Акционерное общество «Научно-технический центр Единой энергетической системы» АО «НТЦ ЕЭС»

Программа расчета установившихся режимов и переходных электромеханических процессов в энергосистемах и узлах нагрузки

Power Systems Transients

PST

Руководство пользователя

Санкт-Петербург 2019

Содержание

1. Программа	5
1.1 Вид	6
2. Файловые операции	7
2.1 Файл	7
3. Подготовка исходной информации для расчетов статики и динамики	8
3.1 Схема/Узлы	9
3.1.1 Схема/Узлы/Копировать	10
3.1.2 Схема/Узлы/Базисный	11
3.1.3 Схема/Узлы/Коррекция	11
3.1.4 Схема/Узлы/Районы	13
3.1.5 Схема/Узлы/Утяжеление	13
3.1.6 Схема/Узлы/Коммутация узла	17
3.1.7 Схема/Узлы/Коммутания в узле	17
3.1.8 Схема/Узлы/Исключить	17
3.1.9 Схема/Узлы/Фильтр	17
3.1.10 Схема/Узлы/Поиск.	17
3 1 11 Схема/Узлы/Синхронно	17
3.1.12 Схема/Узпы/Графики	18
3.1.12 Слема у злы Графики. 3.1.13 Схема/Узлы/Осциллограф	10
3.1.19 Слема/Узпы/Осцимиограф 3.1.14 Схема/Узпы/HTML	10
3 2 Схема/Ветви	10 19
3.2. Схеми Бетви /Начало <-> Конец	17 20
3.2.1 Схема/Ветви/Копрекция	20 20
3.2.2 Схема/Ветви/Сецения	<u>2</u> 0 20
3.2.5 CXeMa/Betbu/Commutupopati	20 20
3.2.4 Слема/Ветри/Коммутировать	20 21
$3.2.5$ CXCMd/DCTBH/ φ HJBTP	21
3.2.0 Слема/ Ветви/Синаронно	·····21 21
3.2.7 Схема/ Бетви /1 рафики	ו רכ
2.2.0 Cycyca/ DetBu /Octumor pap	22 22
2.2 Chevro/Decision / TTWIL	22
2.2.1 Cycyce/ Decymany / Hefenymy	<i></i> مر
5.5.1 Схема/ Реакторы /Дооавить	24
3.3.2 Схема/ Реакторы /Править	24 26
3.3.5 Схема/ Реакторы /Конировать	20 26
5.5.4 Схема/ Реакторы / У далить	20
3.3.5 Схема/ Реакторы /Коммутировать	27
3.3.6 Схема/ Реакторы / у правляемыи/неуправляемыи	27
3.3.7 Схема/ Реакторы /Регулятор ввести/вывести	27
3.3.8 Закладка Схема/ Реакторы /Регулятор	27
3.4 Схема/1 енераторы	28
3.4.1 Схема/I енераторы/Параметры	30
3.4.2 Схема/I енераторы/Модель	33
5.4.5 Схема/I енераторы/Копировать	
3.4.4 Схема/I енераторы/Вставить	35
5.4.5 Схема/I енераторы/Стереть	
3.4.6 Схема/I енераторы/Именованные ед	36
3.4. / Схема/Генераторы/Синхронно	36
3.4.8 Схема/Генераторы/Осциллограф	36
3.4.9 Схема/Генераторы/Сохранить	36
3.4.10 Схема/I енераторы/Загрузить	36

	3.5 Схема/Нагрузка	37
	3.5.1 Схема/Нагрузка/Параметры	38
	3.5.2 Схема/Нагрузка/СХН	47
	3.5.3 Схема/Нагрузка/Копировать	47
	3.5.4 Схема/Нагрузка/Вставить	47
	3.5.5 Схема/Нагрузка/Синхронно	48
	3.5.6 Схема/Нагрузка /Осциллограф	48
	3.5.7 Схема/ Нагрузка /Сохранить	48
	3.5.8 Схема/ Нагрузка /Загрузить	48
	3.6 Схема/Автоматика	49
	3.6.1 Создание и редактирование устройств автоматики	49
	3.6.2 Автомат	51
	3.6.2.1 Работа с листом «Факторы»	53
	3.6.2.2 Особенности реализации в программе измерений режимных факторов.	56
	3.6.2.3 Работа с листом «АЛУ»	58
	3.6.2.4 Работа с листом «Действия»	60
	3.6.2.5 Отсчет выдержек времени для использования в выражениях АЛУ	78
	3.6.2.6 Основные правила работы с автоматом	80
	3.6.3 АЧР	84
	3.7 Схема/Районы	90
	3.8 Схема/Сечения	90
	3.9 Схема/Группы	90
	3.10 Схема/Статистика	91
4.	Расчет установившихся режимов	92
	4.1 Статика	92
	4.1.1 Статика/Узлы	92
	4.1.2 Статика/Ветви	94
	4.1.3 Статика/Реакторы	95
	4.1.4 Статика/Районы	96
	4.1.5 Статика/Сечения	97
5.	Расчет электромеханических переходных процессов	98
	5.1 Динамика	98
	5.2 Графика	98
6.	Опции программы	99
	6.1 Опции/Статика	99
	6.2 Опции/Динамика	101
	6.3 Опции/Дополнительно	103
	6.4 Опции/Импорт и экспорт	106
	6.5 Опции/Графики	107
7.	Окна и Справка	108
8.	Графики переходных процессов	109
	8.1 Утилита Graph.exe	109
	8.2 Файлы графиков установившихся и переходных режимов	111
	8.3 Пример графиков переходных процессов	114
	8.4 Использование осциллографа	115
	8.4.1 Назначение инструментов осциллографа:	118
	8.4.2 Использование режима фиксации осциллографа	119
	8.4.3 Построение годографов.	120
9.	Проведение расчетов установившихся и переходных режимов	122
	9.1 Проведение расчетов установившихся режимов	122
	9.2 Выбор моделей генераторов в расчетах установившихся режимов	126

9.3 Сопоставление результатов расчета установившихся режимов при выборе	
различных моделей генераторов	126
9.4 Динамическое балансирование установившегося режима	127
9.5 Расчет установившегося режима при неноминальной частоте методом	
динамического балансирования режима	128
9.6 Определение предельных перетоков по линиям и сечениям методом непреры	ІВНОГО
утяжеления режимов	129
9.6.1 Статический переход	130
9.6.1.1 Влияние параметров генераторов на предельные режимы	134
9.6.2 Динамический переход	136
10. Проведение расчетов электромеханических переходных процессов	139
10.1 Общие рекомендации по выбору математической модели генерирующих аг	регатов
и комплексной нгарузки	139
10.2 Электромеханические переходные процессы с глубоким снижением частоти	ыи
действием АЧР	140
10.2.1 Подготовка и проведение расчетов	140
10.2.2 Особенности расчетов при действии АЧР	144
10.2.3 Пример расчета переходного процесса при действии АЧР	146
10.2.3.1 Подготовка исходной информации	148
10.2.3.2 Расчетные условия	150
10.2.3.3 Расчет	153
10.3 Расчеты процессов синхронизации/ресинхронизации энергосистем	155
10.4 Расчеты процессов пусков и самозапусков синхронных и асинхронных двиг	ателей
в узлах нагрузки	155
11. Создание новой электрической схемы	156

1. Программа

Программа является стандартным Windows-приложением, имеет многооконный табличный интерфейс с синхронизацией перемещения по таблицам во взаимосвязанных окнах. Минимально допустимое разрешение экрана 1024х768, рекомендуется 1920х1080 или выше, что позволяет разместить на экране основные окна без перекрытия.



Рис.1.1. Главное окно программы с открытым окном журнала

Программа управляется командами главного меню, расположенного под заголовком окна программы. Часть наиболее употребительных команд вынесена на панель инструментов, рис.1.1. Иконки панели инструментов показываются также напротив соответствующих пунктов всплывающих меню.

Главное окно программы и дополнительные окна являются перекрывающимися. Их можно расположить на экране дисплея произвольно, как удобно пользователю. Открытые и неиспользуемые дополнительные окна можно закрыть. Если открыто несколько окон, переход между ними можно осуществлять или щелчком мышки на видимой части окна, или выбором соответствующего пункта всплывающего меню (иконки на панели инструментов).

Главное окно рекомендуется разместить в верхней части экрана или развернуть на весь экран, остальные окна на рабочем столе размещаются таким образом, чтобы они не перекрывали меню и панель инструментов главного окна. Заголовок, меню и панель инструментов главного окна всегда должны быть видимыми на экране дисплея для быстрого доступа к ним. Иначе потребуется закрытие или перемещение дополнительных рабочих окон, закрывающих доступ к основному меню и панели инструментов программы.

После выхода из программы по מוש при повторном ее запуске расположение главного окна на экране сохраняется. Месторасположение дополнительных окон на экране и их размер запоминаются, если после произведенных изменений закрыть окно, нажав на в заголовке окна. При последующем открытии окно появится на этом же месте. (Сказанное не относится к многочисленным модальным диалогам с пользователем). Например, на рис.1.1 главное окно программы сделано небольшим и в его рабочую область помещено окно журнала.

Пункты меню расположены в основном в соответствии с логикой работы с программой: после файловых операций сначала обрабатываются исходные данные по электрической схеме (Схема), далее следует расчет и анализ статических режимов (Статика), затем расчет переходного процесса (Динамика) и его анализ (Графика). Настройка программы в соответствии с особенностями решаемых задач осуществляется из меню Опции. Пункт меню Окна позволяет закрыть сразу все окна, кроме главного окна. В текущей версии программы пункт Помощь не реализован, отсутствие помощи компенсирует данное руководство.

1.1 Вид



Меню Вид позволяет вывести или скрыть панель инструментов, строку состояния главного окна. Пункт меню Журнал позволяет показать/скрыть журнал сеанса работы с программой, в который записывается сеанс работы с программой. Если окно журнала полностью перекрыто другими окнами, достаточно его закрыть и открыть (два раза щелкнуть левой клавишей мышки на иконке журнала панели инструментов главного окна), чтобы оно появилось поверх других окон.

Основные события при работе с программой, а также диагностические сообщения выводятся в журнал. Журнал оформлен в виде дерева с раскрывающимися узлами, чтобы уменьшать объем отображаемой в окне информации. Записи в журнале можно удалять или сохранять на диске в файле, для чего служит индивидуальная панель инструментов окна журнала, puc.1.1.

Сохранение журнала может потребоваться, например, для пересылки его по e-mail разработчику программы при осуществлении технической поддержки.

2. Файловые операции

2.1 Файл



Операции с файлами осуществляются через меню Файл.

В текущей версии программы предусмотрено открытие и сохранение схемы в собственном формате (расширение файлов *.cir), импорт схемы из унифицированного формата ЦДУ и экспорт схемы в файл в унифицированном формате ЦДУ ("Электричество", №6, 1997 г.) для обмена электрическими схемами с другими технологическими программами. Можно также импортировать схемы их формата *.rg2 ПК RastrWin3. В меню Опции/Файлы предусмотрены настройки операций с файлами при импорте и экспорте.

При сохранении/чтении схемы в собственном формате сохраняются все параметры статической и динамической моделей элементов схемы и автоматики. При экспорте схемы в формате

ЦДУ сохраняются параметры статической модели и динамические параметры генераторов. Параметры возбуждения, АРВ, турбин, АРС, параметры асинхронного и синхронного двигателей комплексной нагрузки не сохраняются.

Можно открывать/импортировать новую схему, не выходя из программы. При этом появляется запрос на сохранение открытой схемы. При выборе пунктов меню Файл/Новый, Файл/Закрыть закрывается открытый файл после чего можно вводить данные в окнах данных узлов и данных ветвей схемы при создании схемы "с нуля" или загрузить новую схему.

Для завершения работы с программой выбирается команда Файл/Выход или нажимается и в заголовке главного окна программы.

Если схема импортировалась, то при закрытии схемы, при загрузке новой схемы и при выходе из программы, появляется запрос на сохранение схемы в собственном формате (файл с расширением *.cir):

Power Systems Transients	x
🛕 Выход : Сохранить схему?	
Да Нет	Отмена

Если загружена схема в собственном формате, для уменьшения вероятности случайной потери схемы с откорректированными данными проверяется, изменились ли данные схемы, путем сравнения данных схемы в программе с данными схемы в файле на диске.

Если данные изменились или запускался расчет статики/динамики, при прекращении работы со схемой появится запрос на сохранение открытой схемы.

3. Подготовка исходной информации для расчетов статики и динамики



Меню Схема предназначено для управления исходной информацией по электрической схеме, которая необходима в расчетах статики и динамики.

- Узлы исходные данные по узлам схемы.
- Ветви исходные данные по ветвям схемы.
- Реакторы исходные данные по управляемым и неуправляемым шунтирующим реакторам схемы.
- Генераторы ввод и редактирование исходных данных по генераторам схемы.
- **Нагрузка** ввод и редактирование исходных данных по статической, асинхронной и синхронной нагрузке в узлах схемы.
- Автоматика ввод исходной информации по автоматам и специализированным автоматикам.
- Районы создание поименованных районов схемы.
- Сечения создание поименованных сечений схемы.
- Группы создание поименованных групп узлов и ветвей схемы, не реализованы.
- Статистика вывод статистических данные об электрической схеме, позволяет задать внутреннее имя схемы длиной до 255 символов, которое хранится в файле со схемой.

При выборе пункта меню открываются окна для работы с соответствующей информацией.

3.1 Схема/Узлы

шд	анные узлов										—		×
8	े 🖻 🗙 🕄 रे ह	57 V @. (<u>\$</u>										
Узел	🗢 Имя	U ном	Рнг	Qнг	Рген	Qген	Uy	ст	Qmin	Q max	Gш	Вш	Район \land
56	ПЕРВОУР	230.00	80.730	24.570			242.0	00					2
57	СУГРЭС	230.00	52.650	90.450	560.20	316.64	235.(nn l		274 00			2
58	ЮЖНАЯ	230.00	0.630	7.200			242.0	B	Добавить	узел			2
59	БУТКА	115.00	8.910	4.860			121.0		Копирова	Thur			2
60	ЮЖНАЯ	520.00	0.360	0.900			525.0		копирова				2
61	ЮШАЛА	115.00	8.730	5.130			121.0		Править	1			2
62	ИРБИТ	230.00	0.180	0.900			242.0	\mathbf{x}	Удалить	-0			2
63	ΡΦΓΡЭС	236.00	35.100	99.990			242.0	1.1					2
64	OKYHEB	230.00	0.360	2.970			242.0		перенуме	ровать			2
65	БАЭС	230.00	0.990	6.120			242.0		Базисный.				2
66	ПЕРВОМАЙ	230.00	0.090	0.450			242.0	\cap	Konneruw				2
67	BTTPBC	115.00	270.540	184.230	464.00	86.84	121.0	0.0	коррскци				2
68	BTTPBC	220.00	36.000	111.420	529.00	200.00	240.0		Районы				2
69	TECHAH	230.00	0.090	0.900			242.0		Утяжеление				2
70	Острая	230.00					242.0						2
71	ОТП.КАЧК	230.00					242.0	÷	Коммутац	ия узла			2
72	BR3OBCK.	230.00	0.270	1.530			242.0	<u> </u>		, an you dan			2
73	ТАПИЛ	230.00	0.360	7.920			242.0	₿ŧ	Коммутац	ии в узле…			2
74	HTTP3C	220.00	7.200	5.000	80.00	34.00	238.0		Исключит	ъ			2
75	КАЧКАНАР	230.00	0.270	3.330			242.0						2
76	КРТУРЬИН	230.00	0.090	0.900			242.0		Фильтр				2
77	СерГРЭС	220.00	5.760	25.000	95.00	69.00	240.0	-	-				2
78	Сопка	230.00	26.820	7.470			242.0	ାର୍	Поиск				2
79	КРТУРЬИН	115.00	280.000	115.000	83.00	50.00	118.0	- A	Синхронн	0			2
80	KAMEHCK	115.00	122.760	55.260			121.0			-			2
81	KAMEHCK	230.00	79.830	33.300			242.0		Графики				2
82	CEIPEC	115.00	115.560	106.020	272.32	100.00	116.0		- population				2 🗸
<									Осциллог	раф			>
									HTML		57		PEq //

Рис.3.2.1. Окно и контекстное меню для работы с исходной информацией по узлам

Для работы с информацией по узлам предусмотрено контекстное меню, вызываемое щелчком правой клавишей мышки на какой-либо строке таблицы или в пределах окна. Часто используемые команды вынесены также на индивидуальную панель инструментов, рис.3.2.1.

Можно выделить один узел щелчком на строке узла левой клавишей мышки. Можно выделить сплошной диапазон узлов, следующих в таблице один за другим подряд. Для этого после выделения первой/последней строки необходимо переместиться вниз/вверх по таблице, используя при необходимости полосу прокрутки, и щелкнуть левой клавишей мышки на конечной строке при нажатой клавише Shift. Если нужно выделить несколько узлов, не следующих подряд, то они выделяются щелчком левой клавиши мыши при нажатой клавише Ctrl. (Это стандартные операции в операционной системе Windows).

Примечание. Если одновременно включены режимы синхронного перемещения по строкам таблиц и в окне Данные узлов и в окне Режим узлов (см. описание команды Узлы/Синхронно), множественное выделение в окне Данные узлов блокируется.

Полные названия параметров узлов, сокращенные обозначения которых приведены в заголовке таблицы, приведены в диалоговом окне создания или редактирования данных узла, рис.3.2.2, где повторяется также сокращенное обозначение параметров и указана размерность величин.

Номер базисного узла в таблице выделяется зеленым цветом фона, базисные узлы и узлы свёртки можно отфильтровать.

Предусмотрена сортировка узлов в окне по возрастанию или убыванию любого параметра узла, что осуществляется щелчком левой клавиши мыши на заголовке колонки таблицы. В заголовке соответствующей колонки появляется стрелочка (на рис.3.2.1 по умолчанию узлы отсортированы по возрастанию номера узла, стрелочка расположена в заголовке первой колонки).

В статусной строке окна данных узлов внизу справа выводятся порядковый номер и тип модели генератора выделенного узла, если выделенный узел генераторный.

Вводить/изменять параметры узла можно в диалоге, рис.3.2.2. При вводе в узел генерации (Рген и/или Qген) и нагрузки (Рнг и/или Qнг) автоматически в этом узле создаются генерирующий агрегат и комплексная нагрузки с параметрами по умолчанию, которые затем можно отредактировать (см. команды <u>Схема/Генераторы</u> и <u>Схема/Нагрузка</u>).

Данные узла 😽 🧎		
Номер узла	10	1
Имя	0301	
Номинальное напряжение, U ном	525	кВ
Активная мощность генератора, Р ген	30000	МВт
Реактивная мощность генератора, Q ген	275.29	Мвар
Уставка напряжения, U уст	525	кВ
Min реактивная мощность, Q min	-1000	Мвар
Мах реактивная мощность, Q max	1000	Мвар
Min допустимое напряжение, U min	450	кВ
Мах допустимое напряжение, U max	550	кВ
Активная мощность нагрузки, Р нг	29000	МВт
Реактивная мощность нагрузки, Q нг	200	Мвар
Бш мкСм		мкГм
B III MKCM		мкСм
с ш, нкон	1	MICON
Район		-
	·	
ОК	Cance	el

Рис.3.2.2. Диалог для редактирования данных узла

Работа с клавиатурой и мышкой в диалоге стандартная, как в любом диалоге Windows. Кроме того, параметры узла можно редактировать непосредственно в таблице на рис.3.2.1. Для этого необходимо сделать двойной щелчок левой клавишей мышки на ячейке таблицы, в которой находится изменяемый параметр. В ячейке появится курсор, после чего осуществляется ввод с клавиатуры, завершаемый или нажатием Enter, или перемещением фокуса ввода на следующую ячейку (при щелчке мышью вне поля ввода все изменения отменяются). Перемещение осуществляется с клавиатуры стрелками управления курсором (клавиша Таb не используется, т.к. не позволяет задать направление перемещения фокуса ввода).

Примечание. <u>Аналогично осуществляется работа с мышкой и клавиатурой и в других окнах,</u> <u>описание больше не повторяется</u>.

Назначение команд контекстного меню соответствует их названию, ниже комментируются только неочевидные команды.

3.1.1 Схема/Узлы/Копировать...

Копирует данные узла в узел с другим номером. Если в узле есть генерация и/или нагрузка, генерирующий агрегат и/или комплексная нагрузка этого узла также копируются.

3.1.2 Схема/Узлы/Базисный...

Снимает/назначает статус базисного узла (БУ).

Назначить/снять статус БУ 🛛 🔀
🔽 Базисный узел (дополнительный)
Угол (U^qs) 30 град
Частота 50 Гц
OK Cancel

В схеме обязательно должен быть один главный БУ и может быть при этом назначено произвольное число дополнительных БУ. Если схема вследствие коммутаций узлов и ветвей разделилась на несколько несвязанных частей, то дополнительные БУ в расчетах статики/динамики будут выполнять роль базисного узла/узла свертки схемы в несвязанных частях схемы.

Если схема разделилась на части, а дополнительных БУ нет, при топологическом анализе схемы эти узлы будут назначены автоматически (выбирается наиболее мощный из генераторных узлов, а если генераторных узлов нет, то произвольный узел, т.к. для работы алгоритма топологического анализа необходим узел свертки схемы или ее части).

БУ в табл. на рис.3.2.1 выделяется зеленым цветом фона, дополнительные базисные узлы выделяются бледно-зеленым цветом фона, а назначенные программой узлы свертки выделяются розовым цветом фона.

Если нужно изменить главный БУ, то сначала снимают этот статус со старого узла, затем назначают новый главный БУ. Пока существует главный БУ, другие БУ могут быть только дополнительными.

Углы вектора напряжения (U^qs) в базисных узлах по отношению к синхронной оси qs, совмещаемой с осью вещественных (+1) комплексной плоскости, по умолчанию равны нулю, однако их можно задать произвольными в поле "Угол (U^qs)" и разными для каждого из дополнительных БУ. Ненулевой угол в БУ мешает анализу режимов, но эта возможность может оказаться полезной в расчетах процессов ресинхронизации энергосистем.

По умолчанию исходный установившийся режим балансируется при номинальной частоте 50 Гц. Чтобы рассчитать режим при неноминальной частоте её значение нужно задать в поле "Частота". Эта исходная частота сохраняется при переходе к расчетам динамики. В этом случае в опциях программы «Опции/Динамика» необходимо проверить и снять галочку Узлы свертки «бесконечной мощности». В схеме, состоящей из нескольких частей, в каждой части схемы может быть своя частота.

3.1.3 Схема/Узлы/Коррекция...

Индивидуальная/групповая коррекция некоторых параметров одного или нескольких выделенных в таблице узлов.

Если среди выделенных узлов нет нагрузочных, раздел диалога для изменения параметров нагрузки будет неактивным, то же – для генераторов и шунтов. Например, на рис.3.2.3 разделы редактирования нагрузки и генерации активны, т.к. среди выделенных узлов есть хотя бы один нагрузочный и хотя бы один генераторный узлы. Шунтов в этих узлах нет, соответствующий раздел диалога неактивный. Поля для редактирования становятся активными после разрешения изменений, для чего устанавливается галочка в чекбоксах "Изменить нагрузку/генерацию/шунт". На рис.3.2.3 разрешено редактирование генерации, нагрузки и шунты при коррекции не меняются.

Коррекция параметров узлов	\mathbf{X}
 Изменить нагрузку ♀ ♀ ♀ ♀	✓ Изменить генерацию Р × 1.00 Заданный модуль U × 1 Qmin × 1 Qmix × 1 Usменить тип генератора ✓ V > PEq PEq->PEqc PQ->PEqc PEqc->PEq
Принадлежность	OK Cancel

Рис.3.2.3. Групповая коррекция параметров узлов

Изменение параметров (P, Q, Uном, Uусm и др.) осуществляется умножением на коэффициенты, предусмотрена возможность выбора индивидуального изменения Q или пропорционально изменению P. Можно изменить диапазон регулирования Q_{min} - Q_{max} для PU-генераторов. Значения Umin-Umax (см.рис.3.2.2) также можно откорректировать. В программе по умолчанию Umin и Umax определяются уменьшением и увеличением номинального напряжения сети на 10%. Если уставка напряжения в узле (рис.3.2.2) хотя бы на долю процента выходит за диапазон допустимых значений, в журнале появляется сообщение об ошибке. Тогда следует осуществить групповую коррекцию Umin-Umax для указанных узлов или игнорировать сообщение об ошибке.

Для генераторных узлов можно изменить тип (модель) генератора.

При импорте схемы генераторы с заданным диапазоном изменения реактивной мощности (*Qmin-Qmax* или хотя бы одного из этих граничных значений) получают статус *PU*-генератора, а если диапазон не задан — *PQ*-генератора. Эти классические модели можно заменить на *PEq-*, *PEqc*-модели. Для этого нужно поставить галочки в соответствующих чек-боксах в разделе редактирования параметров генераторов, рис.3.2.3. Обратный переход осуществляется снятием галочек.

Важно. После перехода к *PEq*-модели реактивная мощность всех генераторов (и *PU*-, и *PQ*-генераторов) становится свободным параметром режима, у *PEq*-генераторов она зависит от регулировочного диапазона Eqmin-Eqmax, уставки напряжения Uycт и режима сети, а у *PEqc*-генераторов она определяется заданным значением *Eq*, которое вычисляется перед итерациями, и режимом сети. Регулировочный диапазон по реактивной мощности *Qmin-Qmax* теперь не влияет на результаты расчета, он имеет смысл только для классической *PU*-модели генератора и используется при расчетах с этой моделью.

3.1.4 Схема/Узлы/Районы...

Включение узлов в поименованные районы, список районов должен быть предварительно создан командой Схема/Районы.

Привязка узлов к районам	
Район 1 Район 2 Район 3	Выберите район и операцию над выделенными узлами Операция включить узлы в район исключить узлы из района
	OK Cancel

После создания списка районов в эти районы включаются узлы, выделенные в таблице рис.3.2.1. Потом, если потребуется, все или часть узлов, включенных в район, можно исключить из него. Чтобы увидеть узлы, принадлежащие району, необходимо отфильтровать их в таблицах данных и режима узлов по признаку принадлежности к районам. Кроме того, номер района отображается в таблице Данные узлов.

3.1.5 Схема/Узлы/Утяжеление...

Задает траекторию утяжеления режима изменением нагрузки или/и генерации.

Для одного узла с генерацией и/или нагрузкой, выделенного в таблице Данные узлов, задается индивидуальная траектория в диалоге, представленном на рис.3.2.4.

Утяжеление режима в узле 1012
Статический переход число шагов 1000
Динамический переход
С с постоянной скоростью 10 МВт/с, Мвар/с
• за время 150 с
Генерация РЕд-генератор
✓ изменить генерацию от начальной до: Р 50 МВт
Q 70 Мвар
начиная с шага утяжеления 0
Нагрузка
изменить нагрузку от начальной до: Р 0 МВт
I▼ Q~P Q 0 MBap
начиная с шага утяжеления 0
OK Cancel

Рис.3.2.4. Формирование траектории утяжеления режима в узле

Программа позволяет осуществить как статическое утяжеление режима (секция *Статический переход* — последовательность установившихся режимов с малыми изменениями режима между шагами), так и динамическое утяжеление режима (секция *Дина-мический переход* – электромеханический переходный процесс от исходного к конечному режиму).

Вводятся конечные значения генерации или/и нагрузки узла в конце статического или динамического перехода. Если в узле отсутствует генерация, секция *Генерация* диалога будет неактивна, если в узле нет нагрузки, секция *Нагрузка* диалога будет неактивна.

Для статического перехода определяется число шагов на изменение режима (по умолчанию в это поле заносится значение максимального числа шагов при утяжелении, задаваемое в опциях программы). Между исходным и конечным значениями генерация/нагрузка изменяются по линейному закону.

Динамический переход осуществляется либо с постоянной скоростью изменения мощности, либо за определенный отрезок времени (значения по умолчанию также задаются в опциях программы) воздействием на уставку регулятора скорости турбины.

Рекомендуется задать число шагов перехода к новому режиму в каждом из задействованных узлов меньше ~на 100-300 шагов, чем максимальное число шагов на утяжеление режима, заданное в опциях программы Опции/Статика, чтобы достоверно убедиться, что после изменения режима существует установившийся режим. (При первом открытии диалога в поле "число шагов" заносится именно максимальное число шагов из опций программы).

Эта же рекомендация относится и к динамическому переходу. Продолжительность расчета динамики, заданная в опциях программы Опции/Диниамика, должна быть больше

времени динамического перехода ~на 10-20 с, чтобы явно обозначить завершение переходного процесса.

Примечание. 1. При анализе утяжеленных режимов настоятельно рекомендуется все PU- и PQ-генераторы перевести в разряд PEq-, PEqc-генераторов. Тогда не нужно задумываться о том, как изменять реактивную мощность генератора при утяжелении, ее значения будут получаться автоматически. Поэтому для PEq- и PEqc-генераторов на рис.3.2.4 поле для конечного значения Q неактивно (имеет серый фон), поскольку значение Q не используется. Для классических моделей это поле будет активным.

2. Для *PU*-генератора задаются конечные значения *P*, а в поле *Q* задается конечное значение верхнего ограничения *Qmax*, которое возможно в конце утяжеления режима. Изменение *P* и *Q*=Qmax от начальных значений, заданных в параметрах узла, до конечных значений осуществляется по линейному закону. В процессе утяжеления реактивная мощность *PU*-генератора является свободным параметром режима, т.е. *PU*-генератор регулируется на поддержание заданного значения *U*, до выхода на ограничения или *Qmin*, которое задано в таблице узлов, или *Qmax*, которое пересчитывается в процессе утяжеления.

3. Для PQ-генератора и нагрузки задается конечное значение Q. Также можно выбрать изменение Q пропорционально P. При установке в чек-боксе Q~P галочки автоматически вычисляется конечное значение Q, при последующем изменении конечного значения P, значение Q также автоматически пересчитывается в пропорции $(P_{\kappa oney.}/P_{mayanbh.}) \times Q_{ucxodh.}$

4. В разных узлах старт изменения режима генераторов и нагрузок может быть одинаковым, если в поле "начиная с шага утяжеления" задан один и тот же шаг, или индивидуальным. Изменение генерации и нагрузки в одном узле можно назначить с различного шага утяжеления. По умолчанию изменение режима начинается с первого шага (0). Для нескольких генераторных и/или нагрузочных узлов, выделенных в таблице Данные узлов, вызывается диалог задания групповой траектории утяжеления, представленный на рис.3.2.5.

		×
Режим выделенных уздов		
суммарная ном, мощность генераторов Рг.н	975	MBT
-,	0.75	
суммарная генерация в узлах Рг	975	МВт
суммарная нагрузка в узлах Рн	304	МВт
утяжеление режима		
конечная суммарная генерация в узлах Рг	240	МВт
конечная суммарная нагрузка в узлах Рн	400	МВт
число шагов 1000		
О с постянной скоростью 10 МВт	le	
	-	
с за вреня		
Распределение суммарной Рг по узлам ~ Рг.но	м в узлах	
Qmax PU-генераторов и Q PQ-генераторов не	изменяются	
Распределение суммарной Рн по узлам ~ Рнг в	узлах	
Изменение Онг ~ Рнг		
OK	Отме	на

Рис.3.2.5. Формирование траектории утяжеления режима для группы выделенных узлов

Групповое утяжеление, заданное в диалоге, распределяется на индивидуальные траектории утяжеления по выделенным узлам. Конечная суммарная генерация в узлах *P*г не должна превышать суммарную номинальную мощность генераторов *P*г.н. Активная мощность нагрузки не контролируется (контроль допустимого диапазона изменения нагрузки лежит на пользователе). Реактивная мощность нагрузки изменяется пропорционально активной от значения в исходном сбалансированном режиме.

Старт группового утяжеления назначается с первого шага. Если требуется индивидуальный старт, его можно назначить в индивидуальном диалоге по узлам.

Важно. 1. Если среди выделенных узлов будут узлы, уже имеющие индивидуальные траектории, эти траектории при выходе из диалога по ОК будут необратимо переопределены, т.к. групповое утяжеление реализовано через индивидуальное.

2. В групповом утяжелении не рекомендуется задействовать узлы с *PU*- или с *PQ*генераторами, т.к. изменение реактивной мощности таких генераторов групповая траектория не определяет. Групповое утяжеление следует использовать только для *PEq*- и *PEqc*-генераторов и для нагрузочных узлов

Узлы, задействованные в изменении режима схемы, выделяются в таблице Данные узлов желтым цветом фона полей Р ген, Q ген для генераторов и Р нг, Q нг для нагрузок.

3.1.6 Схема/Узлы/Коммутация узла...

Индивидуальная и групповая коммутация узлов.

🔽 Отключение ветвей от узла	🔽 Отключение ветвей от узла	🗖 Отключение	ие ветвей от узла		
OK Cancel	OK Cancel	ОК	Cancel		

В диалоге использован трехпозиционный чек-бокс (чек-бокс на три состояния).

- Если поставлена черная галочка на белом фоне (не серая), при нажатии ОК от всех выделенных узлов будут отключены ветви. Если среди выделенных узлов уже были отключенные узлы, их состояние не изменится.
- Галочка серая, если среди выделенных узлов есть и включенные узлы, и отключенные. При выходе по ОК состояние узлов сохранится прежним, т.е. включенные узлы останутся включенными, а отключенные узлы останутся отключенными.
- Если галочка не стоит, при выходе по ОК все выделенные узлы будут включены, состояние выделенных включенных узлов не изменится.

Примечание. 1. В таблицах узлов номера отключенных узлов выделяются красным цветом, а сама строка блеклая. В конец таблиц данных и режима узлов добавляются автоматически генерируемые новые номера узлов, назначенные отключенным от узлов концам ветвей.

2. Команда коммутации узлов реализована через команду коммутации ветвей (см. далее). В таблицах данных и режима ветвей у ветвей, отключенных с одного конца, номер отключенного узла будет заменен на новый номер. Включить узел можно не только в таблице узлов, но также и в таблице ветвей, включив отключенные концы ветвей, связанных с отключенным узлом.

3.1.7 Схема/Узлы/Коммутация в узле...

Индивидуальная и групповая коммутация в выделенных узлах табл. на рис.3.2.1 нагрузки, генерации, шунта, если они есть в выделенных узлах.

Отключенные нагрузка, генерация, шунт выделяются в таблице на рис.3.2.1 серым цветом фона ячеек.

(В диалоге задействован трхпозиционный чек-бокс, работа которого описана выше).

3.1.8 Схема/Узлы/Исключить

Исключение выделенных узлов из схемы, если нужно упростить схему. Команда в этой версии программы не реализована.

3.1.9 Схема/Узлы/Фильтр...

Фильтрация узлов для уменьшения объема выводимой в окно на рис.3.2.1 информации. Узел остаётся в таблице, если хотя бы одно из выбранных условий фильтрации истинно.

3.1.10 Схема/Узлы/Поиск...

Поиск узла в таблице по номеру узла или по имени узла.

3.1.11 Схема/Узлы/Синхронно

Включение/отключение синхронизации перемещения по строкам узлов во взаимосвязанных таблицах.

Команда работает как переключатель, повторный выбор команды переводит ее в предыдущее состояние. При включении синхронизации при перемещении по строкам таблицы данных узлов на рис.3.2.1 в *открытых* окнах режима узлов, параметров генераторов узлов и параметров нагрузки узлов будут выделяться строки для этого узла (если, конечно, в узле есть генерация и нагрузка).

Примечание. Если синхронное перемещение одновременно включено и в окне данных узлов и в окне режима узлов, множественное выделение узлов становится невозможным. Чтобы выделить несколько узлов, например, для включения их в район, в окне режима узлов синхронное перемещение должно быть выключено.

3.1.12 Схема/Узлы/Графики...

Выбор узлов и элементов, включенных в узел, для запоминания их режимных параметров в ходе балансирования установившегося режима и в ходе расчета динамики.



Если установить галочку в чек-боксе, для всех выделенных узлов и их элементов будут запоминаться графики балансирования режима и переходного процесса, если снять, запоминание отменяется. Если нет выбранных узлов для построения графиков переходных процессов, в журнал записывается предупреждающее сообщение.

Режимные параметры, которые запоминаются для узловых элементов (узел, генератор, асинхронный двигатель, синхронный двигатель), выбираются в диалоге Опции/Графики.

Индикация о включении узла в список узлов, для элементов которых строятся графики, цветовая. У узлов, включенных в список, поле "G" в последней колонке таблицы имеет желтый цвет фона.

3.1.13 Схема/Узлы/Осциллограф...

Подключение выделенных в таблице узлов к осциллографу, а также выбор осциллографируемых режимных параметров узлов из числа предопределенных.

3.1.14 Схема/Узлы/HTML...

Экспорт таблицы данных узлов в формат *.htm с сохранением файла на диск для дальнейшего ее просмотра в Internet-браузере и последующего копирования в Microsoft Office для редактирования. После выбора команды 'HTML...' появляется стандартный пользовательский диалог сохранения файлов, в котором выбирается каталог для сохранения таблицы и задается имя файла с таблицей.

3.2 Схема/Ветви

🗖 Данны	е ветвей								X
🖻 🖻 😭	× ≫ ₹	7 🗟							
N нач 🗸 🖓	N кон	Имя	R	Х	G	В	Kre	K	_ ^
1	2	ACEECT -E	1.64	6.03		-187.0	0		
1	8	ACEECT -C	37.00	40.40		215.0	0		
1	15	ACEECT -H	11.30	🗋 🗋 Доб	бавить ветв	ь	0		
2	1002	БАЭС -сн	0.20	Ва Кол	ировать				
3	16	ТРАВЯНСК	0.30		inpobaribini		1.9011		
3	63	ТРАВЯНСК	7.50	🖺 🖓 Пра	вить		0		
3	63	ТРАВЯНСК	7.50	🗙 Уда	алить		0		
3	81	ТРАВЯНСК	0.52				0		
3	95	ТРАВЯНСК	0.48	нач	ало<->кон	ец	0		
4	5	ПЕРВОУР	0.55	🛛 💥 Кор	рекция		0		
4	43	ПЕРВОУР	9.50	Coupling			0		
4	45	ПЕРВОУР	3.00	004	спин		0		
5	6	ХРОМПИК	4.10	+ 10-11			0		
6	11	СУГРЭС -К	2.72	NOM	мутировать	····	0		
7	72	САЛДА -В	1.37	-		~~	0		
7	66	САЛДА -П	4.40	ΥФил	њтр		0		
7	23	САЛДА -С	0.30	🖧 Син	хронно		1.9011		
7	14	САЛДА -К	16.10				0		
8	16	СИНАРСК	1.30	Гра	фики		0		
8	85	СИНАРСК	9.53				0		
10	39	ТАПИЛ -Б	7.40	Ocu	иллограф	· b	0		~
<			1111	нти	۱L				>

Рис.3.3.1. Окно и контекстное меню для работы с исходной информацией по ветвям схемы

Принципы работы в окне с данными ветвей такие же, как и описанные выше принципы работы в окне Данные узлов, поэтому здесь не повторяются. По умолчанию ветви в таблице отсортированы по возрастанию номера начального узла.

Полное название параметров ветвей и размерности величин, сокращенные обозначения которых указаны в заголовке таблицы на рис.3.3.1, приведены в диалоге изменения данных ветвей:



Имя ветви образовано слиянием через дефис имен узлов вершин ветви, его можно заменить более значимым.

Примечание. В программе не используется идентификация параллельно включенных ветвей по «номеру параллельной», эта колонка в таблице отсутствует. Чтобы визуально различать параллельные встви, можно, например, к их именам добавить порядковый «номер параллельной» или какой-либо другой признак.

Назначение первых четырех команд контекстного меню окна данных ветвей схемы соответствует их названию, ниже комментируются остальные команды.

3.2.1 Схема/Ветви/Начало <-> Конец

Меняет местами начало и конец ветви.

Конечный узел становится начальным, начальный – конечным. У трансформаторной ветви пересчитываются параметры схемы замещения.

3.2.2 Схема/Ветви/Коррекция...

Позволяет задать длительно допустимые токи линий и допустимые полные мощности (авто) трансформаторов.

Коррекция параметров ветвей
Линия Предельный длительно допустимый ток, I доп 800 Ампер
(Авто)трансформатор Длительно допустимая полная мощность, S доп 525 МВА
OK Cancel

Команда работает для одной ветви и для группы выделенных ветвей. Если такая информация введена, то в окне режима ветвей токи и мощности ветвей, превысивших заданные значения, будут выделены красным цветом шрифта.

3.2.3 Схема/Ветви/Сечения...

Включение ветвей в поименованные сечения и исключение ветвей из сечений.

Привязка ветвей к сечениям	
Сечение 1 Сечение 2 Сечение 3	Выберите сечение и операцию над выделенными ветвями Операция С включить ветви в сечение С исключить ветви из сечения
	OK Cancel

После создания списка сечений командой Схема/Сечения в эти сечения необходимо включить принадлежащие им ветви, выделенные в таблице ветвей, рис.3.3.1. В последующем все или часть ветвей, ранее включенных в сечение, можно исключить из него.

Чтобы увидеть ветви, принадлежащие сечению, необходимо отфильтровать ветви в окнах данных и режима ветвей по признаку принадлежности к сечениям, не забыв отключить остальные критерии фильтрации.

3.2.4 Схема/Ветви/Коммутировать...

Одно- и двухсторонняя коммутация ветвей.

 Отключение в начальном узле Отключение в конечном узле 	 Отключение в начальном узле Отключение в конечном узле 	 Отключение в начальном узле Отключение в конечном узле
OK Cancel	OK Cancel	OK Cancel

Команда применяется ко всем выделенным в табл.2.3.1 ветвям, поэтому в диалоге задействован чек-бокс на три состояния.

Если галочка выставлена и не серая, при нажатии ОК ветвь будет отключена от конечного (и/или начального узла в зависимости от комбинации чек-боксов). Узел конца ветви будет добавлен в схему и появится в окнах данных и режима узлов, где можно просмотреть его параметры. Если среди выделенных ветвей уже были отключенные ветви в конечном (и/или начальном узле), состояние отключенных концов ветвей не изменится.

При отключении ветви одновременно в начальном и в конечном узлах, номера отключенных концов ветвей в таблице ветвей выделяются красным цветом, а строка становится блеклой, новых узлов в схеме не возникает.

Обе галочки серые, если среди выделенных ветвей есть и включенные концы ветвей и отключенные. При выходе по ОК состояние ветвей сохранится прежним. Отключенные концы ветвей останутся отключенными, включенные концы ветвей не отключаются.

Если одна галочка снята, а другая серая, то при выходе по ОК концы ветвей будут подключены к прежнему начальному/конечному узлу. На скриншоте, у отключенных в начале ветвей состояние изменится на включенное, у включенных – не изменится. Состояние концов ветвей с серой галочкой не изменится.

Примечание. Реализовано отключение конца ветви вместе с шунтирующим реактором, см. описание реакторов.

3.2.5 Схема/Ветви/Фильтр

Фильтрация ветвей для уменьшения объема информации в окне на рис.3.3.1.

3.2.6 Схема/Ветви/Синхронно

Включение/отключение синхронного перемещения по ветвям с окном режима ветвей.

Примечание. Если синхронное перемещение одновременно включено и в окне данных ветвей и в окне режима ветвей, множественное выделение ветвей становится невозможным. Чтобы выделить несколько ветвей, например, для включения их в сечение, в окне режима ветвей синхронное перемещение должно быть выключено.

3.2.7 Схема/ Ветви /Графики...

Выбор ветвей для запоминания их режимных параметров в ходе балансирования установившегося режима и в ходе расчета динамики.

роить графики	переходных процессов
ОК	Cancel

Если установить галочку в чек-боксе, для всех выделенных в листе ветвей будут запоминаться графики в ходе балансирования режима и расчета переходного процесса, если снять, запоминание отменяется. Если нет выбранных узлов для построения графиков переходных процессов, в журнал записывается предупреждающее сообщение.

Режимные параметры, которые запоминаются для ветвей, выбираются в диалоге Опции/Графики.

Индикация о включении ветви в список на построение графиков цветовая, ячейка "L" (локальный уникальный идентификатор ветви) в последней колонке таблицы Данные ветвей имеет желтый цвет фона.

3.2.8 Схема/ Ветви /Осциллограф...

Подключение выделенных в таблице ветвей к осциллографу, а также выбор осциллографируемых режимных параметров ветвей из числа предопределенных.

3.2.9 Схема/ Ветви /HTML...

