

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

**РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННЫХ
И ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛЭП В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ
«ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»**

Учебное пособие

Иваново 2023

УДК 621.311.001.57
В75

Воробьева Е.А., Добрягина О.А., Лифшиц А.С. Расчеты токов короткого замыкания при проектировании дистанционных и токовых защит ЛЭП в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»: Учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2023. – 76 с.

ISBN

Учебное пособие позволяет освоить основные этапы работы в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»: задание исходных данных для выполнения расчета; работу в графическом интерфейсе сервиса; моделирование объектов электроэнергетических систем; расчет токов короткого замыкания.

Пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника», для курсового и дипломного проектирования.

Ил. 44. Библиогр.: 8 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Научный редактор
О.В. Фролова, канд. техн. наук, доцент

Рецензент
кафедра автоматического управления электроэнергетическими системами ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

ISBN

© Е.А. Воробьева,
О.А. Добрягина,
А.С. Лифшиц, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»	7
1.1. Функциональные возможности облачного сервиса «Лаборатория РЗА»	7
1.2. Создание проекта в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»	7
1.3. Общие принципы создания графической модели сети	9
2. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА».....	15
2.1. Особенности моделирования источников питания	15
2.2. Особенности моделирования трансформаторов.....	16
2.3. Особенности моделирования линий электропередачи.....	21
2.4. Особенности моделирования компенсирующих устройств.....	28
2.5. Особенности моделирования нагрузки.....	31
2.6. Создание «узловых» элементов в модели электрической сети	33
2.7. Модель «Ключ КЗ»	34
2.8. Модель силового выключателя	35
2.9. Создание функциональных полей комментариев.....	36
3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА».....	38
3.1. Отключение и заземление элементов схемы.....	38
3.2. Эквивалентирование схемы сети.....	39
3.3. Моделирование режима качаний в системе	40

3.4. Расчет токов короткого замыкания	41
3.5. Выполнение пакетного расчета	42
4. ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ	46
4.1. Исходные данные для расчета токов короткого замыкания	46
4.2. Расчеты токов короткого замыкания	49
4.3. Расчет токов КЗ для проектирования ТО и МТЗ блока линия–трансформатор.....	53
4.4. Расчет токов КЗ для проектирования двухступенчатой дистанционной защиты блока	55
4.5. Протокол расчета токов КЗ для проектирования ТО параллельных ЛЭП	56
4.6. Расчет токов КЗ для проектирования дистанционных защит параллельных ЛЭП	59
4.7. Расчет токов КЗ для проектирования ТЗНП параллельных ЛЭП	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД	асинхронный двигатель
АТ	автотрансформатор
БСК	батарея статических конденсаторов
ОЗЗ	однофазное замыкание на землю
ВЛ	воздушная линия
ВЛЭП	воздушная линия электропередачи
ВН	высшее напряжение
КЗ	короткое замыкание
КЛ	кабельная линия
КЛЭП	кабельная линия электропередачи
ЛЭП	линия электропередачи
НН	низшее напряжение
СГ	синхронный генератор
СД	синхронный двигатель
СН	среднее напряжение
Т	трансформатор
ШР	шунтирующий реактор
ЭД	электродвигатель
ЭДС	электродвижущая сила

ВВЕДЕНИЕ

Для электроэнергетической системы характерны следующие режимы работы: нормальный, аварийный, послеаварийный и ремонтный, причем аварийный режим является кратковременным, а остальные – продолжительными. Основной причиной перехода энергосистемы из нормального (ремонтного) состояния к аварийному является короткое замыкание (КЗ).

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора аппаратуры и проверки элементов электроустановок (шин, изоляторов, кабелей и т. д.) на электродинамическую и термическую стойкость, выбора параметров срабатывания защит (уставок) и проверки их на чувствительность, а также для реализации алгоритмов определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи. Расчетным видом КЗ для выбора или проверки параметров электрооборудования обычно считают трехфазное КЗ. Однако для выбора и проверки уставок требуется определение и несимметричных токов КЗ.

В зависимости от назначения расчета токов КЗ выбирают расчетную схему сети, определяют вид КЗ, местоположение точек КЗ на схеме и сопротивления элементов схемы замещения. Выполнение данных расчетов «вручную» является трудоемкой задачей. В последнее время практические расчеты токов КЗ выполняются в программных комплексах, что дает возможность повысить точность расчетов токов КЗ и позволяет значительно сократить время расчетов. Использование модуля «ТКЗФ» облачного сервиса «Лаборатория РЗА» позволяет не только рассчитывать значение электрических величин при КЗ, но и анализировать режимы качаний, производить эквивалентирование электроэнергетической системы (ЭЭС).

Основной целью данного пособия является приобретение практического навыка расчета токов КЗ.

1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»

1.1. Функциональные возможности облачного сервиса «Лаборатория РЗА»

Облачный сервис «Лаборатория РЗА» является частью сервиса для выполнения расчетов установившихся и переходных процессов и анализа ЭЭС. Разработчик сервиса – компания ООО «Лаборатория РЗА» (Россия). Модуль располагается по адресу <https://labrza.ru/tkzf/>.

Базовый набор функций модуля:

- расчет установившихся режимов, включая симметричные и несимметричные расчеты;
- расчет токов короткого замыкания в фазных координатах;
- расчет остаточных напряжений в узлах системы;
- графическое отображение схем ЭЭС;
- представление результатов расчета в фазных или симметричных составляющих, в фазных или линейных величинах;
- формирование протоколов расчета, отображение результатов расчета на графической схеме;
- эквивалентирование сети.

1.2. Создание проекта в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»

При запуске модуля открывается поле для нового проекта. Для сохранения проекта необходимо в разделе меню «Файл» выбрать пункт «Сохранить как» и задать имя проекта. Для загрузки уже существующего проекта необходимо в том же разделе выбрать пункт «Открыть» и указать соответствующий файл.

Рабочее окно проекта содержит следующие области (рис. 1.1):

(1) – область главного меню и команд по управлению моделью;

(2) – область размещения графической однолинейной интерпретации модели исследуемой сети;

(3) – область графических примитивов (библиотека элементов) – компоненты модели электрической сети, доступные для использования.

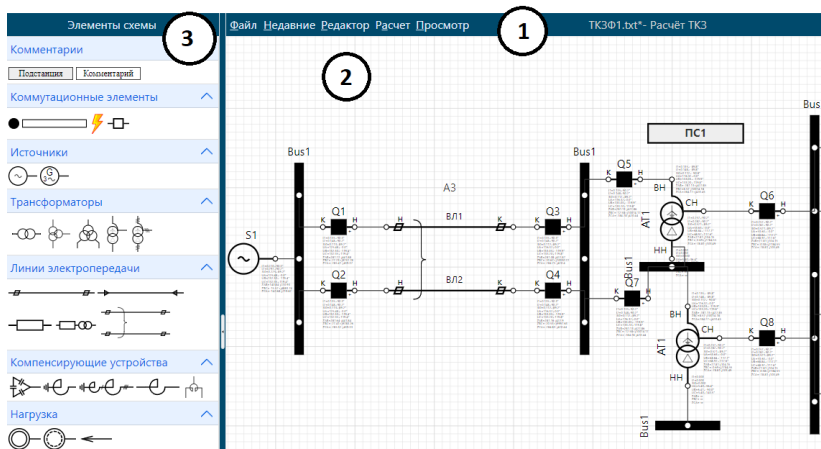


Рис. 1.1. Рабочее окно проекта в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»

Для панорамирования графической модели сети по горизонтали и вертикали предназначена средняя кнопка мыши, а для масштабирования области размещения графической модели сети используется колесо прокрутки мыши. Двойное нажатие на среднюю кнопку мыши автоматически подберет масштаб и расположение чертежа так, чтобы все его элементы были видны на экране.

1.3. Общие принципы создания графической модели сети

1.3.1. Моделирование электрической сети в облачном сервисе «Лаборатория РЗА» состоит в размещении примитивов элементов в поле графического редактора, соединению элементов в одну электрическую сеть, заданию технических параметров элементов, а также создание функциональных полей комментариев.

1.3.2. Область размещения графической интерпретации модели может иметь различный вид сетки, который выбирается в области главного меню «*Расчет*» во вкладке «*Общие*» окна «*Настройки*».

1.3.3. Создание модели электрической сети осуществляется с применением специализированной библиотеки элементов. При наведении курсора мыши на элемент библиотеки всплывает окно подсказки с наименованием элемента.

Для того чтобы добавить элемент в рабочее пространство, необходимо навести курсор мыши на его графическое обозначение в библиотеке элементов, нажать левую кнопку и перенести элемент в область рабочего пространства, в которой, по мнению пользователя, он должен располагаться. Пример добавления элемента «*Генератор*» приведен на рис. 1.2.

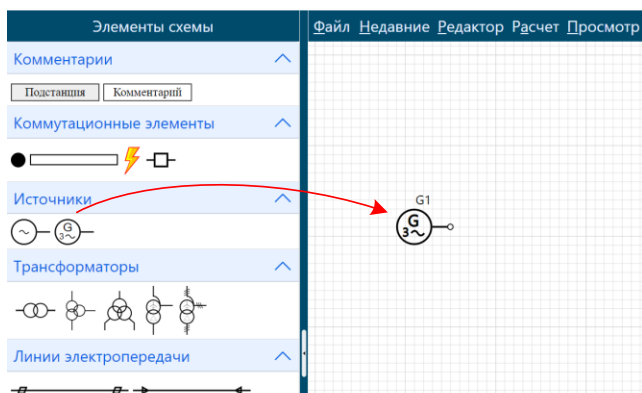


Рис. 1.2. Добавление элемента «Генератор» из библиотеки элементов в графическую область модели

При необходимости любой элемент схемы можно повернуть, выбрав знак поворота  или , который появляется при наведении на него курсора мыши. Скопировать элемент можно, нажав , удалить – нажав .

1.3.4. Для соединения двух элементов на схеме необходимо навести курсор мыши на точку вывода соответствующего элемента, зажать левую кнопку мыши и провести соединительную линию к выводам другого элемента.

Соединительная линия при необходимости может иметь изломы, задаваемые пользователем. Для создания излома навести курсор мыши на соединительную линию в предполагаемом месте излома, зажать левую кнопку мыши и перенести точку излома в нужное место. Для просмотра точек излома необходимо навести курсор мыши на соединительную линию. Удаление точки излома осуществляется двойным нажатием на нее левой кнопки мыши.

1.3.5. Окно настроек параметров элемента вызывается путем двойного нажатия на графическое обозначение элемента (рис. 1.3). В данном окне задается имя объекта (строка «Наименование»), которое будет отображаться на расчетной схеме, и осуществляется привязка к определенной подстанции (строка «Подстанция»), необходимая для

возможной дальнейшей цветографической группировки на схеме и сгруппированного вывода результатов расчета (пример создания комментария «Подстанция» приведен в п. 2.2).

Окно «*Параметры элемента*» содержит три основные вкладки: «*Параметры*», «*КЗ в элементе*» и «*Настройки*».

Во вкладке «*Параметры*» (рис. 1.3, а) вводятся паспортные или расчетные параметры элемента. При наведении курсора мыши на определенный параметр появляется всплывающая подсказка с его описанием. Параметры, обязательные для задания, отмечены знаком *.

Паспортные данные заполняются в соответствии с документацией завода-изготовителя / собственника. Расчет параметров схемы замещения производится автоматически при изменении паспортных данных. Если вводится некорректное значения параметра, то при сохранении появится всплывающее окно с причиной ошибки (рис. 1.3, б).

Для внесения расчетных параметров схемы замещения при отсутствии паспортных данных необходимо активировать переключатель «*задавать расчетными параметрами*». Если расчетные параметры были изменены вручную, и пользователь деактивирует переключатель «*задавать расчетными параметрами*», то программа выдаст предупреждение, что при переходе к паспортным данным расчетные параметры будут автоматически пересчитаны из паспортных.

Паспортные данные отдельных элементов (эквивалентная система, генератор, кабельная линия, воздушная линия, трансформатор, реактор) заполняются автоматически при выборе из базы данных (кнопка ) , либо вручную при занесении исходных данных в модель.

$\Gamma)$

времени. Добавление КЗ производится путем нажатия на кнопку  и настройкой его параметров. Активировать соответствующий вид повреждения для расчета можно нажатием .

Во вкладке «*Настройки*» (рис. 1.3, г) производится выбор величин для отображения на схеме и записи в отчет после проведения расчета:

 – соответствие настроек отображаемой величины глобальным настройкам проекта, которые задаются в области главного меню по пути «*Расчет*» → «*Настройки...*» → вкладка «*Вывод*»;

☐ – отображение на схеме и запись величины в отчет отключены;

 – задание локальных настроек отображаемой величины.

Сохранение результатов расчета в сводный отчет производится активацией соответствующего переключателя.

Глобальные настройки вывода рассчитываемых величин определяются в области главного меню по пути «*Расчет*» → «*Настройки*» → вкладка «*Вывод*». Знаком  отмечаются электрические величины, которые будут отображаться в качестве результатов расчета на графической модели сети и в сводном отчёте. Формат величин (фазные, линейные, симметричные составляющие) и форма их отображения (величина и угол, комплексное число, градусы или радианы) задаются в соответствующих столбцах (рис. 1.4).

В поле графического редактора доступны следующие операции по размещению элементов:

– перемещение одиночного элемента в другую область модели производится наведением курсора мыши на элемент, а затем удерживанием левой клавиши мыши и перемещением его на своё место.



Рис. 1.4. Вкладка «Вывод» окна «Настройки» в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»

– групповое перемещение, перемещения нескольких элементов производится зажатием левой кнопки мыши на свободном пространстве и выделением нескольких элементов, которые затем переносятся в необходимую область по аналогии с одиночным перемещением. Если выделять элементы слева направо, то выделятся только те элементы, которые целиком попадают в рамку выделения. Если же выделять элементы справа налево, то такая рамка выделяет целиком элементы, которые даже частично попали в область выделения.

