

The Siemens logo is displayed in a white rectangular box in the upper right corner of the image. It consists of the word "SIEMENS" in a bold, teal, sans-serif font.

# Платформа PSS<sup>®</sup>SINCAL

Техническое описание  
Апрель 2017 версия 13.5

[siemens.com/pss-sincal](http://siemens.com/pss-sincal)

## Оглавление

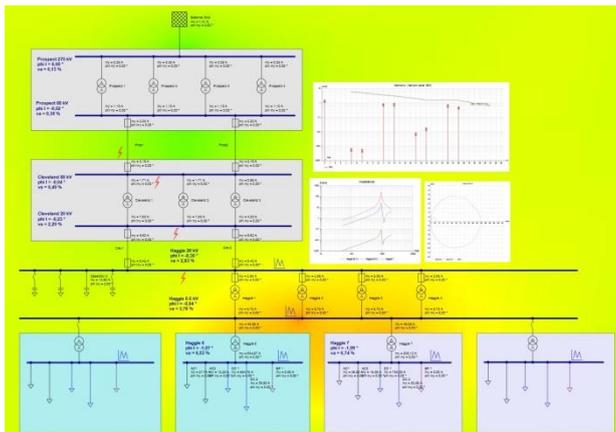
<b>1. Платформа PSS®SINCAL</b> .....	5
1.1. Введение .....	5
1.2. IT-архитектура .....	5
1.2.1. Концепция базы данных .....	5
1.2.2. Системные требования .....	5
1.2.3. Обмен данными .....	5
1.2.4. Многопользовательское управление проектом .....	6
1.2.5. Интерфейсы и автоматизация .....	6
1.2.2. Умный интерфейс связи с базой данных системы учета или с системой SCADA .....	7
1.3. Пользовательский интерфейс .....	7
1.2. Основные особенности .....	9
<b>2. Электрические сети</b> .....	13
2.1. Расчет установившегося режима .....	14
2.2. Моделирование профиля нагрузки и генерации .....	14
2.3. Анализ роста нагрузки .....	15
2.4. Оптимальная структуры сети .....	16
2.5. Оптимальное потокораспределение .....	16
2.6. Оптимальное размыкание .....	17
2.7. Оптимизация реактивной мощности и размещение емкости .....	17
2.8. Оптимизация Вольт/Вар .....	17
2.9. Балансировка нагрузки .....	18
2.10. Распределение/масштабирование нагрузки и определение зоны отпаек трансформаторов .....	18
2.11. Анализ послеаварийных режимов и восстановление снабжения .....	18
2.12. Вероятностные показатели надежности .....	19
2.13. Трансфер мощности .....	20
2.14. Расчет стоимости (моделирование чистой выгоды) .....	20
2.15. Расчет коротких замыканий .....	21
2.16. Множественные повреждения .....	22
2.15. Оценка защиты сетей низкого напряжения .....	22
2.18. Модули защиты .....	23
2.18.1. Дистанционная защита .....	23
2.18.2. Максимальная токовая защита с выдержкой времени .....	24
2.18.3. Документирование данных защиты .....	24
2.18.2. Моделирование защиты .....	25
2.18.2. Проверка состояния устройств защиты .....	25
2.19. Система управления устройствами защиты (PSS®PDMS) .....	26
2.20. Дуга .....	27
2.21. Гармоники .....	27
2.22. Пульсационный контроль .....	28
2.23. Эквивалентирование сети .....	28

2.24. Пуск двигателей .....	29
2.25. Устойчивость (RMS) .....	29
2.26. Электромагнитные переходные процессы (EMT) .....	30
2.27. Анализ собственных значений / модальный анализ .....	31
2.28. Ядро для профессиональных динамических расчетов (PSS®NETOMAC).....	31
2.29. Экспресс-анализ собственных значений .....	32
2.30. Идентификация/оптимизация .....	32
2.31. Частотная область .....	33
2.32. Фликер .....	33
2.33. Кручение .....	33
2.34. Профиль напряжения. Многопроводниковые системы .....	34
2.35. Модели .....	34
2.35.1 Постоянные линии .....	34
2.35.2 Графический конструктор модели — NETCAD/BOSL .....	34
2.35.3. Типовые ветровые модели .....	35
2.35.3. Типовые модели FACTS .....	35
2.36. Автоматизация рабочих процедур .....	36
2.36.1 Создание схем присоединения распределенной генерации к сети .....	36
2.36.2 Расчет максимальной подключаемой мощности .....	36
2.36.2 Объединение моделей сети .....	37
2.37. Интеграция и приложения .....	37
2.37.1 Объединение сетей .....	37
2.37.2 Стандартные интерфейсы .....	37
2.37.2 Моделирование в реальном времени .....	38
<b>3. Газоснабжение .....</b>	<b>39</b>
3.1. Гидравлические расчеты .....	39
3.1.1 Особенности .....	39
3.1.2. Элементы сети .....	39
3.1.3. Отчеты и диаграммы .....	40
3.2. Профили нагрузки .....	40
3.3. Анализ послеаварийных режимов .....	41
3.4. Динамическое моделирование .....	41
3.6. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета .....	41
<b>4. Водоснабжение .....</b>	<b>42</b>
4.1. Гидравлические расчеты .....	42
4.1.1. Особенности .....	42
4.1.2. Элементы сети .....	42
4.1.3. Отчеты и диаграммы .....	43
4.2. Профили нагрузки .....	44
4.3. Заполнение водонапорной башни .....	44
4.4. Анализ послеаварийных режимов .....	44
4.5. Моделирование динамических процессов .....	44

---

4.6. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета .....	44
<b>5. Центральное отопление и охлаждение .....</b>	<b>45</b>
5.1. Тепловые и гидравлические расчеты .....	45
5.1.1. Особенности .....	45
5.1.2. Элементы сети .....	45
5.1.3. Отчеты и диаграммы .....	47
5.2. Профили нагрузки .....	47
5.4. Анализ послеаварийных режимов .....	47
5.5. Моделирование динамических процессов .....	47
5.6. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета .....	48
<b>6. Общая информация .....</b>	<b>49</b>
6.1. Обновления программы и служба поддержки.....	49
6.2. Адрес для контактов .....	49

## 1. Платформа PSS®SINCAL



Платформа для расчета сетей PSS®SINCAL (Siemens Network Calculation) разработана для анализа электрических и трубопроводных сетей, а также для визуализации и оформления результатов моделирования. Платформа — это фактически три расчетных комплекса, использующие одни и те же компоненты, что обеспечивает единообразие интерфейсов: SINCAL, NETOMAC и PDMS. Основным программным обеспечением для моделирования сетей является PSS®SINCAL. Приложение PSS®NETOMAC — это графический интерфейс пользователя (ГИП) для расчетов динамической устойчивости системы, а PSS®PDMS — программа управления данными устройств защиты.

### 1.1. Введение

PSS®SINCAL разработан для удовлетворения нужд как промышленных, так и коммунальных предприятий. Данное программное обеспечение широко используется по всему миру. Пользователями являются муниципальные коммунальные предприятия, распределительные и сетевые компании, промышленные предприятия и электростанции, а также проектные институты.

PSS®SINCAL — это высокопроизводительное средство планирования и проектирования сетей снабжения для всех основных видов инфраструктуры: электро-, газо-, водоснабжение и центральное отопление.

Поэтому оно прекрасно подходит для многофункциональных компаний, которые являются поставщиками нескольких видов коммунальных услуг. PSS®SINCAL обеспечивает удобное и экономически эффективное планирование для комплекса инфраструктурных сетей за счет синергетического эффекта от использования одного пользовательского интерфейса, систем обработки и обмена данными для различных видов инфраструктуры.

#### Профессиональное проектирование сетей

В течение 50 лет компания «Сименс» работает над оптимизацией PSS®SINCAL в тесном сотрудничестве с пользователями продукта. «Сименс» гордится тем, что является одним из ведущих мировых поставщиков программного обеспечения для расчета сетей. Компания «Сименс» начала работы по компьютерному анализу сетей на центральных ЭВМ еще в 1960-х годах и быстро получила признание как лидер в моделировании энергетических систем.

Сегодня PSS®SINCAL задает новые стандарты за счет уникального комплекса высококачественных и технически

совершенных функций в сочетании с удобным интерфейсом, который использует все преимущества современных компьютеров. PSS®SINCAL предоставляет специалистам по расчетам сетей мощные инструменты для анализа любого состояния сети и по определению ее оптимальной структуры. Платформа позволяет анализировать воздействие коммутационных операций, колебаний нагрузки и генерации, рассчитывать различные сценарии развития сети, а также оптимизировать структуру сети в зависимости от уровня потерь и нагрузки.

### 1.2. ИТ-архитектура

#### 1.2.1. Концепция базы данных

Важной особенностью PSS®SINCAL является полная прозрачность данных, которая достигается за счет хранения всех данных (исходные данные, графика сети с географическим и схематическим изображением, а также результаты моделирования) в реляционной базе данных.

Пользователи могут использовать, вводить и администрировать данные непосредственно из PSS®SINCAL или из других внешних приложений. Это упрощает ввод и администрирование данных и снижает затраты на разработку интерфейсов.

#### 1.2.2. Системные требования

PSS®SINCAL работает в 32-битных и 64-битных (исходная версия) системах.

#### Поддерживаемые операционные системы

- Windows 7 (x86 и x64)
- Windows 8 (x86 и x64)
- Windows 8.1 (x86 и x64)
- Windows 10 (x86 и x64)
- Windows Server 2008 R2 (x86 и x64)
- Windows Server 2012 R2 (x86 и x64)

#### Поддерживаемые системы управления базами данных

- Microsoft Access
- Oracle 9i
- Oracle 10g
- Oracle 11g
- SQL Server 2008, SQL Server Express 2008
- SQL Server 2008 R2, SQL Server Express 2008 R2
- SQL Server 2012, SQL Server Express 2012
- SQL Server 2014, SQL Server Express 2014

#### 1.2.3. Обмен данными

PSS®SINCAL позволяет легко осуществлять обмен исходными данными сети, графическими данными и данными результатов расчета с помощью общепринятых стандартных форматов. Импорт и/или экспорт данных поддерживается для следующих форматов:

- EXCEL
- PSS®E
- Формат обмена данными DGS
- PSS®NETOMAC
- PSS®ADEPT
- XML
- OLE
- Архивирование PSS®SINCAL
- CIM/XML — версии div и профили, включая МЭК 16 - CGMES
- Формат файлов UCTE ASCII
- Формат обмена данными DVG
- Формат обмена данными CYMDIST
- Файл PSS®Engine HUB
- PSS/Г
- ODBC, SQD, SQL
- Состояния сети через XML (например, открытые точки, рабочие состояния, данные элементов)

и графических форматов, например:

- WMF, EMF
- BMP
- GIF
- JPG
- PNG
- TIF
- DXF
- EPS
- PCL
- Импорт DWG, DXF
- PSP
- PLT
- PRN
- PRT
- Импорт SID
- Импорт SHP
- Импорт PIC
- Импорт SVG

### 1.2.4. Многопользовательское управление проектом

Новая мастер база данных позволяет работать через сетевое подключение одновременно нескольким пользователям, как это часто требуется при выполнении работ в проектных и сетевых компаниях. Мастер база данных функционирует аналогично системе управления исходным кодом и обеспечивает централизованное управление изменениями, внесенными пользователями. При этом пользователи могут редактировать присвоенные им локальные базы данных, которые синхронизируются с мастер базой данных. Специальные функции синхронизации с устранением конфликтов под контролем администратора используются для передачи сделанных пользователями изменений в глобальную мастер базу данных. Это обеспечивает согласование данных в мастер базе и в локальных клиентских базах данных.

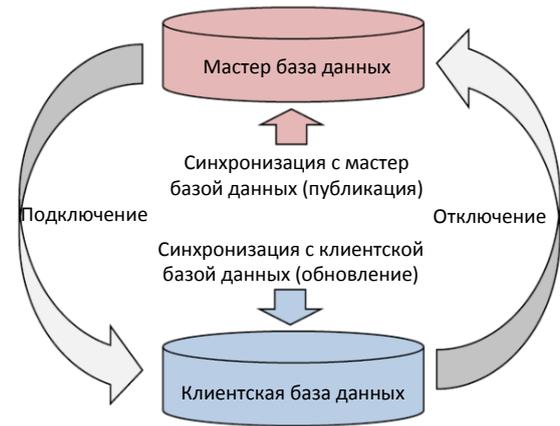


Рис. 1-1. Многопользовательское управление проектом

Мастер база данных играет роль контейнера, в котором отражаются все изменения индивидуальных данных (репозиторий). Механизмы маркировки позволяют откатить модель сети на определенный выбранный этап.

При помощи пользовательских ролей можно определить различные уровни доступа и авторизации изменений.

### 1.2.5. Интерфейсы и автоматизация

База данных PSS®SINCAL полностью опубликована и обеспечивает взаимодействие с ГИС, EMS, SCADA, системами учета и администрирования данных релейной защиты, ERP и другими IT-системами.

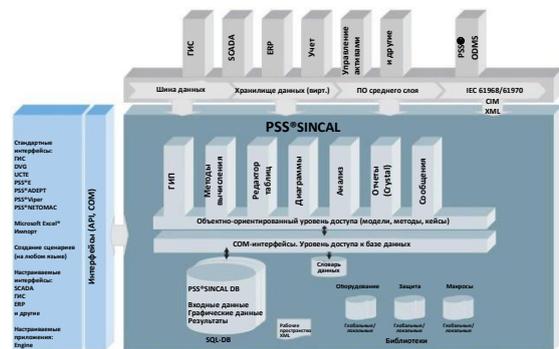


Рис. 1-2. IT-архитектура

Запускать и управлять PSS®SINCAL можно из других приложений с помощью COM-интерфейсов, с целью его использования в качестве вычислительного ядра. Эта функция автоматизации обеспечивает эффективное средство для решения масштабных или повторяющихся задач моделирования.

Сопровождение данных, обработку и визуализацию результатов можно выполнять непосредственно в исходном приложении. Предусмотрена интеграция в качестве внешнего сервера (с отдельными процессами) или внутрипроцессного сервера (в одном процессе).

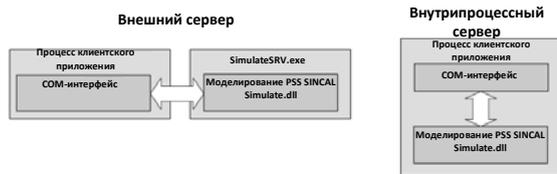


Рис. 1-3. Интеграция с внешними приложениями

Чтобы получать высокопроизводительные решения, всеми сетевыми данными и результатами можно управлять в «виртуальных таблицах».

Диспетчер потока операций позволяет организовать непрерывное выполнение задач – также в параллели.

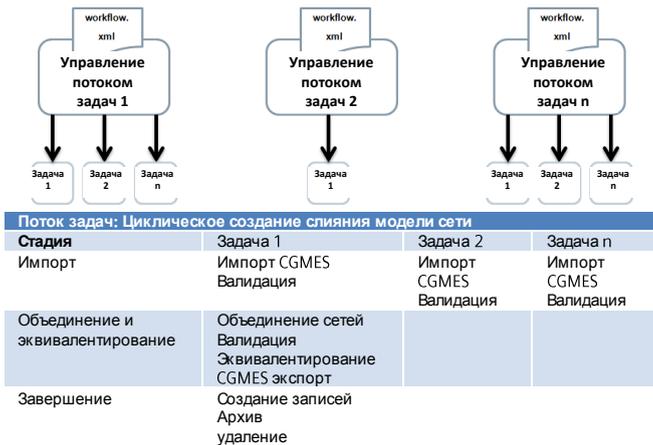


Рис. 1-4 Управление задачами

### 1.2.6. Умный интерфейс связи с базой данных системы учета или с системой SCADA

Интерфейс Smart LF поддерживает динамическую передачу данных системы учета или состояния сети для расчета режима: данные об измеренной нагрузке или генерации с меткой времени могут автоматически загружаться через специальные COM-интерфейсы. Соединение между элементами сети и измеренными величинами обеспечивается с помощью UUID (универсальных уникальных идентификаторов).

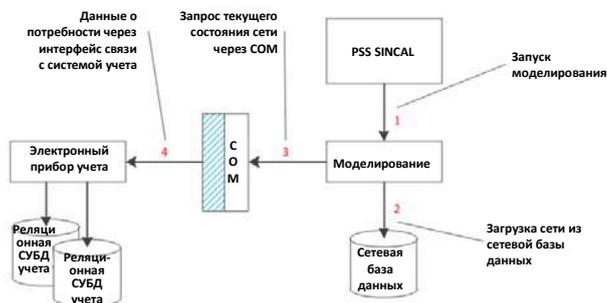


Рис. 1-5. Подключение измеренных данных с помощью интерфейса Smart LF

### 1.3. Пользовательский интерфейс

Графический интерфейс пользователя – это среда, которая позволяет:

- рисовать схемы сетей и вводить данные;
- обновлять сети с прямым доступом к значениям (входным, графическим, результатам) базы данных в удобных для пользователя видах;

- настраивать сценарии развития сетей;
- запускать вычисления;
- отображать результаты;
- проводить анализ сети с помощью фильтров или цветовых обозначений;
- выполнять расчет для нескольких сетей за один раз;
- формировать отчеты;
- строить схемы сетей и печатать диаграммы;
- импортировать или экспортировать данные;
- выполнять оценку;
- контролировать действия автоматики;
- запускать последовательность операций

Графический интерфейс пользователя обеспечивает ввод и отображение сетей в географическом, схематическом и смешанном форматах. Сети и дополнительную графическую информацию можно рисовать и организовывать на различных графических слоях. Инструмент работы с вариантами позволяет легко работать с несколькими вариантами сети. Сценарии и маркировки времени позволяют комфортно работать нескольким пользователям в единой модели сети. Программное обеспечение PSS®SINCAL обеспечивает многомерную работу с моделями сетей.

Предусмотрены различные методы расчета установившихся режимов и динамической устойчивости систем. Можно моделировать эффект временных рядов (например, профили генерации и нагрузки) и временных событий (например, коммутация, увеличение нагрузки, даты ввода оборудования в эксплуатацию и вывода) в сети. Также можно оптимизировать расположение нормально разомкнутых точек в зависимости от заданных сценариев.

Результаты вычисления можно отображать различными способами (например, таблицы, экранные формы, диаграммы и отчеты) и оценивать с помощью цветовых обозначений на схеме сети, соответствующих настраиваемым критериям. Например, состояние элементов системы можно обозначать «цветами светофора».

Предусмотренная в PSS®SINCAL функция макросов позволяет подключать и синхронизировать расчеты отдельно моделируемых сетей, то есть слияния наборов данных не требуется. Кроме того, поддерживается использование отдельно настраиваемых баз данных по типам оборудования в различных областях сети.

Инструмент управления вариантами позволяет организовать их в иерархическую структуру. Изменения автоматически применяются к подчиненным вариантам. Любой вариант можно загружать, отображать и оценивать отдельно. Минимальные, максимальные и средние значения всех оцененных вариантов можно отобразить на однолинейной схеме.

#### Некоторые особенности графического интерфейса пользователя

- Полностью графическое приложение Microsoft® Windows® с браузером, панелями меню, панелями инструментов, всплывающими окнами и т. д.

- Интуитивно понятное управление.
- Многослойное и многооконное решение.
- Концепция множественного графического отображения сетей: для одного набора технических данных можно выводить несколько графических изображений сети: например, схематический и географический виды.

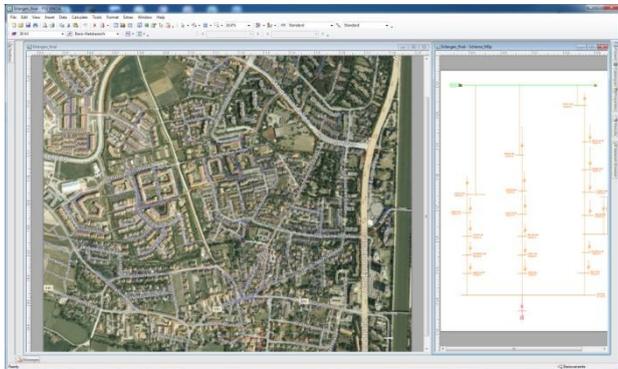


Рис. 1-6. Множественное графическое отображение сети

- Настраиваемые пользователем панели вкладок.
- Отдельные окна для схемы сети, редактирования базы данных, сообщений, схем и т. д.
- Функции сетки, масштабирования, эскизирования и редактирования.
- Один объект данных для всех средств: выбор оборудования из выпадающих меню без дублирования в графике и базе данных. Любой объект используется для всех методов расчета и вариантов. Данные одного элемента можно отображать в зависимости от выбранного вида и метода расчета.
- Простое внесение изменений как для отдельных элементов, так и для групп (изменение, перенос, удаление, копирование).
- Средства оцифровки для сетей низкого и среднего напряжения обеспечивают более высокое качество проектирования.
- Сканированные изображения, гибридная графика или файлы из других систем в качестве фоновых изображений.
- Автоматическое создание или настраиваемое пользователем рисование однолинейных схем.
- Автоматическое документирование буквенно-цифровых сетей или сетей, импортированных из других систем. Однолинейные схемы можно легко генерировать по расстановке узлов.
- Географическое представление сети с фактическим местоположением.
- Графика сети с использованием мировых координат, без ограничений по формату бумаги.
- Свободное перемещение созданных моделей, включая наложение существующей модели на фоновую карту.
- Фоновые карты можно напрямую интегрировать из Интернета.

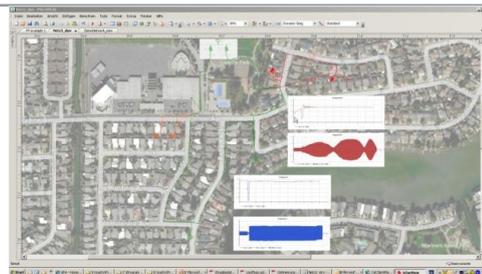


Рис. 1-7. Фоновая карта из Интернета с сетью и результатами динамического расчета

- Прямой доступ к базе данных.
- Связь между табличными данными, диалоговым вводом, диаграммами и графическим представлением сети: элементы, выбранные в табличном виде, маркируются и увеличиваются в графическом представлении. Сообщения программы (например, предупреждения о том, что входные данные находятся за пределами типового диапазона) тоже привязаны к элементам.
- Отслеживание и оценка групп элементов и структур сети.

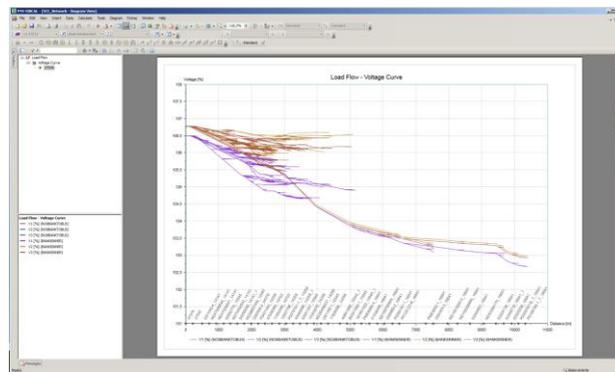


Рис. 1-8. Профиль напряжения для подстанции целиком

- Текстовые фильтры для входных данных и результатов позволяют пользователю настраивать отображение данных на схеме сети.
- Светофорные или заданные пользователем цветовые обозначения компонентов сети и выделение контура заданной области сети.

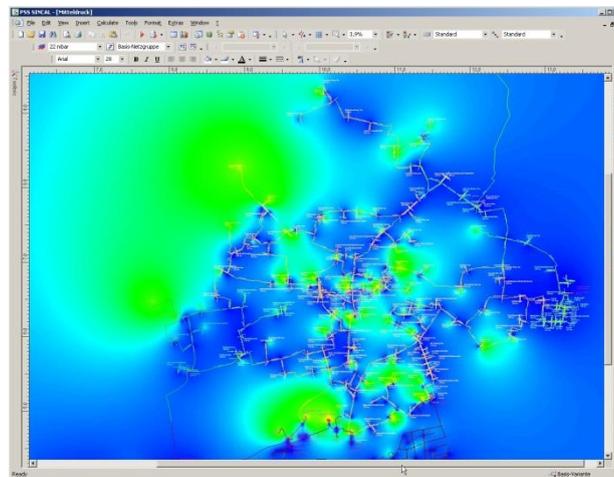


Рис. 1-9. Графический анализ

- Наполнение всех (графических) отчетов, чертежей и таблиц полностью настраивается пользователем.

- Легкость формирования документации с возможностью добавлять линии, круги, прямоугольники, многоугольники, текстовые поля и т. д.
- Свободное позиционирование любых элементов и описательных текстов.
- Графики в режиме масштаба или в режиме WYSIWYG.
- Диаграммы: несколько кривых на одном графике, несколько осей, единицы измерения по выбору пользователя.
- Отслеживание кривых и считывание точных значений и координат (например, местоположение в км).
- Пользовательские настройки хранятся в файлах параметров.
- Шаблоны заголовков и условных обозначений можно привязать к любому проекту.
  - В аннотациях установок и оборудования можно указывать: охват, единицы, форматы, позиции и количество.



