффициенты характеристики;
Ip, Tp - значения уставок, выбираемые пользователем.
При выборе любой характеристики в полях "*G*", "*N*", "*H*" показываются соответствующие ей параметры.
При выборе ANSI/IEEE-характеристик (рис. П3) появляются новое поле для задания списка характеристик этого типа (рис. П4):

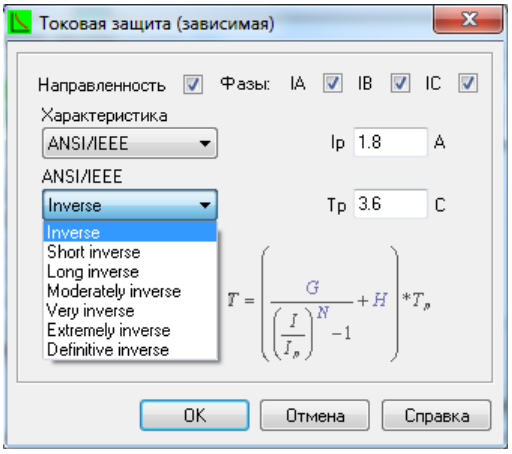


Рис. П4 ANSI/IEEE-характеристики

П. 2.4. Максимальная токовая защита от замыканий на землю с зависимой выдержкой времени (IAE)

Имеет аналогичные функции, что и защита IA, с той лишь разницей, что контролируется ток $I_E = -3 * I_0$. Она также соответствует нормам IEC 255-3 и ANSI/IEEE.

П. 2.5. Дистанционная защита от междуфазных КЗ (DS) и дистанционная защита от замыканий на землю (DSE)

Эти функции подробно описаны в пп. 5.5.3 и 5.5.4

П. 2.6. Токовая защита обратной последовательности (I_2T)

Имеется возможность установить до трёх ступеней направленной (ненаправленной) токовой защиты обратной последовательности.
Задание уставок выполняется так же, как и для функции IT (п. П.2.1), с тем только отличием, что здесь контролируется ток I_2.
При выполнении ступени направленной, она функционирует в зоне:

$$135° \leq \arg(U_2/I_2) \leq 315°.$$

П. 2.7. Защита минимального напряжения (UT<)

Данная защита может содержать до трёх ступеней с регулируемыми уставками по минимальному напряжению срабатывания и по времени замедления.
На панели редактирования параметров рассматриваемой функции по выбору пользователя включаются флажки контролируемых напряжений U_A, U_B, U_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}. Каждая из ступеней срабатывает, если хотя бы одно из контролируемых напряжений *меньше* установленного для ступени напряжения уставки.

П. 2.8. Защита максимального напряжения (UT>)

Защита выполняется аналогично UT< . Каждая ступень срабатывает, если хотя бы одно из активизированных фазных и линейных напряжений *больше* установленного для ступени напряжения уставки.

Приложение 3. Вспомогательные функции программы

- Пункт меню *Схема*.
- Пункт меню *Вид*.
- Контекстное меню на поле *Схемы*.

П. 3.1. Пункт меню *Схема*

Повернуть – поворот выделенного символа на 90° по часовой стрелке.
Свойства элемента – вызывает панель свойств выделенного элемента (символа) с тремя закладками:

- *Название* – ввод произвольного названия элемента и установка/ исключение выключателей по концам элемента.
- *Значение* – ввод параметров (R, X …) элемента.
- *Экран* – показать/спрятать на экране название и ID – номер элемента.

Перенумеровать – для восстановления порядка нумерации символов в схеме. Полезно если в процессе создания схемы некоторые элементы, вводимые с номерами по порядку, были затем удалены.
Обновить – схема автоматически перерисовывается заново. При этом исправляются все неточности рисунка, связанные с редактированием схемы.
Процесс (режим, старт, стоп) – выполняет те же функции, что и строка *Анализ-Процесс* из главного меню программы – служит для общего анализа схемы.
Опции схемы *(факультативные параметры)* – вызывает панель с четырьмя закладками:

- *Форма* – показывает после штампа, куда можно занести фамилии разработчика схемы, проверяющего и утверждающего *Проект*.
- *Вид* – для управления растром с двумя флажками.
    - *Показать растр* – сетка, облегчающая точную установку символов в схеме, показывается/ скрывается на экране.
    - *Использовать растр* – при установке этого флажка символы, вводимые в схему, автоматически устанавливаются горизонтальной осью точно по линии точек сетки; при

снятии этого флажка – символы могут быть установлены осью и между линиями из точек сетки.