Также в области графического отображения модели можно пользоваться сочетанием клавиш *Ctrl+C* (скопировать), *Ctrl+V* (вставить), *Ctrl+X* (вырезать), *Ctrl+Z* (отменить) или выполнять соответствующие операции с помощью области главного меню «Редактор».

2. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»

2.1. Особенности моделирования источников питания

Источником питания может быть «Система» или «Генератор» (рис. 2.1).

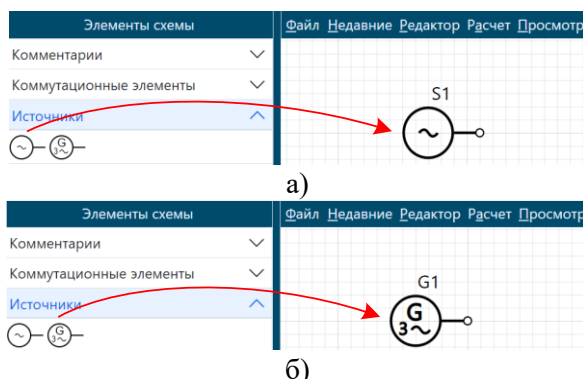


Рис. 2.1. Элементы библиотеки «Источники»
а) элемент «Система»; б) элемент «Генератор»

Обязательными паспортными параметрами «Системы» являются ЭДС E , начальный угол, ток трехфазного КЗ I_{k3} (рис. 2.2, а). При этом ток трехфазного КЗ автоматически пересчитывается при указании мощности трехфазного КЗ $Sk3$. Если нейтраль системы изолирована, то ток I_{k1} и мощность $Sk1$ однофазного КЗ не задаются.

В паспортных параметрах «Генератора» есть возможность принять ЭДС равным номинальному напряжению $U_{ном}$ (рис. 2.2, б), в противном случае ЭДС будет рассчитываться с учетом падения напряжения на сопротивлении генератора при протекании через него номинального тока.

Начальный угол вектора ЭДС в параметрах системы и генератора задается с учетом угла поворота, связанного с группой соединения силовых трансформаторов. Например, если к трансформатору, имеющему группу соединения $Y/\Delta-11$, со стороны Y подключена эквивалентная система, а со стороны Δ – синхронный генератор, то для компенсации фазового сдвига начальный угол ЭДС в генераторе задается равным 30° , а в системе – 0° .

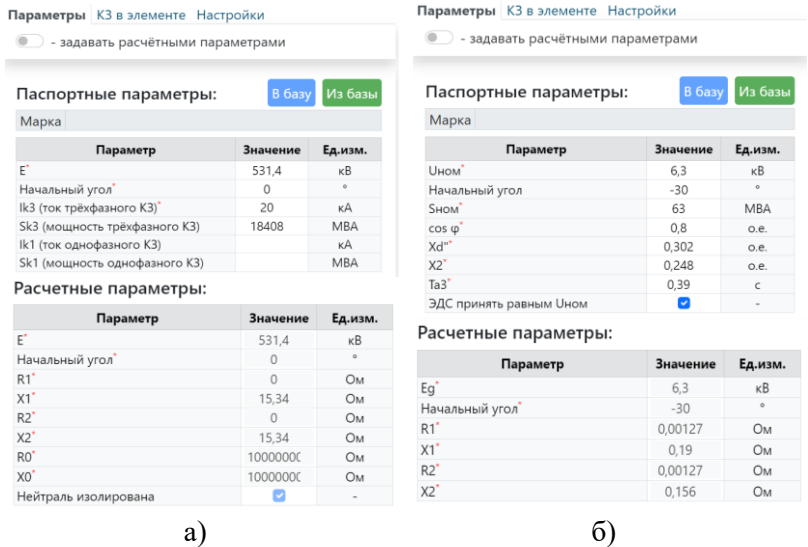


Рис. 2.2. Вкладка «Параметры» элементов библиотеки «Источники»: а) элемента «Система»; б) элемента «Генератор»

2.2. Особенности моделирования трансформаторов

Каждая из обмоток силового трансформатора может быть соединена следующими способами:

- звездой с изолированной или заземленной нейтралью (группа соединения 0);
- треугольником (группа соединения 11).

Активное сопротивление трансформатора значительно меньше индуктивного сопротивления, поэтому активные потери КЗ не являются обязательным параметром.

Расчетные значения активных R и реактивных X сопротивлений приводятся к соответствующей стороне трансформатора. Исключением является двухобмоточный трансформатор, для которого рассчитываются сопротивления, включающие в себя обе обмотки – ВН и НН, приведенные к стороне ВН.

Параметры двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой НН могут задаваться различными способами:

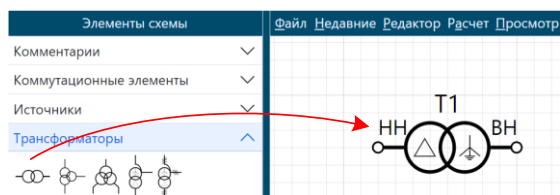
- только заданием величины напряжения КЗ $U_{kВН-НН}$ ($U_{kВН-НН1}$).

При этом коэффициент расщепления принимается равным 3,5. Если задается значение $U_{kВН-НН}$, то необходимо активировать опцию «В опыте КЗ ВН-НН закорачивались обмотки НН».

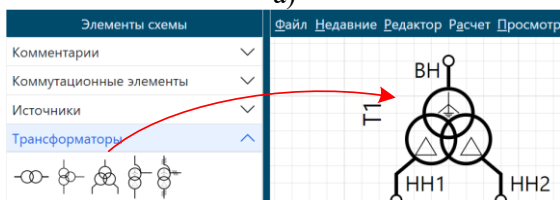
- заданием величины напряжения КЗ $U_{kВН-НН}$ ($U_{kВН-НН1}$) и $U_{kНН1-НН2}$.

При этом коэффициент расщепления рассчитывается исходя из заданных опытов КЗ. В ряде паспортов на трансформаторы величина напряжения $U_{kНН1-НН2}$ может быть отнесена к половине мощности Т. В этом случае необходимо активировать соответствующую опцию.

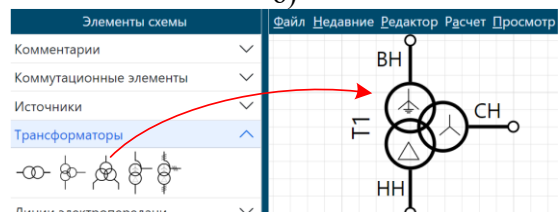
Графическое изображение элементов «Трансформатор двухобмоточный» и «Трансформатор с расщепленной обмоткой» приведено на рис. 2.3, параметры элементов – на рис. 2.4.



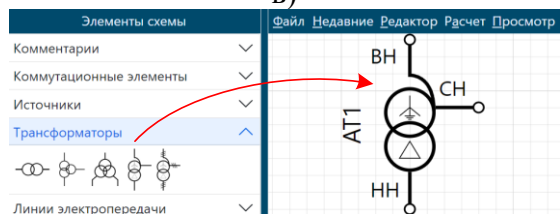
а)



б)



в)



г)

Рис. 2.3. Элементы библиотеки «Трансформаторы»:
 а) элемент «Трансформатор двухобмоточный»;
 б) элемент «Трансформатор с расщепленной обмоткой»;
 в) элемент «Трансформатор трехобмоточный»;
 г) элемент «Автотрансформатор трехфазный»

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН ¹	Y0	-
Обмотка НН ¹	D	-
Snом ¹	125	MBA
Unом, ВН ¹	242	кВ
Unом, НН ¹	10,5	кВ
Uк ¹	11	%
ΔPk	380	кВт

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН ¹	Y0	-
Обмотка НН ¹	D	-
Unом, ВН ¹	242	кВ
Unом, НН ¹	10,5	кВ
R ¹	1,424	Ом
X ¹	51,516	Ом

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН ¹	Y0	-
Обмотка НН ¹	D	-
Snом ¹	25	MBA
Unом, ВН ¹	110	кВ
Unом, НН ¹	10	кВ
Uк ВН-НН ¹	15,279	%
Uк НН1-НН2	15	%
ΔPk	117	кВт
Потери K3 отнесены к половине мощности трансформатора	☐	-
В опыте K3 ВН-НН закорачивались обмотки НН	☒	-
Напряжение K3 НН1-НН2 отнесено к половине мощности трансформатора	☐	-

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН ¹	Y0	-
Обмотка НН ¹	D	-
Unом, ВН ¹	110	кВ
Unом, НН ¹	10	кВ
R ВН ¹	4,53	Ом
X ВН ¹	37,37	Ом
R НН ¹	0,075	Ом
X НН ¹	0,59	Ом

а) б)

Рис. 2.4. Вкладка «Параметры» элементов:

а) «Трансформатор двухобмоточный»;

б) «Трансформатор с расщепленной обмоткой»

В связи с тем, что в паспортах на трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы активные потери КЗ могут быть приведены не к полной мощности трансформатора, а, например, к мощности обмотки НН, во вкладке «Параметры» имеется возможность задания величины мощности, к которой отнесены указанные потери. Если величина мощности, к которой отнесены активные потери КЗ не указана, то активные сопротивления трансформатора рассчитываются относительно номинальной мощности обмотки ВН.

Графическое изображение элементов «Трансформатор трехобмоточный» и «Автотрансформатор трехфазный» приведено на рис. 2.3, параметры элементов – на рис. 2.5.

Параметры

К3 в элементе

Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры:

В базу

Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН [*]	Y0 ▾	-
Обмотка СН [*]	Y ▾	-
Обмотка НН [*]	D ▾	-
Сном ВН [*]	25	MBA
Сном СН	25	MBA
Сном НН	25	MBA
Уном, ВН [*]	230	кВ
Уном, СН [*]	38,5	кВ
Уном, НН [*]	11	кВ
Uk ВН-СН [*]	12,5	%
Uk ВН-НН [*]	20	%
Uk СН-НН [*]	6,5	%
ΔРк ВН-СН	135	кВт
ΔРк ВН-НН	130	кВт
ΔРк СН-НН	105	кВт
Потери КЗ ВН-СН отнесены к	25	MBA
Потери КЗ ВН-НН отнесены к	25	MBA
Потери КЗ СН-НН отнесены к	25	MBA

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Обмотка ВН [*]	Y0 ▾	-
Обмотка СН [*]	Y ▾	-
Обмотка НН [*]	D ▾	-
Уном, ВН [*]	230	кВ
Уном, СН [*]	38,5	кВ
Уном, НН [*]	11	кВ
R ВН	6,771	Ом
X ВН [*]	275,028	Ом
R СН	0,13	Ом
X СН [*]	-0,301	Ом
R НН	0,009	Ом
X НН [*]	0,338	Ом

Параметры

К3 в элементе

Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры:

В базу

Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Сном ВН [*]	200	MBA
Сном СН	200	MBA
Сном НН [*]	80	MBA
Уном, ВН [*]	230	кВ
Уном, СН [*]	121	кВ
Уном, НН [*]	38,5	кВ
Uk ВН-СН [*]	11	%
Uk ВН-НН [*]	32	%
Uk СН-НН [*]	20	%
ΔРк ВН-СН	430	кВт
ΔРк ВН-НН	430	кВт
ΔРк СН-НН	430	кВт
Потери КЗ ВН-СН отнесены к	200	MBA
Потери КЗ ВН-НН отнесены к	80	MBA
Потери КЗ СН-НН отнесены к	80	MBA
X0	0,9	о.е.

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Уном, ВН [*]	230	кВ
Уном, СН [*]	121	кВ
Уном, НН [*]	38,5	кВ
R ВН	0,28	Ом
X ВН [*]	30,44	Ом
R СН	0,078	Ом
X СН [*]	-0,37	Ом
R НН	0,09	Ом
X НН [*]	1,51	Ом
X0 [*]	0,9	о.е.

а) б)
Рис. 2.5. Вкладка «Параметры» элементов:
а) «Трансформатор трехобмоточный»;
б) «Автотрансформатор трехфазный»

2.3. Особенности моделирования линий электропередачи

В наиболее общем случае параметры воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий должны рассчитываться по паспортным данным ЛЭП с учетом геометрических параметров проводников, опор и прочих конструктивных элементов.

2.3.1. Задание параметров воздушной линии. Графическое изображение элемента «Воздушная ЛЭП» приведено на рис. 2.6, параметры элемента – на рис. 2.7.

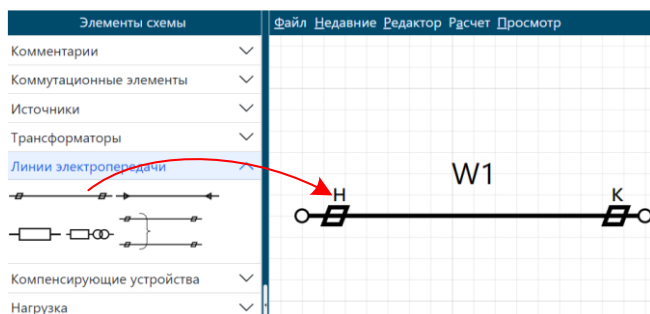


Рис. 2.6. Элемент «Воздушная ЛЭП» в библиотеке элементов

Параметры грунта можно задавать любым из следующих способов:

- удельным сопротивлением грунта;
- эквивалентной глубиной расположения обратного провода в земле;
- удельной проводимостью земли.

При изменении любого из этих параметров остальные пересчитываются автоматически.

В разделе «*Параметры опоры*» задаются координаты точек подвеса проводов с учетом высоты гирлянды изоляторов. При наличии грозотросов необходимо активировать переключатель *GW1* или *GW2*, при этом появятся разделы, в которых вводятся параметры соответствующих грозотросов. Внутренний радиус провода соответствует радиусу

стальной жилы сталеалюминиевого провода. Для однородного провода внутренний радиус провода задается равным 0.

Относительная магнитная проницаемость материала провода по умолчанию принимается равной 1 о.е. Расстояние между проводами фазы необходимо задавать только при наличии расщепления (количество проводов в фазе 2 и более).

