PEGAS

Power Electric Grid ANARES Solver

Документация пользователя

Version: 1.0.69

14.02.2025

В документации представлена техническая информация об установке и использовании встраиваемого программного пакета PEGAS, предназначенного для расчета нормальных и аварийных электрических режимов электроэнергетических систем.

Актуальную версию и изменения в программном обеспечении PEGAS можно получить на сайте http://anares.ru/pegas.

ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СО РАН

+7 (3952) 98-90-68
http://anares.ru
info@anares.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1: Общая информация о PEGAS 5

Перечень расчетных функций 5

Глава 2: Установка 6

Глава 2: Интерфейс взаимодействия с сервером PEGAS 8

Контроль пользователей и сессии 9

Задание на расчет 9

Глава 3: Расчет установившегося режима 13

Методика расчета УР 14

Описание исходных данных для расчета УР 18

Сообщения об ошибках и предупреждения 26

Глава 3: Расчет токов коротких замыканий 31

Описание исходных данных для расчета ТКЗ 32

Результаты расчета ТКЗ 35

Глава 4: Данные по оборудованию 42

Схема замещения 42

Трансформаторы 46

Параметры линий электропередачи 55

Задание компенсирующих устройств 60

Районы 61

Приложение 1: Пример клиента (pegas_client) 63

ГЛАВА 1: ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О PEGAS

Программно-вычислительный комплекс PEGAS предназначен для проведения расчетов нормальных и аварийных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС). Комплекс PEGAS выполнен в виде расчетного сервера без визуального пользовательского интерфейса и может использоваться в составе программно-вычислительных комплексов, обеспечивающих интерактивный режим работы или в составе комплексов автоматического управления режимами ЭЭС.

Перечень расчетных функций

- Расчет установившегося режима для схем любой размерности и конфигурации.
- Расчет токов коротких замыканий.
- Оптимизация установившегося режима для минимизации потерь и ввода режима в допустимую область.
- Оценивание состояния.
- Нахождение предельных установившихся режимов методом утяжеления по заданным траекториям;
- Моделирование электромеханических переходных процессов с учетом изменения частоты при различных коммутациях и событиях происходящих в системе.
- Оценивание уровня надежности электрического режима и возможности возникновения каскадных аварий.

В PEGAS используются переработанные вычислительные библиотеки комплекса АНАРЭС. Данные объектной модели PEGAS совместимы по составу с данными ПВК АНАРЭС. Возможен импорт данных в формате PEGAS из ПВК АНАРЭС.

Программное обеспечение сервера PEGAS работает в виде сервиса под управлением операционной системы Linux. Доступ к серверу PEGAS может быть осуществлен, как локально, так и по сети.

Имеется версия сервера PEGAS, работающая под управлением операционной системы Windows версии 10 и выше. Windows версия PEGAS работает в виде приложения без пользовательского интерфейса.

ГЛАВА 2: УСТАНОВКА

Актуальную версию программно-вычислительного комплекса PEGAS можно скачать с сайта http://anares.ru/pegas. Установочный пакет представляет собой дистрибутив для Debian совместимой версии Linux – файл с расширением .deb.

Имя файла установочного пакета имеет вид pegas_1.0-X_amd64.deb, где X – номер сборки.

Установка производится с помощью команды в окне терминала Linux:

```
sudo apt-get install ./pegas_1.0-X_amd64.deb
```

PEGAS устанавливается в виде службы (демона) и после его запуска готов к приему команд.

Запустить сервис можно командой:

```
sudo systemctl start pegas
```

Проверить его состояние:

```
sudo systemctl status pegas
```

Добавить службу в автозагрузку:

```
sudo systemctl enable pegas
```

В конфигурационном файле **/etc/pegas.conf** настраиваются следующие параметры:

- **server_port** – номер порта для доступа к PEGAS по TCP/IP. Если этот параметр не задан, то используется порт 7007.
- **reconnect_timeout** – таймаут на разрешение повторного переподключения к серверу при ошибке в формате запроса. По умолчанию принимается 10 сек.

Windows версия сервера PEGAS представляет собой исполняемый файл pegas.exe. Порт по умолчанию для подключения к серверу PEGAS – 7007. Можно изменить порт, который будет использоваться сервером для получения запросов от клиентов через параметр командной строки.

--ServerPort <num>

Windows версия предусматривает вывод в протокол (лог) информации об ошибках, возникающих в ходе работы сервера. Протокол записывается в файл «C:\ANARES\log\pegas_win.log» и формируется только если есть папка «C:\ANARES\log». Если этой папки нет, то логи не пишутся и сервер работает без выдачи каких-либо сообщений. По умолчанию предусмотрен ввод только сообщений об ошибках. Информационные и отладочные сообщения выводятся только в отладочной версии сервера PEGAS.

ГЛАВА 2: ИНТЕРФЕЙС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВЕРОМ PEGAS

Взаимодействие с расчетным сервером PEGAS осуществляется передачей и приемом данных по соединению TCP/IP. Номер порта задается в конфигурационном файле для Linux версии и в командной строке для Windows версии. Если номер порта не задан, то по умолчанию используется номер 7007.

Для передачи данных в PEGAS и получения результатов расчета используется формат JSON.

Если данные были не корректны, то клиенту передается сообщение об ошибке (также в формате JSON) и соединение с ним закрывается. Повторное соединение при этом возможно только через заданный тайм-аут (по умолчанию 10 сек.).

Данные в формате JSON представляют собой массив объектов следующего вида:

```
[
{
        "table": "Имя таблицы",
        "Имя поля": [ массив данных с плавающей точкой],
}
]
```

Имя таблицы соответствует имени объекта в расчетной модели. Имя поля – соответствует имени поля данных в этом объекте. Объект идентифицируется по имени, заданном в поле **table**. Входные данные обрабатываются иерархически. Потенциально объекты могут находиться во внешних контейнерах (дополнительных массивах или объектах), но для уменьшения объема передаваемых данных это не рекомендуется.

Количество полей в каждой записи должно быть одинаково. Записи, в которых нет обновленных данных или поля, по которым не заданы данные могут не передаваться.

Наименование полей данных соответствует наименованием полей данных в таблицах пользовательского интерфейса АНАРЭС.

Контроль пользователей и сессии

Для контроля пользователей и обеспечения параллельных расчетов с одного ip-адреса предусмотрена специальная таблица «session».

```
[
{
        "table": "session",
        "id": “идентификатор сессии”,
        "user": “имя пользователя”
}
]
```

Передача данных о сессии должна производиться до начала передачи данных и заданий на расчет. Таблица с информацией о сессии содержит следующие поля:

- "**id**" – идентификатор сессии. Уникальный в пределах данного клиентского ip-адреса номер (int). Максимальное количество сессий для одного ip-адреса ограничено.
- "**user**" – имя пользователя. Не обязательный параметр. Используется только для логов. Если не задан, то в логи записывается ip адрес и идентификатор сессии.

Задание на расчет

Задание на расчет передается также в виде таблицы, каждая запись в которой, представляет собой отдельное задание на расчет. Расчеты будут выполнены

последовательно и также последовательно отправляться результаты расчета. Поля данных в таблице с заданиями на расчет:

- "**CalcType**" – тип расчета: 0 - очистить исходные данные, 1 - расчет установившегося режима, 2 - расчет ТКЗ.
- "**Group**" – Номер группы для множественных повреждений.
- "**KZType**" – тип короткого замыкания (соответствует номеру типа КЗ в АНАРЭС): 0 – без КЗ; 1 – трехфазное КЗ; 2 – двухфазное КЗ; 3 – двухфазное КЗ на землю; 4 – однофазное замыкание.
- "**Model**" – модель расчета ТКЗ: 0 – используется максимальная ЭДС генерации; 1 – метод наложения исходного УР; 2 – модель СМ.
- "**LoadToShunt**" – учитывать нагрузку шунтами: 0 – нет; 1 – да.
- "**KZPlace**" – место КЗ: 0 – узел; 1 – ветвь со стороны начала ветви (в случае наличия обрыва); 2 – ветвь со стороны конца ветви (в случае наличия обрыва). Типы 1 и 2 имеют различие только, если в этой же записи в таблице заданий есть обрыв в том же месте ветви.
- "**Node1**" – 1-ый узел привязки (для КЗ в узле только его надо задавать).
- "**Node2**" – 2-ой узел привязки (задается для КЗ на ветви).
- "**BranPar**" – номер цепи (задается для КЗ на ветви).
- "**Phase**" – фаза на которой КЗ: 0 – A; 1 – B; 2 – C; 3 – AB; 4 – BC; 5 – CA (для трехфазного КЗ поле игнорируется).
- "**BreakPhase** " – обрыв фазы (битовое поле): бит 0 – обрыв фазы A; бит 1 – обрыв фазы B; бит 2 – обрыв фазы C. Возможна любая комбинация обрыва фаз.
- "**Distance**" – расстояние от начал линии в %.
- "**R**" – активное сопротивление дуги (межфазное).
- "**X**"– реактивное сопротивление дуги (межфазное).
- "**Rground**" – активное сопротивление дуги на землю.
- "**Xground**" – реактивное сопротивление дуги на землю.
- "**Layer**" – номер поля для отмены изменений в заданных слоях.

Предусмотрено задание обрыва поврежденных фаз на линии (при задании КЗ в ветви). При этом моделируется КЗ с одной или другой стороны от обрыва в зависимости от значения поля "**KZPlace**".

Также можно задать обрыв фаз без КЗ. В этом случае в поле "**KZType**" задается 0, обрыв фаз происходит в фазах, заданных в поле "**BreakPhase**".

Заземление отключенной линии задается в таблице исходных данных по ветвям в поле задания топологического состояния ветви (State). Значение поля равное 10 обозначает то, что линия отключена с двух концов и заземлена.

Для реализации функционала множественных повреждений используется поле "**Group**". Это поле используется только если выбран тип расчета «Расчет ТКЗ» (CalcType=2). Повреждения имеющие одинаковое значение поля Group моделируются одновременно. Записи в таблице с одним значением группы должны идти последовательно. При обработке таблицы с заданиями на расчет, если номер группы отличается от номера группы предыдущих записей или если больше нет записей в таблице, производится расчет с применением всех заданий с одним значением поля "**Group**". Поля "**Model**", "**LoadToShunt**" при этом должны быть заданы одинаковыми для всех записей в группе.

В таблице task также присутствуют поля с результатами расчета по точке КЗ. Эти поля соответствуют таблице «Точка КЗ» в интерфейсе АНАРЭС. При предаче задания на расчет поля с результатами заполнять не надо.

Пример клиента (pegas_client) для работы с PEGAS приведен а Приложении 1.

Для его использования надо запустить:

pegas_client [input1.json ... inputN.json] [output.json]

Входных файлов (input) может быть несколько. Выходным файлом (output) является последний, указанный в командной строке.

Интерфейс взаимодействия с расчетным сервером реализует функционал частичной очистки данных, который работает следующим образом. В каждой таблице данных предусмотрено специальное поле "**Layer**", обозначающее принадлежность передаваемых изменений в данных определенному слою. В этом поле хранится без знаковое целочисленное 32х битное значение. Каждый бит этого значения определяет принадлежность к одному из 32х слоев. Причем, в слой попадают именно те данные в этой записи, которые присутствуют в JSON.

Для отмены изменений определенного слоя в таблице заданий "**task**" передается команда очистки данных (**CalcType** = 0), а в поле "**Layer**" этой таблицы передаются слои данные на которых надо отменить. Слои передаются в виде битовой маски. Таким образом можно разом отменить несколько слоев. В полях данных, находящихся на

выбранных слоях, возвращаются те значения, которые были до того, как они были переданы в PEGAS с данным значением слоя. Очередность возвращаемых значений, если они отменяются в рамках одного запроса, начиная со слоев с большим номером, заканчивая слоями с меньшим.