- *Шрифт* – показывает вид и размер шрифта и позволяет их изменять. Для изменения параметров шрифта нужно выбрать в главном меню путь *Схема - Опции схемы* или нажать кнопку на панели управления. Затем выбрать лист *Шрифт* и нажать кнопку *Выбор шрифта*. На экране появится диалоговое окно *Выбор шрифта*. Выберите в нём вид, размер, цвет и другие нужные параметры. Проведенные в этом окне изменения влияют на параметры шрифта для всех элементов схемы.
- *Рабочее пространство* – содержит поле с двумя флажками:
  - *Закрывать схему при новом пуске программы*
  - *Загружать последнюю схему при новом пуске программы.*
- *Параметры схемы* – содержит поле с одним флажком:
  - *Вывод результатов расчета в первичных величинах.*

П. 3.2. Пункт меню *Вид*

В выпадающем списке выберите строки, чтобы установить/убрать на экране компьютера панели управления:

Панель символов – панель с универсальными кнопками Windows в главном меню программы

Статусная строка – строку статуса внизу окна, где при указании курсором на объект (кнопку, панель) появляется надпись, раскрывающая функции этого объекта

Масштабная панель – панель масштабированная с кнопками:

- *полноэкранный вид*

- *увеличение*

- *масштабный движок*

Панель библиотеки – панель с символами (элементами библиотеки)

Панель опций – панель с кнопками:

- *Растр - показать/убрать растр*

P/S - *Первичные/Вторичные UI – переключает вывод результатов расчета*

- *Защиты (включить/выключить)*

- *Параметры повреждения*

- *Свойства элементов схемы (показать/убрать)*

- *Проверка связности*

- *Опции – кнопка вызывает/скрывает панель уже описанную в пункте Схема/ Опции схемы.*

- *Окно сообщений (показать/убрать)*

- *Окно ступенчатой характеристики*

- *Окно АЧС теста*

Панель Процесс – панель с кнопками:

- *Режим*

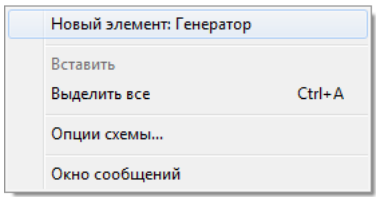
- *Старт*

- *Стоп*

для управления расчетом полной схемы.

П. 3.3. Контекстное меню на поле схемы

При щелчке правой кнопкой мыши в незанятой символами части *Схемы* появляется контекстное меню (выпадающий список):



- *Новый элемент.* Если после открытия *Схемы* в нее добавляется какой–либо символ, то после выбора этой строки в месте установки курсора появляется тот же символ с новым порядковым номером.
- *Вставить* – активно, если перед этим использовалась функция *Копировать* или *Вырезать*.
- *Выделить все* – выделяет все элементы *Схемы* (они становятся красного цвета).
- *Опции схемы* – вызывает одноименную панель для управления растром, шрифтом и *MDI*.

Приложение 4. Пример выбора уставок защиты

Построим новую сеть со следующими параметрами (рис. П5):