Рис. 1-10. Обозначения элементов, работающих на постоянном токе

## 1.4. Основные особенности

- Стандартная база данных
 

Все данные для расчета и планирования сети хранятся в единой базе данных со стандартным SQL-доступом. Обработать различные входные файлы не требуется.
- Прямой доступ
 

PSS®SINCAL работает с этой базой данных напрямую. В отличие от многих других программ она не осуществляет временный экспорт/импорт.
- Автоматическое обновление
 

Во время работы PSS®SINCAL все изменения сразу же автоматически сохраняются в базе данных.
- Моделирование в реальном времени
 

С помощью временных отсечек состояния сети и параллельной обработке практически в режиме реального времени, удается достичь моделирования в режиме реального времени
- Отмена
 

PSS®SINCAL поддерживает функции «пошаговая отмена» и «восстановление последних сохраненных данных».
- Библиотеки
 

В программу включены базы данных с различными типами оборудования (кабели, воздушные линии, трансформаторы, устройства защиты и т. д.), которые может дополнять пользователь.
- Пользовательские макросы
 

Библиотека встроенных моделей и моделей целых областей сети. В качестве макросов также могут использоваться полные базы данных. PSS®SINCAL может

работать с несколькими базами данных одновременно.

- Управление базами данных
 

Для входных данных, результатов и вариантов обеспечен полный набор функций гибкого управления данными, включая иерархический список и браузер. Произвольно настраиваемые запросы можно запускать напрямую через ГИП.

Любую информацию можно напрямую передать в любую программу MS Office действием «копировать — вставить».
- Отчеты
 

Предусмотрены произвольно настраиваемые отчеты с полным набором средств List & Label® (combit GmbH). Для каждого метода расчета доступно множество стандартных отчетов.

Простые отчеты также можно формировать путем копирования и вставки данных в необходимое приложение.

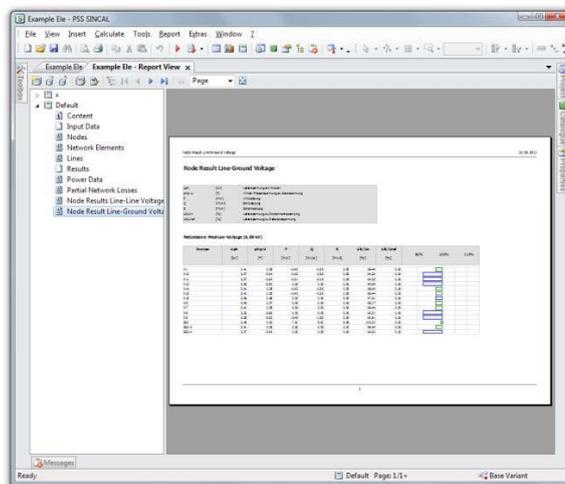


Рис. 1-11. Отчет

- Единая универсальная база данных
 

Полностью интегрированная система (данные — вычисление — пользовательский интерфейс — анализ) с объектно-ориентированными моделями.
- Интерфейсы
 

Интерфейсы связи с системами ГИС и SCADA поставляются в качестве дополнительных компонентов и настраиваются индивидуально.

Это могут быть стандартные определения файлов ASCII либо прямые ссылки OLE или ODBC, процедуры SQL и т. д.

Также с помощью импорта из EXCEL можно настроить любой формат импорта.

Инструмент слияния позволяет легко синхронизировать модели сетей, созданные в разных версиях PSS®SINCAL.
- Нет ограничений по количеству узлов
 

Количество узлов/подстанций не ограничено (например, выполнялись расчеты для сетей с 100 000 узлами и более в интеграции с ГИС-системами), так как программа автоматически выделяет необходимый объем памяти.

## ■ Паспортные данные элементов

PSS®SINCAL работает с паспортными данными элементов. Большая часть данных вводится в виде физических параметров (длины линий, количество трансформаторов, что позволяет сэкономить большое количество времени при построении модели сети.

Паспортные данные линий низкого напряжения и среднего напряжения (вводятся с использованием типов линий, например, АППР) отличаются от данных высоковольтных линий (где параметры определяются измерениями). Таким образом, доступны разнообразные способы введения данных.

## ■ Проверка введенных данных

При каждом вводе данных выполняется их проверка. Это может быть проверка по топологии (например, имя узла должно быть уникальным) или по определенному параметру оборудования (например, диапазон входных данных для Xd” генератора или группы соединений трансформаторов). В системе заложены также стандартные параметры.

## ■ Внесение дополнительной информации об элементах

В случае необходимости внесение дополнительной информации, например, сроки последнего обслуживания или данные счетчиков, или уникальные идентификаторы из ГИС системы SCADA системы или других приложений (например, MrID, GuID или UUIID для CIM), все они могут быть заданы пользователем и храниться с привязкой к элементу через пользовательский интерфейс. По этим данным также можно провести оценку и они могут быть представлены на схеме сети.

## ■ Online help

Online help работает с последней версией HTML-основанных справочников, благодаря чему можно сохранять эту информацию даже в виде руководства пользователя.

## ■ Многосетевое моделирование

PSS®SINCAL может одновременно моделировать несколько сетей, не связанных друг с другом.

## ■ Варианты

Варианты организованы в виде иерархической структуры. При изменении одного варианта происходит автоматическое обновление всех подчиненных подвариантов. Расчет развития сети стал проще. Анализ по вариантам — это мощный инструмент, который реализован с помощью стандартных действий базы данных; он также может быть представлен в виде диаграмм.

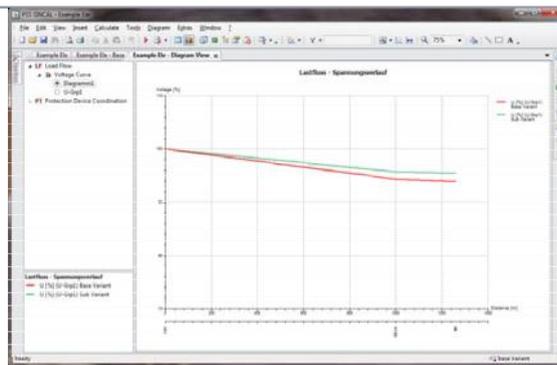


Рис. 1-12. Диаграмма с графиками различных вариантов

## ■ Сценарии

Инженер, выполняющий расчет может легко размещать на временной шкале ремонтные работы в сети или любые другие события, что позволяет оптимизировать разработанную модель, а также оценивать и сравнивать результат. Данная функция играет большую роль для задач автоматизации работ инженера.

The screenshot shows a web interface titled 'Scenario Comparison'. It has a dropdown menu for 'Scenario' set to 'Scenario1'. Below it, there is a section 'Loaded Scenario Files' with a file path. A table titled 'Network Element' is displayed with the following data:

Element_ID	SQL Name	Field Name	Shortname	Unit	Original	Scenario
ZF3	Flag_State	Operating State	OP State		1	0
L25	Ti	Establishment Date	Ti		01.01.2015	01.01.2013

## ■ Смешанное графическое представление

При расчетах сети вид модели выбирают в зависимости от задач моделирования. Если требуется скоординировать устройства релейной защиты или ознакомиться со структурой сети, оптимальным будет схематический вид. Однако в сетях среднего и низкого напряжения инженеру требуется полумасштабный чертеж, чтобы учесть местные характеристики и топографические требования. PSS®SINCAL может сочетать полумасштабные и схематические структуры на одной схеме сети. Также предусмотрены пользовательские единицы. PSS®SINCAL работает в системе мировых координат. Поэтому размеры карты не ограничены. В одну карту можно интегрировать карты с разным масштабом. Размеры ограничиваются только форматом бумаги на плоттере.

## ■ Модели

Модели для каждого компонента сети создаются только один раз и используются для любых задач моделирования. Математическая модель изменяется в зависимости от выбранного метода анализа. Например, для линий может использоваться PI-уравнение или волновое уравнение; нагрузки / асинхронные двигатели могут менять свое поведение во время расчета. Для гармоник может учитываться частотная зависимость реактивного сопротивления.

Графическое представление не является обязательным для всех элементов сети. PSS®SINCAL включает в расчет элементы без графического представления и выводит их результаты в электронных таблицах.

Программное обеспечение поддерживает метки времени для всех элементов сети. Расчет в таком случае будет проведен для заданных временных меток.

## ■ Общий элемент

Использование общих элементов с произвольным, задаваемым пользователем числом присоединений, позволяет встраивать в сеть любые «черные ящики», например для диакоптики.

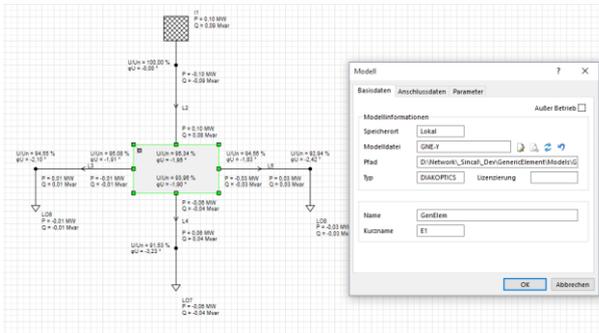


Рис. 1-13. Общий элемент с присоединением к 4 узлам.

## ■ Диакоптика

Для детального исследования сетей PSS®SINCAL позволяет проводить совместное моделирование с другими программными обеспечениями. Примером такой работы может служить расчет динамической устойчивости части сети в одном программном обеспечении одновременно с расчетом режима другой части этой же сети.

Другим примером может служить комбинация программного обеспечения для автоматизации подстанций одновременно с расчетом динамической устойчивости в PSS®SINCAL для моделирования поведения системы в реальном времени.

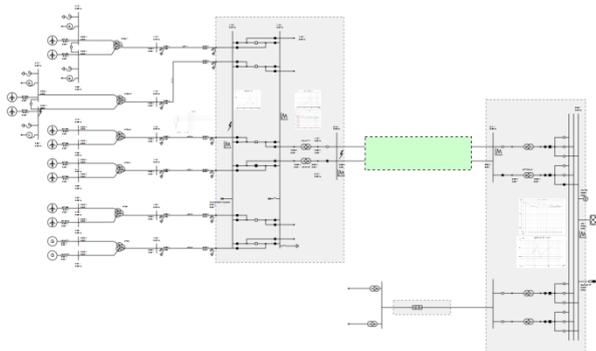


Рис. 1-14. Диакоптика: совместное моделирование со встроенным общим элементом.

## ■ Пакетный режим / Регистратор макросов / Автоматизация

Пакетный режим позволяет настроить несколько часто выполняемых задач (многократные запуски) либо задачи, выполняемые в ночное время для вариантных расчетов. Для пакетного режима пользователю не требуется знание непосредственной структуры команд. Он просто записывает шаги, которые программа должна выполнять в дальнейшем.

## ■ Программирование в PSS®SINCAL

PSS®SINCAL позволяет пользователю дополнять данное программное обеспечение в любом языке программирования, так как оно основано на COM-server архитектуре. Корректно разработанные решения могут

быть встроены даже в пользовательский интерфейс PSS®SINCAL.

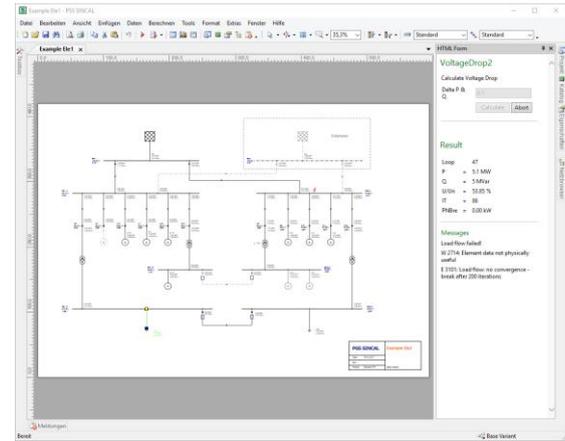


Рис. 1-15. Интерактивное тестирование/использование автомата.

## ■ Интерактивный режим

PSS®SINCAL может использоваться как вычислительный механизм, исполняемый в фоновом режиме с другими программами. Например, расчет потоков распределения или другие расчеты можно запустить в среде ГИС, используя данные сети ГИС и возможности анализа PSS®SINCAL. Результаты отображаются в ГИС, то есть в этом случае не требуется открывать пользовательский интерфейс PSS®SINCAL. Если для дальнейшего анализа сети будет задействован PSS®SINCAL, в качестве платформы обмена данными можно использовать его открытую базу данных. Разрабатывать другие интерфейсы не требуется.

## ■ Одно-/многопользовательская база данных

PSS®SINCAL может работать в одно- или многопользовательском режиме с базами данных Oracle или SQL Server.

## ■ Инструменты

Для быстрой и удобной работы в программном обеспечении, PSS®SINCAL обладает набором функций, помогающим инженерам в выполнении поставленных задач. Такими функциями могут быть, например, простые расчеты компенсации сопротивления трансформатора при падении напряжения на линии и оценки отходящих фидеров для выбора структуры сети, выбора линий и трансформаторов на основании технических характеристик и стоимости. Также сюда можно отнести проверку релейной защиты.

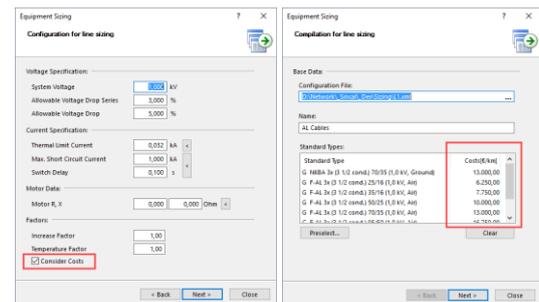


Рис. 1-16. Сравнение различных сценариев.

## ■ Языки

PSS®SINCAL поддерживает следующие языки: китайский,

английский, немецкий, русский, испанский и турецкий.

- ASP-система

PSS®SINCAL может работать как ASP-система (провайдер услуг доступа к приложениям). В этом случае пользователь может работать с PSS®SINCAL через Интернет; при этом PSS®SINCAL выполняется на ПК, размещенном в компании «Сименс» и защищенном мощными брандмауэрами. Пользователь получает постоянный доступ к последней версии PSS®SINCAL; ему не требуется выделять компьютерные мощности (только дисплейную станцию); оплачивается только фактическое время работы с программой.

## 2. Электрические сети



PSS®SINCAL включает в себя большой комплекс аналитических модулей и инструментов, которые позволяют решать задачи развития, проектирования и эксплуатации энергетических систем. Сфера применения продукта: кратко- и долгосрочное развитие сетей, анализ повреждений, надежности, частотных характеристик, координация релейной защиты, расчет статической и динамической устойчивости, а также электромагнитных переходных процессов (EMT).

PSS®SINCAL может рассчитывать сети любого класса напряжения — от низкого до ультра высокого, а также симметричные и несимметричные модели сетей, например четырехпроводные системы или транспонированные системы с матрицей полной проводимости.

Программа PSS®SINCAL позволяет инженерам моделировать различные сценарии развития сетей, предотвращая дорогостоящие ошибки проектирования и неэффективные инвестиции. Это идеальный инструмент для моделирования умных сетей и их эффектов, включая связь с умными счетчиками.

Несколько аналитических модулей, например модули релейной защиты и расчета динамической устойчивости, идеально подходят для проведения тренинга персонала эксплуатирующих организаций.

Следующие методы расчета используются для электрических сетей:

### Обзор методов

- Расчет установившегося режима (симметричные/несимметричные сети).
- Профили нагрузки и генерации.
- Развитие нагрузки и сети.
- Оптимизация структуры сети.
- Оптимизация потокораспределения.
- Оптимизация ветвления / нормально разомкнутых точек.
- Оптимизация реактивной мощности и расположения конденсаторов.
- Вольт/Вар оптимизация
- Балансировка нагрузки.
- Распределение/масштабирование нагрузки и определение положения отпаек трансформаторов.
- Анализ послеаварийных режимов и схемы восстановления электроснабжения.
- Вероятностные показатели надежности.
- Трансфер мощности.
- Расчет стоимости (расчет чистой выгоды).
- Короткое замыкание: 1-, 2- и 3-фазное.
- Множественные повреждения.
- Расчет сетей низкого напряжения.
- Дистанционная защита.
- Максимальная токовая защита с характеристикой по времени.
- Моделирование защиты.
- Координация работы релейной защиты.
- Система управления устройствами защиты (PSS®PDMS).
- Моделирование дугового разряда.
- Расчет гармонических колебаний.
- Пульсационный контроль.
- Эквивалентирование сетей (статическое и динамическое)
- Пуск двигателей.
- Статическая устойчивость (RMS) (симметричные/несимметричные модели и возмущения).
- Электромагнитные переходные процессы (EMT).
- Анализ собственных значений / модальный анализ.
- Ядро для профессиональных расчетов динамической устойчивости (PSS®NETOMAC).
- Экспресс-анализ собственных значений.
- Динамическое эквивалентирование сети.
- Идентификация/оптимизация.
- Частотная область.
- Фликер.
- Профиль напряжения / многопроводные системы.
- Расчет постоянных линии.
- Графический конструктор модели (GMB) NETCAD/BOSL.
- Модели оборудования различных производителей.
- Типовые ветровые модели.
- Модели FACTS.
- Расчет схем подключения к сети.
- Оценка возможности подключения к сети (максимально доступный запас по мощности).
- Объединение моделей сетей.
- Стандартные интерфейсы.
- Моделирование в реальном времени.

## 2.1. Расчет установившегося режима

Расчет режима — это программный модуль для анализа и оптимизации существующих сетей. Выявление слабых мест — одна из важнейших задач при создании схем развития сетей. Для расчета распределения токов, напряжений и нагрузок в сети используются различные алгоритмы (Ньютона — Рафсона, итерационный метод и др.), которые подходят даже для сложных условий: например, наличие нескольких источников питания, отпаек трансформатора и низких уровнях напряжения источника питания.

Для программного обеспечения нет ограничений по классу напряжения сетей или их конфигурации. Модули для расчета симметричных и несимметричных систем, включая четырехпроводные входят в состав стандартной поставки PSS®SINCAL. Потому одним из преимуществ данного ПО является возможности считать совместно распределительные и передающие модели сетей.

- PSS®SINCAL может выполнять расчеты более чем для одной изолированной сети одновременно.
- Можно рассчитывать сети с несколькими балансирующими узлами.
- Напряжения могут быть как линейными, так и фазными.
- Тип модели генератора или источника питания может быть задан индивидуально: например, балансирующий узел, PV, PQ или I. Возможно моделирование контроллеров с рабочими точками и ограничениями. Пользователь может задать перераспределение генерации по настраиваемым ограничениям или частотным характеристикам.
- Предусмотрено планирование трансфера мощности через различные области/группы сети.
- Контроллер напряжения и мощности может автоматически вычислять оптимальное положение отпайки трансформаторов или других подключенных элементов, таких как шунты и конденсаторы, в зависимости от заданного диапазона напряжения или мощности.
- Возможно регулирование напряжения и мощности на удаленном узле.
- Для сетей с параллельными трансформаторами предусмотрена функция ведомого и ведущего контроллера.
- Могут моделироваться различные типы нагрузки.
- Поддерживается возможность учета зависимости тока от температуры.
- Расчет режима может выполняться для фазорегулирующих трансформаторов и полностью несимметричных трансформаторов, например модели с отводом от средней точки.
- Расчет режима уже поддерживает сброс нагрузки или отключение генерации в зависимости от напряжения и мощности (например, элементы пост. тока, такие как фотоэлектрические панели).
- Сценарии позволяют легко проводить группы расчетов на заданных временных интервалах.
- Результаты расчета режима используются в качестве начальных условий во многих других модулях PSS®SINCAL, включая множественные повреждения,

расчет устойчивости, пуск двигателя и координация защиты.

- Используется алгоритм определения начальных значений.
- Модель сети, собранная в PSS®E может быть запущена непосредственно из пользовательского интерфейса PSS®SINCAL, если программное обеспечение PSS®E установлено на том же компьютере.

Анализ входных данных и результатов с помощью цветовых обозначений на графике сети, а также фильтры табличных данных предусмотрены в том числе для позиций:

- Диапазоны напряжения.
- Обзоры узлов.
- Потери в сети и части сети.
- Настройки отпаек трансформаторов.
- Загрузка элементов.
- Профили напряжения.

Графический анализ возможен для следующих позиций:

- Перегруженные элементы.
- Изолированные части сети (без источника питания).
- Контурное выделение выбранных результатов (результат расчета режима, плотность нагрузки, уровни короткого замыкания и др.) на схемах сети.
- Настраиваемые аннотации.
- Отображение только выбранных областей сети, которые представляют интерес (не все элементы должны иметь графическое представление).
- Возможность создания диаграмм (например, профиль напряжения), на которых показаны результаты для выбранных в сети маршрутов.
- Несимметричное потокораспределение.

PSS®SINCAL позволяет легко трансформировать модели симметричных сетей в модели несимметричных сетей. Для этого необходимо просто указать присоединенные фазы и добавить присоединенные к сети одно- или двухфазные элементы (нагрузки, генераторы, трансформаторы, трансформаторы с отводом от средней точки, линии и т. д.)

## 2.2. Моделирование профиля нагрузки и генерации

Моделирование профиля нагрузки и генерации представляет собой вид расчета, при котором потребляемая нагрузка и генерируемая мощность изменяются во времени в соответствии с заданным суточным, недельным или годовым графиком. Наложение двух профилей позволяет, например, моделировать график нагрузки с годовым ее изменением. Обычно для моделирования влияния изменяющейся нагрузки на потокораспределение используют графики нагрузки с шагом в 15 минут.

Для этой задачи нагрузкам, помимо обычной номинальной мощности, присваивается информация о конкретном типе потребителя с суточным профилем нагрузки (в абсолютных или относительных величинах). Дополнительно пользователь может настроить параметры потребителя: например, годовое потребление или максимальную потребляемую мощность.

Мощность каждой нагрузки и генератора в определенном момент рассчитывается по заданным параметрам и профилю работы.

Элементы сети, обладающие возможностью управления (трансформаторы, шунты и емкости) могут также иметь профили.

Для нагрузок однотипных потребителей можно учесть эффект одновременности /совмещения. Это легко сделать с помощью коэффициента одновременности, заданного как функция. Для разных групп потребителей можно задать разные функции одновременности. Фактический коэффициент одновременности рассчитывается исходя из количества подключенных потребителей с однотипной нагрузкой.

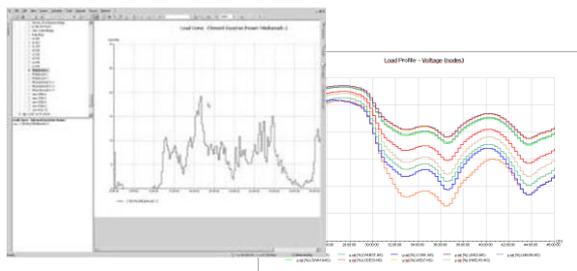


Рис. 2-1. Профиль генерации и нагрузки

Группы элементов, такие как конденсаторы, установленные на фидере, также могут быть управляемыми с помощью задания серии управляющих воздействий пользователем, что позволяет оптимизировать использование элементов в соответствии с графиком нагрузки.

### Результаты

- Доступны все результаты расчета режима, включая анализ максимальных и минимальных величин (для напряжений, нагрузки и т. д.).
- Создание суточных, недельных и годовых профилей для узлов и ветвей.
- На диаграммах показаны нарушения пределов по диапазону напряжения и нагрузки, а также коэффициент загрузки линии за период моделирования.
- Отображение на диаграмме общих потерь и недоотпуска энергии.

Также, в данном модуле доступен специальный анализ – агрегированные результаты для всех временных шагов с минимальными напряжениями и максимальными загрузками каждого элемента с привязкой их к соответствующему временному шагу.

Это позволяет быстро анализировать наихудшие случаи и уменьшить количество хранимых данных.