Если в слое была добавлена новая запись в таблицу (например, новый узел), то при отмене изменений с данного слоя, соответствующие записи будут удалены.

Также возможно удаление записей без использования механизма слоев. Для этого в каждой таблице предусматривается дополнительное поле "**Delete**". Если в этом поле передается не нулевое значение, то запись таблицы, содержащая данное поле будет удалена.

ГЛАВА 3: РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА

Функционал расчета установившегося режима в составе расчетного сервера PEGAS предназначен для оперативных расчетов и оптимизации установившихся электрических режимов сложно-замкнутых электрических систем.

Расчет установившегося режима производится на модели электрической сети узлы/ветви (bus/branch). Модель узлы/ветви подготавливается топологическим процессором PEGAS, а именно:

- Узлы связанные ветвью нулевого сопротивления эквивалентируются;
- На основе данных по оборудованию вычисляются суммарные параметры узлов (нагрузка, генерация, шунт).

Расчет установившегося режима может производиться на основе оцененного режима или для режима заданного пользователем. Во втором задаются все исходные данные, включая нагрузку, генерацию и коммутации.

В процессе работы с режимом, в том числе и с оцененным, пользователь может внести корректировки в него.

В модуле расчета установившегося режима имеется функция оптимизации, предназначенная для решения задач минимизации потерь активной мощности в электрической сети и ввода режима в допустимую область по напряжению.

При решении задачи минимизации потерь активной мощности определяется состав управляющих параметров, состоящий из рекомендуемых значений:

- реактивных мощностей генераторных узлов и источников реактивной мощности;
- напряжений в генераторных узлах;
- напряжения опорного узла;
- коэффициентов трансформации;

- номеров отпаек трансформаторов в т.ч. трансформаторов с продольно-поперечным регулированием.

Методика расчета УР

Для расчета установившегося режима (УР) ЭЭС разработана оригинальная модификация полного метода Ньютона с выбором оптимального шага, учитывающая особенности уравнений узловых напряжений (УУН), записанных в прямоугольных координатах:

$$S = diag(U) \cdot Y \cdot U^T \qquad (3.1)$$

где S_N – вектор независимых параметров;

U , $diag(U)$ – вектор и диагональная матрица составляющих комплексов узловых напряжений;

Y – матрица комплексов проводимостей.

Система УУН является квадратичной относительно действительных и мнимых составляющих комплексных напряжений и может быть представлена конечным рядом Тейлора. Последний (квадратичный) элемент ряда по форме повторяет исходные уравнения при замене переменных на их приращения, что позволяет упростить вычисление вектора небалансов мощности в итерационном процессе, исключить все операции с матрицей Гессе, выбрать оптимальный шаг.

После разложения в ряд Тейлора УУН (3.1) имеют следующий вид в конечных разностях для i - ой итерации:

$$\Delta S_i = \Delta S_{i-1} + J\Delta U_i + \mathrm{diag}(\Delta U_i) \cdot Y \cdot \Delta U_i \qquad (3.2)$$

где ΔS_i – вектор невязок независимых переменных;

$\mathrm{diag}(\Delta U_i)$, ΔU_i – диагональная матрица и вектор составляющих комплексов узловых напряжений;

$J = \frac{dS}{dU}$ – матрица Якоби.

Целью расчета является снижение до заданной точности компонент вектора S. Если записать среднеквадратичную норму этого вектора $E|\Delta S| = \sum \Delta S_i$, то можно вычислить минимум этой функции по параметру T, являющемуся постоянным сомножителем компонент вектора ΔU, т.е.

$$\Delta S_i(T) = \Delta S_{i-1} + TJ\Delta U_i + T^2 \mathrm{diag}(\Delta U_i) \cdot Y \cdot \Delta U_i \qquad (3.3)$$

В точке минимума функции $E|\Delta S|$ выполняется условие $E|\Delta S|T = 0$. Введем следующие обозначения:

$$\Delta S_i = A$$

$$JU_i = \mathrm{B} = -A$$

$$\mathrm{diag}(\Delta U_i) \cdot Y \cdot \Delta U_i = C$$

Тогда после вычисления скалярных произведений векторов, согласно (3.3), и взятия производной получим кубическое уравнение

$$g_3 T^3 + g_2 T^2 + g_1 T + g_0 = 0 \qquad (3.4)$$

где

$$g_3 = 2\sum_1^n c_i\,, \qquad g_2 = 3\sum_1^n c_i b_i\,, \qquad g_1 = 2\sum_1^n (b_i + 2a_i c_i)\,, \qquad g_0 = \sum_1^n a_i b_i$$

a, b, c – компоненты векторов A, B, C.

В результате решения уравнения (3.4) вычисляется параметр T, который используется для вычисления вектора зависимых переменных на i - итерации по выражению

$$U_i = U_{i-1} + TU_i \qquad (3.5)$$

Данный метод выбора параметра T, являющегося оптимальным шагом, позволяет значительно улучшить сходимость метода Ньютона и надежность получения решения, без существенного усложнения алгоритма. Этот подход распространен и на анализ УР ЭЭС, содержащих вставки и передачи постоянного тока.

В процессе расчета УР учитываются ограничения по активной и реактивной мощности генерации. Остальные ограничения не учитываются, так как требуют привлечения оптимизационных методов. Учет же данных ограничений выполняется путем замены

соответствующих уравнений для независимых переменных на уравнения тех зависимых переменных, по которым нарушены ограничения, т.е. сменой типов узлов (корректировкой базиса).

Для окончания расчета УР используется три критерия:

1) снижение нормы ниже заданной точности $E|\Delta S| < \varepsilon$;

2) $T < T_{min}$;

3) $i < i_{max}$ – в случае отсутствия сходимости.

Обычно принимается:

- $\varepsilon \approx 0{,}01 - 1$МВт (задается константами точность расчета УР по мощности и частоте);
- $T_{min} = 0{,}001 - 0{,}0001$ (задается константой «Минимальный шаг при поиске решения»);
- $i_{max} = 20 - 30$ (задается константой «Число итераций при расчете УР»).

В рассматриваемой реализации метода возможен расчет УР одновременно в нескольких подсхемах ЭЭС (до заданного в константах ограничения), на которые может разделиться исходная схема в случае выполнения каких-либо коммутаций, а также при разделении узлов. При выделении независимых подсхем в результате топологического анализа в них назначаются в качестве базисных узлы с наибольшей генерацией активной мощности, что определяется константой «Автоматически назначать балансирующий узел при разделении схемы». Итерационный процесс контролируется для каждой из независимых подсхем.

В случае расчета с частотой, для расчетной схемы, а также для каждой из подсхем контролируется небаланс активной мощности базисного узла и вычисляется изменение частоты с соответствующей корректировкой активной мощности генерации и нагрузки по заданным частотным характеристикам.

В отличие от способа учета статических характеристик нагрузки по напряжению через соответствующую модификацию диагональных элементов матрицы Якоби и вектор небалансов, потери на корону линий электропередачи могут быть вычислены, как с использованием традиционного подхода - через активную проводимость линии при П-

образной схеме замещения, так и посредством полиномиальной характеристики с организацией дополнительного внешнего цикла, аналогичного циклу по частоте.

Типы узлов в схеме замещения

Типы узлов задаются в таблице по узлам в поле «Тип узла». Имеются следующие типы узла (в скобках указано числовое значение в JSON):

- **Базисный** – одновременно является балансирующим по P и Q. Узел, в котором фиксируется напряжение с заданным модулем и нулевой фазой (**5**).
- **Балансирующий по Q** – генераторный узел с фиксированным напряжением и P генерации (**1**).
- **Балансирующий по P** – узел с фиксированной фазой и Q генерации (на практике, обычно не применяется) (**2**).
- **Балансирующий по P и Q** – генераторный узел с фиксированным напряжением и фазой напряжения (**3**).
- Если ни один из типов не задан, то узел считается «обычным» и может быть, как транзитным, так и генераторным или нагрузочным. Заданные значения мощностей генерации и нагрузки в этом узле будут зафиксированы в УР.

Следует отметить, что при разделении схемы на несвязанные подсхемы, если в подсхеме не задан узел балансирующий по P и Q, то в ней назначаются в качестве базисных (и соответственно балансирующих по P и Q) узлы с наибольшей генерацией активной мощности.

Для узлов, балансирующих по реактивной мощности, должны быть заданы пределы изменения Qген (Q ген мин, Qген макс).

Для узлов балансирующих по активной мощности должны быть заданы пределы изменения Рген (Рген мин, Рген макс), а также номинальное напряжение (U ном).

Описание исходных данных для расчета УР

Исходные данные по узлам

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
NodeNum	№		Номер узла
NodeNumEq	№ экв		Номер эквивалентного узла
Name	Название		Название узла
State	Состояние		Коммутационное состояние (1 – включен, 2 – отключен, 0 – не определено)
Umin	U мин	[кВ]	Минимальное допустимое напряжение
Umax	U макс	[кВ]	Максимальное допустимое напряжение
Unom	U ном	[кВ]	Номинальное напряжение
Ucalc	U расч	[кВ]	Расчётное значение напряжения
dUcalc	ϕ U	градусы	Рассчитанный угол напряжения
Ubeg	U нач	[кВ]	Начальное приближение значения напряжения
dUbeg	ϕ U нач	градусы	Начальное приближение угла напряжения
	Рн ос	[МВт]	Оцененное значение активной нагрузки
PLoadCalc	Рн расч	[МВт]	Расчётное значение активной нагрузки
	Qн ос	[Мвар]	Оцененное значение реактивной нагрузки
QLoadCalc	Qн расч	[Мвар]	Расчётное значение реактивной нагрузки
	Рген ос	[МВт]	Оцененное значение активной мощности генерации
PGenCalc	Рген расч	[МВт]	Расчётное значение активной мощности генерации
	Qген ос	[Мвар]	Оцененное значение реактивной мощности генерации

QGenCalc	Qген расч	[Мвар]	Расчётное значение реактивной мощности генерации
Gs	G шунт	[мкСм]	Активная составляющая шунта
PShuntCalc	P шунт расч	[МВт]	Пересчитанный в активную мощность шунт
Bs	B шунт	[мкСм]	Реактивная составляющая шунта
QShuntCalc	Q шунт расч	[Мвар]	Пересчитанный в реактивную мощность шунт
NodeType	Тип узла		Тип узла: базисный, балансирующий по Q, балансирующий по P, балансирующий по P и Q, регулирующий по Q при оптимизации, - (обычный узел)
PGenMin	Рген мин	[МВт]	Минимально допустимое значение активной мощности генерации
PGenMax	Рген макс	[МВт]	Максимально допустимое значение активной мощности генерации
QGenMin	Qген мин	[Мвар]	Минимально допустимое значение реактивной мощности генерации
QGenMax	Qген макс	[Мвар]	Максимально допустимое значение реактивной мощности генерации
isEqui	Экв.		Флаг эквивалентирования
IsOpt	Исп. Опт.		Флаг использования узла при оптимизации
NumCxnP	№ СХН P		Номер коэффициента в константах СХН под P
NumCxnQ	№ СХН Q		Номер коэффициента в константах СХН под Q
Rgen	Rgen	[Ом]	Активное сопротивление генератора
Xgen	Xgen	[Ом]	Реактивное сопротивление генератора

Для данной таблицы входными данными будут поля Uном, Рн ос, Qн ос, Рген ос, Qген ос, Тип узла, U мин, Рген макс, Q ген мин, Qген макс. Значение полей Q ген мин, Qген макс будут учитываться в том случае, если выставлены соответствующие константы (17, 22, 24) и тип узла выставлен в положение «Балансирующий по Q» или «Балансирующий по Q и P». Значение полей Рген мин, Рген макс будут учитываться в

том случае, если выставлена соответствующая константа (25) и тип узла выставлен в положение «Балансирующий по P» или «Балансирующий по Q и P».