Наименование W3

Подстанция

Параметры КЗ в элементе Настройки

Общие параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Уд. сопр-е грунта	100	Ом*м
Эквивалентная глубина	939	м
Уд. проводимость земли	0,0001	1/(Ом*см)
Длина участка ЛЭП	45	км

Количество ВЛ в коридоре 2

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные данные:

Параметры опоры

Марка

Фаза	X, м	Y, м
A	-8,22	27,9
B	0	27,9
C	8,229	27,9
GW1		
GW2		

Стрела провеса, м 14

Параметры проводов В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Внутр. радиус проводов	0,005067	м
Внеш. радиус проводов	0,015189	м
R постоянного тока	0,0585	Ом/км
μ	1	о.е.
Кол-во проводов в фазе	1	шт.
Расст-е между пров. фазы	0	м

Параметры грозотроса 1 В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Внутр. радиус проводов	0	м
Внеш. радиус проводов	0,004601	м
R постоянному току	0,304	Ом/км
μ	1	о.е.
Заземлен	☐	-

Расчетные параметры:

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1*	0,594271	Ом
X1*	6,622849	Ом
R0*	3,760653	Ом
X0*	18,78712	Ом
B1*	0,000068	См
B0*	0,000042	См

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1уд*		Ом/км
X1уд*		Ом/км
R0уд*		Ом/км
X0уд*		Ом/км
B1уд*		См/км
B0уд*		См/км

Рис. 2.7. Вкладка «Параметры» элемента «Воздушная ЛЭП»

Во вкладке «КЗ в элементе» задаются параметры КЗ: место (КЗ в начале, КЗ в конце, КЗ на линии), вид и величина переходного сопротивления (рис. 2.8). Функция «КЗ на линии» означает положение точки замыкания в пределах линии с возможностью изменения удаленности в процентах от длины линии.

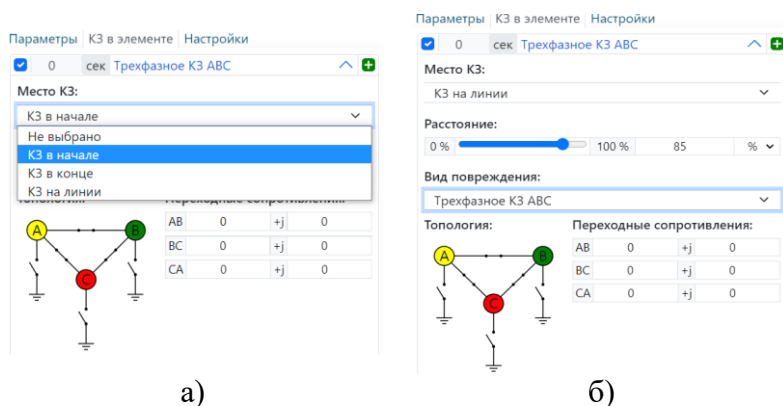


Рис. 2.8. Вкладка «КЗ в элементе» элемента «Воздушная ЛЭП»

В разделе «*Расчетные параметры*» приводятся как полные, так и удельные параметры, которые автоматически пересчитываются при задании длины линии в разделе «*Общие параметры*».

2.3.2. Задание параметров коридора воздушных линий. С помощью элемента «*Коридор ВЛЭП*» (рис. 2.9) можно задать количество параллельных ВЛ, идущих в одном коридоре и связанных взаимной индукцией.

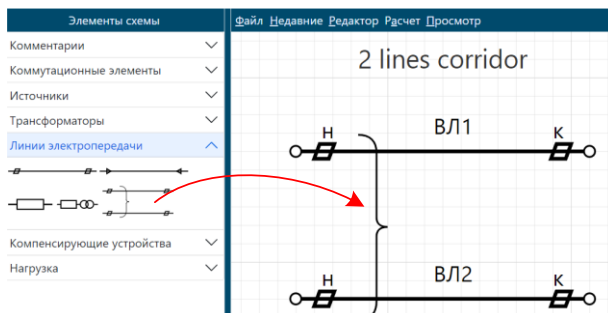


Рис. 2.9. Элемент «Коридор ВЛЭП»

Каждой линии во вкладке «*Параметры*» может быть присвоено наименование, заданы соответствующие паспортные данные, параметры грунта и расположение в

коридоре относительно других линий (рис. 2.10). Для двух-цепной линии при наличии грозотроса его данные задаются в параметрах только одной цепи. Параметры грунта, опор и проводов задаются аналогично п. 2.4.1.

Параметры КЗ в элементе Настройки

Общие параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Уд. сопр-е грунта*	100	Ом*м
Длина участка ЛЭП*	45	км

Количество ВЛ в коридоре: 2

☐ - задавать расчётными параметрами

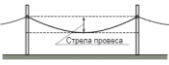
Паспортные параметры:

ВЛ1

Параметры опоры

В базу Из базы

Марка



Стрела провеса, м 0

Фаза	X, м	Y, м
A	0	16
B	12	16
C	24	16

GW1 GW2

Параметры проводов

В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Внутр. радиус проводов	0,0046	м
Внеш. радиус проводов*	0,01375	м
R постоянного тока*	0,0733	Ом/км
μ	1	о.е.
Кол-во проводов в фазе	3	шт.
Расст-е между пров. фазы	0,23094	м

Расположение ЛЭП в коридоре

Параметр	Значение	Ед.изм.
Координата по оси X*	0	м

ВЛ2

Расчетные параметры:

ВЛ1

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1*	1,110335	Ом
X1*	14,6735	Ом
R0*	7,53263	Ом
X0*	49,8821	Ом
B1*	0,00015	См
B0*	0,00011	См

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1уд*	0,02467	Ом/км
X1уд*	0,32607	Ом/км
R0уд*	0,16739	Ом/км
X0уд*	1,10849	Ом/км
B1уд*	0,00000	См/км
B0уд*	0,00000	См/км

ВЛ2

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1*	2,17749	Ом
X1*	14,7880	Ом
R0*	8,44080	Ом
X0*	52,5112	Ом
B1*	0,00015	См
B0*	0,00008	См
Rμ12*	6,32661	Ом
Xμ12*	26,8859	Ом
Bμ12*	-0,00001	См

Полные Удельные

Параметр	Значение	Ед.изм.
R1уд*	0,04838	Ом/км
X1уд*	0,32862	Ом/км
R0уд*	0,18757	Ом/км
X0уд*	1,16691	Ом/км
B1уд*	0,00000	См/км
B0уд*	0,00000	См/км
Rμ уд12*	0,14059	Ом/км
Xμ уд12*	0,59746	Ом/км
Bμ уд12*	-2,76713	См/км

Рис. 2.10. Вкладка «Параметры» элемента «Коридор ВЛЭП»

Координаты проводов каждой ВЛ по оси X задаются относительно произвольно выбранной точки отсчета для этой ВЛ, координата X которой указывается в разделе «Расположение ЛЭП в коридоре». Пример расположения ВЛЭП в коридоре приведен на рис. 2.11.

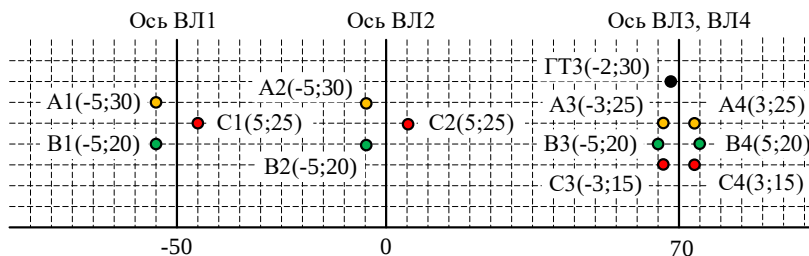


Рис. 2.11. Пример расположение ВЛЭП в коридоре

Для каждой линии коридора, начиная со второй, задаются расчетные параметры ее взаимной индукции по отношению к предыдущим линиям.

Положение точки КЗ может быть задано на любой линии коридора.

2.3.3. Задание параметров кабельной линии. Графическое изображение элемента «Кабельная ЛЭП» приведено на рис. 2.12, параметры элемента – на рис. 2.13.

Тип проводника КЛ можно выбрать из выпадающего списка:

- медный многожильный круглый проводник (Normally stranded circular-shaped);
- медный многожильный секторный проводник (Sector-shaped stranded);
- медный сегментированный проводник (Segmental-shaped);
- расщеплённая токопроводящая жила (Milliken-shaped);

– многожильный кольцевой проводник (Stranded annular).

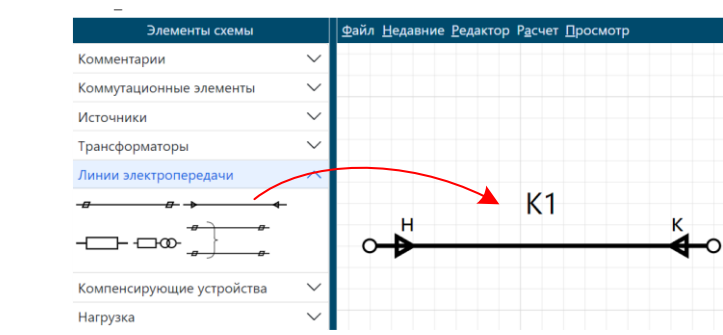


Рис. 2.12. Элемент «Кабельная ЛЭП»

Параметры элемента

Наименование: W2

Подстанция

Параметры КЗ в элементе Настройки

Общие параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Длина участка ЛЭП*	10	км

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры:

В базу Из базы

Параметр	Значение	Ед.изм.
Тип проводника		-
Удельное сопротивление жилы		Ом*мм ² /м
Площадь попер. сечения жилы*	1000	мм ²
Внутренний радиус жилы		мм
Удельное сопротивление экрана		Ом*мм ² /м
Площадь попер. сечения экрана*	16	мм ²
Экран заземлён*	☒	-
Наличие транспозиции*	☐	-
Толщина изоляции (Ж-Э)*	23	мм
Наружный диаметр кабеля*	39,4	мм
Отн.диал.прониц. (Ж-Э)		о.е.
Отн.диал.прониц. (Э-О)		о.е.
Координата X фазы A*	-0,7	м
Координата Y фазы A*	0,79	м
Координата X фазы B*	-0,58	м
Координата Y фазы B*	-0,46	м
Координата X фазы C*	1	м
Координата Y фазы C*	0	м
Температурный коэффициент	0,004	-
Отн.магн.прониц. проводника	1	о.е.
Эквив. глубина возврата тока	1000	м
Рабочая температура	20	°C

Расчетные параметры:

Полные	Удельные	Параметр	Значение	Ед.изм.
R1*			0,594271-	Ом
X1*			6,622849-	Ом
R0*			3,760653-	Ом
X0*			18,78712-	Ом
B1*			0,000068-	См
B0*			0,000042-	См

Полные	Удельные	Параметр	Значение	Ед.изм.
R1уд*			0,059427	Ом/км
X1уд*			0,662284	Ом/км
R0уд*			0,376065	Ом/км
X0уд*			1,878712	Ом/км
B1уд*			0,000006	См/км
B0уд*			0,000004	См/км

Рис. 2.13. Вкладка «Параметры» элемента «Кабельная ЛЭП»

Поперечное сечение одножильного кабеля и его основные параметры приведены на рис. 2.14.

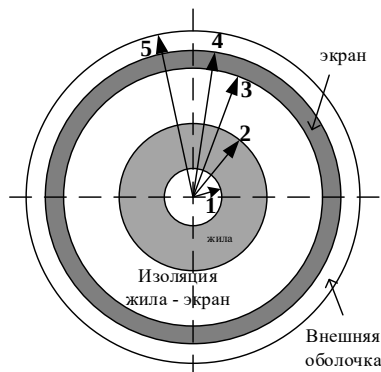


Рис. 2.14. Поперечное сечение одножильного кабеля:
1 – внутренний радиус проводника; 2 – наружный радиус проводника; 3 – внутренний радиус экрана; 4 – наружный радиус экрана; 5 – наружный радиус оболочки

Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции в общем случае представляет собой комплексное число с действительной и мнимой частями. Однако для анализа установившихся режимов имеет значение только действительная составляющая, что эквивалентно предположению нулевой проводимости шунта. Типовые значения относительной диэлектрической проницаемости, о.е. [1]:

- для бумаги с твёрдой пропиткой - 4;
- для бумаги с масляной пропиткой - 3,5;
- для маслонаполненных трубчатых - 3,7;
- для газонаполненных - 3,5;
- для бутилкаучука - 4;
- для этиленпропиленового каучука - 3;
- для сшитого полиэтилена - 2,5;
- для полиэтилена - 2,3;
- для поливинилхлорида - 8.

Типовые значения температурных коэффициентов и удельных сопротивлений представлены в таблице 2.1 [1].

Таблица 2.1. Типовые значения температурного коэффициента и удельного сопротивления

Материал	Температурный коэффициент (⁰ C ⁻¹) при 20°С	Удельное сопротивление (Ом / м) при 20°С
<i>Проводник</i>		
Медь	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$1,7241 \cdot 10^{-8}$
Алюминий	$4,03 \cdot 10^{-3}$	$2,8264 \cdot 10^{-8}$
<i>Экран</i>		
Свинец	$4 \cdot 10^{-3}$	$21,4 \cdot 10^{-8}$
Бронза	$3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
Сталь	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$13,8 \cdot 10^{-8}$
Нержавеющая сталь	0	$70 \cdot 10^{-8}$

2.4. Особенности моделирования компенсирующих устройств

Графическое изображение элементов библиотеки «Компенсирующие устройства» приведено на рис. 2.15.