Экспорт таблицы данных ветвей в формат htm с сохранением файла на диск для дальнейшего ее просмотра в Internet-браузере и дальнейшего копирования таблицы в Microsoft Office, где ее легко отформатировать. После выбора команды 'HTML...' появляется стандартный пользовательский диалог сохранения файлов, в котором выбирается каталог для сохранения таблицы и задается имя файла с таблицей.

3.3 Схема/Реакторы

Ввод данных управляемых (УШР) и неуправляемых шунтирующих реакторов.

Для УШР не сформирована окончательно общепринятая система параметров, которая характеризует реактор в различных режимах работы и позволяет рассчитать параметры схемы замещения. Целесообразно охарактеризовать УШР параметрами, представленными в таблице:

Параметр	Ед. изм.	Обозначение
номинальное напряжение реактора, линейное	кВ	${U}_{\scriptscriptstyle H}$
номинальная полная мощность реактора в режиме (трехфазная, при номинальном напряжении)	MB·A	<i>S</i> _{<i>H</i>}
номинальная реактивная мощность реактора (трехфаз- ная, при номинальном напряжении)	Мвар	Q _n
минимальная реактивная мощность реактора или номи- нальная емкостная мощность УШРТ (трехфазная, при номинальном напряжении)	Мвар	$egin{array}{c} Q_{\min} \ Q_{C. au} \end{array}$
номинальный ток сетевой обмотки	А	I _n
потери активной мощности в обмотках реактора в номи- нальном режиме	кВт	$\Delta P_{\kappa. H}$
потери активной мощности в стали в режиме макси- мального сопротивления	кВт	$\Delta P_{x.x}$
ток сетевой обмотки в режиме максимального сопротив- ления или в номинальном емкостном режиме	А	I _{min} I _{C.н}
активное сопротивление обмоток реактора	Ом	r
максимальное индуктивное сопротивление реактора или	Ом	x _{max}

сопротивление УШРТ при генерации максимальной ем- костной мощности		<i>х_{С.н}</i>
номинальное индуктивное сопротивление реактора, равно минимальному сопротивлению	Ом	$x_{\mu} = x_{\min}$
активная проводимость, учитывающая потери в стали	См	${g}_{\mu}$

Примечание. В отличие от трансформаторов для УШР нет понятия тока холостого хода (намагничивания). Вместо него УШР характеризуется минимальным током в режиме максимального сопротивления. Поэтому среди параметров реактора нет реактивной проводимости ветви намагничивания, имеется только активная проводимость для учета потерь в стали реактора.

УШР можно представить Г-схемой замещения:



Такая модель пригодна не только для УШР, но позволяет также моделировать тиристорные компенсирующие устройства типа СТАТКОМ, СТК.

Реактивное сопротивление УШР, активная и реактивная проводимости схемы замещения реактора – переменные величины, зависящие от режима реактора. Проводимость g_{μ} , учитывающая потери в стали, зависит от режима работы реактора, для упрощения модели принимается постоянной.

УШР трансформаторного типа двустороннего действия характеризуется номинальными мощностью, током и сопротивлением в индуктивном и емкостном режимах.

Параметры реактора при использовании единиц измерений, указанных в таблице, связаны следующими соотношениями:

$$\dot{S}_{\mu} = (\Delta P_{\kappa,\mu} + \Delta P_{x,x}) 10^{-3} + jQ_{\mu},$$

$$S_{\mu} = \sqrt{((\Delta P_{\kappa,\mu} + \Delta P_{x,x}) 10^{-3})^{2} + Q_{\mu}^{2}}, \quad I_{\mu} = \frac{S_{\mu}}{\sqrt{3}U_{\mu}},$$

$$g_{\mu} = \frac{\Delta P_{x,x}}{U_{\mu}^{2}} \cdot 10^{-3}, \quad r = \frac{\Delta P_{\kappa,\mu} 10^{3}}{3I_{\mu}^{2}},$$

$$z_{\mu} = z_{\min} = \frac{S_{\mu}}{3I_{\mu}^{2}}, \quad x_{\mu} = x_{\min} = \sqrt{z_{\mu}^{2} - r^{2}},$$

$$x_{\max} = \frac{U_{\mu}^{2}}{Q_{\min}} = \frac{U_{\mu}}{\sqrt{3}I_{\min} 10^{-3}}, \quad x_{C,\mu} = \frac{U_{\mu}^{2}}{Q_{C,\mu}} = \frac{U_{\mu}}{\sqrt{3}I_{C,\mu} 10^{-3}}.$$

Полное сопротивление реактора равно:

Z = r + jx, $x_{\mu} \le x \le x_{max}$ или $x_{\mu} \le x \le x_{C,\mu}$.

Обычный способ моделирования *не*управляемых шунтирующих реакторов – шунт постоянной проводимости. Заранее вычисленные по номинальным значениям полной мощности и напряжения реактора значения проводимостей шунта, замещающего реактор, традиционно задаются в таблице Данные узлов, в колонках Gш и Bш. Этот способ сохранен для совместимости, но его полностью заменяет реализованный в программе способ индивидуальной обработки управляемых и неуправляемых шунтирующих реакторов. Данные реакторов отображаются в таблице Controlled shunt reactor (CSR) (Управляемый шунтирующий реактор), рис.3.3.1. Полные названия параметров реактора, обозначенные в колонках таблицы, приведены в диалоге редактирования на рис.3.3.2, где указаны также размерности параметров.

Contro	Controlled shunt reactor (CSR)												
Node	Line	Unom	Q nom	I nom	dPkz	dPxx	X nom	Xm	ax	Qc	U set	Ctrl	Gvr
10	10-5	1150.00	2100.00	1054.29			629.76	75571.	43		1150.00	U	U
110	100-110	1150.00	4200.00	2108.58	Ch nof	ARMITE			19		1150.00	U	U
210	200-210	1150.00	4200.00	2108.58		abili b			19		1150.00	U	U
310	300-310	1150.00	4200.00	2108.58	😭 🖓 🗳	вить			19		1150.00	U	U
410	400-410	1150.00	4200.00	2108.58	🖹 АКОП	ировать			19		1150.00	U	U
510	500-510	1150.00	4200.00	2108.58					19		1150.00	U	U
610	600-610	1150.00	4200.00	2108.58	🗙 Уда	лить			19		1150.00	U	U
710	700-710	1150.00	4200.00	2108.58					43		1150.00	U	U
810	800-810	1150.00	4200.00	2108.58	Ком	мутиров	ать		43		1150.00	U	U
910	900-910	1150.00	2100.00	1054.29	Упр	авлемый	і/неуправляе	мый	43		1207.00	(R)Ir	Ir
					Рег	улятор в	вести/вывес	ти					

Рис.3.3.1. Окно и контекстное меню для работы с данными УШР

Реактор может быть подключен к узлу с номером Node или к концу ветви с начальным и конечным узлами Line.

Если реактор подключен к узлу, в колонке Line ячейка будет пустой. При подключении к концу линии (можно также выбрать несколько линий для замера тока или мощности) в колонке Line отображаются начальный и конечный узлы линии. Реактор подключен к тому концу линии, номер которого совпадает с номером узла. Например, в выделенной строке рис.3.3.1 реактор подключен к концу линии в узле 10.

При одностороннем отключении ветви реактор остается подключенным к отключенному концу ветви.

В один узел можно включить произвольное количество реакторов.

Реакторы располагаются в таблице в порядке возрастания номера узла включения реактора в первой колонке. Средств сортировки и фильтрации не предусмотрено.

В контекстном меню, которое вызывается щелчком правой клавиши мыши в пределах таблицы, предусмотрен необходимый набор команд для создания и редактирования данных реакторов.

3.3.1 Схема/ Реакторы /Добавить...

Открывает пустой пользовательский диалог для ввода данных реактора, рис.3.3.2. При вводе данных некоторые параметры рассчитываются автоматически в соответствии с формулами, приведенными выше.

3.3.2 Схема/ Реакторы /Править...

Открывает пользовательский диалог для редактирования данных реактора, состоящий из двух закладок Параметры и Регулятор.

На закладке Параметры, рис.3.3.2, приведены полные названия параметров реактора, условное обозначение, которое фигурирует в заголовках колонок таблицы на рис.3.3.1, и единицы измерения параметров.

Кнопка Узлы открывает диалог со списком узлов схемы для выбора узла, в который включается реактор. Можно также ввести номер узла с клавиатуры, щелкнув мышкой в edit-боксе Узлы. Кнопка Ветви открывает диалог со списком ветвей, которые имеют вершиной заданный узел, для выбора ветви, к концу которой подключается реактор. Непосредственный ввод начального и конечного узлов ветви запрещен.

Обязательными для ввода параметрами являются Unom, Qnom, Uset, остальные параметры, если не введены, вычисляются в программе.

Для учета потерь в реакторе, если они имеют большую величину, нужно задать потери в меди dPkz и в стали реактора dPxx.

Реактор узла 10	X
Параметры Регулятор	
Узел <mark>10</mark> Ветвь 10-5	Узлы Ветви
Номинальное напряжение, Unom	1150 кВ 2100 Маза
Номинальная реактивная мощность, спол Номинальный ток, Inom	1054.2917 A
Потери в меди при ном.мощности, dPx Потери в стали, dPxx	квт
Номинальное индуктивное сопротивление, Xnom Максимальное индуктивное сопротивление, Xmax	629.76190 Ом 75571.428 Ом
Емкостная мощность, Qc<0	Мвар
Ф регулировать напряжение узла : U set	1150 кВ
С регулировать Qcsr = f(P) : P natural	МВт
волновая длина	рад.
 компенсировать реактивный ток линии до р компенсировать реактивный ток линии посл 	еактора пе реактора
 неуправляемый реактор (X=Xnom) реактор отключен 	
0	K Cancel

Рис.3.3.2. Диалог для ввода и редактирования данных реакторов

Если управляемый реактор может переходить в емкостной режим (типы УШРТ, а также СТАТКОМ, СТК), нужно задать максимальную мощность Qc реактора в емкостном режиме при номинальном напряжении в узле (со знаком минус).

Для управляемого реактора нужно указать функциональное назначение реактора: либо реактор поддерживает заданную уставку напряжения Uset в узле, либо реактор изменяет свою мощность в зависимости от передаваемой по длинной линии активной мощности, либо реактор компенсирует до нуля реактивную составляющую тока конца линии. Тип регулирования реактора сокращенно отображается в ячейке колонки Ctrl на рис.3.3.1:

U – регулирование напряжения,

• Q(P) – регулирование по закону $Q_{csr} = P_{\mu amyp} \lambda_i \left(1 - \left(\frac{P_i}{P_{\mu amyp}} \right)^2 \right)$, где *Pnatural* –

натуральная мощность линии, λ_i – волновая длина *i*-го участка длинной линии, (*Pnatural* и λ_i нужно ввести в исходных данных), *Pi* – активная мощность конца *i*-го участка линии, к которой подключен реактор,

- Ir(R) компенсация реактивного тока линии до реактора (ИТТ между выключателем линии и точкой подключения реактора), этот тип регулирования позволяет компенсировать реактивную мощность нагрузки, питающейся от тупиковой линии,
- (R)Ir компенсация реактивного тока после реактора (ИТТ между точкой подключения реактора и шинами), этот тип регулирования позволяет разгрузить генератор, работающий на линию, от емкостного тока.

Типы регулирования «регулировать Qcsr=f(P)», «компенсировать реактивный ток до реактора», «компенсировать реактивный ток после реактора» можно выбрать, если выбраны одна или несколько ветвей, к которым подключен реактор.

В ячейках колонки Gvr табл.3.3.3 отображается выбранный тип регулятора реактора, работающий в расчетах переходных процессов:

- U реактор регулирует напряжение в узле,
- Ir реактор компенсирует реактивный ток конца линии, измеряемый до или после реактора.

Если регулятор у реактора отсутствует, ячейка в колонке Gvr пустая. У такого реактора в динамике будет постоянное значение реактивного сопротивления, полученное при балансировании исходного установившегося режима.

В ходе балансирования установившегося режима сопротивление управляемого реактора в заданном диапазоне изменения (Хс или Xmax) $\leq X \leq$ Xnom изменяется таким образом, чтобы обеспечить заданное напряжение узла, либо скомпенсировать реактивный ток, измеряемый в конце линии, к которой подключен реактор.

Для нерегулируемого реактора нужно поставить галочку в чек-боксе нерегулируемый реактор (X=Xnom). Нерегулируемый реактор предназначен для замены шунта в таблице Данные узлов. Такой реактор будет иметь постоянное сопротивление (проводимость), равное его номинальному (минимальному) сопротивлению и соответствующее номинальной индуктивной мощности реактора. Это позволяет вручную изменять мощность реактора.

Если установить галочку в чек-боксе Реактор отключен, реактор отключается от узла и ветви. При снятии галочки реактор вновь подключается к узлу и ветви.

Помимо работы с данными реактора в диалоге рис.3.3.2 имеется возможность оперативно изменять некоторые параметры реактора прямо в таблице рис.3.3.1: Unom, Qnom, Xmax, Xc, Uset. Параметры Xnom и Inom при этом пересчитываются автоматически. Редактирование данных прямо в таблице работает так же, как в таблице Данные узлов, и описано выше.

3.3.3 Схема/ Реакторы /Копировать...

Копирование параметров реактора, выделенного в таблице Шунтирующие реакторы, во вновь создаваемый реактор.

При выборе команды открывается диалог, рис.3.3.2, в котором нужно задать новые узел и линию подключения реактора, попутно можно отредактировать и другие параметры реактора.

3.3.4 Схема/ Реакторы /Удалить

Безвозвратное удаление реактора из таблицы Шунтирующие реакторы после подтверждения контрольного запроса на удаление.

3.3.5 Схема/ Реакторы /Коммутировать

Команда позволяет, не заходя в диалог, рис.3.3.2, отключить включенный или включить отключенный реактор (эквивалент поставить/снять галочку в чек-боксе Реактор отключен). Команда выполняется для всех выделенных в таблице на рис.3.3.1 реакторов. Параметры отключенных реакторов отображаются в таблице 3.3.1 серым цветом.

3.3.6 Схема/ Реакторы /Управляемый/неуправляемый

Команда позволяет, не заходя в диалог, рис.3.3.2, перевести управляемый реактор в разряд неуправляемых с постоянным номинальным индуктивным сопротивлением. Является эквивалентом установки галочки в чек-боксе Неуправляемый реактор (X=Xnom). Вызов команды для реактора, переведенного ранее в разряд нерегулируемых, вновь делает реактор регулируемым. Команда выполняется для всех выделенных в таблице на рис.3.3.1 реакторов. У неуправляемых реакторов в табл.3.3.1 значение X nom выделяется красным цветом, а ячейка в колонке Ctrl пустая,

3.3.7 Схема/ Реакторы /Регулятор ввести/вывести

Команда позволяет, не заходя в диалог, рис.3.3.3, ввести и/или вывести регулятор в работу/из работы (эквивалент установки галочки в чек-боксе «Вывести регулятор из работы» на рис.3.3.3). Команда выполняется для всех выделенных в таблице на рис.3.3.1 реакторов и работает как переключатель.

В отличие от неуправляемого реактора, который имеет постоянное номинальное сопротивление, при выводе регулятора реактора из работы в расчете динамики реактор будет иметь постоянное сопротивление, равное значению, полученному в ходе балансирования установившегося режима.

Если регулятор реактора выведен из работы, в ячейке колонки Gvr тип регулятора отображается серым цветом.

3.3.8 Закладка Схема/ Реакторы /Регулятор

Закладка Регулятор, рис.3.3.3, предназначена для ввода данных автоматических регуляторов УШР, которые управляют реакторами в расчетах электромеханических переходных процессов.

Нужно, прежде всего, выбрать тип регулятора. Предусмотрены три типа: Нет регулятора, Регулятор напряжения и Компенсатор реактивного тока. (В дальнейшем количество типов регуляторов и каналов регулирования можно наращивать).

Контроль соответствия типа регулирования реактора при расчете установившегося режима, выбранного на закладке Параметры, и выбранного типа в расчетах переходных процессов регулятора возлагается на пользователя (сопоставляются типы в колонках Ctrl и Gvr). Они необязательно должны совпадать, допускается несовпадение типов.

Реактор и его регулятор моделируются апериодическими звеньями, учитывающими запаздывание в регуляторе и инерционность изменения реактивности реактора. Необходимо задать постоянные времени реактора и каналов регулятора в секундах и коэффициент передачи регулятора.

Регулятор напряжения, изменяя реактивность реактора, стремится вернуть напряжение в узле к тому значению, которое было в исходном установившемся режиме. Предусмотрены каналы по отклонению напряжения от заданной уставки Uset, рис.3.3.2, и по скорости изменения напряжения.

Компенсатор реактивного тока имеет два канала управления. Основной канал работает, если напряжение в узле находится в заданном диапазоне допустимых значений, и регулирует реактивное сопротивление реактора таким образом, чтобы реактивная составляющая тока конца линии с подключенным реактором стремилась к нулю. Если в ходе регулирования напряжение в узле выйдет за границы заданного допустимого диапазона, регулятор однократно переводится в режим поддержания напряжения и в дальнейшем расчете остается в этом режиме. Канал регулирования напряжения стремится вернуть напряжение в узле к тому значению, которое было в узле в исходном установившемся режиме.

Реактор узла 10				×
Параметры Регулят	rop			
Тип Регуля	тор напряжения	1	<u> </u>	
Нетре Регуля	гулятора тор напряжения			-
Компен	сатор реактивн	юго тока		
постоянная врег	ени реактора	10.05	-	
Канал по отклон	ению напряжени	49:		
Коэффициент	передачи, КОи	2	ед.угла/ед.нап.	
Постоянная	времени, Т0и	0.02	c	
		🔽 безынер	оционный	
Канал по скорости	и изменения нап	ряжения:		
Коэффициент	передачи, К1и	0	ед.угла/ед.н/с	
Постоянная	времени, Т1и	0.06	c	
Время диф	ференциатора	0.02	c	
		🗹 отключ	ить	
🗌 Вывести регул	ятор из работы			
			or 1 o	
			OK Cano	el

Рис.3.3.3. Диалог для ввода и редактирования данных автоматических регуляторов УШР

Если УШР на закладке Параметры перевести в разряд неуправляемых, его регулятор в переходном процессе работать не будет, при открытии закладки Управление она будет неактивной. Реактор в расчете переходного процесса будет иметь номинальное индуктивное сопротивление.

Можно вывести из работы регулятор УШР, поставив галочку в чек-боксе Вывести регулятор из работы. Тогда в расчете переходного процесса реактор будет иметь постоянное реактивное сопротивление, подобранное при балансировании установившегося режима.

3.4 Схема/Генераторы

Для каждого генераторного узла формируется информация по агрегатам (Генератор + Возбудитель + АРВ + Турбина + АРС), рис.3.4.1.

🔲 Парам	Параметры агрегатов									
(Θ 😰 🖻 🖻 🖉 Ω 🛃 📆										
Узел	Тип ген	N ген	Uном	Рном	cosFi	Xd	Xq	X'd	~	
5	TurboG	1	115.00	200.0	0.85	1.800	1.800	0.300		
6	TurboG	2	115.00	200.0	0.85	40.0		00		
9	TurboG	1	115.00	200.0	0.85	Qi⊗ Ha	араметры	00		
11	TurboG	1	115.00	200.0	0.85	🔜 🔗 Me	одель	00		
15	TurboG	2	115.00	200.0	0.85			0		
17	TurboG	1	115.00	200.0	0.85	🔜 🖹 🔒 Ко	пировать	00		
57	TurboG	3	230.00	200.0	0.85	- B •		00		
67	TurboG	3	115.00	200.0	0.85		Тавить	00		
68	TurboG	3	230.00	200.0	0.85	Ø C1	гереть	00		
74	TurboG	1	230.00	200.0	0.85	0 14		en 10		
77	TurboG	1	230.00	200.0	0.85	36 90	ichobannbic	CH. DO		
79	TurboG	1	115.00	200.0	0.85			00		
82	TurboG	1	115.00	500.0	0.85		нхронно	00		
87	TurboG	1	115.00	5.0	0.85		сциллограф.	N 🛛 🔍		
89	TurboG	1	115.00	200.0	0.85			NZ 30		
90	TurboG	1	115.00	100.0	0.85	Co	хранить	00		
<						2-	COVOLUTI-	>		
Генератор	Возбужден	ие API	В Турбин	a APC			прузить			

Рис.3.4.1. Окно и контекстное меню для обработки исходной информации по агрегатам

Список агрегатов в таблице сортируется по возрастанию номера узла. Дополнительных сортировок нет. Обозначения параметров генераторов являются общепринятыми.

При импорте схемы в формате ЦДУ информация по агрегатам отсутствует. Но для расчетов электрических режимов методом эквивалентных преобразований необходимы значения синхронных индуктивных сопротивлений машины по продольной x_d и поперечной x_q осям. (В расчетах динамики требуется весьма полная информация о генераторах, в ее состав входят значения указанных реактивностей). Поэтому при импорте схемы параметры агрегатов формируются автоматически со средними значениями по умолчанию, сразу все и для статики, и для динамики. По умолчанию генератору назначается простейшая модель – переходная ЭДС за переходным сопротивлением, принимается постоянное возбуждение (нет APB), и постоянный момент турбины (нет APC). Затем параметра агрегатов можно отредактировать (быстрое редактирование типа, модели и параметров генератора см. в Схема/Генераторы/Модель...).

При экспорте схемы предусмотрена возможность сохранения информации о генераторах, если в опциях Опции/Файлы программы задать запись строк с кодами 1501, 1502, 1503. Информация о возбуждении, АРВ, турбине и АРС не сохраняется, т.к. нет программ, поддерживающих обмен такой информацией. При сохранении схемы в собственном формате сохраняется полная информация о параметрах статических и динамических моделей элементов схемы.

По умолчанию назначаются средние значения параметров явнополюсной машины. Номинальное напряжение генератора Uном принимается равным номинальному напряжению узла. Номинальная активная мощность генератора Pном оценивается на основе активной и реактивной генерации в узле, а также принимается во внимание регулировочный диапазон по Q. С регулированием реактивной мощности нередко обращаются небрежно. В схемах энергосистем, использованных для тестов, встречаются совершенно нереальные значения Qmin-Qmax, что затрудняет оценку номинальной мощности генератора. Поэтому рекомендуется, если предполагается проводить расчеты переходных процессов, привести назначенные при импорте Pном генераторов в соответствие с реальными объектами, после чего экспортировать схему с сохранением параметров генераторов или сохранить ее в собственном формате. (Это особенно важно в расчетах переходных процессов с действием АЧР, когда из-за несоответствия Рном в таблице генераторов и Рген в таблице данных узлов получается нереальный вращающийся резерв).

Формирование таблицы параметров генераторов (агрегатов) происходит автоматически, без участия пользователя, для автоматизации работы со взаимоувязанной информацией, а также для того, чтобы пользователь по ошибке не мог нарушить синхронизацию между данными генераторных узлов и данными агрегатов, что критично для устойчивой работы программы. Если в каком-либо негенераторном узле в табл. на рис.3.2.1 задать генерацию, в таблицу на рис.3.4.1 будет автоматически добавлен генератор с постоянным возбуждением и моментом турбины. При удалении генерации из узла в таблице узлов на рис.3.2.1 автоматически удаляется генератор с возбудителем, АРВ, турбиной и АРС, в том числе и из табл.2.4.1.

Для работы с информацией по агрегатам предусмотрены команды контекстного меню, вызываемого щелчком правой клавиши мышки в окне параметров агрегата, рис.3.4.1.

3.4.1 Схема/Генераторы/Параметры...

Открывает диалог с закладками для просмотра и коррекции параметров Генератора, Возбудителя, АРВ, Турбины и АРС.

Агрегат						X			
Генератор В	озбуждени	e APB	Турбин	a APC					
Каталог ТВФ-63-2ЕУЗ 💌 🖃 🗙									
Узел 100 Тип ТВФ-63-2ЕУЗ									
Рном, МВт	63	Xd	1.5131	X2	0.166				
Uном, кВ	10.5	Xq	1.5131	XO	0.0672				
cos Fi ном	0.8	X'd	0.202	Хтр, Ом	0				
Tj, c	8	X''d	0.1361	TdO, c	6.15				
Кд	10	X''q	0.14	T"d, c	0.14				
Вкл.	1 🕂	Xs	0.09	T"q, c	0.17				
Модель Парка-Горева, с ДС ✓ Учет насыщения стали ✓ Многоконтурная с.з. ротора Сверхпереходная симметризация (x"d=x"q)									
			[OK	Car	ncel			

Рис.3.4.2. Диалог для работы с исходной информацией агрегата

Предусмотрен выбор параметров генератора из каталога, который создается/пополняется/корректируется "на лету" в ходе работы в диалоге. Созданный каталог генераторов постоянно хранится в подкаталоге программы: **Presets****Gen.txt**. Для ввода данных достаточно выбрать нужный генератор в каталоге. После ввода типа и данных генератора с клавиатуры его можно записать в каталог, нажав кнопку . Для удаления из каталога видимого в поле "Каталог" генератора нажимается кнопка .

Суммарная генерация включенных параллельно генераторов (Вкл.|| * Рном) должна быть не меньше, чем заданная генерация в таблице данных узлов, а номинальное напряжение генератора должно соответствовать номинальному напряжению узла. (Выполнение этих условий контролируется в программе с выдачей сообщений в журнал, осуществляется также контроль взаимной увязки связанных параметров с выдачей диагностических сообщений).

В зависимости от выбранной модели генератора часть исходной информации по генераторам не используется, о чем свидетельствует серый фон соответствующих неактивных полей диалога. Например, на рис.3.4.2 для генератора, моделируемого по уравнениям Парка-Горева с учетом демпферной системы, не используются параметры X"d, X"q, T"d, T"q, так как применена многоконтурная схема замещения ротора машины, о чем свидетельствует галочка выбора этой схемы замещения ротора, а ее параметры вводятся в дополнительном диалоге.

Характеристи	ка холостого хода 🛛			
Нормальная тур	of 🗸 Save Delete			
1, o.e.	U, н.о.е.			
0.000	0.000			
0.500	0.580			
1.000	1.000			
1.500	1.500 1.210			
2.000	2.000 1.330			
2.500	2.500 1.400			
3.000	1.460			
3.500	1.510			
New				
1				
(DK Cancel			

Многоконтурная с.з. ротора 🛛 🛛 🔀					×
торов (Эл-в Типовая ту Ось d	ю, #7, 1977) рбогенерато	DPOE	Save Ось q	Delete	_
Rrd 0.006000 0.010000 0.035000 New	Xsrd 1.9000 0.3600 0.1000		Rrq 0.005200 0.015000 0.089000 New	Xsrq 3.3000 0.5400 0.1600	
1		01		Cancel	J

Если моделирование генератора осуществляется с учетом насыщения стали по пути магнитного потока взаимной индукции, в дополнительном диалоге вводится информация по характеристике холостого хода машины. Каталоги х.х.х. и м.к.с.з. создаются/пополняются "на лету", хранятся в подкаталоге программы **Powertron** (Presets) **Hhh.txt** и **Powertron** (Presets) **Mksz.txt**.

Примечание. Наличие каталогов позволяет существенно ускорить первоначальный ввод информации по динамической модели генератора, для этого требуется несколько щелчков клавишами мышки, клавиатура не используется. Файлы каталогов можно просмотреть в текстовом редакторе (Notepad), но редактировать их не рекомендуется, т.к. можно нарушить структуру файла.

Предусмотрена сверхпереходная симметризация генераторов по осям d и q, которая используется в некоторых программах расчета динамики энергосистем. По умолчанию модель с использованием уравнений Парка-Горева сохраняет несимметрию ротора машины по осям d и q, при этом в расчете мгновенного электрического режима на шаге/подшаге численного интегрирования генератор замещается ЭДС за реактивностью рассеяния статора. Если поставить галочку Сверхпереходная симметризация (x^{*d}=x^{*q}), в расчете мгновенного электрического режима генератор замещается сверхпереходной ЭДС за сверхпереходным сопротивлением, которое принимается одинаковым по обеим осям машины: $x''_d = x''_q = x'' = (x''_d + x''_q)/2$. (Эта опция может потребоваться при анализе режимов работы генератора на длинную линию напряжением 500 кВ и выше с УШР, когда токи генератора при нарушении статической устойчивости могут превысить ток трехфазного к.з. на выводах генератора).

Работа с информацией по Возбуждению, АРВ, Турбине и АРС агрегата осуществляется при выборе соответствующих вкладок на рис.3.4.2. В текущей версии программы предоставляется выбор нескольких систем возбуждения и АРВ, паровой, газовой и гидротурбины и АРС с ЖОС и ГОС с типовыми значениями параметров по умолчанию, что позволяет осуществить быстрый ввод информации без использования клавиатуры.

Примечания.

1. Информацию по генераторам в табл.2.4.1 можно редактировать прямо в таблице, для чего нужно сделать двойной щелчок левой клавишей на ячейке с изменяемым параметром. Появится курсор. Завершается ввод по Enter или перемещением фокуса ввода стрелками на клавиатуре на смежную ячейку таблицы.

2. Вкладки Возбуждение, АРВ, Турбина, АРС на рис.3.4.1 являются информационными о выбранных типах этих элементов агрегата и непосредственно в таблице редактироваться не могут. Работа с данными этих элементов агрегата осуществляется только в диалоге, рис.3.4.2, при выборе соответствующей вкладки. Это объясняется тем, что у агрегатов могут быть разные типы элементов Возбуждение, АРВ, Турбина, АРС.

3. Для генераторов, перенесенных на высокое напряжение, рекомендуется задать внешнее сопротивление цепи генератора Хтр (блочного трансформатора), которое должно быть вычислено в Омах и приведено к ступени напряжения узла, к которому подключается генератор через Хтр. Если в узле параллельно включены несколько генераторов, Хтр определяется для одного трансформатора по формуле

$$X_{mp} = \frac{u_{\kappa}\%}{100} Z_{mp.hom} = \frac{u_{\kappa}\%}{100} \frac{U_{hom}^2}{S_{mp.hom}},$$

где *Uном* — номинальное напряжение генератора, кВ;

Smp.ном — номинальная полная мощность трансформатора, MBA.

Номинальное напряжение генератора *Uном* принимается равным номинальному напряжению узла включения. Если внешним сопротивлением является блочный

трансформатор, то Хтр должно быть приведено к ступени ВН, действительное значение Uном генератора увеличивается в коэффициент трансформации раз. Это позволяет корректно (с учетом потерь реактивной мощности) уменьшить число узлов в схеме, включив в сопротивление рассеяния контуров статора генератора сопротивление внешней цепи.

3.4.2 Схема/Генераторы/Модель...

Выбор/смена модели генератора, быстрый ввод параметров генераторов по умолчанию после импорта схемы в формате ЦДУ, вывод/ввод в работу регуляторов возбуждения и скорости.

Модель агрегата						
Модель генератора						
🛇 Переходная ЭДС Е' за переходной реактивностью X'd						
Парка-Горева, без демпферной системы						
🔨 Парка-Горева, с демпферной системой						
^И Сверхпереходная симметризация (x''d=x''q)						
🔲 Задать параметры по умолчанию						
💿 турбоагрегат						
С гидроагрегат						
🔲 Ограничение Eqmin определять, используя Qmin						
🔲 Едтах определять, используя Qmax узла						
- 4PB						
П Вывести из работы регулятор возбуждения						
_ APC						
🖂 Вывести из работы регулятор частоты вращения						
OK Cancel						

Команда работает с одним или несколькими выделенными в табл. на рис.3.4.1 агрегатами. Позволяет осуществить быстрый выбор/смену текущей модели генератора, а также быструю смену типа генератора и параметров генератора на параметры по умолчанию.

Имеется возможность все или часть *гидро*генераторов в табл. на рис.3.4.1, которые принимаются по умолчанию при импорте схемы в формате ЦДУ, сделать *турбо*генераторами с параметрами по умолчанию.

Параметры генератора изменяются на принятые по умолчанию, только если поставлена галочка "Задать параметры по умолчанию". Может быть задана/снята симметризация ротора генератора.

Отключение регуляторов скорости предусмотрено для расчетов переходных процессов при действии АЧР в отсутствие первичного резерва мощности, а также для динамического балансирования установившегося режима. Вывод из работы АРВ предусмотрен для динамического балансирования и утяжеления установившихся режимов.

Чек-боксы "Ограничение Eqmin определять, используя Qmin" и/или "Eqmax определять, используя Qmax узла" позволяют изменить способ расчета ограничений *Eqmin—Eqmax* модуля ЭДС возбуждения *PEq*-модели генератора. Установленные флажки сохраняются в данных генератора после записи схемы в файл. После чтения схемы они влияют на расчет ограничений ЭДС возбуждения. Установка этих флажков может сильно повлиять на результат расчета, поэтому требует дополнительных разъяснений.

Ограничения ЭДС возбуждения генераторов *Eqmin* и *Eqmax* нельзя редактировать непосредственно в таблице Параметры агрегата, но расширенный диапазон, определяемый по умолчанию, можно переопределить через заданные ограничения *Qmin-Qmax* реактивной мощности генераторных узлов с *PU*-генераторами.

Если галочка (по умолчанию) снята, в программе определяется расширенный регулировочный диапазон *Eq.* Значение *Eqmax* определяется из условия, что генератор должен обеспечить длительную выдачу номинальной полной мощности при напряжении на 5% выше номинального. Значение *Eqmin* определяется из условия, что в режиме синхронного компенсатора с недовозбуждением максимальная реактивная мощность генератора Smin=0+j(0,4·cos ϕ_{HOM} (по диаграмме рабочих режимов из справочника под ред. Рокотяна С.С. "Справочник по проектированию электроэнергетических систем. М.: Энергия 1985, стр.232").

В результате получается расширенный в сторону недовозбуждения регулировочный диапазон Eq (возбуждения) генератора. Поэтому при балансировании режима может получиться, что генератор (обычно небольшой мощности), стремясь поддерживать заданную в таблице данных узлов Uyct (уставку напряжения), будет уменьшать свое возбуждение вплоть до *Eqmin*. Это может привести к нарушению статической устойчивости генератора в ходе балансирования режима, т.е. генератор не сможет выдать заданную в таблице Данные узлов активную мощность Pген, т.к. при уменьшении Eq амплитуда угловой характеристике мощности в ходе балансирования режима точка на угловой характеристике мощности в ходе балансирования режима смещается в зону углов более 90 град. Программа автоматически выявляет проблемные генераторы, исключает их из регулирования напряжения и выдает сообщения в журнал.

С целью сужения регулировочного диапазона *Eqmin—Eqmax* предусмотрена возможность расчета граничных значений ЭДС возбуждения по регулировочному диапазону *Qmin-Qmax*, заданному для *PU*-генераторов в таблице Данные узлов. Эта возможность актуальна, прежде всего, для уменьшения *Eqmin* турбогенераторов, которые не допускают по каким-либо причинам режим недовозбуждения, или этот режим ограничен небольшими значениями *Qmin*.

Если галочка "Ограничение Eqmin определять, используя Qmin" и/или "Eqmax определять, используя Qmax узла" установлена, расчет ограничений в относительных единицах при номинальных условиях производится по формулам:

$$\begin{split} \dot{I} &= \frac{P_{zen} + jQ_{zen}}{\hat{U}}, \quad \dot{E} = \dot{U} + \left(r + j\left(x_q + x_{_{\theta heuu}}\right)\right)\dot{I}, \quad \delta_E = \arg(\dot{E}), \\ I_d &= \operatorname{Im}(\dot{I})\cos\delta_E - \operatorname{Re}(\dot{I})\sin\delta_E, \\ E_q &= \operatorname{mod}(\dot{E}) - I_d(x_d - x_q). \end{split}$$

При определении *Eqmin Qreн=Qmin*, а при расчете *Eqmax Qren=Qmax*. Вектор напряжения совмещен с осью вещественных комплексной плоскости, его модуль принимается равным уставке напряжения Uyct, заданной в данных узлов.

Таким образом, изменить *Eqmin—Eqmax* можно только косвенно, изменяя *Qmin—Qmax*. Вычисленные в программе значения ограничений, а также текущее значение *Eq* можно посмотреть в таблице Параметры агрегатов:

	Парам	атры агр	егатов							×
¢	io 🔗 🛛	b 🖥 Ø	Ω 🛃	¥ç						
	Tdo	T"d	p"T	Tj	Кд	Eq	Eqmin	Eqmax	model	^
	9.2000	0.1200	0.1400	8.00	10.00	1.8998	0.5648	2.9862	EX	
	7.0000	0.1195	0.1300	8.00	10.00	2.2231	0.6269	2.6181	ND	
	7.0000	0.1195	0.1300	8.00	10.00	2.2231	1.6507	2.6181	ND	
	7.0000	0.1195	0.1300	8.00	10.00	2.2231	1.6507	2.6181	D	
	7.0000	0.1195	0.1300	8.00	10.00	2.2231	0.6269	2.6181	D	
	6.8500	0.0600	0.1000	8.00	10.00	2.5824	2.0077	2.6956	D	-
	6.8500	0.0600	0.1000	8.00	10.00	2.5824	2.0077	2.6956	ND	
	6.8500	0.0600	0.1000	8.00	10.00	2.5824	2.0077	2.6956	ND	~
	<								>	
	Генератор	возбужд	ение АРВ	Турбина	APC					

Синим цветом выделены *Eqmin* и *Eqmax*, вычисленные по *Qmin* и *Qmax*. В последней колонке отображается сокращенное обозначение динамической модели генератора. EX — переходная ЭДС за переходным сопротивлением, D — уравнения Парка-Горева с демпферной системой, ND — уравнения Парка Горева без демпферной системы.

Редактирование *Eqmin* и *Eqmax* непосредственно в таблице заблокировано специально, поскольку неумелое обращение с *Eq* критично для балансирования режима.

Замечания:

1. Необходимо помнить, что сужение регулировочного диапазона *Eqmin—Eqmax*, может ускорить или, наоборот, замедлить сходимость режимов и даже сделать невозможным существование установившегося режима. В этом случае для получения режима необходимо вернуться к расширенному диапазону, сняв галочки "Ограничение Eqmin определять, используя Qmin" и/или "Eqmax определять, используя Qmax узла".

2. После того, как определен диапазон *Eqmin—Eqmax*, в дальнейших расчетах значения *Qmin-Qmax* не участвуют.

3. Положительным свойством PEq-модели является то, что с расчетчика практически снимается контроль реактивной мощности генераторов, поскольку при балансировании режима контролируются не ограничения по реактивной мощности PU-генераторов, а ограничения по току ротора PEq-генераторов, $E_{q\min} \leq E_q \leq E_{q\max}$. Причем, реактивная мощность даже у генераторов с посто-

янным возбуждением (*PEqc*-генератор с фиксированным возбуждением или вышедший на ограничение возбуждения *PEq*-генератор) остается свободным параметром режима и определяется в ходе расчета, а не фиксируется, как это некорректно происходит у *PQ*-генераторов. После того, как определен диапазон *Eqmin—Eqmax*, в дальнейших расчетах значения *Qmin-Qmax* не участвуют.

5. Важно: Не рекомендуется определять *Eqmax* по *Qmax*, если в данных узла задано нереальное значение *Qmax*=0. После этого нередко ухудшается сходимость или режим перестает балансироваться.

3.4.3 Схема/Генераторы/Копировать

Запоминает всю информацию по выделенному агрегату в буфере.

3.4.4 Схема/Генераторы/Вставить...

Вставка информации об агрегате из буфера в выделенные в табл. на рис.3.4.1 агрегаты.

При вставке информация копируется не полностью, сохраняются параметры генераторов, привязанные к данным в узлах схемы (Nпаралл., Pном, Uном, cosFihom).

Предусмотрена возможность частичного копирования по элементам, из которых состоит агрегат, выбор осуществляется при помощи всплывающего перед копированием диалога.

Вставить				
🔽 генератор				
🔽 систему возбуждения и APB				
🔽 кроме PQ/PEqc генераторов				
🔽 турбину и регулятор скорости				
OK Cancel				

Если снять галочку, информация не копируется. Если в схеме имеются *PQ/PEqc*генераторы, по умолчанию копирование Возбуждения и АРВ для них запрещено, поставлена галочка в чек-боксе кроме PQ/PEqc генераторов, т.к. в расчетах установившихся режимов они не участвуют в регулировании напряжения. Если снять запрет на копирование (убрать галочку), в динамике эти генераторы начнут регулировать напряжение/возбуждение и исходный установившийся режим может "поплыть" при интегрировании в отсутствие возмущений режима.

Для синхронных компенсаторов (Рген=0) Турбина и АРС не копируются.

3.4.5 Схема/Генераторы/Стереть

Удаляет Возбуждение+АРВ+Турбина+АРС, у агрегата будут постоянные возбуждение и момент турбины. Параметры генератора заменяются параметрами по умолчанию. Сам генератор не удаляется, для его удаления нужно в таблице данных узлов удалить генерацию и активной, и реактивной мощности, при этом автоматически удаляются данные агрегата.

3.4.6 Схема/Генераторы/Именованные ед.

Переводит сопротивления и ЭДС, приведенные в таблице, из н.о.е. (относительные единицы при номинальных условиях, когда за базисные количества принимаются значения номинальных параметров машины), в Ом и кВ.

3.4.7 Схема/Генераторы/Синхронно

Включает/отключает синхронное перемещение по табл. параметров агрегатов и табл. данных узлов схемы.

3.4.8 Схема/Генераторы/Осциллограф...

Подключение выделенных в таблице генераторов к осциллографу с выбором режимных параметров для осциллографирования.

3.4.9 Схема/Генераторы/Сохранить...

Запись генераторов в комплекте (Генератор+СВ+АРВ+Турбина+АРС) в файл на диск. Расширение файла по умолчанию .agg, в диалоге сохранения можно задать другое расширение.

3.4.10 Схема/Генераторы/Загрузить...

Чтение генераторов в комплекте (Генератор+СВ+АРВ+Турбина+АРС) из файла на диске.

При чтении файла с агрегатами в схему производится:

- контроль целостности и корректности файла,
- пропуск генератора, если в схеме нет номера узла, такого же, как у генератора,
- пропуск генератора, если в узле не задана генерация активной мощности,
- контроль, чтобы суммарная номинальная активная мощность генераторов была не меньше заданной генерации активной мощности в узле, с выдачей диагностики в журнал,
- то же для реактивной мощности.

Последние две команды предназначены для быстрого переноса генераторов между различными вариантами одной и той же схемы через файл на диске.

3.5 Схема/Нагрузка

В расчётах установившихся режимов нагрузка рассматривается без разделения на составляющие. Мощность нагрузки или постоянна, или зависит от напряжения и частоты по статическим характеристикам по напряжению и частоте.

В расчётах динамики нагрузку узла следует рассматривать уже как комплексную нагрузку, которая в общем случае разбивается на статическую и динамическую нагрузки. Динамическая нагрузка в свою очередь разбивается на асинхронную и синхронную составляющие, которые в расчетах электромеханических переходных процессов в энергосистемах представляются эквивалентными асинхронным и синхронным двигателями.

Для узла с нагрузкой определяются доли статической k_{ch} , асинхронной $k_{a\partial}$ и синхронной $k_{c\partial}$ составляющих нагрузки, их сумма $k_{ch} + k_{a\partial} + k_{c\partial} = 1,0$.

В результате расчета исходного установившегося режима получается текущая нагрузка узла $P_{_{H2.0}} + jQ_{_{_{H2.0}}}$, которая в случае зависимости от напряжения и/или частоты не равна заданной нагрузке узла $P_{_{_{H2}}} + jQ_{_{_{H2}}}$, если параметры режима узла отклоняются от номинальных. Полученная расчетом активная мощность нагрузки $P_{_{_{H2.0}}}$ делится на составляющие в соответствии с их долями.

Реактивная мощность эквивалентного асинхронного двигателя при разбивке нагрузки узла на составляющие неизвестна и определяется после расчёта исходного установившегося режима. Реактивная мощность синхронного двигателя для исходного режима должна быть задана. Баланс реактивной мощности нагрузки узла в исходном режиме сводится на статической составляющей нагрузки $Q_{cH} = Q_{H2,0} - Q_{ad} - Q_{cd}$.

Работа с параметрами нагрузки узлов выполняется в диалоге с тремя вкладками, представленном на рис.3.5.1. Полные названия параметров, обозначения которых приведены в заголовках таблиц на рис.3.5.1, и их размерность приведены далее в диалогах, в которых эти параметры можно вводить и редактировать.

Список нагрузочных узлов в таблице формируется автоматически без участия пользователя, аналогично тому, как это сделано для генераторов, см. Схема/Генераторы.