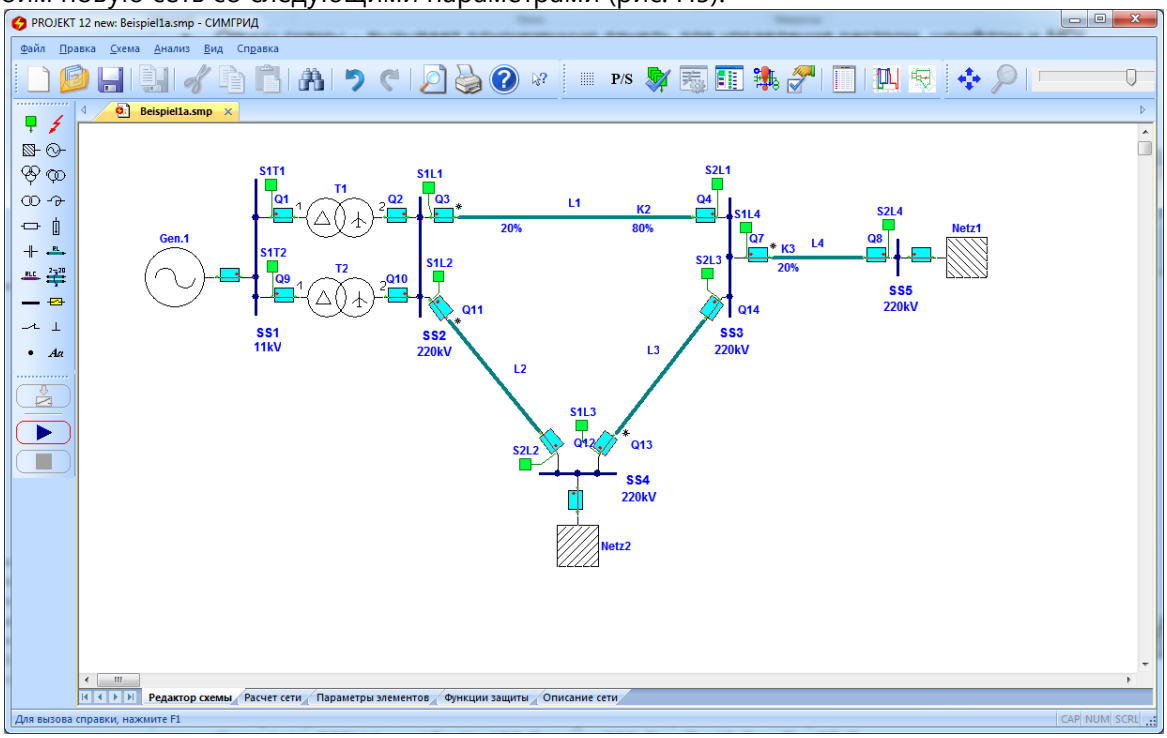


Рис. П5. Сеть с заданными параметрами

- Генератор.1: S=240 MVA; U_n=11kV; U_g=11kV; X_d''=0,4; Kr=0,1; φ=0°.
- Сеть 1: U=220kV; φ=-15°; X=100 Ом; X_0=200 Ом; R=10 Ом; R_0=25 Ом.
- Сеть 2: U=240kV; φ=15°; X=40 Ом; X_0=68 Ом; R=8 Ом; R_0=15 Ом.
- Трансформаторы T1,T2: S=63 MVA; U_{n1}=11kV; U_{n2}=220kV; U_k=10%; Kr=0,1.
- Параметры линий (Ом/км): X^*=0,4; X_0^*=1,2; R^*=0,1; R_0^*=0,4.
- Длины линий (км): L1=40; L2=50; L3=30; L4=60.

Измерительные трансформаторы защит линии:

- напряжения: 11kV/0,1kV (S1T1, S1T2); 220kV/0,1kV;
- тока: 8000A/1A (S1T1, S1T2); 400A/1A.

Каждая защита линии содержит:

- селективную 1-ступенчатую максимальную токовую защиту (без выдержки времени);
- 2-ступенчатую дистанционную защиту фаза-фаза DS;

- 2-ступенчатую дистанционную защиту фаза-земля DSE;

Требуется выбрать уставки для защиты S1L1 в начале линии L1.

Анализ проводится в следующем порядке:

1) Открыть схему как составную часть уже известного или нового проекта (п. 2).

2) Создать новую схему сети в *Редакторе* (п. 3.1 до 3.4).

3) Установить устройства защиты по концам линии и соответственно обозначить их (п 4.1, 5.3) – символ S1 в начале линии (маркировано звёздочкой), символ S2 – в конце линии.

Для линии L1 защиты S1L1, S2L1 (рис. П5) будут установлены; выбрать функции защиты в соответствии с п. 5.4 (рис. П6).

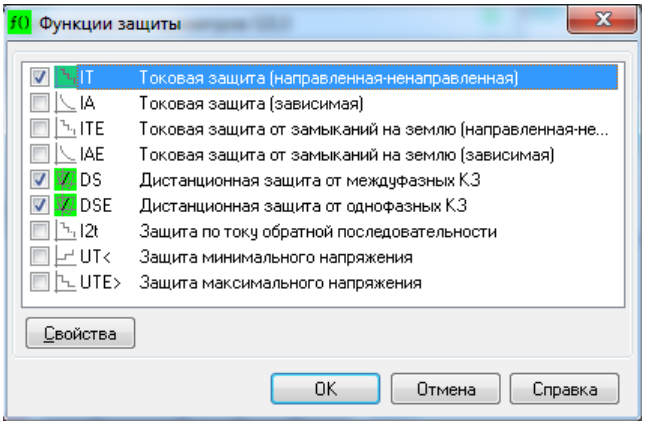


Рис. П6. Выбор объёма функций для защиты S1L1

Рассчитаем уставки I ступени функции IT (отсечка) защиты S1L1. Эта ступень не должна срабатывать при коротком замыкании на соседних элементах в прямом и обратном направлении. Поэтому её уставки должны быть выбраны так, чтобы защиты не срабатывали при коротких замыканиях на сборных шинах SS2 и SS3 (по концам линии) от тока, протекающего через защиту S1L1:

$1IT_1 \geq a_1 * I_{KS}(SS2)$; $1IT_2 \geq a_2 * I_{KS}(SS3)$,

где a_1, a_2 =1,2; I_{KS} – ток короткого замыкания.