Node	Network Level	V [kV]	VMin [%]	VMax [%]	gP [T]	gPMin [T]	gPMax [T]	gP [T]	Vp [kV]	VpMin [%]	VpMax [%]	gP [T]	gPMin [T]	gPMax [T]	T	t [h]	Status
230	0.410	0.412	103.130	-1.360	28.650	0.238	103.130	-1.350	28.650	27.02.2017	3.250	OK					
231	0.410	0.412	103.070	-1.340	28.652	0.239	103.070	-1.340	28.652	27.02.2017	3.250	OK					
232	0.410	0.412	103.070	-1.340	28.652	0.238	103.070	-1.340	28.652	27.02.2017	3.250	OK					
233	0.410	0.412	103.030	-1.347	28.653	0.238	103.030	-1.347	28.653	27.02.2017	3.250	OK					
234	0.410	0.412	103.031	-1.347	28.653	0.238	103.031	-1.347	28.653	27.02.2017	3.250	OK					
235	0.410	0.412	103.047	-1.347	28.653	0.238	103.047	-1.347	28.653	27.02.2017	3.250	OK					
236	0.410	0.375	93.694	-8.841	24.159	0.236	93.694	-8.841	24.159	27.02.2017	19.750	Limit reach					
237	0.410	0.375	93.702	-8.841	24.159	0.236	93.702	-8.841	24.159	27.02.2017	19.750	Limit reach					
238	0.410	0.375	93.713	-8.841	24.159	0.236	93.713	-8.841	24.159	27.02.2017	19.750	Limit reach					
239	0.410	0.413	103.126	-1.026	28.674	0.238	103.126	-1.026	28.674	27.02.2017	3.250	OK					
240	0.410	0.375	93.725	-8.840	24.160	0.236	93.725	-8.840	24.160	27.02.2017	19.750	Limit reach					
241	0.410	0.375	93.755	-8.840	24.160	0.237	93.755	-8.840	24.160	27.02.2017	19.750	Limit reach					
242	0.410	0.375	93.771	-8.840	24.160	0.237	93.771	-8.840	24.160	27.02.2017	19.750	Limit reach					
243	0.410	0.375	93.793	-8.839	24.161	0.237	93.793	-8.839	24.161	27.02.2017	19.750	Limit reach					
244	0.410	0.375	93.806	-8.839	24.161	0.237	93.806	-8.839	24.161	27.02.2017	19.750	Limit reach					
245	0.410	0.375	93.833	-8.839	24.161	0.237	93.833	-8.839	24.161	27.02.2017	19.750	Limit reach					
246	0.410	0.414	103.606	-1.059	28.941	0.239	103.606	-1.059	28.941	27.02.2017	2.750	OK					
247	0.410	0.414	103.596	-1.059	28.944	0.239	103.596	-1.059	28.944	27.02.2017	2.750	OK					
248	0.410	0.414	103.557	-1.057	28.943	0.239	103.557	-1.057	28.943	27.02.2017	2.750	OK					
249	0.410	0.414	103.560	-1.057	28.943	0.239	103.560	-1.057	28.943	27.02.2017	2.750	OK					
25	0.410	0.413	103.125	-1.026	28.674	0.238	103.125	-1.026	28.674	27.02.2017	3.250	OK					
250	0.410	0.414	103.566	-1.058	28.942	0.239	103.566	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
251	0.410	0.414	103.556	-1.056	28.944	0.239	103.556	-1.056	28.944	27.02.2017	2.750	OK					
252	0.410	0.414	103.553	-1.057	28.943	0.239	103.553	-1.057	28.943	27.02.2017	2.750	OK					
253	0.410	0.414	103.588	-1.058	28.942	0.239	103.588	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
254	0.410	0.414	103.566	-1.058	28.942	0.239	103.566	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
255	0.410	0.414	103.557	-1.058	28.942	0.239	103.557	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
256	0.410	0.413	103.638	-1.058	28.942	0.239	103.638	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
257	0.410	0.415	103.641	-1.058	28.942	0.239	103.641	-1.058	28.942	27.02.2017	2.750	OK					
258	0.410	0.415	103.632	-1.057	28.943	0.239	103.632	-1.057	28.943	27.02.2017	2.750	OK					
259	0.410	0.414	103.595	-1.053	28.947	0.239	103.595	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
26	0.410	0.413	103.125	-1.026	28.674	0.238	103.125	-1.026	28.674	27.02.2017	3.250	OK					
260	0.410	0.414	103.576	-1.053	28.947	0.239	103.576	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
261	0.410	0.414	103.571	-1.053	28.947	0.239	103.571	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
262	0.410	0.414	103.567	-1.054	28.946	0.239	103.567	-1.054	28.946	27.02.2017	2.750	OK					
263	0.410	0.414	103.587	-1.053	28.947	0.239	103.587	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
264	0.410	0.414	103.589	-1.053	28.947	0.239	103.589	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
265	0.410	0.414	103.591	-1.053	28.947	0.239	103.591	-1.053	28.947	27.02.2017	2.750	OK					
266	0.410	0.375	93.725	-8.813	24.089	0.236	93.725	-8.813	24.089	27.02.2017	19.750	Limit reach					
267	0.410	0.375	93.725	-8.813	24.085	0.236	93.725	-8.813	24.085	27.02.2017	19.750	Limit reach					

Рис. 2-2. Результаты расчета при заданном профиле нагрузки для различных временных шагов.

### 2.3. Анализ роста нагрузки

Модуль анализа роста нагрузки дает информацию о способах развития электрических сетей с учетом будущего увеличения нагрузки и изменения ее местоположения. Входными данными являются прогнозы нагрузки, которые можно получить на основании данных прошлых периодов непосредственно в интерфейсе пользователя. Расчеты развития нагрузки в PSS®SINCAL — это расширенный расчет режима, в котором уровни нагрузки и генерации изменяются во времени. PSS®SINCAL автоматически определяет результаты расчета режима в те моменты, когда в сети происходят изменения.

Помимо номинальных величин PSS®SINCAL включает в расчет изменения нагрузки (увеличение/уменьшение) с учетом дат ввода в эксплуатацию и вывода из эксплуатации компонентов сети. Абсолютные или относительные изменения нагрузки можно назначать отдельным нагрузкам, группам/типам нагрузки или нагрузкам в графически заданных областях. Для каждого элемента сети можно ввести дату ввода в эксплуатацию и вывода из эксплуатации. Это позволяет вводить в расчет новые нагрузки, трансформаторы, линии и прочее и выводить все это из эксплуатации в будущем. Можно моделировать любые сценарии развития сети и прогнозировать будущие характеристики сети.

При этом выводятся все результаты расчета режима с оценкой минимальных и максимальных величин (например, уровни напряжения и нагрузки) и диаграммы с информацией о требуемой мощности и перегруженных линиях.

Если во время расчетного периода превышены ограничения, выводится дополнительная информация.

Инструмент развития нагрузки дает ценную информацию для выявления слабых мест и определения приоритетов для мер по усилению или реструктуризации сети.

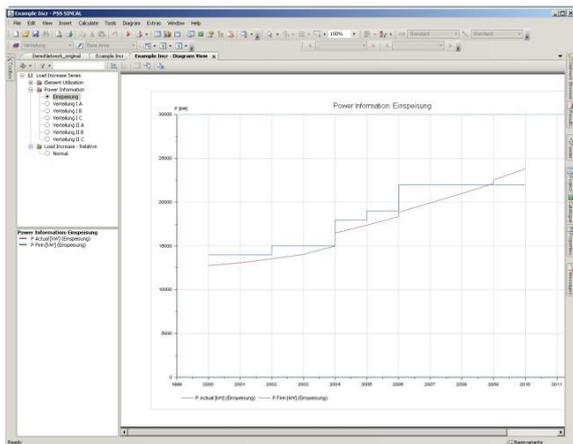


Рис. 2-3. Увеличение гарантированной мощности и нагрузки

## 2.4. Оптимальная структура сети

Целью оптимизации является определение наилучшей структуры для сетей среднего напряжения. В качестве базиса модуля оптимизации служат кольцевые и радиальные схемы. Оптимизация может выполняться, как новых проектов, так и для существующих сетей.

Оптимизация основана на модели подстанций и трасс, которая определяет возможные соединения между вводом и нагрузками. Оптимизация направлена на минимизацию потерь при выполнении технических ограничений (макс. нагрузка на фидеры, макс. падение напряжения и т. д.). Рассчитывается стоимость преобразования сети в соответствии с предложенной структурой.

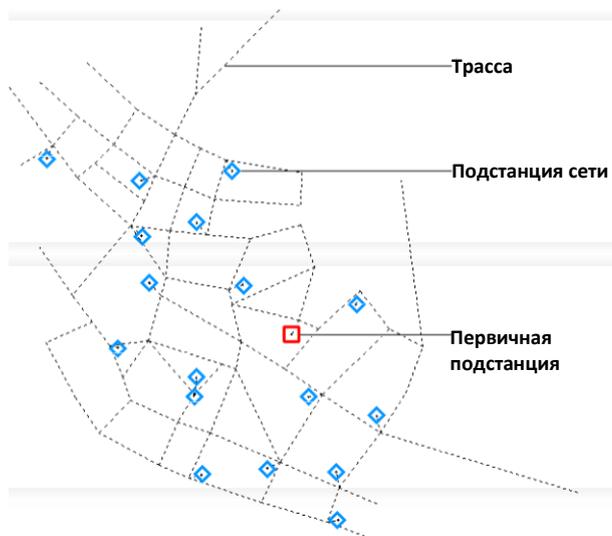


Рис. 2-4. Модель трассы и подстанции

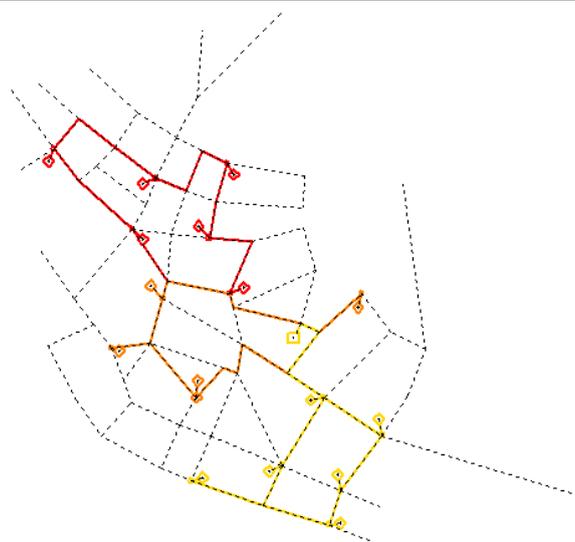


Рис. 2-5. Полученные после оптимизации трассы

Предусмотрено три метода оптимизации: вращающийся луч, максимальная экономия и лучший сосед. В первом, статическом шаге оптимизации определяется целевое решение сети. Во втором шаге, путем динамической оптимизации рассчитывается оптимальная последовательность развития сети для преобразования исходной сети в целевую при минимальных затратах.

## 2.5. Оптимальное потокораспределение

Оптимизация потокораспределения PSS SINCAL — важный инструмент оценки и совершенствования структуры сети и ее нагрузок. Модуль используется для оперативного обслуживания и расчета схем развития сети. PSS SINCAL изменяет переменные сети в заданном диапазоне регулирования для минимизации потерь активной мощности. Таким образом, пользователь может провести оценку модели сети и внести изменения для обеспечения ее экономически эффективного развития.

PSS SINCAL определяет параметры сети с минимальными потерями и минимальным количеством нарушений технических ограничений.

В этом случае переменными системы являются напряжение генератора, его реактивная мощность и коэффициенты трансформации трансформаторов. Ограничения включают в себя загрузку оборудования, диапазон напряжения и P/Q диаграмму, допустимую для генераторов.

PSS SINCAL поддерживает два алгоритма решения задачи:

### ■ Градиентный метод

Оптимизация сети непрямым градиентным методом с внешней функцией штрафов. Этот метод вначале определяет множество допустимых решений, а затем выбирает из них наилучшее.

После создания модели сети целью является минимизации определенной нелинейной функции. Это может быть либо целевая, либо стоимостная функция.

PSS SINCAL воссоздает заданные для элементов сети технические ограничения как нелинейные вторичные условия. Эта модель может быть либо уравнением, либо неравенством.

## ■ Универсальный метод

Метод основан на «алгоритме муравейника», который представляет собой вид роевого интеллекта с метаэвристической оптимизацией.

Задав количество/уровень генераций, пользователь может регулировать точность. Преимущество метода заключается в том, что результат почти не зависит от исходных условий.

## 2.6. Оптимальное размыкание

В смешанных сетях этот метод может использоваться для расчета оптимальных позиций нормально разомкнутых точек, которые можно внедрить в конфигурацию сети одним нажатием кнопки. Это позволяет разделить сеть на радиальные сети с минимальными потерями в системе. Для данного метода расчет режима используется для нахождения точки минимального напряжения. Затем цепь размыкается со стороны контура с минимальным током. Процесс продолжается, пока вся выбранная область сети не будет разомкнута. Изменения топологии учитываются при каждом следующем шаге вычислений.

Этот метод хорошо подходит для определения оптимальных точек разрыва, разделяющих области сети с питанием от разных трансформаторов.

- Определение радиальной структуры сети с минимальными потерями.
- Метод применим для разных уровней сети.
- Определение областей сети, которые не могут быть разомкнуты.
- Автоматическая передача и применение изменений точек разрыва (положений выключателей).
- Цветовое обозначение точек разрыва, фидеров и областей снабжения на схеме сети.

## 2.7. Оптимизация реактивной мощности и размещение емкостей

### Оптимизация реактивной мощности

Оптимальное использование компенсации реактивной мощности положительно влияет на работу сети. Обычно обеспечиваются следующие преимущества:

- Снижение передаваемой полной мощности и загрузки компонентов сети.
- Снижение потерь в системе.
- Улучшение профиля напряжения и предотвращение выхода напряжения за установленные границы.
- Перенос необходимости работ по усилению сети на более поздний срок.
- Возможно снижение затрат на потребление реактивной мощности.

С помощью серии расчетов режима определяется требуемая реактивная мощность для всей сети. В каждом отдельном расчете режима выполняется компенсация требуемой реактивной мощности на трансформаторах. Требуемая реактивная мощность может быть как индуктивной, так и емкостной. Расчет требуемой реактивной мощности выполняется для выбранных классов напряжения. На графической схеме сети для областей сети, в которых реактивная мощность должна достичь указанного

коэффициента мощности, на низковольтных выводах трансформаторов отображаются символы шунтирующего реактора или конденсатора. PSS®SINCAL может также предложить стандартные номинальные параметры, указанные в базе данных по типам оборудования.

Могут быть отображены все актуальные результаты расчетов режима, например требуемая реактивная мощность, снижение потерь и т. д.

### Размещение емкостей автоматическом режиме

Цель этого метода оптимизации — уменьшить потери в сети путем размещения в ней дополнительных емкостей. PSS®SINCAL может определить оптимальные точки установки емкостей, чтобы сбалансировать их стоимость и ожидаемую экономию от снижения потерь. По затратам и экономии рассчитывается срок окупаемости инвестиций.

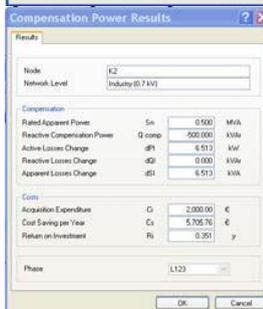
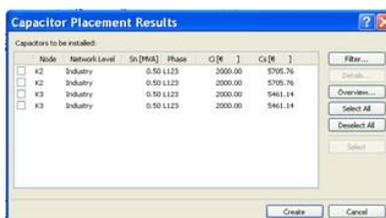
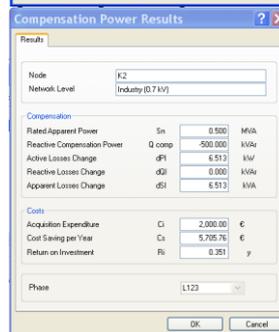
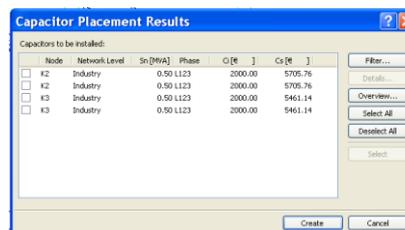


Рис. 2-6. Оптимизация компенсации и инвестиции

## 2.8. Оптимизация Вольт/Вар

Эта процедура позволяет регулировать напряжение и коэффициент мощности в радиальных фидерах среднего и низкого напряжения, как симметричных, так и несимметричных сетях, с тем чтобы все узлы потребителей находились в заданном диапазоне напряжения и передаваемая реактивная мощность была

минимальной. Оптимизация напряжения необходима для обеспечения приемлемой работы сети исходя из ограничений, предписанных всем потребителям на фидере. Оптимизация коэффициента мощности уменьшает передачу реактивной мощности (и, следовательно, потери) на фидере.

Коэффициент мощности уменьшается вместе с количеством индуктивных потребителей (емкости кабелей немного снижают этот эффект).

Цель оптимизации вольт/вар заключается в том, чтобы определить точку установки конденсатора на фидере и необходимые настройки трансформатора в начале фидера. Таким образом, узлы потребителей на фидере будут находиться в допустимом диапазоне при высокой и при низкой нагрузке.

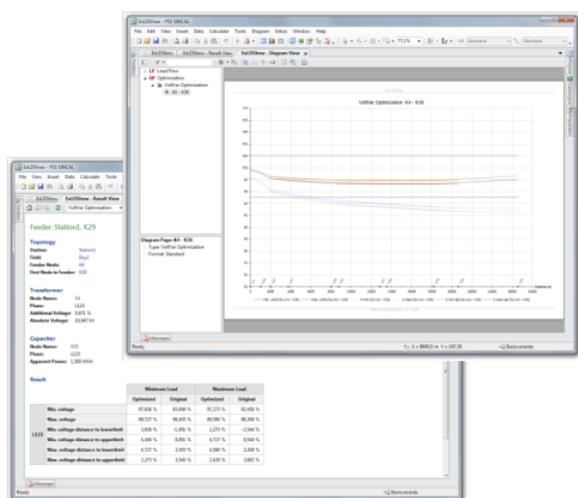


Рис. 2-7. Оптимизация Вольт/Вар

## 2.9. Балансировка нагрузок

Метод балансировки нагрузок может использоваться в несимметричных сетях для оптимизации присоединений одно- и двухфазных нагрузок с целью обеспечения загрузки, эквивалентной симметричной системе. Изменение присоединения может быть выполнено для всего фидера.

Балансировка нагрузок — это комбинаторная задача, которая решается в PSS®SINCAL с помощью генетического алгоритма оптимизации, изменяющего комбинации подключенных фаз однофазных (L1-G, L2-G, L3-G) и двухфазных (L1-L2, L2-L3, L3-L1) нагрузок. В результате оптимизации определяется конфигурация системы с минимальным коэффициентом несимметрии из всех проанализированных комбинаций.

В окне результатов PSS®SINCAL перечисляет существующие и предлагаемые фазовые соединения для нагрузок, изменения фазовых соединений которых обеспечат более сбалансированное потокораспределение в сети. Результаты отображаются в соответствующем диалоговом окне, в котором можно применить изменения подключения фаз для выбранных нагрузок в сети.

## 2.10. Распределение/масштабирование нагрузки и определение зоны отпайки трансформаторов

Метод распределения нагрузки (модуль закрепления нагрузки подстанций) — это расширенный модуль расчета

режима, обеспечивающий масштабирование нагрузки фидеров. Он используется для масштабирования нагрузок, чтобы определить условия режима, соответствующие измеренным токам или потокам полной мощности. Для этого можно ввести максимальные зарегистрированные показания счетчиков на нагрузках и счетчиках, установленных на линиях сети. Функция распределения нагрузки масштабирует нагрузки, которым присвоены показания счетчиков, так, чтобы результаты расчета потокораспределения соответствовали зарегистрированным максимальным потокам в точках измерения. Таким образом, функция распределения нагрузки позволяет усовершенствовать модель сети и приблизить результаты моделирования к реальным условиям в сети.

Определение зоны отпайки — это расширенный метод расчета режима, в котором сочетается подстройка нагрузки для режимов минимальной и максимальной нагрузки с оптимизацией положения отпаяк трансформатора так, чтобы обеспечить соответствие напряжения на регулируемом фидере допустимому диапазону напряжения.

Результатом является расчет режима для условий минимальной и максимальной нагрузки. Полученные в результате положения отпаяк можно отобразить на схеме сети с помощью цветowych обозначений. Расчетные минимальные и максимальные напряжения можно визуализировать и сравнить с допустимыми пределами на диаграммах профиля напряжения.



Рис. 2-8. Зоны отпаяк, обозначенные цветом

## 2.11. Анализ послеаварийных режимов и восстановление электроснабжения

Цель модуля расчета послеаварийных режимов — оценить режим в сетях при повреждении элементов и генераторов сети. Он позволяет получить информацию о надежности электроснабжения и о слабых местах сети. Пользователь получает важную информацию по следующим пунктам:

- Соответствие сети критериям надежности n-1 и n-1-1.
- Риск перерывов в энергоснабжении.
- Режимы перегрузки в следствие отключения элементов сети.
- Нежелательные режимы сети из-за отключения компонентов сети.
- Определение приоритетов при модернизации сетей.
- Форма контрактных соглашений с потребителями.

Анализ послеаварийных режимов состоит из серии расчетов потокораспределения. В каждом отдельном расчете потокораспределения учитывается отключение одного или

нескольких элементов.

Повреждения сети определяются автоматически на основании заданных предварительно правил.

PSS®SINCAL может моделировать отключение одного компонента сети, группы компонентов (которые должны работать как группа) и перегрузку компонентов. Возможно моделирование условных и безусловных отключений, а также базовых (n-1) и результирующих (n-2) отключений. Подключение элементов в ходе расчета послеаварийных режимов опционально. Последовательности подключения элементов после аварии может быть задано и для группы элементов.

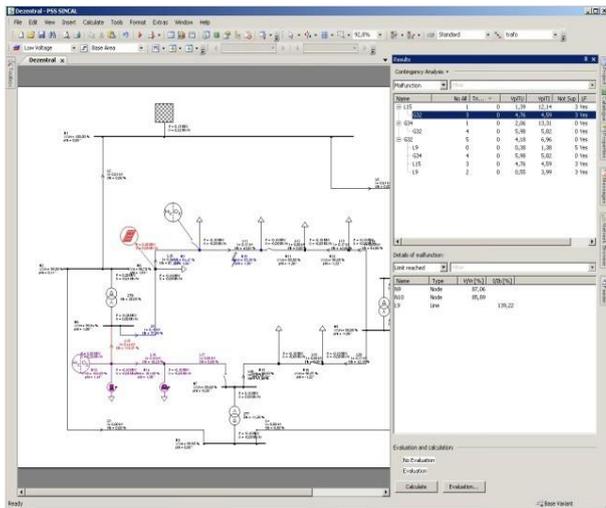


Рис. 2-9. Оценка последствий аварий

Регистрируются все актуальные результаты (минимальные и максимальные величины, потребители без снабжения, перегрузки и т. д.). Результаты можно свести в понятную иерархическую структуру. В больших сетях для обработки больших объемов данных и уменьшения времени расчета оценку можно ограничить основными характеристиками. Для анализа особо сложных случаев предусмотрены детальные результаты расчета режима.

Цель метода «**восстановление электроснабжения**» заключается в восстановлении снабжения всех потребителей (нагрузки, асинхронные машины и т. д.) до нормального рабочего режима после отключения компонентов сети во время повреждения.

Вначале PSS®SINCAL пытается восстановить снабжение в основном замыкания выключателей. Если этого недостаточно для восстановления снабжения всех потребителей, алгоритм пытается передать нагрузки на другие фидеры. Если и это не помогает, происходит снижение потребления или сброс нагрузки. В качестве результатов выдаются различные варианты коммутации с полной информацией о принятых мерах по восстановлению, а также элементы сети без снабжения. Удаленное управление выключателями также принимается в расчет при работе модуля.

Node 1	Element Name	Network Level	Result Type	Switc...	fSup [%]
<b>Restoration of Supply</b>					
FIRP					
Resupply 1					
N4	L20	Verteilung	Switching	Close	1, 0,00
N13	L31	Verteilung	Malfunction		1, 0,00
N14	LO1	Verteilung	Load reduction		1, 1,00
N12	LO2	Verteilung	Load reduction		1, 1,00
N7	LO8	Verteilung	Load reduction		1, 1,00
Resupply 2					
N7	L25	Verteilung	Switching	Close	2, 0,00
N13	L31	Verteilung	Malfunction		2, 0,00
N14	LO1	Verteilung	Load reduction		2, 0,95
N12	LO2	Verteilung	Load reduction		2, 0,95
N4	LO3	Verteilung	Load reduction		2, 0,96
N6	LO5	Verteilung	Load reduction		2, 0,99
N8	LO7	Verteilung	Load reduction		2, 0,97
N7	LO8	Verteilung	Load reduction		2, 0,98
Resupply 3					
N15	L31	Verteilung	Malfunction		3, 0,00
N14	L33	Verteilung	Switching	Close	3, 0,00
N14	LO1	Verteilung	Load reduction		3, 0,99
N12	LO2	Verteilung	Load reduction		3, 0,99
N4	LO3	Verteilung	Load reduction		3, 0,99
N8	LO7	Verteilung	Load reduction		3, 0,99
N15	LO9	Verteilung	Load reduction		3, 0,99
N22	LO10	Verteilung	Load reduction		3, 1,00

Рис. 2-10. Протокол восстановления снабжения

## 2.12. Вероятностные показатели надежности

Для оценки надежности энергосистем в процессе создания их схем развития используется несколько различных критериев. Например, различают критерии, связанные с отказом элементов и критерии, относящиеся к потребителю, а также детерминистские и вероятностные критерии. Критерий надежности, связанный с отказом элемента сети, например критерий (n-1), определяет повреждения, последствия которых недопустимы. За один раз проводят расчет для повреждения одного или двух (n-2) элементов. PSS®SINCAL позволяет провести эту работу с помощью модуля «Анализ послеаварийных режимов».

Критерии, относящиеся к потребителю, показывают оценку всех прерываний энергоснабжения потребителя в связи с повреждениями в сети. Вероятностные расчеты надежности применяют для определения ожидаемых величин для отдельных потребителей. Затем эти расчетные величины можно сравнить с предельными величинами для конкретных потребителей.

Долгое время детерминистские критерии надежности использовались исключительно для оценки достаточности надежности энергоснабжения на этапе проектирования сети. Задача проектировщика заключалась в том, чтобы выбрать ограниченное количество состояний системы и сценариев повреждений, а затем проверить их на соответствие указанным в критерии требованиям.

Вероятностный расчет надежности предъявляет особые требования к исходным данным. Помимо электрических и топографических данных для расчета режима и коротких замыканий, необходима дополнительная информация для определения границ исследуемой сети и ее составных частей, для релейной защиты сети и моделирования повреждений.

При анализе надежности обычно требуется разделить большие передающие и распределительные сети на более мелкие подсистемы. Подразделение системы зависит от поставленной задачи. Внутри исследуемой системы устанавливаются дополнительные границы. Отдельные

единицы оборудования, отказ которых одинаково влияет на работу сети, объединяют в так называемые компоненты сети. Это деление особенно важно для степени детализации и времени вычислений. Границы компонентов, которые могут породить моделируемый отказ и срабатывание защиты системы, определяются путем группировки единиц оборудования, каждая из которых отключается основной защитой при возникновении отказа. Обычно границы компонентов по диапазону срабатывания состоят из воздушных линий электропередачи, кабелей, трансформаторов и шин подстанций. Соответствующим компонентам присваиваются отходящие фидеры и оборудование распределительства.