На первой вкладке Комплексная отображается состав комплексной нагрузки и параметры её составляющих. Ячейки таблицы СХН, К f, К ад, К сд и Q сд можно редактировать не только в диалоговом окне, но и прямо в таблице, сделав двойной щелчок левой клавиши мыши на ячейке. Ввод завершается или нажатием клавиши Enter или перемещением фокуса ввода на соседние ячейки стрелками перемещения курсора на клавиатуре. Ячейки, запрещенные для редактирования (значения в ячейках вычисляются программой), выделены серым цветом фона ячеек, фокус ввода их перескакивает.

На второй 'Асинхронная' и третьей 'Синхронная' вкладках диалогового окна отображаются параметры эквивалентных асинхронного и синхронного двигателей. При задании Кад и Ксд создаются двигатели, которые автоматически получают усреднённые параметры, применяемые по умолчанию. Затем эти параметры можно редактировать в специальных диалоговых окнах, в которых приведены полные названия и размерность параметров, или непосредственно в этих таблицах при двойном щелчке на ячейке.

napaw	иетры нагруз	вки									
S CXH		- P.a.									
Узел	Ксн	Рсн	Qсн	CXH	Kf	Кад	Рад	Q ад	Ксд	Рсд	Qq
10321	0.20	4.00	9.00			0.80	16.00				
10331	0.20	4.00	9.00			0.80	16.00				
0341	0.20	4.00	9.00			0.80	16.00				
1101	0.90	48.70	23.25	4	2.00				0.10	5.41	
1201	0.45	23.40	20.00			0.45	23.40		0.10	5.20	
2001	0.50	67.00	53.00			0.40	あ Параме	тры ь	0.10	13.40	
5001	0.45	22.27	15.00			0.45	10 0	5	0.10	4.95	
7001	0.50	24.50	14.00			0.40	^{сх} н СХН		0.10	4.90	
9001	0.45	29.25	21.00			0.45	_		0.10	6.50	
2011	0.20	4.76	11.80			0.80	🖹 Копиро	вать			
2021	0.10	39.07	94.34			0.50	R Retarut		0.40	156.30	-30.0
1011	0.45	142.20	78.00			0.45	ны оставит	D	0.10	31.60	
1021	0.45	111 15	67.00			0.45	- -		0.10	24 70	
1021	0.45	67.50	52.00			0.45	🔓 Синхро	нно	0.10	15.00	
1061	0.45	85.05	56.00			0.45	Ра Осцилл	ограф	0.10	19.10	
1081	0.45	85.00	59.00			0.40			- 0.10	17.00	
1001	0.50	85.00	30.00			0.40	Соурани	ATL	0.10	17.00	_
							Coxpan				- P
							Загрузи	ть			
омплекс	ная Асинхр	онная Син	хронная						-		
				-		_					
Параме	етры нагрузки										
C× _H ∎	b 🖻 🛃	¥2									
/зел	Тип	Рном	U ном	cos Fi	клд	S HO	м М макс	М пуск	Іпуск	Tj	К згр
0321	ad1	18.00	6.30	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.814
0331	ad1	18.00	6.30	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.814
0341	ad1	18.00	6.30	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.814
1101											
1201	ad1	26.00	10.50	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.823
2001	ad1	59.00	10.50	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.831
5001	ad1	25.00	10.50	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.816
7001	ad1	22.00	10.50	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.815
9001	ad1	33.00	10.50	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.810
2011	ad1	20.00	6.30	0.90	0.92	0.010	0 2.00	1.00	5.70	2.00	0.873
											•
nineken	Асинхрон										
Параме	етры нагрузки										
¢x _H ⊟	Тип	Рном	U ном	cos Fi	клд	N HO	M M max	М пуск	Мвх	І пуск	T d0
с _{хн} 🗉 зел											
^С Х _Н [/зел 0321											
^С Х _Н Е /зел 0321 0331											
Сх _Н Е (зел 0321 0331 0341							0 2 20	1.20	1.10	5.50	3.50
с _{хн} Е <u>зел</u> 0321 0331 0341 1101	equival	6.00	10.50	0.90	0.95	1000.0	2.20				
Сх _Н Е 3ел 0321 0331 0341 1101 1201	equival equival	6.00 6.00	10.50 10.50	0.90	0.95	1000.0	0 <u>2.20</u>	1.20	1.10	5.50	3.50
Сх _Н Е (зел 0321 0331 0341 1101 1201 2001	equival equival equival [2	6.00 6.00 20	10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0	0 2.20 0 2.20 0 2.20	1.20 1.20	1.10 1.10	5.50 5.50	3.50 3.50
Cx _H E (3en 0321 0331 0341 1101 1201 2001 5001	equival equival equival [2 equival	6.00 6.00 20	10.50 10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0 1000.0	0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20	1.20 1.20 1.20	1.10 1.10 1.10	5.50 5.50 5.50	3.50 3.50 3.50
Cx _H // Sen 0321 0331 0341 1101 1201 2001 5001 7001	equival equival equival [equival equival	6.00 6.00 20 3.00 6.00	10.50 10.50 10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0	0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20	1.20 1.20 1.20 1.20	1.10 1.10 1.10 1.10	5.50 5.50 5.50 5.50	3.50 3.50 3.50 3.50
CXH 321 331 331 331 341 1101 1201 2001 5001 7001 9001	equival equival equival equival equival equival	6.00 6.00 20 5.00 6.00 8.00	10.50 10.50 10.50 10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90 0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0	0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20	1.20 1.20 1.20 1.20 1.20	1.10 1.10 1.10 1.10 1.10	5.50 5.50 5.50 5.50 5.50 5.50	3.50 3.50 3.50 3.50 3.50 3.50
CXH 327 321 331 331 331 341 1101 1201 2001 2001 2001 2011	equival equival equival equival equival equival	6.00 6.00 20 5.00 6.00 8.00	10.50 10.50 10.50 10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90 0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0	2.20 2.20 2.20 2.20 2.20 0 2.20 0 2.20 0 2.20	1.20 1.20 1.20 1.20 1.20	1.10 1.10 1.10 1.10 1.10	5.50 5.50 5.50 5.50 5.50	3.50 3.50 3.50 3.50 3.50 3.50
CXH 3en 3321 3331 3331 3341 1101 1201 2001 5001 7001 2001 2001	equival equival equival [/ equival equival equival	6.00 6.00 20 5.00 6.00 8.00	10.50 10.50 10.50 10.50 10.50 10.50 10.50	0.90 0.90 0.90 0.90 0.90 0.90	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0	2.20 2.20 2.20 2.20 2.20 2.20 2.20 2.20 2.20	1.20 1.20 1.20 1.20 1.20	1.10 1.10 1.10 1.10 1.10	5.50 5.50 5.50 5.50 5.50	3.50 3.50 3.50 3.50 3.50 3.50

Рис.3.5.1. Окно и контекстное меню для ввода/редактирования исходной информации по нагрузке

3.5.1 Схема/Нагрузка/Параметры...

Изменение параметров комплексной нагрузки выделенного нагрузочного узла.

В диалоговом окне Нагрузка отображается номер выделенного узла. Поля диалогового окна, доступные для ввода/редактирования данных, имеют белый цвет фона. В полях

с серым фоном параметры вычисляются и выводятся в ходе диалога, непосредственное редактирование недоступно.

агрузка Комплексная нагрузка Асинхронная Синхронн	ая	×
УЗЕЛ 11101		
Статическая		
Доля статической нагрузки, Ксн = Рсн/Рнг	0.9	o.e.
Активная мощность, Р сн	48.7	МВт
СХН по напряжению в статике:	Таблица	1
номер	4	1
CVII		
САН по напряжению в динамике		
Регулирующий эффект нагрузки по частоте, Кf	2	o.e.
_ Динамическая		
Доля асинхронной нагрузки, Кад = Рад/Рнг	0	o.e.
Активная мощность, Рад	-0.0	MB1
Доля синхронной нагрузки. К сд = Рсд/Рнг	0.1	o.e.
AVTICUTE ROLLING	E.4	MD-
АКТИВНАЯ МОЩНОСТВ, Г СД	5.4	
Реактивная мощность, Q сд (Qcд < 0 перевозбуждение)	0	Мвар
0	к	тмена

Должно выполняться условие **Ксн + Кад + Ксд = 1,0**. Доли асинхронной Кад и синхронной Ксн нагрузок вводятся, а доля статической нагрузки Ксн автоматически вычисляется (Кад и Ксн, Qсд можно ввести также непосредственно в таблице Параметры узлов на вкладке Комплексная, рис.3.5.1). Вкладки для просмотра и редактирования данных эквивалентных АД и СД диалогового окна Нагрузка становятся активными, только если заданы доли мощности асинхронной и синхронной составляющих комплексной нагрузки в этом узле, после чего на эти вкладки можно переключиться. Например, на рис.3.5.1 для узла 11101 заданы Кад = 0 - вкладка асинхронной нагрузки неактивна, и Ксд = 0,1 - вкладка синхронного двигателя активна. Вычислено значение Ксн = 0,9.

Как только в узле будет задана Кад, Ксд в комплексную нагрузку добавляется АД, СД с параметрами по умолчанию, с механизмом, имеющим вентиляторную характеристику (М мех ~ ω^2), и происходит оценка номинальной активной мощности Р ном двигателей по формуле Рном \cong К_{АД(СД)} * Рнг * 1,1, где Рнг – активная мощность в таблице Данные узлов, коэффициент 1,1 – вводит поправку на КПД и загрузку двигателя. Значение Рном округляется до ближайшего большего целого значения для АД при условии, что Кад < 1 и Uном > 1 и Рном > 1, для СД – при условии, что Ксд < 1 и Рном > 1. (Оценённую Р ном и другие параметры двигателей в дальнейшем можно при необходимости отредактировать). При обнулении Кад, Ксд нагрузка в узле становится статической, АД, СД удаляются из комплексной нагрузки узла.

Добавленные двигатели отображаются на вкладках Асинхронная и Синхронная, рис.3.5.1. Коэффициент загрузки добавленных эквивалентных АД, СД не редактируется, а вычисляется в программе по формуле Кзгр ≅ (К_{АД(СД)} * Рнг * **η**_{ном}) / Рном, где Рном, **η**_{ном} – номинальные активная мощность и КПД двигателя на вкладках Асинхронная, Синхронная, рис.3.5.1. Регулировать Кзгр можно, изменяя Рном АД, СД или Рнг.

СХН по напряжению в статике используются в расчётах установившихся режимов. Для статической нагрузки может быть задана индивидуальная СХН (только для этого узла) в виде таблицы или задан номер одной из предопределённых СХН в виде полиномов второй степени, которые могут использоваться во многих нагрузочных узлах. Чтобы показать, что в данном узле задана индивидуальная табличная СХН, в таблице Параметры нагрузки (см. рис.3.5.1) в колонке СХН ячейка выделяется серым цветом фона.

Ta	абличная СХН			x			
	Katang	-	охранить Уда	ілить			
	Na Ta/lui	l					
		Тип Ц	⊔унт (Р~U^2, Q≀	√U^2)			
	U/Uном н.о.е.	Р/Рном н.о.е.	Q/Qном н.о.е.				
	0.80000	0.64000	0.64000				
	0.85000	0.72250	0.72250				
	0.90000	0.81000	0.81000				
	0.95000	0.90250	0.90250				
	1.00000	1.00000	1.00000				
	1.05000	1.10250	1.10250				
	1.10000	1.21000	1.21000	Ξ			
	1.15000	1.32250	1.32250				
	1.20000	1.44000	1.44000				
	1.25000	1.56250	1.56250				
	1.30000	1.69000	1.69000				
	INEW D						
	Задать не менее четырех точек от минимального значения U к максимальному значению U, н.о.е.						
	СХН должна проходить через точку номинального режима нагрузки: U/Uном=1, P/Pном=1, Q/Qном=1						
	Отключить						
	Удалить СХН	ОК	Отмен	ia			

При нажатии кнопки Таблица открывается диалог для ввода табличной СХН.

Чтобы ввести строку СХН в таблицу нужно сделать двойной щелчок на ячейке New. После активации ввода в ячейку последующий переход между ячейками осуществляется клавишами управления курсором. Завершается ввод строки СХН клавишей Enter. В поле Тип вводится название, характеризующее СХН.

Можно задать одновременно и табличную СХН, и номер полиномиальной СХН. Если в чек-боксе Отключить галочка снята, приоритет имеет (участвует в расчётах) табличная СХН. Красный цвет номера СХН на сером фоне ячейки в таблице на рисунке 3.5.1 означает, что СХН № 4 не используется:

Узел	Кан	Рсн	Qсн	CXH	Кf	Кад	Рад	Q ад	Ксд	Рсд
11101	0.90	51.67	20.00	4	2.00				0.10	5.74

Если отключить табличную СХН, установив галочку в чек-боксе Отключить

Отключить		
Удалить СХН	ок	Отмена

в расчётах используется СХН № 4, на что указывает светло-красный фон ячейки и черный цвет номера СХН:

Узел	Ксн	Рсн	Qсн	CXH	Кf	Кад	Рад	Q ад	Ксд	Рсд
11101	0.90	51.67	20.00	4	2.00				0.10	5.74

Введённую с клавиатуры табличную СХН следует сохранить в каталоге для последующего использования. Для этого в верхней секции диалога в комбо-боксе нужно ввести название СХН, после чего кнопки Сохранить и Удалить становятся активными, и нажать кнопку Сохранить.



СХН сохраняется в каталоге, в файле .\Presets\Cxn.txt. Сохранённые в каталоге СХН можно загружать в схему, выбрав название СХН в выпадающем списке комбо-бокса



и удалять из файла .\Presets\Cxn.txt, нажав кнопку Удалить,

Типовая СХН №2 (35 кВ) - Сохранить Ударить

при этом из схемы СХН не удаляется. Чтобы удалить СХН из схемы, нужно нажать кнопки Удалить СХН и ОК.

Если в узле нет динамической составляющей нагрузки (К сн = 1,0), то в динамике можно использовать те же СХН, что и в статике.

Если в динамике нагрузка в узле разбита на статическую, асинхронную и/или синхронную составляющие, то СХН, которые использовались при расчёте установившегося режима (в статике), не годятся для статической составляющей комплексной нагрузки в динамике. Для статической составляющей нагрузки можно задать табличную СХН по напряжению в динамике (сокращённо ДХН), нажав кнопку ДХН.

Диалог ввода параметров ДХН и работа в диалоге такие же, как для табличной СХН по напряжению в статике. ДХН можно сохранять в каталоге вместе с СХН для статики в файле .\Presets\Cxn.txt и загружать их в схему.

Чтобы показать, что в данном узле задана индивидуальная табличная ДХН, в таблице Параметры нагрузки в колонке К сн ячейка выделяется серым цветом фона (см. рис.3.5.1, узел 11101). Если отключить ДХН, цвет фона ячейки становится светлокрасным. Этот цвет фона показывает, что ДХН в узле задана, но отключена и не используется.

Важно. Особенностью обработки табличных СХН и ДХН является то, что при выходе в ходе расчёта напряжения за верхнее или за нижнее значение, значения *P* и *Q* принимаются равными граничным значениям. Поэтому для ДХН, в отличие от СХН для статики, диапазон изменения напряжения следует задавать от нуля до наибольшего рабочего напряжения с соответствующими значениями P и Q, т.к. в переходном процессе напряжения могут снижаться до нуля.

Редактирование параметров асинхронных и синхронных двигателей и механизмов на валу двигателей осуществляется на вкладках Асинхронная и Синхронная.

На скриншотах диалога приведены усреднённые параметры асинхронного и синхронного двигателей, которые используются по умолчанию при добавлении в состав комплексной нагрузки эквивалентных АД и СД. При вводе индивидуальных параметров по типам двигателей их можно сохранить в каталоге для последующего использования в других узлах и схемах. Работа с каталогами асинхронных и синхронных двигателей осуществляется так же, как с каталогом табличных СХН. Параметры асинхронных двигателей хранятся в файле .\Presets\Ad.txt, параметры синхронных двигателей хранятся в файле .\Presets\Sd.txt. Эти файлы допускается редактировать в текстовом редакторе.

Комплексная нагрузка Асинхронная Синхрон	ная	
Каталог	iave De	elete
Узел 11201 Тип ad1		
Ном. активная мощность двигателя, Р ном	23	МВт
Номинальное напряжение, U ном	10.5	κВ
Номинальный косинус фи, cos Fi	0.9	
Коэффициент полезного действия, КПД	0.92	o.e.
Номинальное скольжение, s ном	0.01	o.e.
Кратность максимального момента, М макс	2	o.e.
Кратность пускового момента, М пуск	1	o.e.
Кратность пускового тока, I пуск	5.7	o.e.
Инерционная постоянная агрегата, Т ј	2	с
Момент трогания механизма, М т	0.15	o.e.
Минимальный момент механизма, M min	0.04	o.e.
Частота вращения при min моменте, N min	0.2	o.e.
Момент при открытии клапана, Мкл	1	o.e.
Частота вращения при Мкл, Nкл	0.99	o.e.
Показатель степени Ммх=f(n)	2	
	ОК	Отмена

Нагрузка	A 1-1	X					
Комплексная нагрузка Асинхронная Синхронная							
Katanor Save Delete							
Узел 11101 Тип equivalent							
Ном. активная мощность двигателя, Р ном	8	МВт					
Номинальное напряжение, U ном	10.5	кВ					
Номинальный косинус фи, соз Fi	0.9						
Коэффициент полезного действия, КПД	0.95	o.e.					
Номинальная частота вращения, N ном	1000	об/мин					
Максимальный синхронный момент, М макс	2.2	o.e.					
Кратность пускового момента, М пуск	1.2	o.e.					
Кратность входного момента, М вх	1.1	o.e.					
Кратность пускового тока, І пуск	5.5	o.e.					
Пост. времени обмотки возбуждения, T d0	3.5	c					
Инерционная постоянная агрегата, Тј	3	c					
Момент трогания механизма, М т	0.15	o.e.					
Минимальный момент механизма, M min	0.04	o.e.					
Частота вращения при min моменте, N min	0.2	o.e.					
Момент при открытии клапана, Мкл	1	o.e.					
Частота вращения при Мкл, Nкл	1	o.e.					
Показатель степени М=f(n)	2						
Возбуждение							
	ок	Отмена					

Синхронные двигатели имеют систему возбуждения. Чтобы открыть диалог для выбора системы возбуждения и ввода/редактирования параметров, нужно нажать кнопку Возбуждение.

В верхней секции диалога Система возбуждения двигателя в комбо-боксе выбирается один из предопределённых типов системы возбуждения: постоянное возбуждение, статическое (тиристорное) возбудительное устройство (СВУ), бесщёточное возбудительное устройство (БВУ). После выбора типа системы возбуждения поля диалога заполняются параметрами по умолчанию, которые затем можно отредактировать.

.



По умолчанию постоянная времени эквивалентного APB эквивалентного синхронного двигателя принята T er = 0. Это означает, что APB является практически безынерционным регулятором, малое запаздывание или не учитывается, или косвенно учитывается в постоянной времени T e. Если для реального двигателя, моделируемого индивидуально, T er известна, её следует задать.

Если APB регулирует напряжение в узле (Ku0 \neq 0), в качестве уставки APB по напряжению принимается напряжение в узле после балансирования исходного установившегося режима.

Особенности моделирования нагрузки в расчётах статики, динамики и пусков/самозапусков двигателей в узле нагрузки

 В расчетах установившихся режимов вся нагрузка является статической, ее исходная активная и реактивная мощности заданы в таблицы Данные узлов. При расчете установившегося режима используются СХН по напряжению в статике, если они заданы в таблице Параметры нагрузки, в противном случае активная и реактивная мощности нагрузки постоянны и не зависят от режима сети. Заполненные поля К ад и К сд в таблице параметров нагрузки значимы только для динамики, в расчётах статики не используются.

Регулирующий эффект нагрузки по частоте К f в расчетах установившихся режимов учитывается в случае, если установившийся режим балансируется не при номинальной частоте, заданной в диалоге Схема/Узлы/Базисный.... При частоте 50 Гц значение K f на результаты расчета установившегося режима не влияет. В расчётах динамики для коррекции активной мощности статической составляющей комплексной нагрузки при изменении частоты будет использоваться заданный K f.

2. Баланс реактивной мощности в исходном установившемся режиме сводится на статической составляющей комплексной нагрузки узла. Поэтому реактивная мощность статической составляющей нагрузки Q сн в таблице Параметры нагрузки, рис.3.5.1, может получиться отрицательной, хотя суммарная реактивная мощность комплексной нагрузки положительна (отображается в таблице Режим узлов в колонке Q нг). Это происходит тогда, когда реактивная мощность асинхронного двигателя (она рассчитывается при балансировании установившегося режима) и синхронного двигателя (она задается в диалоге, если Q сд < 0, двигатель перевозбужден, Q сд > 0 – недовозбужден) оказывается больше, чем заданная реактивная мощность нагрузки в таблице "Данные узлов".

Если в таблице узлов Q нг ≥ 0, полученное значение Q сн < 0 свидетельствует о несоответствии заданного состава нагрузки значению Q нг комплексной нагрузки в таблице "Данные узлов".

Если в узле есть только двигательная нагрузка (К ад и К сд не равны нулю и в сумме равны единице), а статическая отсутствует (К сн = 0), сведение баланса мощности на статической составляющей нагрузки приводит к ситуации, когда К сн = 0, P ch = 0, a $Q ch \neq 0$.

- В этих случаях привести в соответствие состав нагрузки и значение Q сн можно:
 - изменяя долю К ад;
 - и/или, если задана доля синхронной составляющей К сд, изменяя эту долю или реактивную мощность синхронного двигателя Q сд.
- При переходе к расчётам динамики во избежание получения неожиданных результатов необходимо проконтролировать, какие модели используются для статической составляющей комплексной нагрузки узлов. Возможны следующие ситуации.

1 – для всех или некоторых нагрузочных узлов заданы и включены индивидуальные СХН по напряжению в динамике (табличные ДХН). В расчётах динамики всегда, независимо от других условий, для статической составляющей нагрузки этих узлов используются ДХН. Если задан К f ≠ 0, активная мощность статической составляющей нагрузки корректируется при изменении частоты. При отключении ДХН они не используются, проверяется выполнение других условий.

2 – в опциях программы Опции/Дополнительно выбрано, что в расчётах динамики



В этом случае статическая составляющая комплексной нагрузки во всех нагрузочных узлах, в которых *не задана или задана, но отключена* индивидуальная табличная ДХН, представляется шунтом с постоянными параметрами. «*СХН по напряжению в статике» в расчете переходного процесса не используются*. Мощность шунта $P \sim U^2$ и $Q \sim U^2$. Заданный К f \neq 0 используется для коррекции активной мощности статической составляющей нагрузки при изменении частоты.

3 – в опциях программы задано



Если галочка в чек-боксе этой опции не установлена, то в расчётах динамики во всех нагрузочных узлах, кроме тех узлов, для которых задана и включена таблич-

ная ДХН, статическая составляющая нагрузки имеет такую же модель, как нагрузка узла при расчёте установившегося режима.

Варианты. За) В параметрах нагрузки СХН по напряжению в статике не заданы. Модель нагрузки $P_{H2} = \text{const}, Q_{HT} = \text{const}$. В расчётах динамики для статической составляющей комплексной нагрузки останется эта же модель. Но если задан К f \neq 0, активная мощность статической составляющей нагрузки корректируется при изменении частоты.

Замечание. Постоянная мощность статической составляющей нагрузки в расчётах динамики, как правило, является некорректной моделью, которая создаёт положительную обратную связь по напряжению, способствуя лавинообразному снижению напряжений.

36) В параметрах нагрузки заданы СХН по напряжению в статике. При переходе к расчёту динамики эти же СХН используются для статической составляющей нагрузки. Заданный регулирующий эффект нагрузки по частоте К f ≠ 0 используется для коррекции активной мощности статической составляющей нагрузки при изменении частоты.

Замечание. Эта модель пригодна только для узлов, в которых нет двигателей. Её применение для узлов с двигателями является некорректным, т.к. эта модель не учитывает кинетическую энергию, запасённую во вращающихся массах агрегатов двигатель-механизм. Например, при использовании такой модели в расчётах АЧР искажаются процессы снижения и последующего подъема частоты.

- 4. При импорте схемы в унифицированном формате ЦДУ или в формате RastrWin3 rg2 доля статической нагрузки принимается равной К сн = 1, а доли асинхронной К ад и синхронной К сд составляющих принимаются равными нулю (пустые поля), поэтому вся нагрузка является статической. После чтения схемы можно изменить состав нагрузки, задав значения К ад и К сд и отредактировав параметры двигателей. При последующем сохранении схемы в собственном формате *.cir заданный состав комплексной нагрузки и параметры ее составляющих сохраняются.
- 5. В узле заданы К ад = 1, К сд = К сн = 0 (индивидуальное моделирование АД в расчётах пусков и самозапусков в узле нагрузки). В таблице Данные узлов активная мощность Р нг = Р вал, равна мощности на валу АД, которую потребляет механизм при номинальной частоте вращения двигателя. Коэффициент загрузки двигателя Кзгр = Р нг/Р ном, где Р ном номинальная каталожная мощность АД, которая вводится на вкладке Асинхронная в таблице Параметры нагрузки.

В этом случае при балансировании режима на каждой итерации пересчитывается установившийся режим АД и определяется его рабочее скольжение при заданном Кзгр из условия равенства моментов на валу АД и механизма. Активная и реактивная мощности АД, потребляемые из сети, отображаются в таблицах Режим узлов и на вкладке Комплексная в таблице Параметры нагрузки.

6. В узле заданы К сд = 1, К ад = К сн = 0 (индивидуальное моделирование СД в расчётах пусков и самозапусков в узле нагрузки). В таблице Данные узлов активная мощность Р нг = Р сд, равна мощности СД, которую потребляет СД из сети при номинальной частоте вращения двигателя. Коэффициент загрузки двигателя Кзгр = (Р нг* ηном)/Р ном, где Р ном, ηном – номинальные активная мощность и КПД СД, которые вводятся на вкладке Синхронная в таблице Параметры нагрузки. Если известна (задана) мощность механизма Р вал при синхронной частоте вращения СД, то в таблице Данные узлов необходимо ввести Р нг = Р вал/ ηном.

В таблице Данные узлов реактивная мощность Q нг = Q сд, равна реактивной мощности СД. Если СД перевозбуждён Q сд < 0 . После балансирования режима определяются внутренний угол (угол нагрузки) СД (Еq \wedge U) и режим APB.

3.5.2 Схема/Нагрузка/СХН...

Ввод и/или редактирование параметров СХН, аппроксимируемых полиномами второй степени.

🗖 СХН							×	
Номер	a0	al	a2	ЬО	Ь1	Ь2	Count	
0	1.000			1.000			(19)	
1	0.830	-0.300	0.470	3.700	-7.000	4.300	(3)	
2	0.830	-0.300	0.470	5,500	-10.700	6.200	(1)	
3	1.000			1.000				
4	1.000			1.000	- HOB	ая		
New					Править			
				Х Удалить				
					А УДо			

СХН в таблице упорядочиваются по возрастанию их номера, дополнительных видов сортировки не предусмотрено.

Правка и удаление условной СХН номер 0, которая фактически не обрабатывается, запрещены.

СХН *1* и 2 являются типовыми, их можно в текущем сеансе работы со схемой изменить, но после загрузки новой схемы типовые СХН будут восстановлены.

Номера нетиповых СХН могут быть любыми, кроме 0, 1 и 2. Можно создавать/редактировать СХН по командам Новая..., Править... в отдельном диалоге, либо прямо в таблице по двойному щелчку левой клавиши мышки на какой-либо ячейке. Для создания новой СХН нужно дважды щелкнуть левой клавишей мыши на ячейке New.

Автоматически контролируется корректность введенных коэффициентов СХН с пересчетом их значений. После задания номеров СХН в табл. на рис.3.5.1, закрытия и последующего вызова диалога СХН колонка Count показывает число узлов с различными СХН, см.рис.3.5.1.

3.5.3 Схема/Нагрузка/Копировать

Запомнить параметры выделенной комплексной нагрузки в буфере обмена.

3.5.4 Схема/Нагрузка/Вставить

Вставить параметры комплексной нагрузки из буфера в одну или несколько выделенных нагрузок в табл. 2.5.1. Предусмотрена возможность частичного копирования, для чего перед завершением операции появляется диалог

Вставить	
Г СХН Г К/ Г АД	ОК
ГССД ГСВСД	Cancel

Если стоит галочка в чек-боксе, информация копируется, иначе — нет. Можно разрешить/запретить копирование СХН, регулирующего эффекта статической нагрузки по частоте (Kf), асинхронного двигателя с механизмом (АД), синхронного двигателя с механизмом (СД) и его системы возбуждения. При вставке не копируются параметры нагрузки, связанные с мощностью нагрузки в таблице данных узлов, рис.3.2.1, они автоматически вычисляются при копировании.

3.5.5 Схема/Нагрузка/Синхронно

Включить/отключить синхронное перемещение по строкам с нагрузкой в таблице данных узлов в окне Данные узлов.

3.5.6 Схема/Нагрузка /Осциллограф...

Подключение выделенных в таблице нагрузок к осциллографу.

3.5.7 Схема/ Нагрузка /Сохранить...

Запись комплексной нагрузки в комплекте (СН+АД+СД+АРВ) в файл на диск. Расширение файла нагрузки по умолчанию .ngr, его можно изменить при вводе имени файла в диалоге.

3.5.8 Схема/ Нагрузка /Загрузить...

Чтение комплексной нагрузки в комплекте (СН+АД+СД+АРВ) из файла на диске. При чтении нагрузки из файла в схему производится:

- контроль целостности и корректности файла,
- пропуск нагрузки, если в схеме нет номера узла, такого же, как у нагрузки,
- пропуск нагрузки, если в узле не задана нагрузка,
- контроль коэффициента загрузки двигателей с выдачей диагностики в журнал.

Последние две команды предназначены для быстрого переноса нагрузки между различными вариантами одной и той же схемы через файл на диске.

3.6 Схема/Автоматика

3.6.1 Создание и редактирование устройств автоматики.

В дереве автоматик, которое выводится в левой части диалога, отображаются типы автоматик и устройства автоматик этих типов, содержащиеся в схеме. Если устройств автоматики нет, отображаются только типы.

Для добавления новой автоматики какого-либо типа нужно в дереве типов и устройств автоматики выделить *mun* (ABTOMAT, APЧM, AЧР) и нажать клавишу Insert. При использовании мышки нужно щелкнуть правой клавишей мышки на названии типа автоматики, во всплывающем меню выбрать пункт 'Добавить' или 'Загрузить...' (остальные пункты меню неактивны, они становятся активными, если в дереве выделена автоматика) и щелкнуть по этому пункту левой клавишей мышки.

Автоматик	a	
 ABTI AP4 AP4 A4P 	Добавить Копиховать Удалить Сохранить Загрузить	

При добавлении автоматики появляется пустой шаблон новой автоматики и открывается бокс для редактирования ее названия.

Автоматика		
ABTOMAT pusk_for_alar alar_dz/dt alar_z alar_l arodl start_achr	Факторы	и Имя
ideal paralleling	АЛУ	-
Д III self_sinch <u>Новая автоматика</u> АРЧМ	ID New	Выражение
±. AHB		

После ввода имени автоматики нужно его зафиксировать нажатием клавиши Enter, затем можно приступить к заданию параметров автоматики, (имя впоследствии, если требуется, можно отредактировать, для чего на нем нужно сделать два редких щелчка левой клавишей мышки, первый щелчок выделяет имя, второй открывает бокс редактирования).

Можно вставить готовую автоматику из файла, для этого служит пункт меню 'Загрузить...'. При его выборе открывается стандартный диалог чтения файлов, нужно открыть требуемый файл автоматики (из каталога, в который ранее сохранялись автоматики), что приведет к загрузке этой автоматики в схему.

Если в дереве типов и устройств автоматик выделено *устройство*, контекстное меню, вызываемое щелчком по этому устройству правой клавиши мышки, модифицируется.

Автоматика	
ABTOMAT	Факторы ID Имя KZ Реле сопротивл KS Реле мощности nc1 счетчик 1/2 цин nc2 счетчик 1/2 цин dt1 время от KS до dt2 время от I/KZ до
ide. Загрузить irt self_sinch АРЧМ АЧР	АЛУ ID Выражение cycle KZ && KS ret ! KZ && nc1 >= 0 nc nc1 + nc2 KT1 cycle

Выделенное устройство можно 'Копировать', 'Удалить' или 'Сохранить...' в файле (команды, работающие с типами автоматик, 'Добавить' и 'Загрузить...' при этом неактивны). Операция 'Копировать' при щелчке ЛКМ добавляет выделенный автомат в конец дерева автоматов.

При копировании автоматов объекты факторов и действий не удаляются, создается точная копия автомата. После копирования необходимо, как минимум:

- изменить имя автомата,
- скорректировать привязку факторов и действий к объектам схемы и автоматам.
 Контроль за привязкой факторов и действий к объектам схемы и автоматам возлагается на пользователя.

При удалении устройства автоматики появится запрос на подтверждение операции удаления, после подтверждения автоматика необратимо удаляется.

Автоматику можно сохранить в файле на диске. После выбора команды 'Сохранить...' появляется стандартный пользовательский диалог сохранения файлов, в котором выбирается каталог для хранения автоматик и задается имя файла с автоматикой.

Примечание.

- 1. При сохранении в файле на диске автоматика сохраняется *полностью*, включая объекты электрической схемы и другие устройства автоматики, к которым привязаны факторы и действия сохраняемой автоматики.
- 2. При чтении автоматики из файла проверяется наличие в новой схеме, в которую загружена автоматика, узлов и ветвей, фигурирующих в качестве объектов факторов и действий. Если среди узлов и ветвей новой схемы нет объектов загруженной автоматики, они удаляются из списка объектов автоматики.

Узлы идентифицируются по номеру узла, если номера объекта-узла нет в схеме, объект-узел удаляется из автоматики. Из объектов действий автоматики удаляются также генераторные, нагрузочные узлы и узлы с шунтами, если в новой схеме эти узлы не являются генераторными, нагрузочными и с шунтами.

Ветви схемы в автоматике идентифицируются по LUIDy (локальный уникальный идентификатор, который уникален только для данной схемы), поэтому при загрузке автоматики в новую схему для объекта-ветви, как правило, находится соответствующая ветвь в схеме, если нет, объект-ветвь удаляется из автоматики.

3. После загрузки автоматики из файла необходимо проверить и откорректировать объекты электрической схемы, к которым привязана автоматика, и объекты действий-сигналов. Контроль правильности привязки автоматик к схеме и к другим устройствам автоматики после чтения автоматики из файла целиком возлагается на пользователя.

- 4. Автоматика хранится в файле электрической схемы. Автоматы с одинаковым алгоритмом АЛУ можно создавать копированием. Поэтому принятый способ сохранения автоматик в файле на диске и последующей загрузки их в схему предназначен в основном для передачи устройств автоматики между электрическими схемами формата *.cir (Мустанг не поддерживает обмен автоматиками, архитектура модели автоматики другая). Это полезно, если АЛУ автомата сложное, а наборы факторов и действий большие. Если передача автоматики осуществляется между различными схемами, которые являются вариациями одной и той же схемы энергосистемы, требуется минимальная коррекция привязки загруженной автоматики к узлам и ветвям схемы.
- 5. Сортировка в дереве автоматик не предусмотрена. Если возникнет необходимость расположить устройства какого-либо типа автоматики в предпочитаемом порядке, нужно воспользоваться командами 'Копировать' – 'Удалить', или/и 'Сохранить...' – 'Удалить' – 'Загрузить...'. Копируемая или загружаемая автоматика всегда добавляется в конец поддерева устройств автоматики этого типа.
- 6. В ходе работы в диалоге при перемещении по дереву автоматик осуществляется контроль допустимости введенных пользователем параметров устройств автоматики, диалоги которых открывались, сообщения об ошибках выводятся только в журнал. Если при выходе из диалога автоматики по ОК в тех автоматах и специализированных автоматиках, которые открывались в диалоге, останутся неустранённые ошибки, появится диалоговое окно с сообщением об ошибке и запросом на подтверждение выхода из диалога.

Автоматики можно выводить из работы, для чего снимается щелчком мышки галочка в чек-боксе перед названием автоматики, и вводить в работу, установив галочку в чекбоксе.

Выведенные из работы автоматы нельзя ввести в работу действием другого автомата ("снят оперативный ток"). Если это требуется, нужно предусмотреть соответствующие сигналы для организации взаимодействия автоматов.

Навигация по дереву автоматик осуществляется при помощи мыши или с клавиатуры. Работают клавиши PageUp, Page Down, Home, End, клавиши управления курсором. Установка галочек в чек боксах для ввода автоматики в работу и вывода из работы осуществляется клавишей пробела.

3.6.2 Автомат

Для определения автомата нужно:

- выбрать необходимые для алгоритма работы автомата факторы, задать параметры, если они есть у фактора, и связать факторы с объектами схемы;
- в выражениях АЛУ сформировать алгоритм обработки факторов;
- задать необходимые действия по условиям срабатывания АЛУ, и привязать действия к объектам схемы, а действия-сигналы связать с факторами-сигналами.

Эти операции производятся в листах (таблицах) Факторы, АЛУ и Действия, расположенных справа от дерева автоматик.

В диалоге под деревом автоматик расположено окно комментария. Можно ввести комментарий к автоматике, для чего нужно щелкнуть мышкой в окне комментария и ввести текст. Перенос текста в окне по мере ввода, происходит автоматически по словам (клавиша Enter при нахождении курсора в окне диалога не переводит курсор в новую строку, т.к. используется простой стандартный Edit Box). Длина комментария не ограничивается, длинный комментарий, не помещающийся целиком в своем окне, при просмотре прокручивается после щелчка мышкой на комментарии клавишами управления курсора.

AT	Факторы		1	1			
а ВЛ	ID	Имя	Параметры С		Объекты		Значение
	КZ	Реле сопротивления	к, z=50 fi=65 c=-100 q	90-190)		1
	KS	Реле мощности	к, s=1 fi=0	90-190)		0
	nc1	счетчик 1/2 цикла	готов	нет			0
	nc2	счетчик 1/2 цикла	блокирован	нет			0
	dt1	время от KS до !KZ	готов	нет			0
	dt2	время от !KZ до KZ	готов	нет			0
	-						
	-						
	АЛУ						
	ID	Выражение			dt, сек.	Значени	e
	cvde	KZ && KS			0.0000	0	
	ret	! KZ && nc1 >= 0.5			0.0000	0	
	nc	nc1 + nc2			0.0000	0	
	KT1	cycle			1.0000	0	
	KT2	ret			1.0000	0	
	otkl	nc==3 && dt1 + dt2 <=	= 2.0		0.0000	0	
	New						
	Действия						
	ID	Имя	Параметры	Объек	сты		Статус
	cycle	Сигнал	нет операции, готов	alar_z-	->nc2		Готов
	cycle	Сигнал	инкремент +0.50, блок	alar_z-	->nc1		Готов
	ret	Сигнал	нет операции, готов	alar_z-	>nc1		Готов
	ret	Сигнал	инкремент +0.50, блок	alar_z-	->nc2		Готов
	KT1	t от KS до !KZ	отсчет времени, готов	alar_z-	->dt1		Готов
	KT2	t от !КZ до КZ отсчет времени, готов alar_z->		->dt2		Готов	
	otkl	Коммутация ветви	н-откл, к-откл	90-190)		Готов

В листах факторов и действий отображается краткая информация об их параметрах и объектах.

Ввод и корректировки данных факторов и действий осуществляется в дополнительных диалогах с закладками. Ввод ID и выражений АЛУ осуществляется непосредственно в его листе.

Кнопка Сброс в диалоге появляется только для автоматов. При нажатии кнопки факторы считывают данные текущего режима схемы, показания в листе факторов обновляются, затем вычисляются выражения АЛУ. Статус действий сбрасывается в исходное состояние.

Рекомендуется зайти в диалог после расчета установившегося режима перед запуском расчета динамики, чтобы проверить значения факторов, выражений АЛУ и статус действий в исходном состоянии автомата.

После завершения расчета переходного процесса состояние автомата сохраняется таким, каким оно стало на момент завершения расчета, его можно увидеть, зайдя в диалог.

Допускается открытие диалога автоматики во время расчета переходного процесса, чтобы посмотреть текущие значения факторов, выражений АЛУ и статус действий. Если диалог автоматики открывается в ходе расчета переходного процесса кнопки Сброс и ОК неактивны, чтобы не нарушить работу автоматики. При этом состояние автоматов остается таким, каким оно было на момент открытия, изменения не отображаются.

Если расчет динамики приостановлен, чтобы посмотреть на состояние автоматов, а потом предполагается продолжить прерванный расчет, выходить из диалога можно только по Cancel. Нажимать активные кнопки Сброс и ОК нельзя. В противном случае текущее состояние автоматов будет нарушено и продолжение расчета становится бессмысленным.

Редактирование данных и нажатие кнопки Сброс не допускаются. Выход из диалога в ходе расчета осуществляется по Cancel. Обновление данных в диалоге происходит после выхода из диалога и повторного захода в него.

3.6.2.1 Работа с листом «Факторы»

Факторы					
ID	Имя	Параметры		Объекты	Значение
KZ	Реле сопротивления	к, z=50 fi=6 <u>5</u>	c=-100 a	90-190	1
KS	Реле мощности	к, s=1 fi=0	Добави	ть	0
nc1	счетчик 1/2 цикла	ГОТОВ	Правит	N5 1	0
dt1	время от KS до !KZ	готов	- Passing		0
dt2	время от !KZ до KZ	готов	копиро	вать	0
			Выреза	ть	
			Вставит	ъ	
			Удалить		

При щелчке правой клавишей мыши в пределах листа факторов, появится контекстное меню, которое позволяет выбрать следующие операции: Добавить новый фактор, отредактировать выделенный в листе фактор (Править), Копировать фактор или Вырезать его из таблицы и при этом запомнить, Вставить скопированный (вырезанный) фактор в таблицу один или несколько раз, сверху или снизу выделенной строки, Удалить фактор из таблицы.

При копировании факторов они копируются полностью, включая объекты, после чего можно отредактировать параметры и изменить объекты, к которым факторы привязаны. Удаление факторов осуществляется безвозвратно и без запроса на подтверждение операции удаления.

При выборе пункта Добавить... появится меню факторов для выбора одного из них.

Напряжение
Угол напряжения
Частота
Ток ветви
Активная мощность ветви
Рективная мощность ветви
Модуль сопротивления ветви
Аргумент сопротивления ветви
Напряжение на ветви
Угол на ветви
Отключение ветви
Направление мощности
Реле сопротивления
Реле мощности
Время
Сигнал
Выдержка времени

Фактор из меню можно выбрать щелчком левой клавиши мышки или клавишами управления курсором с последующим нажатием клавиши Enter.

После выбора фактора появится диалог с закладками для ввода ID, названия, параметров и объектов. Одновременно фактор добавляется в лист. Такой же диалог появляется при выборе пункта меню Править... для выделенного в листе фактора.

Диалог для работы с фактором может иметь от одной до трех закладок.

Фактор
Фактор Параметры Объекты
ID М Имя Токветви
Цикл измерений 0 с
OK
Фактор
Фактор Параметры Объекты
Фактор Объекты Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви
Фактор Параметры Объекты Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви • Уставка, Ом/ф 50
Фактор Параметры Объекты Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви Уставка, Ом/ф 50 Угол макс.чувствительности, град 65
Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви Уставка, Ом/ф 50 Угол макс.чувствительности, град 65 Смещение, % -100
Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви Уставка, Ом/ф 50 Угол макс.чувствительности, град 65 Смещение, % -100 Квадрант смещения 1
Фактор Параметры Объекты Фактор Параметры Объекты Телеизмерение/сигнализация в начале ветви Уставка, Ом/ф 50 Угол макс.чувствительности, град 65 Смещение, % -100 Квадрант смещения 1 Коэффициент эллипсоидности 1

На закладке 'Фактор' необходимо определить ID фактора, дать ему осмысленное имя и задать цикл измерений, значения по умолчанию можно оставить в случае, если такой фактор один в листе факторов.

Цикл измерений предназначен для организации непрерывного или периодического получения информации и для простейшего контроля предшествующего режима (КПР) без создания специального автомата КПР, когда замер делается один раз при запуске расчета динамики.

Если цикл измерений не задан (равен нулю), значение фактора контролируется непрерывно, если задан, то измерение значения фактора происходит через заданные интервалы. Время отсчитывается от момента запуска расчета динамики.

Для выполнения однократного КПР перед расчетом переходного процесса нужно задать цикл больше, чем время расчета задачи.