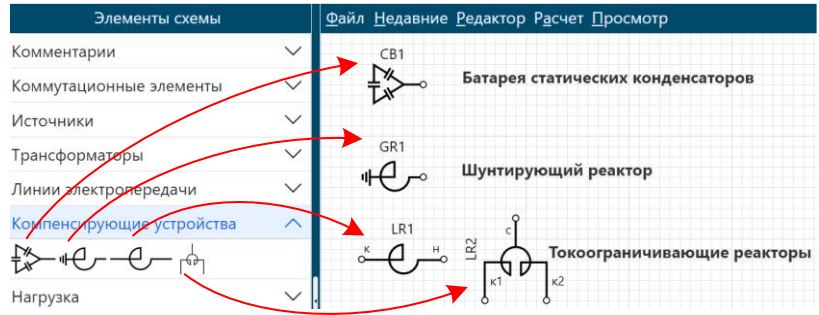


Рис. 2.15. Элементы библиотеки «Компенсирующие устройства»

Параметры батареи статических конденсаторов (элемент «БСК») рассчитываются на основании паспортной

генерируемой реактивной мощности. В случае, если величина генерируемой реактивной мощности неизвестна, параметры могут быть определены заданием фазной емкости (рис. 2.16, а).

Реактивная проводимость элемента *«Шунтирующий реактор»* может быть рассчитана заданием либо номинальной реактивной мощности, либо номинальным током (рис. 2.16, б). Данные параметры автоматически пересчитываются при изменении одного из них. Шунтирующие реакторы могут иметь трехфазное или пофазное исполнение, задаваемое в строке *«Тип исполнения»*. Для трехфазного исполнения реактора в параметрах элемента указывается линейное значение номинального напряжения, реактивная мощность и потери активной мощности на все три фазы, для однофазного – фазное значение номинального напряжения, реактивная мощность и потери активной мощности на одну фазу.

Индуктивное сопротивление элемента *«Токоограничивающий реактор»* может быть рассчитано заданием реактивного падения напряжения при номинальном токе, если в паспорте отсутствует значение в Омах (рис. 2.16, в). В *«Сдвоенном реакторе»* данное сопротивление может быть рассчитано заданием индуктивности L_p (рис. 2.16, г).

В сдвоенных реакторах соседние ветви сближены так, что между ними существует сильная магнитная связь, характеризующаяся коэффициентом связи, который зависит от расстояния между ветвями. Чем ближе ветви друг к другу, тем больше k связи. Обычно k связи лежит в пределах 0,4 – 0,6. Во вкладке *«Параметры»* значение коэффициента по умолчанию принято 0,5.

Параметры элемента

Наименование CB1

Подстанция

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные данные: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Схема соединений	D	-
Уном [*]	220	кВ
Q	150	Мвар
C	9,86	мкФ
ΔP	0,2	Вт/квар

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Нейтраль заземлена		-
B [*]	0,003099	См
G	6,198346	См
B0	0	См
G0	0	См

а)

Параметры элемента

Наименование GR1

Подстанция

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Тип исполнения	Трёхфаз	-
Уном [*]	11	кВ
Ip	173,2178	А
Qp [*]	3,3	Мвар
ΔP [*]	40	кВт

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Нейтраль заземлена		-
B [*]	-0,02727	См
G [*]	0,000330	См
B0 [*]	-0,02727	См
G0 [*]	0,000330	См

б)

Параметры элемента

Наименование LR1

Подстанция

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Уном [*]	10,5	кВ
Ip [*]	100	А
Xp [*]	13,2	Ом
Xp0	21,774	%
ΔP	170	кВт

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
R [*]	17	Ом
X [*]	13,2	Ом

в)

Параметры элемента

Наименование LR2

Подстанция

Параметры K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры: В базу Из базы

Марка

Параметр	Значение	Ед.изм.
Уном [*]	10,5	кВ
Ip	100	А
Xp	15,212	Ом
Xp0	25,09	%
k связи	0,5	о.е.
Lp	48,42	мГн
ΔP	15,279	кВт

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
R [*]	3,05	Ом
X1 [*]	-7,6	Ом
X2 [*]	22,82	Ом

г)

Рис. 2.16. Вкладка «Параметры» элементов библиотеки «Компенсированные устройства»: а) элемента «БСК»; б) элемента «Шунтирующий реактор трехфазный»; в) элемента «Токоограничивающий реактор»; г) элемента «Сдвоенный реактор»

2.5. Особенности моделирования нагрузки

Графическое изображение элементов библиотеки «Нагрузка» приведено на рис. 2.17.

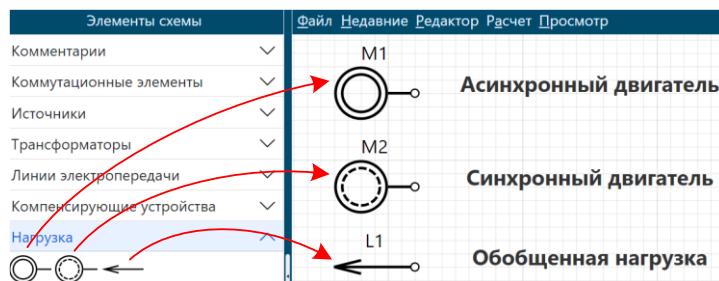


Рис. 2.17. Элементы библиотеки «Нагрузка»

Начальный угол вектора ЭДС в параметрах элементов нагрузки задается с учетом угла поворота, связанного с группой соединения силовых трансформаторов.

2.5.1. Моделирование обобщенной нагрузки. Параметры элемента «Обобщенная нагрузка» задаются в соответствующей вкладке окна настроек и приведены на рис. 2.18.

Параметры элемента

Наименование: L1

Подстанция:

Параметры: K3 в элементе Настройки

☐ - задавать расчётными параметрами

Паспортные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
Uном*	12	кВ
E*	0,8	о.е.
Rho	1	о.е.
Xho	1	о.е.
Ph*	10	МВт
Qh*	10	Мвар
Начальный угол	0	°

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
E*	9,6	кВ
R*	10182,34	Ом
X*	10182,34	Ом
Начальный угол*	0	°

Рис. 2.18. Вкладка «Параметры» элемента «Обобщенная нагрузка»

Значения ЭДС, относительных активного и индуктивного сопротивления нагрузки могут не задаваться. В этом случае они будут рассчитаны исходя из типовых значений в соответствии с разделом 5.7 РД 153-34.0-20.527 [2].

2.5.2. Моделирование синхронных и асинхронных двигателей. Параметры электродвигателей задаются в соответствующих одноимённых вкладках всплывающего окна настроек и приведены на рис. 2.19.

Параметры элемента

Наименование: A4-200

Подстанция: 3963

Параметры КЗ в элементе Настройки

Паспортные данные: В базу Из базы

Марка	Параметр	Значение	Ед.изм.
	$I_{ном}$	6	кВ
	$R_{ном}$	200	кВт
	$I_{ном}$	23	А
	$\eta_{ном}$	93.9	%
	$\cos(\varphi_{ном})$	0.891	о.е.
	$N_{ном}$	1470	об/мин
	$K_{пл}$	6	о.е.
	Начальный угол	0	*

☐ - задавать расчётными параметрами

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
E^*	5.505262	кВ
R^*	3.011936	Ом
X^*	24.92083	Ом
Начальный угол	0	*

Отмена Сохранить

а)

Параметры элемента

Наименование: SD1

Подстанция:

Параметры КЗ в элементе Настройки

Паспортные данные: В базу Из базы

Марка	Параметр	Значение	Ед.изм.
	$R_{ном}$	3200	кВт
	$I_{ном}$	6	кВ
	$N_{ном}$	3000	об/мин
	$I_{ном}$	354.1755	А
	$\cos(\varphi)$	0.9	о.е.
	$K_{пл}$	96.6	%
	$K_{пл}$	6.1	о.е.
	M	1.1	о.е.
	X_2^*	0.150043	о.е.
	X_2	2	о.е.
	Начальный угол	0	*

☐ - задавать расчётными параметрами

Расчетные параметры:

Параметр	Значение	Ед.изм.
E^*	37.36	кВ
$R1^*$	57.27	Ом
$X1^*$	866.03	Ом
$R2^*$	57.27	Ом
$X2^*$	577.35	Ом
Начальный угол	0	*

Отмена Сохранить

б)

Рис. 2.19. Вкладка «Параметры» электродвигателей:

а) для асинхронного двигателя; б) для синхронного двигателя;

Для обеих моделей значение номинального тока $I_{ном}$ необходимо задавать в соответствии со схемой соединения обмоток «Звезда» («Y») или «Треугольник» («D»).

Паспортное значение тока для соединения в «Y», как правило, меньше в $\sqrt{3}$ раз, чем при соединении в «D».

Параметр $P_{ном}$ представляет собой механическую мощность на валу, указанную в паспорте, а не ту активную электрическую мощность, которую данный электродвигатель потребляет из сети.

Параметр $N_{ном}$ асинхронного двигателя участвует в расчёте номинального скольжения, которое отсутствует в перечне «Паспортных параметров», но является важным в расчёте параметров схемы замещения электродвигателя.

Параметры $K_{п.т.}$, $M_{п.}$, X_d'' и X_2 являются необязательными для расчёта «Расчётных параметров» в модели синхронного двигателя. В случае их отсутствия, параметры будут рассчитываться по приближенным выражениям согласно [3].

2.6. Создание «узловых» элементов в модели электрической сети

Наиболее простым элементом является «Узел» – компонент, отражающий место присоединения до четырех энергообъектов (рис. 2.20).

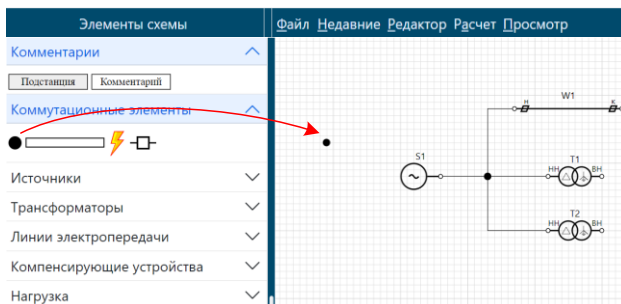


Рис. 2.20. Элемент «Узел» в библиотеке элементов

Важным узловым элементом является «Шина» – компонент, отражающий место присоединения одного или

нескольких энергообъектов. Расположение одного из вариантов выполнения шины и ее внешний вид по умолчанию приведены на рис. 2.21.

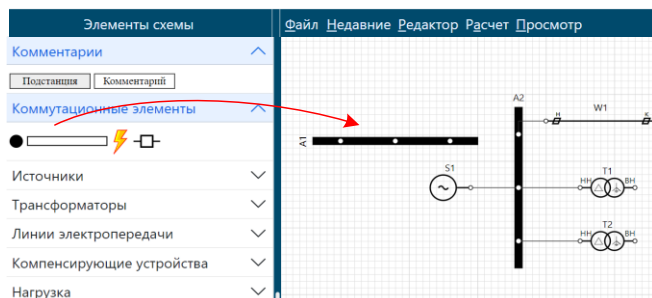


Рис. 2.21. Элемент «Шина» в библиотеке элементов

В окне настроек параметров элемента «Шина» прописывается наименование шины, осуществляется привязка к определенной подстанции и задается количество узлов (рис. 2.22).

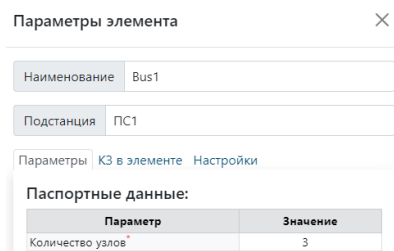


Рис. 2.22. Вкладка «Параметры» окна настроек элемента «Шина»

2.7. Модель «Ключ КЗ»

Короткое замыкание [8] и его параметры могут задаваться во вкладке «КЗ в элементе» или с помощью элемента «Ключ КЗ», расположенного в библиотеке «Коммутационные элементы» (рис. 2.23). Задание параметров во вкладках

«КЗ в элементе» и «Настройки» аналогичны рассмотренным ранее.

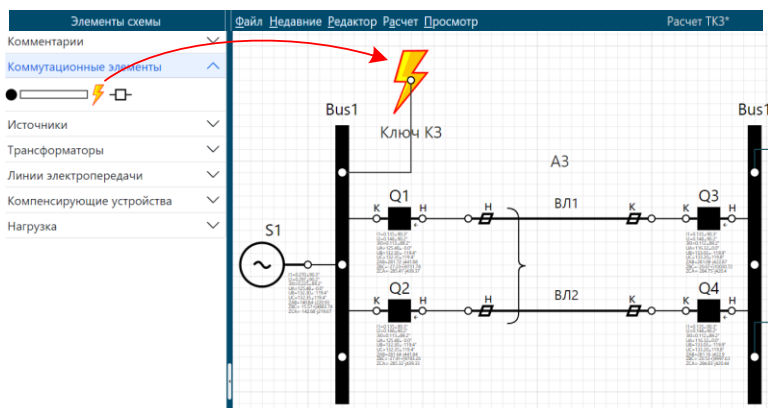


Рис. 2.23. Элемент «Ключ КЗ» в библиотеке элементов

2.8. Модель силового выключателя

Модель выключателя в облачном сервисе «Лаборатория РЗА» выполняется соответствующим элементом «Q» библиотеки «Коммутационные элементы» (рис. 2.24).