Модели повреждений разработаны на базе анализа работы реальных сетей и статистике повреждений, позволяющей разделить повреждения на классы по сценарию развития событий. Наиболее важные модели:

- Независимый одиночный отказ: отказ одного компонента.
- Взаимосвязанный отказ: одновременный отказ нескольких компонентов по общей причине.
- Многократное замыкание на землю с множественным срабатыванием: взаимозависимый отказ двух компонентов в сетях с дугогасящей катушкой или изолированной нейтралью по причине возникшего замыкания на землю.
- Отказ во время ремонта резервного компонента: взаимозависимый отказ во время ремонта резервного компонента.
- Неправильная работа устройств защиты: стохастический вторичный отказ из-за неселективного срабатывания системы защиты.
- Отказ устройства защиты: стохастический вторичный отказ из-за отказа основного устройства защиты и срабатывания резервного устройства защиты.

Комбинаторный **метод анализа** генерирует все возможные комбинации отказов. В дальнейшем расчете используются только комбинации, вероятность которых превышает заданный порог. Еще одним способом ограничить количество включенных в расчет комбинаций является ограничение порядка комбинаций, то есть количества одновременно отказавших элементов. Расчет вероятностной надежности позволяет количественно выразить надежность снабжения с помощью соответствующих показателей. В мировом опыте вероятностных расчетов используется большое количество более или менее значимых и распространенных показателей. Однако ряд базовых показателей признан наиболее содержательными, и при необходимости на их основе можно рассчитать дополнительные величины.

Для более детального моделирования PSS®SINCAL также включает полноценный **метод Монте-Карло**. Он особенно полезен в области отключений при выводе элементов в ремонт. Параллельное использование полных ядер компьютера, позволяет получить решение за разумное время.

Обозначение	Название	Ед. изм.
Hu	Частота перерывов в энергоснабжении	1/год
Tu	Средняя продолжительность перерывов в энергоснабжении	ч или мин
Qu	Неготовность	1(общая: мин/год)
Lu	Прерванная мощность (суммарная)	MBA/год
Wu	Непоставка энергии (суммарная)	MBAч/год

Кроме того, PSS®SINCAL поддерживает вычисление большинства таких показателей, как SAIFI, SAIDI, MAIFI, ASIFI, ASIDI и CAIDI.

PSS®SINCAL проводит вычисление показателей надежности для различных моделей отказов на основании стандартов IEEE, CIGRE, VDN/FNN.

### 2.13. Трансфер мощности

Расчет пропускной способности состоит из серии расчетов режима. В каждом индивидуальном расчете режима изменяется активная мощность источника для обеспечения трансфера мощности между двумя областями сети.

Результаты включают в себя всю необходимую информацию, используемую ENTSO-E - TTC, NTC, TRM и др. На рисунке ниже приведены наиболее важные параметры, используемые ENTSO-E для различных фаз.

Система принимает во внимание предварительно заданные параметры трансфера между областями и определяет величину дополнительной мощности, которая может быть передана.

Повреждения в области трансфера мощности могут быть рассмотрены опционально.

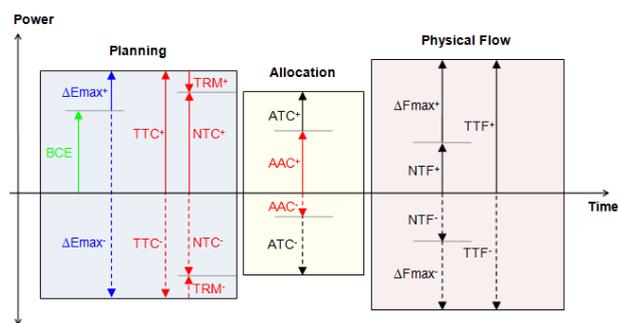


Рис. 2-11. Показатели трансфера мощности

### 2.14. Расчет стоимости (моделирование чистой выгоды)

Расчеты экономической эффективности определяют экономическую выгоду от мероприятий по развитию и реструктуризации сети, а также затраты за годовые периоды.

Для определения экономической выгоды в PSS SINCAL используется распространенный в электроснабжающих компаниях метод оценки — метод чистой приведенной

стоимости.

Оценка затрат производится методом суммирования затрат по годовым периодам.

Расчеты экономической эффективности определяют затраты и приведенную стоимость эксплуатации сети, а также стоимость различных мероприятий по расширению и реструктуризации во временном периоде от текущего времени  $t_0$  до горизонта планирования  $t_n$ .



Рис. 2-12. График экономического расчета

Результаты расчета подготавливаются для каждого года. Эти «ежегодные транши» используются для оценки как инвестиционных расходов, так и текущих годовых затрат. Результаты по году указываются и как приведенная стоимость, и как недисконтированные затраты.

По аналогии с методом чистой приведенной стоимости затраты  $S_c$  определяются по затратам на приобретение  $C_i$  и затратам на отключение оборудования  $C_s$  вместе с операционными затратами в период наблюдения. Если расчетный срок службы оборудования превышает горизонт проектирования, необходимо также учесть остаточную стоимость  $C_r$ .

Метод суммирования дает фактические затраты на отдельные годовые транши, а также сумму всех произведенных затрат в горизонте проектирования.

PSS®SINCAL выдает два типа результатов:

- суммарные результаты за весь период наблюдения;
- результаты по каждому годовому траншу в период наблюдения.

Экономическая эффективность инвестиций определяется по суммарным результатам за весь период наблюдения  $t_n - t_0$ . Подсчитывают все накопленные затраты, которые сравниваются с плановым доходом.

С точки зрения текущей эксплуатации сети основной интерес представляют прогнозируемые годовые затраты. Результаты выдаются по отдельным годовым траншам.

Рис. 2-12. Затраты по году

С помощью этого метода может быть рассчитана чистая выгода. Это означает, что PSS®SINCAL позволяет сравнивать различные варианты проектов сети, такие, например, как отсрочка введения новой подстанции из-за подключения распределенной генерации. Чистая выгода – разница между двумя вариантами – может быть рассчитана с учетом капитальных и операционных затрат.

## 2.15. Расчет коротких замыканий

Расчет коротких замыканий (КЗ) — это метод, предназначенный для определения правильных параметров выбора оборудования сети (максимальные токи КЗ) и для выбора правильных уставок защиты (минимальные токи КЗ).

Программа может рассчитывать одно-, двухфазные замыкания, двухфазные замыкания на землю трехфазные короткие замыкания как для отдельных узлов, так и целых подсетей. Это означает, что распределение тока короткого замыкания по сети может быть определено для любого режима короткого замыкания. Расчет выполняется в соответствии со стандартами ANSI C37, IEC 61363-1, VDE 0102, IEC 60909, технической рекомендацией G74 и с учетом предшествующей замыканию загрузки. Все изменения стандартов оперативно вносятся непосредственно в технологию расчета, так как наши эксперты принимают участие в заседаниях комитета по стандартам. В случае асимметричных замыканий учитываются различные группы соединений трансформатора, а также используемый метод заземления нейтрали. Также предусмотрена проверка номинального тока короткого замыкания сборных шин и кабелей (1-секундный ток).

Задачи проектирования и планирования сети, для которых решающее значение имеют расчетные максимальные токи, обычно решаются в соответствии со стандартом. Однако, если необходимо определить минимальные токи замыкания, рекомендуется использовать метод суперпозиции токов, который учитывает режим загрузки сети до замыкания. Это особенно важно, когда ток КЗ имеет тот же порядок величины, что и ток нагрузки.

Основные стандартные величины расчета коротких замыканий для оценки характеристик замыкания ( $I_k''$ ,  $i_p$ ,  $I_a$ ,  $S_k''$ ,  $U_0$ ,  $Z_0/Z_1$  и т. д.), а также другая необходимая информация сохраняется в базе данных и доступна для дальнейших расчетов. Отчеты включают таблицы с привязкой их к месту замыкания с указанием сводной информации по результатам расчета.

- МЭК 60909/VDE 102.
- МЭК 61363-1.
- ANSI C37.
- Техническая рекомендация G74.
- Анализ коротких замыканий с учетом режима загрузки до замыкания.
- Расчет с симметричными компонентами.
- Возможность учитывать сопротивление дуги.
- Основные величины:  $I_k''$ ,  $i_p$ ,  $I_a$ ,  $S_k''$ ,  $U_0$ ,  $Z_0/Z_1$ .
- Варианты расчета  $i_p$ : радиальная сеть, замкнутая сеть или по методу эквивалентной частоты.
- Блок-генератор может быть реализован согласно

стандартам двумя способами: генератор и трансформатор в виде двух отдельных элементов или одного объединенного элемента.

- Модели оборудования постоянного тока, например фотоэлектрические и ветровые источники, реализованы с корректной передачей в отличие от обычных вращающихся машин и учитывают возможность отключения в соответствии с правилами присоединения.
- Заземление нейтрали.
- Фазовый сдвиг в трансформаторах.
- Одновременный расчет на выбранных или на всех классах напряжения модели сети.
- Вычисления токов во всей сети при повреждении на одном участке.
- Одновременный расчет КЗ в каждом узле на выбранных классах напряжения модели сети.
- Различные отчеты для всех узлов, всех мест повреждений и всех уровней сети.
- Диаграммы сети раскрашиваются цветом, например, при нарушении номинальных параметров оборудования, таких как 1-секундные токи коротких замыканий на линиях или на шинах.

Расчет токов КЗ также может быть выполнен для несимметричных сетей при помощи моделирования фазы (вместо использования симметричных компонентов). Таким образом любой тип повреждения, например как фаза-нейтраль или нейтраль-земля может быть смоделирован.

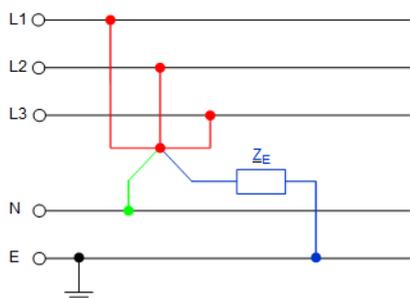


Рис. 2-13. Соединение с землей для расчета КЗ.

## 2.16. Множественные повреждения

Когда замыкания и обрывы происходят в нескольких местах сети одновременно, например нередкие случаи двойных замыканий на землю, расчет множественных повреждений определяет установившееся распределение токов и напряжений в сети. Учитывается актуальное положение выключателей, а также результаты расчета режима.

Возможные следующие типы повреждений в узлах:

- однофазное замыкание;
- двухфазное замыкание на землю и междуфазное замыкание;
- трехфазное замыкание на землю и трехфазное КЗ без земли.

Кроме того, можно указывать место замыканий на линии и изменять его. На линиях можно моделировать следующие типы замыканий и обрывов провода:

- одно-, двух- и трехфазный обрыв;
- однофазный обрыв и однофазное замыкание на землю;

- двухфазный обрыв и двухфазное замыкание на землю;
- трехфазный обрыв и однофазное или трехфазное замыкание на землю;
- двухфазный обрыв и двухфазное короткое замыкание;
- трехфазный обрыв и двухфазное или трехфазное короткое замыкание.

Анализ множественных повреждений выполняется на базе полного представления 3-фазной системы (симметричные компоненты).

Все перечисленные повреждения можно комбинировать в «пакеты повреждений», которые рассчитываются одновременно. Результаты можно выводить поочередно на схеме сети, в отчетах и масках базы данных. Также доступно представление результатов в виде векторных диаграмм.

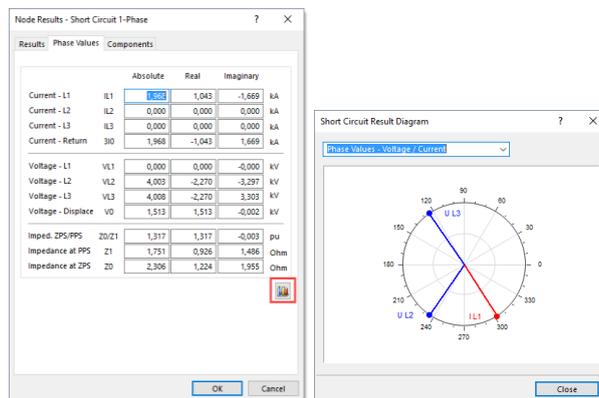


Рис. 2-14. Различное представление результатов расчета.

## 2.17. Оценка защиты сетей низкого напряжения

Расчет сетей низкого напряжения, то есть проверка режимов срабатывания, является комбинацией расчета режима и токов КЗ. В соответствии со стандартом VDE 0102 программа использует минимальные токи однофазных замыканий для определения максимально допустимых расчетных токов соответствующих предохранителей. С этой целью программа исследует рассматриваемые зоны защиты с помощью метода перемещающегося повреждения для определения точки возникновения минимального тока замыкания через примыкающий предохранитель. Зону защиты можно ограничить не более чем тремя устройствам защиты. PSS®SINCAL определяет существующие предохранители, у которых расчетный ток превышает максимально допустимое значение. Программа также информирует пользователя, если ток нагрузки превышает максимально допустимый ток предохранителя.

PSS®SINCAL определяет номинальный ток предохранителя на основании минимального тока однофазного замыкания и количества выбранных устройств релейной защиты при помощи следующих критериев:

- Коэффициент безопасности (коэффициент номинального тока)
- Поперечное сечение провода
- Тепловое повреждение – короткое замыкание
- Время тепловой нагрузки – ток и большой управляющий ток
- Максимальное время разрушения

Ситуация, когда ток нагрузки превышает максимально разрешенный ток предохранителя также сохраняется в отчет. Если один из критериев был нарушен, программное обеспечение использует следующий меньший номинальный ток, возможный для этого типа данных.

В результате PSS®SINCAL обеспечивает:

- Уникальный метод проверки предохранителей в сетях низкого напряжения.
- Результатом являются выявленные отклонения от стандартов проектирования.
- Предохранители с некорректным номинальным током отображаются на схеме.

## 2.18. Модули защиты

Если необходимо понять причины ложного срабатывания (послеаварийный анализ) или оценить гипотетические условия повреждения, самым эффективным решением является пошаговый анализ события. Интерактивное моделирование срабатывания защиты PSS®SINCAL — один из самых мощных инструментов в отрасли для оценки действия системы защиты с момента возникновения повреждения до его отключения, с остановкой на каждом шаге. При каждом срабатывании реле система останавливается, чтобы инженер мог проанализировать режимы всех реле в масках, диаграммах и отчетах и изменить настройки реле в соответствии с необходимостью. Пользователь может продолжить моделирование в любой момент и действовать до отключения замыкания, при этом происходит расчет полного времени устранения повреждения.

- Простота использования
- Интерактивное управление
- Реалистичные модели реле
- Автоматическое формирование интерактивных окон
- Понятная документация в виде диаграмм, отчетов и схемы сети

Для получения полной картины корректного выбора уставок релейной защиты, необходимо провести моделирование большого количества повреждений. PSS®SINCAL позволяет делать это в автоматическом режиме.

### Устройства защиты

- Максимальная токовая защита с выдержкой времени:
  - Предохранители.
  - Биметаллическое реле.
  - Контактторы.
  - Модульные автоматические выключатели.
  - Автоматические выключатели низкого напряжения.
  - Реле фиксированной задержки.
  - Поведение по британскому стандарту.
  - Все типы автоматических выключателей с измерительным трансформатором.
  - Свободно настраиваемые пользователем реле с предустановленными блочными структурами.
- Дистанционная защита:

- Большое количество предустановленных реле разных производителей для моделирования поведения выбранного дистанционного реле.
- Моделирование различных пусковых характеристик.
- Возможность ввода характеристики в виде окружности, проходящей через начало координат и многоугольной характеристики.
- Пользователь может задать пусковые характеристики и характеристики срабатывания (состоящие из линий и кругов).

- Дифференциальные реле
- Частотная защита (4 шага)

### Особенности

- Сети со смешанной структурой
- Расчеты для сетей всех классов напряжения сети
- База данных, включающая в себя параметры более чем 1000 устройств защиты
- Направленный элемент
- Отказ защиты
- Срабатывание по максимальному и минимальному напряжению
- Взаимная блокировка и телеотключение
- Свободно определяемые устройства защиты
- Механические устройства защиты
- Расположение повреждений на линиях или в узлах
- Полное сопротивление в месте повреждения
- Различные типы коротких замыканий
- Задаваемые пользователем повреждения и серии повреждений
- Динамический расчет короткого замыкания для моделирования защиты
- Задержки реле/время ожидания
- Регистрация общего времени события
- Затухающие обратные токи асинхронных двигателей и генераторов
- Кривые повреждения кабелей/трансформаторов
- Графическое отображение по запросу измерительных трансформаторов
- Цветовая индикация состояний реле

#### 2.18.1. Дистанционная защита

Метод дистанционной защиты служит для расчета настроек сопротивлений трех зон и расширенных зон (АПВ и сравнение сигналов) дистанционных реле защиты в любом типе структуры сети.

При расчете сопротивлений ступеней защиты приоритет отдается настройке, при которой защита срабатывает селективно независимо от способа подключения сети. Вначале вычисляются значения для первых зон, затем для всех вторых зон и далее для всех третьих зон. Вторую и третью зоны реле можно изменять при помощи интерактивного экрана во время или после расчета настроек, поэтому пользователю легко реализовать свои

идеи. Ступенчатую выдержку времени в третьей зоне можно учесть несколькими способами. Результаты программы выводятся в виде отрисованных в масштабе диаграмм ступенчатой выдержки и таблицы с результатами для каждого устройства защиты.

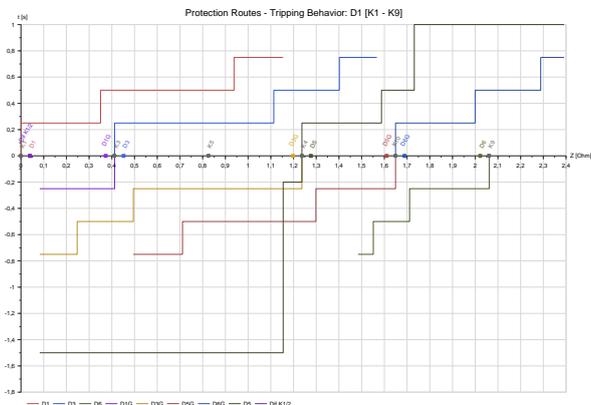


Рис. 2-15. Диаграмма отстройки дистанционной защиты.

- Не требуется определять маршрут ступенчатой выдержки, система строит его автоматически.
- При расчете для каждого реле формируется худший сценарий сети (при использовании разных стратегий).
- Алгоритм DISTAL служит для определения настроек, обеспечивающих селективность для всех режимов коммутации.
- Специальные модели для поведения каждого реле.
- Результатами являются настройки для конкретного реле.
- Вычисление первичных и вторичных величин.
- Возможно взаимодействие между расчетами для каждой из зон.
- Диаграммы уставок реле и диапазона зон в сети.

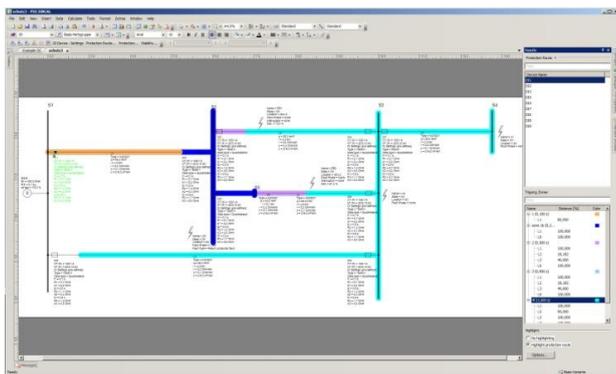


Рис. 2-16. Зоны срабатывания устройств защиты.

### 2.18.2. Максимальная токовая защита с выдержкой времени

Модуль моделирования защиты имитирует временную последовательность устранения КЗ в радиальных и замкнутых сетях. Это уникальная функция называется «пошаговый анализ события». Для этой цели служит база данных устройств защиты, которая содержит около 1000 выключателей с измерительными трансформаторами, выключателей низкого напряжения, предохранителей, биметаллических реле, контакторов и модульных

выключателей вместе со всеми возможными настройками. Их легко комбинировать с реле дистанционной защиты.

Повреждения можно моделировать на узлах и в любой точке воздушных или кабельных линий электропередачи. Возможно моделирование следующих типов замыканий:

- однофазное короткое замыкание;
- двухфазное короткое замыкание;
- двухфазное замыкание на землю;
- трехфазное короткое замыкание;
- настраиваемые пользователем пакеты множественных повреждений, например двойные замыкания на землю (см. описание модуля множественных повреждений).
- Настраиваемые пользователем последовательности повреждений (динамическое моделирование)

При необходимости можно моделировать полное сопротивление в месте повреждения, например сопротивление дуги.

Пуск и срабатывание устройств защиты моделируются с произвольно заданным количеством шагов. Рабочее состояние устройств защиты можно отображать на схеме сети с помощью цветowych обозначений.

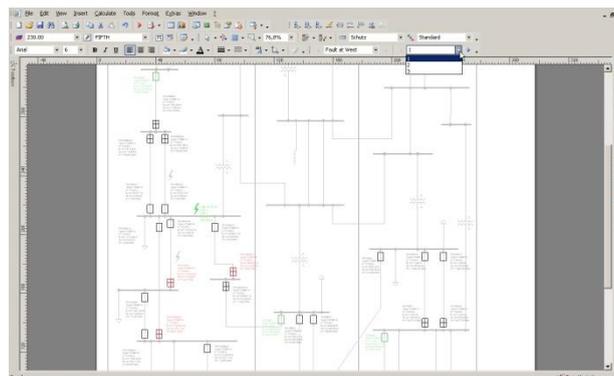


Рис. 2-17. Отображение цветом состояния устройств защиты.

Также отображаются нарушения ступеней выдержки времени и множественное срабатывание устройств защиты. Направленные элементы можно свободно настраивать. Кривые повреждений для различных уровней загрузки кабелей и трансформаторов также отображаются в графической форме.

Система формирует диаграммы ступенчатой выдержки для функций I2t, RX и Zt. Область применения включает проверку тепловой нагрузки и неправильного срабатывания при нормальной работе, определение времени отключения, координату защиты и проверку ступеней временной выдержки.

### 2.18.3. Документирование данных защиты

PSS®SINCAL позволяет документирование характеристики ступенчатой выдержки по времени в автоматическом режиме. Это позволяет пользователю с легкостью генерировать необходимые диаграммы и карты.

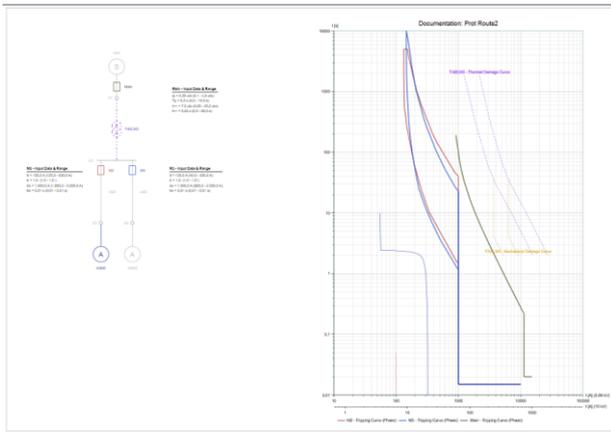


Рис. 2-18. Документирование характеристики ступенчатой выдержки по времени.

#### 2.18.4. Моделирование защиты

Для сетей с устройствами максимальной токовой, дистанционной и дифференциальной защиты.

Этот расширенный модуль моделирования защиты учитывает настройки устройств максимальной токовой и дистанционной защиты, а также зоны защиты устройств дифференциальной защиты. Пошаговый порядок действий:

1. Расчет режима для выбора направления и пуска реле.
2. Определение устройств защиты, которые ограничивают выбранную защищаемую зону и должны сработать.
3. Вычисление токов, сопротивлений и времени срабатывания.
4. Срабатывание устройства с наименьшим временем срабатывания.
5. Изменение топологии сети.
6. Если КЗ не устранено: второй расчет коротких замыканий и определение следующего реле, которое должно сработать.
7. Повторение указанных выше шагов до устранения КЗ и определения полного времени устранения КЗ.
8. Определение корректности срабатывания реле, выдача всей необходимой информации, например отображение неселективного срабатывания реле.

Важную роль играет моделирование специальных параметров устройств защиты:

- Направленные элементы.
- Условия пуска:
  - превышение по току;
  - минимальное сопротивление, зависящее от напряжения;
  - характеристики сопротивления.
- Блокировки и телеотключение.
- Асимметричные повреждения.
- Отказ защиты.
- Моделирование для нескольких классов напряжения.
- Отображение расположенных дальше по потоку реле

#### максимальной токовой защиты.

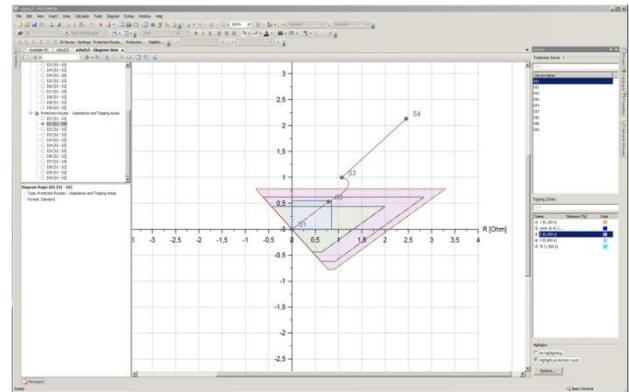


Рис. 2-19. Диаграмма R/X с отображением зон защиты.

#### Метод

- Текущий: расчет режима и нескольких КЗ.
- Последовательная работа во времени: возможность внесения корректировок и изменений.
- Активные элементы с динамическими характеристиками.
- Выбор и изменение схемы релейной защиты.