На закладке 'Параметры' вводятся параметры фактора, например, для реле сопротивления требуются следующие параметры:

Если фактор не имеет параметров, данная закладка отсутствует.

Для факторов, объектами которых являются ветви, необходимо выбрать место измерения (получения) фактора. Начало ветви – у начального узла, конец – у конечного узла.

Сами объекты (для примера ветви) выбираются на закладке 'Объекты' установкой/снятием галочек в чек-боксах, щелкая по ним левой клавиши мыши. Можно выделить несколько ветвей, щелкая по именам ветвей левой клавиши мышки при нажатых клавишах Shift или Ctrl, после чего одновременно установить или снять галочки для этих ветвей, нажимая клавишу пробела.

Фак	тор			
Φ	актор Паран	иетры Объе	екты	
	N нач	N кон	Имя	^
	81	82	УЗЛ1,220-УЗЛ2,	
	81	90	УЗЛ1,220- УЗЛ,110	
	81	111	УЗЛ1,220-пс.3111	
	82	90	УЗЛ2,220- УЗЛ,110	
	90	190	УЗЛ, 110-РАЙО,	
	101	102	ЭС-1,330-пс.3102	
	101	103	ЭС-1,330-пс.3103	
	103	104	пс.3103- пс.3104	
	103	120	пс.3103- пс.3114	
	104	102	пс.3104- пс.3102	
	104	112	nc.3104-nc.3112	
			ОК	Cancel

Если фактор не нужно привязывать к объекту схемы, вкладка 'Объекты' отсутствует. Такими факторами являются, например, сигналы и время.

Примечание. В программе не используется идентификация линий по номеру параллельной. Чтобы при выборе объектов действия различать отдельные линии из числа параллельных линий с одинаковыми начальным и конечным узлами, в именах линий в таблице Данные ветвей следует добавить признак параллельности, например, дать им порядковые номера.

После нажатия кнопки ОК сформированный фактор останется в листе, при отмене кнопкой Cancel фактор удаляется из листа.

3.6.2.2 Особенности реализации в программе измерений режимных факторов

Фактор	Параметры	Особенности	
Напряжение	нет	Линейное напряжение в одном узле, больше одного уз-	
(модуль)		ла выбрать среди объектов нельзя.	
Угол напряже-	нет	Угол отсчитывается относительно вектора напряжения	
ния		в базисном узле, угол в БУ не обязательно равен нулю,	
		он задается пользователем. Больше одного узла выбрать	
		среди объектов нельзя.	
Частота (напря-	нет	Частота в генераторных узлах равна мгновенной	
жения)		частоте вращения генератора. Частота в остальных	
		узлах определяется численным дифференцирова-	
		нием угла напряжения по времени. В листе объек-	
		тов-узлов нельзя выбрать больше одного узла.	
Ток ветви (мо-	начало/конец	Если среди объектов заданы несколько ветвей, произ-	
дуль)		водится суммирование комплексов токов, затем опре-	
		деляется модуль суммарного тока.	
Активная мощ-	начало/конец	Если среди объектов заданы несколько ветвей, произ-	
ность ветви		водится алгебраическое суммирование активных мощ-	
		ностей для начала или конца всех ветвей. Активный	
		переток ветви имеет знак. Если из узла в ветвь, Р<0, из	
		ветви в узел — Р>0. Для правильного суммирования	
		может потребоваться перестановка номеров вершин	
		ветви.	
Реактивная	начало/конец	Если среди объектов заданы несколько ветвей, произ-	
мощность ветви		водится алгебраическое суммирование реактивных	
		мощностей для одного и того же выбранного конца вет-	
		ви.	
Модуль сопро-	начало/конец	Если среди объектов заданы несколько ветвей, произ-	
тивления ветви		водится суммирование комплексов токов ветвеи, затем	
		определяется комплекс полного сопротивления делени-	
		ем комплекса напряжения в узле (подразумевается, что	
		вершины ветвеи в месте замера сопротивления включе-	
		ны в один и тот же узел) на комплеке суммарного тока	
A DEVIA OUT CO		и определяется его модуль.	
Аргумент со-	начало/консц	родится суммирорание комплексов токов вствей, произ-	
противления			
БСТБИ		плекса напряжения в узде (подразумевается, что вер-	
		шины ветвей в месте замера сопротивления включены в	
		олин и тот же узел) на комплекс суммарного тока и	
		определяется его аргумент.	
Напряжение на	нет	Если среди объектов заданы несколько ветвей, замер	
ветви		делается для первой ветви в списке объектов, осталь-	
$U = abs(\dot{U} - \dot{U})$		ные объекты игнорируются.	
$V_{\rm EQH}$ us potpu	цат		
$(\dot{\mathbf{x}})$ $(\dot{\mathbf{x}})$	HCI	не на нероди объектов заданы несколько ветвеи, замер	
$\arg(U_{\mu}) - \arg(U_{\kappa})$		деластся для первой встви в списке объектов, осталь-	
Отклюнение	напало/конен		
ретри	начало/конец	Гринимает значение 1, сели вствь отключена от узла.	
БСТБИ		тор имеет истинное значение 1 если все ветви, то фак-	
		ченные в список объектов отключены в олном и том же	
		выбранном конце. Если хотя бы олна ветвь из списка в	
		выбранном начале/конше булет включена, фактор имеет	
		ложное значение 0.	

Направление	начало/конец	Принимает значение 1, если переток активной мощно-
мощности		сти направлен из ветви в узел. Если переток направлен
		из узла в ветвь, принимает значение 0.
		Если среди объектов заданы несколько ветвей, то фак-
		тор принимает значение 1 в случае, если для <i>всех</i> вет-
		вей направление перетока из ветви в узел, иначе 0.
Реле сопротив-	Ζср, φмч,	Если выбрана не одна, а несколько ветвей, то произво-
ления (¹)	квадрант,	дится суммирование комплексов токов этих ветвей по-
	С%, k _{эл}	сле этого вычисляется комплекс сопротивления
		делением комплекса фазного напряжения на комплекс
		суммарного тока (подразумевается, что вершины ветвей
		в месте установки реле сопротивления включены в
		один и тот же узел) и производится анализ условий сра-
		батывания реле на комплексной плоскости.
Реле мощности	S, φ _{мч}	Если выбрана не одна, а несколько ветвей, то произво-
(1)		дится суммирование комплексов полных мощностей
		ветвей и производится анализ условий срабатывания
		реле на комплексной плоскости.

Примечание.

1. Необходимо уточнение правила знаков, которое используется при вычислении комплексов полных сопротивлений и мощностей.

Факторы-сигналы взаимосвязаны с действиями-сигналами, которые могут изменить исходное значение фактора-сигнала и/или его состояние. Для фактора нужно задать ID и Имя.

Фактор	
Сигнал Параметры	
ID sig	
Имя Сигнал	
ОК С	ancel

Предопределенные ID (sig) и Имя (Сигнал) сигнала целесообразно изменить на некоторые осмысленные значения, облегчающие анализ прохождения и взаимодействия сигналов в автоматах.

Фактор	
Сигнал Параметры	
Исходное значение	0
Состояние	готов
	готов блокирован
	OK Cancel

Фактору-сигналу необходимо задать исходное значение и состояние. В состоянии готов действия-сигналы могут изменять исходное значение фактора (пустое поле Исходного значения соответствует нулю). В состоянии блокирован на изменение значения накладываются ограничения (см. описание действий-сигналов).

Привязка действия-сигнала к фактору осуществляется в диалоге работы с действиямисигналами.

3.6.2.3 Работа с листом «АЛУ»

Ввод выражений АЛУ производится с клавиатуры непосредственно в листе.

Для добавления нового фактора нужно сделать двойной щелчок левой клавишей мышки на сером значении «New» в первой колонке листа:

АЛУ	
ID	Выражение
start	t>= 1.0
off_NG	fol
onVL	fol && (t >= 10)
onNG	(! fol) && t>1
New	
43	

в ячейке «New» появится бокс редактирования ID фактора, ввод ID фиксируется нажатием клавиши Enter или перемещением фокуса ввода на ячейку ввода выражения АЛУ клавишей управления курсора.

Не допускается совпадение идентификаторов ID выражений АЛУ, а также ID факторов.

Двойной щелчок на ячейке в заполненных строках АЛУ также открывает бокс редактирования. Бокс редактирования можно перемещать по введенным строкам таблицы клавишами управления курсором (клавиша Tab не работает). Новый ввод в ячейке фиксируется или перемещением блока на другую ячейку, или Enter. Если при вводе решили вернуть прежнее значение, можно нажать клавишу Esc или щелкнуть левой клавишей на другой ячейке (строке).

Щелчок правой клавиши мышки в пределах листа, занимаемого АЛУ, вызывает контекстное меню.

ID	Выражение		dt, сек.	Значение	
cycle	KZ && KS		0.0000	0	
ret	! KZ && nc1 >= 0.5	! KZ && nc1 >= 0.5			0
nc	nc1 + nc2			0.0000	0
KT1	cycle	Копировать		1.0000	0
KT2	ret	. '		1.0000	0
otkl	nc==3 && dt1 + dt2 <= 2.0	Вырезать		0.0000	0
New		Вставить	•	сверх	У
		Удалить		снизу	, 13

Выделенную строку АЛУ можно Копировать или Вырезать с запоминанием. Скопированную или вырезанную строку можно вставить один или несколько раз, сверху или снизу выделенной строки, после чего отредактировать вставленные строки. При выборе команды Удалить удаление строки АЛУ производится без запроса на подтверждение и необратимо.

Правила ввода выражения АЛУ

A (1)/

Для начала ввода или редактирования данных нужно сделать двойной щелчок левой клавишей мышки на ячейке таблицы, в которой осуществляется ввод. На месте ячейки таблицы появляется стандартный Edit-бокс для ввода или редактирования текста. Длина строки текста не должна превышать 255 символов, считая пробелы. Выражения большей длины следует разбить на несколько выражений.

AJIY	AVIY				
ID	Выражение	dt, сек.	Значение		
cycle	KZ && KS	0.0000	0		
ret	! KZ && nc1 >= 0.5	0.0000	0		
nc	nc1 + nc2	0.0000	0		

Первоначально после появления Edit-бокса поле ввода синее и курсор находится (мигает) в конце текста поля, если начать ввод, содержимое поля замещается новым вводом.

Если требуется не заместить, а отредактировать содержимое бокса, то сначала следует переместить курсор в начало поля нажатием клавиши **Home**, или зафиксировать его в конце поля нажатием клавиши **End**, или выбрать требуемую позицию начала редактирования указателем и щелчком мышки, после чего синий фон редактируемого поля исчезает, и курсор можно перемещать в пределах бокса клавишами управления курсором. Клавиша **Ins** в поле ввода не работает, удаление символов слева от курсора осуществляется клавишей **Backspace**, справа от курсора — **Del**.

Отмена нового ввода осуществляется **Esc**. Щелчок мышью вне поля ввода равносилен отмене ввода по Esc.

Завершение ввода с фиксацией нового ввода осуществляется или нажатием клавиши Enter, или перемещением фокуса ввода на следующую ячейку.

Перемещение фокуса ввода осуществляется с клавиатуры стрелками управления курсором (клавиша Таb не используется, т.к. не позволяет задать направление перемещения фокуса ввода).

ВАЖНО. Перед выходом из диалога необходимо обязательно зафиксировать сделанный ввод в Edit-боксе текущей редактируемой ячейки нажатием клавиши Enter. Если этого не сделать, то после щелчка мышью на кнопках OK или Cancel и закрытия диалога автомата новый ввод в последней ячейке теряется, что после выхода из диалога может остаться незамеченным.

3.6.2.4 Работа с листом «Действия»

Порядок работы с листом действий аналогичен описанному выше порядку работы с листом факторов. Контекстное меню окна действий и его команды работают так же, как в листе факторов.

Выбор действий осуществляется из контекстного меню, вызываемого щелчком правой клавиши мыши в пределах листа действий:

Короткое замыкание в узле
Короткое замыкание на линии
Отключение к.з. на линии
Коммутация ветви
Синхронное включение ветви
Изменение параметров ветви
Переключение РПН/ПБВ
Коммутация генераторов
Управление генерацией
Коммутация нагрузки
Управление нагрузкой
Коммутация УШР
Регулирование УШР
Сигнал
Выдержка времени

Действие из меню можно выбрать щелчком левой клавиши мышки или клавишами управления курсором с последующим нажатием клавиши Enter. Серые пункты меню действий не активны (обработка этих действия в программе не реализована).

Для формирования действия используется диалог с закладками. Необходимо привязать действие к условию срабатывания АЛУ, к объектам схемы или к автоматам и задать параметры действий.

3.6.2.4.1 Короткое замыкание в узле

При выборе этого действия открывается диалог с закладками:

Действие	•	
Действие Парам	етры Объекты	
ID star star Tkz Название Кор	• откое замыкание в узле Зывести из работы	
	ОК	Cancel

Нужно выбрать ID сигнала, выпадающий список ID сигнала формируется из списка ID выражений АЛУ. Значение ID действия нельзя ввести с клавиатуры, поэтому условие срабатывания (выражение АЛУ, которое инициирует выполнение действия) должно быть уже ссоятело р писто АЛУ. Действие можно отключить, если поставить галочку в чек-

боксе . Это позволяет не удалять действие, например, при отладке автомата.

На вкладке Параметры нужно задать параметры шунта к.з. и выбрать операцию над шунтом:

Действие			
Действие	Параметры	Объекты	l
		Шунт к.з.:	включить
Ви	д короткого з	амыкания:	K(1) 💌
		R2, Ом:	
		Х2, Ом:	45
		R0, Ом:	
		Х0, Ом:	30
			OK Cancel

В этом примере действие привязывается к условию срабатывания АЛУ с идентификатором ID = c3. Предопределенное название действия в поле Название можно заменить более подходящим по смыслу. Действие можно деактивировать, если поставить галочку в чек-боксе 'Вывести из работы', такое действие не выполняется.

На вкладке Параметры вводятся параметры действия. (Если действие не имеет параметров, вкладка Параметры отсутствует). Действие Короткое замыкание в узле имеет следующие параметры:

Тип коммутации шунта к.з. и вид короткого замыкания выбираются в комбо-боксах.

Шунт к.з. можно включить/отключить.

Виды короткого замыкания:

- К(3) трехфазное к.з. без земли и с землей,
- К(2) двузфазное к.з.,
- К(1) однофазное к.з.
- К(1,1) двухфазное к.з. на землю.

Для расчета параметров шунта к.з. необходимы активные и реактивные сопротивления обратной R2, X2, а при к.з. на землю и нулевой R0, X0 последовательностей соответствующих схем замещения, свернутых относительно точки к.з. (их значения можно получить в службе релейной защиты, где рассчитывают токи несимметричных к.з.). Если требуется устроить металлическое трехфазное к.з. K(3), то поля R2, X2, R0, X0 должны быть пустыми или с нулевым значением.

При отключении шунта к.з. значения сопротивлений R2, X2, R0, X0 не имеют значения, поэтому их задавать не нужно. Требуется выбрать только вид к.з. (он отображается в листе действий, поэтому лучше, если он совпадает с видом к.з. при включении шунта к.з.).

На вкладке Объекты выбирается узел, в котором устраивается к.з.. Нужно поставить галочку в чек-боксе узла:

Действие		×
Действие Пар	аметры Объекты	
Узел	Имя	<u> </u>
1107	G3 Cazenga	
1108	G4 Cazenga	
1109	G5 Cazenga	
1301	G1 Capanda	
1302	G2 Capanda	
1510	Cuca 15 kV	
₫₫520	Maianga 15 kV	
1530	Kifangondo 15kV	=

Можно выбрать не один, а несколько узлов. В этом случае одинаковый шунт к.з. будет включаться/отключаться сразу в нескольких узлах.

3.6.2.4.2 Короткое замыкание на линии

При выборе этого действия открывается диалог:

Действие		×
Действие Па	раметры Объекты	1
D	dokz otkz tapv	
Название	Короткое замыкание на линии	
	🗌 Вывести из работы	
	OK Cance	el

В этом примере действие привязывается к условию срабатывания АЛУ с идентификатором ID=dokz. Предопределенное название действия в поле Название можно заменить более подходящим по смыслу. Действие можно деактивировать, если поставить галочку в чек-боксе 'Вывести из работы', такое действие не выполняется. На вкладке Параметры вводятся параметры действия. Если действие не имеет параметров, вкладка параметров отсутствует. Для действия Короткое замыкание на линии нужно выбрать вид к.з., задать реактивные сопротивления шунта к.з. и выбрать положение точки к.з. на линии:

Действие	
Действие	Параметры Объекты
Ви	д короткого замыкания: <u>К(3)</u>
	Х1, Ом 1е-006
	Х2, Ом 0
	Х0, Ом 0
Дистаны	ия от начала ветви, о.е. 1
	OK Cancel

Место подключения шунта к.з. к линии определяет дистанция, отсчитываемая от начального узла линии. Если нужно включить шунт к.з. в начальном узле, в поле Дистанция от начала ветви, о.е. следует задать 0 или оставить поле пустым. Если нужно включить шунт к.з. в конечном узле, следует задать дистанцию равной 1, как показано на скриншоте.

Для расчета параметров шунта к.з. необходимы сопротивления обратной X2 и нулевой X0 последовательностей соответствующих схем замещения, свернутых относительно точки к.з. (их значения можно получить в службе релейной защиты, где рассчитывают токи несимметричных к.з.).

Замечание. В отличие от X2 и X0 сопротивление прямой последовательности X1 не является эквивалентным сопротивлением схемы относительно точки к.з., это просто дополнительное сопротивление. Поле ввода X1, как правило, следует оставлять пустым. Предусмотренная возможность задавать значение X1 позволяет при необходимости «отнести» точку подключения шунта к.з. от заданной точки на линии за сопротивление X1, например, чтобы можно было в X1 учесть сопротивление отпайки от линии и др. элементов, ограничивающих ток к.з., не добавляя в схему новые узлы и ветви.

Если требуется устроить металлическое трехфазное к.з. К(3), то поля X1, X2, X0 должны быть пустыми или с нулевым значением.

Примечание. В программе X1=0 заменяется на X1=10⁻⁶, т.к. с нулем производить преобразования нельзя (нужно преобразовывать П-схему линии, на которой произошло к.з.).

Если требуется устроить несимметричное к.з., то необходимо задать значение X2, а при к.з. на землю также значение X0, из которых формируется шунт к.з. в соответствии с заданным видом к.з., выбираемым из выпадающего списка. Поле X1 при этом должно быть нулевым или пустым.

Объектами этого действия являются линии схемы. На вкладке Объекты выбирается нужная линия. Если выбрать несколько линий, одинаковый шунт к.з. будет включен на всех выбранных объектах-линиях.

ļ	ļей	ствие			
	Дей	іствие Пар	аметры О	Объекты	
		N нач	N кон	Имя	
		100	1061	2\220-1 -Север2	
		100	1061	1\220-1 -Север2	
		100	200	220-1 -220-2 📃	
		100	1031	2).220-1 -Петров	
		100	1031	1).220-1 -Петров	
	\square	100	1051	3/220-1 -ПрГРЭ	
		100	1051	2/220-1 -ПрГРЭ	
		100	1051	1/220-1 -ПрГРЭ	
		100	1041	220-1 -Велинка2	

Предупреждение. Объектами не могут быть выключатели и трансформаторы. Если они будут выбраны, к.з. не произойдет.

Примечание. В программе не используется идентификация линий по номеру параллельной. Чтобы при выборе объектов действия различать параллельные линии с одинаковыми начальным и конечным узлами, в имена линий в таблице Данные ветвей необходимо ввести признак для идентификации параллельной линии, например, добавить в начало имени ветви порядковый номер в группе параллельных линий.

Дополнение. Определение параметров шунта к.з.

В расчетах динамической устойчивости большинство нормативных возмущений связано с отключениями элементов схемы при несимметричных коротких замыканиях. Расчет электромеханического переходного процесса с корректным моделированием поперечной несимметрии требует значительного усложнения алгоритма и программы расчета электромеханических переходных процессов. Нужно или моделировать элементы энергосистемы в фазных координатах, или использовать метод симметричных составляющих. При использовании метода симметричных составляющих необходимо реализовать обработку (хранение, ввод данных, коммутации, топологический анализ) схем замещения обратной и нулевой последовательностей. Если для расчета мгновенного электрического режима на шаге интегрирования используется метод эквивалентных преобразований, то необходимо также реализовать свертку схем прямой, обратной и нулевой последовательностей относительно точки к.з. и расчет результирующих сопротивлений, определение на основе правила эквивалентности прямой последовательности тока прямой последовательности, определение напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей в точке к.з., развертку схем с определение токов и напряжений соответствующих последовательностей в ветвях и узлах схемы с учетом схемы соединения обмоток трансформаторных ветвей, определение фазных токов и напряжений элементов схемы и моментов вращающихся машин.

Учитывая, что электромагнитный момент вращающихся машин не зависит от тока и потокосцепления нулевой последовательности и определяется в основном током и потокосцеплением прямой последовательности, а также кратковременность несимметричного возмущения и значительную инерцию вращающихся масс энергосистемы, допустимо на стадии несимметричного к.з. при определении электромагнитного момента вращающихся машин ограничиться расчетом мгновенного электрического режима только в схеме прямой последовательности

В точке к.з. включается индуктивный шунт, определяемый видом к.з. [см. Ульянов С.А.]. Необходимые для расчета шунта результирующие сопротивления схем обратной и нулевой последовательностей относительно точки к.з. определяют по программе расчета токов к.з. Если результирующие сопротивления неизвестны, их можно оценить с приемлемой точностью, определив действующее значение периодической составляющей тока трехфазного к.з. в начальный момент $I_{n0}^{(3)}$ (другое обозначение и название $I'' = I_{n.0} -$ сверхпереходный ток к.з.). Этот ток равен сумме токов ветвей, связанных с точкой трехфазного к.з., в момент возникновения к.з. Результирующее сопротивление обратной последовательности принимается равным сопротивлению прямой последовательности

$$x_{2\Sigma} \approx x_{1\Sigma} = \frac{(1,05...1,1)U_{\text{H}}}{\sqrt{3}I_{\text{H}0}^{(3)}}$$

где $U_{\rm H}$ – номинальное линейное напряжение сети в точке включения шунта к.з.

Соотношение между токами однофазного и трехфазного к.з. в различных точках расчетной схемы энергосистемы обычно известно, в противном случае считают, что эти токи равны ($I_{n.0}^{(1)} \cong I_{n.0}^{(3)}$). Результирующее сопротивление нулевой последовательности $x_{0\Sigma}$ относительно точки к.з. подбирают таким, чтобы при включении шунта *однофазного к.з.* ток прямой последовательности, протекающий через этот шунт (определяется как сумма токов ветвей, связанных с точкой к.з.), был равен одной третьей тока однофазного к.з. [см. Ульянов С.А.]

$$I_{1.\pi0}^{(1)} = \frac{1}{3} I_{\pi0}^{(1)}$$

Следует подчеркнуть, что при оценке параметров шунта к.з. вышеизложенным способом и при расчете несимметричных возмущений нельзя использовать упрощенные модели генераторов, не учитывающие демпферную систему машины, даже для некоторых генераторов схемы. Упрощенные модели генераторов, уменьшают действующее значение периодической составляющей тока к.з. в начальный момент, искажают изменение периодической составляющей тока генераторов в процессе к.з., уровень напряжений в узлах схемы при к.з. Использование некорректных моделей генераторов исказит общее движение энергосистемы, даст неверное значение $I_{n0}^{(3)}$ и шунта к.з.

3.6.2.4.3 Отключение к.з. на линии

Не имеет параметров, нужно выбрать только объект – линию, на которой ранее был включен шунт к.з.

3.6.2.4.4 Коммутация ветви

Вкладка Параметры позволяет задать индивидуальную коммутацию концов ветви:

Действие		×
Действие	Параметры Объекты	_,
Коммутир	овать в начальном узле отключить	
Коммути	ровать в конечном узле нет 💌	
	ВКЛЮЧИТЬ ОТКЛЮЧИТЬ	
	нет	

3.6.2.4.5 Синхронное включение ветви

Это действие требует определения условий, при выполнении которых производится включение ветви.

Действие
Действие Параметры Объекты
Разность частот, не более, Гц 0.1
Разность U, не более, кВ
Угол, не более, град

При контроле синхронизма, если ветвь отключена с обеих сторон, и в начале, и в конце, сравниваются параметры режима узлов-вершин ветви, в которые ветвь была включена. При этом в действии на включение ветви надо задать коммутацию одновременно в обеих вершинах.

При одностороннем отключении сравниваются параметры режима нового узла, который является вершиной отключенного конца ветви и назначается при коммутации автоматически, и старого узла, который был вершиной ветви до отключения. В команде на включение задается коммутация отключенного конца ветви.

Трансформаторные ветви (задан коэффициент трансформации) синхронно включать можно только при одностороннем отключении. При двустороннем отключении трансформаторной ветви условие допустимой разности модулей напряжений не будет срабатывать (правда, можно задать эту разность большой, чтобы условие работало, либо нулевой, чтобы не проверялось, но это неправильно).

При контроле синхронизма проверяются только те условия, для которых задан допуск. Условия, для которых допуск не задан (в поле ввода допуска значение равно нулю или оставлено пустое поле), считаются выполненными. Поэтому имеется возможность варьировать. Можно, например, сделать точную синхронизацию, для этого определить три условия, или самосинхронизацию, если задать только допустимую разность частот, или самосинхронизацию с контролем разности напряжений.

При задании допустимой разности напряжений в киловольтах нужно использовать линейное напряжение.

Синхронное включение имеет смысл только для одной ветви. Если в качестве объекта действия выбрана не одна, а несколько ветвей, действие выполняется только для первой ветви в списке.

3.6.2.4.6 Изменение параметров ветви

Необходимо задать новые параметры ветви, при выполнении действия прежние параметры ветви запоминаются.

Действие	
Действие Параметры Об	ъекты
R, Ом	11.8
Х, Ом	51.4
G, МКСМ	
В, мкСм	-318
Re(Ktr)	
lm(Ktr)	
🔲 Восстановить и	ісходные параметры
	OK Cancel

Если требуется восстановить прежние параметры, которые были перед последним изменением параметров, можно их задать, но проще, не вводя новых значений параметров ветви, только поставить галочку Восстановить исходные параметры.

3.6.2.4.7 Коммутация генераторов

Это действие предназначено для отключения/включения генераторов в узле. Необходимо задать вид коммутации

Действие				
Действие	Параметры	Объекты		
	Вид ко	ммутации:		_
Число ком	мутируем. ген	ераторов:	отключить ВКЛЮЧИТЬ	k

и число коммутируемых генераторов

Действие	×
Действие Параметры Объекты	1
Вид коммутации:	отключить
Число коммутируем, генераторов:	1

Эта команда изменяет число параллельно включенных генераторов, которое было задано для эквивалентного генератора узла в диалоге Схема/Генераторы/Параметры....

Ка	X"q 0.21	T"d, c 0.12
(Вкл. 🛛 🖪 📑 🔵	Xs 0.12	T"q.c 0.14
Модель Парка-Горе	ва, с ДС 🛛 💌	

Предполагается, что номинальная мощность параллельно включенных генераторов одинакова, а текущее значение суммарной генерации в узле распределено между включенными генераторами равномерно.

Если автоматика коммутирует генераторы в узле, и число параллельно включенных генераторов в узле изменится в ходе расчета динамики, то при последующем запуске расчета установившегося режима число параллельно включенных генераторов в узле восстанавливается до того значения, которое было при запуске расчета динамики.

3.6.2.4.8 Управление генерацией

Предусмотрено управление возбуждением генератора и мощностью его первичного двигателя (паровой, газовой, гидравлической турбины).

Воздействия на APB генератора осуществляются, если установлена галочка в чекбоксе Генератор

С Уставка АРВ, кВ 0 Программа

и выбрано одно из предусмотренных воздействий.

Воздействия на АРС турбины осуществляются, если установлена галочка чек-боксе Турбина

Турбина С Уставка АРС, МВт 0	Программа
О Импульсная разгрузка	Импульс

и выбрано управляющее воздействие.

Действие	×
Действие Параметры Объекты	
🔽 Генератор	
Уставка АРВ, кВ 22 Программа	
Подача возбуждения	
С Гашение поля	
Потеря возбуждения	
Г Турбина	
С Уставка АРС, МВт 0 Программа	
С Импульсная разгрузка Импульс	
OK Cancel	

Воздействия на АРВ и/или АРС могут быть разовыми или по заданной программе. Для турбины отдельно предусмотрена программа импульсной разгрузки.

В качестве объектов можно выбрать один или несколько генераторов, контроль корректности одновременного одинакового управления несколькими генераторами возлагается на пользователя.

Можно выбрать одно из воздействий на возбуждение генератора: изменить уставку, подать возбуждение или погасить поле, либо выбрать аварию, связанную с потерей возбуждения.

Для разового изменения уставки APB в поле Уставка APB, кВ нужно ввести новое значение уставки – значение напряжения, которое должно поддерживать в узле включения генератора APB (вследствие статизма APB фактическое напряжение в узле будет немного ниже, даже если хватает запаса реактивной мощности).

Если нажать кнопку Программа появится дополнительный диалог для ввода таблицы изменения уставки АРВ во времени:

Действие)		X
Действие	Параметры (Объекты	
			, I
✓ Fe	Программа U=	=f(t)	
€У	Время, с	Уставка U, кВ	
ОП	2.000	20.500	
ОГа	4.000	21.000	
	New	22.000	
016			
I ∎ T	1		
ОУ			
⊙и	Liear	UK Cancel	

Программа является таблицей, в которой нужно задать время, отсчитываемое от момента выполнения действия по запуску программы изменения возбуждения генератора, и уставку АРВ, которая должна быть в этот момент времени.

Между заданными моментами времени уставка изменяется по линейному закону. В программе должно быть не менее двух строк.

В примере программы, показанной на скриншоте диалога, в момент времени t = 2,0 с уставка АРВ будет установлена равной 20,5 кВ. На отрезке времени от 2 до 4 с уставка по линейному закону изменится от 20,5 до 21 кВ. На отрезке времени от 4 до 10 с уставка изменится по линейному закону от 21 до 22 кВ.

Для добавления новой строки в таблицу нужно сделать двойной щелчок левой клавиши на сером поле 'New', после чего в этом поле появляется бокс для ввода времени. Перемещение фокуса ввода в ячейку Уставка осуществляется клавишами перемещения курсора. Завершается ввод строки нажатием клавиши Enter, иначе сделанный ввод теряется. Для редактирования таблицы нужно сделать двойной щелчок левой клавиши мыши на ячейке таблицы, которую нужно изменить.

Заданная программа изменения возбуждения генератора имеет более высокий приоритет, чем единичное изменение. Если заданы и уставка, и программа, поле Уставка АРВ, кВ будет неактивным,

Уставка АРВ, кв 22 Программа

при запуске расчета динамики будет работать программа. Для удаления программного изменения уставки АРВ нужно зайти в диалог программы и нажать кнопку Clear.

Команды управления возбуждением генератора имеют приоритет. Команда на гашение поля подавляет регулирование и форсировку возбуждения. Потеря возбуждения имеет высший приоритет, подавляет регулирование возбуждения, форсировку возбуждения и гашение поля.

Изменение уставки APC турбины разовое и по программе работает так же, как изменение уставки APB генератора. Уставка APC – это новое значение мощности генерирующего агрегата, которое установится после завершения переходного процесса.

Действие			X
Действие	Параметры (Объекты	
	программа Р=	τ(t) 🔼	
0.9	Время, с	Иставка Р. МВт	
On	5.000	200.000	
0.5	10.000	150.000	
	New &		
ОП			
🗹 Т			
Θy		• [
C 11	Clear	OK Cancel	
O NI			

При разовом изменении мощности нужно задать новое значение мощности турбины в MBT. При изменении мощности агрегата по программе нужно задать программу изменения мощности турбины в виде таблицы t – P, MBT, время отсчитывается от момента выполнения действия по запуску программы изменения мощности генератора. В примере программы на рисунке на 5-й секунде переходного процесса будет выдана команда на установку мощности турбины, равной 200 MBT, а на 10-й секунде переходного процесса будет выдана команда на разгрузку турбины на 50 MBT. В программе должно быть не менее двух строк. Заданная программа изменения мощности агрегата имеет более высокий приоритет, чем единичное изменение. Если заданы и уставка, и программа, поле Уставка АРС, MBT будет неактивным, при запуске расчета динамики будет работать программа. Для удаления программного изменения уставки АРС нужно зайти в диалог программы и нажать кнопку Clear.

Изменение уставок APB и APC генерирующего агрегата по заданной программе позволяет, например, организовать динамическое утяжеление режима для анализа статической устойчивости на динамической модели энергосистемы.

Импульсная разгрузка турбины не изменяет уставку APC, а воздействует на мощность турбины через дополнительный вход APC. Управляющий импульс на разгрузку турбины может быть прямоугольным или частично ступенчатым с экспоненциальным съемом с постоянной времени 3÷4 с. Импульс с экспоненциальным съемом предотвращает сильные качания и опасность нарушения устойчивости во втором-третьем циклах качаний [Окин А.А. Противоаварийная автоматика. М.: Изд.МЭИ, 1995].

Импульсы на разгрузку показаны на рисунке. Сигнал импульсной разгрузки η_e выражается в неравномерностях (нв).



Пример программы импульсной разгрузки с экспоненциальным съемом заднего фронта импульса представлен на рисунке:

Действи	e		×
Действи	е Параметры О(бъекты	
			_
- F	Импульс разгр	узки 🔣	
0.9	Врема с	Гиснад нв 🔼 🔤	
On	1.000	0.000	
C D	1.000	-4.000	
	1.300	-1.000	
	2.800	-0.606 -0.368	
	5.800	-0.223	
	17.300	-0.135 💌	
O Y	Clear	OK Cancel	
ΘИ			

Программа представляет собой таблицу, в которой задаются время, отсчитываемое от момента запуска программы разгрузки турбины, и значение управляющего сигнала на дополнительном входе APC, которое должно быть в этот момент времени. Между заданными моментами времени сигнал изменяется по линейному закону.

Спустя 1 с от момента времени, когда происходит событие, по которому определяется запуск программы разгрузки, формируется фронт импульса разгрузки амплитудой – 4 *нв*. Чтобы сформировать ступенчатое изменение сигнала, для одного и того же момента времени t = 1 с заданы два значения импульса: 0 и –4 *нв*.

В течение времени от 1 до 1,3 с амплитуда импульса остается постоянной (изменяется по линейному закону между одинаковыми значениями по концам), длительность импульса $T_u = 0,3$ с.

В момент времени 1,3 с от начала расчета формируется ступенчатый сброс импульса до -1 нв. Последующий съем импульса происходит по экспоненте с постоянной времени $\tau_u = 3$ с в течение 12 с (за четыре постоянных времени), считая от момента 1,3 с. Экспонента аппроксимируется отрезками прямых, число прямых определяется необходимой точностью аппроксимации экспоненты.

Такой способ задания импульса позволяет сформировать произвольный закон импульсной разгрузки турбины.

3.6.2.4.9 Коммутация нагрузки

Параметром действия является вид коммутации. Можно отключить/включить всю нагрузку узла:

Действие				×
Действие	Параметры (Объекты		
	Коммутация н	нагрузки		•
			нет отключить	
			включить	K

В качестве объектов можно выбрать один или несколько узлов.

Действие		
Действие Парам	етры Объекты	
Узел	Имя	<u> </u>
303	С.1 35 кВ, Лукъявинская	
304	С.2 35 кВ, Лукъявинская	
331	Сек.1 35 кВ, Юкъяунская	
332	Сек.2 35 кВ, Юкъяунская	
✓ 601	Н.Сортынская	
602	Н.Сортынская	

Действие выполняется одновременно для всех выбранных объектов-узлов. При расчете УР после расчета динамики нагрузка автоматически включается.

3.6.2.4.10 Управление нагрузкой

Отключить/включить часть нагрузки узла. В параметрах нужно выбрать из выпадающего списка одно из предопределенных действий и долю коммутируемой нагрузки.

Действие		
Действие Па	араметры Объекты	
Доля комм;	Действие утируемой нагрузки, %	ВКЛЮЧИТЬ Нет ОТКЛЮЧИТЬ ВКЛЮЧИТЬ
		Программа
Действие		$\overline{\mathbf{X}}$
<mark>Действие</mark> Действие Па	араметры Объекты	×
Действие Действие Па	араметры Объекты) Действие	ОТКЛЮЧИТЬ 💌
Действие Па Действие Па Доля комму	араметры Объекты Действие утируемой нагрузки, %	отключить т 20

Доля коммутируемой активной и реактивной нагрузки задается в процентах от значений активной и реактивной мощности нагрузки узла, заданной в таблице 'Данные узлов', т.е. без учета зависимости значения нагрузки с заданными СХН от режима сети. Одинаковая доля коммутации для Р и Q означает, что изменение реактивной мощности нагрузки происходит пропорционально доле активной мощности (постоянный соsф).

Если задана доля 100%, происходит коммутация всей нагрузки узла, это эквивалентно действию Коммутация нагрузки. Отключить больше 100% нагрузки нельзя.

Верхний предел включаемой нагрузки не контролируется специально, чтобы при коммутациях мощность нагрузки в узле могла стать больше, чем задана в таблице Данные узлов.

Можно задать также программу управления нагрузкой (изменения нагрузки во времени в ходе расчета переходного процесса), нажав кнопку Программа. При этом открывается дополнительный диалог для ввода таблицы последовательных коммутаций:
Действи	e		×
Действи	е Параметры Об	ъекты	
	Изменение наг	рузки 🔀	•
Доля	Время, с 5.000 10.000 Net	Доля , +- % -50.000 50.000	
	Clear	OK Cancel	

В таблице задается время линейного изменения нагрузки, отсчитываемое от начала расчета переходного процесса, и доля коммутируемой (отключаемой или включаемой) нагрузки за этот отрезок времени.

Для отключения нагрузки доля коммутируемой нагрузки задается со знаком минус, для включения — со знаком плюс (знак плюс можно не вводить). Например, по программе, показанной на скриншоте, к 5 секунде от начала расчета переходного процесса (t=0) в заданных узлах по линейному закону будет отключено 50 % нагрузки, затем на интервале от 5 до 10 секунд в этих же узлах нагрузка увеличится на 50 %.

В сумме по программе нельзя отключить нагрузки больше, чем 100%.

При включении нагрузки верхний предел нагрузки узла не контролируется и не ограничивается. Это необходимо, например, при динамическом утяжелении режима.

Если в узле комплексная нагрузка (СН+АД+СД), то увеличение или уменьшение нагрузки распределяется между СН, АД, СД пропорционально их доле Ксн, Кад, Ксд. Переходный процесс пуска двигателей не рассчитывается, только увеличивается мощность двигателей.

Для добавления новой строки в таблицу нужно сделать двойной щелчок левой клавиши на сером поле New, после чего в этом поле появляется диалог для ввода времени, перемещение фокуса ввода в поле Доля осуществляется клавишами перемещения курсора. Завершается ввод строки нажатием клавиши Enter. Для редактирования таблицы нужно сделать двойной щелчок левой клавиши мыши на ячейке таблицы.

Для удаления программного изменения нагрузки нужно зайти в диалог программы и нажать кнопку Clear.

В качестве объектов управления можно выбрать один или несколько узлов с нагрузкой. Управление нагрузкой как разовое, так и по программе выполняется одновременно для всех выбранных объектов-узлов.

При запуске расчета УР после расчета переходного процесса восстанавливается исходное значение нагрузки узлов.

Нагрузка в узлах, отключенная действиями автоматики, при запуске расчета установившегося режима (УР) автоматически восстанавливается. При отключении автоматикой 100% нагрузки в узле, нагрузка автоматически включается. Если нагрузка в узле отключена вручную, то автоматика ее не может отключить, поэтому автоматического восстановления нагрузки узла при запуске расчета УР не происходит. Однако если автоматика полностью или частично включила нагрузку в ходе расчета динамики, то при запуске УР нагрузка, отключенная вручную, тоже автоматически восстанавливается до значения, заданного в таблице данных узлов.

3.6.2.4.11 Сигнал

Для действий-сигналов необходимо:

- выбрать ID сигнала, ID сигнала выбирается из списка ID выражений АЛУ;
- задать значение сигнала;
- задать операцию над текущим значением фактора-сигнал, выбрав ее из предопределенного списка операций;
- задать новое состояние, в которое переводится фактор-сигнал действием-сигналом;
- выбрать объект автомат и фактор-сигнал этого автомата.

Действие		×
Сигнал Пара	метры Объект	
ID Название	сусle ret nc КТ1 КТ2 otkl	
	OK Cance	əl

Значение ID сигнала выбирается на вкладке Сигнал, его нельзя ввести с клавиатуры, поэтому условие срабатывания (выражение АЛУ, которое инициирует выполнение сигнала) должно быть уже создано (до формирования действия-сигнала). Точно так же факторсигнал, на который воздействует действие-сигнал, должен быть уже создан до формирования действия-сигнала.

Действие-сигнал можно вывести из работы, если щелчком левой клавиши мыши установить галочку в чек-боксе

На вкладке Параметры с клавиатуры можно ввести значение сигнала.

Денствие	<u> </u>
Сигнал Параметры Объект	
Значение Операция над фактором Состояние фактора	1 Сброс нет операции установка инкремент декремент оточет времени значение АПУ импульс сброс
	OK Cancel

Операция над значением фактора-сигнала выбираются из выпадающего списка предопределенных операций. Смысл операций:

- нет операции выбирается, если нужно сохранить значение фактора-сигнала и изменить только его состояние (новое значение не передается, в поле 'Значение' может быть любое число);
- установка фактор-сигнал получает значение, введенное в поле 'Значение';
- **инкремент** значение фактора-сигнала алгебраически складывается со значением, введенным в поле 'Значение';
- **декремент** из значения фактора-сигнала алгебраически вычитается значение, введенное в поле 'Значение';
- отсчет времени фактору-сигналу передается значение отсчитываемой в условии срабатывания АЛУ выдержки времени, если истинно логическое выражение АЛУ (поле 'Значение' может содержать произвольное число, оно не используется). Если логическое выражение станет ложным, значение выдержки времени в факторе-сигнале сохраняется до тех пор, пока логическое выражение АЛУ вновь не станет истинным и начнется новый отсчет времени (моделирование реле времени с памятью). Возможен сброс выдержки времени в ноль операцией сброса;
- значение АЛУ фактору-сигналу передается текущее значение выражения АЛУ (поле 'Значение' может содержать произвольное число, оно не используется);
- импульс выполняет пересылку значения в фактор-сигнал однократно, как только условие срабатывания станет истинным. После этого сигнал-импульс получает статус «выполнено» и далее не обрабатывается, независимо от значения условия срабатывания в АЛУ. В факторе-сигнале остается то значение, которое туда заслал импульс, до тех пор, пока над этим фактором не будет произведена какаялибо новая операция другими сигналами;
- **сброс** перевод фактора-сигнала в исходное состояние, (в поле 'Значение' может быть любое число, оно не используется).

Состояние, в которое переводится фактор-сигнал, выбирается из предопределенного выпадающего списка состояний. Фактор-сигнал может находиться в двух состояниях: "ГОтов" или "блокирован". Текущее состояние, в котором находится фактор-сигнал, при выполнении действия-сигнала можно изменить, либо сохранить текущее состояние (статус) фактора. Операция над состоянием фактора-сигнала выбирается из выпадающего списка:

Состояние фактора	готов
	готов
	блокирован
	нет операции

- готов фактор-сигнал готов к приему следующих операций;
- блокирован фактор-сигнал переводится в состояние блокирован.
- нет операции сохраняется текущее состояние (статус) фактора-сигнала.

Если для сигнала задана операция над состоянием фактора-сигнала (выбрано значение "готов" или "блокирован"), то в этом случае действие-сигнал выполняет операцию над значением фактора всегда, т.е. изменяются и текущее значение фактора, и его состояние. Если для значения выбрана операция "нет операции", изменяется только состояние фактора. Это позволяет выполнить блокировку/разблокировку фактора-сигнала. Сочетание "нет операции" и для значения, и для состояния смысла не имеют.

Если из списка для состояния фактора выбрана строка "Нет операции", то при выполнении действия-сигнала текущее состояние (статус) фактора-сигнала не изменяется, а на выполнение операции над значением фактора-сигнала накладываются ограничения. Проверяется текущее состояние фактора-сигнала, и если фактор находится в состоянии "блокирован", операция над значением фактора не выполняется. Если фактор-сигнал находится в состоянии "готов", операция над его значением выполняется.

Для операции "отсчет времени", которая моделирует реле времени с памятью, необходимо выбирать состояние "готов", иначе заблокированное реле времени работать не будет.