Исходные данные по ветвям

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
BranBeg	Уз нач		Номер узла начала ветви
BranEnd	Уз кон		Номер узла конца ветви
BranPar	| |		Номер параллельности ветви
Name	Название		Название ветви
State	Состояние		Коммутационное состояние (1 – включена, 2 – отключена с двух концов, 3 – отключена с начала, 4 – отключена с конца, 10 – отключена с двух концов и заземлена, 0 – не определено)
	Iнач	[кА]	Рассчитанное значение тока в начале ветви
Pbeg	Рнач	[МВт]	Переток активной мощности начала ветви
Qbeg	Qнач	[Мвар]	Переток реактивной мощности начала ветви
	Iкон	[кА]	Рассчитанное значение тока в конце ветви
Pend	Ркон	[МВт]	Переток активной мощности конца ветви
Qend	Qкон	[Мвар]	Переток реактивной мощности конца ветви
Ploss	Потери P	[МВт]	Потери активной мощности
Qloss	Потери Q	[Мвар]	Потери реактивной мощности
PlossGround	Потери Ркор	[МВт]	Активные потери на короне
QlossGround	QC	[Мвар]	Зарядная мощность
Pxx	Pxx	[МВт]	Потери холостого хода трансформатора
PxxCalc	dPxx расч	[МВт]	Расчетное значение потери холостого хода трансформатора

Ktr	Кт		Коэффициент трансформации
KtMin	Кт мин		Минимальное значение коэффициента трансформации
KtMax	Кт макс		Максимальное значение коэффициента трансформации
R	R	[Ом]	Активное сопротивление
X	X	[Ом]	Реактивное сопротивление
G	G	[мкСм]	Активная поперечная проводимость
B	B	[мкСм]	Реактивная поперечная проводимость
	Район		Район, к которому относится ветвь
IsOpt	Исп. Опт.		Флаг использования узла при оптимизации

Для ветвей могут быть два зависимых объекта: трансформаторы и участки. Поэтому значения в таблице «Ветви» можно изменить, оперируя входными параметрами таблиц «Трансформаторы» (см. разд. 0) и «Участки» (см. разд. 0).

Поля «Кт мин» и «Кт макс» задаются вручную, если для этой ветви нет трансформатора. При наличии трансформатора поля «Кт мин» и «Кт макс», рассчитываются исходя из минимального и максимального значения отпаек. Т.к. ветвь может относиться к: верхней, средней и нижней обмотке трансформатора, то значения этих полей, «Кт мин» и «Кт макс», могут равняться нулю в зависимости от положения устройства регулирования (см. разд. 0).

Константы установившегося режима

Блок расчета установившегося режима использует ряд констант. Перечень констант и рекомендуемые значения приведены в таблице:

№	Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Значение
1	BrAddAmntMax	Максимальное число новых ветвей	50
2	NdAddAmntMax	Максимальное число новых Узлов	50
3	FrecNom	Номинальная частота	50
4	FmKeyUBeg	Использовать начальные приближения U	Да
5	SmKeyIgnErr	Игнорировать исправимые ошибки	Да

6	SmKeyWarnIgnr	Игнорировать предупреждения	Да
7	FmSwitchMinZ	Минимальное сопротивление ветви	0,01
8	UCntrKtr	Изменение (%) напряжения при проверке КТ	50
9	SubShemAmntMax	Максимальное число подсхем	50
10	FmAutoSetBasNode	Автоматически назначать балансирующий узел при разделении схемы	Нет
11	FmIgnorSubShem	Игнорировать пассивные подсхемы	Да
12	FmKeySfU	Учёт стандартных СХН по U	Да
13	FmFrecBeg	Начальная частота при расчёте УР	50
14	FmPrcsCalc	Точность расчета УР	0,01
15		Точность расчета УР по частоте	0,01
16	FmAmntIter	Число итераций при расчете УР	50
17	FmKeyLimtQGen	Контроль ограничений по Qген	Нет
18	FmKeyStepOptm	Выбор оптимального шага при расчёте УР	Да
19	FmStepOptmMin	Минимальный шаг при поиске решения	0.001
20	FmAmntChngStep	Кол. попыток изм. шага при плохой сходимости УР	3
21	FmStepOptmMsmt	Величина нарушения шага при поиске решения	0.001
22	FmKeyLimtQGenIgnr	Допустимость нарушений ограничений по Qген	Нет
23	FmKeyLimtU	Контроль ограничений по U в генераторных узлах	Нет
24	FmMsmtLimtQGen	Допустимое нарушение пределов по Qген	0
25	FmKeyLimtPGen	Контроль ограничений по Рген	Да
26	CXH_BY_P	СХН по Р	…
27	CXH_BY_Q	СХН по Q	…
28	ClassU	Класс напряжения	…

Далее приведено описание основных констант:

1. **Максимальное число новых ветвей** - задаёт максимальное число новых ветвей, появившихся в схеме замещения в результате коммутаций (разделение секций, отключение ветви с одной стороны и т.п.);
2. **Максимальное число новых узлов** - задаёт максимальное число новых узлов, появившихся в схеме замещения в результате коммутаций (разделение секций, отключение ветви с одной стороны и т.п.);
3. **Номинальная частота** – задаёт номинальную частоту;
4. **Использовать начальные приближения U** – если "Да" – при вводе исходных данных начальными значениями напряжения и фазы являются значения полей «U нач» и «Угол U нач».
5. **Игнорировать исправимые ошибки** - если "Да", то при наличии не фатальных ошибок, расчёт выполняется;
6. **Игнорировать предупреждения** - если "Да", то при наличии предупреждений, расчёт выполняется;
7. **Минимальное сопротивление ветви**. Если модуль полного сопротивления ветви меньше данного значения, то сопротивление ветви заменяется на минимальное сопротивление ветви;
8. **Изменение (%) напряжения при проверке КТ** - задаёт погрешность напряжений для контроля правильности КТ
9. **Максимальное число подсхем** – задаёт максимальное число подсхем для данной схемы;
10. **Автоматически назначать балансирующий узел при разделении схемы** – при разделении схемы, если в подсхеме не назначен балансирующий узел, то в качестве него будет выбран узел с максимальной генерацией P;
11. **Игнорировать пассивные подсхемы** – не производить расчет пассивных подсхем, выполняя при этом расчет остальной части сети;
12. **Учёт стандартных СХН по U** – использовать статические характеристики нагрузки по напряжению, заданные константами 27, 28;
13. **Начальная частота при расчёте УР** – задает начальную частоту при расчете УР. Если производится расчет без учета частоты, то эта константа задает частоту системы;
14. **Точность расчета УР** – точность расчета УР по мощности;
15. **Точность расчета УР по частоте** – точность расчета УР по частоте;

16. **Число итераций при расчете УР** – максимальное число итераций при расчете УР;
17. **Контроль ограничений по Qген** – контролировать ограничения по Qген в балансирующих по Q узлах;
18. **Выбор оптимального шага при расчёте УР** – если “Нет” – расчёт методом Ньютона без выбора оптимального шага. Имеет исследовательский смысл или для расчёта лёгких режимов;
19. **Минимальный шаг при поиске решения** – используется при отсутствии сходимости для поиска решения (шаг будет уменьшаться вплоть до этой величины);
20. **Кол. попыток изм. шага при плохой сходимости УР** – в случае отсутствия сходимости ограничивается число попыток по изменению шага;
21. **Величина нарушения шага при поиске решения** – если шаг уменьшается меньше минимального (константа 19), то в качестве шага будет назначена эта величина. Она должна быть больше минимального шага;
22. **Допустимость нарушение ограничений по Qген** – если «Да» – ограничения в балансирующих узлах соблюдаются с заданным допустимым отклонением.
23. **Контроль ограничений по U в генераторных узлах** – если “Да” – в процессе расчёта УР делается попытка соблюдать ограничения по U методом фиксации на нарушенном пределе. В некоторых случаях позволяет вводить УР в допустимую область по напряжениям без решения задачи оптимизации.
24. **Допустимое нарушение пределов по Qген** – задается допустимое нарушение пределов по Qген в % от диапазона;
25. **Контроль ограничений по Рген** – если «Да», то ограничения по Рген в генераторных узлах контролируются;
26. **СХН по Р** – задаются СХН по Р в виде коэффициентов (A0, A1, A2, Af);
27. **СХН по Q** – задаются СХН по Q в виде коэффициентов (B0, B1, B2, Bf);
28. **Класс напряжения** – задаются пределы по напряжению для каждого класса напряжения.

Задание СХН

Статические характеристики нагрузки задаются отдельно для Р и для Q в виде коэффициентов полинома.

Для P нагрузки задаются коэффициенты *A0, A1, A2, Af* для вычисления зависимости мощности нагрузки от напряжения и частоты по формуле:

$$P_{\text{Н}} = P_{\text{Н}_0} \cdot \left(A0 + A1 \frac{U}{U_0} + A2 \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 \right) \cdot \left(1 + Af \frac{f - f_0}{f_0} \right).$$

Для Q нагрузки задаются коэффициенты *B0, B1, B2, Bf* для вычисления зависимости мощности нагрузки от напряжения и частоты по формуле:

$$Q_{\text{Н}} = Q_{\text{Н}_0} \cdot \left(B0 + B1 \frac{U}{U_0} + B2 \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 \right) \cdot \left(1 + Bf \frac{f - f_0}{f_0} \right).$$

В программе внесение этих коэффициентов выполняется в таблице «Константы», для этого

В результате расчета режима мы получаем в таблицах:

- По узлам
  - U расч - Расчётное значение напряжения;
  - Угол U - Рассчитанный угол напряжения;
  - Рн расч - Расчётное значение активной нагрузки (если был расчет с СХН, то может отличаться от исходного);
  - Qн расч - Расчётное значение реактивной нагрузки (если был расчет с СХН, то может отличаться от исходного);
  - Рген расч - Расчётное значение активной мощности генерации;
  - Qген расч - Расчётное значение реактивной мощности генерации;
  - P шунт расч - Пересчитанный в активную мощность шунт;
  - Q шунт расч - Пересчитанный в реактивную мощность шунт.
- По ветвям
  - Рнач - Переток активной мощности начала ветви;
  - Q нач - Переток реактивной мощности начала ветви;
  - Ркон - Переток активной мощности конца ветви;
  - Qкон - Переток реактивной мощности конца ветви;
  - Потери P - Потери активной мощности;
  - Потери Q - Потери реактивной мощности;
  - Потери Ркор - Активные потери на короне;
  - Потери Qкор - Реактивные потери на короне.
- По нагрузке

    - Рн расч – Расчетное значение активной мощности нагрузки;
    - Рн расч – Расчетное значение реактивной мощности нагрузки.
- По генерации
    - Рген расч – Исходное значение активной мощности генерации;
    - Рген расч – Исходное значение реактивной мощности генерации.

Если производится расчет УР на основе оцененного режима, то качественно совпадение результатов УР и Оценки можно оценить по величине генерации в базисном узле. Базисный узел в задаче оценивания состояния не является балансирующим по P и Q, как при расчете УР. Таким образом, если величины мощности генерации P и Q в базисном узле значительно отличаются в УР и Оценке, то результаты расчета отличаются. Это может быть связано со следующими факторами:

- Реактивная мощность генерации зафиксирована на пределе (если учитываются диапазоны изменения реактивной мощности).
- Учитываются СХН.
- Имеется большое количество не эквивалентируемых ветвей с сопротивлением близким к нулю. В этом случае даже небольшая погрешность в передаче начальных напряжений может дать большой начальный небаланс по мощности, что в свою очередь может повлиять на перераспределение мощностей среди балансирующих узлов.