Расчёты проведём при 3- и 1-фазном коротком замыкании.

Рассчитаем короткое замыкание на сборных шинах SS2, причём место короткого замыкания установим на конце любого выключателя, примыкающего к шинам SS2, например, Q2 (рис. А7). Вид короткого замыкания зададим по п. 3.6 (рис. 3.26). Далее откроем рабочее окно защиты (рис. 3.21) или нажмём правую кнопку мыши. Выбрав *Анализ*, получим таблицу с искомыми протекающими через защиту токами (рис. П8).

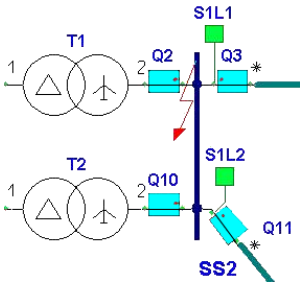


Рис. П7. К3 на сборных шинах SS2

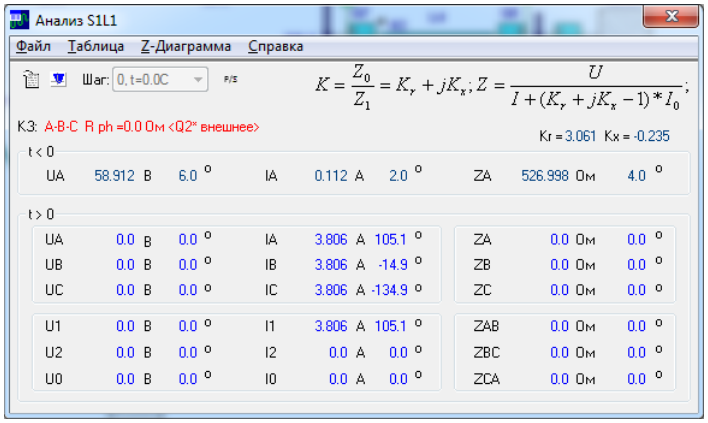


Рис. П8. Таблица с искомыми протекающими через защиту токами (3-фазное К3)

Таблица с расчётными значениями при 1-фазном коротком замыкании представлена на рис. П9 (I_{KS}=3,173 А).

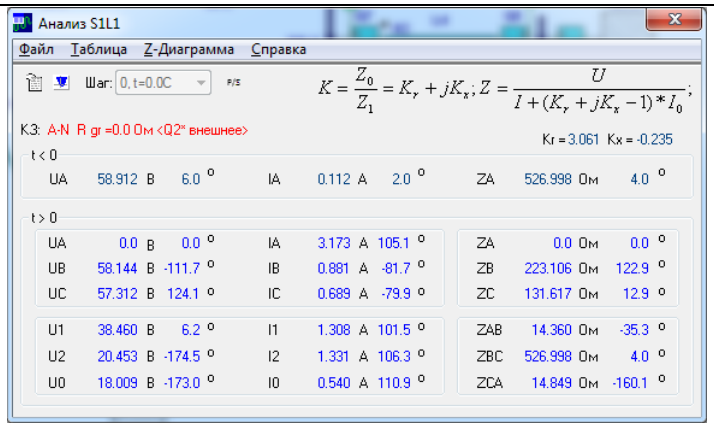


Рис. П9. Таблица с искомыми протекающими через защиту токами (1-фазное КЗ)

Из таблиц П8 и П9 вытекает, что максимальный ток возникает при 3-фазном коротком замыкании за спиной:

$I_{KS}(SS2)_{max}$=3,806 А.

Таким же образом рассчитаем ток, протекающий через защиту при 3- и 1-фазном коротком замыкании на шинах SS3 и получим соответственно:

IKS(SS3) = 3,233 А - при 1-фазном коротком замыкании;

IKS(SS3) = 3,112 А - при 3-фазном коротком замыкании.

Таким образом, принимаем ток при 3-фазном коротком замыкании на шинах SS2 как максимальный: IKS = 3,806 А.

Значение уставки защиты IT:

$1IT = a_1 * I_{KS\ max}$ = 1,2*3,806 = 4,57 А.