#### Графическая документация

- Характеристика выдержки времени I-t: по классам напряжения, дополнительная информация.
- Интерактивное изменение характеристик защиты.
- Отображение настроек защиты на схеме сети.
- Характеристика Z-t: несколько реле, расположенных дальше по потоку, сопротивление и зоны защиты.
- Характеристика R-X: область сопротивления с направляющими линиями и стрелками.
- Смешанная защита: диаграммы обоих типов реле для проверки координации защиты.

#### Различные устройства защиты

- Каталог устройств защиты с возможностью выбора уставок.
  - Возможность дополнения каталогов.
  - Определение общих элементов защиты.
- #### Моделирование защиты
- Симметричные и асимметричные короткие замыкания.
  - С предварительной нагрузкой и без нее.
  - Повреждения в узлах и на линиях.
  - С сопротивлением в месте повреждения и без него.
  - Моделирование момента повреждения и последовательности повреждений с помощью динамического моделирования.
  - Визуализация рабочего состояния устройств защиты (пуск, срабатывание) с помощью цветowych обозначений.

#### 2.18.5. Проверки состояния устройств защиты

В стандартную поставку PSS®SINCAL входит первый

автоматизированный модуль проверки селективности работы МТЗ для выбранного фидера.

## Check OC Settings

Check OC Settings Export to CSV

### Overview

#### Errors and Excludes:

- Count of errors: 2
- Count of excluded locations: 1

#### Selection:

- Current selectivity
- Time selectivity

Feeder	Location	Phase	Setting	State	Ground	Setting	State	Comment
N2/L2	OC1	269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
		269PLUS.1	OK	269PLUS.2	OK			
	OC3	269PLUS.1	NC	269PLUS.1	OK	Excluded because of XX config		
		269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
	OC4	269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
		269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
N2/L5	OC5	269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
		269PLUS.3	OK	269PLUS.3	OK			
	OC6	269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
		269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
	OC9	269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
		269PLUS.1	OK	269PLUS.1	OK			
OC10	269PLUS.1	KO - I-> Time t: wrong value(s)	269PLUS.1	OK				
OC11	269PLUS.3	KO - I-> Time t: wrong value(s)	269PLUS.3	OK				

Feeder: N2 / L5 ( N2 / L5 )

Route: 3

Status: KO

Routes: N2 - L5 - N7 - L5 - N8 - L10 - N2

Location	Protection Device	Phase	Setting	Ground						
				I>>> Car. I	I>>> Time t	I>>> Car. I	I>>> Time t	I>>> Car. I	I>>> Time t	
N2/L5	OC3	269PLUS.1	2.5	1.0						
N7/L5	OC7	269PLUS.3	2.0	1.0						
N7/L5	OC8	269PLUS.1	1.5	0.5	0.0	0.0				
N8/L5	OC9	269PLUS.1			0.0	0.5				
N2/L10	OC10	269PLUS.1			5.0	2.5				
N2/L10	OC11	269PLUS.3			4.0	0.5				

Рис. 2-20. Проверка селективности работы релейной защиты на фидере.

В случае необходимости более детальной оценки защиты на фидере в целом, программное обеспечение может в автоматическом режиме провести проверку селективности реле с МТЗ, включая проверку резервной защиты. Зоны защиты и ограничения могут быть настроены.

Предварительный анализ защиты, в качестве автоматизированного инструмента, проводящего расчет для всей сети, позволяет проводить на систематической основе оценку функционирования сети в нормальных условиях в случае повреждений, чем экономит большое количество времени пользователя.

Результатом расчета является матрица с результатами проверки зон защиты и уставок по следующим параметрам:

- Нормальная селективность.
- Возвратные пути.
- Отказ защиты (резервная защита)
- Специальные условия защиты машин
- Различные повреждения и различные полные сопротивления в месте повреждения

Она показывает количество получивших сигнал и сработавших устройств, время устранения повреждения, количество шагов для устранения повреждения.

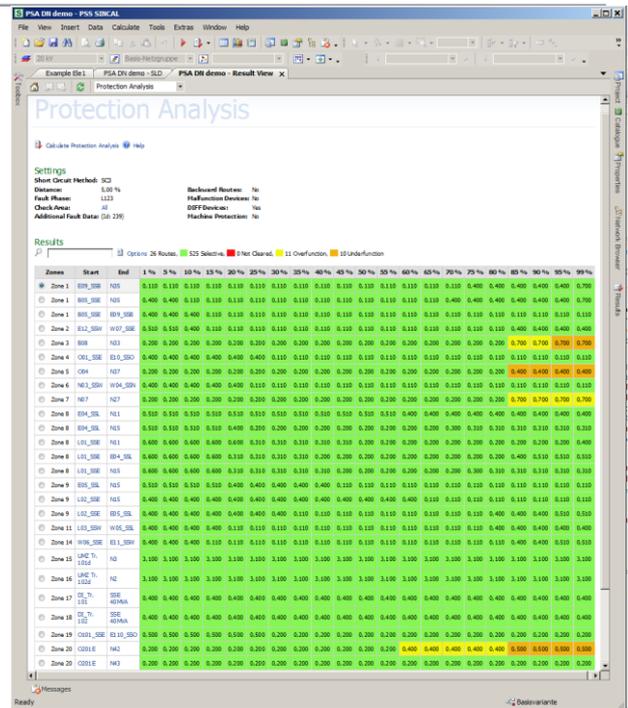


Рис. 2-21. Автоматизированная проверка уставок защиты.

При выборе ячейки на диаграмме, пользователь автоматически переходит в соответствующий расчет, представленный на схеме сети для дальнейшей оценки.

## 2.19. Система управления устройствами защиты (PSS®PDMS)

PSS®PDMS — это универсальная программа для центрального управления устройствами защиты и их уставками. Все данные хранятся в центральной реляционной базе данных устройств защиты (Microsoft Access или Oracle) и могут считываться другими программами напрямую.



Рис. 2-22. Схема передачи данных об устройствах защиты

Основные особенности PSS®PDMS:

- Данные хранятся в центральной реляционной базе данных (Microsoft Access, Oracle или MS SQL Server).
- PSS®PDMS — это многопользовательское корпоративное приложение.
- Современный пользовательский интерфейс Windows является оптимальным для управления данными.
- Устройства защиты моделируются полностью, со всеми функциями и настройками, включая различные группы уставок внутри одного реле.

- Уставки проверяются на предмет допустимых диапазонов.
- Создание шаблонов устройств защиты и управление ими; впоследствии шаблоны используются для генерирования реальных устройств защиты.
- Простое подключение к внешним документам (файлы параметров, руководства по устройствам защиты и т. д.).
- Широкий набор функций для импорта и экспорта реле.
- Спецификация и настройка прав доступа и ролей пользователей в соответствии с потребностями компании.
- Поддерживает определяемые пользователем рабочие процессы (например, планирование, утверждение или активизация настроек, включая историю изменений).
- Обмен данными с PSS®SINCAL позволяет инженеру проверять настройки напрямую в модели сети.

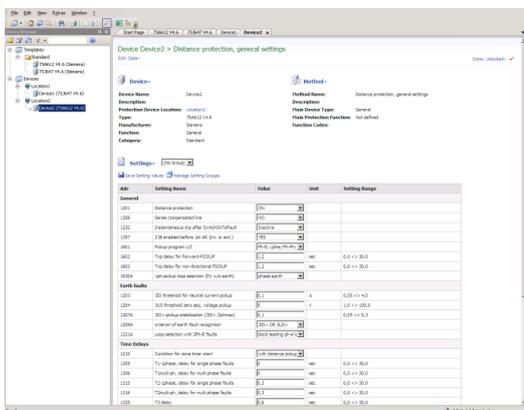


Рис. 2-23. Маска с настройками устройств защиты

## 2.20. Дуга

Модуль «Дуга» PSS®SINCAL предназначен для проектировщиков и эксплуатирующих организаций. Он позволяет определить расстояние до дугового разряда и величину энергии, которая может воздействовать на работников, в соответствии с рекомендациями стандарта IEEE 1584.

Вычислительные функции включают эмпирическую модель, метод Ли, токоограничивающие предохранители и выключатели низкого напряжения, как указано в стандарте IEEE 1584. Расчеты дуги можно проводить на эмпирической модели для напряжений 208 В — 15 кВ и на теоретической модели на любом уровне напряжения. Кроме того, можно добавлять пользовательские устройства максимальной токовой защиты, включая характеристики I-t и токоограничивающее поведение, то есть использование не ограничивается устройствами защиты, перечисленными в IEEE 1584.

Энергия дугового разряда определяется на основании времени, тока и конфигурации электроустановки. Для расчета могут быть выбраны различные варианты: наихудший случай, наилучший и временные шаги (для смешанных систем).

Кроме того, также определяется класс защиты для защитного оборудования персонала от термальных и дуговых воздействий.

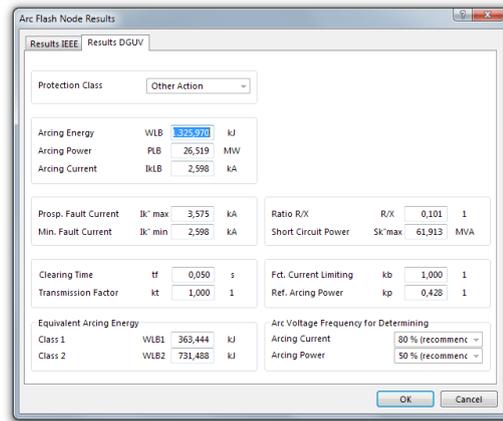


Рис. 2-24. Результаты расчета

Программа позволяет определить классы необходимых средств индивидуальной защиты в соответствии со стандартом NFPA 70E. Результаты расчета документируются в виде однолинейных схем, автоматически формируемых отчетов и готовых для печати предупреждающих знаков.

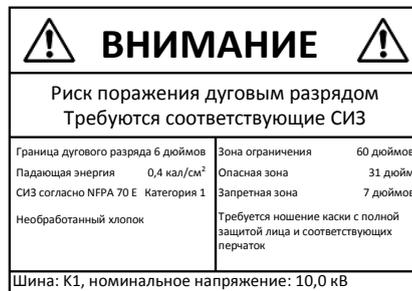


Рис. 2-25. Предупреждающий знак

## 2.21. Гармоники

Модуль расчета гармоник служит для расчета распределения гармоник в электрических сетях, а также для расчета частотных характеристик. Для оценки расчетных гармонических токов и напряжений в сети можно использовать различные методы, например TIF, THFF или EDC.

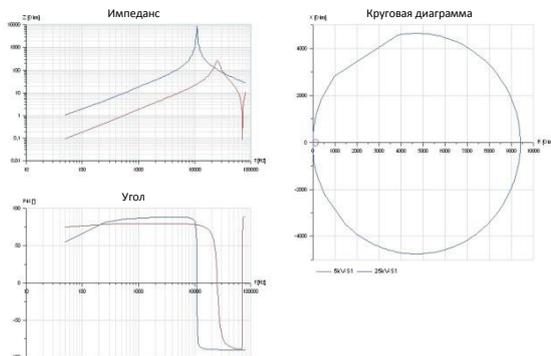


Рис. 2-26. Сканирование частоты и круговая диаграмма

Помимо графического представления частотных характеристик для выбранных узлов, отображаются сопротивления сети в плоскости комплексной переменной и, а также гармоники для всех узлов и классов напряжений с соответствующими предельными величинами.

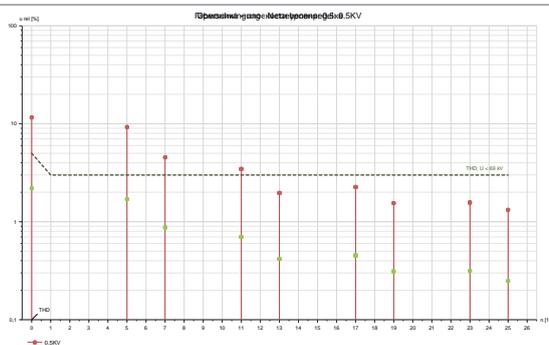


Рис. 2-27. Искажение напряжения

Исходные данные необходимо дополнить информацией о зависимости элементов от частоты, для чего существует большое количество методов, включая модели СИГРЭ. Высоковольтные линии электропередачи моделируются с помощью волновых уравнений. Предусмотрено моделирование сетей с дугогасящей катушкой с удобным вводом данных – могут быть созданы модели как активных, так и пассивных сетей. Источники питания в виде тока и напряжения допускаются и для нечетных гармоник в любой точке сети. Включен широкий выбор фильтров.

- Распределение трехфазного гармонического напряжения и тока (короткое замыкание несимметричной гармоники).
- Напряжение и ток гармонических искажений.
- Определение коэффициентов искажения гармоник. Для оценки расчетных гармонических токов и напряжений в сети можно использовать различные методы, например TIF, THFF или EDC.
- Для гармоник также предусмотрены векторные группы трансформаторов. Поэтому расчет можно выполнить для соединений Yy0, и другой расчет — с поворотом 30 градусов при наличии двух мостов с 6 импульсами.
- PSS®SINCAL позволяет использовать различные методы определения зависимости элементов сети от частоты. Методы учитывают поверхностный эффект и эффект близости.
- Возможно моделирование эквивалента сети с дугогасящей катушкой.
- Моделирование линий выполняется с помощью волновых уравнений.
- В программе можно настроить специальные фильтры.
- Индикация перегрузок, как и в других модулях, осуществляется с помощью разных цветов в таблице результатов (и, конечно, в отчетах).
- Помимо графического представления частотных характеристик для выбранных узлов, отображаются сопротивления сети в комплексной плоскости и уровень гармоник для всех узлов и уровней сети с соответствующими предельными величинами.
- Фильтры можно рассчитывать/конструировать по специальным требованиям.
- Наложенное искажение гармоники отображается в гистограммах с ограничениями по конкретному (национальному) стандарту.
- Диаграммы чувствительности к гармоникам.

- Диаграммы импеданса в полярных координатах (графики R-X).
- Детальные отчеты в табличной форме.
- Функции автоматизации для создания скриптов для оптимизации элементов, например, емкостей или фильтров.

## 2.22. Пульсационный контроль

Модуль пульсационного контроля служит для расчета уровня пульсационного контроля и распределения токов пульсационного контроля в электрической сети для последовательных и параллельных входных сигналов. Зависимость элементов от частоты можно ввести и для этого метода.

PSS®SINCAL воспроизводит все активные и пассивные элементы сети (генераторы, нагрузки и линии) в качестве сопротивлений. При этом происходит разделения на реактивную составляющую мощности на индуктивную и емкостную для компенсации. Передатчики пульсационных сигналов воспроизводятся как источники напряжения или источники тока.

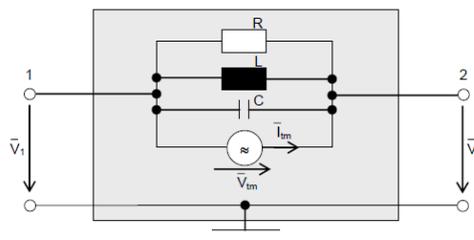


Рис. 2-28. Передатчик сигналов управления

Модуль служит для проверки уровня удаленной коммутации, например включения уличного освещения или электрообогрева.

## 2.23. Эквивалентирование сети

Дерегулирование и приватизация в сфере энергетики существенно меняют взаимоотношения между генерирующими, распределительными и передающими компаниями. Чтобы увеличить прибыль, коммунальные предприятия должны ориентироваться на конкурентную рыночную среду. В этих новых обстоятельствах детальная информация о сетях становится все более и более закрытой среди конкурирующих компаний. Поэтому таким компаниям становится все труднее обмениваться данными о сетях. Однако в связи с ужесточением требований к устойчивости необходимо более тщательно изучать динамическое поведение взаимосвязанных энергосистем как в онлайн-, так и в офлайн-режиме. К таким исследованиям относятся изучение общей устойчивости системы, оценка динамической устойчивости и координация управления системами на глобальном уровне и т. д. Все эти исследования требуют знаний о присоединенных соседних сетях. Для этого в крупных объединенных энергосистемах с разными собственниками необходимо создавать эквиваленты сетей.

С другой стороны, стандартным методом в анализе энергосистем является представление отдельных частей крупной объединенной энергосистемы их эквивалентными моделями меньшего порядка, например моделями для изучения или проверки динамического поведения системы, изучения зависимости между основной частотой

и напряжением, расчетов характеристик фильтров переменного тока и т. д. Из-за ограниченного размера и мощности средств моделирования в реальном времени пользователям иногда приходится уменьшать свои сети в целях их соответствия размерам и мощности используемого средства. В некоторых случаях уменьшенная модель способна упростить расчет сети и сэкономить время на исследование. В зависимости от вида применения эквивалентные модели создаются с помощью статического или динамического процесса эквивалентирования сети.

Первый тип эквивалентирования сети – пассивное/статическое эквивалентирование. В этом случае эквивалентная сеть будет иметь те же результаты для расчета режима, трехфазного и однофазного коротких замыканий.

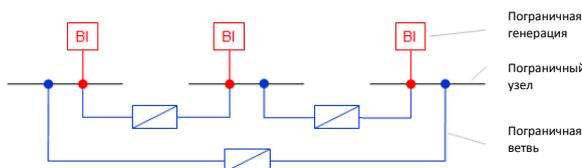
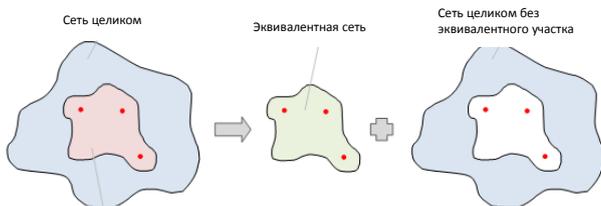


Рис. 2-29. Структура метода Уорда и расширенного метода Уорда для эквивалентирования сети.

Кроме того, метод Уорда и расширенный метод Уорда позволяет заменять заданные группы элементов сети эквивалентом. Участок сети, который необходимо эквивалентировать, выделяется на графическом представлении сети, либо задается группой элементов, принадлежащей к какой-либо области.



Часть сети, которую необходимо эквивалентировать

После определения участка сети, который нужно заменить эквивалентом, этот программный модуль автоматически создает его **эквивалент**, обладающий динамическим поведением, которое идентично оригинальной системе.

В случае динамического эквивалентирования используют те же процедуры, но процесс идентификации состоит из четырех шагов:

- Идентификация когерентных генераторов с помощью взаимно-корреляционного анализа.
- Эквивалент генератора для каждой группы когерентных генераторов.
- Пассивное эквивалентирование сети («эквивалентирование потокораспределения»).
- Идентификация параметров контроллера для каждого эквивалентного генератора.

## 2.24. Пуск двигателей

Модуль «Пуск двигателей» — это эффективный инструмент для расчета рабочих характеристик электрической сети. Он позволяет ответить на следующие вопросы:

- Запустится ли двигатель при данном моменте нагрузки?
- Сколько составит падение напряжения при пуске двигателя?

- Чему равны рабочие точки двигателей?
- Сколько длится время пуска?
- Насколько велика загрузка сети во время пуска двигателя?

Этот метод позволяет рассчитать требуемую мощность во время пуска двигателя, включая напряжение на клеммах двигателя. Это динамический процесс, который решается методом равных временных шагов. Для этого необходимо задать контур расчета за период времени и определить потокораспределение и мощность двигателя. Программа позволяет задать нелинейное насыщение и переключение со звезды на треугольник.

Время пуска можно свободно задавать для любого количества двигателей.

В PSS®SINCAL пользователь может задать момент двигателя, момент нагрузки и ток как функции скорости на диаграммах, которые оперативно реагируют на входные данные. Поддерживаются предустановленные модели оборудования NEMA.

Плавный пуск можно задать со следующими параметрами:

- максимальный ток;
- автотрансформатор;
- блоки конденсаторов;
- комбинация нескольких параметров.

Для анализа предоставляются результаты расчета режима и следующие виды диаграмм:

- функция времени: активная мощность, реактивная мощность, скорость, ток, напряжение, скольжение;
- функция скорости: момент двигателя, момент нагрузки;
- ток двигателя в плоскости комплексной переменной;
- круговая диаграмма.

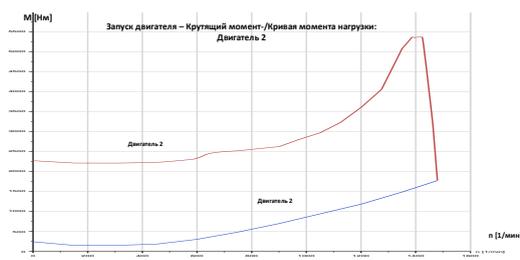


Рис. 2-30. Момент двигателя и нагрузки

Результаты расчета режима для каждого временного шага могут быть оценены с помощью приведенных диаграмм. С помощью моделей NEMA данный модуль позволяет оценивать динамические параметры двигателей.

## 2.25. Устойчивость (RMS)

Расчет устойчивости позволяет ответить на вопрос, могут ли генераторы продолжить работать в устойчивом режиме при возникновении коротких замыканий или других повреждений. Он выполняется для моделей как симметричных, так и несимметричных сетей, с симметричными и несимметричными возмущениями (например, исследования сквозных аварий).

## Моделирование сети и машин

- Нет ограничений по размеру сети и количеству машин.
- Моделирование сети с комплексным сопротивлением.
- Модель основной частоты для моделирования электромеханических явлений.
- Величины для квазиустановившегося состояния.
- Дифференциальные уравнения машин:
  - краткосрочная модель устойчивости: уравнения Парка 5-го порядка;
  - долгосрочная модель: уравнения Парка 2-го порядка.
- Синхронные машины построены с продольными и поперечными осями:
  - производные данные: сверхпереходные, переходные и синхронные реактивные сопротивления; постоянные времени;
  - первичные данные: физические сопротивления и реактивные сопротивления (импедансы).

## Моделирование контроллеров

- Дифференциальные уравнения контроллеров.
- PSS®SINCAL включает библиотеку контроллеров, которая содержит в том числе следующие компоненты:
  - стандарты IEEE;
  - системы возбуждения;
  - регуляторы турбины;
  - стабилизатор энергетической системы (PSS);
  - модели контроллера PSS®E.
- При помощи так называемого «блочнo-ориентированного языка моделирования» (BOSL) пользователь может добавлять собственные модели контроллеров.
- Модели других производителей можно строить на MATLAB/SIMULINK или на другом современном языке программирования. С помощью дополнительного стандартного файла заголовка (см. приложение G стандарта МЭК 61400-27) эти модели можно компилировать и привязывать в виде DLL-файла. Такие DLL-файлы можно передавать в другие организации как «черные ящики».

## Моделирование сценариев повреждений

Возможные замыкания на системах шин:

- однофазное короткое замыкание;
- двухфазное замыкание на землю и двухфазное КЗ без земли;
- трехфазное замыкание на землю и трехфазное КЗ без земли.

Возможные повреждения и замыкания на проводах:

- одно-, двух- и трехфазный обрыв;
- однофазный обрыв и однофазное замыкание на землю;
- двухфазный обрыв и двухфазное замыкание на землю;
- трехфазный обрыв и однофазное или трехфазное

замыкание на землю;

- двухфазный обрыв и двухфазное короткое замыкание;
- трехфазный обрыв и двухфазное или трехфазное короткое замыкание.

Дополнительно можно подавать и снимать напряжение с элементов узлов в определенное время.

Пользователь может моделировать:

- возникновение и устранение замыкания;
- переключение и повторное включение линий;
- отключение линий, кабелей, трансформаторов и т. д.;
- создание и удаление шунтов.

## Выдача результатов

Программа вычисляет характеристики машин, в том числе:

- фазные токи и напряжения;
- проскальзывание и угол выбега ротора;
- ток возбуждения и напряжение возбуждения;
- выходную мощность;
- момент.

Также доступны токи, напряжения, мощности и сопротивления для любой единицы установки и оборудования.

## Диаграммы

Диаграммы позволяют отобразить все результаты в формате, заданном пользователем. Диаграммы можно организовать как обзорные или индивидуальные диаграммы.

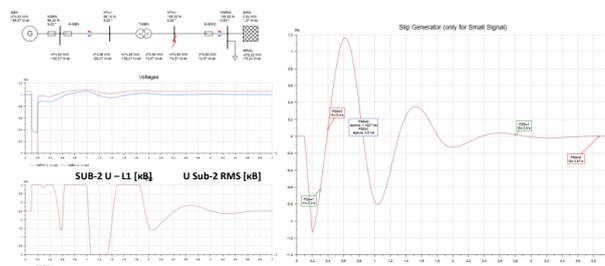


Рис. 2-31. Интерактивные диаграммы и связанные модели сети.

Поведение устройств защиты и их воздействие на сети может быть смоделировано параллельно с использованием моделей устройств защиты PSS®SINCAL. Кроме того, модуль расчета динамической устойчивости может быть использован для расчета токов короткого замыкания при оценке работы устройств защиты, например при расчете последовательности повреждений.

## 2.26. Электромагнитные переходные процессы (EMT)

Модуль «Устойчивость» PSS®SINCAL используется для исследований, в которых достаточными результатами являются огибающие кривые характеристических величин. Модуль «Электромагнитные переходные процессы» используется, если необходима форма кривой трех фаз.