Сообщения об ошибках и предупреждения

Если в процессе расчета программа выявила проблемы в исходных данных, то в результаты расчета выводятся сообщения и указание на место возникновения ошибок в исходных данных.

Данные об ошибках в исходных данных представляют собой таблицу данных в формате JSON такой же структуры, что и для остальных исходных данных и результатов.

```
[
```

```
{
        "table": "messages",
        "MsgType": [ массив данных с плавающей точкой],
        "TableId": [ массив данных с плавающей точкой],
        "RecNumber": [ массив данных с плавающей точкой],
        "ParamId": [ массив данных с плавающей точкой],
       "MessageString": [ массив строк],
}
]
```

- Поле **MsgType** – определяет тип сообщения: 0 – информационное, 1 – предупреждение, 2 –ошибка.
- Поле **TableId** – числовой идентификатор таблицы данных.
- Поле **RecNumber** – Номер записи в таблице.
- Поле **ParamId** – Номер поля (параметра) данных.
- **MessageString** – Строка с сообщением об ошибке.

Ряд ошибок программа может исправить автоматически (если выставлена константа 5 «Игнорировать исправимые ошибки»).

Выполнять или нет расчет, при наличии предупреждений определяется константой 6 «Игнорировать предупреждения».

Возможны следующие информационные сообщения:

- «**Схема разделилась на X подсхемы**» – отображается количество подсхем, на которые разделилась схема;
- «**Разделился узел: XXX Появился новый узел: XXX**» - если ветвь отключена с одного конца добавляется новый узел. При этом в сообщении – указываются номера узлов (того, который поделился и нового).

Возможны следующие предупреждения:

- «**Нет ни одной ветви для узла XXX**» – у узла нет ни одной ветви. Он исключается из схемы. Это предупреждение говорит об ошибке в топологии схемы;
- «**Изолированный узел XXX**» – у узла нет ни одной включенной ветви. Узел принимается отключенным. Нормальная ситуация, например, для тупиковых эквивалентных подстанций;
- «**Назначено U в балансирующем по Q узле XXX**» - это сообщение возникает, если не задано Uнач, но имеется номинальное напряжение в узле. В этом случае в узле будет поддерживаться Uном;
- «**Одинаковые пределы по Qген в узле XXX. Qген фиксируется**» - пределы по изменению Q генерации заданы одинаковыми. В этом случае узел перестает быть балансирующим по Q и Qген фиксируется;
- «**Нулевые пределы по Рген в узле XXX. Рген отпускается**» - пределы по изменению Р генерации в узле не заданы. Р генерации регулируется без ограничений;
- «**Одинаковые пределы по Рген в узле XXX. Рген фиксируется**» - пределы по изменению Р генерации заданы одинаковыми. В этом случае узел перестает быть балансирующим по Р и Рген фиксируется;
- «**Назначен нагрузочным по Р узел XXX**» - если не задана генерация в узле и установлена константа №2 «Установившегося режима» «Игнорировать исправимые ошибки», то узел становится нагрузочным по Р;
- «**Назначен нагрузочным по Q узел XXX**» - если не задана генерация в узле и установлена константа №2 «Установившегося режима» «Игнорировать исправимые ошибки», то узел становится нагрузочным по Р;
- «**Отсутствует СХН по Q для узла XXX**» - задан расчет с СХН, для узла выбран номер СХН, но СХН по Q с таким номером отсутствует;
- «**Отсутствует СХН по Р для узла XXX**» - задан расчет с СХН, для узла выбран номер СХН, но СХН по Р с таким номером отсутствует;
- «**Не задан базисный узел. Базисным назначен XXX**» - базисным назначается узел с максимальной генерацией Р;
- «**Сопротивление ветви XXX меньше допустимого. X скорректировано до**» - если сопротивление ветви меньше заданного константой №7 «Установившегося режима» «Минимальное сопротивление ветви», то оно принимается равным константе;
- «**Неверный КРП ветви: XXX**» - если КРП ветви меньше 0 или больше 1, то КРП принимается равным 0,5;

- «**Неверные ограничения Кт в ветви XXX**» - заданы не правильные ограничения на изменение Кт ветви;
- «**Для Подсхемы XXX назначен балансирующий по P узел: XXX**» - автоматически назначен балансирующий узел (тот у которого максимальная генерация P);
- «**Для Подсхемы XXX назначен балансирующий по Q узел: XXX**» - автоматически назначен балансирующий узел (тот у которого максимальная генерация Q);
- «**В схеме задано >32 классов U**» - количество классов напряжения превышает 32. Все классы напряжения, которые по номеру больше 32 будут игнорироваться;
- «**Не определён класс напряжения в узле XXX**» - класс напряжения не определен. Узел не будет группироваться в отчетах по классу напряжения;
- «**Не определён класс напряжения ветви XXX**» - класс напряжения не определен. Ветвь не будет группироваться в отчетах по классу напряжения.

Ошибки в исходных данных, которые не позволяют продолжать расчет:

- «**Нет ни одного узла**» - в схеме нет ни одного узла;
- «**Нет ни одной ветви**» - в схеме нет ни одного узла;
- «**Одинаковые узлы по концам ветви XXX**» - ошибочно заданы одинаковые номера по концам ветви;
- «**Имеются одинаковые узлы XXX**» - в схеме присутствуют несколько узлов с одним номером;
- «**Для ветви: XXX отсутствует узел XXX**» - в ветви задан номер узла, отсутствующий в схеме;
- «**Имеются одинаковые ветви: XXX**» - в схеме имеется несколько ветвей с одинаковыми номерами узлов и параллельности;
- «**Не задано напряжение в узле XXX**» – в узле не задано как текущее напряжение, так и номинальное;
- «**Не задано U в балансирующем по Q узле XXX**» – в балансирующем по Q узле не задано как текущее напряжение, так и номинальное;
- «**Нет генерации в балансирующем по Q узле XXX**» - в балансирующем по Q узле нет информации о генерации реактивной мощности. Эта ошибка исправимая и если задана константа №2 «Установившегося режима» «Игнорировать исправимые ошибки», то узел становится нагрузочным по Q;

- «**Нет генерации в балансирующем по Р узле XXX**» - в балансирующем по Р узле нет информации о генерации активной мощности. Эта ошибка исправимая и если задана константа №2 «Установившегося режима» «Игнорировать исправимые ошибки», то узел становится нагрузочным по Р;
- «**Коэффициент тока нагрузки больше 1 в узле XXX**» - если нагрузка задана током и cos угла нагрузки больше 1, то расчет не возможен;
- «**Коэффициент тока генерации больше 1 в узле XXX**» - если генерация задана током и cos угла генерации больше 1, то расчет не возможен;
- «**Отключен базисный узел XXX**» - при отключенном базисном узле расчет не возможен;
- «**Не задан базисный узел**» - если базисный узел не задан, подсхема пассивная и не выбрана константа №8 «Установившегося режима» «Игнорировать пассивные подсхемы», то расчет не возможен;
- «**Неверный Кт ветви XXX**» - Кт не соответствует номинальным напряжениям по концам ветви;
- «**Неверные напряжения по концам линии XXX**» - напряжения по концам линии не соответствуют. Такая ошибка возникает, если ошибочно соединены линией узлы разных классов напряжения;
- «**Число подсхем больше максимального**» - число подсхем на которые разделилась схема больше заданного в константе №9 «Установившегося режима» «Максимальное число подсхем». Это может быть связано с неправильной передачей коммутационного состояния, например, когда большинство ветвей отключено;
- «**Нет ни одного баланс. по Р узла для подсхемы XX**» – если не задан автоматический выбор балансирующего по Р узла, то при разделении схемы, возможно такое сообщение;
- «**Нет ни одного баланс. по Q узла для подсхемы XX**» – если не задан автоматический выбор балансирующего по Q узла, то при разделении схемы, возможно такое сообщение;
- «**Число создаваемых узлов больше максимального**» - число новых узлов превысило значение константы №2 «Установившегося режима» «Максимальное число новых узлов». Это может быть связано с неправильной передачей коммутационного состояния, например, когда большинство ветвей отключено.

ГЛАВА 3: РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Блока ТКЗ в составе расчетного сервера PEGAS позволяет проводить одиночные и циклические расчеты однократных и распределенных по длине ЛЭП КЗ различных типов (1, 2, 3-фазные, КЗ на землю). Возможен автоматический расчет КЗ в нескольких заданных точках. После проведения расчета доступны для анализа токи и напряжения в узлах и ветвях по фазам A, B, C, а также прямой, обратной и нулевой последовательностям.

В расчетах применяется метод симметричных составляющих. В модели электроэнергетической системы (ЭЭС), используемой для расчета ТКЗ, участвуют синхронные машины и асинхронные двигатели своими переходными и сверхпереходными сопротивлениями и ЭДС.

При расчете несимметричных ТКЗ учитываются группы соединения обмоток трансформаторов. ЛЭП представляются П-образной схемой замещения. Если рассматривается короткое замыкание на линии, то линия моделируется в виде двух П-образных участков, параметры которых определяются программой.

Для проведения расчета ТКЗ может использоваться предшествующий УР, на основе которого определяются расчетные модули и фазы ЭДС генераторов и двигателей.

Расчет ТКЗ производится на модели электрической сети узлы/ветви (bus/branch). Модель узлы/ветви подготавливается топологическим процессором PEGAS, а именно:

- Узлы связанные ветвью нулевого сопротивления эквивалентируются;
- На основе данных по оборудованию вычисляются суммарные параметры узлов (нагрузка, генерация, шунт).

Описание исходных данных для расчета ТКЗ

Исходные данные по узлам

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
NodeNum	№		Номер узла
NodeNumEq	№ экв		Номер эквивалентного узла
Name	Название		Название узла
State	Состояние		Состояние включенности
Unom	U ном	кВ	Номинальное напряжение
Gs	G шунт	мкСм	Активная составляющая шунта
Bs	B шунт	мкСм	Реактивная составляющая шунта
Ubeg	U нач	кВ	Начальное напряжение
dUbeg	ϕ U нач	градусы	Начальный угол напряжения
EGenMax	E ген. макс.	кВ	ЭДС генерации в максимальном режиме
dEGenMax	ϕ E ген. макс.	градусы	Угол ЭДС генерации в максимальном режиме
XGenMax	X1 ген. макс.	Ом	Реактивное сопротивление генерации прямой последовательности в максимальном режиме
X2GenMax	X2 ген. макс.	Ом	Реактивное сопротивление генерации обратной последовательности в максимальном режиме
X0GenMax	X0 ген. макс.	Ом	Реактивное сопротивление генерации нулевой последовательности в максимальном режиме
RGenMax	R1 ген. макс.	Ом	Активное сопротивление генерации прямой последовательности в максимальном режиме
R2GenMax	R2 ген. макс.	Ом	Активное сопротивление генерации обратной последовательности в максимальном режиме

R0GenMax	R0 ген. макс.	Ом	Активное сопротивление генерации нулевой последовательности в максимальном режиме
ELoadMax	E наг. макс.	кВ	ЭДС нагрузки в максимальном режиме
DELoadMax	ф E наг. макс.	градусы	Угол ЭДС нагрузки в максимальном режиме
XLoadMax	X1 наг. макс.	Ом	Реактивное сопротивление нагрузки прямой последовательности в максимальном режиме
X2LoadMax	X2 наг. макс.	Ом	Реактивное сопротивление нагрузки обратной последовательности в максимальном режиме
X0LoadMax	X0 наг. макс.	Ом	Реактивное сопротивление нагрузки нулевой последовательности в максимальном режиме
RLoadMax	R1 наг. макс.	Ом	Активное сопротивление нагрузки прямой последовательности в максимальном режиме
R2LoadMax	R2 наг. макс.	Ом	Активное сопротивление нагрузки обратной последовательности в максимальном режиме
R0LoadMax	R0 наг. макс.	Ом	Активное сопротивление нагрузки нулевой последовательности в максимальном режиме