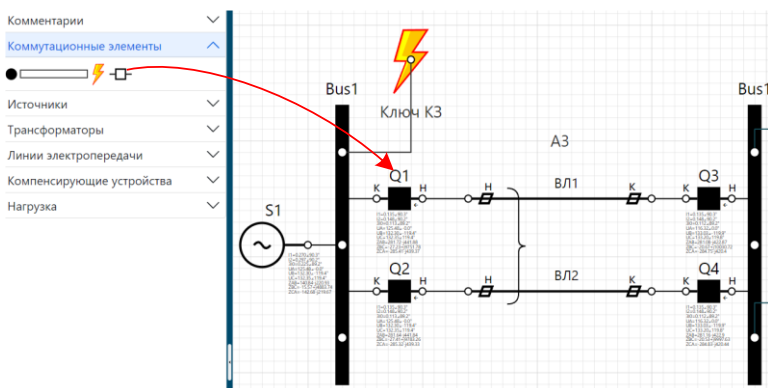


Рис. 2.24. Элемент «Ключ КЗ» в библиотеке элементов

В окне параметров элемента помимо наименования и привязки к подстанции задается номинальное состояние выключателя. Значок ☒ соответствует включенному состоянию всех трех или отдельных фаз выключателя. Для отключения определенной фазы выключателя необходимо убрать знак в соответствующей фазе (рис. 2.25). Отключенное состояние выключателя на схеме соответствует изображению $\overset{K}{\square} \overset{H}{\square}$, включенное – $\overset{K}{\blacksquare} \overset{H}{\blacksquare}$, включение только определенных фаз выключателя соответствующим образом изменит его изображение (например, $\overset{K}{\blacksquare} \overset{H}{bc}$). Дополнительно во вкладке «*Параметры*» можно задать моменты коммутации выключателя. Добавление коммутации производится путем нажатия на кнопку ☒ и настройкой параметров, для удаления необходимо нажать кнопку ☐. Активировать соответствующую коммутацию для расчета можно выделением знаком ☒.

Параметры элемента ×

Наименование

Подстанция

Параметры K3 в элементе Настройки

	t, сек	Все фазы	A	B	C	
☒	0	☒	☒	☒	☒	☒
☒	0,1	☒	☐	☒	☒	☐
☐	0,3	☒	☐	☐	☒	☐

Рис. 2.25. Вкладка «*Параметры*» окна настроек элемента «*Выключатель*»

2.9. Создание функциональных полей комментариев

В графическую область модели из библиотеки элементов можно добавить функциональные блоки комментариев (рис. 2.26). Блок «*Подстанция*» помогает осуществить цветографическую группировку элементов на схеме и сформировать сгруппированный итоговый отчет.

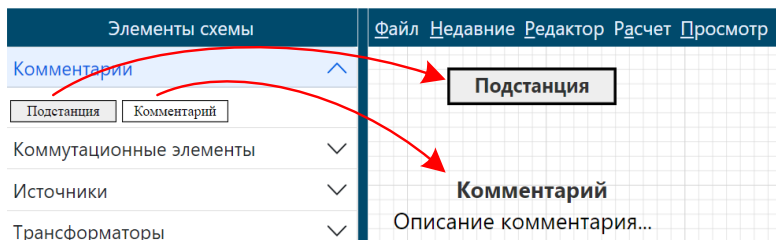


Рис. 2.26. Элементы библиотеки «Комментарии»

В параметрах элемента, добавляемого в графическую модель, в поле «Подстанция» осуществляется привязка к определенной подстанции. Для цветографической группировки необходимо выбрать «Раскрасить элементы по подстанциям» в области главного меню «Просмотр».

Пример цветографической группировки «По подстанциям» приведен на рис. 2.27. Раскрасить элементы схемы можно и по другим признакам: по напряжениям, по источникам, по мощности.

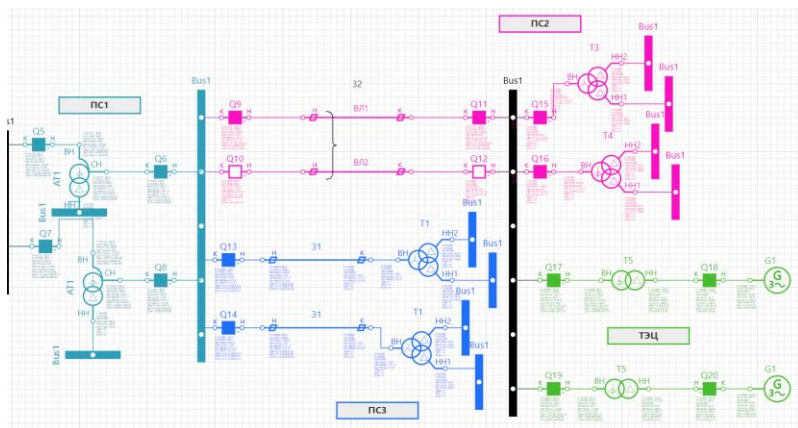


Рис. 2.27. Пример цветографической группировки схемы по подстанциям

Блок «Комментарии» служит для размещения текстовых комментариев в графической области модели.

3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ «ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»

3.1. Отключение и заземление элементов схемы

При расчете режимов сети, связанных с протеканием токов нулевой последовательности, возникает необходимость отключать и заземлять отдельные элементы схемы для учёта влияния на режим взаимоиנדукции. Для выполнения указанной операции в поле графического редактора необходимо отключить выключатели по концам данных элементов и задать трехфазные КЗ на землю ABC0 в соответствующих вкладках отключаемых выключателей. Пример отображения схемы в случае отключения и заземления воздушной линии коридора приведен на рис. 3.1.

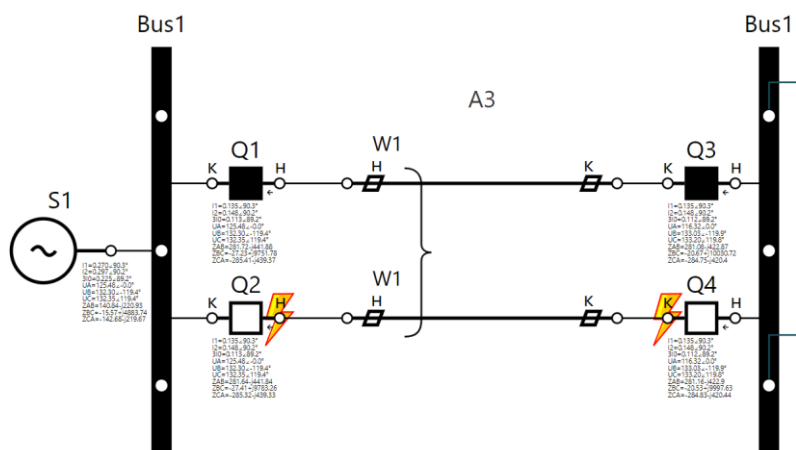


Рис. 3.1. Пример графического отображения отключенной и заземленной ВЛ

3.2. Эквивалентирование схемы сети

Под эквивалентированием понимается процедура расчета, имеющего своей целью составление упрощенной схемы проектируемой сети и использования ее для дальнейших исследований.

Для эквивалентирования схемы необходимо в области главного меню «Расчет» выбрать опцию «Перейти в режим эквивалентирования», в появившемся окне отметить знаком ☒ шины, относительно которых осуществляется эквивалентирование и нажать кнопку «Рассчитать». После этого в области размещения графической модели сети появится эквивалентная система (рис. 3.2).

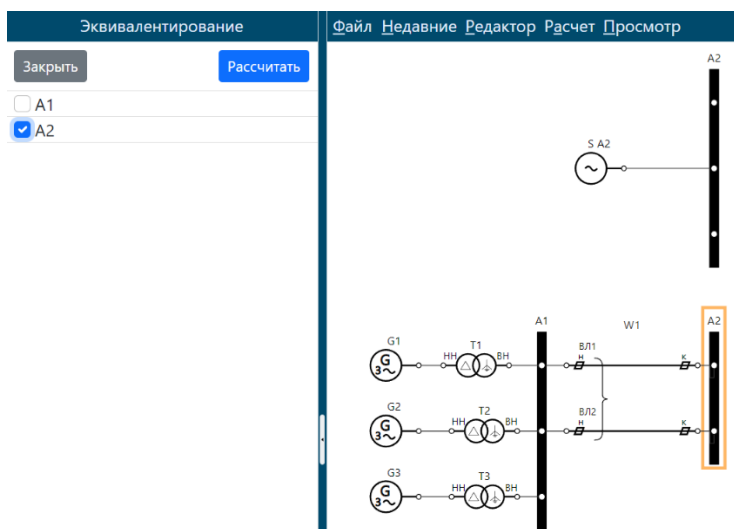


Рис. 3.2. Меню «Эквивалентирование»

Пример эквивалентирования схемы относительно двух шин приведен на рис. 3.3. В этом случае помимо эквивалентных систем образуется эквивалентная линия связи.

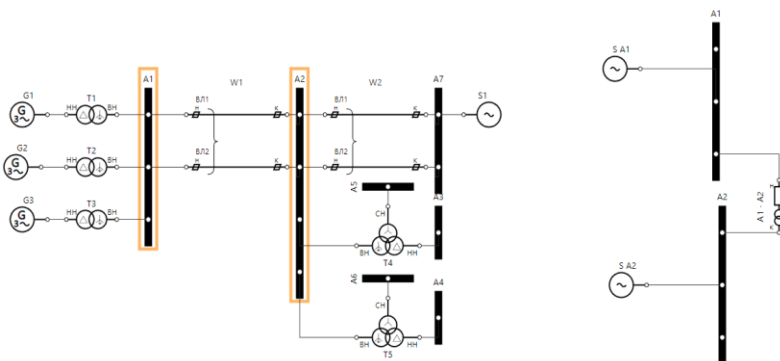


Рис. 3.3. Пример эквивалентирования участка сети относительно двух шин

3.3. Моделирование режима качаний в системе

Качания — явления, возникающие в электрических системах при нарушениях синхронной работы генераторов электростанций. Качания сопровождаются периодическими понижениями напряжения и возрастаниями тока в сети. Для моделирования данного режима необходимо «развести» векторы ЭДС элементов «Система» на определенный угол, например, в схеме на рис. 3.4 задать величину начального угла в системе $S1$ 0° , а в системе $S2$ — 180° .

При моделировании режима качаний в разветвленной схеме удобнее всего сэквивалентировать схему относительно двух шин (рис. 3.3) и изменить начальный угол в соответствующих сэквивалентированных системах.

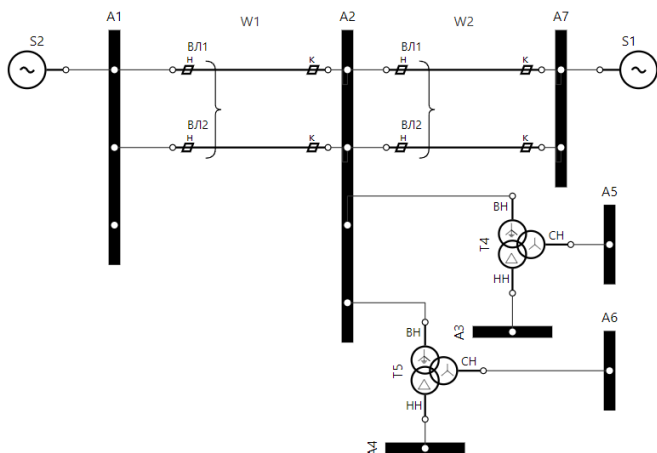


Рис. 3.4. Пояснение к моделированию режима качаний

3.4. Расчет токов короткого замыкания

После задания положения точки КЗ и определения параметров замыкания (вид, величина переходного сопротивления) в соответствующем элементе графической модели сети необходимо в области главного меню «*Расчет*» выбрать опцию «*Рассчитать*».

Рассчитанные величины выводятся в формате, задаваемом пользователем, в области главного меню по пути «*Расчет*» → «*Настройки*» → вкладка «*Вывод*» (настройки вывода рассчитанных величин описаны в п. 1.3.5).

Пример отображения результатов расчета на графической модели сети приведен на рис. 3.5. **Положительное направление токов принято «в элемент».** Исключение составляет элемент «*Выключатель*», для которого положительное направление токов обозначено стрелкой.

Для формирования протокола расчета в формате *.docx* необходимо в области главного меню «*Расчет*» выбрать опцию «*Протокол расчета*» и задать папку, в которую сохранится документ. В протоколе отображаются дата и время

расчета, значения выбранных ранее величин в элементах модели, а также токи в месте КЗ. Пример протокола приведен на рис. 3.6.

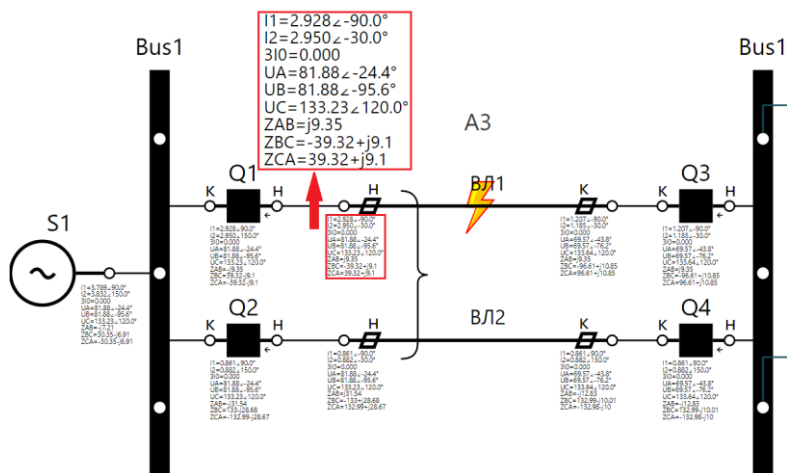


Рис. 3.5. Пример отображения результатов расчета КЗ на графической модели сети

3.5. Выполнение пакетного расчета

Пакетный расчет предполагает одновременное вычисление нескольких расчетных задач по составленным заданиям.

Для выполнения расчета необходимо в области главного меню «Расчет» выбрать «Перейти в режим пакетного расчета» задать соответствующие расчетные режимы – «Задания».

Изменения в расчетной схеме и положение точки КЗ отображаются в соответствующем «Задании». Для добавления нового «Задания» используется кнопка , для удаления – кнопка , а для создания нового расчета с дублированием характеристик предыдущего задания – кнопка  (рис. 3.7).

Для проведения расчета необходимо соответствующие за-
дания отметить знаком ☒ и нажать кнопку «Рассчитать».