Зададим уставки для IT-функции защиты S1L1 по п. 5.5.1; 5.5.2 (рис. П10)

Выдержку времени примем равной 0 (0,02s – собственное время срабатывания токового измерительного органа):

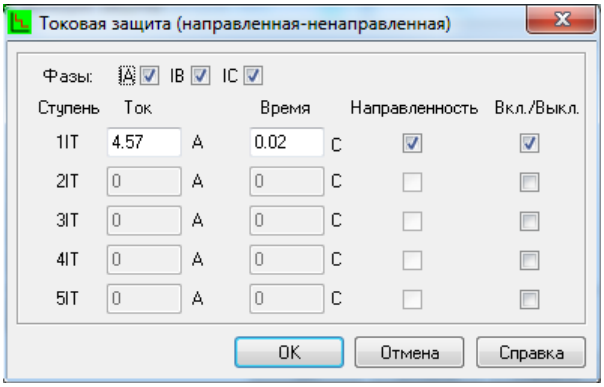


Рис. П10. Задание уставки для *IT*-функции защиты *S1L1*

Выберем уставку для I ступени дистанционной защиты обычным методом, например, как на рис. П11:

X1 – реактивная составляющая для ступени 1DS (1DSE);

X2 - реактивная составляющая для ступени 2DS (2DSE).

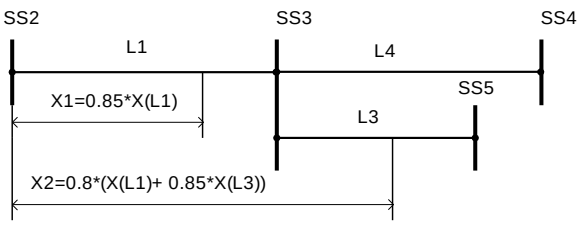


Рис. П11. Выбор уставки для I и II ступеней дистанционной защиты

При выборе уставки X2 для II ступени примем за расчётную линию с минимальной длиной (в данном случае линию L3), так как линия L3 короче, чем линия L4.
Принимая во внимание вышеприведенные параметры сети, получим следующее значение уставки на выбранной стороне:
X_1=0,85*X"*L_1*Üstr/Üspg=0,85*0,4*40*(400/1)/(220/0,1)=2,47 Ом.
Здесь:
L_1 = 40 км - длина линии L1,
X* - приведенное реактивное сопротивление,
Üstr - коэффициент трансформации трансформатора тока,
Üspg - коэффициент трансформации трансформатора напряжения.
Для уставки II ступени получим:
X_2=0,8*(X_{L1}+0,85*X_{L3})=0,8*(0,4*40+0,85*0,4*30)*(400/1)/(220/0,1)=3,81 Ом.
Выберем II ступень с характеристикой „*Многоугольник*", у которого X/R=1, то есть R1 = 2,47 Ом; R2 = 3,81 Ом (рис. П12 - для 1DS, 1DSE).

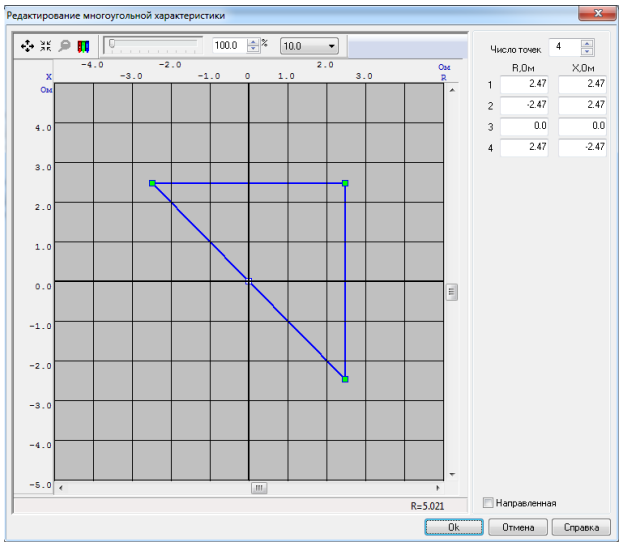


Рис. П12. Характеристика II ступени дистанционной защиты (*1DS*, *1DSE*)

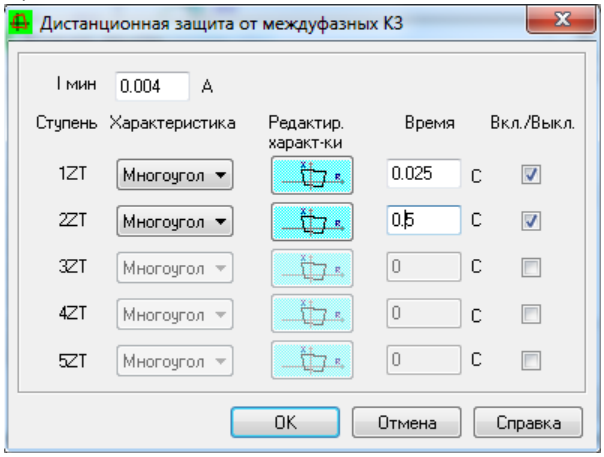
Для ступеней дистанционной защиты фаза-земля (DSE) примем аналогичные соотношения (рис. П12).
Дополнительно нужно задать требуемые коэффициенты нулевой последовательности:

$K=Z_0/Z_1$ (п. 5.5.4).