Исходные данные по ветвям

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
BranBeg	Уз нач		Номер узла начала ветви
BranEnd	Уз кон		Номер узла конца ветви
BranPar	||		Номер параллельности ветви
Name	Название		Название ветви
State	Состояние		Коммутационной состояние ветви

Pxx	Pxx	МВт	Потери холостого хода трансформатора
R	R	Ом	Активное сопротивление
X	X	Ом	Реактивное сопротивление
G	G	мкСм	Активная поперечная проводимость
B	B	мкСм	Реактивная поперечная проводимость
Ktr	Кт		Коэффициент трансформации
Kti	Кт реакт		Коэффициент трансформации мнимый
Ru	R0	Ом	Активное сопротивление нулевой последовательности
Xu	X0	Ом	Реактивное сопротивление нулевой последовательности
Gu	G0	мкСм	Активная поперечная проводимость нулевой последовательности
Bu	B0	мкСм	Реактивная поперечная проводимость нулевой последовательности
BrLength	*Длина*	км	*Длина линии*

Константы ТКЗ

№	Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Значение
1	TkzOutValues	Вывод результатов расчета 0 – Именованные единицы 1 – Приведенные 2 – В о.е. от базисных 3 – В о.е. от номенальных	0
2	TkzSbase	Sб, МВА	1000
3	TkzUbase	Uб, кВ	220
4	Tkz0Seq_R0_R1	Коэффициент 0-й последовательности R0/R1	1,5
5	Tkz0Seq_X0_X1	Коэффициент 0-й последовательности X0/X1	3,5

6	Tkz0Seq_B0_B0	Коэффициент 0-й последовательности B0/B1	1,5
7	TkzMutualInduct	Учитывать взаимоиндукцию	0
8	TkzLoadAsShunt	Учитывать нагрузку шунтами	0
9	TkzAddGen	Добавлять СГ в генераторных узлах	0
10	InternalSolver	Внутренний расчетный модуль	1
11	Calc3Phase	Расчет в фазных координатах	0
12	EquiAll	Эквивалентировать все ветви с нулевым сопротивлением	0
13	MinMeasure	Минимальное значение параметра (замера) при котором вычисляются углы	0,0001

Задание на расчет

Задание на расчет передается в виде таблицы с названием “**task**”. Описание задания на расчет приведено в Главе 2.

Результаты расчета ТКЗ

Результаты по узлам (node)

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
NodeNum	№		Номер узла
TKZ_UA	Ua	кВ	Напряжение фазы A
TKZ_UAANGLE	ф Ua	градусы	Угол напряжения фазы A
TKZ_UB	Ub	кВ	Напряжение фазы B
TKZ_UBANGLE	ф Ub	градусы	Угол напряжения фазы B
TKZ_UC	Uc	кВ	Напряжение фазы C
TKZ_UCANGLE	ф Uc	градусы	Угол напряжения фазы C
TKZ_UAB	Uab	кВ	Линейное напряжение между фазами A-B

TKZ_UABANGLE	ф Uab	градусы	Угол линейного напряжения между фазами A-B
TKZ_UBC	Ubc	кВ	Линейное напряжение между фазами B-C
TKZ_UBCANGLE	ф Ubc	градусы	Угол линейного напряжения между фазами B-C
TKZ_UCA	Uca	кВ	Линейное напряжение между фазами C-A
TKZ_UCAANGLE	ф Uca	градусы	Угол линейного напряжения между фазами C-A
TKZ_U1	U1	кВ	Напряжение прямой последовательности
TKZ_U1ANGLE	ф U1	градусы	Угол напряжения прямой последовательности
TKZ_U2	U2	кВ	Напряжение обратной последовательности
TKZ_U2ANGLE	ф U2	градусы	Угол напряжения обратной последовательности
TKZ_U0	U0	кВ	Напряжение нулевой последовательности
TKZ_U0ANGLE	ф U0	градусы	Угол напряжения нулевой последовательности
Ucalc	U расч	кВ	Расчётное значение напряжения
dUcalc	dU расч	градусы	Рассчитанный угол напряжения

Результаты по ветвям (branch)

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
BranBeg	Уз нач		Номер узла начала ветви
BranEnd	Уз кон		Номер узла конца ветви
BranPar	||		Номер параллельности ветви
TKZ_I1_Beg	I1 нач.	кА	Ток прямой последовательности начала ветви

TKZ_I1_Beg_Angle	ф I1 нач.	градусы	Угол тока прямой последовательности начала ветви
TKZ_I2_Beg	I2 нач.	кА	Ток обратной последовательности начала ветви
TKZ_I2_Beg_Angle	ф I2 нач.	градусы	Угол тока обратной последовательности начала ветви
TKZ_I0_Beg	I0 нач.	кА	Ток нулевой последовательности начала ветви
TKZ_I0_Beg_Angle	ф I0 нач.	градусы	Угол тока нулевой последовательности начала ветви
TKZ_3I0_Beg	3I0 нач.	кА	Тройной ток нулевой последовательности начала ветви
TKZ_3I0_Beg_Angle	ф 3I0 нач.	градусы	Угол тройного тока нулевой последовательности начала ветви
TKZ_IA_Beg	Ia нач.	кА	Ток фазы A начала ветви
TKZ_IA_Beg_Angle	ф Ia нач.	градусы	Угол тока фазы A начала ветви
TKZ_IB_Beg	Ib нач.	кА	Ток фазы B начала ветви
TKZ_IB_Beg_Angle	ф Ib нач.	градусы	Угол тока фазы B начала ветви
TKZ_IC_Beg	Ic нач.	кА	Ток фазы C начала ветви
TKZ_IC_Beg_Angle	ф Ic нач.	градусы	Угол тока фазы C начала ветви
TKZ_I1_End	I1 кон.	кА	Ток прямой последовательности конца ветви
TKZ_I1_End_Angle	ф I1 кон.	градусы	Угол тока прямой последовательности конца ветви
TKZ_I2_End	I2 кон.	кА	Ток обратной последовательности конца ветви
TKZ_I2_End_Angle	ф I2 кон.	градусы	Угол тока обратной последовательности конца ветви
TKZ_I0_End	I0 кон.	кА	Ток нулевой последовательности конца ветви
TKZ_I0_End_Angle	ф I0 кон.	градусы	Угол тока нулевой последовательности конца ветви
TKZ_3I0_End	3I0 кон.	кА	Тройной ток нулевой последовательности конца ветви

TKZ_3I0_End_Angle	ф 3I0 кон.	градусы	Угол тройного тока нулевой последовательности конца ветви
TKZ_IA_End	Ia кон.	кА	Ток фазы А конца ветви
TKZ_IA_End_Angle	ф Ia кон.	градусы	Угол тока фазы А конца ветви
TKZ_IB_End	Ib кон.	кА	Ток фазы В конца ветви
TKZ_IB_End_Angle	ф Ib кон.	градусы	Угол тока фазы В конца ветви
TKZ_IC_End	Ic кон.	кА	Ток фазы С конца ветви
TKZ_IC_End_Angle	ф Ic кон.	градусы	Угол тока фазы С конца ветви
TKZ_R_Beg	R нач.	Ом	Активное сопротивление начала ветви
TKZ_X_Beg	X нач.	Ом	Реактивное сопротивление начала ветви
TKZ_Z_Beg	Z нач.	Ом	Полное сопротивление начала ветви
TKZ_R_End	R кон.	Ом	Активное сопротивление конца ветви
TKZ_X_End	X кон.	Ом	Реактивное сопротивление конца ветви
TKZ_Z_End	Z кон.	Ом	Полное сопротивление конца ветви
Ibeg	Iнач	кА	Рассчитанное значение тока в начале ветви
Iend	Iкон	кА	Рассчитанное значение тока в конце ветви

Результаты по точке КЗ (task)

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание
I1	I1	кА	Ток прямой последовательности
I2	I2	кА	Ток обратной последовательности
I0	I0	кА	Ток нулевой последовательности
I0_3	3I0	кА	Утроенный ток нулевой последовательности

dI1	Угол I1	градусы	Угол тока прямой последовательности
dI2	Угол I2	градусы	Угол тока обратной последовательности
dI0	Угол I0	градусы	Угол тока нулевой последовательности
dI0_3	Угол 3I0	градусы	Угол тока нулевой последовательности
IA	Ia	кА	Ток фазы A
IB	Ib	кА	Ток фазы B
IC	Ic	кА	Ток фазы C
dIA	Угол Ia	градусы	Угол тока фазы A
dIB	Угол Ib	градусы	Угол тока фазы B
dIC	Угол Ic	градусы	Угол тока фазы C
U1	U1	кВ	Напряжение прямой последовательности
U2	U2	кВ	Напряжение обратной последовательности
U0	U0	кВ	Напряжение нулевой последовательности
U0_3	3U0	кВ	Утроенное напряжение нулевой последовательности
dU1	Угол U1	градусы	Угол напряжения прямой последовательности
dU2	Угол U2	градусы	Угол напряжения обратной последовательности
dU0	Угол U0	градусы	Угол напряжения нулевой последовательности
dU0_3	Угол 3U0	градусы	Угол напряжения нулевой последовательности
UA	Ua	кВ	Напряжение фазы A
UB	Ub	кВ	Напряжение фазы B
UC	Uc	кВ	Напряжение фазы C
dUA	Угол Ua	градусы	Угол напряжения фазы A

dUB	Угол Ub	градусы	Угол напряжения фазы B
dUC	Угол Uc	градусы	Угол напряжения фазы C
UAB	Uab	кВ	Междуфазное напряжение A-B
UBC	Ubc	кВ	Междуфазное напряжение B-C
UCA	Uca	кВ	Междуфазное напряжение C-A
dUAB	Угол Uab	градусы	Угол междуфазного напряжения A-B
dUBC	Угол Ubc	градусы	Угол междуфазного напряжения B-C
dUCA	Угол Uca	градусы	Угол междуфазного напряжения C-A
Gshunt	G шунта	мкСм	Активная проводимость шунта
Bshunt	B шунта	мкСм	Емкостная проводимость шунта
Rshunt	R шунта	Ом	Активное сопротивление шунта
Xshunt	X шунта	Ом	Реактивное сопротивление шунта
Ekz	E	кВ	ЭДС короткого замыкания
dEkz	Угол E	градусы	Угол ЭДС короткого замыкания
R1	R1	Ом	Активное сопротивление прямой последовательности
X1	X1	Ом	Реактивное сопротивление прямой последовательности
Z1	Z1	Ом	Полное сопротивление прямой последовательности
PhiZ1	Угол Z1	градусы	Угол полного сопротивления прямой последовательности
R2	R2	Ом	Активное сопротивление обратной последовательности
X2	X2	Ом	Реактивное сопротивление обратной последовательности
Z2	Z2	Ом	Полное сопротивление обратной последовательности
PhiZ2	Угол Z2	градусы	Угол полного сопротивления обратной последовательности

R0	R0	Ом	Активное сопротивление нулевой последовательности
X0	X0	Ом	Реактивное сопротивление нулевой последовательности
Z0	Z0	Ом	Полное сопротивление нулевой последовательности
PhiZ0	Угол Z0	градусы	Угол полного сопротивления нулевой последовательности
Rkz	Rkz	Ом	Активное сопротивление эквивалентности прямой последовательности
Xkz	Xkz	Ом	Реактивное сопротивление эквивалентности прямой последовательности
Zkz	Zkz	Ом	Полное сопротивление эквивалентности прямой последовательности

ГЛАВА 4: ДАННЫЕ ПО ОБОРУДОВАНИЮ

В данной главе описаны принципы формирования модели узлы/ветви которая используется при проведении расчетов, а также исходные данные по оборудованию, которые автоматически транслируются топологическим процессором PEGAS в модель узлы/ветви для дальнейшего выполнения расчетов.