Протокол расчета от 07.04.2023 12:42:25

Токи короткого замыкания

Место повреждения	IA, A	IB, A	IC, A	3I0, A	I1, A	I2, A	I0, A
Ключ КЗ в элементе А3	7.1622-60.0	7.1622-120.0	0	0	4.1352-90.0	4.1352-30.0	0

Токи в выключателях

Выключатель	IA, A	IB, A	IC, A	3I0, A	I1, A	I2, A	I0, A
Q1	5.0912-120.1	5.0912-60.1	0.021712-29.9	0	2.9282-90.0	2.952150.0	0
Q2	1.512-120.4	1.512-60.4	0.021672-29.9	0	0.86092-90.0	0.88242150.0	0
Q3	2.0712-60.3	2.0712-120.3	0.021552-29.9	0	1.2072-90.0	1.1852-30.0	0
Q5	0.2812-62.2	0.2812-122.2	0.021382-30.0	0	0.17282-90.0	0.15142-30.0	0
Q4	1.512-120.4	1.512-60.4	0.02142-29.9	0	0.86092-90.0	0.88232150.0	0

Электрические величины в элементах

Элемент: 1 сегмент элемента А3

Токи							
Сторона	IA, A	IB, A	IC, A	3I0, A	I1, A	I2, A	I0, A
L1 - начало	5.0912-59.9	5.0912-119.9	0.021712-150.1	0	2.9282-90.0	2.952-30.0	0
L1 - конец	5.0912-120.1	5.0912-60.1	0.021532-29.9	0	2.9282-90.0	2.952150.0	0
L2 - начало	1.512-59.6	1.512119.6	0.021672-150.1	0	0.86082-90.0	0.88242-30.0	0
L2 - конец	1.512-120.4	1.512-60.4	0.021532-29.9	0	0.86092-90.0	0.88242150.0	0
Фазные напряжения							
Сторона	UA, кВ	UB, кВ	UC, кВ	3U0, кВ	U1, кВ	U2, кВ	U0, кВ
L1 - начало	81.882-24.4	81.882-95.6	133.22-120.0	0	94.12-0.0	39.132-120.0	0
L1 - конец	66.722-60.0	66.722-60.0	133.42-120.0	0	66.722-0.0	66.722-120.0	0
L2 - начало	81.882-24.4	81.882-95.6	133.22-120.0	0	94.12-0.0	39.132-120.0	0
L2 - конец	74.652-33.3	74.652-86.7	133.42-120.0	0	86.052-0.0	47.382-120.0	0
Линейные напряжения							
Сторона	UAB, кВ	UBC, кВ	UCA, кВ				
L1 - начало	95.222-30.0	205.42-73.4	205.42-133.4				
L1 - конец	0	200.22-60.0	200.22-120.0				
L2 - начало	95.222-30.0	205.42-73.4	205.42-133.4				
L2 - конец	66.982-30.0	202.92-69.5	202.92-129.5				
Сопротивления							
Замер "в элемент" (Zл=Uл/Iл)				Замер "из элемента" (Zл=Uл/Iл)			
Сторона	ZAB, Ом	ZBC, Ом	ZCA, Ом	-ZAB, Ом	-ZBC, Ом	-ZCA, Ом	
L1 - начало	0	-39.32+9.101j	39.32+9.101j	0	39.32-9.101j	-39.32-9.101j	
L1 - конец	0	39.32+0.2491j	-39.32+0.2498j	0	-39.32-0.2491j	39.32-0.2498j	
L2 - начало	0.0001071+31.54j	-133+28.68j	133+28.67j	-0.0001071-31.54j	133-28.68j	-133-28.67j	
L2 - конец	-0.0001071-22.18j	133-19.34j	-133-19.34j	0.0001071+22.18j	-133+19.34j	133+19.34j	

Элемент: 2 сегмент элемента А3

Токи							
Сторона	IA, A	IB, A	IC, A	3I0, A	I1, A	I2, A	I0, A
L1 - начало	2.0712-119.7	2.0712-59.7	0.021532-150.1	0	1.2072-90.0	1.1852150.0	0
L1 - конец	2.0712-60.3	2.0712-120.3	0.021362-29.9	0	1.2072-90.0	1.1852-30.0	0
L2 - начало	1.512-59.6	1.512119.6	0.021532-150.1	0	0.86092-90.0	0.88242-30.0	0
L2 - конец	1.512-120.4	1.512-60.4	0.02142-29.9	0	0.86092-90.0	0.88232150.0	0
Фазные напряжения							
Сторона	UA, кВ	UB, кВ	UC, кВ	3U0, кВ	U1, кВ	U2, кВ	U0, кВ
L1 - начало	66.722-60.0	66.722-60.0	133.42-120.0	0	66.722-0.0	66.722-120.0	0
L1 - конец	69.572-43.8	69.572-76.2	133.62-120.0	0	78.2-0.0	55.632-120.0	0
L2 - начало	74.652-33.3	74.652-86.7	133.42-120.0	0	86.052-0.0	47.382-120.0	0
L2 - конец	69.572-43.8	69.572-76.2	133.62-120.0	0	78.2-0.0	55.632-120.0	0
Линейные напряжения							
Сторона	UAB, кВ	UBC, кВ	UCA, кВ				
L1 - начало	0	200.22-60.0	200.22-120.0				
L1 - конец	38.742-30.0	201.42-65.5	201.42-125.5				
L2 - начало	66.982-30.0	202.92-69.5	202.92-129.5				
L2 - конец	38.742-30.0	201.42-65.5	201.42-125.5				
Сопротивления							
Замер "в элемент" (Zл=Uл/Iл)				Замер "из элемента" (Zл=Uл/Iл)			
Сторона	ZAB, Ом	ZBC, Ом	ZCA, Ом	-ZAB, Ом	-ZBC, Ом	-ZCA, Ом	
L1 - начало	0	96.61-1.507j	-96.61-1.506j	0	-96.61+1.507j	96.61+1.506j	
L1 - конец	0	-96.61-10.85j	96.61-10.85j	0	96.61+10.85j	-96.61-10.85j	
L2 - начало	0.0001071+22.18j	-133+19.34j	133+19.34j	-0.0001071-22.18j	133-19.34j	-133-19.34j	
L2 - конец	-0.0001071-12.83j	133-10.01j	-133-10j	0.0001071+12.83j	-133+10.01j	133+10j	

Рис. 3.6. Пример отображения результатов расчета
в виде протокола

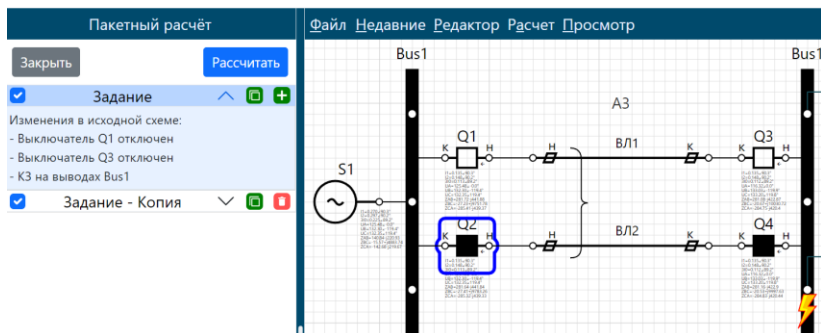


Рис. 3.7. Меню «Пакетный расчёт»

После выполнения расчета автоматически формируется протокол, в котором отображаются дата, время расчета, параметры режима и значения выбранных величин. Выбор величин, отображаемых в отчете, производится во вкладке «Настройки» соответствующего элемента и активацией переключателя «Сохранять результаты расчета в отчет» (рис. 3.8). Элемент, в котором отслеживаются значения величин, на схеме выделяется синим цветом (рис. 3.7). Пример протокола приведен на рис. 3.9.



Рис. 3.8. Вкладка «Настройки» окна «Параметры элемента» элемента сети

Протокол расчета от 13.04.2023 15:59:47

Задание

Параметры режима

Выключатель Q1 отключен
Выключатель Q3 отключен
КЗ на выводах Bus1

Токи короткого замыкания

Место повреждения	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента Bus1	5.392∠-90.0	0	0

Электрические величины в элементах

Элемент: Q2

Токи				
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА	
Начало	4.592∠90.0	0	0	
Конец	4.592∠-90.0	0	0	
Напряжения				
Сторона	UA, кВ	UB, кВ	UC, кВ	3U0, кВ
Начало	85.90∠-0.0	85.90∠-120.0	85.90∠120.0	0
Конец	85.90∠-0.0	85.90∠-120.0	85.90∠120.0	0
Сопротивления				
Сторона	ZAB, Ом	ZBC, Ом	ZCA, Ом	
Начало	0	0	0	
Конец	0.00+18.71j	0.00+18.71j	0.00+18.71j	
Мощность				
Сторона	PA + jQA, МВА	PB + jQB, МВА	PC + jQC, МВА	P + jQ, МВА
Начало	0	0	0	0
Конец	0.00+394.50j	0.00+394.50j	0.00+394.50j	0.00+1183.49j

Рис. 3.9. Пример отображения результатов пакетного расчета в виде протокола

4. ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

4.1. Исходные данные для расчета токов короткого замыкания

Исходная схема приведена на рис. 4.1. Технические данные элементов схемы приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Технические данные элементов электрической схемы

Обозначение	Тип элемента	Наименование параметра	Значение параметра	Ед. изм.
Генератор		$U_{\text{ном}}$	10,5	кВ
		$P_{\text{ном}}$	63	МВт
		X_d''	0,153	о.е.
		$\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,8	о.е.
		X_2	0,186	о.е.
		T_a	0,245	с
Система		$U_{\text{ср.ном}}$	230	кВ
		$I_{\text{кс}}$	13	кА
		x_0/x_1	2	-
ВЛ Л7, Л8	АС-240/32	$U_{\text{ном}}$	220	кВ
		L	43	км
		$x_{\text{уд1}}$	0,435	Ом/км
		$x_{\text{уд0}}$	1,523	Ом/км
		$x_{\mu\text{уд}}$	0,87	Ом/км
		$R_{\text{уд1}}$	0,118	Ом/км

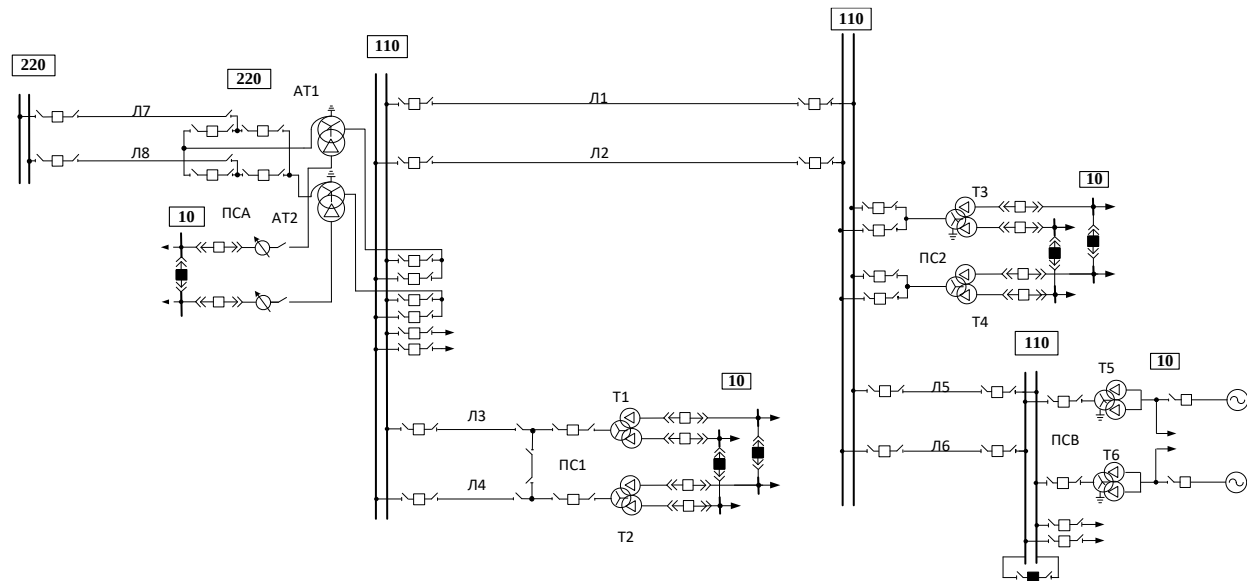


Рис. 4.1. Исходная схема электрической сети

Продолжение табл. 4.1

Обозначение	Тип элемента	Наименование параметра	Значение параметра	Ед. изм.
ВЛ Л1, Л2	АС-120/19	$U_{\text{ном}}$	110	кВ
		L	40	км
		$x_{\text{уд1}}$	0,427	Ом/км
		$x_{\text{уд0}}$	1,495	Ом/км
		$x_{\mu\text{уд}}$	0,854	Ом/км
		$R_{\text{уд1}}$	0,244	Ом/км
ВЛ Л3, Л4	АС-120/19	$U_{\text{ном}}$	110	кВ
		L	35	км
		$x_{\text{уд1}}$	0,427	Ом/км
		$x_{\text{уд0}}$	1,495	Ом/км
		$x_{\mu\text{уд}}$	0,854	Ом/км
		$R_{\text{уд1}}$	0,244	Ом/км
ВЛ Л5, Л6	АС-120/19	$U_{\text{ном}}$	110	кВ
		L	24	км
		$x_{\text{уд1}}$	0,427	Ом/км
		$x_{\text{уд0}}$	1,495	Ом/км
		$x_{\mu\text{уд}}$	0,854	Ом/км
		$R_{\text{уд1}}$	0,244	Ом/км
Трансформатор (Т1, Т2)	2 х ТРДН	$S_{\text{ном}}$	25	МВ·А
		$U_{\text{в ном}}/U_{\text{н ном}}$	115/10,5	кВ
		$u_{\text{кВ}}$	10,5	%
		$u_{\text{кН}}$	15	%
		$\Delta P_{\text{к}}$	120	кВт
Автотрансформатор (АТ1, АТ2)	2 х АТ-ДЦТН	$S_{\text{ном}}$	125	МВ·А
		$U_{\text{в}}/U_{\text{с}}/U_{\text{н}}$	230/121/ 11	кВ
		$u_{\text{кВ-с}}$	11	%
		$u_{\text{кВ-н}}$	45	%

Окончание табл. 4.1

Обозначение	Тип элемента	Наименование параметра	Значение параметра	Ед. изм.
		$u_{кв-н}$	28	%
		$\Delta P_{к BC}$	305	кВт
		$\Delta P_{к BH}$	280	кВт
		$\Delta P_{к CH}$	270	кВт
Трансформатор (Т3, Т4)	2 х ТРДН	$S_{ном}$	40	МВ·А
		$U_{в ном}/ U_{н ном}$	115/11	кВ
		$u_{кв}$	10,5	%
		$u_{кн}$	15	
		$\Delta P_{к}$	167	кВт
Трансформатор (Т5, Т6)	2 х ТРДН	$S_{ном}$	80	МВ·А
		$U_{в ном}/ U_{н ном}$	115/10,5	кВ
		$u_{кв}$	10,5	%
		$u_{кн}$	15	%
		$\Delta P_{к}$	167	кВт

4.2. Расчеты токов короткого замыкания

Расчетные режимы электрической сети. При расчетах токов КЗ учитывались режимы, связанные с отключениями элементов электрической сети. Обозначение расчётных режимов приведено в таблице 4.2.