Если сигнал не имеет параметров, например, сигнал передачи значения выдержки времени, отсчитываемой в АЛУ, вкладка параметров отсутствует.

Для привязки действий-сигналов к автоматам и их факторам-сигналам служит вкладка «Объект», которая имеет вид:

Действие		×
Сигнал Парам	етры Объект	
Автоматика	alar_z	
ID фактора	nc1	
	OK Cance	el

Сначала из верхнего выпадающего списка выбирается автомат, фактору-сигналу которого передается сигнал. В выпадающем списке выводятся имена автоматов, у которых среди факторов есть сигналы. Можно передавать сигналы внутри самого автомата, а также и другим автоматам.

После этого из выпадающего списка идентификаторов (ID) факторов ранее выбранного автомата можно выбрать ID фактора-сигнала, значение и/или состояние которого изменяет сигнал (очевидно, фактор-сигнал должен уже существовать).

Действие			×
Сигнал Парам	етры Объект		
Автоматика	alar_z	•	
ID фактора	nc1	•	
	nc1	2	
	dt1	~	
	αιΖ		

Контроль привязки действий-сигналов к автоматам и факторам-сигналам целиком возлагается на пользователя.

3.6.2.5 Отсчет выдержек времени для использования в выражениях АЛУ

1. Реле времени без памяти

В предопределенном наборе действий предусмотрен специальный сигнал, который называется Выдержка времени:



Отсчитываемая в строке АЛУ выдержка времени действием-сигналом Выдержка времени ретранслируется фактору-сигналу Выдержка времени. (Для фактора-сигнала Выдержка времени допускается также использование действия-сигнала Сигнал\отсчет времени).

Сигнал просто передает значение dt из строки АЛУ фактору-сигналу в листе Факторы, фактор-сигнал должен быть в состоянии Готов. ID этого фактора-сигнала используется в выражениях АЛУ.

Ретрансляция идет непрерывно (на каждом шаге интегрирования), независимо от истинного или ложного значения самого выражения АЛУ.

Если выражение АЛУ стало истинным, начинается отсчет, если выражение АЛУ становится ложным, происходит автоматический сброс dt АЛУ в ноль и этот ноль ретранслируется фактору-сигналу. Таким образом, реле времени сразу возвращается в исходное состояние и готово к следующему отсчету, как только выражение АЛУ станет снова истинным. Если выдержка времени отсчитана, а выражение АЛУ остается истинным, значение dt равно заданной выдержке времени, поэтому фактор-сигнал тоже равен заданной выдержке времение АЛУ не станет ложным.

2. Реле времени с запоминанием сделанного отсчета (с памятью)

В лист Факторы добавляется сигнал в состоянии готов, на скриншоте фактору присвоен идентификатор ID=dt, может быть и другое подходящее по смыслу имя.

Факторы				
ID	Имя	Параметры	Объекты	Значение
KZ1	РС чувствительное	н, z=200 fi=65 c=-100	90-190	0
KZ2	РС грубое	н, z=50 fi=65 c=-100 q	90-190	0
KS	Реле мощности	н, s=-10 fi=0	90-190	0
dt	выдержка времени	готов	нет	0

Значение выдержки времени используется во втором выражении АЛУ через этот идентификатор dt

АЛУ			
ID	Выражение	dt, сек.	Значение
KT	KZ1 && ! KZ2	0.6000	0
otkl	KZ1 && KZ2 && KS && dt <= 0.6	0.0000	0

Сама выдержка времени отсчитывается в первой строке АЛУ с ID=KT, отсчет производится, если истинно выражение для KT, и передается фактору с ID=dt сигналом

Действия				
ID	Имя	Параметры	Объекты	Статус
KT	Сигнал	отсчет времени, готов	alar_dz/dt->dt	Готов
otkl	Коммутация ветви	н-откл, к-откл	90-190	Готов

Параметры сигнала устанавливаются следующим образом.

Действи	le	
Сигнал	Параметры Объект	
	Значение	
	Операция над фактором	нет операции 💌
	Состояние фактора	нет операции установка инкремент декремент эпачение АЛУ импульс сброс

Выбирается операция над фактором отсчет времени, поле Значение при выполнении этой операции может содержать произвольное число, оно не используется, лучше оставлять пустым.

Состояние фактора после передачи значения выдержки времени должно быть готов, чтобы не заблокировать реле времени.

Действи	e	
Сигнал	Параметры Объект	
	Значение	
	Операция над фактором	отсчет времени 💌
	Состояние фактора	готов
		готов блокирован нет операции

В качестве объекта выбирается фактор-сигнал dt данной автоматики

Действие	×
Сигнал Параметры Объект	
Автоматика alar_dz/dt	
ID фактора dt	
dt	

Если логическое выражение КТ в АЛУ станет ложным, передача выдержки времени прекращается. Значение выдержки времени в факторе-сигнале сохраняется до тех пор, пока логическое выражение КТ в АЛУ вновь не станет истинным и начнется новый отсчет времени (моделирование реле времени с памятью). С началом нового отсчета старый отсчет сбрасывается. Можно сохранить отсчитанную выдержку времени, если специальным сигналом заблокировать реле (фактор-сигнал). Возможен последующий сброс выдержки времени в ноль операцией сброса.

3.6.2.6 Основные правила работы с автоматом

1. Не должно быть одинаковых идентификаторов (ID) у факторов и у выражений АЛУ, поскольку ID являются операндами выражений АЛУ.

2. Для ID факторов и выражений АЛУ можно использовать только:

- прописные и строчные буквы латинского алфавита,
- цифры и символ подчерка '_',

остальные символы не распознаются, русский алфавит в ID использовать нельзя. В названиях автоматов (слева в окне дерева автоматик) и в именах объектов действий-сигналов (четвертая колонка листа Действия) можно использовать и русский алфавит.

3. Синтаксический и лексический анализатор выражений АЛУ (парсер) распознает только строчные буквы, поэтому перед анализом выражений АЛУ все прописные буквенные символы в них преобразуются в строчные. Это необходимо иметь в виду при выборе ID факторов и выражений АЛУ. Например, идентификаторы 'ConD' и 'cond', 'abs' и 'ABS' после преобразования будут одинаковыми. Следовательно, ID должны различаться хотя бы один символом.

4. В выражениях АЛУ можно использовать

- ID факторов,
- ID предыдущих (вышерасположенных) выражений АЛУ,
- числа, разделителем целой и дробной частей является точка,
- предопределенные символы констант,
- зарезервированные символы операций и имена математических функций

В текущей версии парсера реализованы:

- операции над действительными числами: унарный +, унарный -, +, -, *, /, %;
- константы: число e e, число πpi ;
- истина 1 (TRUE), ложь 0 (FALSE);
- скобки круглые (,) и квадратные [,];
- математические функции abs, sqrt, , x[^]y, sin, cos, tg, ctg, arcsin, arcos, arctg, arcctg, exp, lg, ln, sh, ch, th, cth;
- логические операции: $u \&\&, u \pi u ||, He !;$
- операции сравнения:

равно ==, не равно !=,

- больше >, больше или равно >=,
- меньше <, меньше или равно <=.

5. АЛУ вычисляет логические и/или алгебраические выражения и может отсчитывать выдержки времени dt. Выдержка времени отсчитывается, как только и пока выражение истинно (1). Если заданная выдержка времени dt отсчитана, а выражение АЛУ остается истинным, значение dt постоянно и равно заданной выдержке времени. Если выражение АЛУ станет ложным (0), отсчет прекращается и выдержка сбрасывается в ноль, полностью отсчитанная выдержка времени тоже сбрасывается в ноль. Выдержка времени отсчитывается точно, если заданное значение выдержки времени равно уставке, с которой оно сравнивается в логическом выражении АЛУ.

Замечание. Если предельное значение выдержки времени задано заведомо больше уставки, с которой сравнивается текущее значение отсчитываемой выдержки времени в логическом выражении АЛУ, погрешность при сравнении может быть равна текущему шагу интегрирования. Если это слишком большая погрешность, то для повышения точности отсчета, чтобы добиться нужного времени выполнения действия, следует проварьировать значение уставки в пределах dt = dt $\pm 10^{-6}$, можно также уменьшить наибольший щаг интегрирования в опциях программы.

Важно:

a) если выражение АЛУ имеет выдержку времени и ID этого выражения фигурирует в последующих (нижерасположенных) выражениях АЛУ, выдержка времени не влияет на результат вычисления, т.е. используется только значение логического выражения. Чтобы использовать отсчитываемую выдержку времени как операнд в нижерасположенных логических выражениях АЛУ, ее нужно ретранслировать действием-сигналом фактору-сигналу, ID которого и используется в логическом выражении АЛУ. Кроме того, выдержку времени можно отсчитать с запоминанием при помощи сигналов с операциями над факторами-сигналами.

Максимальный шаг интегрирования, задаваемый в меню программы Опции/Динамика, должен быть меньше, чем выдержки времени в АЛУ.

б) если логическое выражение АЛУ имеет выдержку времени и ID этого выражения используется для запуска действия, то действие выполняется только после отсчета заданной выдержки времени, если выражение АЛУ станет ложным до истечения выдержки времени, она сбрасывается, а действие не выполняется.

6. Последовательность факторов в листе Факторы может быть произвольной, однако для облегчения анализа работы автомата лучше их располагать по порядку использования в выражениях АЛУ.

7. Порядок действий в листе Действия может быть произвольным, но для облегчения анализа работы автомата лучше их упорядочивать в соответствии с порядком следования выражений АЛУ.

8. Последовательность выражений в листе АЛУ не может быть произвольной, т.к. она определяется логикой работы какого-либо устройства автоматики. Кроме того, ID предыдущих выражений АЛУ могут быть операндами в последующих выражениях АЛУ.

9. Для переупорядочивания строк нужно использовать команды Копировать, Вырезать, Удалить и Вставить из контекстного меню листов Факторы, АЛУ и Действия, вызываемого щелчком правой клавиши мыши на листе

10. Предопределенные имена факторов и действий, которые появляются при вызове диалога, следует изменить на более подходящие по смыслу, что облегчает анализ сложных алгоритмов работы автоматов.

Важно. Алгоритм обработки автоматов

Перед началом расчета выполняется установка автомата в исходное состояние. Автомат в исходном состоянии может быть выведен из работы. Выведенный из работы автомат не обрабатывается, «оперативный ток отключен»). Ввод в работу выведенного автомата действием другого автомата не предусмотрен.

Взаимодействие между собой введённых в работу автоматов осуществляется при помощи сигналов.

Обработка автоматов, введённых в работу, производится за два прохода.

При первом проходе факторами считывается сигналы и информация о состоянии и режиме контролируемых элементов схемы, затем вычисляются условия срабатывания при текущих значениях факторов и факторов-сигналов. Если условие срабатывания истинно и отсчитана выдержка времени, если она задана, выполняются только действия-сигналы, изменяющие значение и/или состояние факторов-сигналов. Действия с объектами энерго-системы не производятся.

При втором проходе заново вычисляются условия срабатывания автоматов с факторами-сигналами, возможно, изменёнными на первом проходе. Выполняются все действия, и действия-сигналы, и управляющие воздействия на энергосистему, если соответствующие условия срабатывания с изменёнными на первом проходе факторами-сигналами истинны и отсчитаны заданные выдержки времени. Проверяется адекватность действий, если они не могут быть выполнены, выдаются диагностические сообщения. Если управляющие воздействия приводят к изменению конфигурации схемы, то проводится топологический анализ схемы.

Двухпроходный алгоритм обработки автоматов необходим для правильного взаимодействия различных автоматов через сигналы независимо от последовательности их обработки (автоматы обрабатываются в порядке их следования в дереве устройств автоматики, раздел 3.6.1).

Двухпроходную обработку автоматов необходимо учитывать при разработке логики выполнения действий автомата и взаимодействия автоматов с использованием факторовсигналов и действий-сигналов. Если не учитывать повторное вычисление выражений АЛУ с измененными на первом проходе факторами-сигналами, возможны взаимные блокировки автоматов или действий, неправильный порядок выполнения действий и др. Для исправления логики можно ввести промежуточные сигналы, изменить порядок следования выражений в таблице АЛУ и/или использовать выдержки времени и др.

Автоматический контроль логики работы автоматов и их взаимодействия невозможен, поэтому отладка автоматики возлагается полностью на её разработчика.

В качестве примера учёта двухпроходной обработки автоматов рассмотрим автомат, моделирующий работу АРН РПН трансформатора 110/6 кВ с РПН на стороне ВН 115±9х1,78%, ΔU =2,047 кВ:

Анцапфа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ua, кВ	133,423	131,376	129,239	127,282	125,235	123,188	121,141	119,094	117,047	115
Ктр=Ua/6,3	21,178	20,853	20,514	20,203	19,879	19,554	19,229	18,904	18,579	18,254
Анцапфа	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Ua, кВ	115	112,953	110,906	108,859	106,812	104,765	102,718	100,671	98,624	96,577
Ктр=Ua/6,3	18,254	17,929	17,604	17,279	16,954	16,629	16,304	15,979	15,654	15,330

При переключении анцапф параметры трансформатора (R, X, B) приняты постоянными, посчитанными для номинального ответвления 10. При наличии данных можно учесть также изменение R, X, B при переключении анцапф.

При помощи АРН РПН на шинах 6 кВ поддерживается напряжение в диапазоне 6,3– 6,6 кВ. В исходном режиме у ветви трансформатора 9010–6001 задан Ктр=18,904, напря-

OMAT	Факторы					
Снижение U	ID	Имя	Параметры	Объекты		Значение
	U	Напряжение	нет	6010		6.56
	anc	Анцапфа 1-19 (сигнал)	готов	нет		8.0000
	w 1d	Сигнал U<, ->2	готов	нет		0
	w2u	Сигнал U>, ->1	готов	нет		0
	w2d	Сигнал U<, ->3	готов	нет		0
	w3u	Сигнал U>, ->2	готов	нет		0
	w3d	Сигнал U<, ->4	готов	нет		0
	w4u	Сигнал U>, ->3	готов	нет		0
	w4d	Сигнал U<, ->5	готов	нет		0
	w5u	Сигнал U>, ->4	готов	нет		0
	w5d	Curnan II< ->6	FOTOR	нет		0
	АЛУ					
	ID	Выражение		dt, сек.	Значение	2
	U0_d	6.3		0.0000	6.30	
	U0_u	6.6		0.0000	6.60	
	ch1d	anc==1 && U <u0_d< td=""><td></td><td>1.0000</td><td>0</td><td></td></u0_d<>		1.0000	0	
	d1	w1d==1		0.0000	0	
	ch2u	anc==2 && U>U0_u		1.0000	0	
	u2	w2u==1		0.0000	0	
	ch2d	anc==2 && U <u0_d< td=""><td></td><td>1.0000</td><td>0</td><td></td></u0_d<>		1.0000	0	
	d2	w2d==1		0.0000	0	
	ch3u	anc==3 && U>U0_u		1.0000	0	
	u3	w2u==1		0.0000	0	
	Действия					
	ID	Имя	Параметры	Объекты		Статус
	ch1d	Сигнал	установка 1, готов	P⊓H->w1d		Готов
	d1	Изм. парам. ветви	R=0.6400 X=17.3400 G	9010-6001		Готов
	d1	Сигнал	установка 0, готов	P⊓H->w1d		Готов
	d1	Сигнал	установка 2.00, готов	PITH->anc		Готов
	ch2u	Сигнал	установка 1, готов	PIH->w2u		Готов
	u2	Изм.парам.ветви	R=0.6400 X=17.3400 G	9010-6001		Готов
	u2	Сигнал	установка 0, готов	P∏H->w2u		Готов
	u2	Сигнал	установка 1, готов	PITH->anc		Готов
	ch2d	Сигнал	установка 1, готов	P⊓H->w2d		Готов
	d2	Изм.парам.ветви	R=0.6400 X=17.3400 G	9010-6001		Готов
	d2	Сигнал	установка 0 готов	PFH-Sw2d		Готов

жение на шинах 6 кВ (в узле 6010) равно 6,56 кВ. Соответственно в автомате РПН задана текущая анцапфа anc 8.

РПН в положении 1 реагирует только на снижение напряжения, в положении 19 – только на повышение напряжения. В остальных положениях РПН реагирует на выход напряжения за пределы заданного диапазона в обоих направлениях. Сначала выдается сигнал на изменение положения РПН, затем выполняются необходимые действия.

Если напряжение превысит верхнюю границу U0_u=6,6 кВ для текущей анцапфы A (А-номер анцапфы), то по логическому выражению с ID=chAu anc==A && U>U0_u, которое принимает значение 1 (истина), после выдержки времени dt=1c (выдержку времени можно задать любой требуемой) при первом проходе выполняется действие-сигнал с ID=chAu, которое устанавливает фактор-сигнал wAu в 1. При втором проходе по истинному значению выражения с ID=uA wAu==1 выполняются три действия с ID=uA. Первое действие устанавливает параметры ветви трансформатора Ктр (и R, X, B) соответствующими анцапфе A-1. Второе действие-сигнал возвращает фактор-сигнал wAu в 0 (ложь). Третье действие-сигнал устанавливает фактор-сигнал аnc в A-1.

Если напряжение ниже U0_d=6,3 кВ для текущей анцапфы A, то по логическому выражению с ID=chAd anc==A && U<U0_d, которое принимает значение 1, после выдержки времени dt=1c при первом проходе выполняется действие-сигнал с ID=chAd, который устанавливает фактор-сигнал wAd в 1. При втором проходе по истинному значению выражения с ID=dA wAd==1 выполняются три действия с ID=dA. Первое действие устанавливает параметры ветви трансформатора Ктр (и R, X, B) соответствующими анцапфе A+1. Второе действие-сигнал возвращает фактор-сигнал wAd в 0. Третье действие-сигнал устанавливает фактор-сигнал апс в A+1.

3.6.3 АЧР

АЧР может быть реализована посредством одного или нескольких автоматов.

Для автоматизации и ускорения работы с очередями АЧР разработана специализированная автоматика автоматической частотной разгрузки для моделирования АЧР1 и АЧР2.

Дополнительную аварийную разгрузку (ДАР) и автоматику частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ) следует моделировать, используя автомат.

Выбор узлов, в которых нагрузка коммутируется АЧР, ввод и редактирование уставок спецочереди и основного массива АЧР1, несовмещенной и совмещенной АЧР2 осуществляется в пользовательском диалоге АЧР:

Автоматика										×
	Объект			AHP-1	1 cnei	цочередь и осн	овной массив		отключить	
КЗ на ВЛ	Узел	Имя	^	25	=	+/- очередь		dF	0.100000 Гц	
	8201	ng82		#		Fs, Гц	Εν, Гц	dt, c	Рот, %	~
dar2020	9001	ng90		16	_	47.40	47.50	0.30	2.21000	
✓ dar22021	10311	cn		17		47.30	47.40	0.30	2.21000	
	10321	cn		18		47.20	47.30	0.30	2.21000	
	10331	cn		19		47.10	47.20	0.30	2.21000	
	10341	cn		20		47.00	47.10	0.30	2.21000	
	11101	na111		21		46.90	47.00	0.30	2.21000	
	11201	ng112		22		46.80	46.90	0.30	2.21000	
	1201	ng120		23		46.70	46.80	0.30	2.21000	
	12001	ng120		25		46.50	46.60	0.30	2,21000	
a5101	15001	ng150		120		10.00	10.00	0.50	2.21000	
a5201	17001	ng170		AUD 2						
a6001	19001	ng190		AHP-2	2 Heco	овмещенная				
	22011	cn2201		8	÷.	+/- очередь		dt	5 C	
a9001	22021	ng2202			_	[(
a111	31011	ng3101		#		Fs, Гц	Fv, Гц	dt, c	Р от, %	L 🗅
a12001	31021	ng3102		3		49.10	49.20	15.00	1.32000	
a150	31041	ng3104		4		49.10	49.20	20.00	1.32000	
🗖 a 1900 1	31061	ng3106		5		49.10	49.20	25.00	1.32000	
a22021	G 31001	193100		0		49.10	49.20	30.00	1.32000	
a31011	31081	ng3108		6		49.10	49.20	40.00	1.32000	
a31021	31101	ng3110) o		49.10	49.20	40.00	1.52000	_
a31041	31251	ng3125							-	
a31061	31261	ng3126		AHP-2	2 COBN	ещенная			отключить	
a31081			~	0	÷.	+/- очередь		dF	0.1 Гц	
🗖 a4000				#		Fs, Гц	Εν, Гц	dt, c	# AHP-1	
	Рнг	, МВт 3358.50								
	Р нг АЧР-1	. МВт 1781.35		-						
		· ·								
	Р нг АЧР-2	2, MBT 354.66								
Идеализированный вариает АЧР Тренэне	рго при равноме	рной разгрузке	узлов	1						1
(число очередей одинаково, в узлах откл	лючается одина	ковый процент	ΗΓ).					ОК	Cancel	

В примере в дереве автоматик выделена автоматика АЧР с именем "all" (синий фон). Под деревом отображается комментарий к автоматике, если он введен пользователем, а справа её параметры.

Привязка АЧР к нагрузочным узлам схемы осуществляется в листе (таблице) "Объект". Узлы, нагрузка которых подведена под АЧР "all", выделяются галочками в чек-боксах в листе "Объект". Можно щелкать мышкой по чек-боксам или можно сначала выделить необходимые узлы, щелкая мышкой по их названиям (в колонке Имя) при нажатых клавишах Ctrl или Shift, а затем для выделенной группы узлов одновременно изменять состояние чек-боксов клавишей пробел.

Примечание.

1. Предполагается, что АЧР в выбранных узлах имеют одинаковое назначение и число очередей АЧР1 и АЧР2 с одинаковыми уставками АЧР1 и АЧР2.

2. Если состав и настройка АЧР в узлах разная, для каждого узла следует создать свою автоматику АЧР. В пределе в каждом из узлов, задействованных в разгрузке энергосистемы по частоте, может быть задана своя АЧР.

3. Контроль срабатывания измерительных органов реле частоты и управляющие воздействия АЧР осуществляются в каждом из выделенных узлов индивидуально.

Если в листе объектов выбрано несколько узлов, автоматически суммируется активная мощность нагрузки этих узлов, заданная в таблице "Данные узлов", и выводится под списком узлов в окне Р нг, МВт:

Р нг, МВт 3358.50

Настройка AЧP1, несовмещенной и совмещенной АЧP2 производится в соответствующих листах (списках) пользовательского диалога. Колонки листов имеют следующий смысл:

- **#** порядковый номер очереди в листе АЧР, формируется автоматически;
- **F s, Гц** уставка срабатывания измерительного органа реле частоты в герцах;
- **F v, Гц** уставка возврата измерительного органа реле частоты в герцах;
 - dt, с выдержка времени перед выдачей команды на отключение нагрузки в секундах;
- **Рот, %** активная мощность отключаемой нагрузки, в % от значения активной мощности нагрузки Р нг, заданной в таблице "Данные узлов" (без учета зависимости мощности нагрузки от напряжения, если для нее задана СХН, а в исходном установившемся режиме напряжение отличается от номинального напряжения узла);
- **# АЧР-1** номер очереди АЧР1, нагрузку которой может отключить очередь совмещенной АЧР2.

Добавление новой очереди(ей) осуществляется в окне наборного счетчика очередей, например, для AЧР1:

A4P-1	АЧР-1 спецочередь и основной массив 🔲 отключить								
	⊒{+/- очер	едь	dF	0.100000	Гц				
#	Fs, Гц	F v, Гц	dt, c	Р от, %					
1	48.80	48.90	0.30	2.50					

Очередь можно добавить/удалить или мышкой, щелкая левой клавишей по стрелкам наборного счетчика, или задать число очередей с клавиатуры. Для ввода с клавиатуры нужно дважды щелкнуть левой клавишей мышки на цифре числа узлов, чтобы выделить цифру (появляется синий фон). После выделения вводится новое число очередей, которые сразу же добавляются в лист АЧР1. При вводе с клавиатуры нужно обязательно сначала выделить старое число очередей, затем ввести новое число очередей. Если перед вводом нового числа очередей АЧР1 удалить старое число очередей клавишами Del или Васкspace, список очередей АЧР станет пустым, введенные уставки будут утрачены.

Замечание. Число очередей, превышающее 9 (двузначное), следует корректировать только мышкой, т.к. после ввода первой цифры сразу изменяется число очередей.

При добавлении первой очереди по умолчанию автоматически создаются типовые уставки первой очереди АЧР1 по стандарту СО-ЦДУ, которые затем можно отредактировать прямо в листе. Для этого необходимо сделать двойной щелчок левой клавиши мышки на ячейке таблицы, и после появления курсора осуществить ввод с клавиатуры, завершаемый Enter или перемещением фокуса ввода на смежную ячейку при помощи стрелок управления курсором на клавиатуре. Номер очереди (#) отредактировать нельзя.

АЧР-1 спецочередь и основной массив 🔲 отключить							
2 +/- очередь dF 0.100000 Г							
#	Fs, Гц	F v, Гц	dt, c	Р от, %			
1	49.20	49.30	0.30	4.00			
2	48.80	48.90	0.30	2.00			
L					N		

В этом примере показаны уставки спецочереди АЧР1, отключающей 4 % нагрузки в выделенных узлах (#1), и первой очереди основного массива АЧР1, отключающей 2 % нагрузки в выделенных узлах в списке объектов (#2).

Ввод уставок F s и F v остальных очередей происходит полуавтоматически при добавлении следующих очередей при помощи мышки или вводом с клавиатуры предполагаемого числа очередей AUP1 (считая вместе со спецочередью). Для этого в окне dF нужно задать значение разности частот между уставками смежных очередей:

АЧР-1 спецочередь и основной массив 🔲 отключить							
4	€{+/- очере	dF	0.100000	Гц			
#	Fs, Гц	Εν, Гц	dt, c	Р от, %			
1	49.20	49.30	0.30	4.00			
2	48.80	48.90	0.30	2.00			
3	48.70	48.80	0.30	2.00			
4	48.60	48.70	0.30	2.00			

При добавлении новых очередей их уставки F s и F v уменьшаются на dF (если ввести dF < 0, значения уставок будут увеличиваться). Выдержка времени dt и доля отключаемой нагрузки нагрузки Pot при добавлении следующей очереди берутся из предыдущей. Затем введенные полуавтоматически значения уставок при необходимости редактируются. Редактировать ячейки листа можно в произвольном порядке.

Опция предназначена для оперативного временного отключения автоматики AUP1 без удаления ее очередей. Если галочка установлена, то AUP1 не работает. Выбранное состояние автоматики AUP1 включена/отключена сохраняется в текущем сеансе работы со схемой. При сохранении схемы в файл (при выходе из программы или загрузке новой схемы) галочка сбрасывается и при последующей загрузке схемы автоматика будет включена.

Аналогично работает эта опция и для автоматик АЧР2 несовмещенной и совмещенной.

При изменении числа очередей AЧP1 автоматически подсчитывается мощность нагрузки, подключенной к AЧP1 во всех выделенных узлах в листе Объект. Ее значение выводится в окне Р нг АЧP1, МВт, для автоматики "a1" мощность разгрузки АЧP1 равна:

Р нг АЧР-1, МВт	1781.35
	,

Несовмещенная АЧР2 имеет собственную мощность разгрузки. Для работы с очередями несовмещенной АЧР2 все вышесказанное справедливо. Поскольку очереди несовмещенной АЧР2 обычно имеют одну и ту же уставку по частоте, для нее автоматизирован ввод выдержек времени. Пример ввода данных АЧР2 показан ниже:

АЧР-2 несовмещенная 3 +/- очередь			dt	отключить 5 с)
#	Fs, Гц	Εν, Гц	dt, c	Р от, %	
1	49.10	49.20	5.00	2.00	
2	49.10	49.20	10.00	2.00	
3	49.10	49.20	15.00	2.00	
1					

Выдержка времени каждой последующей очереди, после первой, увеличивается на dT > 0 или уменьшается на dT < 0. После полуавтоматического формирования листа несовмещенной АЧР2 его ячейки можно редактировать в произвольном порядке.

При изменении числа очередей несовмещенной АЧР2 автоматически подсчитывается мощность подключенной к ней нагрузки во всех выделенных узлах схемы в листе Объект (имеющих одинаковую настройку АЧР). Ее значение выводится в окне Р нг АЧР2, МВт, для автоматики "а1" мощность разгрузки АЧР2 равна:

Р нг АЧР-2, МВт	354.66

Совмещенная АЧР2 не имеет собственной мощности разгрузки и действует на отключение нагрузок, подключенных к АЧР1, например:

АЧР-2 совмещенная 🔽 отключить						
4 -	+/- очередь	dF	0 Гц			
#	Fs, Гц	Fv, Гц	dt, c	# AHP-1		
1	49.00	49.10	5.00	15		
2	48.90	49.00	10.00	16		
3	48.80	48.90	15.00	17		
4	48.70	48.80	20.00	18		
1						

Поэтому для нее вместо доли отключаемой нагрузки необходимо задать порядковый номер очереди в листе АЧР-1 – # АЧР-1, нагрузка которой может быть отключена очередью совмещенной АЧР2.

Для совмещенной AЧP2 автоматизирован ввод уставок измерительных органов реле частоты F s и F v, как и для AЧP1. Ввод уставок по времени dt при добавлении новых очередей автоматизирован лишь для третьей и последующих очередей. Например, при добавлении в лист третьей очереди вычисляется приращение dt вычитанием из значения dt второй очереди значения dt первой очереди. Значение dt третьей очереди определяется сложением полученного приращения со значением dt второй очереди, и т.д. при вводе последующих очередей. После полуавтоматического формирования листа совмещенной АЧР2 его ячейки можно редактировать в произвольном порядке.

Суммарная активная мощность нагрузки (Р нг, МВт), мощность АЧР1 (Р нг АЧР1, МВт) и мощность несовмещенной АЧР2 (Р нг АЧР2, МВт), определяемые в ходе формирования автоматики АЧР, предназначены для контроля за объемами АЧР, если среди объектов выбирается несколько узлов.

Обеспечивается корректное отключение заданной доли нагрузки очередями АЧР при любом заданном составе комплексной нагрузки. В составе нагрузки могут быть и статическая нагрузка и/или асинхронная нагрузка, и/или синхронная нагрузка, причем заданная доля отключения нагрузки какой-либо очередью АЧР распределяется между ними в соответствии с их долей (см. раздел 3.5.1 Схема/Нагрузки/Параметры...). В ходе расчета в журнал записывается хронология работы автоматики АЧР.

Если в дополнительных опциях программы, см. раздел 6.3, разрешена запись протокола работы АЧР (по умолчанию опция включена), то в журнал записывается хронология работы измерительных и исполнительных органов реле частоты, например:

	Журнал	×
×		
	а2020<АЧР1> : t=3.5309, F=48.61 Гц : откл. очереди 1 в узле 2020 : Fs=48.70 Гц.	^
в	t= <u>3.5309 : узел 2</u> 020 : откл13.7500 % (75.35 МВт) нагрузки : осталось 86.2500 % (472.65 МВт) нагрузки.	
	а5101<АЧР1>: t=3.6034 : срабатывание реле F очереди 1 в узле 5101, Fs=48.60 Гц.	
	a5201 <aчp1> : t=3.8934 : срабатывание реле F очереди 1 в узле 5201, Fs=48.50 Гц.</aчp1>	_
[а5101<АЧР1> : t=3.9034, F=48.50 Гц : откл. очереди 1 в узле 5101 : Fs=48.60 Гц.	
1	t=3.9034 : узел 5101 : откл63.5500 % (75.62 МВт) нагрузки : осталось 36.4500 % (43.38 МВт) нагрузки.	
	Шаг 1043: t=4.00, h=0.002500, err=1.51e-003, узел=1011 аег.	
	а5201<АЧР1> : t=4.1934, F=48.44 Гц : откл. очереди 1 в узле 5201 : Fs=48.50 Гц.	
	t=4.1934 : узел 5201 : откл63.5500 % (75.62 МВт) нагрузки : осталось 36.4500 % (43.38 МВт) нагрузки.	
в	Шаг 1165: t=4.50, h=0.005000, err=1.77e-004, узел=1031 аег.	
	а6001<АЧР1> : t=4.5397 : срабатывание реле F очереди 1 в узле 6001, Fs=48.40 Гц.	
	а6001<АЧР1> : t=4.8397, F=48.36 Гц : откл. очереди 1 в узле 6001 : Fs=48.40 Гц.	
	t=4.8397 : узел 6001 : откл51.0980 % (75.63 МВт) нагрузки : осталось 48.9020 % (72.37 МВт) нагрузки.	
	Шаг 1262: t=5.00, h=0.005000, err=1.09e-004, узел=3101 exc.	~

Записываются моменты времени срабатывания, возврата реле частоты и команды на отключение нагрузки очередями АЧР1 и АЧР2 во всех объектах – выделенных узлах схемы. Для идентификации события в записях указываются имя автоматики, заданное в дереве автоматик, в угловых скобках указывается тип АЧР:

- АЧР1 <АЧР1>,
- несовмещенная АЧР2 <АЧР2>,
- совмещенная АЧР2 <АЧР2s>).

Полная информация о работе АЧР может быть полезной при отладке автоматики АЧР. При отключении опции записи протокола работы АЧР в журнал записываются только команды на отключение нагрузки, что резко сокращает объем записей.

После окончания переходного процесса в журнал записывается подробный итоговый протокол работы АЧР. Для всех узлов с автоматикой АЧР выводится следующая информация:

🔲 Журнал	
АВТОМАТИКА "а 1020"	^
🗄 Работа АЧР узла 1020 :	_
E AUP1:	
очередь 1 : Fs=48.80 Гц : t=3.2909 с : отключение 25.46% нагрузки, 75.63 МВт	
очередь 2 : Fs=47.20 Гц : РЧ не работало	
отключено 25.4630% нагрузки, 75.63 МВт	
😑 АЧР2 несовмещенная ;	
очередь 1 : Fs=49.10 Гц, dt=5.00 с : t=7.3759 с : отключение 15.28% нагрузки, 45.37 МВт	
отключено 15.2770% нагрузки, 45.37 МВт	
всего отключено 40.7400% нагрузки, 121.00 МВт	
😑 АЧР2 совмещенная ;	
очередь 1 : Fv=49.00 Гц : t=17.9909 с : возврат РЧ после срабатывания	
всего 0 команда(ы) на отключение 0.0000% нагрузки, 0.00 МВт АЧР1	
всего отключено 40.7400% нагрузки, 121.00 МВт	
всего АЧР1 отключено 75.63 МВт нагрузки.	
всего АЧР2 несовмещенной отключено 45.37 МВт нагрузки,	_
АВТОМАТИКА "а2020"	×

Для каждого типа АЧР (АЧР1, АЧР2 и АЧР2s) выводятся номер очереди, ее уставка по частоте, для АЧР2 и АЧР2s – выдержка времени, время отключения нагрузки и ее объем в процентах и в мегаваттах.

Для каждого типа АЧР в узле объем отключений нагрузки всеми очередями суммируется и выводится объем отключенной нагрузки, произведенный АЧР1 и АЧР2.

В конце протокола выводится текущий баланс мощности АОСЧ:

🔲 Журнал	
⊞ Работа АЧР узла 31081 :	^
🖂 Текущий баланс мощности АОСЧ:	
суммарная мощность нагрузки в узлах с АЧР : 3358.50 МВт,	
суммарная мощность разгрузки АЧР1: 1814.13 МВт,	
суммарная мощность разгрузки АЧРН2 : 362.83 МВт;	
суммарная совмещенная мощность АЧРС2 : 1058.16 МВт;	
> мощность нагрузки, отключенной АЧР1 : 453.47 МВт,	
> мощность нагрузки, отключенной АЧРН2 : 135.96 МВт,	
> мощность нагрузки, отключенной АЧРС2 : 226.85 МВт,	
> всего АЧР1 и АЧР2 отключено 816.29 МВт нагрузки.	
🗉 Отключено нагрузки по узлам	
узел 1020 : отключено 40.7400% нагрузки, 121.00 МВт	
узел 2020 : отключено 22.0000% нагрузки, 120.56 МВт	
узел 5101 : отключено 63.5500% нагрузки, 75.62 МВт	
узел 5201 : отключено 63.5500% нагрузки, 75.62 МВт	
узел 6001 : отключено 51.0980% нагрузки, 75.63 МВт	
узел 8101 : отключено 51.0979% нагрузки, 37.81 МВт	
узел 8201 : отключено 51.0979% нагрузки, 37.81 МВт	
узел 19001 : отключено 69.8070% нагрузки, 45.37 МВт	
узел 22021 : отключено 20.6620% нагрузки, 75.62 МВт	
узел 31011 : отключено 23.9320% нагрузки, 75.63 МВт	=
узел 31021 : отключено 30.6100% нагрузки, 75.61 МВт	
всего : 816.29 МВт	~

Сначала записывается текущий баланс мощности, а потом – мощность нагрузки, отключенной различными типами АЧР.

"Суммарная совмещенная мощность AЧРС2" – это мощность очередей AЧР1, которые могут быть отключены очередями совмещенной AЧР2. Подсчитывается суммированием по всем автоматикам, в которых есть совмещенная АЧР2, а в каждой автоматике суммированием по всем очередям совмещенной АЧР2. Откуда следует, что если в очередях АЧРС2 с различными уставками по частоте срабатывания несколько раз встречается одна и та же очередь АЧР1, по ошибке или специально, она столько же раз попадет в подсчитываемую сумму. Нагрузка же этой очереди АЧР1 при выполнении условий срабатывания совмещенной АЧР2 будет отключена только один раз.

Нужно иметь в виду, что текущий баланс мощности АОСЧ может не совпадать с разработанным расчетным балансом. Например, если в автоматику внесены оперативные по ходу расчетов корректировки, в одном или нескольких узлах отключена АЧР1, или/и АЧРН2 или/и АЧРС2, или в автоматику закрались ошибки (задан другой процент отключения нагрузки, назначены лишние очереди, несуществующие типы АЧР и др). В этом случае придется анализировать записи в журнал по узлам.

В конце протокола выводится мощность отключенной нагрузки по узлам (всеми автоматиками, включая ДАР, которые отключали нагрузку), что позволяет проверить корректную работу автоматики.

Журнал можно сохранить в файл, щелкнув мышкой на панели инструментов предактировать в каком-либо текстовом редакторе, удалив ненужные записи, и распечатать.

3.7 Схема/Районы

Создание списка поименованных районов схемы.

🔲 Райо	ны	X
B 😭	×	
Номер	Название	
0	Вся схема	
1	Район 1	
2	Район 2	
3 New	Район 3	Новый Править Удалить

Районы можно создавать/редактировать командами Новый..., Править... в отдельном диалоге, либо прямо в таблице по двойному щелчку левой клавиши мышки на какой-либо ячейке. Для создания нового района нужно дважды щелкнуть на ячейке New. Ввод завершается Enter или перемещением фокуса ввода на смежную ячейку.

Район "Вся схема" существует всегда, его нельзя отредактировать и удалить.

Включение/исключение узлов схемы в районы/из районов схемы осуществляется в окне данных узлов и только после создания списка районов, т.е. операция создания районов является двухступенчатой и выполняется в разных окнах.

3.8 Схема/Сечения

Создание списка поименованных сечений.

🗖 Сечения 🛛 🔀									
B 😭	×								
Номер	Название	Рдопн->к	Рдопн<-к						
1	Сечение 1								
2	Сечение 2								
3	Сечение 3								
New		– Новое							
		😭 Править.							
		🗙 Удалить							
			_						

Сечения можно созлавать/редактировать командами Ho-Править... отдельном вое..., В диалоге, либо прямо в таблице по двойному щелчку левой клавиши мышки на какой-либо ячейке. Для создания нового сечения нужно дважды щелкнуть на ячейке New. Ввод завершается Enter или перемещением фокуса ввода на смежную ячейку.

Включение/отключение ветвей в сечения/из сечений осуществляется в

окне данных ветвей схемы, т.е. операция определения сечений является двухступенчатой.

Для сечений можно задать допустимый переток активной мощности от начала к концу (Рдоп.н->к) и от конца к началу (Рдоп.н<-к) в МВт. Подразумевается, что начальные узлы всех ветвей, включенных в сечение, находятся по одну сторону сечения, конечные узлы — по другую сторону сечения, если само понятие сечения трактуется как в руководящих указаниях по устойчивости.

Если заданы допустимые перетоки, то в окне режима сечений перетоки, превысившие допустимые, выделяются красным цветом шрифта.

Примечание. Предполагается в дальнейшем дополнить создание районов и сечений: все операции будут выполняться в одном диалоге, где можно увидеть узлы/ветви, включенные в районы/сечения без фильтрации их в окнах узлов и ветвей.

3.9 Схема/Группы

Создание поименованных групп узлов и ветвей. Пока не реализовано.

3.10 Схема/Статистика

Диалог отображает статистическую информацию о схеме.

Схема	X
Имя Условная из Мустан	ra
Узлов	1472
Ветвей	2357
Районов	1
Сечений	0
Групп узлов	0
Групп ветвей	0
Генераторов (СК)	398 (43)
PU/PEq-генераторов	0/179
PQ/PEqc-генераторов	0/218
Нагрузок	1093
Шунтов	67
Отключено узлов	2
Отключено ветвей	0/4
Отключено генераторов	0
Отключено нагрузок	0
Отключено шунтов	0
Генерация, МВт	119200
Р ном генераторов, МВт	159150
Нагрузка, МВт	119282
Базисный узел	6376
Баланс	есть
[ок

Имя схемы можно отредактировать или дать новое, длина имени до 255 символов. Длинное имя, не помещающееся в отведенном для него поле, прокручивается по горизонтали. Остальные поля со статистической информацией являются нередактируемыми.

В схеме всегда есть один район — вся схема, остальные районы добавляются пользователем. Сечения также формируются пользователем.

В поле Отключено ветвей через дробь показано число ветвей: откл.с одной стороны/откл.с 2-х сторон.

После расчета установившегося режима, если режим существует и сбалансирован, в поле Баланс отмечается "есть", иначе – "нет".

4. Расчет установившихся режимов



4.1 Статика

В этом меню собраны команды для запуска/остановки расчета установившихся и утяжеляемых режимов и команды открытия окон для просмотра режима узлов, ветвей, районов и сечений схемы.

Статика/Расчет — пуск расчета установившегося режима. Статика/Плоский старт — пуск расчета установившегося режима при номинальных напряжениях в узлах, совмещении векторов напряжений в узлах с вектором напряжения в базисном узле и снятии возбуждения генераторов с ограничений.

Статика/Стоп — остановить расчет, полезна при расчете несуществующих режимов.

Статика/Утяжеление — пустить расчет утяжеляемого режима, команда активна, если задана траектория утяжеления.

4.1.1 Статика/Узлы

Просмотр таблицы режима узлов. В окне режима узлов разрешен только просмотр информации, редактирование запрещено.

🔲 Режим	узлов									×
±# ⊁ 🏹	ሻ 📅 🛃									
Узел 🔽	Имя	U	Угол	Рнг	Qнг	Рген	Q ген	Рнб	Qнб	^
330	N227, c.2 3	32.13	-30.20							
331	Сек. 1 35 к	30.87	-32.73	15.00	3.05					
332	Сек. 2 35 к	30.92	-32.25	15.00	3.05					
601	Н.Сортынс	5.82	-20.11	15.00	3.00					
602	Н.Сортынс	5.81	-20.11	15.00	3.00					
603	Тянская	5.88	-27.29	12.00	0.80	12.97	6.67	-0.00	-0.00	
604	Тянская	5.77	-27.75	7.00	0.50	6.48	3.21	-0.00	0.00	
605	С.16кВ, Л	5.74	-2	0.00	0.00	11.97	5.86	-0.00	-0.00	
606	С.26кВ, Л	5.94	-2 - 7 E	аланс		23.96	12.55	-0.00	0.00	
607	Секция 1,	5.56	-3 🗡 E	Ветви						
608	Секция 2,	5.64	-3							
609	Секция 1,	5.51	-3	.умма						≡
610	Секция 2,	5.60	-3 🖵							
611	Секция 1,	5.60	-3 🛛 🦉	Фильтр						
612	Секция 2,	5.67	-3 🏹 K	Сопировать	рильтр					
613	С.16кВ, N	5.84	-3	· · · ·						
614	С.26кВ, N	5.97	-2	линхронно						
615	НН Тр. 1, Г	5.72	-2							
616	НН Тр.2, Г	5.76	-2 +	ITML						~
217	CIDVE	E 04	23.10	1.00	0.50	11.00	£ 21	0.00	0.00	
5			1111				J		>	1.11

Заголовки колонок в этом окне такие же, как и в окне данных узлов, в колонках Рнб и Qнб показан небаланс мощности в генераторных узлах после расчета режима. Имеется возможность сортировать список узлов, щелкая левой клавишей мышки по заголовкам колонок, в порядке возрастания или убывания соответствующего параметра.