Для исследуемой схемы сети (в предположении, что характеристические параметры всех линий равны) получим:

K=(R0+j*X0)/(R1+j*X1)=(0,4+j*1,2)/(0,1+j*0,4)=3,061-j*0,235.

Окна для задания параметров для функций фаза-фаза и соответственно фаза-земля показаны на рис. П13, П14.



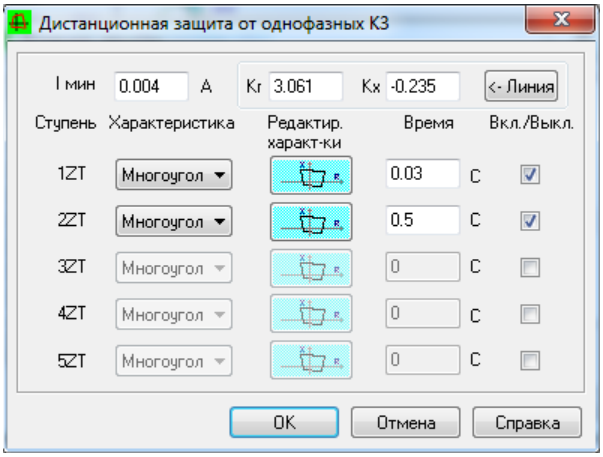


Рис. П13. Выбор ступеней для *DS*-функции

Рис. П14. Выбор ступеней для *DSE*-функции

Выдержки времени срабатывания для первых ступеней (IT, 1DS, 1DSE) примем близкими нулю (но не равными!), при этом будут показаны сообщения защит.
После выхода из режима задания уставок на экране возникает диалоговое окно, в котором нужно задать имя защитных функций в архиве (рис. П15). Дадим защите имя *7sa522-1*, здесь: *7sa522* – тип защиты, *1* – текущий номер.

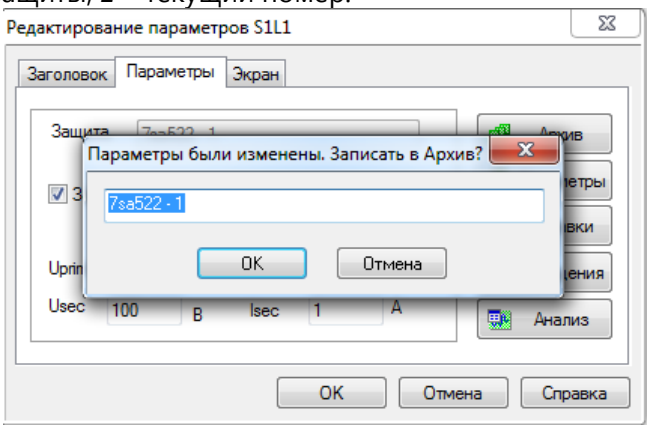


Рис. П15. Сохранение изменённых параметров защиты

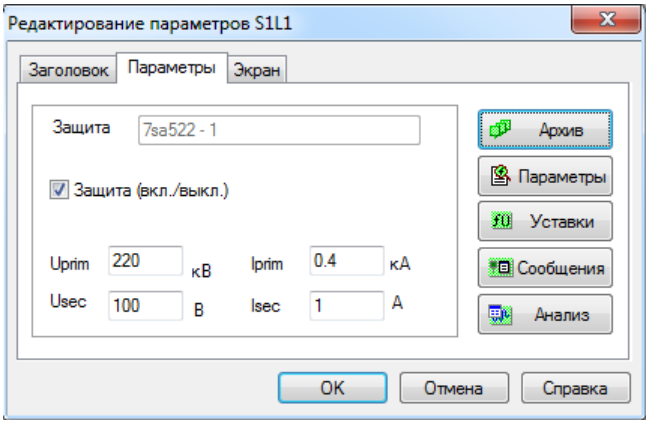


Рис. П16. Главное окно защиты с сохранёнными параметрами защиты

в результате появляется главное окно защиты (рис. П16). Эти параметры защиты автоматически записываются в архив (рис. П17). Они могут быть вызваны, распечатаны или представлены как файл при использовании кнопки *Параметры* в главном окне защиты (рис. П18).