Топология расчетной схемы электрической сети с указанием точек КЗ приведена на рис. 4.2.

Таблица 4.2. Расчетные режимы электрической сети

Номер	Обозначение режима	Характеристика работы сети
1	I	Все включено, С1 в максимальном режиме
2	1	Отключение линии Л1
3	7	Отключение линии Л7
4	2	Отключение линии Л2
5	2 ₀	Отключение и заземление линии Л2
6	7	Отключение линии Л7
7	АТ	Отключение автотрансформатора АТ1
8	ГТ	Отключение блока Г-Т
9	ПС3	Каскадное отключение элемента со стороны ПС3
10	ПС1	Каскадное отключение элемента со стороны ПС1
11	СтВ	Каскадное отключение элемента со стороны СтВ
12	ПС3ВН	Каскадное отключение элемента со стороны ПС3 ВН

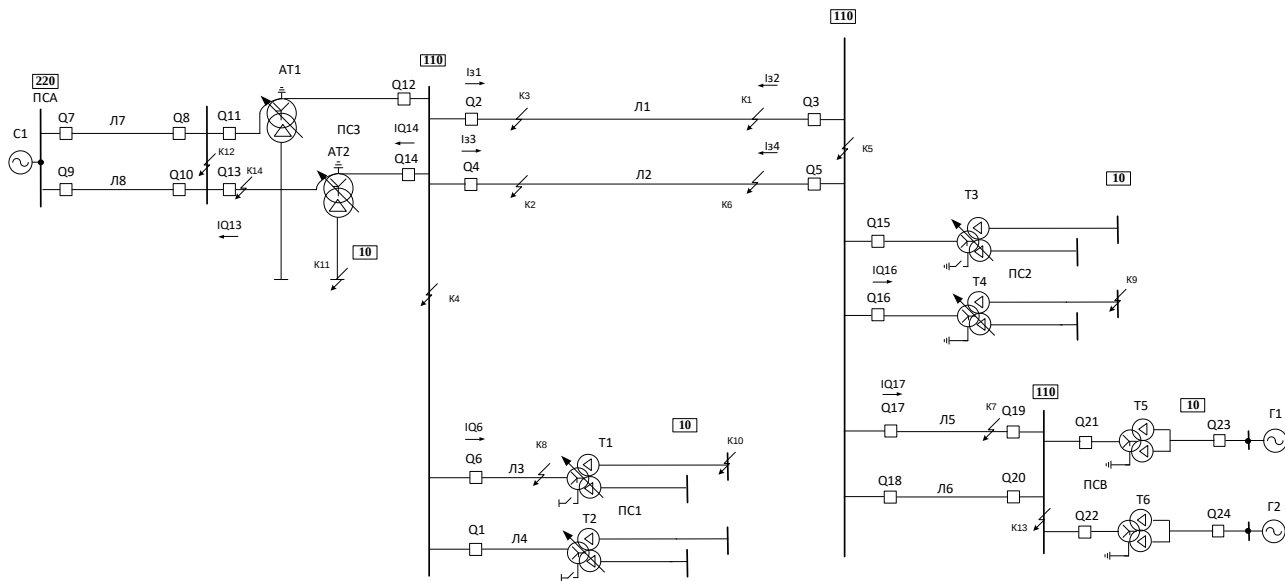


Рис. 4.2. Поясняющая схема электрической сети для расчетов токов КЗ в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»

Рис. 4.3. Пример схемы электрической сети для расчетов токов КЗ, реализованной в облачном сервисе «Лаборатория РЗА»

4.3. Расчет токов КЗ для проектирования ТО и МТЗ блока линия–трансформатор

Для выбора тока срабатывания первой ступени ТО необходимо определить максимальный ток КЗ на шинах НН трансформатора и ток, протекающий через защиту [4].

Параметры режима (согласно табл. 4.2): I, точка КЗ – K_{10} , вид КЗ – трехфазное. Протоколы расчетов приведены в табл. 4.3 и 4.4.

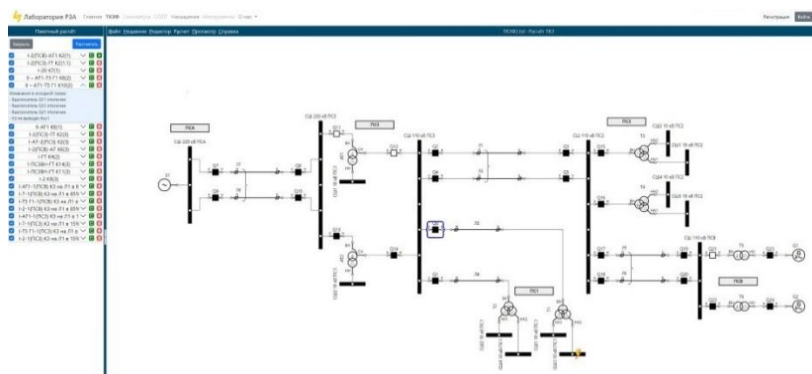


Рис. 4.4. Пример реализации протоколов расчета в облачном сервисе «Лаборатория РЗА» при КЗ в точке K_{10}

Таблица 4.3. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_{10}

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШЗ 10 кВ ПС1	6,262 ∠-60,0	6,262 ∠180,0	6,262 ∠60,0	0

Таблица 4.4. Протокол расчета электрических величин в элементе Q6

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,593∠90,0	0593∠-30,0	0,593∠-150,0	0
Конец	0,593∠-90,0	0,593∠150,0	0,593∠30,0	0

Для оценки чувствительности I и II ступеней токовой защиты необходимо определить минимальный ток двухфазного КЗ в зонах ближнего и дальнего резервирования.

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для оценки чувствительности в конце защищаемой линии блока: I-AT1-T5Г1, точка КЗ – K_{10} , вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12, Q21, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_8

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента ЛЗ	2,089∠-60,0	2,089∠120,0	0	0

Таблица 4.6. Протокол расчета электрических величин в элементе Q6

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	2,088∠120,1	2,088∠-60,1	0,007∠30,0	0
Конец	2,088∠-59,9	2,088∠119,9	0,007∠-150,1	0

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для оценки чувствительности II ступени оценивается также при КЗ на стороне НН трансформатора блока: I-AT1-T5Г1, точка КЗ – K_8 , вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12, Q21, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.7 и 4.8.

Таблица 4.7. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_{10}

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШЗ 10 кВ ПС1	5,187 ∠-30,0	5,187 ∠150,0	0	0

Таблица 4.8. Протокол расчета электрических величин в элементе Q6

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,284∠151,2	0,567∠-30,0	0,284∠148,8	0
Конец	0,284∠-28,8	0,567∠150,0	0,284∠-31,2	0

4.4. Расчет токов КЗ для проектирования двухступенчатой дистанционной защиты блока

При выборе параметров срабатывания по активному сопротивлению R характеристики ДЗ необходимо рассчитать значение сопротивления, определяемое измерительными органами защиты при двухфазном КЗ через переходное сопротивление $R_{\text{зщ.пер}}$ [4].

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок по активному сопротивлению и оценки чувствительности ДЗ по току точной работы: II-AT1-T5Г1, точка КЗ – K_8 , вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12, Q21, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_8

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента ЛЗ	2,089∠-60,0	2,089∠120,0	0	0

Таблица 4.10. Протокол расчета электрических величин в элементе Q6

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	2,088∠120,1	2,088∠-60,1	0,007∠30,0	0
Конец	2,088∠-59,9	2,088∠119,9	0,007∠-150,1	0

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для оценки чувствительности ДЗ по току точной работы II-АТ1-Т5Г1, точка КЗ – K_{10} , вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12, Q21, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.11 и 4.12.

Таблица 4.11. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_{10}

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШЗ 10 кВ ПС1	5,187 $\angle$ -30,0	5,187 $\angle$ 150,0	0	0

Таблица 4.12. Протокол расчета электрических величин в элементе Q6

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,284 $\angle$ 151,2	0,567 $\angle$ -30,0	0,284 $\angle$ 148,8	0
Конец	0,284 $\angle$ -28,8	0,567 $\angle$ 150,0	0,284 $\angle$ -31,2	0

4.5. Протокол расчета токов КЗ для проектирования ТО параллельных ЛЭП

Для выбора тока срабатывания ненаправленных ТО необходимо определить максимальный ток через защиту при КЗ на шинах противоположной ПС.

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок: I-2, точка КЗ – K_5 , вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q5.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.13 – 4.15.

Таблица 4.13. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_5

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПС2	4,904 $\angle$ -90,0	4,904 $\angle$ 150,0	4,904 $\angle$ 30,0	0

Таблица 4.14. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	2,418 $\angle$ 90,0	2,418 $\angle$ -30,0	2,418 $\angle$ -150,0	0
Конец	2,418 $\angle$ -90,0	2,418 $\angle$ 150,0	2,418 $\angle$ 30,0	0

Таблица 4.15. Протокол расчета электрических величин в элементе Q3

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	2,418 $\angle$ 90,0	2,418 $\angle$ -30,0	2,418 $\angle$ -150,0	0
Конец	2,418 $\angle$ -90,0	2,418 $\angle$ 150,0	2,418 $\angle$ 30,0	0

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок: I-2, точка КЗ – K_4 , вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q5.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.16 – 4.18.

Таблица 4.16. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_4

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПС3	7,455 $\angle$ -90,0	7,455 $\angle$ 150,0	7,455 $\angle$ 30,0	0

Таблица 4.17. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,562∠-90,0	1,562∠150,0	1,562∠30,0	0
Конец	1,562∠90,0	1,562∠-30,0	1,562∠-150,0	0

Таблица 4.18. Протокол расчета электрических величин в элементе Q3

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,562∠-90,0	1,562∠150,0	1,562∠30,0	0
Конец	1,562∠90,0	1,562∠-30,0	1,562∠-150,0	0

Чувствительность защиты определяется в режиме трехфазного КЗ вблизи места установки защиты в самых благоприятных условиях. Параметры режима (согласно табл. 4.2) для оценки чувствительности защиты 1 (3): I, точка КЗ – Кз, вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо все выключатели включить.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.19 – 4.20.

Таблица 4.19. Протокол расчета тока короткого замыкания в Кз

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ в элементе 32	7,812∠-90,0	7,812∠150,0	7,812∠30,0	0

Таблица 4.20. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	6,852∠-90,0	6,852∠-30,0	6,852∠-150,0	0
Конец	6,852∠-90,0	6,852∠150,0	6,852∠30,0	0

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для оценки чувствительности защиты 2 (4): I, точка КЗ – K_1 , вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо все выключатели включить.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.21 – 4.22.

Таблица 4.21. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_1

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л1	5,916 $\angle$ -90,0	5,916 $\angle$ 150,0	5,916 $\angle$ 30,0	0

Таблица 4.22. Протокол расчета электрических величин в элементе Q3

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	4,201 $\angle$ -90,0	4,201 $\angle$ 150,0	4,201 $\angle$ 30,0	0
Конец	4,201 $\angle$ 90,0	4,201 $\angle$ -30,0	4,201 $\angle$ -150,0	0

4.6. Расчет токов КЗ для проектирования дистанционных защит параллельных ЛЭП

Методика выбора параметров срабатывания приведена в [5, 6]. Для выбора уставки по активному сопротивлению первой ступени ДЗ необходимо определить минимальный ток через защиту при КЗ в конце ее зоны действия.

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-АТ1, точка КЗ – K_1 (85% от начала линии), вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.23 – 4.24.

Таблица 4.23. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_1

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л1	4,020∠-60,0	4,020∠120,0	0	0

Таблица 4.24. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,401∠120,9	1,401∠-60,9	0,045∠30,0	0
Конец	1,401∠-59,1	1,401∠119,1	0,045∠-150,0	0

Для выбора уставки по реактивному сопротивлению второй ступени ДЗ необходимо определить максимальный ток через защиту при КЗ на шинах смежного элемента. Для этого необходимо рассчитать коэффициент токораспределения. Рассмотрим два режима.

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2, точка КЗ – К₉, вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q5.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.25 – 4.27.

Таблица 4.25. Протокол расчета тока короткого замыкания в К₉

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШ4 10 кВ ПС2	10,525 ∠-53,4	10,525 ∠-173,4	10,525 ∠66,6	0

Таблица 4.26. Протокол расчета электрических величин в элементе Q16

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,961∠96,6	0,961∠-23,4	0,961∠-143,4	0
Конец	0,961∠-83,4	0,961∠156,6	0,961∠36,6	0

Таблица 4.27. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0.449∠97.1	0.449∠-22.9	0.449∠-142.9	0
Конец	0.449∠-82.9	0.449∠157.1	0.449∠37.1	0

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2(ПСЗ)-ГТ, точка КЗ – К₂, вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.28 – 4.30.