Модуль «Электромагнитные переходные процессы» PSS®SINCAL позволяет моделировать сети, машины (Парка

7-го порядка) и контроллеры с помощью дифференциальных уравнений. Симметричные системы вводятся как однофазные и дополняются до трехфазных. Асимметричные системы можно моделировать с помощью элементов на отдельных фазах. Это также возможно для любых видов систем постоянного тока. Специальное оборудование (модели нагрузок, элементы FACTS, средства управления и т. д.) можно настроить дополнительно с помощью BOSL (блочн-ориентированного языка моделирования). Таким образом, модуль EMT обеспечивает комплексное решение для всех электромеханических (RMS) и электромагнитных (EMT) явлений, включая асимметричные и нелинейные события. Основная область применения — проектирование оборудования и аппаратуры с учетом переходных явлений.

Например, модуль используется для изучения интеграции ветряных электростанций, исследований динамики промышленных сетей и установок HСDC и FACTS.

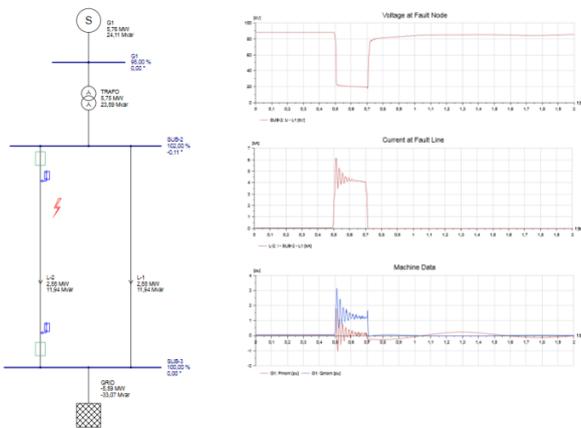


Рис. 2-32. Расчет в модуле EMT трехфазного короткого замыкания.

Результаты отображаются на диаграммах; их можно оценить с помощью аналитической программы SIGRA или средства просмотра Comtrade.

## 2.27. Анализ собственных значений / модальный анализ

Помимо моделирования во временной области, PSS®SINCAL позволяет изучать сети, машины, валы и системы управления в частотной области. Кроме того, можно анализировать элементы систем управления и оптимизировать поведение системы.

В больших электрических системах взаимосвязь между генераторами, сетями и системами управления постоянно усложняется. Элементы FACTS используются для быстрого и активного управления в передающих системах и для фильтрации в распределительных системах. Для анализа этих сложных взаимодействий между системами и оборудованием требуются современные методы, способные описать поведение системы в целом простыми и понятными средствами. Для этого в PSS®SINCAL используется анализ собственных значений системы. По сравнению с традиционными методами моделирования этот метод дает более полную информацию о поведении системы в отношении демпфирования, частотной характеристики, наблюдаемости, управляемости и влияния режима системы.

**Модальный анализ** показывает собственные вектора для выбранных мод и выбранных объектов в табличном виде.

**Остаточная/Передачная** функция позволяет проводить расширенные расчеты собственных векторов, например, определение оптимального расположения контроллеров. Результаты могут быть представлены как в табличной форме, так и в виде диаграммы.

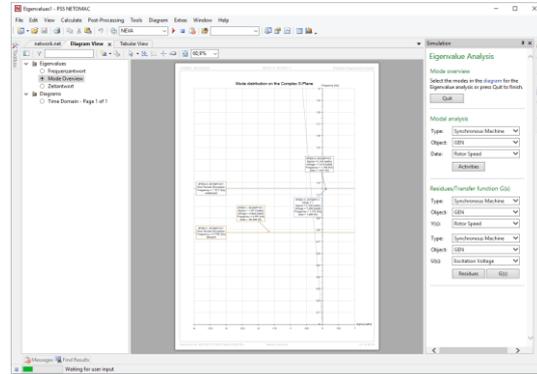


Рис. 2-33. Отображение собственных значений.

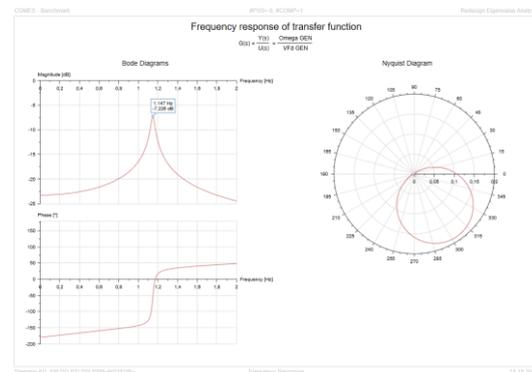


Рис. 2-34. Частотный ответ передаточной функции G(s).

Специальные области применения для анализа собственных значений: межсистемные колебания, устойчивость по напряжению, моделирование динамических эквивалентов, проектирование контроллеров, эффект подсинхронного резонанса и гармоник.

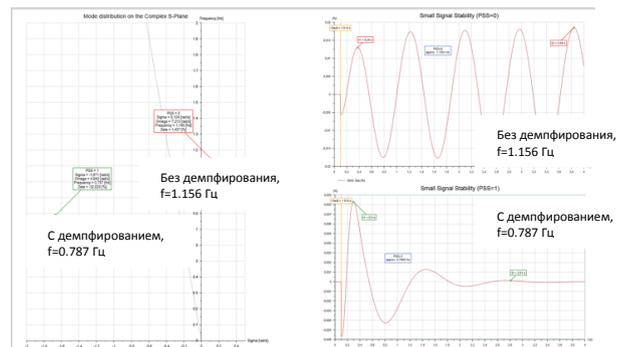


Рис. 2-35. Диаграммы демпфированной и недемпфированной систем.

Разработчиками было приложено большое количество усилий, чтобы снизить время вычисления до допустимого уровня. Например полный расчет 20 000 собственных значений занимает около 15 минут, тогда как в других системах аналогичный расчет может занять несколько дней.

## 2.28. Ядро для профессиональных динамических расчетов (PSS®NETOMAC)

Данное ядро для динамических расчетов является лучшим

в классе, так как для моделирования нет абсолютно никаких ограничений. Поэтому для наиболее эффективного его применения для различных областей, предлагается использовать два интерфейса пользователя.

Хотя PSS®SINCAL содержит весь комплекс программных функций, которые необходимы инженерам для проектирования современных сетей, некоторым специалистам нужны особые функции, которые поддерживаются приложением PSS®NETOMAC. Ядро полностью аналогично PSS®SINCAL, но для обеспечения скорости и возможности свободного программирования для профессиональных пользователей было создано новое приложение без базы данных, но с технологией COM-Server.

PSS®NETOMAC разработан для пользователей, которым необходимо максимально гибкое моделирование сети, которое не может обеспечить PSS®SINCAL. Моделирование сетей в PSS®NETOMAC фактически очень походит на программирование. Вместо написания программы PSS®NETOMAC моделирует сеть и оборудование в структурированных ASCII-файлах, определяет соответствующие неполадки и изменения в сети и программирует элементы управления (напрямую в FORTAN или BOSL).

Графический пользовательский интерфейс PSS®NETOMAC походит на современную среду разработки программного обеспечения. Исследуемые сети организованы в проекты. Эти проекты служат для управления как входными данными, так и результатами.

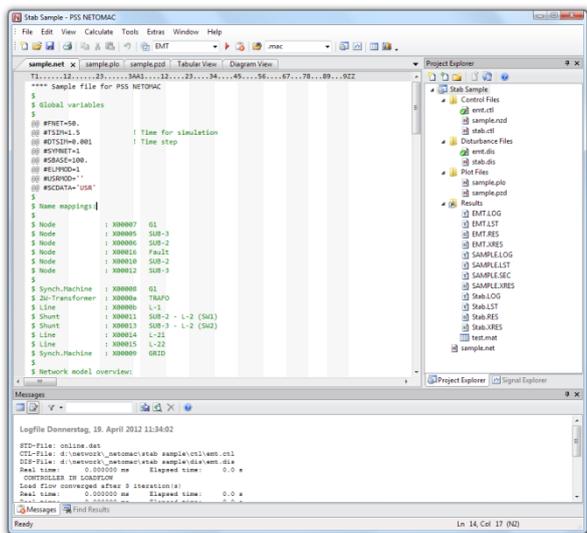


Рис. 2-36. Пользовательский интерфейс PSS®NETOMAC

Функции для оценки результатов моделирования интегрированы напрямую в пользовательский интерфейс. Входные данные и результаты можно отображать в табличном виде. Это позволяет легко визуализировать гибкие .xres файлы результатов (формат XML) и обращаться к соответствующим функциям оценки.

Для отображения сигналов во время моделирования EMT или устойчивости в PSS®NETOMAC есть встроенная система диаграмм.

Система диаграмм PSS®NETOMAC еще более гибкая с точки зрения ввода данных, чем система диаграмм PSS®SINCAL. С помощью функции перетаскивания и отпускания можно перетаскивать сигналы из Signal Explorer (проводник сигналов) непосредственно на диаграмму. Если необходимо, для

каждого сигнала можно назначить проекционную формулу, которая служит для отображения и преобразования сигналов.

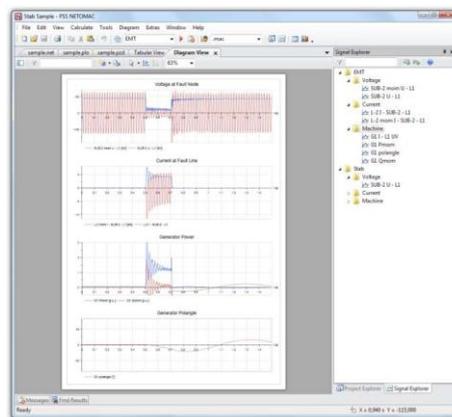


Рис. 2-37. Система диаграмм PSS®NETOMAC

## 2.29. Экспресс-анализ собственных значений

Нахождение всех собственных значений и модальный анализ могут занимать очень много времени в больших системах электроснабжения.

Кроме того, для этого требуются линеаризованные модели. Для оперативной проверки частот колебания, демпфирования и правильного расположения демпфирующего оборудования можно использовать метод экспресс-анализа собственных значений для моделирования устойчивости во временной области. В больших системах этот метод экономит много времени. Его можно использовать как предварительный расчет для основного анализа собственных значений и модального анализа. Кроме того, он может применяться для настройки стабилизаторов во время сеанса моделирования.

## 2.30. Идентификация/оптимизация

Сбор данных в начале исследования системы — одна из самых важных задач, занимающая много времени. Зачастую электрические данные для создания моделей сети недоступны. В некоторых случаях в наличии есть только измерения из системы. Специальные алгоритмы нашей программы могут рассчитать параметры электрических моделей по измерениям. Эти же алгоритмы можно использовать для оптимизации настроек моделей.

Идентификация возможна для любой модели в частотном диапазоне (например, функция передачи контроллера) и во временной области (переходный и установившийся режимы). Режим идентификации можно использовать в том числе для следующих функций:

- Параметризация асинхронных машин по характеристике момент-скорость с учетом насыщения (рис. 2-22).
- Параметризация синхронных машин.
- Создание динамических эквивалентов сетей (активная эквивалентная сеть).
- Эквивалентирование динамических нагрузок (например, эквивалентные группы двигателей).
- Параметризация контроллеров замкнутого контура (контроллеры напряжения, контроллеры турбин).

- Параметризация данных кабелей и линий по геометрии их конфигураций (постоянные и частотно-зависимые параметры).

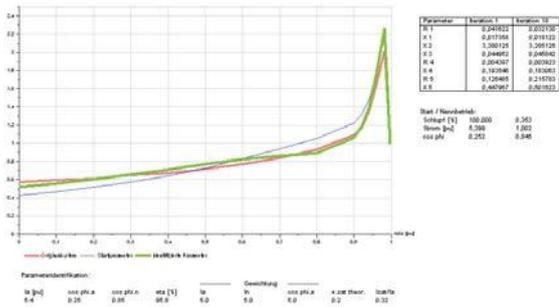


Рис. 2-38. Идентификация ASM

Оптимизацию можно применить к любому элементу системы. Допускаются все описанные варианты моделирования, поэтому возможно решение линейных и нелинейных задач. Пользователь задает целевую функцию как оценочную функцию с любыми входными переменными из сети или контура управления. Могут учитываться вторичные условия, заданные пользователем. Изменяемые параметры можно задать с начальной величиной и допустимыми пределами изменения вверх и вниз. Оптимизация возможна во временной и частотной области с потокораспределением, а также для общих математических функций, которые определяются как блочно-ориентированные структуры. В качестве примера оптимизации можно привести настройку контроллера возбудителя с PSS (стабилизатор энергетической системы) (рис. 2-22: динамическое поведение до и после оптимизации).

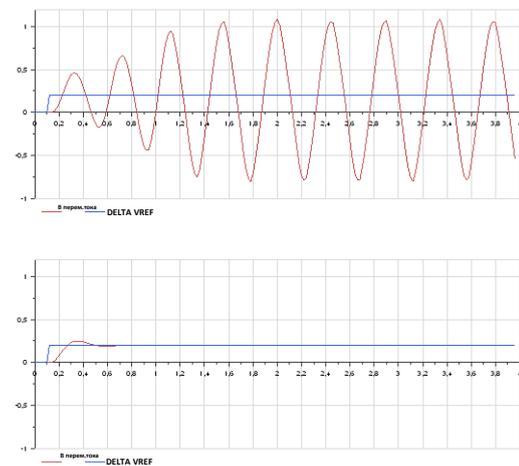


Рис. 2-39. Оптимизация PSS

## 2.31. Частотная область

Помимо моделирования во временной области ядро для динамических расчетов позволяет изучать сети, машины, валы и системы управления в частотной области. Он не только может анализировать элементы систем управления, но также исследовать сети, системы защиты и машины на разных частотах (рис. 2-23).

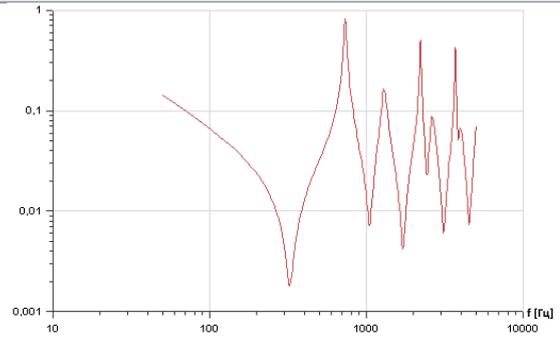


Рис. 2-40. Частотная область

## 2.32. Фликер

Фликер — это видимое изменение яркости лампы из-за быстрых колебаний напряжений в энергосистеме.

Причиной является падение напряжения, создаваемое полным сопротивлением источника в сети, из-за меняющегося тока нагрузки оборудования или установки. Эти колебания во времени создают эффект фликера. Последствия могут быть разными: от дискомфорта до эпилептических припадков у фоточувствительных людей. Фликер также может повлиять на чувствительное электронное оборудование, например телевизионные приемники и промышленные процессы, которые зависят от бесперебойного электропитания. Требования к оценке фликера определены в стандартах. Два разных стандарта могут использоваться отдельно друг от друга. На рис. 2-24 показаны результаты оценки фликера.

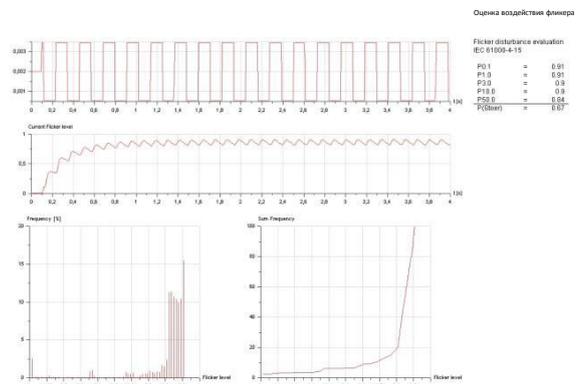


Рис. 2-41. Оценка воздействия фликера

## 2.33. Кручение

В некоторых странах, например в США, Канаде, Китае и Бразилии, электроэнергию необходимо передавать по очень длинным линиям электропередачи из-за больших расстояний между генерирующими предприятиями и нагрузками. На линиях электропередачи используются последовательно включенные конденсаторы для увеличения пропускной способности, повышения устойчивости энергосистемы и компенсации падения напряжения из-за высокой индуктивности линии.

Наличие последовательно включенных конденсаторов в энергосистеме привело к возникновению явления подсинхронного резонанса (SSR). Это явление вызвало разрушение двух валов генератора в начале 1970-х годов. После этого для изучения этого явления и разработки мер по предотвращению его разрушительного эффекта были предприняты значительные усилия.

В дополнение к модели электрической системы, в которой

генераторы представлены уравнениями Парка, а полная проводимость — дифференциальными уравнениями, учитывается модель вала турбогенератора. Узел вала моделируется как  $n$  вращающихся сосредоточенных масс, связанных с  $n-1$  вращающихся пружин. Например, сосредоточенные массы паровой турбины обычно служат для представления основных секций турбины: высокого давления (HP), промежуточного давления (MP) и различных турбин низкого давления (LPA, LPB), как показано на рис. 2-25.

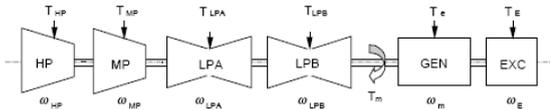


Рис. 2-41. Торсионная модель паровой турбины

## 2.34. Профиль напряжения. Многопроводниковые системы

Этот модуль служит для непрерывных расчетов режима в рамках исследований многопроводниковых систем, например железнодорожных туннелей (рис. 2-26).



Рис. 2-42. Многопроводниковая система

## 2.35. Модели

### 2.35.1. Постоянные линии

Модуль расчета постоянных линий служит для определения характеристических параметров воздушных линий и подземных кабельных линий. Параметры линии, необходимые для анализа сети (расчет режима, короткие замыкания, помехи и др.), можно рассчитать по геометрической конфигурации (например, башенные опоры или траншея) и типу воздушной или кабельной линии. Возможен расчет следующих систем:

- однофазные системы с обратным проводником в земле;
- двухфазные системы (системы переменного тока, например железнодорожные системы);
- трехфазные системы.

Возможны секции до 9 параллельных систем с разными напряжениями.

Матрица полной проводимости может автоматически назначаться элементам модели сети, созданным в PSS®SINCAL или PSS®NETOMAC.

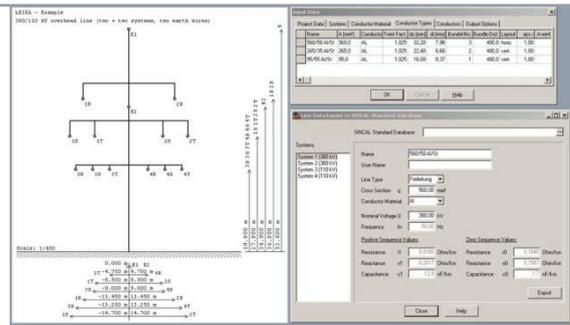


Рис. 2-43. Пример модуля постоянной линии

### 2.35.2. Графический конструктор модели — NETCAD/BOSL

PSS®SINCAL включает автономное приложение — графический конструктор модели (GMB). Графический конструктор модели позволяет легко создавать динамические модели с помощью графических блоков. Это простое и быстрое средство рисования для реализации, редактирования и документирования динамических моделей:

- Системы возбуждения (APH).
- Регуляторы турбины.
- Стабилизаторы энергетической системы.
- Ограничитель недо- или перевозбуждения.
- Модели HVDC.
- Модели FACTS.
- Модели нагрузок.
- Модели трансформаторов.
- Модели новых источников (например, обобщенные ветровые модели).
- Модели новых устройств накопления.
- Функции защиты.

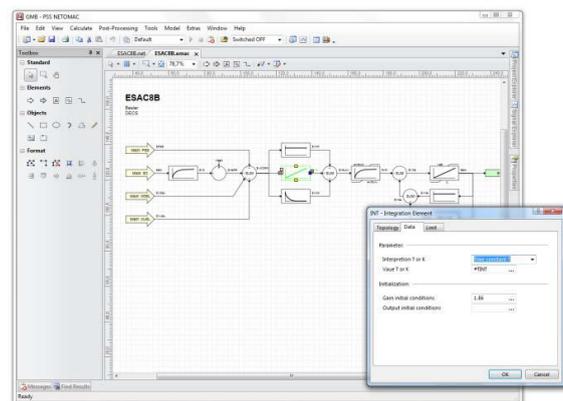


Рис. 2-44. Модуль графического конструктора

Система графического конструктора моделей включает большую библиотеку символов, которая содержит более 100 видов блоков управления в виде символов. Пользователь формирует диаграммы системы и блок-схему путем графического соединения символов из библиотеки. Ввод данных происходит через объектно-ориентированные маски, которые снабжены сокращенными и полными текстовыми подсказками. Программа также позволяет

комбинировать группы связанных символов в новые независимые символы как макромодел. Их можно добавлять в библиотеку символов или в пользовательскую библиотеку.

Библиотека символов BOSL (блочно-ориентированного языка моделирования) содержит более 100 функциональных блоков. Блоки можно комбинировать с любыми управляющими структурами с открытым или закрытым контуром или с аналитическими устройствами при помощи графического интерфейса. Помимо простейших блоков, таких как PID-элементы, библиотека включает сложные «блоки», например FFT (быстрое преобразование Фурье). Контроллеры можно сохранять в библиотеке как подсистемы, чтобы их можно было быстро присоединить к системе. Параметры можно вводить и изменять индивидуально либо использовать значения по умолчанию. Дополнительно можно внедрить комплексные функции управления с открытым/закрытым контуром и защиты при помощи блочно-ориентированного языка моделирования. Программа позволяет подключить внешние пользовательские подпрограммы (открытый контур) и имеет интерфейс связи с приложениями реального времени (замкнутый контур). Блочно-ориентированные структуры можно комбинировать с аналогичными FORTRAN терминами, такими как математические функции, логические элементы или инструкции, например IF/THEN/ELSE.

Пользователь может переключаться между двумя видами блоков: 1) европейские символы по DIN и 2) передаточные функции. Графический конструктор моделей также включает функции тестирования и отладки, аналогично Matlab® Simulink®. Когда проектирование модели закончено, компилирование и компоновка не требуются. Пользователь сразу может запускать PSS®SINCAL и динамическое моделирование.

На рис. 2-45 показана модель основного управления напряжением ветровой машины с DFIG (асинхронный генератор двойного питания), построенная с помощью BOSL.

Модели производителей типа «черный ящик» с входными и выходными величинами можно подключать в NetCad.

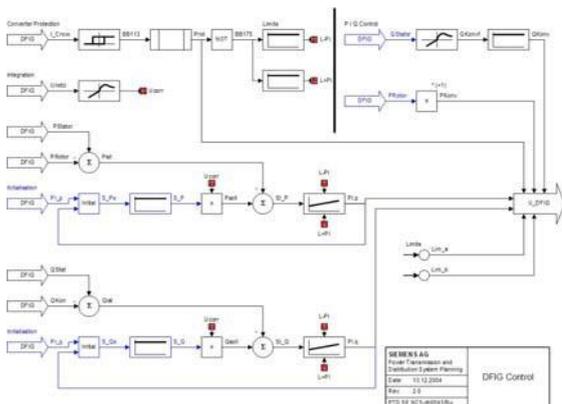


Рис. 2-45. Контроллер напряжения DFIG

### 2.35.3. Модели производителей

PSS®SINCAL и PSS®NETOMAC позволяют использование моделей производителей, аналогично программе Matlab SIMULINK®. С помощью дополнительного стандартного файла заголовка (см. приложение G стандарта МЭК 61400-

27) эти модели можно компилировать и привязывать в виде DLL-файла. Такие DLL-файлы можно передавать в другие организации как «черные ящики».

Этот модуль является связующим звеном между внешним dll файлом и строит стандартный макрос, который затем может использоваться непосредственно при моделировании систем.

### 2.35.4. Типовые ветровые модели

Пакет типовых ветровых моделей включает следующие модели для расчета режима и устойчивости:

- Асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (SCIG)

Модель SCIG представляет ветровую турбину с фиксированной скоростью. Она включает в себя модель асинхронной машины, механическую модель с одной или двумя массами, аэродинамическую модель, защиту от максимального/минимального напряжения, конденсатор компенсации холостого хода и блок переключаемых конденсаторов.

- Асинхронный генератор двойного питания (DFIG):

Модель включает представление асинхронной машины, цепи постоянного тока, контроллер и защиту преобразователя ротора (повышение реактивных токов, шунтирующий вентиль), контроллер инвертора со стороны линии, механическую модель с одной или двумя массами, защиту от максимального/минимального напряжения.

- Ветрогенератор полного преобразования (FCSG):

Модель FCSG построена на базе генератора с регулируемой скоростью. Она включает модель синхронной машины, преобразователь и контроллер, контроллер напряжения перем. тока / реактивной мощности, повышение реактивного тока, ограничение тока, виртуальный контроллер инерции/шага, аэродинамическую модель, защиту от превышения скорости / напряжения пост. тока и защиту от максимального/минимального напряжения переменного тока.

### 2.35.5. Типовые модели FACTS

Пакет моделей FACTS включает следующие модели для расчета режима и устойчивости:

- SVC — статический компенсатор реактивной мощности.
- SVC Plus — STATCOM.
- Конденсаторы с механической коммутацией.
- TCSC — тиристорно-управляемая продольная компенсация.

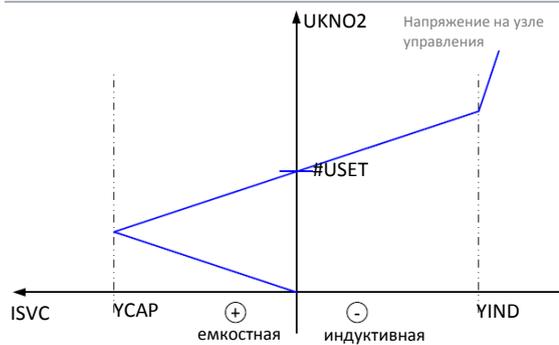


Рис. 2-46. Характеристика SVC

## 2.36. Автоматизация рабочих процедур

### 2.36.1. Создание схем присоединения распределенной генерации к сети (EEG)

PSS®SINCAL предлагает не только отдельные методы расчета, но и комплексные решения.