Схема замещения

Исходными данными для любых расчетов является схема замещения. В комплексе АНАРЭС также применяется термин базовый режим. Он подразумевает весь набор условно постоянных данных, необходимых для расчета, включающих:

- Топологию сети (в модели узлы/ветви);
- Базовые значения нагрузок и генераций узлов;
- Сопротивления и проводимости ветвей;
- Коэффициенты трансформации ветвей трансформаторов;
- Шунты;
- Данные по оборудованию (трансформаторы, нагрузка, компенсирующие устройства, регуляторы);
- Другие настроечные данные и константы.

Так же нужно различать разницу между терминами «базовый режим» и «режим». Под термином «режим» понимается набор данных, относящийся к какому-то определенному моменту времени, а именно:

- Срез телеизмерений;
- Срез телесигналов;
- Признаки измерений (в том числе, задаваемые пользователем);
- Данные ручного ввода;
- Коммутации со схемы (топологическое состояние графической схемы);

- Оцененные значения (мощности генерации и нагрузки, перетоки, напряжения);
- Установившийся режим, посчитанный на основе оцененного (или смоделированного) режима.

В схеме замещения реальные элементы сети (физические устройства) заменяются идеализированными элементами (активными сопротивлениями, емкостями, индуктивностями, идеальными трансформаторами, задающими токами и мощностями).

Схему замещения можно представить в виде графа состоящего из узлов и соединяющих их ветвей (РИС. 4.1).

Под узлом понимается набор соединенных элементов одного класса напряжения, имеющих сопротивление равное нулю, либо близкое к нулю, которым для данного вида расчета можно пренебречь.

Примером узла могут служить: шины подстанции, место присоединения отпайки на лини электропередачи.

На РИС. 4.1 узлами являются элементы с номерами – 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Ветвью называют участок электрической цепи, соединяющий два узла и, как правило, имеющий ненулевое сопротивление. К каждому узлу может подходить от 1 до нескольких ветвей

Примеры ветвей: трансформаторы, воздушные и кабельные линии, продольные реакторы.

Идентифицируется ветви тремя числами: «№ узла начала ветви», «№ узла конца ветви», «№ цепи». Если два узла соединяют несколько параллельных ветвей, то номер цепи задается разным для каждой цепи. Для одноцепных линий номер цепи задается равным нулю.

На РИС. 4.1 ветви – 1-2-0; 1-3-0; 2-4-0; 3-4-0; 3-5-0; 4-6-0.

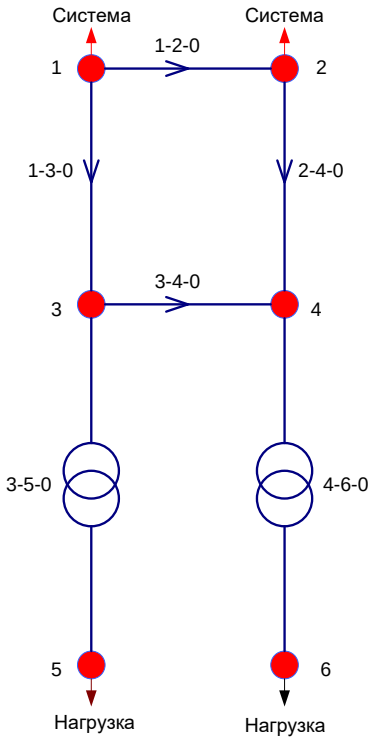


РИС. 4.1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.

Линии электропередачи (ЛЭП) на схеме замещения представлены ветвью с продольным сопротивлением и поперечной проводимостью.

Для расчета установившихся и аварийных режимов ветви представляются в виде П-образной схемы замещения (РИС. 4.2), которая представлена продольным сопротивление Zл и поперечной проводимость Y.

Продольное сопротивление Zл состоит из активного и реактивного (индуктивного) сопротивления (Z=R+jX).

Поперечная проводимость Y состоит из активной (утечка по изоляторам и потери на корону) и реактивной (емкостной) поперечной проводимости (Y=G/2+jB/2).

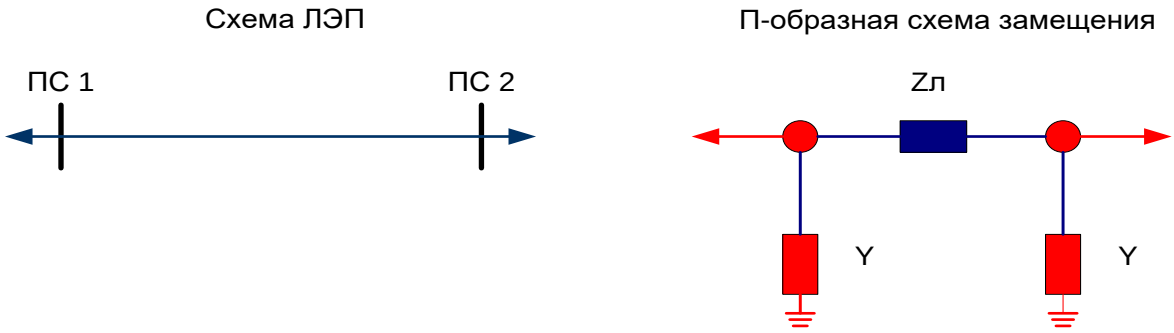
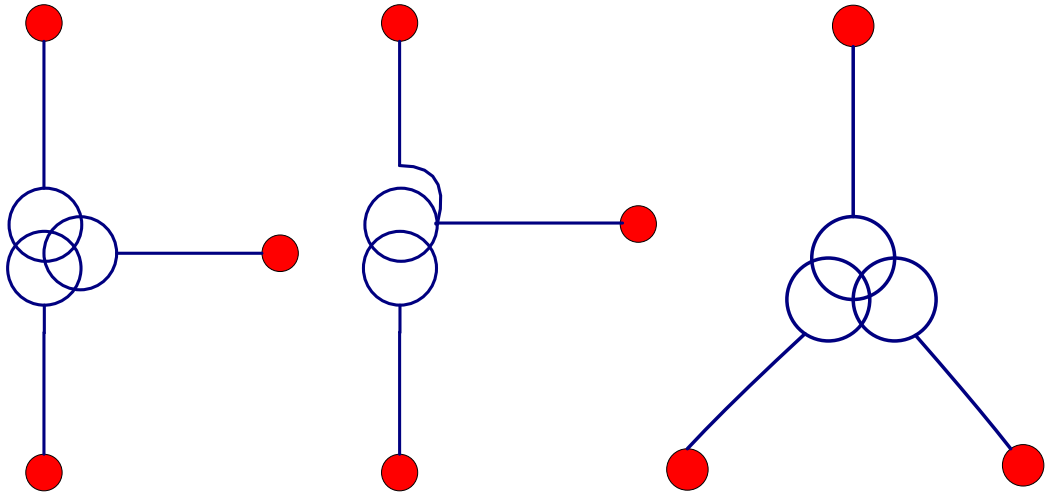


Рис. 4.2 Схема замещения ЛЭП.

На схеме замещения двухобмоточные трансформаторы представляются ветвью с сопротивлением и коэффициентом трансформации.

Автотрансформаторы и трехобмоточные трансформаторы представляются в виде трёхлучевой звезды (Рис. 4.3 – а, б, в и Рис. 4.4).

Центр многолучевой звезды (Рис. 4.4) является узлом, а лучи ветвями.



а) *б)* *в)*

Рис. 4.3 а) 3-х обмоточный трансформатор
б) Автотрансформатор в) Трансформатор с расщепленной обмоткой.

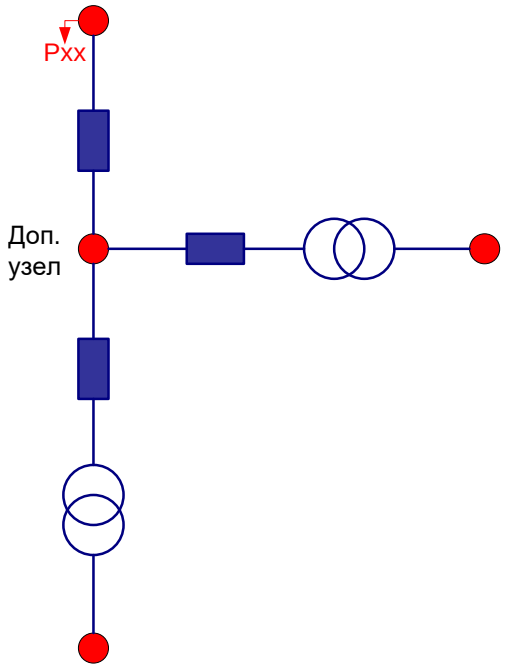


РИС. 4.4 СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ (МНОГОЛУЧЕВАЯ «ЗВЕЗДА»).
3 ВЕТВИ: 1 ВЕТВЬ – R, X; 2 ВЕТВИ – R, X, КТ;
4 УЗЛА, В Т.Ч. УЗЕЛ ВН – PXX И ОДИН ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФИКТИВНЫЙ УЗЕЛ.

Основные принципы при формировании схемы замещения:

Подстанция обозначается или одним узлом (если в процессе переключений она не может разделяться на несколько) или для каждой шины задается отдельный узел. Если подстанция задана несколькими узлами, то алгоритм эквивалентирования будет объединять узлы при расчете если сопротивление ветвей соответствующих выключателям близко к нулю.

Трансформаторы

Трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы и трансформаторы с расщепленной обмоткой на графической схеме задаются узлом (даже если используются только две обмотки).

От элемента обозначающего трансформатор для каждой ветви трансформатора ставится стрелка, а потом выключатель, шина или другой элемент узла.

Двухобмоточные трансформаторы на графической схеме привязываются к ветви. С одной стороны элемента, обозначающего трансформатор ставится выключатель или другой узловой элемент, а с другой стороны элемент стрелочка, а потом выключатель, шина или другой элемент узла.

Коммутация трансформатора производится коммутацией соответствующих ветвей. Ветви трансформатора привязываются в таблице данных по оборудованию к трансформаторам:

- для двухобмоточных трансформаторов указывается привязка к ветви: узел ВН – узел СН или узел СН – узел НН или узел ВН – узел СН (в зависимости от того, как трансформатор задан в паспортных данных).
- для трехобмоточных трансформаторов указываются все номера узлов ВН, СН, НН и средняя точка.

Также задаются паспортные данные устройства регулирования трансформатора, и указывается необходимая отпайка.

Предусмотрены следующие устройства регулирования: РПН, ПБВ, ВДТ (модели РПН и ПБВ идентичны).

Для модели ВДТ предусмотрены следующие варианты:

- ВДТ – добавка напряжения берется от напряжения той же фазы;
- ВДТ +120 – добавка напряжения берется от напряжения следующей фазы;
- ВДТ +120 – добавка напряжения берется от напряжения предыдущей фазы.