Таблица 4.28. Протокол расчета тока короткого замыкания в К₂

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л1	2,110∠-90,0	2,110∠150,0	2,110∠30,0	0

Таблица 4.29. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,358∠90.0	1,358∠-30,0	1,358∠-150,0	0
Конец	1,358∠-90.0	1,358∠150,0	1,358∠30,0	0

Таблица 4.30. Протокол расчета электрических величин в элементе Q5

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	2,110∠-90,0	2,110∠150,0	2,110∠30,0	0
Конец	2,110∠90,0	2,110∠-30,0	2,110∠-150,0	0

Для выбора уставки по активному сопротивлению второй ступени ДЗ необходимо рассчитать значение сопротивления, определяемое измерительными органами защиты при двухфазном КЗ через переходное сопротивление $R_{\text{защ.пер.}}$.

Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок по активному сопротивлению и оценки чувствительности ДЗ по току точной работы: I-AT1, точка КЗ – K_5 , вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.31 – 4.32.

Таблица 4.31. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_5

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПС2	4,299∠-60,0	4,299∠120,0	0	0

Таблица 4.32. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,128∠121,2	1,128∠-61,2	0,049∠30,0	0
Конец	1,128∠-58,8	1,128∠118,8	0,049∠-150,0	0

Для выбора уставки по реактивному сопротивлению третьей ступени ДЗ необходимо определить максимальный ток через защиту при КЗ на шинах смежного элемента. Для этого необходимо рассчитать коэффициент токораспределения. Рассмотрим следующие режимы.

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-AT1, точка КЗ – K_9 , вид КЗ –

трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.33 – 4.35.

Таблица 4.33. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_9

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на вы- водах элемента СШ4 10 кВ ПС2	10,600∠- 53,3	10,600∠- 173,3	10,600∠66,7	0

Таблица 4.34. Протокол расчета электрических величин в элементе Q16

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,968∠96,7	0,968∠-23,3	0,968∠-143,3	0
Конец	0,968∠-83,3	0,968∠156,7	0,968∠36,7	0

Таблица 4.35. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,235∠97,1	0,235∠-22,9	0,235∠-142,9	0
Конец	0,235∠-82,9	0,235∠157,1	0,235∠37,1	0

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-AT1, точка КЗ – K_7 , вид КЗ – трехфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.36 – 4.38.

Таблица 4.36. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_7

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на вы- водах элемента Л5	5,212∠-90,0	5,212∠150,0	5,212∠30,0	0

Таблица 4.37. Протокол расчета электрических величин в элементе Q17

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,094∠90,0	1,094∠-30,0	1,094∠-150,0	0
Конец	1,094∠-90,0	1,094∠150,0	1,094∠30,0	0

Таблица 4.38. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	1,094∠90,0	1,094∠-30,0	1,094∠-150,0	0
Конец	1,094∠-90,0	1,094∠150,0	1,094∠30,0	0

3) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-AT1, точка КЗ – К₇, вид КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.39 – 4.40.

Таблица 4.39. Протокол расчета тока короткого замыкания в К₇

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ на выводах элемента Л5	4,352∠-60,0	4,352∠120,0	0	0

Таблица 4.40. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,948∠121,7	0,948∠-61,7	0,055∠30,0	0
Конец	0,948∠-58,3	0,948∠118,3	0,055∠-150,0	0

4) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-AT1-2(ПС3), точка КЗ – К₂, вид

КЗ – двухфазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q11, Q12.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.41 – 4.42.

Таблица 4.41. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_2

Место повреждения	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л2	1,990∠-60,0	1,990∠120,0	0	0

Таблица 4.42. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи				
Сторона	IA, кА	IB, кА	IC, кА	3I0, кА
Начало	0,896∠121,8	0,896∠-61,8	0,058∠30,0	0
Конец	0,896∠-58,2	0,896∠118,2	0,058∠-150,0	0

4.7. Расчет токов КЗ для проектирования ТЗНП параллельных ЛЭП

Методика выбора параметров срабатывания ТЗНП параллельных ЛЭП приведена в [7].

Для определения уставки по току первой ступени ТЗНП необходимо определить ток КЗ на землю на шинах противоположной подстанции.

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2₀, точка КЗ – К₅, вид КЗ – однофазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.43 – 4.44.

Таблица 4.43. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_5

Место повреждения	$3I_0$, кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0,452/-92,5
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0,452/-87,5
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПС2	4,708/-88,9

Таблица 4.44. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	$3I_0$, кА
Начало	0,796/-91,1	0,869/-91,1	0,452/-87,5
Конец	0,796/-88,9	0,869/-88,9	0,452/-92,5

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2₀, точка КЗ – К₅, вид КЗ – двухфазное на землю. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.45 – 4.46.

Таблица 4.45. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_5

Место повреждения	$3I_0$, кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0,464/-151,3
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0,464/-28,7
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПС2	6,261/-147,7

Таблица 4.46. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	$3I_0$, кА
Начало	1,613/-90,6	0,804/-148,7	0,464/-28,7
Конец	1,613/-89,4	0,804/-31,3	0,464/-151,3

Для определения уставки по току второй ступени ТЗНП необходимо определить ток КЗ на землю на смежной параллельной защищаемой ЛЭП при каскадном ее

отключении. Рассмотрим следующие режимы:

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2(ПС3)-ГТ, точка КЗ – К₂, вид КЗ – однофазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.47 – 4.49.

Таблица 4.47. Протокол расчета тока короткого замыкания в К₂

Место повреждения	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л2	0,635∠-89,8	0,635∠-89,8	0,635∠-89,8

Таблица 4.48. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	0,394∠90,2	0,432∠90,2	0,340∠89,3
Конец	0,394∠-89,8	0,432∠-89,8	0,340∠-90,7

Таблица 4.49. Протокол расчета электрических величин в элементе Q5

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	0,635∠-89,8	0,635∠-89,8	0,635∠-89,8
Конец	0,635∠90,2	0,635∠90,2	0,635∠90,2

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2(ПС3)-ГТ, точка КЗ – К₂, вид КЗ – двухфазное на землю. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.50 – 4.52.

Таблица 4.50. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_2

Место повреждения	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л2	1,342∠-89,9	0,752∠-30,1	0,590∠-149,7

Таблица 4.51. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	0,857∠90,1	0,511∠149,9	0,316∠29,4
Конец	0,857∠-89,9	0,511∠-30,1	0,316∠-150,6

Таблица 4.52. Протокол расчета электрических величин в элементе Q5

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	1,342∠-89,9	0,752∠-30,1	0,590∠-149,7
Конец	1,342∠90,1	0,752∠149,9	0,590∠30,3

3) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): -2(ПСЗ)-ГТ, точка КЗ – K_6 , вид КЗ – однофазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.53 – 4.54.

Таблица 4.53. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_6

Место повреждения	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л2	1,094∠-89,3	1,094∠-89,3	1,094∠-89,3

Таблица 4.54. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	0,694∠90,8	0,744∠90,7	0,288∠87,9
Конец	0,694∠-89,2	0,744∠-89,3	0,288∠-92,1

4) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): -2(ПСЗ)-ГТ, точка КЗ – К₆, вид КЗ – двухфазное на землю. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо отключить выключатели Q4, Q23.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.55 – 4.56.

Таблица 4.55. Протокол расчета тока короткого замыкания в К₆

Место повреждения	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Ключ КЗ в элементе Л2	2,190∠-89,6	1,059∠-30,8	1,132∠-148,5

Таблица 4.56. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	1,410∠90,4	0,720∠149,2	0,297∠28,7
Конец	1,410∠-89,6	0,720∠-30,8	0,297∠-151,3

Для определения уставки по току второй (третьей) ступени ТЗНП необходимо определить ток КЗ на землю в конце зоны действия быстродействующей ступени защиты смежной ЛЭП.

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2₀, точка КЗ – К₇, вид КЗ – однофазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.57 – 4.59.

Таблица 4.57. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_7

Место повреждения	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0	0	0,069 $\angle$ 86,5
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0	0	0,069 $\angle$ -93,5
Ключ КЗ на выводах элемента Л5	1,951 $\angle$ -89,9	1,951 $\angle$ -89,9	1,951 $\angle$ -89,9

Таблица 4.58. Протокол расчета электрических величин в элементе Q17

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Начало	0,386 $\angle$ 90,1	0,431 $\angle$ 90,1	0,148 $\angle$ 92,1
Конец	0,386 $\angle$ -89,9	0,431 $\angle$ -89,9	0,148 $\angle$ -87,9

Таблица 4.59. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Начало	0,771 $\angle$ 90,1	0,862 $\angle$ 90,1	0,121 $\angle$ 86,5
Конец	0,771 $\angle$ -89,9	0,862 $\angle$ -89,9	0,121 $\angle$ -93,5

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): $I-2_0$, точка КЗ – K_7 , вид КЗ – двухфазное на землю. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.60 – 4.62.

Таблица 4.60. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_7

Место повреждения	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0	0	0,089 $\angle$ 26,6
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0	0	0,089 $\angle$ -153,4
Ключ КЗ на выводах элемента Л5	3,752 $\angle$ -89,9	1,232 $\angle$ -30,2	2,520 $\angle$ -149,8

Таблица 4.61. Протокол расчета электрических величин в элементе Q17

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Начало	0,755 $\angle$ 90,1	0,272 $\angle$ 149,8	0,191 $\angle$ 32,2
Конец	0,755 $\angle$ -89,9	0,272 $\angle$ -30,2	0,191 $\angle$ -147,8

Таблица 4.62. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Начало	1,510 $\angle$ 90,1	0,544 $\angle$ 149,8	0,156 $\angle$ 26,6
Конец	1,510 $\angle$ -89,9	0,544 $\angle$ -30,2	0,156 $\angle$ -153,4

Для определения уставки по току второй (третьей) ступени ТЗНП необходимо определить ток КЗ на землю в конце смежной ЛЭП при возможности вывода из действия быстродействующей защиты шин.

1) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): $I-2_0$, точка КЗ – K_{13} , вид КЗ – однофазное. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.63 – 4.64.

Таблица 4.63. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_{13}

Место повреждения	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0	0	0,069 $\angle$ 86,5
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0	0	0,069 $\angle$ -93,5
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПСВ	1,951 $\angle$ -89,9	1,951 $\angle$ -89,9	1,951 $\angle$ -89,9

Таблица 4.64. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Токи			
Сторона	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Начало	0,771 $\angle$ 90,1	0,862 $\angle$ 90,1	0,121 $\angle$ 86,5
Конец	0,771 $\angle$ -89,9	0,862 $\angle$ -89,9	0,121 $\angle$ -93,5

2) Параметры режима (согласно табл. 4.2) для выбора уставок защиты 1 (3): I-2₀, точка КЗ – K_{13} , вид КЗ – двухфазное на землю. Согласно рис. 4.2 для реализации расчетного режима необходимо поочередно отключить выключатели Q4, Q5 и рассчитать ток КЗ на выводах каждого выключателя.

Протоколы расчетов приведены в табл. 4.65 – 4.66.

Таблица 4.65. Протокол расчета тока короткого замыкания в K_{13}

Место повреждения	I_1 , кА	I_2 , кА	I_0 , кА
Ключ КЗ на выводах элемента Q5	0	0	0,089 $\angle$ 26,6
Ключ КЗ на выводах элемента Q4	0	0	0,089 $\angle$ -153,4
Ключ КЗ на выводах элемента СШ 110 кВ ПСВ	3,752 $\angle$ -89,9	1,232 $\angle$ -30,2	2,520 $\angle$ -149,8

Таблица 4.66. Протокол расчета электрических величин в элементе Q2

Сторона	Токи		
	I1, кА	I2, кА	I0, кА
Начало	1,510∠90,1	0,544∠149,8	0,156∠26,6
Конец	1,510∠-89,9	0,544∠-30,2	0,156∠-153,4

Аналогичные расчеты можно выполнить для защиты 2 (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ Р МЭК 60287-1-1- 2009.** Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1 Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. – Москва: Стандартинформ, 2009 – 24 с.

2. **Руководящие** указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002.

3. **Гамазин, С.И.** Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой / Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. – М.: Издательство МЭИ, 1997. – 424с., ил.

4. **Фролова, О.В.** Расчет защит блока линия-трансформатор в сети напряжением 110кВ и выше [М-2466] : метод. указания для практ. занятий / О. В. Фролова, Т.Ю. Шадрикова; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2017.

5. **Колесов, Л.М.** Проектирование дистанционных защит ЛЭП при использовании шкафа ШЭ2607 [М-183]: метод. указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 140203 / Л. М. Колесов, О. В. Фролова, А. А. Фомичев; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2012.

6. **Мурзин, А.Ю.** Проектирование дистанционных защит ЛЭП при применении шкафа типа ШДЭ-2801 [М-1101]: методические указания к курсовому и дипломному проектированию по специальности 210400 / А.Ю. Мурзин; Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, Иваново, 2000.

7. **Мурзин, А.Ю.** Проектирование уставок токовых защит ЛЭП при применении шкафа типа ШДЭ-2801 [М-1562]: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по специальности 210400 / А.Ю. Мурзин ; Ивановский государственный энергетический университет; под ред. О. В. Лебедева , В. А. Шуина. – Иваново, 2003

8. **ГОСТ Р 52735 – 2007.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – Москва: Стандартинформ, 2007 – 36 с.

ВОРОБЬЕВА Екатерина Андреевна
ДОБРЯГИНА Ольга Александровна
ЛИФШИЦ Андрей Семенович

**РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННЫХ
И ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛЭП В ОБЛАЧНОМ СЕРВИСЕ
«ЛАБОРАТОРИЯ РЗА»**

Учебное пособие

Редактор Т.В. СОЛОВЬЕВА

Подписано в печать _____. Формат 60×84 ¹/₁₆

Печать плоская. Усл.-печ. л. 4,41. Уч.-изд. л. 3,8

Тираж 50 экз. Заказ №__

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина».

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.