Одной из все более распространенных задач проектирования является присоединение распределенной генерации к сети. PSS®SINCAL предоставляет инструмент, который позволяет проверить эти энергоустановки на соответствие требованиям к межсетевым соединениям, предписанным национальными стандартами (BDEW в Европе или NER в Австралии). Другие стандарты будут добавлены позднее.

Проверка на соответствие стандарту подключения — это комплекс из нескольких методов расчета (расчет режима, короткие замыкания, гармоники и др.) и сравнение результатов с допустимыми ограничениями (национальных стандартов. Для этого необходимо более подробно описать технические параметры генератора:

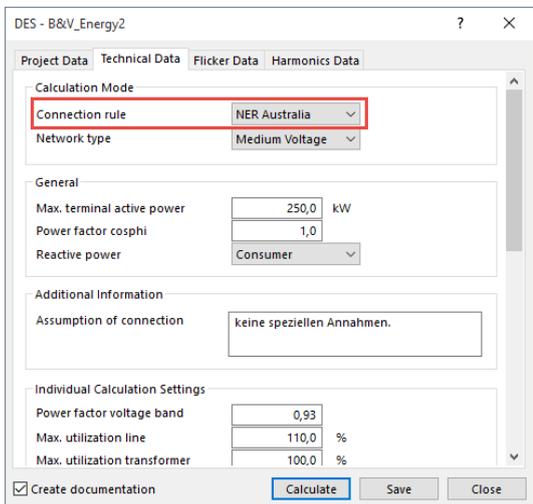


Рис. 2-47. Параметры фотоэлектрического генератора

Чтобы запустить комплексный расчет, необходимо просто «щелкнуть» на соответствующем генераторе. За один прогон проверяются, например требования стандарта BDEW:

- Загрузка всех элементов.
- Медленные изменения напряжения.
- Быстрые изменения напряжения.
- Оценка фликера.

## ■ Оценка гармоник.

Краткий обзор выводится в специальном окне просмотра результатов:

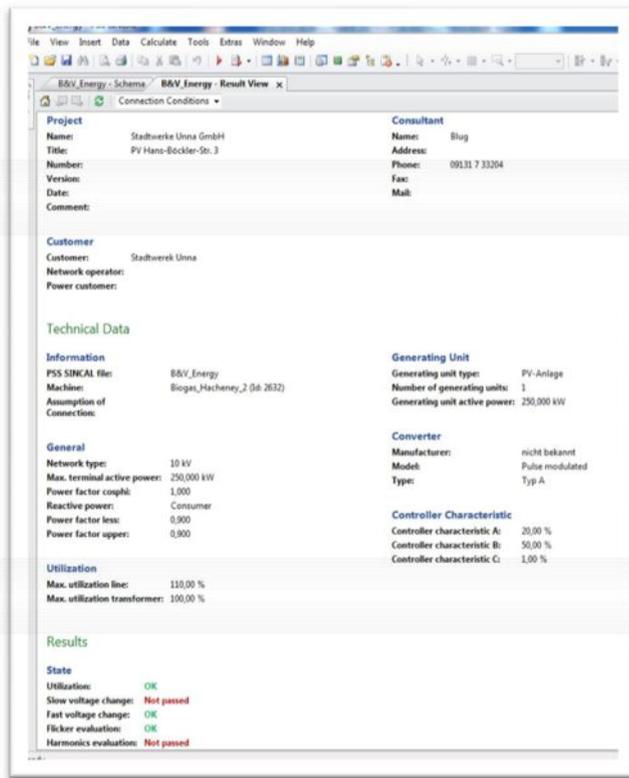


Рис. 2-48. Обзор условий присоединения

Полный отчет можно сформировать одним кликом. Полученный документ Microsoft® Word® готов для отправки на согласование контролирующему органу или оператору сети.

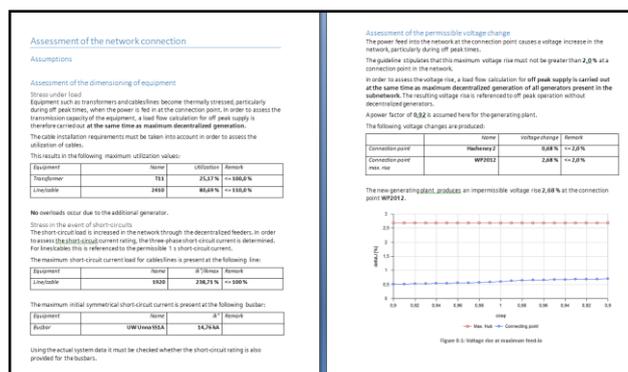


Рис. 2-49. Фрагмент отчета в Microsoft® Word®

### 2.36.2. Расчет максимальной подключаемой мощности

В некоторых регионах мира стоит вопрос не столько стоит ли подключать распределенные источники генерации к сети, а сколько какова максимальная мощность этих источников, которая может быть подключена без необходимости внесения изменений в сеть с точки зрения надежности ее работы и качества передаваемой электроэнергии.

Для расчетов такого типа необходимо провести следующие изыскания. Они могут быть определены с помощью

измерений рабочих точек в дополнении к данным нормального режима работы:

- Термическая нагрузка элементов сети в пределах заданных пользователем диапазонов изменения нагрузки и токов короткого замыкания.
- Установившиеся изменения напряжения в заданных ограничениях.
- Динамические изменения напряжения в заданных ограничениях.
- Допустимый реверс мощности
- Корректная работа релейной защиты.

Для каждого узла сети программа рассчитывает максимальную мощность, которая допустима для подключения без нарушения заданных ограничений.

Результаты доступны в виде кривых на графике сети, либо в таблице результатов.

### 2.36.3. Объединение моделей сети

SINCAL поддерживает запуск рабочих процессов с помощью контроля извне, например SCADA системой.

Примером такого процесса может быть, например, слияние всех высоковольтных сетей Европы, полученных из 42 независимых моделей операторов в формате CIM CGMES вместе с моделями распределительных сетей в других форматах. Данная задача выполняется в цикле 5 минут. Происходит оценка модели по результатам расчета режима и затем она эквивалентруется в соответствии с разными критериями для того, чтобы предоставить операторам сети выполнить их задачи, например, проанализировать безопасность электроснабжения, создать план ремонтных работ или скоординировать установку компенсаторных устройств.

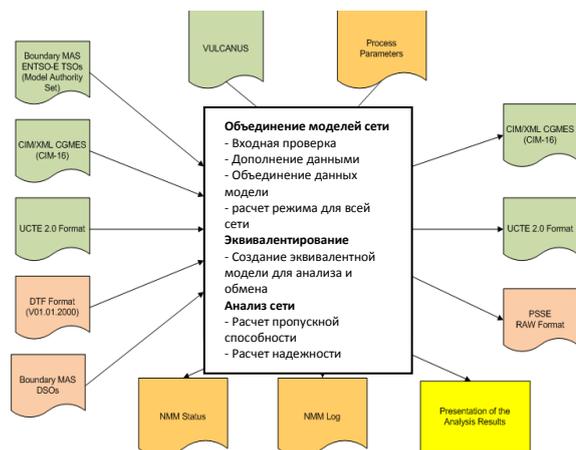


Рис. 2-50. Объединение моделей для ENTSO-E

Также могут быть выполнены расчеты ограничений пропускной способности линий на день вперед, на два дня вперед или даже расчет для текущего дня, а также моделирование с шагом в 15 минут.

## 2.37. Интеграция и приложения

### 2.37.1. Объединение моделей

Этот модуль позволяет объединить две модели сети, созданные в одной и той же версии PSS SINCAL из одного

источника, но имеющие различные изменения.

Например, PSS/E – это программное обеспечение, в котором была создана модель сети, но для проведения анализа релейной защиты, используется PSS SINCAL. После первого импорта сети в PSS SINCAL, были добавлены данные по устройствам защиты, а также были сделаны другие изменения. Через несколько месяцев было сделано обновление модели в PSS/E. Теперь эти две модели могут быть скомпонованы, как показано на рисунке.

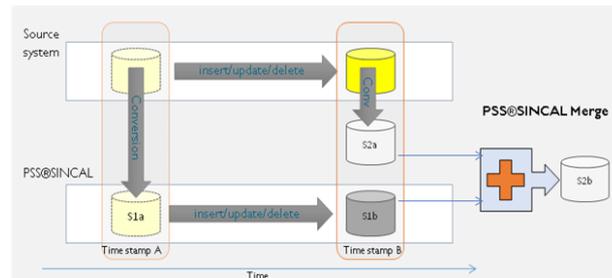


Рис. 2-51. Интерактивные диаграммы и связанные модели сети.

### 2.37.2. Стандартные интерфейсы

В поставку ПО PSS SINCAL входит несколько стандартных интерфейсов, которые позволяют работать с ГИС системами напрямую без дополнительной настройки.

Стандартные интерфейсы предусмотрены для следующих ГИС систем: Integrgraph (Hexagon), ESRI, MapInfo, AutoCAD и Smallworld CIM.

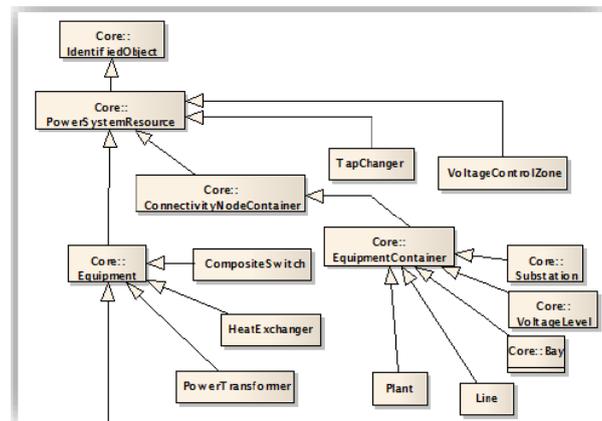


Рис. 2-52. CIM модель Smallworld GIS.

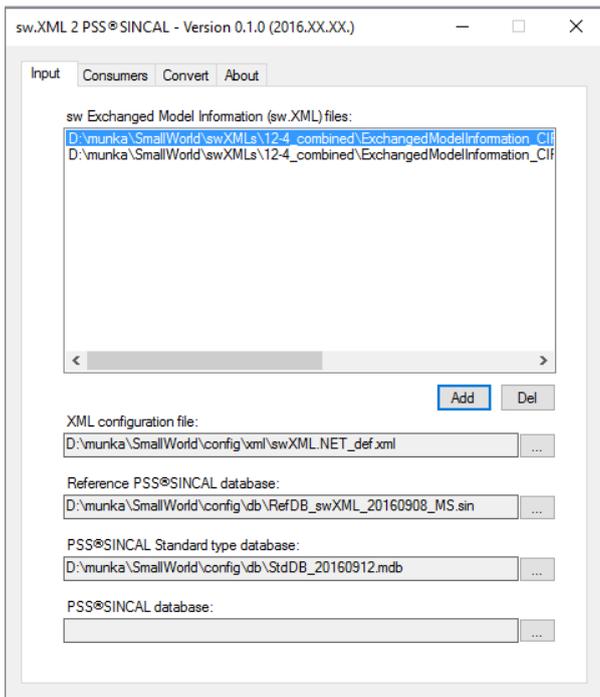


Рис. 2-53. Интерфейс для трансфера модели из Smallworld в PSS SINCAL

### 2.37.3. Моделирование в реальном времени

Одна из главных особенностей программы PSS®NETOMAC — возможность моделирования в реальном времени. Такое моделирование используется, например, для следующих целей:

- Тестирование в контуре оборудования замкнутого цикла (устройства защиты, контроллер и т. д.). Требуется дополнительные аппаратные средства (DINEMO-II, OMICRON).

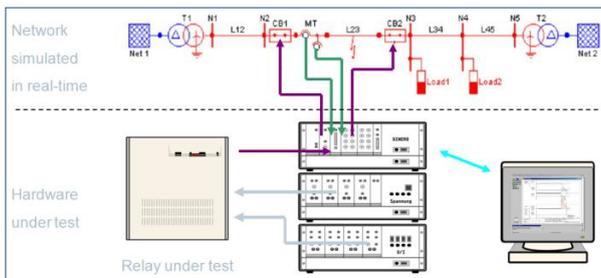


Рис. 2-54. Тестирование в контуре оборудования замкнутого контура

- Динамическая оценка безопасности (SIGUARD®): ядро динамического расчета добавлено в системы SCADA.



Рис. 2-55. SPGUARD DSA

- Ядро динамического расчета в системах управления

технологическим процессом (например, SICAM230, T3000).

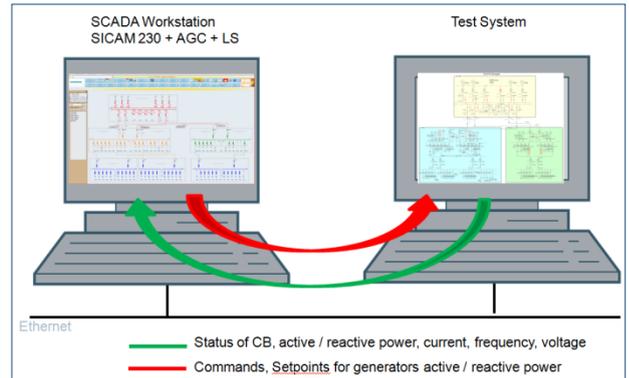


Рис. 2-56. Интерактивные диаграммы и связанные модели сети.

- Моделирование в режиме времени, близком к реальному

С помощью «Аварийного и предупредительного инструмента», настроенного для сетей среднего и низкого напряжения, можно получать информацию о состоянии сети. Это значительно улучшает контроль и наблюдаемость в распределительной сети, позволяя пользователю защитить сеть в случае критических ситуаций без дорогостоящих инвестиций в оборудование для мониторинга. Для этого используются данные в реальном времени, получаемые от систем учета, таких как, например eMeter. Данные от этих систем используются для калибровки предварительно настроенной модели сети и получения данных о проблемах путем сравнения измеренных данных с нормальным состоянием сети.

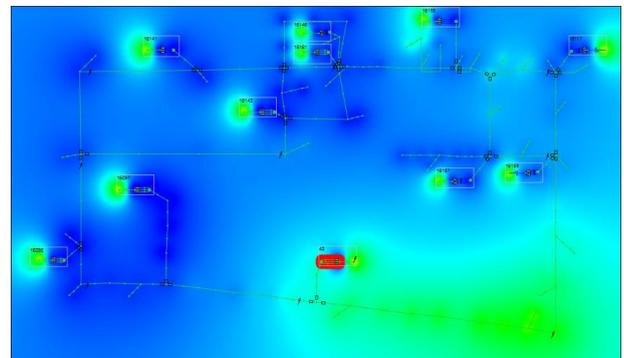


Рис. 2-57. Функция предупреждения об аварии.

## 3. Газоснабжение



Расчеты для разных уровней давления

Пакет PSS®SINCAL «Газоснабжение» служит для расчета режимов потока в замкнутых сетях с разными уровнями давления. Он позволяет выполнять как расчеты установившегося состояния, так и динамические расчеты. Воздействие временных событий и временных рядов на работу сети можно отображать как функцию от местоположения на различных графиках.

С помощью динамического моделирования можно наблюдать различные состояния сети и их изменения в разные моменты. Таким образом, на основе заданных временных рядов (для потребителей, снабжения, управления и т. д.) и временных событий (положение запорной арматуры, отключение потребителей и т. д.) программа вычисляет значения объемов, расходов и давления в сети.

Поддерживаются следующие аналитические методы PSS®SINCAL:

- Тепловые и гидравлические расчеты.
- Профили нагрузки.
- Анализ послеаварийных режимов.
- Моделирование динамических процессов.

### 3.1. Гидравлические расчеты

Программа может рассчитывать любые давления, объемы и распределение температуры в установившемся режиме замкнутых сетей.

#### 3.1.1. Особенности

- Программа работает по методу Кросса и второму правилу Кирхгофа.
- Для вычисления лямбды может использоваться одна из следующих формул: Никурадзе, Прандтля — Колбрука или Унгера Прандтля — Колбрука.
- Недостаточная поставка

Если перепад давлений ниже минимального, хотя открыты все клапаны, потребитель получает меньший объем. При необходимости этот эффект можно моделировать в PSS®SINCAL.

- Перераспределение снабжения  
Контроль за ограничениями подачи и перераспределение энергии между источниками.
- Потребление, зависимое от температуры  
Это позволяет рассматривать одновременность потребителей в рамках планирования, что помогает создавать более реалистичные модели с более низким уровнем потребления. Результаты расчета позволяют снизить затраты на создание новой сети или эксплуатировать старую сеть без необходимости расширения.
- Блокировка трубопроводов  
Возможна блокировка трубопроводов (и других элементов) с одной или с обеих сторон без удаления этих элементов.
- Определение характеристических кривых насосов и клапанов.
- Проверка рабочих точек и ограничений насосов, клапанов и сетевых групп.
- Анализ слабых мест и цветовое обозначение выявленных компонентов системы на схеме сети.
- Графическое обозначение элементов, пострадавших от разрывов труб.
- Определение специальных групп сетевых элементов, например групп потребителей с идентичным поведением.
- Насосы и запорная арматура в любых сетевых условиях, например в контурах.

#### 3.1.2. Элементы сети

- Узлы  
Учитывается геодезическая высота.  
Ввод координат в системе Гаусса — Крюгера.
- Узел с утечкой  
Только в динамических расчетах. Пользователь может ввести время начала и окончания утечки, поверхность утечки (мм<sup>2</sup>), давление и наличие/отсутствие сопротивления.
- Генераторы  
Предусмотрены следующие типы вводов:
- Подача по расходу  
Входной расход в точке подачи является постоянным и не зависит от давления в источнике. Постоянную подачу можно задать в Нм<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/ч и МВт. Для динамического моделирования можно учитывать исходные величины.
- Подача по давлению  
Постоянное избыточное давление в точке подачи. Давление не зависит от распределения нагрузки в сети. Подача по давлению компенсирует разность между суммарным входом в точках подачи и суммарным выходом в точках распределения.
- Трубопроводы

Для трубопроводных элементов вычисляются потери давления.

Возможно создание базы данных труб с соответствующими внутренними диаметрами.

При расчете учитывается шероховатость труб, дополнительный коэффициент изгиба трубопроводов, величина «дзета», годовое увеличение шероховатости и годовое уменьшение диаметра, а также утечки.

Параметры трубы можно ввести индивидуально или как ссылку на стандартный тип.

#### ■ Запорная арматура — шибберные задвижки

Имеющие клапан трубы, для которых может регулироваться диаметр клапана. Кроме того, можно ввести величину «дзета» как функцию от положения клапана. Такое поведение можно определить в виде таблицы/диаграммы.

#### ■ Обратный клапан

Трубы с односторонним потоком (от начала трубы до конца). Диаметр является функцией от скорости потока.

Потеря давления на обратном клапане — функция угла открытия, который, в свою очередь, является функцией скорости.

#### ■ Регулятор давления

Этот элемент сети регулирует давление, поддерживая давление на том или ином узле в соответствии с уставкой. При регулировании давление может повышаться или понижаться.

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, циркуляционного объема.

Проверяются предохранители и ограничения давления.

#### ■ Постоянное снижение давления

Заданное снижение давления от начальной до конечной точки. Снижение давления не зависит от выходного расхода.

#### ■ Компрессор

Заданное увеличение давления от начальной до конечной точки. Этот элемент может регулировать давление на любом узле.

#### ■ Линия постоянного расхода

Расход линии является постоянным и не зависит от распределения нагрузки в сети и давления.

#### ■ Регулятор перепада давления

Этот элемент сети поддерживает заданный перепад давления между определенными узлами. Точка регулирования может находиться с обеих сторон трубы.

#### ■ Буфер давления

Этот элемент моделирует газовый резервуар с переливом.

Буфер давления имеет входящий или исходящий поток. При давлении ниже заданного порога потребление отсутствует. Если давление превышает пороговую величину, потребление рассчитывается так, чтобы давление равнялось заданному.

При динамическом расчете начальное давление берется

из расчета установившегося состояния.

#### ■ Потребитель

Потребители создают потоки газа в трубопроводах, эквивалентные заданному потреблению и не зависящие от давления. Пользователь может настраивать типы потребителей с разными характеристиками и присваивать эти типы группам потребителей.

### 3.1.3. Отчеты и диаграммы

#### Таблицы и отчеты

Пользователь может настраивать содержание отчетов с помощью списков выбора.

#### ■ Общие данные сети.

#### ■ Данные всех элементов.

■ Отчеты по узлам с указанием давлений (абсолютное, рабочее, атмосферное), высоты и расхода ( $\text{Нм}^3/\text{ч}$ ), а также всех присоединенных элементов с расходом, скоростью потока и перепадом давления.

■ Трубопроводные элементы с указанием расхода, давления, падения давления, скорости потока, длины, диаметра и т. д.

■ Сводные результаты с минимальным и максимальным давлением и максимальной скоростью.

#### Диаграммы

Продольный разрез:

Пользователи могут свободно прокладывать трассы по сети с отображением результатов, таких как:

#### ■ давление,

#### ■ атмосферное давление,

по автоматически построенным маршрутам.

#### Схема сети

Графическое представление следующих величин:

■ Узлы: высота, потребление, давление абсолютное, давление относительное.

■ Трубопроводы: расход, давление абсолютное, падение давления, длина, диаметр, скорость потока.

Функции фильтров с цветовым обозначением для давления, расхода, скорости, потребления и т. д.

## 3.2. Профили нагрузки

#### Временные ряды

Моделирование профиля нагрузки — особый вид расчета потоков, который позволяет моделировать изменения потребления или режимов вводов в соответствии с хронологическими профилями, то есть с суточными профилями с 15-мин шагом.

Для этой задачи модели потребителей и вводов включают не только номинальные параметры, но и присвоенные им профили нагрузки/ввода, которые можно определять в абсолютных или относительных величинах.

Потоки газа в сети рассчитываются исходя из указанных номинальных параметров и временных рядов. Анализ с временными рядами также позволяет моделировать потребление с учетом эффекта одновременности

в зависимости от количества потребителей одного типа. Для этого необходимо настроить и назначить типы потребителей.

Результат моделирования с временными рядами:

- Выводятся результаты расчета потоков по каждому временному шагу, включая анализ максимальных и минимальных величин (давление и т. д.).
- Диаграммы суточных профилей для результатов, полученных на выбранных узлах и ветвях сети.

### 3.3. Анализ послеаварийных режимов

Модуль анализа послеаварийных режимов служит для оценки характеристики сети при отключении некоторых компонентов сети. Результат анализа — выявление слабых мест и режимов, которые могут привести к перерывам в снабжении.

Анализ послеаварийных режимов состоит из серии расчетов потоков. В каждом отдельном расчете потокораспределения учитывается отключение одного или нескольких элементов. PSS®SINCAL может моделировать отключение одного компонента или группы компонентов сети. Возможно моделирование условных и безусловных отключений, а также базовых и результирующих отключений.

Все актуальные результаты (минимальные и максимальные величины, неудовлетворение нужд потребителей и т. д.) регистрируются и обобщаются в четко структурированном диалоговом окне результатов.

### 3.4. Моделирование динамических процессов

Метод служит для расчета времени и маршрута транспортировки газа:

- Расчет времени и маршрута транспортировки для произвольно заданных потребителей.
- Результаты могут отображаться в графическом виде.
- Маршруты транспортировки по сети определяются автоматически даже в замкнутых сетях.

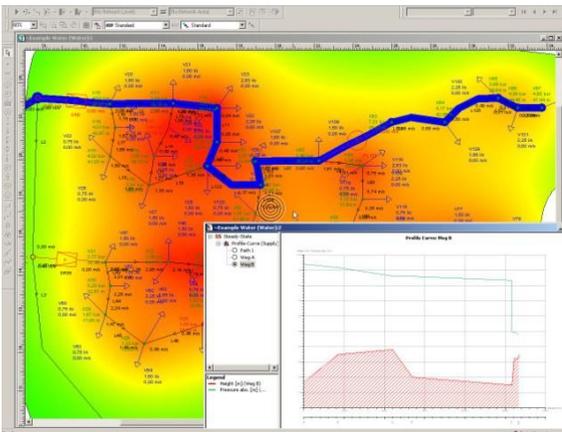


Рис. 3-1. Оценка результатов на графике сети с цветовой маркировкой и на диаграмме

### 3.5. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета или системе SCADA

Интерфейс Smart F поддерживает динамическую передачу данных учета или данных о состоянии сети для расчета потока, например генерация или нагрузка с метками времени может быть загружена автоматически с помощью специально созданных COM интерфейсов. Связь между элементами сети и измеренными величинами сделана с помощью UUIDs (универсальных уникальных идентификаторов).

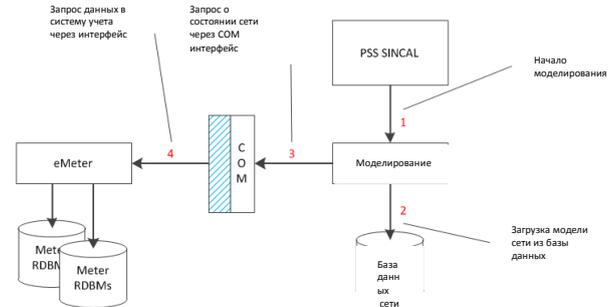


Рис. 3-2. Передача измеренных величин с помощью интерфейса Smart F.