Параметры режима узлов за допуском выделяются красным цветом шрифта. По умолчанию для модулей напряжений допустимый интервал определяется как ±10% от номинального напряжения сети, а для углов более 90 град. Контекстное меню и индивидуальная панель инструментов имеют команды: Баланс – вывод окна с балансом мощности выделенного в таблице узла;

Ветви – вывод окна с режимом ветвей, у которых одна из вершин есть узел, выделенный в таблице режима узлов;

Сумма – суммирование генерации, нагрузки и мощности шунтов в выделенных узлах; Фильтр... – фильтрация узлов по различным признакам,

Копировать фильтр – позволяет скопировать фильтр из окна данных узлов;

Синхронно – для включения/отключения синхронного перемещения по узлам в окне данных узлов;

HTML... – экспорт таблицы режима узлов в формат htm с сохранением файла на диск для дальнейшего ее просмотра в браузере и последующего копирования в Microsoft Office.

По команде Баланс выводится окно баланса активной и реактивной мощности узла

🗖 Балан	🗖 Баланс узла 330 🛛 🔀										
Узел	Имя	Рнг	Qнг	Рген	Qген	Рш	Qш				
330	N227, c.2 3										
→ 624	С.16кВ, N	-2.32	-0.56								
329	N227, c.1 3										
+ 323	Отп. на N235	2.32	0.56								
	Баланс:	2.32	0.56	2.32	0.56						

Первая строка с генерацией и потреблением кустового узла выделена цветом фона. Значения в колонках Р нг, Q нг, P ген, Q ген, P ш, Q ш для кустового узла повторяют значения мощности нагрузки, генерации и шунта (с прибавленной мощностью шунтирующего реактора, если он есть в этом узле) из таблицы режима узлов.

В последующих строках в колонках Р нг и Q нг выводятся перетоки активной и реактивной мощности по связям к смежным (инцидентным) узлам, у отключенных связей режим отсутствует. В колонках Рш и Qш связей выводится мощность поперечных элементов П-схемы замещения линий (потери на корону и зарядная мощность линии).

Соглашение о знаках:

Р ген: "+" - выдача Q ген: "+" - выдача, "-" — потребление Р нг: "+" - потребление Q нг: "+" - потребление, "-" — генерация Р ш: "+" - потребление Q ш: "+" - потребление, "-" — генерация

Знаки перетоков активной мощности по связям определяются согласно правилу: отдаваемая кустовым узлом мощность – отрицательна (синяя стрелка от кустового узла к смежному), принимаемая – положительна (красная стрелка от смежного к кустовому узлу), следовательно, для каждой инцидентной связи:

Рсв (Р нг): "+" — кустовой узел получает активную мощность по связи,

"-" — отдаёт активную мощность по связи,

Qcв (Q нг): "+" — кустовой узел "получает" реактивную мощность по связи (ток по фазе отстает от напряжения),

"-" — "отдаёт" реактивную мощность по связи (ток по фазе опережает напряжение).

В последней строчке таблицы автоматически подсчитывается баланс активной и реактивной мощности узла.

По команде Ветви выводится окно, в котором отображается режим *включенных* ветвей, имеющих вершиной выделенный узел. Ветви, отключенные от узла в текущем режиме, в этом окне не отображаются.

📑 В	етви узл	1a 330							×
Тип	Nнач	N кон	Рнач	Q нач	Р кон	Q кон	Угол	I нач	І кон
	323	330	-2.33	-0.57	2.32	0.56	0.32	42.84	42.84
Т	330	624	-2.32	-0.56	2.30	0.40	2.90	42.84	236.71
)		
							J		>

В первой колонке буква Т обозначает трансформаторную ветвь. В заголовках колонок дано сокращенное обозначение режимного параметра:

Р — активный переток, МВт.

Q — реактивный переток, Мвар.

I — модуль тока связи, А.

Угол — угол на связи, определяемый как $\delta = \delta U_{\mu \alpha \nu} - \delta U_{\kappa \alpha \mu}$, знак сохраняется.

dP, **dQ** — потери активной, МВт, и изменение реактивной мощности, Мвар, в линии.

Индекс "нач" — параметры для начала ветви, индекс "кон" — для конца ветви.

Ідоп — длительно допустимый ток/полная мощность связи, А/MBA, выводится, если задан допустимый ток/полная мощность связи линии/трансформатора (см. команду Схема/Ветви/Коррекция...).

І/Ідоп% — отношение тока линии к допустимому току в %, из двух значений тока выбирается большее. Если токовая загрузка больше 100%, она выделяется красным цветом. Для трансформаторных ветвей в этой колонке выводится относительная загрузка по полной мощности.

4.1.2 Статика/Ветви

Вывод окна с таблицей режима ветвей.

🗖 Режим	🗖 Режим ветвей 🛛 🔀										
7 🐨 🗟											
N нач 🛛 🖓	N кон	Имя	Рнач	Q нач	Р кон	Q кон	Угол	Iнач	I кон ٨		
101	102	СВ Кон	-0.03	-0.25	0.03	0.25	0.00	1.24	1.24 🔳		
101	103	Конту	-83.26	10.00	70.00	0 - 5 9	11.36	409.11	410.18		
102	104	Конту	-83.32	ү Фил	ьтр	4	11.34	409.77	410.92		
103	105	Н.Сорт	-58.61	🐨 Коп	ировать фи	льтр 5	7.33	327.43	326.38		
103	601	Н.Сорт	-15.07			J.	4.50	87.40	1517.40		
104	106	Н.Сорт	-58.64	Син:	хронно	- 6 4	7.33	327.85	326.87		
104	602	Н.Сорт	-15.08			D	4.51	87.54	1519.84		
105	107	Тянска	-32.09	HTM	L	7	1.86	203.57	202.49		
105	106	CB 110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
105	701	Тянска	-22.53	-2.71	22.46	0.78	4.43	133.18	132.93		
106	702	Тянска	-23.77	-5.69	23.69	3.47	4.74	143.83	143.48		
106	108	Тянска	-30.86	15.72	30.29	-16.23	1.88	203.81	202.52		
107	703	тдтн	-12.44	2.38	12.40	-3.16	2.63	74.65	74.71		
107	117	Лукъя	-30.50	-6.78	29.76	6.24	2.00	184.10	185.00 🚩		
<			Ш						1.1		

В окне режима ветвей разрешен только просмотр информации, редактирование запрещено. В контекстном меню предусмотрены команды:

Фильтр...,

Копировать фильтр из окна данных ветвей,

Синхронно для включения/отключения синхронного перемещения по ветвям в окне данных ветвей,

HTML... – экспорт таблицы режима узлов в формат *.htm с сохранением файла на диск для дальнейшего ее просмотра в браузере и копирования в Microsoft Office. После выбора команды 'HTML...' появляется стандартный пользовательский диалог сохранения файлов, в котором выбирается каталог для сохранения таблицы и задается имя файла с таблицей.

Имеется возможность сортировать список ветвей, щелкая левой клавишей мышки по заголовкам колонок, в порядке возрастания или убывания соответствующего параметра.

В заголовках колонок дано сокращенное обозначение режимного параметра:

- Р активный переток, МВт,
- **Q** реактивный переток, Мвар,
- **I** модуль тока связи, А,

Угол — угол на связи, определяемый как $\delta = \delta U_{\mu a \mu} - \delta U_{\kappa o \mu}$, знак сохраняется,

dP, dQ — потери активной, МВт, и изменение реактивной мощности, Мвар, в линии.

Индекс "нач" — параметры для начала ветви, индекс "кон" — для конца ветви.

І/Ідоп% — если задан допустимый ток/полная мощность (см.команду Схема/Ветви/Коррекция...), выводится отношение тока линии к допустимому току в %, причем, из двух значений тока выбирается большее. Если токовая загрузка больше 100%, она выделяется красным цветом. Для трансформаторных ветвей в этой колонке выводится относительная загрузка по полной мощности.

Знаки перетоков активной и реактивной мощности по ветвям схемы в таблицах режима ветвей подчиняются следующим правилам:

- Если переток активной мощности направлен из линии в узел, P > 0, при этом: если Q > 0, ток отстает по фазе от напряжения (индуктивная мощность),
 - если Q < 0, ток опережает по фазе напряжение (емкостная мощность).
- Если переток активной мощности направлен из узла в линию, P < 0, при этом: если Q > 0, ток опережает по фазе напряжение (емкостная мощность), если Q < 0, ток отстает по фазе от напряжения (индуктивная мощность).
- 3. Если знаки Р и Q совпадают, ток отстает по фазе от напряжения, если знаки Р и Q противоположны, ток опережает по фазе напряжение.

4.1.3 Статика/Реакторы

Просмотр режима управляемых и неуправляемых шунтирующих реакторов:

Regime of CSR										
Node	Line	X csr	Ia	Ir	Ir.L	P csr	Q csr	Ctrl		
510	510-520	9965.84	0.00	-30.41	30.41	0.00	27.66	(R)Ir		
520		817.07	0.00	-353.31		0.00	305.97	U		
530		1651.49	0.00	-174.80		0.00	151.38	U		
540		1319.13	0.00	-218.84		0.00	189.52	U		
550	540-550	1000.00								

В таблице отображаются следующие параметры:

- Node № узла включения реактора;
- Line начальный-конечный узлы линии, если реактор подключен к концу линии, одна из вершин которой есть номер узла включения реактора;
- Xcsr индуктивное сопротивление реактора, подобранное в ходе расчета установившегося режима, Ом;

- I a, I r активная и реактивная составляющие тока реактора, А. Если реактивный ток реактора отстает по фазе от напряжения, I r имеет знак минус, если ток опережает по фазе напряжение (УШРТ, СТК, СТАТКОМ) — I r > 0;
- I r.L реактивная составляющая тока конца линии, к которому подключен шунтирующий реактор, А. Если реактивный ток линии опережает по фазе напряжение, I r.L > 0, если отстает — I r.L < 0;
- Pcsr, Qcsr активная, MBт, и реактивная, Mвар, мощности реактора. Индуктивная мощность имеет знак плюс, емкостная — знак минус;
- Ctrl условное обозначение типа управления реактором при балансировании установившегося режима, аналогично табдице данных реактора.

Кроме того, реактивная мощность реактора отображается и в таблице режима узлов, в колонках Р ш и Q ш, желтый цвет фона в колонке Q ш показывает, что эта мощность вычислена с учетом шунтирующего реактора(ов) в этом узле.

	🗖 Режим узлов 🛛 🔀									
±‡	* 7	🖥 🛃								
	Угол	Рнг	Qнг	Р ген	Q ген	Р нб	Qнб	dV%	Рш	Qш
	64.01			700.00				5.00		27.66
	49.79									305.97
	32.35									151.38
	21.19									189.52
	0.00	930.00		303.24	-65.75					
<						111				>

Если в узле включен и шунт (его проводимость Gш + jВш задана в таблице Данные узлов), и шунтирующий реактор (его параметры заданы в таблице Схема/Реакторы), то в колонках Р ш и Q ш будет показана суммарная мощность шунта и шунтирующего реактора, мощности суммируются алгебраически.

Мощность шунтирующих реакторов учитывается также в балансе мощности схемы и по районам, в диалоге Статика/Районы в колонках Р ш и Q ш.

4.1.4 Статика/Районы

Баланс мощности и потерь в сети для схемы в целом и по районам, если они есть.

🔲 Районы - баланс мощности										
£₹ 🛞										
Номер	Имя	Pgen	Qgen	Png	Qng	dP				
0	Вся сх	4832.50	1431.41	4763.30	1695.60	70.12				
1	Район 1	1978.00	494.48	2190.30	803.70	35.87				
				🛃 Узлы 🛞 Потер	района ч в ветвях					
<	1					>				

Имеется возможность синхронизировать отображение информации в окне баланса мощности и в окнах данных узлов и режима узлов командой контекстного меню Узлы района, которая работает как переключатель.

При включенной команде Узлы района при перемещении по строкам таблицы районов в окнах "Данные узлов" и "Режим узлов" будут отображаться параметры узлов только выбранного района.

Команда Потери в ветвях открывает дополнительное окно, в котором отображается информация о потерях в линиях и трансформаторах по классам напряжения, причем класс напряжения трансформатора определяется по обмотке ВН. Ветвь "принадлежит" району, если хотя бы один узел входит в район.

Примечание. Обработка межрайонных ветвей может быть организована после консультаций с технологами. Список таких ветвей можно генерировать автоматически, но нужно знать, что делать дальше.

4.1.5 Статика/Сечения

Просмотр режима сечений схемы.

🔲 Режи	м сечений					X
£						
Номер	Имя	Р нач	Q нач	Ркон	Q кон	Ρ
1	Сечение 1	-353.79	18.09	349.69	-38.29	
2	Сечение 2	-49.96	145.16	48.91	-175.17	
				🛃 Ветви с	ечения	
<		1111				>

Команда Ветви сечения работает как переключатель.

При включенной команде Ветви сечения при перемещении по строкам таблицы сечений в открытых окнах "Данные ветвей" и "Режим ветвей" будут отображаться параметры ветвей только выбранного сечения.

Красным цветом выделяется переток, превышающий допустимый, который определяется командой Схема/Сечения. Если допустимый переток не задан, контроль не осуществляется.

5. Расчет электромеханических переходных процессов

5.1 Динамика



Динамика/Расчет — пуск расчета динамики.

Динамика/Стоп — остановить расчет, команда активизируется после запуска расчета. Динамика/Продолжить — продолжить расчет без определения начальных условий. Команда активна, если после остановки не было попыток действий (и завершенных, и незавершенных или отмененных действий) по редактированию данных в окне данных узлов и в окне параметров агрегатов.

Динамика/Утяжеление — утяжеление режима в динамике, осуществляется электромеханический переход к новому режиму. Команда активна, если задана траектория утяжеления и рассчитан установившийся режим.

5.2 Графика

Визуализация результатов расчета. Можно визуализировать ход балансирования установившегося режима и протекание электромеханического переходного процесса.



Динамика/GraphBuilder — запуск утилиты построения и анализа графиков переходных процессов после расчета задачи.

Динамика/Осциллограф — создание одного или нескольких цифровых осциллографов для наблюдения за изменением режимных параметров элементов схемы в ходе расчета электромеханического переходного процесса.

Для GraphBuilder 'а нужно записать в файлы графики переходных процессов, выбранных в диалоге Опции/Графики. Графики записываются для узловых элементов схемы (для генераторов, нагрузок и для самих узлов), выделенных узлов в окне Данные узлов, и для выделенных ветвей в файлы с предопределенными именами (см.далее). Можно записать графики для всех элементов схемы.

К осциллографу можно подключать узлы, ветви, генераторы и нагрузки. Осциллограммы записываются в память осциллографа на каждом шаге интегрирования. Осциллограф замедляет расчет. При большом количестве кривых замедление может быть заметным. Осциллограф не рассчитан на визуализацию большого количества графиков, хотя и не имеет ограничений по их числу. Для анализа больших объемов динамических параметров режима следует использовать GraphBuilder.

6. Опции программы

Настройка программы осуществляется из меню Опции.



Опции/Статика — открывает диалог с закладками на вкладке Статика.

Опции/Динамика — открывает диалог с закладками на вкладке Динамика.

Опции/Дополнительно — открывает диалог с закладками на вкладке Дополнительно.

Опции/Импорт и экспорт — открывает диалог с закладками на вкладке Импорт и экспорт.

Опции/Графики — открывает диалог с закладками на вкладке Графика.

6.1 Опции/Статика

Options		×
Статика Динамика Дополнительно Импорт и э	кспорт Гр	рафики
Мах число итераций при расчете режима	1000	
Мах число шагов утяжеления режима	500	
Точность сведения баланса мощности, Р	0.05	МВт
Q	0.05	Мвар
🔽 остановить расчет, если U/Uном узла меньше	0.3	o.e.
🗌 остановить расчет, если угол на связи больше	90	град.
🗖 остановить утяжеление, если I/S связи превыс	ил Ідоп/Ѕд	оп 📗
🗌 остановить утяжеление, если достигнут Pmax с	вязи	
П плоский старт после коммутаций ветвей/узлов		
🔲 отключить топологический анализ схемы		
OF	<	Отмена

При расчетах установившихся режимов рекомендуется задавать точность сведения баланса мощности в генераторных узлах по P и Q равной ~0.1÷1.0. Это уменьшает число итераций. При необходимости точность расчета можно увеличить повторными запусками расчета. Если конфигурация схемы не изменялась, не коммутировались, не удалялись/добавлялись узлы и ветви, то расчёт начинается не с плоского старта, а от текущего состояния элементов схемы.

Если после расчетов статики осуществляется переход к расчетам динамики, то рекомендуется точность 0.05÷0.005, как показано на скриншоте, чтобы обеспечить стабильность исходного установившегося режима при интегрировании до возмущения режима.

Рекомендуемая точность может быть достигнута, если используется PEq-модель генераторов. При использовании классических моделей такая точность нередко не может быть достигнута. Основная причина этого — поведение PU-генераторов, вышедших на ограничения по реактивной мощности. От шага к шагу происходит либо смена модели при переводе такого генератора в группу PQ-генераторов, либо изменение закона регулирования, вместо поддержания заданного модуля напряжения генератор начинает поддерживать постоянной реактивную мощность на граничном значении Qmin или Qmax. Выбор способа обработки PU-генератора на ограничениях по Q выбирается в закладке Опции/Дополнительно, по умолчанию осуществляется перевод в группу PQ-генераторов. Переключения могут протекать непрерывно и сопровождаться изменениями модуля и угла вектора ЭДС (это хорошо видно на графиках ss_generator.pts), что препятствует точному сведению баланса. Для таких генераторов снимается контроль точности сведения баланса мощности.

Примечание. Улучшения алгоритма обработки классических моделей не планируется, так как штатная *PEq*-модель генератора с точным контролем ограничений ЭДС возбуждения лучше *PU*-модели.

Четыре чек-бокса предназначены для остановки расчета, если фиксируются недопустимые отклонения параметров режима.

В обычных расчетах целесообразно заблокировать контроль недопустимых отклонений параметров режима, т.е. снять все галочки в чек-боксах, и включать контроль лишь при утяжелении режима, чтобы остановить расчет, когда процесс изменения режима схемы приводит к его развалу. Предельные режимы или режимы, рассчитываемые без плоского старта с неправдоподобными начальными условиями для генераторов, могут быть сбалансированы после нескольких проворотов отдельных генераторов, сопровождаемых значительными изменениями напряжения в узлах.

Условие остановки утяжеления при достижении максимума перетока на связи в текущей версии программы окончательно не отлажено и может срабатывать преждевременно.

Опция «плоский старт после коммутации ветвей/узлов», включает или отключает плоский старт после коммутации ветвей.

Если для утяжеления режима нужно отключить какие-либо связи (ветви), то <u>после</u> <u>того как сбалансирован исходный режим</u> с включенными связями нужно снять галочку в чек-боксе «плоский старт после коммутации ветвей/узлов», затем отключить связи и после этого запустить утяжеления режима.

Установка галочки в опции «отключить топологический анализ схемы» позволяет отключить автоматический топологический анализ с построением структуры данных для свертки и развертки схемы. При включении опции:

1) если изменяется конфигурация схемы (при изменении числа узлов и ветвей – вставка, удаление, копирование, редактирование с изменением номеров узлов и вершин ветвей, при коммутациях в схеме – отключение узлов, отключение ветвей с одной и двух сторон и при перенумерации узлов), то проводится только анализ состояния элементов схемы, а топологический анализ схемы с построением структуры данных для свертки и развертки схемы производится при запуске расчета задачи;

2) нельзя повысить точность сведения баланса мощности в схеме повторными запусками расчёта УР, так как при каждом запуске расчета он начинается с плоского старта.

Эту опцию целесообразно включить при внесении нескольких изменений в конфигурацию большой схемы, с числом узлов более 12000, для которой формирование структуры данных для свёртки и развёртки схемы занимает значительное время. Например, для схемы

ЕЭС России размерностью 25100 узлов и 34 100 ветвей топологический анализ занимает 24 секунды на компьютере с процессором Intel Core i3770 СРU @ 3,4 ГГЦ. Кроме того, эту опцию можно включить при вводе новой схемы «с нуля», см. раздел Создание новой электрической схемы. При работе со сравнительно небольшими схемами опцию следует отключить.

Options		×
Статика Динамика Дополнительно И	мпорт и эксп	орт Графики
Продолжительность расчета динамики	15	c
Максимальный шаг интегрирования	0.005	c
Шаг записи результатов расчета	0.005	c
Скорость динамического утяжеления	10	МВт/с
Допустимое снижение частоты до	40	Гц
Интервал измерения частоты	0.02	c
Узлы свертки "бесконечной мощнос	:ти"	
 Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета 		
Восстанавливать число генераторов в узле после расчета		
	ОК	Отмена

6.2 Опции/Динамика

Назначение опций следует из их названия. При изменении опций нужно иметь в виду следующие обстоятельства.

Для интегрирования системы дифференциальных уравнений используется метод Рунге-Кутта четвертого порядка с автоматическим выбором шага интегрирования, причем максимальный шаг определяется из условия численной устойчивости метода. Поэтому опции "Максимальный шаг интегрирования" и "Шаг Записи результатов расчета" может потребоваться изменить только в сторону уменьшения для получения более плавных кривых графиков переходных процессов.

Максимальный шаг интегрирования должен быть меньше минимальной выдержки времени, которая задана в устройствах автоматики.

При наличии в схеме управляемых шунтирующих реакторов трансформаторного типа (УШРТ), обладающих высоким быстродействием, максимальный шаг интегрирования следует уменьшить до ~0,005, чтобы исключить колебания мощности реактора.

Опция "Скорость динамического утяжеления" используется для динамического утяжеления режима и задает скорость изменения генерации и нагрузки, принимаемую по умолчанию, в узлах, задействованных в изменении режима.

Опция "Допустимое снижение частоты" позволяет остановить расчет переходного процесса, если в ходе расчета происходит нереальное снижение частоты, например, при действии АЧР, если задана некорректная настройка АЧР, приводящая к нереальному снижению частоты.

Опция "Интервал измерения частоты" задает интервал времени для расчёта мгновенной частоты. Для правильной работы алгоритма расчёта частоты интервал замера частоты должен быть равен максимальному шагу интегрирования или больше него.

Определение частоты в программе основано на следующих соображениях.

Угол напряжения (относительно общих осей d_v , q_v) в узлах в полной схеме или в какой-либо части схемы, в которой группа генераторов идет синхронно с возможными качаниями между собой, не приводящими к выпадению из синхронизма, равен:

$$\delta_U = \delta_{0U} + \int_0^{\cdot} (\omega_U - \omega_v) dt = \delta_{0U} + \omega_v \int_0^{\cdot} s_U dt$$
 [эл.радиан]

где $s_U = \frac{\omega_U - \omega_v}{\omega_v} = \frac{f_U - f_v}{f_v} = \frac{f_U}{f_v} - 1 = \frac{1}{\omega_v} \frac{d\delta_U}{dt}$ — скольжение вектора напряжения относи-

тельно общих осей.

Мгновенная частота напряжения в узлах без генератора равна:

$$f_{U} = f_{v} \left(1 + s_{U} \right) = f_{v} \left(1 + \frac{1}{\omega_{v}} \frac{d\delta_{U}}{dt} \right) = f_{v} + \frac{1}{2\pi} \frac{d\delta_{U}}{dt} \approx f_{v} + \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\delta_{U}}{\Delta t},$$

где f_v – постоянная составляющая частоты, определяемая общим движения группы агрегатов; $\Delta \delta_u$ – изменение угла напряжение *на интервале замера частоты* Δt .

Мгновенная частота имеет постоянную f_v и переменную составляющие. Переменная составляющая определяется численным дифференцированием.

В узлах с генератором принимается $f_U = f_{\Gamma}$, они совпадают.

Чек-бокс Узлы свертки "бесконечной мощности" (узел с постоянной частотой и любыми значениями генерации, нагрузки и небаланса) позволяет изменять поведение генераторов в базисном узле и узлах свертки в расчетах динамики. В большинстве задач галочка должна быть снята, чтобы генератор базисного узла в динамике обрабатывался как остальные генераторы. Например, в расчетах процессов при действии АЧР галочка в чекбоксе должна быть снята для "освобождения" генератора, иначе в отделившейся с дефицитом части схемы снижения частоты не произойдет, а в избыточной части не будет «заброса» частоты.

По умолчанию узлы свертки в динамике рассматриваются как обычные узлы, галочка в чек-боксе снята. При динамическом балансировании режима, в расчетах динамической устойчивости, при динамическом утяжелении и при расчёте пусков и самозапусков двигателей в узлах нагрузки можно фиксировать частоту в узлах свертки, для чего необходимо поставить галочку.

В статике в базисном узле, который выполняет также роль балансирующего узла, и в узлах свертки баланс мощности сводится изменением генерации генератора в БУ. При этом, если генерация активной мощности получается отрицательной, то ее удвоенное значение переводится в нагрузку и изменяется знак активной мощности генератора на положительный, о чем делается запись в журнал. (Такой способ необходим, потому что при снятой галочке в чек-боксе при определении начальных условий и при расчете переходного процесса генератор БУ является обычным генератором, у которого P < 0 может получиться только в переходном процессе при сильных возмущениях режима энергосистемы). Однако при этом может возникнуть несоответствие номинальной мощности генератора базисного узла (в таблице агрегатов) и текущей мощности генератора. О возникновении несоответствия выдается предупреждение в журнал. Устранение несоответствия производится вуучную увеличением номинальной мощности генератора БУ.

В чек-боксе Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета по умолчанию галочка установлена. В этом случае при запуске расчета установившегося режима или при выполнении коммутаций ветвей и/или узлов после расчета электромеханического переходного

процесса происходит возврат статуса ветвей к исходному перед расчетом динамики состоянию. Это избавляет от необходимости возвращать ветви схемы, состояние которых может быть изменено действиями автоматики, в исходное положение вручную. Иногда требуется сохранить то состояние ветвей схемы, которое получилось после завершения переходного процесса, например, для проверки существования установившегося режима. Тогда нужно снять галочку Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета.

В чек-боксе Восстанавливать число генераторов в узле после расчета по умолчанию галочка установлена. В этом случае при запуске расчета установившегося режима после расчета электромеханического переходного процесса происходит возврат числа генераторов в узле к исходному перед расчетом динамики значению. Это избавляет от необходимости отслеживать число генераторов в эквивалентном генераторе узла, если автоматика отключает часть или все генераторы в узле. Если после расчета динамики сразу без расчета установившегося режима отредактировать данные генерирующего агрегата, то в узле будет то число генераторов, которое было при редактировании.

Примечание. Мощность генерации (без изменения числа генераторов в узле) и нагрузки узлов после расчета динамики всегда автоматически возвращается к исходному значению, которое было перед запуском расчета динамики, чтобы избежать рассогласования текущей мощности генерации и нагрузки в узлах со значениями, заданными в таблице Данные узлов.

6.3 Опции/Дополнительно

На этой вкладке можно задать редко изменяемые опции для расчетов статики и динамики.

Options			×
Статика Динамика Д	ополнительно	Импорт и экспорт	Графики
Статика	іользовать PEq 1	модель генератора	~
 РU-генераторы на ограничении поддерживают Qmin/Qmax Фиксировать текущее значение Eq, если (Eq^U) > 90 град 			трад
Динамика Статическая нагру Не учитывать заві Не учитывать заві Не учитывать заві Не учитывать заві	узка замещается исимость параме исимость параме исимость момен	я шунтом етров ветвей от част етров машин от част та турбины от часто	готы готы ты
 Автокоррекция Рг 	ен(1+sv) при F>5	0 Гцили F<50 Гц	
🗌 Записать в журна	л протокол рабо	ты АЧР	
Записать в журна	л программу упр	авления	
		ОК	Отмена

Дополнительные опции сгруппированы по принадлежности к расчетам статики и динамики.

Опция "По умолчанию использовать PEq-модель генератора" позволяет задать тип модели генератора, если при редактировании данных узлов в узел добавляется генерация или заново создается генераторный узел. При снятой галочке будет *PQ*-генератор, если не заданы ограничения изменения реактивной мощности, или *PU*-генератор, при заданных ограничениях. При установке этой галочки используется штатная *PEq* модель генератора

Опция "PU-генераторы на ограничении поддерживают Qmin/Qmax" позволяет выбрать способ обработки *PU*-генераторов схемы после исчерпании регулировочного диапазона по реактивной мощности *Qmin–Qmax*, заданного в таблице Данные узлов.

- Если в опции "PU-генераторы на ограничении поддерживают Qmin/Qmax" галочка снята, по исчерпании регулировочного диапазона по реактивной мощности осуществляется перевод *PU*-генератора в группу *PQ*-генераторов, контроль точности сведения баланса мощности отключается, т.к. для *PQ*-генераторов такой контроль не имеет смысла.
- Если галочка установлена, при выходе на ограничение изменяется закон регулирования генератора, модуль Eq в ходе итераций изменяется таким образом, чтобы поддерживать достигнутое граничное значение Q, контроль ограничений изменения Eq отключается, чтобы обеспечить заданные Qmin/Qmax.

Опция "Фиксировать текущее значение Eq, если (E^U)>90град" позволяет выбрать значение Eq, которое принимается, если в ходе расчета генератор переводится в группу *PEqc*генераторов с постоянным возбуждением по причине потери генератором статической устойчивости и смещения вследствие этого рабочей точки в зону углов несуществующих режимов генератора (Eq^U) > 90°. При снятой галочке значение модуля ЭДС берется равным модулю ЭДС, рассчитанной в исходном состоянии перед началом балансирования режима. При установке галочки выбирается модуль ЭДС, полученный в ходе расчета.

Опция «Статическая нагрузка замещается шунтом» предназначена для изменения модели статической составляющей комплексной нагрузки узла в расчетах переходных процессов, по умолчанию включена (установлена галочка). Эта опция не действует на узлы, в которых заданы и включены индивидуальные табличные ДХН.

При включении опции (в чек-боксе галочка установлена) в динамике мощность статической составляющей нагрузки в узлах, в которых не задана или отключена табличная ДХН, будет пропорциональна квадрату напряжения: $P \sim U^2$ и $Q \sim U^2$, что соответствует шунту с постоянными параметрами. Изменения нагрузки будут происходить от тех значений *P* и *Q*, которые получились при балансировании установившегося режима. Табличные и полиномиальные *СХН по напряжению в статике, заданы они или нет, в расчете переходного процесса при установленной галочке не используются*. Если задан регулирующий эффект нагрузки Kf \neq 0, то мощность статической составляющей нагрузки в динамике при изменениях частоты корректируется.

При отключении опции (галочка в чек-боксе не установлена) в динамике статическая составляющая нагрузки в узлах, в которых не задана или отключена табличная ДХН, имеет такую же модель, как и вся нагрузка узла, заданная в таблице Данные узлов, в расчете установившегося режима. Если в данных нагрузки задана табличная или/и полиномиальная СХН, она будет использоваться и в статике для всей нагрузки узла, и в динамике для статической составляющей нагрузки. Если в расчетах статики СХН не используются (не заданы), нагрузка $P_{H2} = \text{const}, Q_{HT} = \text{const}, \text{ эта же модель статической составляющей ком$ плексной нагрузки будет в динамике. Если задан регулирующий эффект нагрузки по ча $стоте Кf <math>\neq 0$, то статическая составляющая нагрузки в статике зависит от частоты.

Более подробно об особенностях моделирования нагрузки в статике и динамике, о взаимодействии опции «Статическая нагрузка замещается шунтом» с параметрами статической составляющей комплексной нагрузки в расчётах динамики смотри в разделе Схема/Нагрузка/Параметры....

Опция "Не учитывать зависимость параметров ветвей от частоты" позволяет выбрать учет/неучет зависимости реактивных сопротивлений пассивных элементов схемы (ветвей, шунтов) от частоты. По умолчанию включена (стоит галочка в чек-боксе), т.е. реактивности постоянны и их значения соответствуют номинальной частоте. Отключать опцию имеет смысл только при расчетах переходных процессов при глубоких понижениях частоты. При отключенной опции на каждом шаге интегрирования пересчитываются параметры пассивных элементов схемы.

Опция "Не учитывать зависимость параметров машин от частоты" позволяет включить/отключить учет ЭДС скольжения генераторов и двигателей. По умолчанию отключена, т.е. учитывается зависимость параметров вращающихся машин от частоты.

Опция "Не учитывать зависимость момента турбины от частоты" позволяет включить/отключить учет саморегулирования турбины при изменениях частоты. По умолчанию включена.

Опция "(U^qs)->0 после расчета динамики", если установлена галочка, разрешает синхронный поворот векторов напряжений в узлах схемы на комплексной плоскости с установкой вектора напряжения в базисном узле на ноль. Эта возможность полезна при динамическом балансировании установившихся режимов без БУ и при неноминальной частоте, а также при утяжелении режима.

Опция "Автокоррекция Рген(1+sv) при F>50Гц и F<50Гц", если установлена галочка, разрешает автоматически пересчитывать заданную генерацию в узле Рген в таблице данных узлов при неноминальной исходной частоте, заданной в параметрах базисного узла (см. Схема/Узлы/Базисный), по умолчанию включена. Для генераторов, у которых текущее значение уставки по активной мощности равно номинальной мощности генератора Рген=Рном, Рген автоматически пересчитывается по формуле:

 $P_{\text{reh}} = P_{\text{hom}} \cdot (1 + s_v),$

где $s_v = \frac{\omega_v - \omega_{_{HOM}}}{\omega_{_{HOM}}} = \frac{f - f_{_{HOM}}}{f_{_{HOM}}}$ — скольжение осей генератора в базисном узле относительно

синхронных осей.

Эта возможность полезна при динамическом балансировании установившегося режима при неноминальной частоте.

Опция "Записать в журнал протокол работы АЧР", по умолчанию включена. Если установлена галочка, разрешена запись в журнал хронологии работы измерительных органов реле частоты и команд на отключение нагрузки во всех выделенных узлах схемы в специализированной автоматике АЧР, см. раздел 3.6.3. При снятой галочке в журнал записываются только команды на отключение нагрузки и итоговый протокол работы АЧР.

Опция ^{С Записать в журнал программу управления}, по умолчанию выключена. Если установлена галочка, разрешена запись в журнал управляющих воздействий, выполняемых по программам изменения уставки APC, разгрузки турбины и изменения уставки APB. Программы запускаются действием автоматики, потом выполняются самостоятельно. При снятой галочке в журнал записываются только разовые команды изменения уставки APC и APB.

6.4 Опции/Импорт и экспорт

Options
Статика Динамика Дополнительно Импорт и экспорт Графики
Экспорт схемы в файл формата ЦДУ
🔽 Писать Umin-Umax узла (0204)
Писать дополнительные данные ветвей (0302))
Писать параметры генераторов (1501, 1502, 1503)
Импорт схемы в формате ЦДУ и rg2
I Применить РЕд-модель генератора вместо РО- и РQ-моделей
ОК Отмена

Эта вкладка позволяет изменить опции экспорта схемы в файл унифицированного формата ЦДУ и импорта схемы из файла в формате ЦДУ и из файла в формате rg2 RastrWin.

При снятой галочке в чек-боксе "Применить PEq-модель генератора вместо PU- и PQ-моделей", если для генератора задан диапазон регулирования *Qmin-Qmax*, он является *PU*-генератором, иначе — *PQ*-генератором. При загрузке схемы можно сразу изменить модели генераторов на штатную *PEq*-модель, поставив галочку в этом чек-боксе (по умолчанию она установлена).

Замечание.

Может оказаться, что режим импортированной схемы нормально балансируется с использованием классических моделей генераторов, но при переходе к *PEq*-модели режим либо вообще не балансируется, либо не достигается заданная точность баланса.

Установка галочки "Применить PEq-модель генератора вместо PU- и PQ-моделей" приводит к незаметной смене модели в процессе импорта. Тогда, если после импорта схемы режим не сходится, а в той программе, откуда взята схема, режим балансируется нормально, кажется, что причиной невозможности расчета режима являются недостатки метода эквивалентных преобразований. В действительности причина, как правило, в некорректных или *несовместных* исходных данных по генераторам и генераторным узлам. Ведь в методе эквивалентных преобразований генераторы представлены реальными источниками ЭДС (тока), поэтому нужны x_d и x_q генераторов.

Переход к РЕq-модели лучше делать вручную, зная о последствиях.

6.5 Опции/Графики

Options	x
Статика Динамика Дополнительно Импорт и экспорт График	и
 Синхронный двигатель Момент двигателя, Ме, о.е. Ток двигателя, Ме, о.е. Ток двигателя, I, о.е. Напряжение, U, о.е. Напряжение, U, о.е. Момент механизма, Mm, о.е. Активная мощность, MBт, о.е. Реактивная мощность, Мвар, о.е. Синхронный двигатель Узел Ветвь Сечение Сечение Генератор (статика) Управляемый реактор 	
ОК Отме	на

Эта вкладка позволяет выбрать элементы схемы и режимные параметры элементов схемы для построения графиков переходных процессов.

Графики строятся только для тех узлов, генераторов и нагрузок узла и для тех ветвей, для которых поставлен флажок построения графиков, см. описание команд контекстного меню в таблицах Данные узлов и Данные ветвей.

7. Окна и Справка

В меню Окна предусмотрена только команда Закрыть все для одновременного закрытия всех окон, кроме главного окна программы.



Эта опция полезна для быстрого закрытия всех открытых окон.

В меню Справка представлена краткая справка о программе и авторских правах.

Сп	равка
?	<u>О</u> прогрумме

Контекстная помощь не реализована. При проведении расчётов необходимо использовать данное руководство пользователя.
8. Графики переходных процессов

Электромеханические переходные процессы невозможно проанализировать без построения графиков (расчетных осциллограмм) этих процессов.

Анализ итеративного процесса балансирования установившегося режима, протекания процессов утяжеления режима с определением предельных перетоков по линиям и сечениям также весьма удобно проводить по графикам изменения режимных параметров.

Для построения графиков необходимо:

- Используя контекстное меню окон Данные узлов и Данные ветвей, выбрать узлы и ветви, для которых нужно построить графики (графики запоминаются и для узлов, и для узловых элементов – генераторов, асинхронных и синхронных двигателей). После импорта схемы из файла в формате ЦДУ по умолчанию для всех узлов и ветвей установлен флажок записи режимных параметров в файлы в ходе балансирования установившегося режима и расчета переходного процесса.
- В опциях настройки программы Графики выбрать режимные параметры узловых и межузловых элементов схемы, которые следует вывести на графики.

Это позволяет уменьшить объем запоминаемой и представляемой для анализа информации, сокращает объем записываемых на диск файлов графики и упрощает фильтрацию расчетных осциллограмм переходных процессов в Graph Buildere. Если графики не заданы, при пуске расчета динамики в журнал выдается предупредительное сообщение.

8.1 Утилита Graph.exe

Является мощным графопостроителем. Благодаря развитой системе фильтрации по режимным параметрам и по элементам схемы, позволяет анализировать очень большие объемы информации по переходному процессу, что необходимо при отладке программы и может быть полезным при анализе результатов после завершения расчета переходного процесса.

Результаты расчетов записываются в файлы с предопределенными именами с шагом записи по времени, заданным в опциях программы Опции/Динамика.

Примечание. Утилита Graph.exe, должна находиться в том же каталоге, что и основная программа. При этом запуск утилиты осуществляется командой Графика/Graph Builder или нажатием кнопки 🔛. При нахождении утилиты в другом каталоге ее нужно запускать вручную двойным щелчком на имени файла Graph.exe.

graph - Graph Builder File Zoom Filter Tools Options View Help ţ, \longrightarrow New Choose File->New to create a new graph. Choose File->Open to open an existing graph.

В главном окне утилиты

предлагается создать новый график (Choose File->New to create a new graph) или загрузить ранее сохраненный (Choose File->Open to open a existing graph). Размеры окна можно изменять, перетаскивая мышью правый нижний угол, при выходе положение окна и его размеры запоминаются.

При выборе команды создания нового графика (File/New... или "Ъ") открывается диалог

New file	
Data file name: D:\Electra\Pts\pp_generator.pts	Browse
New graph file name:	Browse
ОК	Cancel

в котором обязательно нужно заполнить первое поле Data file name: (Имя файла с данными), второе поле New graph file name: (Имя нового файла графиков) можно оставить пустым или тоже заполнить (оно используется при сохранении графиков в файл).

Для заполнения верхнего поля Data file name следует нажать кнопку Browse... (Просмотр...) справа от этого поля и выбрать нужный файл *.pts в каталоге **\Powertron\Pts**.

В поле New graph file name с клавиатуры можно ввести имя файла графиков переходных процессов. С этим именем файл можно сохранить на диске. При выходе из утилиты без сохранения построенных графиков также появляется запрос на сохранение графика с этим именем. Кроме того, имя файла графиков отображается также в заголовке главного окна утилиты и на панели задач внизу экрана, если окно свернуто, что позволяет быстро переключаться между различными графиками, если запущено несколько экземпляров утилиты.

После нажатия кнопки ОК происходит преобразование данных для вывода графиков процессов в окно, при этом в нижней статусной части окна утилиты отображается строка прогресса. По завершении преобразования графики выводятся в окно графопостроителя.

Можно запустить несколько копий программы для построения различных графиков, записанных в разные файлы.