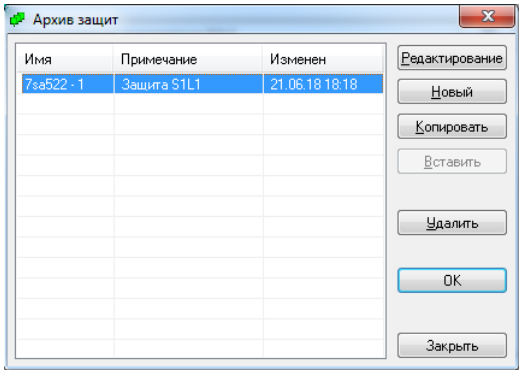


Рис. П17. Автоматическая запись параметров защиты в архив

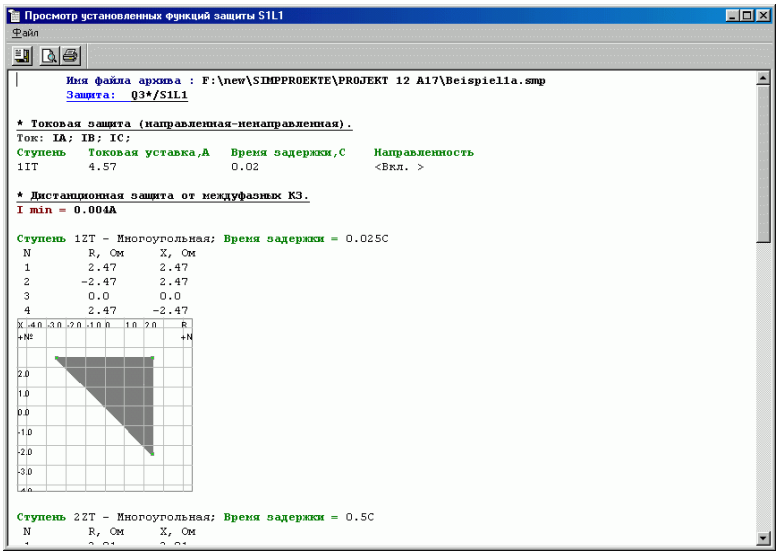


Рис. П18. Файл с параметрами защиты

Этим же методом задаются параметры оставшихся устройств защиты. Эти параметры приведены в табл. П1. Так как некоторые действия при задании уставок повторяются, для уменьшения трудоёмкости в большинстве случаев целесообразно выбрать рабочее окно защиты (например, S2L1) и через архив переписать все уставки защиты S1L1 и только потом внести требуемые изменения в уставках и их обозначениях (см. п. 5.7.4, 5.7.5).

Таблица П1.

Защита	Уставки функций					
	IT		1DS (1DSE)		2DS (2DSE)	
	I>	T	X=R	T	X=R	T
	A	сек.	Ом	сек.	Ом	сек.
S1L1	4,57	0,02	2,47	0,025 0,03(E)	3,81	0,5
S2L1	4,57	0,02	2,47	0,025 0,03(E)	3,49	0,5
S1L2	5,11	0,02	3,09	0,025 0,03(E)	4,38	0,5
S2L2	5,11	0,02	3,09	0,025 0,03(E)	4,37	0,5
S1L3	6,91	0,02	1,85	0,025 0,03(E)	4,7	0,5
S2L3	6,91	0,02	1,85	0,025 0,03(E)	3,91	0,5
S1L4	6,44	0,02	3,71	0,025 0,03(E)	5,49	0,5
S2L4	6,44	0,02	3,71	0,025 0,03(E)	4,96	0,05
S1T1	1,2	2	-	-	-	-
S1T2	1,2	20	-	-	-	-

Приложение 5. Инструкция по эксплуатации электронных ключей

Общие положения

1. Электронный ключ – это устройство, предназначенное для защиты программ и данных от несанкционированного использования и тиражирования.

2. Электронный ключ подсоединяется к USB-порту компьютера.

Установка драйверов Guardant

Драйверы Guardant необходимы для работы защищенных программ и всех утилит, обращающихся к электронному ключу.
Они должны быть включены в состав прикладного ПО его разработчиками. Новые версии драйверов всегда доступны для загрузки на сайте http://www.guardant.ru/support/download/drivers/.

Важная информация
1. Во время установки драйверов все приложения должны быть закрыты во избежание ошибки разделения файлов.
2. Пользователь, работающий с Windows 7/Vista/2003/ XP/2000, должен обладать правами администратора системы, иначе установка драйверов будет невозможна.