## 4. Водоснабжение



Расчет установившегося режима, расчет динамических процессов и расчет заполнения водонапорной башни

В области водоснабжения PSS®SINCAL позволяет выполнять расчеты установившегося и динамического режима потоков в любой замкнутой сети с различными уровнями давления для труб, заполненных ньютоновскими жидкостями. Для расчета применяется метод Кросса.

Расчет установившегося режима дает такие результаты, как давление, расход и скорость потока, а также рабочие точки регулирующих устройств. Кроме того, предоставляются графики характеристик давления.

С помощью динамического моделирования можно наблюдать различные состояния сети и их изменения в разные моменты. Таким образом, на основе заданных временных рядов (потребители, снабжение, регуляторы и т. д.) и временных событий (положение запорной арматуры, отключение потребителей и т. д.) программа вычисляет значения объемов, расходов и давления в сети.

Модель заполнения водонапорной башни позволяет выполнять квазидинамические расчеты водопроводной сети. Такие расчеты учитывают изменения давления в сети, вызываемые входящими и выходящими потоками водонапорных башен. Эффект от изменения нагрузки сети и от расположения регулирующих элементов моделируется с помощью временных событий и временных рядов.

Модель заполнения водонапорной башни обеспечивает оптимальное размещение новых и использование существующих емкостей. Результаты можно визуализировать в виде графиков давления, уровня воды, заполненного объема, входящих и выходящих потоков водонапорных башен, построенных как функции от времени.

Поддерживаются следующие аналитические методы PSS®SINCAL:

### Обзор методов

- Гидравлические расчеты.
- Профили нагрузки.
- Заполнение водонапорной башни.
- Анализ послеаварийных режимов.
- Моделирование динамических процессов.

## 4.1. Гидравлические расчеты

Программа может рассчитывать любые давления, объемы и распределение температуры в установившемся режиме замкнутых сетей.

### 4.1.1. Особенности

- Программа работает по методу Кросса и второму правилу Кирхгофа.
- Для вычисления лямбды может использоваться одна из следующих формул: Никурадзе, Прандтля — Колбрука или Унгера Прандтля — Колбрука.
- Недостаточная поставка

Если перепад давлений меньше минимального, хотя открыты все клапаны, потребитель получает меньший объем. При необходимости этот эффект тоже можно учесть.

- Перераспределение снабжения

Контроль за ограничениями подачи и перераспределение энергии между источниками.

- Потребление, зависимое от температуры

Это позволяет рассматривать одновременность потребителей в рамках планирования, что помогает создавать более реалистичные модели с более низким уровнем потребления. Результаты расчета позволяют снизить затраты на создание новой сети или эксплуатировать старую сеть без необходимости расширения.

- Блокировка трубопроводов

Возможна блокировка трубопроводов (и других элементов) с одной или с обеих сторон без удаления этих элементов.

- Определение характеристических кривых насосов и клапанов.

- Проверка рабочих точек и ограничений насосов, клапанов и сетевых групп.

- Анализ слабых мест и цветовое обозначение выявленных слабых мест.

- Графическое обозначение элементов, пострадавших от разрывов труб.

- Определение специальных групп сетевых элементов, например групп потребителей с определенным поведением.

- Насосы и запорная арматура в любых сетевых условиях, например в контурах.

### 4.1.2. Элементы сети

- Узлы

Учитывается геодезическая высота.

Ввод координат в системе Гаусса — Крюгера.

- Генераторы

Предусмотрены следующие типы вводов:

- Водонапорная башня

Давление в водонапорной башне остается

постоянным независимо от потребления в сети. Уровень воды задает пользователь. Водонапорная башня компенсирует разность между суммарным входом в точки подачи и суммарным выходом в точках распределения.

#### ■ Возвратно-поступательный насос

Этот элемент обеспечивает подачу воды в сеть с постоянным расходом на выходе. Вода поступает из резервуара, который принимается с неограниченным объемом, либо из питающей сети выше по потоку. Расход на выходе не зависит от давления в узле-источнике.

#### ■ Центробежный насос

Центробежный насос обеспечивает подачу воды в соответствии с заданными характеристиками ввода. В качестве источника принимается резервуар с неограниченным объемом или питающая сеть выше по потоку. В качестве исходной величины для моделирования используется прогнозируемая производительность. Рабочая точка насоса определяется путем интерполяции между ближайшими уставками на характеристике насоса.

#### ■ Трубопроводы

Для этого элемента вычисляются потери давления.

Возможно создание базы данных труб с соответствующими внутренними диаметрами.

При расчете учитывают шероховатость труб, дополнительный коэффициент изгиба трубопроводов, величину «дзета», годовое увеличение шероховатости и годовое уменьшение диаметра, а также утечки.

Для групп трубопроводов можно настроить типы труб с определенными параметрами.

#### ■ Запорная арматура — шибберные задвижки

Имеющие клапан трубы, для которых может регулироваться диаметр клапана. В качестве дополнительной функции можно ввести величину «дзета» как функцию от положения клапана. Эту функцию можно определить в виде таблицы/диаграммы.

#### ■ Обратный клапан

Трубы с однонаправленным потоком. Сечение является функцией от скорости потока.

Потери давления на обратном клапане — функция угла открытия, который, в свою очередь, является функцией скорости.

#### ■ Регулятор давления

Элемент сети, который регулирует давление, поддерживая давление на том или ином узле в соответствии с уставкой. Этот элемент может как повышать, так и снижать давление.

Положение клапана рассчитывается по величине «дзета».

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, циркуляционного объема.

Проверяются предохранители и ограничения давления.

#### ■ Постоянное снижение давления

Заданное снижение давления от начальной до конечной точки. Снижение давления не зависит от выходного расхода.

#### ■ Регулятор перепада давления

Заданная величина регулирования представляет собой разность давлений на двух соответствующих узлах. Точка регулирования может находиться с обеих сторон трубы.

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, циркуляционного объема.

#### ■ Насосы

Насосы отличаются по типу работы:

■ Фиксированная производительность → возвратно-поступательный насос.

■ Фиксированная скорость → центробежный насос.

■ Фиксированная высота подачи → регулятор давления.

■ Фиксированное давление → регулятор давления.

Подробную информацию см. по каждому регулятору.

#### ■ Буфер давления

Этот элемент моделирует резервуар воды с переливом.

При давлении ниже заданной величины потребление отсутствует. Если давление превышает заданную пороговую величину, потребление рассчитывается так, чтобы давление равнялось заданному.

При расчете динамических процессов начальное давление берется из расчета установившегося режима. С этой величиной заполнение башни рассчитывается по характеристике буфера давления. Буфер давления имеет входящий или исходящий поток.

#### ■ Потребитель

Потребители создают в сети потоки воды, эквивалентные их потреблению в выходных трубопроводах. Расход не зависит от давления воды у потребителя. Для групп потребителей можно настроить типы потребителей с определенными параметрами.

### 4.1.3. Отчеты и диаграммы

#### Таблицы и отчеты

Пользователь может настраивать содержание отчетов с помощью списков выбора.

■ Общие данные сети.

■ Данные всех элементов.

■ Отчеты по узлам с указанием давления, высоты и всех присоединенных элементов с расходом, скоростью потока и перепадом давления.

■ Трубопроводные элементы с указанием расхода, давления, падения давления, скорости потока, длины, диаметра.

- Сводные результаты с минимальным и максимальным давлением и максимальной скоростью.

## Диаграммы

### Продольный разрез

Пользователи могут свободно прокладывать трассы по сети с отображением величин, таких как:

- давление,
- высота,

по автоматически построенным маршрутам.

## Схема сети

Графическое представление следующих величин:

- Узлы: высота, потребление, абсолютное и относительное давление.
- Трубы: расход, абсолютное давление, перепад давления, длина, диаметр, скорость потока, тип трубы.

Функции фильтров с цветовым обозначением для давления, расхода, скорости, потребления и т. д.

## 4.2. Профили нагрузки

### Временные ряды

Расчет профиля нагрузки — особый вид расчета потоков, который позволяет моделировать изменения потребления или режимов ввода в соответствии с хронологическими профилями, то есть с суточными профилями с 15-мин шагом.

Для этой задачи модели потребителей и вводов включают не только номинальные параметры, но и присвоенные им профили потребления/ввода, которые можно определять в абсолютных или относительных величинах.

Потоки воды рассчитываются исходя из указанных номинальных параметров и временных рядов. Анализ с временными рядами также позволяет моделировать потребление с учетом эффекта одновременности в зависимости от количества потребителей одного типа. Для этого необходимо настроить и назначить типы потребителей.

Выдаются следующие результаты:

- Все расчеты потоков по каждому временному шагу, включая анализ максимальных и минимальных величин (давление потоков и т. д.).
- Диаграммы суточных профилей для результатов, полученных на выбранных узлах и ветвях сети.

## 4.3. Заполнение водонапорной башни

При взаимодействии с сетью входные и выходные потоки водонапорных башен вызывают изменение геодезической высоты уровня воды в них.

Метод заполнения водонапорной башни PSS®SINCAL позволяет рассчитать требуемое заполнение водонапорной башни на следующий день.

Уровень воды в башне косвенно указывает на давление в узле водонапорной башни.

Объем запасенной воды определяется формой

водонапорной башни и высотой уровня воды. Форму водонапорной башни вводит пользователь.

Время расчета и временной шаг можно настраивать произвольно. На диаграммах результатов модуля заполнения водонапорной башни показаны высота, давление, объем и расход как функции времени.

## 4.4. Анализ послеаварийных режимов

Модуль анализа послеаварийных режимов служит для оценки характеристики сети при отключении некоторых компонентов сети. Результат анализа — выявление слабых мест и режимов, которые могут привести к перерывам в снабжении.

Анализ послеаварийных режимов состоит из серии расчетов потоков. В каждом отдельном расчете потокораспределения учитывается отключение одного или нескольких элементов. PSS®SINCAL может моделировать отключение одного компонента или группы компонентов сети. Возможно моделирование условных и безусловных отключений, а также базовых и результирующих отключений.

Все актуальные результаты (минимальные и максимальные величины, неудовлетворение нужд потребителей и т. д.) регистрируются и обобщаются в четко структурированном диалоговом окне результатов.

## 4.5. Моделирование динамических процессов

Расчет времени и маршрута транспортировки воды:

- Расчет времени и маршрута транспортировки для произвольно заданных потребителей.
- Результаты могут отображаться в графическом виде.

Маршруты транспортировки по сети определяются автоматически даже в замкнутых сетях.

## 4.6. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета или системе SCADA

Интерфейс Smart F поддерживает динамическую передачу данных учета или данных о состоянии сети для расчета потока, например генерация или нагрузка с метками времени может быть загружена автоматически с помощью специально созданных COM интерфейсов. Связь между элементами сети и измеренными величинами сделана с помощью UUIDs (универсальных уникальных идентификаторов).

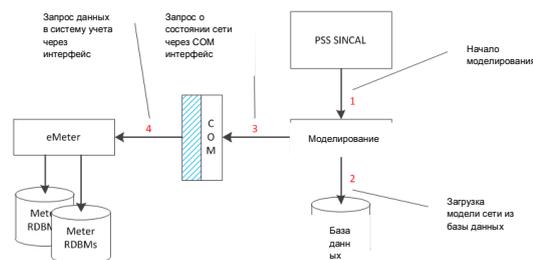


Рис. 4-1. Передача измеренных величин с помощью интерфейса Smart F.

## 5. Центральное отопление и охлаждение



Расчет подачи и обратного потока

Модуль «Центральное отопление и охлаждение» PSS®SINCAL позволяет определить, необходим ли расчет установившегося или динамического режима в любой замкнутой сети. Помимо давления, расходов и скоростей потока, выводится перепад давления между подачей и обратным потоком, рабочие точки насосов, температура и тепловая мощность. Также выдаются графики давления.

В подаче и/или обратном потоке могут дополнительно учитываться отдельные элементы. Для моделирования профилей потребления и давления, положения клапанов и аварий предусмотрены настройки временных рядов и временных событий.

Поддерживаются следующие аналитические методы PSS®SINCAL:

### Обзор методов

- Тепловые и гидравлические расчеты.
- Профили нагрузки.
- Анализ послеаварийных режимов.
- Моделирование динамических процессов.

### 5.1. Тепловые и гидравлические расчеты

Программа может рассчитывать любые давления, объемы и распределение температуры в установившемся режиме замкнутых сетей.

Сети могут иметь как симметричную, так и несимметричную схему и различные размеры подачи и обратного потока.

#### 5.1.1. Особенности

- Симметричные и несимметричные сети
 

Сети с 4 трубопроводами и более (2 трубы подачи и 2 трубы обратные).

Трубопроводы подачи могут присоединяться через байпас.
- Моделирование первичных и вторичных сетей
 

Программа может моделировать более одной независимой сети одновременно. Могут одновременно моделироваться сети с блокировкой, а также первичные и вторичные сети, присоединенные через теплообменники.

- Недостаточная поставка
 

Если перепад давлений меньше минимального, хотя открыты все клапаны, потребитель получает меньший объем. При необходимости этот эффект тоже можно учесть.
- Перераспределение снабжения
 

Контроль за ограничениями подачи и перераспределение энергии между источниками.
- Потребление, зависимое от температуры
 

Это позволяет рассматривать одновременность потребителей в рамках планирования, что помогает создавать более реалистичные модели с более низким уровнем потребления. Результаты расчета позволяют снизить затраты на создание новой сети или эксплуатировать старую сеть без необходимости расширения.
- Блокировка трубопроводов
 

Возможна блокировка трубопроводов (и других элементов) с одной или с обеих сторон без удаления этих элементов. Блокировка возможна и в несимметричных сетях.
- Определение характеристических кривых насосов и клапанов.
- Проверка рабочих точек и ограничений насосов, клапанов и сетевых групп.
- Анализ слабых мест и цветовое обозначение слабых мест на схеме сети.
- Графическое обозначение элементов, пострадавших от разрывов труб.
- Определение специальных групп сетевых элементов, например групп потребителей с определенным поведением.
- Учет разной температуры остывания у потребителей.
- Насосы и запорная арматура в любых сетевых условиях, например в контурах.
- Расчет регулируемого по температуре подмеса из трубопровода подачи в обратный трубопровод.
- Генераторы тепла/холода с разными температурами потока.
- Расчет замкнутого контура между подачей и обратным потоком.

#### 5.1.2. Элементы сети

- Узлы
 

Учитывается геодезическая высота.

Ввод координат в системе Гаусса — Крюгера.
- Генераторы
 

Предусмотрены следующие типы вводов:

  - Ввод по давлению
 

Постоянное давление при заданной температуре. Этот элемент может находиться в трубопроводе подачи и обратном трубопроводе. Давление можно

зафиксировать, указав температуру подачи или обратного потока либо разность температур.

- Ввод мощности

Мощность и/или объем ввода фиксирован при заданной температуре или разности температур. Температуру можно задать для подачи или обратного потока.

- Ввод насоса

Центробежный насос с производительностью в соответствии с его характеристической кривой. Температуру можно задать для подачи или обратного потока.

- Трубопроводы

Для трубопроводных элементов вычисляются потери давления и тепла.

Возможно создание базы данных по трубам с соответствующими внутренними диаметрами.

При расчете учитываются шероховатость труб, дополнительный коэффициент изгиба трубопроводов, величина «дзета», коэффициент профиля, коэффициент теплопередачи, а также утечки.

Для групп трубопроводов можно настроить типы труб с определенными параметрами.

- Байпасы

Элемент с характеристикой трубы между трубопроводом подачи 1 и трубопроводом подачи 2.

- Запорная арматура

Имеющая клапан труба, для которой может регулироваться диаметр клапана. В качестве дополнительной функции можно ввести величину «дзета» как функцию от положения клапана. Эту функцию можно определить в виде таблицы/диаграммы. Этот элемент добавляется в трубопровод подачи.

- Обратный клапан

Трубы с однонаправленным потоком. Сечение является функцией от скорости потока.

Потери давления на обратном клапане — функция степени открытия, которая, в свою очередь, является функцией скорости.

Этот элемент добавляется в трубопровод подачи.

- Регулятор давления

Элемент сети, который регулирует давление, поддерживая давление на том или ином узле в соответствии с уставкой. Этот элемент может как повышать, так и снижать давление.

Положение клапана рассчитывается по величине «дзета».

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, циркуляционного объема.

Проверяются предохранители и ограничения давления.

- Регулятор перепада давления

Заданная величина регулирования представляет собой разность давлений на двух соответствующих узлах.

Точка регулирования может находиться как на подаче, так и на обратном трубопроводе.

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, циркуляционного объема.

- Насосы

Насосы отличаются по типу работы:

- Фиксированная производительность → поршневой насос.

- Фиксированная скорость → циркуляционный насос.

- Фиксированная высота подачи → регулятор давления.

- Фиксированное давление → регулятор давления.

Подробную информацию см. по каждому регулятору.

- Регулятор температуры потока

Этот элемент сети моделирует клапан, регулирующий температуру потока на выбранном узле путем добавления воды из обратного потока. Этот элемент может использоваться в трубопроводе подачи и обратном трубопроводе.

- Теплообменник

Этот элемент используется для гидравлической развязки первичной и вторичной сетей.

Температура потока на выбранном узле вторичной сети фиксируется путем передачи тепла из первичной сети во вторичную. Для этого генерируется потребитель в начальной точке элемента и ввод с регулятором давления в конечной точке.

Уставка может быть фиксированной величиной или зависеть от управляющей величины, в данном случае от наружной температуры.

- Буфер давления

Этот элемент моделирует резервуар воды с переливом.

При давлении ниже заданной величины потребление отсутствует. Если давление превышает заданную пороговую величину, потребление рассчитывается так, чтобы давление равнялось заданному.

При динамическом расчете начальное давление берется из расчета установившегося состояния. С этой величиной заполнение башни рассчитывается по характеристике буфера давления. Буфер давления имеет входящий или исходящий поток.

- Потребитель

Потребители создают в сети потоки, эквивалентные их потреблению. Расход не зависит от давления воды у потребителя.

Потребитель может иметь постоянную потребляемую мощность и/или постоянный потребляемый объем. Пользователь может выбрать фиксированную температуру или фиксированный перепад температур подачи и обратного трубопровода. Для групп потребителей можно настроить типы потребителей с определенными параметрами.

## 5.1.3. Отчеты и диаграммы

### Таблицы и отчеты

Пользователь может настраивать содержание отчетов с помощью списков выбора.

- Общие данные сети.
- Данные всех элементов.
- Отчеты по узлам с указанием давления, высоты, температуры и всех присоединенных элементов с расходом, скоростью потока и перепадом давления.
- Трубопроводные элементы с указанием расхода, давления, падения давления, скорости потока, длины, диаметра и разности температур.
- Сводные результаты с минимальным и максимальным давлением, максимальной скоростью и потерями в трубопроводе подачи и обратном трубопроводе, а также суммарные потери.

### Диаграммы

#### Продольный разрез

Пользователи могут свободно прокладывать трассы по сети с отображением следующих величин:

- давление подачи и обратного потока (абсолютное и относительное),
- давление пара (абсолютное и относительное),
- высота,
- температура —

по автоматически построенным маршрутам.

#### Схема сети

Графическое представление следующих величин:

- Узлы: высота, потребление, абсолютное, относительное и удельное давление, температура.
- Трубопроводы: расход, абсолютное, относительное и удельное давление, разность температур, длина, диаметр, скорость потока, потери.

Функции фильтров с цветовым обозначением для давления (все виды), температур, расхода, скорости, потребления и т. д.

## 5.2.Профили нагрузки

### Временные ряды

Расчет профиля нагрузки — особый вид расчета потоков, который позволяет моделировать изменения потребления или режима ввода в соответствии с хронологическими профилями, то есть с суточными профилями с 15-мин шагом.

- Трубопроводные элементы с указанием расхода, давления, падения давления, скорости потока, длины, диаметра и разности температур.
- Сводные результаты с минимальным и максимальным давлением, максимальной скоростью и потерями в трубопроводе подачи и обратном трубопроводе, а также суммарные потери.

Для этой задачи модели потребителей и вводов включают не только номинальные параметры, но и присвоенные им профили потребления/ввода, которые можно определять в абсолютных или относительных величинах.

Потоки в сети рассчитываются исходя из указанных номинальных параметров и временных рядов. Анализ с временными рядами также позволяет моделировать потребление с учетом эффекта одновременности в зависимости от количества потребителей одного типа. Для этого необходимо настроить и назначить типы потребителей.

Выдаются следующие результаты:

- Все расчеты потоков по каждому временному шагу, включая анализ максимальных и минимальных величин (давление потоков и т. д.).
- Диаграммы суточных профилей для результатов, полученных на выбранных узлах и ветвях сети.

## 5.3.Анализ послеаварийных режимов

Модуль анализа послеаварийных режимов служит для оценки характеристики сети при отключении некоторых компонентов сети. Результат анализа последствий аварий — выявление слабых мест и режимов, которые могут привести к перерывам в снабжении.

Анализ последствий аварий состоит из серии расчетов потоков. В каждом отдельном расчете потокораспределения учитывается отключение одного или нескольких элементов. PSS®SINCAL может моделировать отключение одного компонента или группы компонентов сети. Возможно моделирование условных и безусловных отключений, а также базовых и результирующих отключений.

Все актуальные результаты (минимальные и максимальные величины, неудовлетворение нужд потребителей и т. д.) регистрируются и обобщаются в четко структурированном диалоговом окне результатов.

## 5.4.Моделирование динамических процессов

Расчет времени и маршрута транспортировки.

- Расчет времени и маршрута транспортировки для произвольно заданных потребителей.
- Результаты могут отображаться в графическом виде.
- Маршруты транспортировки по сети определяются автоматически даже в замкнутых сетях.

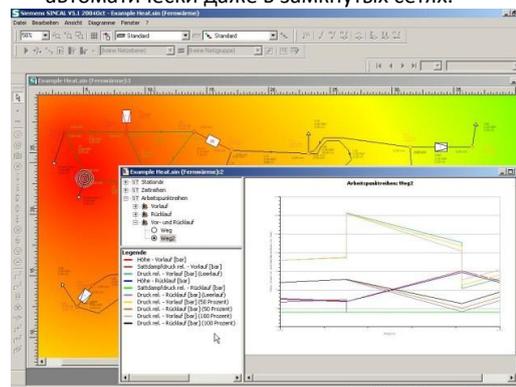


Рис. 5-1. Оценка результатов на графике сети с цветовой маркировкой и на диаграмме

## 5.5. Умный интерфейс (Smart Interface, Smart F) к данным системы учета или системе SCADA

Интерфейс Smart F поддерживает динамическую передачу данных учета или данных о состоянии сети для расчета потока, например генерация или нагрузка с метками времени может быть загружена автоматически с помощью специально созданных COM интерфейсов. Связь между элементами сети и измеренными величинами сделана с помощью UUIDs (универсальных уникальных идентификаторов).

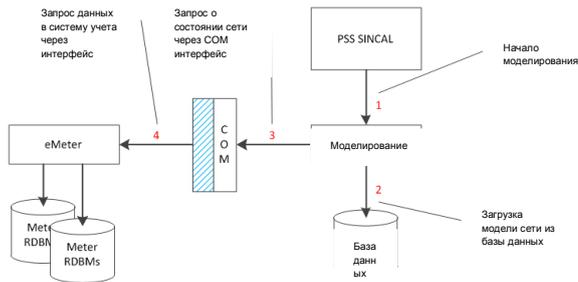


Рис. 5-2. Передача измеренных величин с помощью интерфейса Smart F.

## 6. Общая информация

### 6.1. Обновления программы и служба поддержки

Мы предлагаем годовой контракт на обслуживание и поддержку PSS®SINCAL, который включает регулярные обновления программы, новые версии и оперативную поддержку по телефону и электронной почте.

Дополнительно мы предлагаем обучение, семинары и консалтинговые услуги в области энергосистем.

### 6.2. Адрес для контактов

Если вам нужна дополнительная информация о продукте PSS®SINCAL, просим связаться с нами.

Siemens AG  
Сектор инфраструктуры и городов  
IC SG SE PTI SW  
Г-жа Ульрике Закс  
PO Box 3220  
D-91050 Erlangen  
Germany (Германия)

Тел. + 49 9131 7-33429  
Факс + 49 9131 7-35017  
Электронная почта: [ulrike.sachs@siemens.com](mailto:ulrike.sachs@siemens.com)

ООО «Сименс»  
Департамент «Управление Электроэнергией»  
RC-RU EM DG PTI  
Полуэктов Александр  
115093 Москва, Россия  
ул. Дубининская 96

Тел. +7 495 737 3887, +7 910 461 8793  
Электронная почта: [pss.ru@siemens.com](mailto:pss.ru@siemens.com)

Siemens AG  
Сектор инфраструктуры и городов  
Умная сеть, услуги  
Power Technologies International  
Freyeslebenstrasse 1  
D-91058 Erlangen  
Germany (Германия)  
Телефон: + 49 9131 7-33429  
Электронная почта: [ulrike.sachs@siemens.com](mailto:ulrike.sachs@siemens.com)  
[www.siemens.com/power-technologies/software](http://www.siemens.com/power-technologies/software)

ООО «Сименс»  
Департамент «Управление Электроэнергией»  
Умная сеть, услуги  
Power Technologies International  
115093 Москва, Россия  
ул. Дубининская 96  
Телефон: +7 495 737 3887  
Электронная почта: [pss.ru@siemens.com](mailto:pss.ru@siemens.com)  
[www.siemens.com/power-technologies/software](http://www.siemens.com/power-technologies/software)

© Siemens AG, 10.2017. Все права сохранены