Можно приостановить расчет переходного процесса и построить нужные графики, окна с графиками не закрывать, данные в них сохраняются. Затем, если не вносилось изменений в схему, продолжить расчет, при этом файлы с графиками будут перезаписаны. Если после завершения расчета снова построить графики в другой копии graph.exe, начальным моментом на графиках будет момент прерывания счета. Для работы с графиками служит главное меню утилиты и ее панель инструментов. Кнопками на панели инструментов, которые соответствуют пунктам меню, можно выполнить следующие команды (слева направо по панели инструментов):

D Создать новый файл графиков переходных процессов **B** Открыть существующий файл графиков переходных процессов Сохранить файл графиков переходных процессов Экспорт графиков в файл формата .emf (затем этот рисунок можно вставить в ₽\$ текстовом редакторе Word for Windows командой Вставить/Рисунок). Q Увеличить масштаб графиков в пределах окна Q Уменьшить масштаб графиков в пределах окна Q Выделить зону графиков и вписать ее в окно Отменить предыдущее изменение графиков \mathfrak{Q} ↔ Вписать графики в окно по оси Х 1 Вписать графики в окно по оси У ÷ Вписать графики в окно по осям Х и Ү Q. Указатель для выделения отдельных кривых графиков переходных процессов \mathcal{N} Включить визир для снятия отсчета времени и значений кривых ∇ Фильтрация элементов расчетной схемы ∇ Фильтрация типов элементов и выводимых для каждого типа графиков 88 Изменение масштаба осей и шага сетки

8.2 Файлы графиков установившихся и переходных режимов

Для построения графиков в подкаталоге **\Powertron\Pts**\ в процессе расчета формируются двоичные файлы формата ***.pts**. Префикс **ss**_ имеют имена файлов, записанных при расчете установившегося режима, префикс **pp**_ имеют имена файлов, записанных при расчете переходных режимов. Описание состава файлов сведено в таблицу:

ss_generator.pts —	Файл графиков изменения режима генераторов при балансирова- нии установившегося режима или при утяжелении режима Имена графиков, отображаемые в окне значений Lookup window ,						
	составные: Класс напряжения\Gen или Node\Homep уз- ла\Параметр						
	Для генераторов (Gen):						
	$E - Модуль вектора ЭДС E_Q, кB;$						
	elE — угол между вектором E_Q и вектором напряжения в узле						
	свертки, град;						
	(E^U) — угол между вектором E_Q генератора и вектором напряже-						
	ния в узле, в котором включен этот генератор, град;						
	Р — активная мощность генератора, МВт;						
	Q — реактивная мощность генератора, Мвар.						
	Для напряжений генераторных узлов (Node):						
	U — модуль напряжения в узле, кВ;						

		delU — угол между векторами напряжений в узле N и узле сверт-
		ки, град.
		Для небалансов мощности в узле:
		Pnb — небаланс активной мощности в узле;
		Qnb — небаланс реактивной мощности в узле.
ss_branch.pts	—	Файл графиков изменения режима ветвей в ходе балансирования
		установившегося режима и при утяжелении режима.
pp_branch.pts	—	Файл графиков изменения режима ветвей в переходном процессе.
		Имена графиков, отображаемые в окне значений Lookup window,
		составные: \Класс напряжения\Номер ветви в списке вет-
		вей\Номер начала-Номер конца\Параметр.
		Рн, Qн — переток активной, МВт, и реактивной, Мвар, мощности
		к начальному узлу;
		Рк, Qк — переток активной, МВт, и реактивной, Мвар, мощности
		к конечному узлу;
		I(S)н — модуль тока линии в А или полной мощности (авто)
		трансформатора в МВА у начального узла;
		I(S)к — модуль тока линии в А или полной мощности (авто)
		трансформатора в МВА у конечного узла;
		Zн=Rн+jХн — комплекс полного сопротивления, измеренного в
		начале ветви (вычисленного по комплексам тока и напряжения
		начального узла), Ом;
		Zк=Rк+jXк — комплекс полного сопротивления, измеренного в
		начале ветви (вычисленного по комплексам тока и напряжения
		начального узла), Ом;
		Us — напряжение скольжения ветви линейное, кВ
		del — угол между напряжениями по концам ветви, $\delta_{u} = -\delta_{u}$.
		U_05 — угол всктора напряжения скольжения, град.,
		у W — средняя скороств изменения перстока по линии на шаг оа-
se contionente		лансирования утяжеления, мыташат.
55_5ccu0115.pt5		Фаил Графиков изменения перетоков по сечениям при оалансиро-
nn contions nts		вании/угяжелении режима.
pp_sections.pts		Фаил графиков изменения перетоков по сечениям в переходном
		гнк — суммарный персток от начальных узлов вствей сечения к
		Рн¬-к — переток от конца к началу, мыт.
		значения этих перетоков различаются знаком и на величину по-
		Терь в линиях сечения.
pp_generator.pts	_	Фаил графиков переходных процессов генераторов.
		имена графиков, отооражаемые в окне значении Lookup window ,
		СОСТАВНЫЕ: Класс_напряжения\Номер_ узла\Параметр.
		ме — момент генератора, в относительных единицах при номи-
		нальных условиях (н.о.е.), $W_{\rm b} = S_{\rm HOM}/W_{\rm s}$;
		wu — момент туроины, н.о.е.;
		п — частота вращения агрегата, н.о.е.;
		I — частота вращения агрегата, I ц;
		Еq — синхронная ЭДС, н.о.е.;
		Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, н.о.е.;
		(E^qs) — угол между осью q генератора и синхронной осью q_s ,

	град.
	(E^U) — между вектором <i>Eq</i> и вектором напряжения в узле, град;
	I — ток генератора, н.о.е.;
	lka — ток генератора, кА;
	U — модуль напряжения генератора, н.о.е.;
	U — модуль напряжения генератора, кВ;
	Р — активная мощность генератора, МВт;
	Q — реактивная мощность генератора, Мвар;
	(I^U) — угол между током и напряжением (ф), град.;
	SU — скольжение вектора напряжения в узле относительно син-
	хронной оси;
	U1 — dU/dt, производная напряжения в узле включения генерато-
	pa;
	Eq1 — dEq/dt, производная тока ротора.
pp_node.pts —	Файл изменения напряжений в узлах, генерации и потребления в
ss_node.pts	ходе расчета установившегося режима или в переходном процессе.
	Имена графиков составные:
	Класс напряжения\Номер узла\Параметр.
	U — модуль вектора напряжения в узле, кВ;
	delU — угол между векторами напряжений в текущем узле и в уз-
	ле свертки схемы, град.
	Р ген — активная мощность генератора, MBт;
	Q ген — реактивная мощность генератора, Мвар.
	Р нг — активная мощность нагрузки, MBт;
	Q нг — реактивная мощность нагрузки, Мвар;
	F — мгновенная частота в узле, Гц.
pp_ad.pts —	Файл графиков переходных процессов асинхронных двигателей.
	Имена графиков составные: Gen или Load\Класс напряже-
	ния\Номер узла\Параметр.
	n — частота вращения, о.е.;
	Ме — момент лвигателя о е .
	I — ток двигателя, о.е.;
	I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.;
	I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.;
	I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT;
	I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT.
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, МВт; Q ад — реактивная мощность, МВт. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей.
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, МВт; Q ад — реактивная мощность, МВт. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер уз- па\Параметр
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, МВт; Q ад — реактивная мощность, МВт. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. п — частота врашения, о.е.;
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, МВт; Q ад — реактивная мощность, МВт. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент лвигателя, о.е.;
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, МВт; Q ад — реактивная мощность, МВт. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток лвигателя, о.е.;
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭЛС, о.е.
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер уз- ла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Fr — напряжение, придоженное к обмотке возбуждения, о.е.;
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узде включения лвигателя, о.е.:
pp_sd.pts	 I— ток двигателя, о.е.; U— напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер уз- ла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу. о.е.:
pp_sd.pts —	 I — ток двигателя, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер уз- ла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность. MBT:
pp_sd.pts —	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; W — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер уз- ла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ал — реактивная мощность, MBT;
pp_sd.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; W — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT.
pp_sd.pts pp_reactor.pts	 I — ток двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; W — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT.
pp_sd.pts — pp_reactor.pts —	 I — ток двигателя, о.е.; I — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения \Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; I — ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Файл графиков переходных процессов (управляемых) шунтирующих реакторов. Имена графиков составные: Класс напряжения \Номер узла\Параметр.
pp_sd.pts	 I.— ток двигателя, о.е.; I.— ток двигателя, о.е.; W.— напряжение в узле включения двигателя, о.е.; P ад — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов синхронных двигателей. Имена графиков составные: Класс напряжения\Номер узла\Параметр. n — частота вращения, о.е.; Me — момент двигателя, о.е.; I.— ток двигателя, о.е.; Eq — синхронная ЭДС, о.е. Er — напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, о.е.; U — напряжение в узле включения двигателя, о.е.; Mm — момент механизма на валу, о.е.; P ад — активная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT; Q ад — реактивная мощность, MBT. Файл графиков переходных процессов (управляемых) шунтирующих реакторов. Имена графиков составные: Класс напряжения (Номер узла\Параметр. X. — индуктивное сопротивление, Ом;

	I — ток, А;
	Q — реактивная мощность, Мвар.
ss_weighting.pts —	Файл изменения режима узлов, задействованных в утяжелении
	режима. Имена графиков составные: Gen или Load\Класс напря-
	жения\Номер узла\Параметр.
	Pgen — активная мощность генератора, МВт;
	Qgen — реактивная мощность генератора, Мвар;
	Png — активная мощность нагрузки, МВт;
	Qng — реактивная мощность нагрузки, Мвар.

Пользователь в меню Опции/Графика может выбрать для вывода на графики любое сочетание режимных параметров, необходимое для анализа режима или переходного процесса.



8.3 Пример графиков переходных процессов

Показаны отфильтрованные (убрана часть расчетных осциллограмм) графики переходного процесса генераторов при трехфазном к.з. Короткое замыкание возникает в момент времени *1 с* от начала расчета переходного процесса. Длительность к.з. *0,2 с*.

Если щелкнуть кривую графика переходного процесса левой клавишей мыши, кривая выделяется бегущим пунктиром, при этом автоматически выделяется название кривой в окне Lookup window. Кроме того, нужную кривую можно выделить щелчком левой клавиши мыши по названию трассы в левом окне Lookup window. После выделения кривой

тем или иным способом нажатием на правую клавишу мыши при расположении указателя мыши в области окна графиков вызывается контекстное меню, которое позволяет изменить свойства кривой: масштаб графика по оси Y, стиль линии кривой, толщину и цвет линии.

В примере пунктиром выделен график изменения момента генератора, включенного в узле, в котором возникает трехфазное к.з.. Слева в окне **Lookup window** в колонке Visible Traces курсором (серым или синим цветом фона курсора) выделено составное имя кривой переходного процесса, которое включает в себя следующую информацию:

6\180\Me, o.e. — класс напряжения узла 6кВ\узел 180\Момент генератора в о.е. при номинальных условиях.

Визир включен, при этом в окне **Lookup window** в колонке Values выводятся значения кривых переходных процессов. В TIME=2,6973 с (значение времени выводится в строке состояния справа и внизу) момент генератора равен 1, 88244 н.о.е.

Размер колонок в окне Lookup window можно изменять перетаскиванием границы между колонками мышкой.

8.4 Использование осциллографа

Осциллограф формирует осциллограммы заданных трасс непосредственно в ходе расчета электромеханического переходного процесса, что позволяет наблюдать за интересующими параметрами переходного процесса. (*NB: при итеративном балансировании установившегося режима – в расчётах статики – осциллограф не работает*). Осциллографируемые параметры переходного процесса (трассы) записываются в память осциллографа на каждом шаге численного интегрирования и сразу отображаются на экране

В отличие от графопостроителя осциллограф не рассчитан на отображение большого количества графиков, поскольку выделение осциллограмм осуществляется цветом и отсутствуют средства фильтрации графиков. Кроме того, большое количество осциллограмм может заметно замедлить расчет.

Для построения осциллограмм необходимо:

1. Создать один или несколько осциллографов, выбрав один или несколько раз команду

Графика/Осциллограф... или нажав на панели инструментов кнопку 📠



Осциллограф имеет панель инструментов для управления осциллографом и два состыкованных окна. Слева окно с именами трасс, справа – экран осциллограмм. Идентификация осциллограмм осуществляется цветом, который указан в квадратике слева от имени трассы. Время тоже имеет имя «Время», но на графиках не отображается, а отсчитывается по оси абсцисс.

Соотношение размеров окон названий трасс и осциллограмм изменяется перемещением границы между ними при нажатой левой клавише мышки. Размеры окна осциллографа можно изменять перетаскиванием границ мышкой, осциллограф можно развернуть на весь экран или минимизировать. Свернутые осциллографы помещаются в нижней части рабочего стола над панелью задач слева направо.

2. Подключить элементы схемы к осциллографу. Предусмотрено подключение к осциллографу узлов, генераторов, асинхронных и синхронных двигателей комплексной нагрузки узлов, ветвей схемы. Рассмотрим, например, подключение генераторов к осциллографу.

В таблице Параметры агрегатов выделяются нужные генераторы, и из контекстного меню выбирается команда Осциллограф..., открывающая диалог, в котором можно выбрать один или несколько осциллографов и несколько режимных параметров из списка предопределенных режимных параметров генератора:

🔲 Пај	раме	етры агре	гатов					×
10 👂		8 🖬 🖉	Ω 🛃	eg.		40.5	_	
	-	-			((Ю Параметры		
Узел		Типген	Nген	Оном	Рном	🔤 😭 Модель	Xq	X'd 🔨
5		TurboG	1	115.00	200.0	Br. Kananana	- 800 0).300
0		TurboG	2	115.00	200.0	ев копировать	800 0	300
11		TurboG	1	115.00	200.0	Вставить	300 0	1.300
15		TurboG	2	115.00	200.0	🖉 Стереть	800 0	0.300
17		TurboG	1	115.00	200.0	Ω Именованные ел.	800 0	.300
57		TurboG	3	230.00	200.0		800 0	.300
67		TurboG	3	115.00	200.0	🔄 🐼 Синхронно	300 0	.300
68		TurboG	3	230.00	200.0		800 0	.300
77		TurboG	1	230.00	200.0		800 0	300
<						Сохранить		>
Генера	атор	Возбужден	ие APB	Турбин	a APC	Загрузить		
	По		0.000	norpada				a
		ациллограф Имя П Oscillograp	h1	Пара Тra	аметр асе	Имя Момент генератора	^	
		Coscillograp	h2		Ит. о.е.	Момент турбины		
		hà			n. o.e.	Частота врашения агреги	ата	
		-		- D f	. Гц	Частота врашения агрег	ата –	
					а ое ЗЛСЕа			
					Er, o.e.	Напряжение возбуждени	я	
					Eg^gs,град	Угол (Eq^qs)		
					Ед^Ц,град	Угол (Eq^U)		
					, o.e.	Ток генератора		
					. кА	Ток генератора		
	🗖 U, o.e. 🕴			Напряжение генератора	~			
	OK Cancel							

В примере диалога все выделенные в таблице Параметры агрегатов генераторы будут подключены ко второму осциллографу. Для каждого генератора будут осциллографироваться (записываться в память осциллографа) трассы: момент генератора, момент турбины, частота вращения, синхронная ЭДС Eq, напряжение возбуждения Er и ток I, все величины выражены в относительных единицах при номинальных условиях.

Аналогично подключаются к осциллографу остальные элементы схемы.

Допускается создание осциллографов не только перед расчетом динамики, но и непосредственно в ходе расчета переходного процесса, а также «горячее», в ходе расчета, добавление трасс в осциллографы. Если в осциллографе уже есть трассы, то новые трассы добавляются в конец списка.

К одному осциллографу рационально подключать не более ~8 трасс, большее число трасс лучше распределить между несколькими осциллографами.

Для идентификации осциллограмм при анализе переходного процесса в дополнение к цвету осциллограмм предусмотрено включение/выключение поименованных осциллограмм снятием/установкой галочки в чек-боксах трасс осциллографа. При снятой галочке осциллограмма не отображается на экране осциллографа. Возможно групповое включение и выключение отображаемых осциллограмм. Для этого при нажатых клавишах Ctrl и/или Shift щелчком левой клавиши мышки по именам трасс выделяется группа, после этого нажатиями клавиши пробела устанавливаются/снимаются галочки в чек-боксах выделенных трасс.

Q	Включить/отключить режим фиксации осциллографа (при включенной фикса- ции кнопка изменяет вид на «нажатую»). Изменение состояния осциллографа осуществляется повторными нажатиями на кнопку. В режиме фиксации осциллограф сохраняет записанные осциллограммы, но- вые данные в осциллограф в ходе расчета не записываются.
	Скрыть/показать окно трасс. При скрытии окна трасс окно осциллографамм разворачиваются на всю рабочую область окна осциллографа.
×	Очистить осциллограф полностью, т.е. удалить из осциллографа все трассы и осциллограммы. В пустой осциллограф можно добавлять новые трассы.
×	Удалить из осциллографа выделенные трассы и их осциллограммы. Если выделить все трассы и удалить их, осциллограф очищается (эквивалент- но команде очистки осциллографа).
<u> ⁹→x</u>	По оси абсцисс вместо времени использовать выделенную трассу в списке трасс (для построения и анализа годографов)
¢	Экспорт осциллограмм в файл формата .emf, при экспорте сохраняется цвет осциллограмм. Затем этот файл можно вставить в документ текстового редактора Word for Windows командой Вставить/Рисунок/Из файла или в документ других программ, работающих с рисунками в этом формате.
Ð,	Увеличить масштаб осциллограмм в пределах экрана осциллографа
Q	Уменьшить масштаб осциллограмм в пределах экрана осциллографа
Ø	Выделить прямоугольную область экрана и развернуть ее на весь экран осцил- лографа
Đ,	Отменить текущий вид осциллограмм и вернуться к предыдущему виду. Ак- тивна, если изменялся вид осциллограмм. Стек хранит до 10 видов осцилло- грамм.
	Вписать осциллограммы в экран осциллографа по оси Х
1	Вписать осциллограммы в экран осциллографа по оси Ү
	Вписать осциллограммы в экран осциллографа по осям Х и Ү
L3	Включить режим указателя мыши для выделения отдельных осциллограмм переходных процессов в окне идентификации
\mathbf{k}	Включить визир для снятия отсчета времени и значений осциллограмм
Ħ	Изменить параметры осей X и Y, изменить шаг координатной сетки по осям X и Y, изменить автоматическое нанесение шага сетки по осям X и Y на ручное.

8.4.1 Назначение инструментов осциллографа:

При создании осциллографа параметры координатной сетки экрана по умолчанию рассчитаны на отображение осциллограмм режимных параметров, выраженных в относительных единицах при номинальных условиях. Но для удобства часть трасс записываются в именованных единицах, они могут иметь очень большие значения и не вписываться в экран осциллографа. Поэтому предусмотрены средства быстрого масштабирования как самих осциллограмм, так и экрана осциллографа. При вписывании осциллограмм в экран граничные значения осей X и Y и шаг координатной сетки выбираются осциллографом автоматически. Если требуется, эти параметры можно отредактировать в диалоге Axes/Grid перед расчетом, в ходе расчета или после завершения расчета при анализе переходного процесса.

Axes/Grid		×
X Axis Min 0 Max 8	Y Axis Min 0.123963104762 Max 4.873476449548	OK S Cancel
	Y Grid	
Base 0	Base 0	
Step 2.5	Step 2	
Auto	Auto	

При открытии диалога в полях X Min и Max, Y Min и Max отображаются выбранные автоматически параметры осей и сетки. Параметры осей можно отредактировать, щелкнув на соответствующем поле левой клавишей мышки. Чтобы отменить автоматический расчет шага координатной сетки по осям X и Y и задать его вручную, необходимо снять галочки в чек-боксах Auto, и в поле Step задать шаг сетки по соответствующей оси.

8.4.2 Использование режима фиксации осциллографа

1. Можно сравнить осциллограммы нескольких расчетов динамики в одной и той же текущей схеме, но записанных в разные осциллографы. После расчета осциллограф фиксируется, формируется новый осциллограф для следующего расчета и т.д.

2. Можно сохранить трассы для проведения расчета динамики в другом варианте одной и той же схемы (число узлов в схемах должно быть одинаковым), что актуально для больших схем с сотнями и тысячами элементов, поскольку увеличивается время выборки элементов, подключаемых к осциллографу.

Для сохранения трасс необходимо выполнить следующие действия:

- Не выходя из программы, загрузить файл другого варианта схемы.
- Выключить режим фиксации осциллографа(ов), для чего отжать кнопку При запуске расчета динамики сохраненные в осциллографе трассы автоматически сбрасываются в ноль, осциллограммы формируются от начала переходного процесса (ручная очистка трасс и экрана осциллографа не предусмотрена).

После загрузки схемы и отключения фиксации осциллографа можно удалить часть трасс, например, отсутствующих в этом варианте схемы элементов, и/или добавить новые. Если по ошибке загрузить другую схему, с полностью или частично не совпадающей нумерацией узлов, с несовпадающими типами узлов с одинаковым номером и другими различиями и не корректировать трассы, запуск расчета динамики разрешен. Если в загруженной схеме нет трасс, сохранившихся в осциллографе, в ходе расчета динамики в осциллограф для этих трасс записываются нулевые значения.

После запуска расчета динамики кнопка фиксации осциллографа блокируется, поскольку включение/отключение осциллографа в ходе расчета искажает осциллограммы.

8.4.3 Построение годографов.

Непосредственно в ходе расчета или после его завершения осциллограф можно перевести в режим построения годографов. Для этого одна из трасс выбирается в качестве оси абсцисс, например, br.90-190/Pk, MBt, трасса выделяется и нажимается кнопка



После изменения оси абсцисс осциллограф строит для каждого момента времени осциллограммы трасс Qк, Rк и Xк в зависимости от изменения Pк в переходном процессе. Ненужные трассы и не имеющие смысла, отключаются снятием галочки в названии трассы. Трасса, выбранная осью X помечается знаком 🔀 цвета трассы. Чтобы вернуть осциллограф в обычный режим, нужно в окне имен трасс выделить время и нажать кнопку 庄:

2	Os	cillograph 1									
Q [🔳 🗙 🗷 🛵 🗣	€,⊖,€	2	Q	-	1		ß	ł	Œ
		Параметр	Значение				0 :				
		Время	???								
	×	br/90-190/Рк, МВт	???								
		br/90-190/Qк, Мвар	???								
		br/90-190/Rк, Ом	???								
		br/90-190/Хк, Ом	???								

В примере показаны годографы полной мощности (положение на комплексной плоскости конца вектора полной мощности S в переходном процессе), и годографа полного сопротивления линии (положение на комплексной плоскости конца вектора Z), измеренные в конце линии 90-190:



При включении визира (имеет вид креста с кружком, который привязан к годографу) можно получить для любой точки годографа точные значения активной и реактивной мощности, активного и индуктивного сопротивления, а также момента времени, которому эти значения соответствуют.

9. Проведение расчетов установившихся и переходных режимов

9.1 Проведение расчетов установившихся режимов

После загрузки схемы разрешен запуск расчета установившегося режима командой

Статика/Расчет, , если при анализе схемы не было найдено фатальных ошибок, которые не позволяют рассчитать режим. Например, если загрузить схему без назначенного БУ, расчет запрещен, команда Статика/Расчет не активна (блеклая и не работает). В журнале появятся диагностические сообщения, например,

🔲 Журнал 🔀
🖂 Импорт схемы из файла в унифицированном формате ЦДУ
Имя схемы: Нет имени
узлов - 184, ветвей - 232
Warning : изолированный узел #222
Warning : изолированный узел #223
Warning : изолированный узел #326
Warning : изолированный узел #327
в импортируемой схеме фатальные ошибки!
 Импорт схемы завершен.
🖃 Анализ схемы
ERROR : нет главного базисного узла!
Ветвь 313-314 отключена с двух сторон.
Ветвь 321-522 отключена с двух сторон.
Ветвь 506-910 отключена с двух сторон.
Ветвь 506-901 отключена с двух сторон.
Ветвь 5041-327 отключена с двух сторон.
Ветвь 5041-326 отключена с двух сторон.
Ветвь 5121-222 отключена с двух сторон.
Ветвь 5122-223 отключена с двух сторон.
Узел #222 отключен.
Узел #223 отключен.
Узел #326 отключен.
Узел #327 отключен.
Топологический анализ
MakeGraph : error : Нет базисного узла или узла свертки
Parser : error : Ошибки при анализе топологии схемы

После назначения базисного узла командой Схема/Узлы/Базисный... расчет будет разрешен. Если ошибки нефатальные, диагностика выводится в журнал, расчет режима разрешен.

Программа автоматически выбирает режим плоского старта без дополнительных сообщений из условий сохранения согласованности данных в расчетах статики и динамики. При плоском старте расчет установившегося режима начинается после того, как значения модулей напряжений в узлах принимаются равными номинальным напряжениям или заданным уставкам, а вектора напряжений совмещаются с векторами напряжений в базисных узлах (см. описание команды Схема/Узлы/Базисный...). В частности, плоский старт осуществляется после того, как:

- загружена новая схема;
- осуществлялась коммутация ветвей/узлов, если в опциях программы задан плоский старт после этих коммутаций;

- изменена уставка напряжения генераторного узла Uyct в окне "Данные узлов";
- изменены номер или параметры базисного узла;
- редактировались параметры агрегатов (или была отмененная попытка);
- в процессе расчета были получены нереальные значения углов на связях;
- в процессе расчета были получены нереально высокие значения напряжений в генераторных узлах. Это возможно, если для некоторых (тем более для всех) генераторов используется классическая PQ-модель, у которой отсутствует какойлибо контроль режима генератора (модуль вектора ЭДС не контролируется и жестко привязан к вектору напряжения). В этом случае предусмотрена автоматическая смена модели генераторов на PEq-модель с повторным запуском расчета, о чем делается запись в журнал

🗖 Журнал	\mathbf{X}
× E	
Импорт схемы из файла в унифицированном формате ЦДУ	
Нализ схемы	
Узел 62 назначен главным БУ.	
Анализ схемы	
 Расчет установившегося режима 	
В узле 554 U/Uном > 1.5!	
В узле 916 U/Uном > 1.5!	
В узле 917 U/Uном > 1.5!	
В узле 918 U/Uном > 1.5!	
В узле 6756 U/Uном > 1.5!	
Всего итераций - 8.	
Расчет режима завершен.	

• после расчета динамики.

В ходе расчета и после его завершения в журнале появляются диагностические сообщения, связанные с контролем режима генераторов, если для генераторов используется *PEq*-модель.

	Журнал	×
\mathbf{X}		
	 итерация - 280 генератор 411 : (E^U)>90град, нарушение устойчивости : фиксация исходной Eq=1.3124 н.о.е. (i=16) генератор 644 : (E^U)>90град, нарушение устойчивости : фиксация исходной Eq=1.1290 н.о.е. (i=21) генератор 1745 : ограничение min возбуждения: Eq=Eqmin=0.4900 н.о.е. (i=52) 	•
	генератор 636 : ограничение max возбуждения : Eq=Eqmax=2.1598 н.о.е. (i=53) генератор 438 : ограничение min возбуждения : Eq=Eqmin=0.4900 н.о.е. (i=55) генератор 26 : ограничение max возбуждения : Eq=Eqmax=2.1598 н.о.е. (i=59) генератор 49 : ограничение max возбуждения : Eq=Eqmax=2.1598 н.о.е. (i=60) генератор 534 : ограничение max возбуждения : Eq=Eqmax=2.1598 н.о.е. (i=61)	*
<		:

Сообщение "генератор № : (E^AU)>90град, нарушение устойчивости : фиксация исходной Eq = xxx н.о.е." появляется, если в ходе балансирования режима *PEq*-генератор потерял статическую устойчивость (заданная в таблице Данные узлов мощность генерации стала больше амплитуды угловой характеристики мощности генератора вследствие уменьшения модуля Eq) и рабочая точка режима генератора начала смещаться в зону недопустимых углов за 90 град. Это может случиться с генератором, имеющим расширенный регулировочный диапазон в сторону недовозбуждения (см. описание диалога Параметры агрегатов/Модель...).

В опциях программы Опции/Дополнительно может быть выбрана опция Фиксировать текущее значение Eq. если (Eq[^]U) > 90 град. Тогда в журнале может появиться сообщение "генератор № : (E[^]U)>90град, нарушение устойчивости : фиксация текущей Eq = ххх н.о.е.". Эту опцию имеет смысл использовать при расчете режимов с повышенными напряжениями, когда из генераторов выжимают максимальное потребление реактивной мощности.

Ситуация с потерей устойчивости не редкость для генераторов/СК в режиме недовозбуждения после импорта схемы в унифицированном формате ЦДУ. У *PEq*-модели генератора процессы регулирования активной и реактивной мощностей взаимосвязаны (как и у реального генератора), поэтому если исходные данные по генератору (его синхронные индуктивные сопротивления) и генерация Рген, Qген и Uуст в узле не согласованы, то при регулировании режима генератора рабочая точка на угловой характеристике мощности таких генераторов смещается в диапазон углов более 90 град, и если не запретить этим генераторам регулирование напряжения, то режим генераторов будет сбалансирован в неустойчивой точке угловой характеристики мощности. При переходе к интегрированию режим этого генератора "поплывет".

Генераторы, потерявшие устойчивость, автоматически переводятся в группу *PEqc*генераторов с постоянным возбуждением, т.е. исключаются из процесса регулирования напряжения в схеме. В окне "Данные узлов" в статусной строке (справа/внизу) для этого генератора выводится тип генератора PEqc:



а в диалоге коррекции параметров узлов, вызываемого из контекстного меню Данные узлов/Коррекция... появляется соответствующая галочка

Изменить тип генератора ▼ PU-->PEq... ▼ PEq-->PEqc PQ-->PEgc ... PEgc-->PEg

Сообщения "генератор № : ограничение min возбуждения : Eq=Eqmin=xxx н.о.е." появляется, если в ходе балансирования режима *PEq*-генератор достиг и остается на минимальном возбуждении в течение ~25 итераций, а напряжение в узле остается выше заданной уставки Uyct в таблице Данные узлов.

Сообщение "генератор № : ограничение max возбуждения : Eq=Eqmaxn=xxx н.о.е." появляется, если в ходе балансирования режима *PEq*-генератор достиг и остается на максимальном возбуждении в течение ~50 итераций, а напряжение в узле остается ниже заданной уставки Uycr в таблице Данные узлов.

Фиксация возбуждения обеспечивает более высокую точность сведения баланса мощности генераторного узла.

Примечание.

1. *РЕq*-модель генератора позволяет выявить генераторные узлы в импортируемой схеме с некорректно заданным режимом генератора. Режим схемы балансируется с учетом существования режима для самих генераторов.

2. Если расчет установившегося режима завершился неудачно или прерван пользователем, то возврат исходной модели генератора происходит автоматически при повторном запуске расчета. При благополучном завершении расчета автоматический возврат исходной моде-

ли предусмотрен только при выборе команды Статика/Плоский старт. При последующем повторном запуске расчета, например, для уточнения сведения баланса мощности, сохраняются текущие модели генераторов.

🗖 Журнал	
🖃 Всего итераций - 328.	~
Warning : генератор 19012 : I=2.104>Іном=1.941 kA, превышение на 8.398%.	_
Расчет режима элементов сети и баланса мощностей	
Warning : генератор 54008 : угол (Eq^U)=67.57 > 60 град.	
Warning : генератор 54009 : угол (Eq^U)=66.09 > 60 град.	
Warning : генератор 54010 : угол (Eq^U)=67.57 > 60 град.	
Мах угол -21.32 на связи 13025-11005.	
Мах небаланс Рнб = -0.369 в узле 794	
Мах небаланс Qнб = 1.877 в узле 57	
Расчет режима завершен.	~

Сообщение "Warning : генератор (№ узла) : I=xxx.xx>Іном=xx.xx kA, превышение на xx.xxx %." записывается в журнал, если ток якоря генератора в установившемся режиме превышает его номинальный ток на 2% и более. Как правило, такое сообщение появляется для недовозбужденных генераторов или синхронных компенсаторов с несогласованными параметрами.

Если схема импортировалась из формата ЦДУ, то появление этого сообщения может быть вызвано недостаточной номинальной мощностью генератора данного узла, следует откорректировать мощность Рном в таблице Параметры агрегата. Если номинальная мощность генератора, его x_d и x_q заданы верно, то следует изменить уставку напряжения в узле на реальную, выполнение которой способен обеспечить генератор. Можно оставить несогласованные данные, вручную изменив модель генератора на *PEqc*-модель или даже применить классическую модель, чтобы не появлялось это сообщение.

Для генераторов с подозрительно большим углом нагрузки (Eq^U), превышающим 60 град., выводится предупреждение, которое может свидетельствовать не только о значительном недовозбуждении генератора, но и о некорректных параметрах генератора.

После окончания расчета в журнал записываются узел с наибольшим небалансом мощности и связь с наибольшим углом между векторами напряжений по концам.

Процесс расчета установившегося режима можно прервать в любой момент коман-

дой Стоп, . Эта команда необходима, в частности, для прекращения расчета несуществующего режима, если в опциях программы заблокирован контроль недопустимых отклонений параметров режима, см. Опции/Статика. Если режим не существует, в окне журнала непрерывно появляются сообщения о недопустимых углах на связях и др. После принудительной остановки расчета режима командой Стоп при последующем запуске расчета режима осуществляется плоский старт и отменяется перевод генераторов в группу *PEqc*.

Количество итераций для разных схем может различаться в десятки раз. Влияют положение базисного узла в схеме, размер схемы, расположение мощных генераторных узлов относительно базисного узла, тяжесть режима, выбранная точность расчета. Соседство мощных генераторов в смежных узлах также затягивает процесс балансирования режима, если задана высокая точность расчета.

9.2 Выбор моделей генераторов в расчетах установившихся режимов

Основной (штатной) моделью генератора является источник ЭДС за поперечной реактивностью, которая полностью отображает поведение реального генератора в схеме при изменениях ее режима. Классические модели также можно использовать в расчетах, учитывая их свойства. Эти модели поддерживаются для совместимости и сопоставления полученных результатов с режимами, которые дают промышленные программы. Однако эмуляция классических моделей неполная, т.к. учитывается индуктивное сопротивление генератора x_q .

При использовании PEq-модели обеспечивается однозначность решения задачи расчета установившегося режима благодаря тому, что процессы регулирования режима модели воспроизводят процессы регулирования реального генератора с полным и корректным контролем режима самого генератора. Это большое преимуществом по сравнению с классическими моделями. Если при использовании неадекватной PQ-модели для некоторых генераторов схемы ее режим не балансируется, достаточно перевести PQ-генераторы в разряд PEqc, и режим, если он существует, будет рассчитан.

При импорте схемы в формате ЦДУ *PEq*-модель позволяет выявить узлы, в которых заданы несовместные параметры режима генераторов. Режим схемы балансируется с учетом существования режима самих генераторов.

PEq-модель обеспечивает высокую точность сведения в схеме баланса активной и реактивной мощностей, которая не всегда достижима при использовании классических моделей.

9.3 Сопоставление результатов расчета установившихся режимов при выборе различных моделей генераторов

При использовании классических моделей генераторов режим, который дает Powertron, практически полностью совпадает с режимом, который дает Rastr, если PU-генераторы в процессе расчета не выходят на ограничения по Q (такие схемы встречаются редко, например, Circuits\model.ubd). При выходе PU-генераторов на ограничения по Q режимы немного различаются.

Причина заключается в том, что в Powertrone классическая PU-модель генератора эмулируется PEq-моделью, т.е. реальным источником ЭДС, имеющим внутреннее сопротивление x_q . Для этого снимается контроль ограничений модуля вектора ЭДС возбуждения Eq и контролируется значение Q. Однако при наличии x_q процессы регулирования P и *Q* генератора взаимосвязаны, как и для *PEq*-генератора. Поэтому для некоторых генераторов оказывается невозможной одновременная генерация заданных значений Рген и Qген из диапазона Qmin–Qmax для заданного значения напряжения Uген. Для таких узлов контроль погрешности сведения баланса мощности в узле снимается. Узлы с РИгенераторами, у которых заданы несовместные значения Рген и Qген (для текущего значения напряжения в узле и заданного x_q генератора), можно определить, сравнивая после расчета установившегося режима значения Рген и Qген в таблицах данных узлов и режима узлов (отфильтровав/отсортировав РU-узлы). Генерация незначительно, но отличается. Возникающий между Powertron'ом и Rastr'ом локальный небаланс в значениях P+jQ хотя бы одного такого генератора перемещается в базисно-балансирующий узел (узел свертки схемы) и опорные узлы, влияя на токи в линиях, потери и баланс мощности в схеме. Чем больше таких генераторов, тем заметнее различия.

При использовании в Powertrone штатной PEq-, PEqc-модели практически полное совпадение режимов Powertrona и Rastra получается, если в исходной схеме нет PQ-генераторов, а PU-генераторы в процессе расчета не выходят на ограничения по Q. Иначе

режимы по напряжениям, балансу реактивной мощности и потерям в сети несколько различаются.

Причина заключается в том, что у PEqc-генераторов с постоянным возбуждением при постоянстве модуля вектора Eq, значение которого определяется по заданным генерации Рген и номинальному напряжению Uном узла, реактивная мощность является свободным параметром режима, а у PQ-генераторов она зафиксирована. Реактивная мощность PEq-генератора является свободным параметром режима всегда, и при выходе на ограничения по Eq, а в Rastre реактивная мощность PU-генератора на ограничении по Q фиксируется. Поэтому тяжелые режимы схем с большим числом PQ- и PU-генераторов на ограничении, сбалансированные в Powertrone и Rastre, могут иметь заметные различия по напряжениям и балансу реактивной мощности. Они в свою очередь вызывают несовпадение потерь в сети и различия в балансе активной мощности.

9.4 Динамическое балансирование установившегося режима

При динамическом балансировании установившийся режим определяется как результат электромеханического перехода от исходного режима (может быть, несбалансированного после загрузки схемы) к новому установившемуся режиму.

По сравнению со статическим балансированием режима имеется возможность задать параметры комплексной нагрузки в узлах. Это позволяет автоматически учесть зависимость потребления от напряжения в узлах и частоты в ходе балансирования режима.

Динамическое балансирование режима позволяет отказаться от реализации неестественного статического балансирования режима без базисного узла, которое не позволяет корректно учесть изменение генерации и потребления в схеме при изменениях частоты.

Программа поддерживает следующие варианты расчета:

1. Балансирование режима схемы при наличии в схеме базисно-балансирующего узла с фиксированным напряжением, причем в базисном узле может быть задана как номинальная, так и неноминальная частота. У остальных генераторов должны быть заданы уставки по активной мощности и по напряжению. Часть генераторов может быть выведена из процесса регулирования напряжения в схеме путем вывода из работы APB, но не все, иначе может оказаться невозможным сведение баланса схемы по реактивной мощности. В сведении баланса реактивной мощности участвуют генераторы с APB и базисноблансирующий узел. Баланс активной мощности сводится в базисно-балансирующем узле.

2. Балансирование режима схемы при отсутствии базисно-балансирующего узла.

2.1. Без вторичного регулятора. Для генераторов схемы определяются уставки по активной мощности и по напряжению. Запускается расчет динамики, режим балансируется при неноминальной частоте. В зависимости от соотношения генерации и нагрузки в схеме эта частота может быть ниже и выше номинальной. И генерация, и нагрузка автоматически изменяются в зависимости от частоты. Баланс активных мощностей в схеме сводится на основе баланса моментов на валах вращающихся машин. При этом корректно балансируюся режимы не только при частоте, близкой к 50 Гц, но и при значительных отклонениях частоты.

2.2. При наличии вторичного регулятора (лишь после реализации вторичного регулятора). В автоматике схемы определяются параметры вторичного регулятора — задается уставка по частоте и указываются генераторы, задействованные во вторичном регулировании частоты с законом распределения нагрузки между ними. Для остальных генераторов схемы определяются уставки по активной мощности и по напряжению. Некоторые (не все) генераторы могут быть выведены из процесса регулирования активной мощности и/ли напряжения в схеме путем вывода из работы АРС и АРВ. Баланс реактивной мощности в схеме сводится действием АРВ генераторов. Баланс активной мощности в схеме сводится действием первичных регуляторов агрегатов с заданным регулировочным диапа-

зоном и вторичного регулятора частоты. Если располагаемая мощность генераторов покрывает нагрузку с потерями в сети, то режим будет сбалансирован при заданной в параметрах вторичного регулятора частоте. Если располагаемой мощности генераторов, задействованных в первичном и вторичном регулировании частоты недостаточно, то режим будет сбалансирован при неноминальной частоте.

В зависимости от целей расчета динамическое балансирование режима можно осуществить при естественных характеристиках генераторов и регуляторов, а также со специально задемпфированными генераторами для уменьшения влияния качаний и с идеализированными малоинерционными АРВ и АРС.

9.5 Расчет установившегося режима при неноминальной частоте методом динамического балансирования режима

В программе не предусмотрено статическое балансирование установившегося режима при неноминальной частоте, в основе которого лежит регулирующий эффект нагрузки. В программе, предназначенной для расчета динамики, нет смысла реализовывать этот метод. Целесообразно для расчета режимов при неноминальной частоте применить метод динамического балансирования.

Вначале рассчитывается установившийся режим при номинальной частоте. Затем запускается расчет динамики, в ходе которого при помощи воздействий автоматики на нагрузку и/или генерацию нарушается баланс активной мощности, что приведет к изменению частоты. В опциях программы Опции/Динамика перед запуском расчета переходного процесса необходимо снять галочку в чек-боксе Узлы свертки "бесконечной мощности", при этом генератор в базисном узле ведет себя как обычный генератор и становится возможным изменение частоты.

Для получения более точного результата комплексная нагрузка в узлах схемы должна быть задана долями статической, асинхронной и синхронной составляющих. Это позволяет автоматически учесть зависимость потребления от напряжения в узлах и частоты в ходе балансирования режима при неноминальной частоте. Режим балансируется с учетом действия APC и APB генераторов, если они *не* выведены из работы. Тогда при наличии у турбин запаса по мощности, он будет реализован. Чтобы исключить реализацию резерва, APC нужно вывести из работы.

9.6 Определение предельных перетоков по линиям и сечениям методом непрерывного утяжеления режимов

Программа обеспечивает расчет предельных перетоков по *контролируемым* линиям и сечениям, значений напряжений в *контролируемых* узлах и определение "опасных" линий и/или сечений методом непрерывного утяжеления режима. Предусмотрены статическое и динамическое утяжеление режима.

Под "опасными" линиями и сечениями здесь подразумеваются такие, у которых в ходе утяжеления режима прежде всех других достигается максимальное значение перетока. При дальнейшем утяжелении режима значения перетоков не возрастают или начинают уменьшаться вплоть до нарушения устойчивости.

Следует отметить, что в программе Powertron процесс статического перехода от некоторого исходного режима к конечному утяжеленному фактически является эквивалентом динамического перехода от исходного режима к новому режиму на динамической модели энергосистемы при безынерционном регулировании активной мощности, возбуждения и положения ротора генератора. Это свойство программы демонстрируется в примере. Кроме того, в примере показано, что при анализе предельных режимов для получения достоверных результатов важно замещать генераторы, и в первую очередь генераторы, задействованные в изменении режима схемы, реальными источниками ЭДС, а не идеальными задающими токами (инъекциями токов), т.к. это влияет на располагаемый диапазон регулирования напряжения (реактивной мощности) и на предельные перетоки.

Расчет предельных режимов и определение предельных перетоков рассматривается на примере схемы ОЭС Северо-Запада, представленной на рис.9.5.1, файл схемы sz272_ss.cir. Нужно найти предельный переток по линии 6370-470 ПС Ленинградская – Калининская АЭС 750 кВ и в контролируемом сечении *1*, в которое входят указанная линия и ВЛ 330 кВ Окуловка – Бологое.

Генерация электростанций ОЭС Северо-Запада, задействованных в изменении режима схемы, в исходном режиме составляет:

ЛАЭС — 3500 МВт: первая очередь (узел 1316) работают три агрегата по 500 МВт, суммарная мощность 1500 МВт; вторая очередь (узел 1376) работают четыре агрегата по 500 МВт, суммарная мощность 2000 МВт.

Киришская ГРЭС — 1200 МВт, работают четыре агрегата по 300 МВт.

Исходная загрузка станций задается в таблице Данные узлов, число параллельно включенных генераторов Nген и номинальная мощность агрегатов Рном, задается в таблице Схема/Генераторы.

Загрузка сечения *1* осуществляется за счет разгрузки первой и второй очередей ЛАЭС до 400 МВт каждая и Киришской ГРЭС до 300 МВт. По мере уменьшения мощности станций производится отключение агрегатов по условию, что суммарная номинальная мощность включенных агрегатов равна мощности станции. При этом изменяется эквивалентное сопротивление источника ЭДС, замещающего генератор.

В ОЭС Центра нагружается базисно-балансирующий узел 5555, рис.9.5.1.

Примечание. 1. Постановка задачи является условной, предназначенной только для демонстрации возможностей программы.

2. Параметры генераторов, непосредственно задействованных в изменении режима схемы, взяты из справочной литературы, для остальных генераторов с целью упрощения подготовки исходных данных демонстрационного примера приняты параметры по умолчанию.

Задание траектории утяжеления описано в разделе "Схема/Узлы/Утяжеление...". Для определения предельных перетоков рекомендуется задать такую траекторию, чтобы в процессе утяжеления наступил развал режима, тогда на графиках изменения перетоков по линиям и сечениям будут явно обозначены максимальные перетоки.



Рис.9.5.1. Расчетная схема для определения предельных перетоков по ВЛ 750 кВ ПС Ленинградская–КАЭС750 и в сечении *1*

9.6.1 Статический переход

1. После загрузки схемы балансируется установившийся исходный режим.

2. Определяется траектория утяжеления для узлов 1376, 1316 и 6319

🗖 Данные узлов									
🖻 🖻 😭	요 🖻 🔀 🗙 🕄 🕈 🐺 🛛 💁								
Узел	Имя	U ном	Рнг	Qнг	P 🛆	Qген	U уст	Q min	Q ma 木
1376	ЛАЭС-750	20.00	149.90	76.70	2000.00	580.80	19.70	-1000.00	1000.0
5555	Б.У	500.00	1495.00	3735.00	1878.93	3465.67	500.00	-99999	99999.0
6840	Игн.АЭС	340.00	507.20	157.20	1807.00	347.20	363.00	-400.00	2427.0
6830	Лит.ГРЭС	330.00	631.00	224.00	1593.80	607.10	353.30	-250.00	1475.0
1316	ЛАЭС-330	20.00	37.00	19.50	1500.00	166.30	20.80		300.0
6319	Кир.ГРЭС	347.00			1200.00	332.00	350.00	-100.00	332.0
475	*KaA3C-7	24.00	60.00	30.00	100 [-") <i>[</i>	Добавить узе	ел	-110.00	750.0
6915	TPBC-15	220.00	829.00	284.00	90 🕞 🖉	CODUDORATI		-115.00	788.0
1117	КАЭС	15.75	65.00	114.00	88 98 7	сопировать			544.0
6907	Мн.Сев.	330.00	553.00	284.00	59 😭 T	Править		-115.00	799.0
1934	полоцк	115.00	472.40	150.40	50 🗙 y	Улалить			400.0
1362	СЕВ.ТЭЦ.	115.00	743.00		40	H ernie		-50.00	250.0
6631	Пр6ГРЭС3	330.00	1285.00		30 1	Теренумеров	ать	-200.00	1267.0
6632	ЭстГРЭС	330.00	130.00	85.00	30 E	Базисный		-200.00	1200.0
6322	ПС.ЮЖНАЯ	230.00	324.00		27 😱 .				100.0
5050	TICK. IP 3C	15.75	13.70	3.40	21	коррекция		-40.00	110.0
1440	НОВГ.ТЭЦ	6.30	99.00	31.50	17 F	Районы			100.0 🤍
AEO	Eanoraa	220.00			14	Утажелерие			
						A ANTERNE A			2
						о Коммутация \	/зла	213	PEq //

в диалогах (см. раздел Схема/Узлы/Утяжеление)

Утяжеление режима в узле 6319
Статический переход число шагов 520
Динамический переход
С с постоянной скоростью 10 МВт/с, Мвар/с
🤨 за время 🛛 🕄 30 с
Генерация
РЕq-генератор
✓ изменить генерацию от начальной до: Р 300 МВт
Q 0 Мвар
начиная с шага утяжеления 20
Нагрузка
Гизменить нагрузку от начальной до: Р 0 MBт
🔽 Q~P Q 🚺 Msap
начиная с шага утяжеления 🛛
Cancel

Изменение мощности станций происходит за 500 итераций. Старт статического утяжеления режима назначен с 20 итерации, чтобы на графиках был обозначен исходный режим. При динамическом переходе режим изменяется за 30 секунд.