Коэффициент трансформации для ВДТ вычисляется по следующим формулам (в зависимости от места подключения ВДТ):

- ВДТ установлен в обмотке низкого напряжения:

$$\dot{K}_{\mathrm{T_H}} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}}}{\dot{U}_{\mathrm{H}} \pm \Delta\dot{U}}$$

- ВДТ установлен в обмотке среднего напряжения:

$$\dot{K}_{\mathrm{T}C} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}}}{\dot{U}_{C} \pm \Delta\dot{U}}$$

- ВДТ установлен в обмотке высокого напряжения:

$$\dot{K}_{\mathrm{T_H}} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}} \pm \Delta\dot{U}}{\dot{U}_{\mathrm{H}}}$$

$$\dot{K}_{\mathrm{T}C} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}} \pm \Delta\dot{U}}{\dot{U}_{C}}$$

- ВДТ установлен в нейтрали:

$$\dot{K}_{\mathrm{T_H}} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}} \pm \Delta\dot{U}}{\dot{U}_{\mathrm{H}}}$$

$$\dot{K}_{\mathrm{T}C} = \frac{\dot{U}_{\mathrm{B}} \pm \Delta\dot{U}}{\dot{U}_{C} \pm \Delta\dot{U}}$$

Величина $\Delta\dot{U}$ комплексная, и зависит от того, от какой фазы берется добавка напряжения. Коэффициент трансформации в результате также является комплексной величиной. Реальная часть коэффициента трансформации записывается в поле Кт в таблице ветвей, а мнимая часть в поле Кт мним.

Для перевода отпайки устройства регулирования, нужно отредактировать поле «Отпайка», указав в ней номер текущей отпайки трансформатора. Если номер отпайки будет находиться за пределами ограничений, заданных в полях «Отп. выс.» и «Отп. низ.», то положение устройства регулирования не будет учитываться (словно отпайка выставлена в нейтральное положение).

Линейные регулировочные трансформаторы (ЛРТ) можно регулировать, двухобмоточным трансформатором включенным последовательно в линию с заданием устройства регулирования ВДТ.

Параметры трансформатора

Поле в JSON	Поле в АНАРЭС	Единицы измерения	Описание

TransformerName	Трансформатор		Наименование трансформатора
NParTrans	| |		Номер параллельного трансформатора (используется для двухобмоточных, если номера узлов трансформаторов совпадают).
Nhigh	Узел выс		Номер узла высокого напряжения
Nmiddle	Узел сред		Номер узла среднего напряжения
Nlow	Узел низ		Номер узла низкого напряжения
Ncenter	Узел центр		Номер узла центральной точки
Step	Отпайка		Номер текущей отпайки устройства регулирования
KT_middle	Кт вс		Коэффициент трансформации обмотки среднего напряжения
KT_low	Кт вн		Коэффициент трансформации обмотки низкого напряжения
R_high	Rв	[Ом]	Реактивное сопротивление обмотки высокого напряжения
R_middle	Rс	[Ом]	Реактивное сопротивление обмотки среднего напряжения
R_low	Rн	[Ом]	Реактивное сопротивление обмотки низкого напряжения

X_high	Хв	[Ом]	Активное сопротивление обмотки высокого напряжения
X_middle	Хс	[Ом]	Активное сопротивление обмотки среднего напряжения
X_low	Хн	[Ом]	Активное сопротивление обмотки низкого напряжения
Uhigh	Uвыс	[кВ]	Номинальное напряжение высокой обмотки трансформатора
Umid	Uсред	[кВ]	Номинальное напряжение средней обмотки трансформатора
Ulow	Uниз	[кВ]	Номинальное напряжение низкой обмотки трансформатора
Snom	Sном	[МВА]	Номинальная полная мощность
Snn	Sнн	[%]	Номинальная мощность обмотки низкого напряжения в % от Sном трансформатора. Uк сн задается относительно Sнн. Соответственно, если все Uк заданы относительно Sном, то Sнн должна быть равна 100%.
dPhigh_low	Ркз вн	[МВт]	Потери мощности при испытаниях короткого замыкания В-Н
dPhigh_mid	Ркз вс	[МВт]	Потери мощности при испытаниях короткого замыкания В-С

dPmid_low	Ркз сн	[МВт]	Потери мощности при испытаниях короткого замыкания С-Н
Uk_high_low_nom	Uк вн	[%]	U короткого замыкания В-Н относительно Sном трансформатора
Uk_high_mid_nom	Uк вс	[%]	U короткого замыкания В-С относительно Sном трансформатора
Uk_mid_low_nom	Uк сн	[%]	U короткого замыкания С-Н относительно Sнн трансформатора
Pxx	Pxx	[МВт]	Потери мощности холостого хода
TapChangerType	Тип рег. 0 – РПН 1 – ПБВ 2 – ВДТ 3 – ВДТ+120 4 – ВДТ-120 5 – -		Тип устройства регулирования
TapchangerPlace	Пол. устр. рег.		Обмотка в которой установлено устройство регулирования
HighStep	Отп. выс.		Номер отпайки соответствующий максимальному напряжению
LowStep	Отп. низ.		Номер отпайки соответствующий минимальному напряжению
NeutralStep	Отп. н.		Нейтральное положение отпайки

CountOfNeutralSteps	Кол-во н. отп.		Количество нейтральных отпаек. Нейтральные отпайки начинаются с номера «Нейтр. отп.» и продолжаются в количестве «Кол-во нейт. отп.» в сторону «Отп. Umax»
Uk_mid_low_min	Uк сн мин	[%]	Uк сн для минимальной отпайки устройства регулирования
Uk_mid_low_max	Uк сн макс	[%]	Uк сн для максимальной отпайки устройства регулирования
Uk_high_mid_min	Uк вс мин	[%]	Uк вс для минимальной отпайки устройства регулирования
Uk_high_mid_max	Uк вс макс	[%]	Uк вс для максимальной отпайки устройства регулирования
Uk_high_low_min	Uк вн мин	[%]	Uк вн для минимальной отпайки устройства регулирования
Uk_high_low_max	Uк вн макс	[%]	Uк вн для максимальной отпайки устройства регулирования
VoltageIncrement	ΔU	[%]	Шаг изменения U устройства регулирования
StepSource	Исх. знач. отпайки		Поле для сравнения с результатами "Оптимизации", содержит исходное значение отпайки (только в модуле «УР»)

IsOpt	Исп. Опт.		Флаг использования узла при оптимизации (только в модуле «УР»)
Transformer type	Тип трансформатора		Тип трансформатора

Параметры, которые, вычисляются автоматически на основе паспортных данных: Кт вс; Кт вн; Rв; Rс; Rн; Хв; Хс; Хн.

При отсутствии паспортных данных эти поля могут быть заданы вручную.

Поля, которые, корректируются в зависимости от положения устройства регулирования: Кт вс; Кт вн; Uк вн; Uк вс; Uк сн.

Параметры схемы замещения трансформатора вычисляются по следующим формулам.

$\Delta_{\text{отп}} = \left|(N_{\text{отп}} - N_{lim})/(N_{\text{нейтр}} - N_{lim})\right|$ – положение устройства регулирования относительное минимальной отпайки;

$N_{\text{отп}}$ – Номер текущей отпайки устройства регулирования (Отпайка);

$N_{\text{нейтр}}$ – Номер нейтральной отпайки со стороны которая ближе к $N_{\text{отп}}$;

N_{lim} – Номер крайней отпайки со стороны которая ближе к $N_{\text{отп}}$;

$$U_{\text{К ВН}} = U_{\text{К ВН0}} + (U_{\text{К ВН }lim} - U_{\text{К ВН0}})\Delta_{\text{отп}}$$

$$U_{\text{К ВС}} = U_{\text{К ВС0}} + (U_{\text{К ВС }lim} - U_{\text{К ВС0}})\Delta_{\text{отп}}$$

$$U_{\text{К СН}} = U_{\text{К СН0}} + (U_{\text{К СН }lim} - U_{\text{К СН0}})\Delta_{\text{отп}}$$

$U_{\text{К ВН0}}$, $U_{\text{К ВС0}}$, $U_{\text{К СН0}}$ - напряжения короткого замыкания, заданные для трансформатора в исходных данных.

$U_{\text{К ВН }lim}$, $U_{\text{К ВС }lim}$, $U_{\text{К СН }lim}$ - напряжения короткого замыкания, заданные для крайних отпаек трансформатора со стороны которая ближе к $N_{\text{отп}}$.

Относительное изменение напряжения для текущей отпайки устройства регулирования:

$$K_U = 1 + \left(N_{\text{отп}} - N_{\text{нейтр}}\right) \cdot \Delta U/100$$

ΔU - Шаг изменения напряжения устройства регулирования (Шаг U);

В зависимости от того в какой обмотке находится устройство регулировании корректируется напряжение соответствующей обмотки.

В обмотке НН: $U_{\text{НН}} = U_{\text{НН0}} K_U$.

В обмотке ВН: $U_{\text{ВН}} = U_{\text{ВН0}} K_U$.

В обмотке СН: $U_{\text{СН}} = U_{\text{СН0}} K_U$

В нейтрале: $U_{\text{ВН}} = U_{\text{ВН0}} K_U$, $U_{\text{СН}} = U_{\text{СН0}} K_U$.

Для двухобмоточных трансформаторов параметры схемы замещения трансформатора вычисляются по следующим формулам:

$$K_T = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}$$

$$R = \frac{P_{\text{КЗ}} U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}^2}$$

$$X = \frac{U_{\text{К ВН}} U_{\text{ВН}}^2}{S \cdot 100}$$

В случаях если заданы Uв и Uс или Uс и Uн, для выполнения расчетов программная логика принимает следующе значения Uвн=Uв и Uнн=Uс, Uвн=Uс и Uнн=Uн.

Для трёхобмоточных и автотрансформаторов параметры схемы замещения вычисляются по следующим формулам:

$$K_{T\ \text{ВН}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}$$

$$K_{T\ \text{ВС}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{СН}}}$$

Активные сопротивления:

$$R_{\text{В}} = 0{,}5(P_{\text{КЗ ВН}*} + P_{\text{КЗ ВС}} - P_{\text{КЗ СН}*})\frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}^2}$$

$$R_{\text{С}} = 0{,}5(P_{\text{КЗ ВС}} + P_{\text{КЗ СН}*} - P_{\text{КЗ ВН}})\frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}^2}$$

$$R_{\text{Н}} = 0{,}5(P_{\text{КЗ ВН}*} + P_{\text{КЗ СН}*} - P_{\text{КЗ ВС}})\frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}^2}$$

Потери мощности связанной с обмоткой низкого напряжения корректируются в зависимости от относительной номинальной мощности обмотки низкого напряжения:

$$\Delta P_{\text{ВН}*} = \frac{\Delta P_{\text{ВН}}}{S_{\text{НН}}^2}$$

$$\Delta P_{\text{СН}*} = \frac{\Delta P_{\text{СН}}}{S_{\text{НН}}^2}$$

Если задать $S_{\text{НН}}$=100%, то параметры в таблицу нужно вводить уже приведённые к высокой обмотке, иначе данные заводятся так как указано в паспорте на трансформатор.

Реактивные сопротивления:

$$X_{\text{В}} = 0{,}005(U_{\text{К ВН}} + U_{\text{К ВС}} - U_{\text{К СН}})\frac{U_{\text{В}}^2}{S_{\text{ном}}}$$

$$X_{\text{С}} = 0{,}005(U_{\text{К ВС}} + U_{\text{К СН}} - U_{\text{К ВН}})\frac{U_{\text{В}}^2}{S_{\text{ном}}}$$

$$X_{\text{Н}} = 0{,}005(U_{\text{К ВН}} + U_{\text{К СН}} - U_{\text{К ВС}})\frac{U_{\text{В}}^2}{S_{\text{ном}}}$$

Параметры линий электропередачи

В программе предусмотрены следующие таблицы исходных данных: провода, опоры, участки.