Порядок установки драйверов:

1. Отсоедините все USB-ключи от портов компьютера
2. Запустите файл GrdDriversRU.msi (или Setup.exe) и следуйте указаниям программы установки.

На экране появляется окно (рис 1.2):

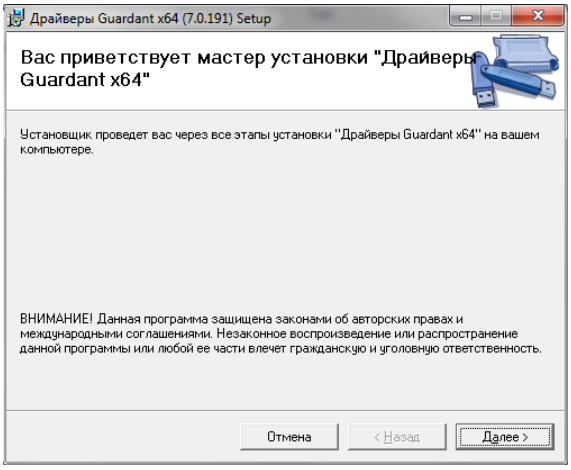


Рис. П. 19 Окно установки драйвера аппаратного защитного устройства программы

3. Подсоедините электронный ключ к порту.
4. Свидетельством того, что USB-ключ был успешно инициализирован операционной системой, является световая индикация ключа. Кроме того, ключ должен появиться в списке устройств Диспетчера оборудования Windows.

Порядок установки USB-ключа

Важная информация
1. Электронные ключи Guardant USB можно использовать в современных операционных системах, которые поддерживают стандарт USB
2. Подключение и отключение ключей Guardant USB может производиться, как при включенном компьютере, так и при выключенном
3. USB-ключ следует подсоединять к порту только после установки драйвера Guardant. Если ключ был подсоединен до установки драйвера, и запустился стандартный Мастер установки USB-устройств Windows, то необходимо извлечь ключ из порта и отменить работу Мастера

Порядок установки ключа:

1. Установите драйвер ключа Guardant, входящий в комплект ПО. См. пункт «Установка драйверов Guardant»

2. При необходимости перезагрузите компьютер

3. Подсоедините ключ Guardant USB к свободному USB-порту

4. Произведите установку прикладного ПО, следуя инструкции разработчиков

5. Убедитесь в том, что прикладное ПО функционирует правильно

Правила эксплуатации и хранения

1. Оберегайте электронный ключ от механических воздействий (падения, сотрясения, вибрации и т.п.), воздействия высоких и низких температур, агрессивных сред, высокого напряжения, любых жидкостей; все это может привести к выходу ключа из строя.

2. Не прилагайте излишних усилий при подсоединении электронного ключа к компьютеру и периферийного устройства к электронному ключу.

3. Не разбирайте электронный ключ. Это может привести к поломке его корпуса, а также к порче или поломке элементов печатного монтажа и, как следствие - к ненадежной работе или выходу из строя самого устройства.

4. В случае неисправности или неправильного функционирования электронного ключа обращайтесь к фирме-разработчику прикладного ПО.

5. Допустимая температура окружающего воздуха при хранении и перевозке от -40 до + 70 °С, кроме ключей, оборудованных таймером с автономным источником питания. Для таких ключей температура окружающего воздуха при хранении и перевозке должна быть в интервале температур от +0 до +45 °С.

6. Допустимая температура окружающего воздуха при работе электронных ключей от +0 до +45 °С.

7. Относительная влажность воздуха должна находиться в пределах от 0 до 100% без конденсата.

8. Нельзя использовать электронный ключ, охлажденный при перевозке или хранении до отрицательных температур, прежде чем он прогреется до комнатной температуры, которая гарантирует отсутствие образования конденсата на сильно охлажденном устройстве.

9. Все электронные ключи спроектированы для работы в воздушной среде и помещение их в иные среды (водные, масляные и т.п.) не допускается.

10. Устройство не предназначено для эксплуатации в сильно загрязненной среде (сухая и мокрая пыль, грязь, большое содержание маслянистых и активных веществ в воздухе).

11. Не допускайте попадания на электронный ключ (особенно на разъемы) пыли, грязи, влаги, любых жидкостей и т. п. При засорении разъемов ключа примите меры для их очистки. Для очистки корпуса и разъемов используйте сухую ткань. Использование органических растворителей недопустимо.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ООО «РЕЛГРИД»,
428000, г. Чебоксары,
ул. Маркова 6,
Тел./Факс: (8352) 218221,
e – mail: info@relgrid.com,
URL: www.relgrid.com