Для задания параметров линий электропередачи используются следующие таблицы:

- Провода – параметры проводов, используемых для задания ВЛ;
- Опоры – параметры опор;
- Участки – задаются участки ВЛ и линии электропередачи.

Провода

В таблице проводов задаются следующие параметры:

Название поля	Единицы измерения	Описание
Марка провода		Наименование марки провода, которое выбирается в участках
R уд	[Ом/км]	Удельное активное сопротивление
X уд	[Ом/км]	Удельное реактивное сопротивление. Может задаваться вручную или рассчитывается в таблице участки, если задан эквивалентный радиус провода
G уд	[мкСм/км]	Активная удельная проводимость провода
B уд	[мкСм/км]	Реактивная удельная проводимость провода. Может задаваться вручную или рассчитывается в таблице участки, если задан эквивалентный радиус провода
r	[мм]	Радиус провода.
Класс U	[кВ]	Класс напряжения (для группировки)

Опоры

В таблице по опорам задаются следующие параметры:

Название поля	Единицы измерения	Описание
Тип опор		Наименование опоры, которое выбирается в участках
Dмф сред	[м]	Среднегеометрическое расстояние между проводами

Участки

В таблице участков задаются участки линий с указанием проводов и опор, а также то, как они соотносятся с ветвями и линиями электропередачи:

Поля «Узел нач», «Узел кон» и «||» определяет в какую ветвь запишется значения R, X, G, B, просуммированные по всем участкам, привязанных к одной ветви.

Название поля	Единицы измерения	Описание
Узел нач		Узел начала ветви
Узел кон		Узел конца ветви
||		Номер цепи
Ветвь		Наименование ветви
ВЛ		Наименование ВЛ. Используется для отображения суммарных результатов по ВЛ.
№		Номер участка. Должен быть уникальным в рамках одной ветви
a	[мм]	Среднегеометрическое расстояние между проводами одной фазы
n		Число проводов в фазе
r экв.	[мм]	Эквивалентный радиус провода
Класс U	[кВ]	Класс напряжения, данное поле используется для более удобной сортировки данных
Марка провода		Марка провода из таблицы проводов
L	[км]	Длина участка
Тип опоры		Преобладающий тип опор из таблицы опор
Район		Район для учёта температуры
Dмф сред	[м]	Среднегеометрическое расстояние между проводами. Копируется из таблицы опор (если выбрана опора) или задается вручную
R уд	[Ом/км]	Удельное активное сопротивление. Копируется из таблицы проводов
X уд	[Ом/км]	Удельное реактивное сопротивление
G уд	[мкСм/км]	Удельная реактивная проводимость. Копируется из таблицы проводов
B уд	[мкСм/км]	Удельная реактивная проводимость

R	[Ом]	Активное сопротивление участка без учета климатических факторов
Rт	[Ом]	Итоговое активное сопротивление участка с учетом климатических факторов
X	[Ом]	Активное сопротивление участка без учета климатических факторов
G	[мкСм]	Активная поперечная проводимость участка без учета климатических факторов
G клим	[мкСм]	Итоговая активная поперечная проводимость участка с учетом климатических факторов
B	[мкСм]	Реактивная поперечная проводимость участка без учета климатических факторов

Для вычисления параметров схемы замещения участка ВЛ каждый участок представляется П-образной схемой замещения (РИС. 4.5).

Активное сопротивление определяется по формуле:

$$R = R_0 l$$

где R_0 – удельное сопротивление Ом/км при температуре провода +20°С, l – длина линии, км.

Активное сопротивление проводов и кабелей при частоте 50 Гц обычно примерно равно омическому сопротивлению. Не учитывается явление поверхностного эффекта.

Удельное активное сопротивление R_0 для сталеалюминиевых и других проводов из цветных металлов определяется по таблицам в зависимости от поперечного сечения.

Для стальных проводов нельзя пренебрегать поверхностным эффектом. Для них R_0 зависит от сечения и протекающего тока и находится по таблицам.

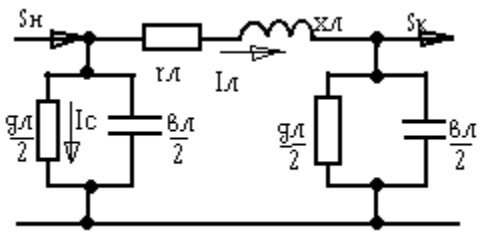


Рис. 4.5 Схема замещения участка ВЛ.

Реактивное сопротивление определяется:

$$X = X_0 l$$

где X_0 – удельное реактивное сопротивление Ом/км.

Удельные индуктивные сопротивления проводов вычисляются по следующей формуле:

$$X_0 = 0{,}144 \cdot \lg\left(D_{\text{ср}} \cdot \frac{1000}{r_{\text{пр.экв}}}\right) + 0{,}0157/n$$

где $r_{\text{пр.экв}}$ – эквивалентный радиус провода, размеры приводятся без учета изоляторов, мм;

n – число проводов в фазе;

$D_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между фазами, м.

Удельная емкостная проводимость проводов вычисляются по следующей формуле:

$$B_0 = \frac{7{,}58}{\lg\left(D_{\text{ср}} \cdot \frac{1000}{r_{\text{пр.экв}}}\right)}$$

Эквивалентный радиус для расщепленного провода вычисляется по следующей формуле:

$$r_{\text{пр.экв}} = (r \cdot a^{n-1})^{1/n}$$

где r – радиус провода;

a – среднегеометрическое расстояние между проводами одной фазы, мм;

n – число проводов в фазе.

При расчёте сопротивления учитывается температура, указанная в районе (поле «Район»). Изменения активных сопротивлений, поле «Rт», учитывается, как 0,4% на каждый градус, с учетом того, что начальное сопротивление задано для температуры 20˚С.

$$R_{\text{T}} = R_{20} \cdot \left(1 + 0{,}004 \cdot (T - 20℃)\right)$$

где T – температура окружающей среды, взятая из таблицы выбранного района;

R_{20} – сопротивление при температуре 20˚С.

Проводимость на землю зависит не только от температуры, но и от остальных погодных факторов, таких, как влажность, снег, дождь. Так как точный учет климатических факторов в автоматическом режиме не представляется возможным, то применяется приближенный учет изменения поперечной проводимости линии в зависимости от сезона. Для каждого сезона задается коэффициент по районам. G линии при этом вычисляется по следующей формуле:

$$G_{\text{клим}} = G_0 \cdot K_{\text{клим}}$$

где G_0 – проводимость на землю в базовом режиме;

$K_{\text{клим}}$ – один из коэффициентов выбранного района $G_{\text{зим}}$, $G_{\text{весна}}$, $G_{\text{осень}}$, $G_{\text{лето}}$ в зависимости от времени года режима используемого при расчете.

Задание компенсирующих устройств

Для задания компенсирующего устройства (такого как БСК, СК, ШР или УШР) предусмотрена таблица «Компенсирующие устройства». Привязка СК и УШР к ОИК проводиться в таблице «Телемеханика».

Компенсирующие устройства могут быть заданы или шунтом или мощностью. Мощностью, как правило, задаются синхронные компенсаторы.

В таблице компенсирующие устройства задаются следующие поля:

Название поля	Единицы измерения	Описание

Название		Наименование компенсирующего устройства
№ узла		Номер узла в котором установлено КУ
Узел		Наименование узла
Тип		Тип устройства: УШР, ШР, СК, БСК
Состоение		Состояние (включен/отключен)
G	[мкСм]	Активная проводимость шунта
B	[мкСм]	Реактивная проводимость шунта
P	[МВт]	Активная мощность
Q	[МВар]	Реактивная мощность
I	[кА]	Ток (только для модуля «Оценка»)
I порог	[кА]	Порог по току для определения состояния (только для модуля «Оценка»)
Комментарий		Поля для комментария инженера. Не влияет на расчёт

Для ШР и СК предусмотрена возможность задания тока (который, в свою очередь можно привязать к телемеханике) и порогового значения для определения включенного состояния устройства. Если значение тока превышает пороговое значение, то устройство считается включенным. При этом, значения проводимости шунта или мощности могут быть заданы вручную.

Районы

В таблице по районам задаются районы по климатическим факторам. Этот район может указываться в таблице участков линий и в таблице «Ветви» и «Участки».

В таблице по районам задаются следующие поля:

Название поля	Единицы измерения	Описание
Район		Наименование района по температуре
T	[°C]	Текущая температура по району
KG зима		Коэффициент изменения поперечной проводимости для зимы

KG весна		Коэффициент изменения поперечной проводимости для весны
KG лето		Коэффициент изменения поперечной проводимости для лета
KG осень		Коэффициент изменения поперечной проводимости для осени

ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ПРИМЕР КЛИЕНТА (PEGAS_CLIENT)

```
#include <string>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdint.h>

long fd_toPegas;
long fd_fromPegas;

int main(int argc, char* argv[])
{
	if (argc < 3)
	{
		printf("Usage: pegas_client [input1.json input2.json ...] <output.json>");
		return -1;
	}

	fd_toPegas = open("/tmp/pegas_in", O_WRONLY);
	printf("File /tmp/pegas_in: %d\n", fd_toPegas);

	if (fd_toPegas < 0)
	{
		printf("Error open /tmp/pegas_in: %s\n", strerror(errno));
		return -1;
	}
	do
	{
		fd_fromPegas = open("/tmp/pegas_out", O_RDONLY | O_NONBLOCK);
	} while (fd_fromPegas < 0 && errno == EAGAIN);
	if (fd_fromPegas < 0)
	{
		printf("Error open /tmp/pegas_out: %s\n", strerror(errno));
		return -1;
	}

	//Отправляем файлы в pegas
	for (int i = 1; i < argc - 1; ++i)
	{
		printf("Read file: %s\n", argv[i]);
		FILE* f = fopen(argv[i], "rb");
		fseek(f, 0, SEEK_END);
		int32_t fsize = ftell(f);
		fseek(f, 0, SEEK_SET);  /* same as rewind(f); */
		char* strBuf = static_cast<char*>(malloc(fsize + 1));
		fread(strBuf, fsize, 1, f);
		fclose(f);
		printf("Send file %s - %d bytes\n", argv[i], fsize);
```

```
		write(fd_toPegas, &fsize, sizeof(int32_t));
		write(fd_toPegas, strBuf, fsize);
		free(strBuf);
	}

	long dataSizeToRead = 0;

	//Делаем несколько попыток чтения данных
	//Можно, конечно, открывать pegas_out без фалага O_NONBLOCK и тогда нет необходимости организовывать цикл,
	//  но тогда при зависании расчетного модуля зависнет и клиент.
	for (int i = 0; i < 5000; ++i)
	{
		int32_t res = read(fd_fromPegas, &dataSizeToRead, sizeof(int32_t));
		if (res > 0)
		{
			printf("Success on try #%d\n", i);
			break;
		}
		usleep(100);
	}
	if (dataSizeToRead > 0)
	{
		int sizeToWrite = dataSizeToRead;
		printf("Data size to read = %d\n", dataSizeToRead);

		char* strBuf = static_cast<char*>(malloc(dataSizeToRead));
		FILE* f = fopen(argv[argc-1], "w");
		int offs=0;
		while (dataSizeToRead > 0)
		{
			int res = read(fd_fromPegas, strBuf+offs, dataSizeToRead);
			if (res < 0 && errno != EAGAIN)
			{
				printf("Error read data: %s", strerror(errno));
				break;
			}
			else if (res > 0)
			{
				printf("Read %d bytes\n", res);
				offs += res;
				dataSizeToRead -= res;
			}
			usleep(1);
		}
		fwrite(strBuf, sizeToWrite, 1, f);
		fclose(f);
	}

	close(fd_toPegas);
	close(fd_fromPegas);

	return 0;
}
```