Признаки останова процесса утяжеления режима задаются в опциях программы Опции/Статика. В опциях программы задано:

Options		X
Статика Динамика Дополнительно Файлы Гр	афики	
	1000	
Мах чиспо итерации при расчете режима	1200	
Мах число шагов утяжеления режима	1000	
Точность сведения баланса мощности, Р	0.05	МВт
Q	0.05	Мвар
🔽 остановить расчет, если U/Uном узла меньше	0.1	o.e.
🔽 остановить расчет, если угол на связи больше	100	град.

Если в ходе утяжеления начнется "проворот" генераторов, то при снижении напряжения хотя бы в одном каком-либо узле схемы ниже 0,1·*Uном* или если угол на какой-либо связи превысит 100 град, расчет будет остановлен.

3. Командой Статика/Утяжеление запускается расчет утяжеления



Отключение агрегатов в ходе утяжеления режима фиксируется в журнале.

🗖 Журнал	×
Расчет установившегося режима	~
Утяжеление режима	_
🖃итерация - 500	
Шаг утяжеления 183 : в узле 1376 отключен агрегат.	
Шаг утяжеления 194 : в узле 6319 отключен агрегат.	
Шаг утяжеления 257 : в узле 1316 отключен агрегат.	
Шаг утяжеления 345 : в узле 1376 отключен агрегат.	
Шаг утяжеления 367 : в узле 6319 отключен агрегат.	
Шаг утяжеления 493 : в узле 1316 отключен агрегат.	
На связи 6370-470 угол -103.00 !	
В узле 475 U/Uном < 0.100!	
На связи 458-456 угол -102.77 !	
Напряжение узла меньше MIN допустимого.	
Утяжеление режима завершено.	~

До выполнения условий прекращения расчета на ЛАЭС отключается четыре генератора, на Киришской ГРЭС — два.

4. Запускается нужное число раз утилита GraphBuilder.exe нажатием кнопки на панели инструментов и строятся графики изменения перетоков по ветвям (ss_branch.pts), сечениям (ss_sections.pts) и изменения напряжений в узлах (ss_node.pts). Отфильтровываются нужные кривые, изменяется масштаб сетки по осям. На графиках ss_weighting.pts можно посмотреть изменение мощности генераторов и нагрузок узлов, задействованных в изменении режима. При необходимости графики можно экспортировать в файлы формата emf и вставлять затем рисунки в документ Word, что демонстрируют последующие рисунки.

На рис.9.5.2 представлено изменение режима ветвей в процессе уменьшения генерации в ОЭС Северо-Запада и изменение перетока в сечении 1 из Центра в Северо-Запада. Отфильтрованы интересующие ветви, связывающие ОЭС Балтии с ОЭС Северо-Запада, С.-Запад с Центром и Центр с Беларусью, стрелочки в надписях кривых указывают направление перетока.

Быстрее всего загружаются связи ОЭС Центра и Северо-Запада, линии между Центром и Беларусью загружаются с меньшей скоростью. Видно, что вначале достигается предельный переток 2023 МВт на автотрансформаторе 6370-6330 ПС Ленинградская, при этом переток по ВЛ 750 кВ 6370-470 составляет 2219 МВт.

Предельный переток по ВЛ ПС Ленинградская—КАЭС-750 составляет 2282 МВт, а в сечении *1* — 2836 МВт.



"Опасными" для заданной траектории утяжеления режима являются не только линии, входящие в сечение *1* и само это сечение, но также и автотрансформаторная связь сетей 750 и 330 кВ на ПС Ленинградская.

На каких связях или в каком сечении прежде всего будет достигнут максимум из условия существования установившегося режима определяет характер изменения напряжений в узлах схемы, рис.9.5.3, который в свою очередь определяется поворотом векторов источников ЭДС, замещающих генераторы. Быстрее всего в конце утяжеления снижается напряжение в узле 470.



Рис. 9.5.3. Изменение напряжений в узлах (U node.pts)

Из последнего графика можно найти критические значения напряжений в контролируемых узлах из условия существования установившегося режима. При наступлении максимума перетока на связи 6370→6330 на 453 итерации напряжение U₄₇₀ = 686 кB, U₄₅₈ = 293 кB.

9.6.1.1 Влияние параметров генераторов на предельные режимы

В рассмотренном выше статическом переходе от исходного к утяжеленному режиму происходило отключение генераторов по условию, что текущая мощность эквивалентного генератора узла равна сумме *номинальных* мощностей *n* параллельно включенных агрегатов. При этом текущее число параллельно включенных агрегатов принимается равным *n* и пересчитываются параметры источника ЭДС, замещающего эквивалентный генератор узла. Это влияет на располагаемый диапазон реактивной мощности при регулировании напряжения узла в ходе утяжеления режима и на параметры предельных режимов.

На скриншоте, рис.9.5.4, представлены графики загрузки линий в ходе утяжеления режима, если не учитывать изменение собственного сопротивления источника ЭДС, за-

мещающего генератор. В таблице данных генераторов в узлах 1376, 1316 и 6319 принимается один агрегат, номинальная мощность которого равна сумме номинальных мощностей включенных агрегатов. Собственное сопротивление источника ЭДС при изменении генерации узла не изменяется.



Рис.9.5.4. Изменение перетоков по ветвям схемы

Сопоставление рис.9.5.4 с рис.9.5.3 показывает, что "амплитуда" перетока по линии ПС Ленинградская—КАЭС-750 увеличилась на 117 МВт и составляет 2399 МВт. Погрешность в определении предельного перетока при неучете внутреннего сопротивления генераторов составляет ~5% в сторону завышения. Предельный переток в сечении *1* также увеличился на 142 МВт и составил 2978 МВт.

При использовании классических моделей генераторов, замещающих генераторы идеальными источниками тока, контроль располагаемой реактивной мощности в ходе утяжеления затруднен, поэтому погрешность расчета может быть еще больше.

9.6.2 Динамический переход

1. Определяется динамическая модель энергосистемы.

В рассматриваемом условном примере для простоты задания исходной информации у всех генераторов задано тиристорное независимое возбуждение с APB-M, параметры турбин и APC также приняты типовыми по умолчанию.

У возбудителей нужно задать кратности форсировки по напряжению и по току ротора равными 1.

У АРВ-М и АРВ СДП1 необходимо задать ограничение перегрузки тока ротора равным 1,05, как показано на скриншоте:

дополнительные параметры АРВ-М	
Компенсация Хтр 0	%
Коррекция UO при отклонении частоты 0	% на Гц
П.В. канала производной напряжения, Т1и 0.07	с
П.В. канала изменения частоты : TOf 2	c
Tf 0.02	с
П.В. канала производной частоты, T1f 0.07	с
П.В. канала производной тока ротора, T1ir 0.16	с
Постоянная времени интегратора, Tokp 0.5	с
Ограничения выхода интегратора : min 0.2	е.в.н.
max 1.2	е.в.н.
Ограничение максимального тока ротора 2	е.в.н.
Ограничение перегрузки ротора : уставка 1.05	е.в.н.
выдержка времени 🛛 🗍	с
ток ротора при ограничении перегрузки 1.05	е.в.н.
ОК	Cancel

В противном случае APB при снижении напряжения будет стремиться его поддерживать, поэтому предельные перетоки окажутся значительно выше, чем при статическом утяжелении.

Примечание. Отключение агрегатов в ходе динамического утяжеления можно реализовать действиями автоматики.

Динамическая модель комплексной нагрузки. Если в узлах с генераторами на генераторном напряжении задана нагрузка, то принято, что асинхронная составляющая нагрузки с.н. составляет 60-70% для ТЭС и 40% для ГЭС. В остальных узлах модель нагрузки чисто статическая, т.е. такая же, как и при статическом утяжелении.

2. Определяется или скорость утяжеления, или время утяжеления для узлов 1376, 1316 и 6319. При задании траектории утяжеления статического перехода (см. выше) принято, что динамическое утяжеление завершается за 30 с. (Можно также управлять генераторами при помощи автоматики).

3. В опциях программы Опции/Динамика узлы свертки назначаются узлами "бесконечной мощности", что обеспечивает утяжеление при постоянной частоте, заданной для базисного узла, и определяется время расчета, оно должно быть не меньше, чем заданное в траекториях утяжеления.

Options	
Статика Динамика Дополнительно Файлы	
-	
Продолжительность расчета динамики 50	c
Максимальный шаг интегрирования 0.025	c
Шаг записи результатов расчета 0.025	c
Скорость динамического утяжеления 10	МВт/с
Допустимое снижение частоты до 35	Гц
✓ Узлы свертки "бесконечной мощности"	
ОК	Cancel

3. Балансируется исходный режим и командой Динамика/Утяжеление запускается расчет переходного процесса.



О нарушении устойчивости можно судить по значительному уменьшению шага интегрирования, который выводится в журнал. Можно остановить расчет, не дожидаясь его завершения по времени, заданному в опциях программы Опции/Динамика.

4. Строятся графики переходного процесса pp_branch.pts, pp_sections.pts, pp_node.pts, можно построить также графики и для генераторов pp_generator.pts.

Сопоставление графиков на рис.9.5.4 и 9.5.5 статического и динамического перехода показывает, что они несколько различаются. При статическом переходе осуществляется безынерционное регулирование мощности, напряжения и положения ротора агрегатов. При нарушении устойчивости агрегаты в узлах 1376, 1316 и 6319 не были полностью раз-гружены.



Рис.9.5.5. Изменение перетоков по ветвям схемы (pp_branch.pts) при динамическом утяжелении режима

На динамическом переходе сказывается инерционность агрегатов, а также инерционность регулирования возбуждения и мощности турбин. За 30 с происходит полная запланированная разгрузка турбин (изменение уставок APC), но переходный процесс продолжается и приводит к нарушению устойчивости. Отмеченные особенности динамического утяжеления приводят к тому, что амплитуды перетоков при динамическом переходе оказываются выше, чем при статическом переходе.

Примечание. Утяжеление режима отключением связей в статике и в динамике дает весьма различающиеся результаты. Вследствие различной "удаленности" генераторов от места возмущения их роторы получают различное ускорение в начальный момент, что и является причиной различного характера статического и динамического переходов.

10. Проведение расчетов электромеханических переходных процессов

10.1 Общие рекомендации по выбору математической модели генерирующих агрегатов и комплексной нгарузки

При использовании современных мощных компьютеров от использования некорректной *E'-x'* модели при решении практических задач можно отказаться. Выбросить совсем модель *E'-x'* из программы нецелесообразно. Она полезна при отладке и тестировании программы и при анализе влияния выбора модели на полученный результат.

В практических расчетах по программе модель E'-x' лучше не применять, поскольку она некорректно воспроизводит участие такого генератора в общем движении вращающихся машин энергосистемы, нет ни асинхронного момента, ни регулирования возбуждения. Хотя в программе имеется возможность присоединить к такому генератору первичный двигатель с APC, очевидно, что регулировать активную мощность такого генератора бессмысленно. Если "освобождается" генератор в базисном узле (см. расчеты AЧР), от использования такой модели лучше сразу отказаться. Поведение нерегулируемого генератора, не реагирующего на изменения режима сети, заранее трудно предсказать.

Для "удаленных" генераторов, про которые заведомо можно сказать, что они слабо чувствуют возмущение, (и убедиться в этом потом по графикам переходного процесса), можно применить уравнения Парка-Горева без демпферной системы, может быть, введя в уравнение движения слабое демпфирование, чтобы "правильно" затухали возникающие качания. А лучше и для таких генераторов применить модель по уравнениям Парка-Горева с учетом демпферной системы без учета насыщения стали и без многоконтурной схемы замещения ротора, что позволяет забыть про выбор значений коэффициента демпфирования и про влияние этого коэффициента на полученный результат. В качестве параметров таких генераторов допустимо взять средние значения параметров турбо- и гидрогенераторов, предлагаемые в диалоге по умолчанию. Сверхпереходную симметризацию машины тоже использовать не надо (она нужна для анализа влияния симметризации на результаты расчетов динамики), сопоставительные расчеты показали, что результат от этого почти не зависит, а реальный генератор несимметричен по осям d и q.

Нужно избегать нерегулируемых генераторов, моделируемых по уравнениям Парка-Горева, их число в модели энергосистемы должно быть минимальным. Чтобы при запуске расчета динамики обеспечить устойчивость динамического режима без возмущений в течение произвольного отрезка времени, для "удаленных" генераторов следует задать систему возбуждения с простейшим APB типа корректора с небольшим (не превышающим 10) коэффициентом передачи, чтобы избежать качаний из-за неверной настройки APB. Можно также специально уменьшить постоянные времени системы возбуждения и APB. Необходимо задать первичный двигатель с APC. Причем у APC мертвая зона должна быть нулевой, а у APC гидротурбины нужно к тому же отключить канал ГОС, т.к. это дестабилизирующие факторы. Если потребуется моделировать отсутствие резерва активной мощности и постоянство возбуждения, это можно сделать, отключая регуляторы (в диалоге Параметры агрегатов\Модель... предусмотрена групповая операция).

Для "своих" генераторов, в отличие от "удаленных", нужно задать реальные параметры самого генератора, системы возбуждения, АРВ, турбины и АРС.

При моделировании мощных высокоиспользованных турбогенераторов (>=300 MBт) с большими x_d и x_q , целесообразно применить многоконтурную схему замещения, если есть такая информация о машине. Исследования ВНИИЭ и СибНИИЭ показали, что моделирование бочки ротора двумя эквивалентными демпферными контурами с постоянными параметрами является весьма приближенным.

При расчете динамической устойчивости можно применить также учет насыщения стали, т.к. насыщенные значения *x*_d и *x*_q влияют на полученный результат. Если характе-

ристика холостого хода отсутствует, можно взять усредненные характеристики турбо- и гидрогенераторов, которые предлагаются по умолчанию. Для высокоиспользованных турбогенераторов желательно использовать заводскую характеристику.

Учет насыщения стали по пути магнитного потока взаимной индукции обязателен в расчетах пуска электродвигателей от автономных генераторов. Неучет насыщения стали приводит к нереальным забросам напряжения при разгрузке генератора от реактивного тока после запуска двигателя.

Динамическая модель комплексной нагрузки имеет важное значение. Лучше всего в расчетах динамики всегда использовать комплексную динамическую модель нагрузки, задавая доли асинхронной и/или синхронной составляющих нагрузки узлов, при этом статическая составляющая может иметь ту же модель, что и в расчетах установившихся режимов. Модель нужно формировать в целом для всей схемы. Не стоит ограничиваться локальным, избирательным назначением корректной динамической модели только в некоторых узлах, оставляя в других узлах статическую модель без динамической составляющей, это может исказить переходный режим. Чем точнее учтен в модели состав нагрузки, тем лучше. Если состав нагрузки неизвестен или известен приближенно, лучше исходить из среднестатистических значений состава нагрузки, в первую очередь для мощных эквивалентных узлов, чем оставить модель нагрузки, используемую в расчетах установившихся режимов.

При переходе к расчетам динамики использование модели $P_{H2} = \text{const}, Q_{HT} = \text{const}$ в нагрузочных узлах схемы при условии, что не задана динамическая составляющая комплексной нагрузки (не заданы доли асинхронной и синхронной составляющих комплексной нагрузки) является ошибкой, модель энергосистемы из-за некорректной модели нагрузки становится неадекватной.

Модель P_{H2} = const, Q_{HT} = const в динамике придает нагрузке свойства, противоположные свойствам реальной нагрузки, создавая вместо отрицательной обратной связи по отклонениям напряжения в узлах положительную обратную связь, что может привести к неестественной «лавине» напряжения при моделировании коротких замыканий в схеме. Промышленная и бытовая нагрузка всегда зависит от напряжения, причем эта зависимость создает отрицательную обратную связь по отклонениям напряжения, стабилизирующую режим энергосистемы. При понижении напряжения мощность нагрузки уменьшается, препятствуя дальнейшему снижению напряжения, и, наоборот, при повышении напряжения рост мощности нагрузки препятствует его повышению. При качаниях, сопровождающихся изменениями напряжения, такое поведение статической составляющей нагрузки способствует их демпфированию.

10.2 Электромеханические переходные процессы с глубоким снижением частоты и действием АЧР

10.2.1 Подготовка и проведение расчетов

Если прочитан файл схемы в собственном формате программы Powertron (*.cir), то рекомендуется прежде всего создать копию прочитанной схемы командой Файлы/Сохранить как... и в дальнейшем работать с копией схемы.

После импорта схемы из файла в формате ЦДУ необходимо сформировать корректные исходные данные по динамической модели энергосистемы. Только корректные модели элементов энергосистемы и их параметры позволяют получить достоверные результаты.

1. Если при импорте схемы приняты классические модели генераторных узлов, то рекомендуется перейти на *PEq*-модель (см. Схема/Узлы/Коррекция...), так как в этом случае исходный режим может быть сбалансирован с высокой точностью и, следовательно, более точными будут начальные условия.

2. Выбираются модели генераторов (Схема/Генераторы/Модель...) и при необходимости редактируются параметры генераторов, принятые по умолчанию.

В расчетах АЧР генератор нужно моделировать по уравнениям Парка-Горева с учетом демпферной системы. Модель E'-x' совершенно не пригодна для расчетов процессов с понижением/повышением частоты и действием АЧР, ее нельзя применить даже на некоторых "дальних" генераторах схемы. Этой модели присущ дефект, который является причиной получения неправдоподобных результатов, — при значительных посадках напряжения генератор не принимает нагрузку, поскольку возбуждение не регулируется, а, наоборот, разгружается и, при постоянстве момента на валу, ускоряется, что может привести к потере устойчивости.

Модель генератора по уравнениям Парка-Горева **без** учета демпферной системы (исключая старые гидрогенераторы, которые действительно не имеют демпферной системы) также лучше не применять для расчетов процессов при значительных изменениях частоты, т.к. такая модель неверно воспроизводит асинхронные характеристики генератора и их взаимное движение при возникновении больших небалансов генерации и потребления. Кроме того, искажается взаимное движение роторов вращающихся машин в узлах нагрузки и в генераторных узлах. Все это влияет на характер протекания процессов снижения и подъема частоты при действии АЧР.

Для быстрого ввода данных по агрегатам полезны операции копирования и вставки. В процессе ввода данных необходимо обратить внимание на значения номинальных мощностей генераторов. Они должны соответствовать или реальным генераторам, или значениям Рген в таблице данных узлов. Необходимо привести Рген и Рном в соответствие друг с другом, причем нельзя забывать и про число параллельно включенных генераторов (Вкл.||). При редактировании полезны команды включения синхронного отображения информации во взаимосвязанных окнах.

3. Вводятся данные по Возбуждению+АРВ, Турбине+АРС, используются операции копирования и вставки.

Если у агрегатов заданы Турбина и APC, то переходный процесс будет рассчитан с учетом действия APC, т.е. при мобилизации вращающегося первичного резерва мощности, если он имеется.

Если необходимо рассчитать "чистый" АЧР без учета влияния первичного резерва мощности, реализуемого действием АРС, то все или часть генераторов нужно моделировать с постоянным моментом на валу. Задать постоянный момент на валу можно тремя способами.

Первый способ. У одного из агрегатов, который окажется в дефицитной части схемы, необходимо задать постоянный момент турбины

Arperat 🛛	Вставить
Генератор Возбуждение АРВ Турбина АРС Тип Постоянный момент -	 генератор систему возбуждения и АРВ кроме PQ/PEqc генераторов турбину и регулятор скорости

скопировать параметры этого агрегата в буфер, выделить агрегаты узлов, попадающих в дефицитный район, которым нужно изменить модель турбины, и вставить Турбину+АРС

в эти агрегаты. При вставке Турбина+АРС агрегатов заменяются постоянным моментом и пустой АРС. Потребуется повторный ввод Турбины+АРС, если нужно провести расчет с учетом вращающегося первичного резерва мощности.

Второй способ. Позволяет сохранить введенные ранее Турбину+АРС. Регуляторы скорости агрегатов, у которых момент должен оставаться постоянным, выводятся из работы. В таблице агрегатов выделяются нужные агрегаты, и вызывается диалог Схема/Генераторы/Модель...

Модель агрегата			
Модель генератора			
Переходная ЭДС Е' за переходной реактивностью X'd			
Парка-Горева, без демпферной системы			
Парка-Горева, с демпферной системой			
🔲 Сверхпереходная симметризация (x''d=x''q)			
🔲 Задать параметры по умолчанию			
💿 турбоагрегат			
С гидроагрегат			
🔲 Ограничение Eqmin определять, используя Qmin			
🔲 Еqmax определять, используя Qmax узла			
APB			
Вывести из работы регулятор возбуждения			
Яго Вывести из работы регулятор частоты врашения			
OK Cancel			

в разделе APC которого ставится галочка "Вывести из работы регулятор частоты вращения" и нажимается OK. Параметры отключенных APC в таблице агрегатов выделяются бледно-серым цветом шрифта:

🔲 Парам	етры агрегатов	
10 Pa 1	🖥 🖉 😭 Ω 💁	
Узел	Тип	Параметры
180	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
1010	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
1030	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
1060	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
2201	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
2202	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
3101	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
4000	С жесткой ООС (п	St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
1		
Генератор	Возбуждение АРВ	Турбина дрс

Для последующего включения APC после расчета AЧP нужно выделить эти агрегаты и, вызвав диалог, снять галочку.

Третий способ. У АРС задается зона нечувствительности больше, чем ожидаемые изменения частоты. Этот способ не рекомендуется применять.

Примечание. У агрегатов, которые при делении схемы на части окажутся в избыточном районе, не рекомендуется моделировать турбину постоянным моментом или отключать APC этих турбин, это приведет к нереальному забросу частоты вращения агрегатов.

4. Динамическая модель комплексной нагрузки узлов должна обязательно иметь двигательную составляющую (конечно, в тех узлах, где есть асинхронная и/или синхронная двигательная нагрузка), в противном случае при расчетах АЧР не будет учтена кинетическая энергия вращающихся масс агрегатов двигатель-механизм. Чтобы правильно воспроизводились процессы перераспределения кинетической энергии между вращающимися машинами при возникновении угловых ускорений и значительных изменениях частоты необходимо двигатели моделировать по уравнениям Парка-Горева с учетом переходных процессов в роторных контурах. Уравнения двигателей, полученные на основе статических схем замещения, не пригодны, т.к. при их использовании нельзя получить единую электромеханическую систему вращающихся машин. Поскольку в программе асинхронный и синхронный двигатели, как и генератор, моделируются по уравнениям Парка-Горева с учетом переходных процессов в роторных контурах, обеспечивается правильная взаимосвязь движения роторов вращающихся машин. При этих условиях в расчетах АЧР могут быть получены достоверные скорости снижения и подъема частоты, т.к. правильно воспроизводятся изменения кинетической энергии вращающихся масс энергосистемы (подразумевается, что значения долей статической и динамической составляющих комплексной нагрузки узлов оценены с достаточной для проводимых расчетов точностью).

Статическая составляющая комплексной нагрузки должна зависеть от напряжения и частоты, т.е. должны быть заданы СХН и Кf. Представление нагрузки постоянными значениями P+jQ недопустимо, т.к. при возникновении большого дефицита генерации происходит снижение напряжения в узлах схемы, что при постоянстве P+jQ может привести к возникновению противоестественной лавины напряжения, разгрузке генераторов и их ускорению.

5. Вводятся данные по автоматикам АЧР в узлах схемы, число автоматик не ограничено. Если для создания дефицита генерации схема делится на части, то в избыточной части может потребоваться автоматика разгрузки генераторов. (Разработка модели автоматики находится в стадии совершенствования структуры модели, пока создана модель АЧР).

6. Вводятся в автоматике возмущения исходного режима, приводящие к большому дефициту генерации в схеме в целом или в каком-либо ее районе. Например,

- отключение связей, приводящее к разделению схемы на части с избытком и с дефицитом генерации. В избыточной части генераторы должны иметь турбину с APC. Если использовать модель с постоянным моментом турбины, это приведет к нереальному забросу частоты вращения генераторов. (Если неадекватная модель оставлена сознательно, то, очевидно, нужно проигнорировать этот нереальный заброс, программа рассчитывает режим, заложенный пользователем);
- отключение одного или нескольких генераторов, см. Схема/События/В узле...

Рекомендуется возмущение исходного режима устраивать не в момент начала расчета переходного процесса (t=0), а через несколько секунд от этого момента, что позволит отобразить на графиках исходный невозмущенный режим.

7. Перед пуском расчета переходного процесса нужно в диалоге Опции/Динамика прове-

рить и, если установлена, то снять галочку Узлы свертки "бесконечной мощности", чтобы генераторы в базисном узле и в узлах свертки могли изменять свою частоту вращения. Целесообразно также задать ориентировочное время расчета переходного процесса, одолжительность расчета динамики 50

например,

хотя расчет можно приостановить, построить и посмотреть графики, потом продолжить, если не редактировались данные.

При приостановке и последующем возобновлении расчета файлы графиков переходных процессов будут переписаны с момента возобновления расчета. Поэтому уже построенные графики не следует закрывать, чтобы была полная картина переходного процесса.

8. Запускается расчет динамики командой Динамика/Расчет, 🕩. В ходе расчета в журнале появляются записи о возникшем возмущении, срабатывании реле частоты АЧР-2 и АЧР1 во всех задействованных узлах схемы, отключении очередей и др.

9. Для анализа процессов строятся графики переходных процессов pp generator.pts, **pp_Unode.pts**, отфильтровываются нужные кривые. Для анализа процессов изменения частоты для генераторов нужно вывести кривые момента турбины, момента генератора, и частоты вращения ротора (см. описание файлов с графиками переходных процессов).

10.2.2 Особенности расчетов при действии АЧР

При проведении расчетов необходимо иметь в виду некоторые факторы, которые были выявлены в ходе тестирования программы:

1. При заведомо большом созданном дефиците генерации в ходе расчета процесса частота не понижается даже до уставки первой очереди АЧР. Расчет ведется при наличии у агрегатов Турбины+АРС.

Причины непонятного поведения программы кроются, как правило, в некорректных параметрах динамической модели одного или нескольких агрегатов.

1.1. Большой запас вращающегося резерва из-за того, что после импорта схемы в формате ЦДУ номинальные мощности генераторов Рном не были приведены в соответствие с реальными генераторами/(генерацией в узле Рген) или после коррекции забыли сохранить отредактированную схему при выходе из программы. При автоматическом задании параметров динамической модели агрегата по умолчанию номинальные мощности генераторов при оценке на основе противоречивой информации могут получиться заметно больше, чем у реального генератора. Необходимо корректно задать расчетные условия и привести в соответствие Рном и Рген. При подготовке расчетных условий целесообразно установить/определить/взять нормированный первичный резерв мощности и распределить его между агрегатами. У агрегатов, не задействованных в первичном регулировании частоты нужно вывести из работы АРС.

1.2. Неверно заданы параметры Турбина+АРС. Например, у паровой турбины доля мощности части высокого давления задана равной 1 и/или задана нереально малая постоянная времени ЧВД турбины (эти значения остались после динамического балансирования/утяжеления установившегося режима). Это резко улучшает динамические характеристики паровой турбины и делает неправдоподобно высокой скорость мобилизации первичного резерва (особенно на фоне п.1.1), размещенного на тепловых станциях (на графиках переходных процессов генераторов это хорошо видно).

1.3. У всех АРС гидротурбин отключен канал гибкой обратной связи, что также улучшает их динамические характеристики, либо задана нереально малая постоянная времени сервомотора направляющего аппарата.

Узлы свертки "бесконечной мощности" 1.4. Забыли снять галочку в настройках Опции/Динамика, чтобы "освободить" генератор в базисном узле перед расчетом АЧР.

2. При расчете "чистого" АЧР без первичного резерва мощности на графиках переходных процессов частота вращения генераторов не понижается, а остается постоянной, или у ге-
нераторов дефицитной части схемы частота после возмущения сначала падает, а потом они начинают разгоняться, аналогично генераторам в избыточной части.

Причины абсурдных результатов:

2.1. Забыли изменить модель генератора *E'*-*x'*, которая принимается по умолчанию, на модель по уравнениям Парка-Горева с учетом демпферной системы. Изменение модели производится в диалоге Схема/Генераторы/Модель...

2.2. У всех или некоторых генераторов либо задано *постоянное возбуждение*, либо при выбранной системе возбуждения *нет APB или он выведен из работы*. При возмущении такие генераторы не участвуют в поддержании напряжения, это приводит к большому снижению напряжения в схеме, последующему "опрокидыванию" асинхронной нагрузки и дальнейшему снижению напряжения. При большом снижении напряжения происходит разгрузка агрегатов и их разгон.

2.3. Забыли определить динамическую модель нагрузки в узлах схемы. Необходимо задать СХН и Кf для статической составляющей нагрузки, а также обязательно нужно задать доли мощности асинхронной и/или синхронной составляющих комплексной нагрузки, если в узле есть двигательная нагрузка. При неверной модели нагрузки вслед за первоначальным понижением напряжения в узлах схемы может произойти дальнейшее его снижение, это видно на графиках **pp_node.pts.** При большом снижении напряжения агрегаты разгружаются (электромагнитный момент генераторов уменьшается, а момент турбины постоянный) и начинают разгоняться.

2.4. Наложение ошибок. В неясной ситуации нужно повторить все этапы подготовки исходных данных с тщательным контролем параметров динамической модели энергосистемы.

3. Даже при сравнительно небольшом дефиците генерации частота падает ниже 45 Гц. Причина, скорее всего, в неверной динамической модели комплексной нагрузки, не исключаются и другие ошибки. Необходимо задать Кf для статической составляющей и асинхронную и/или синхронную составляющие комплексной нагрузки. Если этого не сделать, то не учитываются регулирующий эффект статической нагрузки при снижении частоты, а также влияние двигателей на процессы снижения и подъема частоты.

Если попытаться учесть двигательную нагрузку в тех узлах схемы, где она есть, вариациями значений Kf и не задавать доли асинхронной и синхронной составляющих в комплексной нагрузке, то будет сформирована неадекватная для AЧP модель нагрузки энергосистемы. Такая модель не учитывает кинетическую энергию, запасенную во вращающихся массах агрегатов электродвигатель-механизм.

Примечание. В необходимости использования адекватных моделей легко убедиться, сделав серию расчетов переходных процессов при действии АЧР, изменяя модель комплексной нагрузки энергосистемы и модель генераторов. Удобнее всего это наблюдать на сравнительно небольших схемах, что уменьшает объем графиков переходных процессов, например, на известной учебной схеме Тренэнерго.

4. После расчета АЧР при попытке рассчитать исходный установившийся режим он не балансируется. Причина обычно в разделении схемы на части с несбалансированными генерацией и нагрузкой. При снятой галочке Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета в опциях программы Опции/Динамика по окончании расчета ветви схемы, отключенные действиями автоматики, остаются в отключенном состоянии.

Для возврата ветвей схемы в исходное состояние необходимо в опциях программы Опции/Динамика установить галочку Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета, либо связи коммутируются вручную, причем это нужно сделать до запуска расчета установившегося режима. Связи включаются в таблице данных ветвей, для чего нужно отфильтровать отключенные ветви и выполнить групповую коммутацию. После этого можно запустить расчет установившегося режима. Если же после расчета АЧР с разделением схемы на части сразу, до восстановления ее исходного состояния, будет запущен расчет установившегося режима, то, как правило, установившийся режим в разделенной на части схеме не существует, а при сведении баланса мощности несуществующего режима в узлах свертки образовавшихся частей схемы режим генераторов изменится. Это может послужить причиной того, что после восстановления единой схемы включением отключившихся связей и повторного запуска расчета исходный режим снова не балансируется. Причина уже другая — режим просто не существует, т.к. в узлах свертки схемы, которые теперь обрабатываются как обычные генераторные узлы, остались модифицированные значения генерации, и ее изменения оказались настолько большими, что условия задачи стали несовместными. Чтобы сбалансировать исходный режим, необходимо теперь вручную в таблице данных узлов вернуть прежние значения генерации Рген в бывших узлах свертки.

Чтобы в расчетах АЧР избежать указанных проблем, в опциях программы Опции/Динамика следует установить галочку Г Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета.

10.2.3 Пример расчета переходного процесса при действии АЧР

Режимная схема условной ЭС Тренэнерго представлена на рис.8.7.1. Из описания энергосистемы:

ГРЭС-1: 4x300 МВт, 24 Мпа, 540°С, ТГВ-300, тех. минимум турбоагрегата— 100 МВт, емкостной режим генераторов не допускается. ГЭС: 4 ПЛ гидроагрегата мощностью по 220 МВт. ТЭЦ-1: 4 турбоагрегата по 25 МВт, турбина типа Р-25-90. ТЭЦ РМЗ: 4 турбоагрегата по 25 МВт. Турбина типа Р. ЭС-1: 4x300 МВт. ЭС-2: 4x200 МВт.

Требуется рассчитать электромеханический переходный процесс при разрыве транзита ГРЭС-1 — ПС Южная и действии АЧР. Потребление в Тренэнерго, ЭС-1 и ЭС-2 максимальное (зимний максимум).



Рис.8.7.1. Схема условной энергосистемы Тренэнерго

10.2.3.1 Подготовка исходной информации

После импорта схемы в унифицированном формате ЦДУ необходимо ввести недостающие параметры динамической модели энергосистемы, т.к. они отсутствуют в данных импортируемой схемы:

- задать адекватную модель генераторов,
- задать Возбуждение+АРВ, Турбины+АРС,
- задать параметры комплексной динамической нагрузки.

Из меню Схема/Генераторы... открывается окно для ввода/коррекции параметров агрегатов и формируются данные по генераторам:

1) в таблице агрегатов выделяются все генераторы и в диалоге Модель агрегата, вызываемом командой Модель... контекстного меню, выбирается модель по уравнениям Парка-Горева с демпферной системой, нажимается ОК или Enter.

🔲 Параметры агрег	Модель агрегата
(⊖ 🗈 🛍 🖉 😭 1 Узел Типген	Модель генератора О Переходная ЭДС Е' за переходной реактивностью X'd
1010 1030 1060 2201	 Парка-Горева, без демпферной системы Парка-Горева, с демпферной системой Сверхпереходная симметризация (x"d=x"q)
3101 4000	🔲 Задать параметры по умолчанию
Каратор Возбуждени	 турбоагрегат гидроагрегат

2) в диалоге Агрегат, вызываемом командой Параметры... контекстного меню, вводятся данные по возбуждению, АРВ, турбинам и АРС для всех генераторов.

Агрегат	×
Генератор Возбуждение АРВ Турбина АРС	
Каталог 📃 🖬 🗙	

Идентичные системы возбуждения и первичные двигатели можно скопировать и вставить, см. описание меню Схема/Генераторы/Вставить... Ниже на скриншотах показаны параметры агрегатов, использованные в расчетах. Приняты параметры по умолчанию.

🔲 Параме	етры агрегатов			
10 🖻 🛱	ຍ 👂 ລ 🛃			
Узел	Тип		Параметры	
180 1010 1030 1060 2201 3101 4000	Независимое электро Самовозбуждение бе Бесщеточное тиристо Независимое электро Независимое тиристо Независимое тиристо Независимое тиристо	омашинное вз сериесн орное орное орное орное орное	Тв=0.300 Кф=2.0 Крф=1.0 Тф=0.200 Трф=0.300 Тв=0.040 If.max/If.ном=2.0 Тв=0.040 If.max/If.ном=2.0 Тв=0.300 Кф=2.0 Крф=1.0 Тф=0.200 Трф=0.300 Тв=0.020 If.max/If.ном=2.0 Тв=0.020 If.max/If.ном=2.0 Тв=0.020 If.max/If.ном=2.0	
Генератор	Возбуждение АРВ	Турбина	APC	
🔲 Параме	етры агрегатов			
1⊙ 🖻 🖥	e ₽ Ω [🚰			
Узел	Тип	Пар	аметры	
180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 <	Корректор напряжен Сильного действия С Сильного действия А Корректор напряжен Сильного действия А Сильного действия С	ия Ku=2 ДП1 U0= IPB-M U0= ия Ku=2 IPB-M U0= IPB-M U0= ДП1 U0=	25.00 Tu=0.100 Uф=0.80 Upф=0.80 Ki=0.70 K0u=25.00 K1u=0 K0f=0 K1f=0 K1if=0 K0u=25.00 K1u=0.00 K0f=0.00 K1f=0.00 K1f=0.00 25.00 Tu=0.100 Uф=0.80 Upф=0.80 Ki=0.70 K0u=25.00 K1u=0.00 K0f=0.00 K1f=0.00 K1f=0.00 K0u=25.00 K1u=0.00 K0f=0.00 K1f=0.00 K1f=0.00 K0u=25.00 K1u=0 K0f=0 K1f=0 K1f=0	
Генератор	Возбуждение дрв	Турбина	APC	
🔲 Параме	етры агрегатов			
<mark>— Параме</mark> (© ₽≞ 😭	етры агрегатов 🖉 🔗 Ω 🛃			
<mark>— Параме</mark> 0⊙ ва в Узел	етры агрегатов	Параметр		
<mark>Параме</mark> (⊙ ва па Узел 180	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00	сарания ры 0 Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00	
Параме (Ю) Ва С Узел 180 1010	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00	ры 0 Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 0 Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00	
Параме (Ю) В С Узел 180 1010 1030 1060	 Этры агрегатов Э Ω Э Ω Тип Паровая турбина Паровая турбина Паровая турбина Паровая турбина 	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00	
■ Параме () ■ ■ ■ Узел 180 1010 1030 1060 2201	 С С С С С С С С С С С С С С С С С С С	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00	
Параме (€ ■ П Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101	 С регатов С регатов С регатов Паровая турбина 	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00	Del D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 0 Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 0 Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00	
Парами Ø Pan V3en 10 1010 1030 1060 2201 3101 4000 <	Стры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Квд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00	
Парами	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00	Del D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.20 Тцвд=0.20 Тцвд=0.20 D Pmax=0.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.20 Тцвд=0.20 Тцвд=0.20 D Pmax=0.00 Pmin=0.0	
Параме (€) В П Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Параме	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Рлот=1.00	Del Del D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=0.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.20 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=0.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.20 Тцвд=0.20 Тцвд=0.20 D Pmax=0.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.20 Тцвд=0.20 Тцвд=0.20	
Парами () В С Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами () В С С	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Рлот=1.00	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 MAPC	
Парами (♥ ■ П Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парамие (♥ ■ П Узел	етры агрегатов	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Рпот=1.00	Ові О Ртах=1.00 Ртіп=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 АРС Параметры	
Парами (♥ ■ П Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парамия (♥ ■ П Узел 180 Узел 180	<td <td<="" td=""><td>Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Стурбина</td><td>Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Квдд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 MAPC Параметры St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20</td></td>	<td>Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Стурбина</td> <td>Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Квдд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 MAPC Параметры St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20</td>	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Стурбина	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Квдд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 MAPC Параметры St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20
Парами () Ва С Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Сенератор Парами () Ва С Узел 180 1010 1030 1010 1030		Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С пом=1.00 С	Del D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тв=2.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Тс=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=5.00 Tr=5.00 Kr=5.00 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	
Парами () В П С Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами () В П С Узел 180 1010 1030 1010 1030 1050		Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С пом=1.00 С	Del D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 Max=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	
Парами (♥ ■ П Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами (♥ ■ П 1010 1030 1010 1030 1010 1030 1060 2201		Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С ги DBBAS ТУР DOC (ги DBAS ТУР DBAS ТУР DBAS ТУР	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=5.00 Tr=5.00 Kr=5.00 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	
Парами (♥ ■ Парами Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами (♥ ■ Парами Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 1030 1060 2201 3101 1050		Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С Гилана С Турбина С Гилана С Гилана	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 MAPC APC Imapamemptal St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	
Парами () Ва С Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами () Ва С Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 1050 2201 3101 1050	Паровая турбина Тип Паровая турбина Возбуждение АРВ Стры агрегатов О О Тип Сжесткой ООС (паро С жесткой ОС (паро С	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С уробина Турбина С С (ги реая тур реая тур реая тур реая тур реая тур реая тур	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцяд=0.50 Тцяд=0.20 Тцнд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцяд=0.50 Тцяд=0.20 Тцяд=5.00 D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцяд=0.50 Tцяд=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	
Парами (♥ ■ Парами Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < Генератор Парами (♥ ■ Парами Узел 180 1010 1030 1060 2201 3101 4000 < 2201 3101 4000 </td <td> с с жесткой ООС (паро С жесткой ООС (паро)) </td> <td>Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С ги разя тур разя тур разя тур разя тур</td> <td>Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20</td>	 с с жесткой ООС (паро С жесткой ООС (паро)) 	Параметр Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 Pnom=1.00 С ги разя тур разя тур разя тур разя тур	Dbl D Pmax=1.00 Pmin=0.00 Кцвд=0.50 Тцвд=0.20 Тцнд=5.00 St=0.0475 Dz=0.000 Tc=0.20	

Примечание. Мертвая зона АРС при большом возмущении не учитывалась.

Из меню Схема/Нагрузка... открывается окно для ввода параметров комплексной нагрузки узлов. Заданы доли мощности асинхронной и синхронной составляющих комплексной нагрузки тех узлов, в которых есть двигательная нагрузка. Можно использовать диалог Параметры... с последующим копированием и вставкой, а также вводить данные прямо в таблице. (При вставке не копируются параметры нагрузки, связанные с таблицей данных узлов, они автоматически вычисляются при копировании).

🔲 Парал	Параметры нагрузки											
Узел	Ксн	Рсн	Q	сн CXH	Кf	Кад	Рад	Q ад	Ксд	Рсд	~	
10	0.70	188.27	71	50	0.00	0.30	81.27	38.89				
20	0.40	190.69	10:	🐺 Параме	тры	0.40	200.00	95.53	0.20	100.00		
30	0.70	73.29	- 39	^с хн СХН		0.30	36.00	17.25				
51	0.50	73.09	8			0.30	43.50	20.84	0.20	29.00	Ξ	
52	0.40	58.47	-	Въ Колиро	RATH	0.50	72.50	34.74	0.10	14.50		
60	0.50	110.96	34		barb	0.30	70.74	33.78	0.20	47.16		
81	0.70	50.88	14	📴 Вставит	гь	0.30	21.60	10.35				
82	0.50	36.34	14			0.30	21.60	10.35	0.20	14.40		
90	0.50	63.82	- 28	🔄 Синхро	нно	0.30	40.50	19.34	0.20	27.00		
111	0.50	23.79	16	83 Оснилл	ограф	0.30	15.00	7.16	0.20	10.00		
112	0.50	23.79	16	ing occurrent	οι ραφ	0.30	15.00	7.16	0.20	10.00		
120	0.50	64.80	- 46	Coversu		0.30	39.00	18.67	0.20	26.00		
150	0.50	21.98	1	Сохран	ить	0.30	13.50	6.45	0.20	9.00		
180	0.20	33.41	-13	Загрузи	пъ	0.70	109.62	52.91	0.10	15.66		
190	0.30	19.45	18				18.90	9.08	0.40	25.20	~	
<												
Комплекси	Комплексная Асинхронная Синхронная											

Параметры эквивалентных асинхронных и синхронных электродвигателей приняты по умолчанию, у синхронных двигателей принято постоянное возбуждение.

Таким образом, сформированы параметры динамической модели энергосистемы

10.2.3.2 Расчетные условия

Рассчитывается исходный установившийся режим. Определяется генерация, нагрузка и дефицит генерации в Тренэнерго, ЭС-1 и ЭС-2 при разрыве транзита ГРЭС-1 — ПС Южная.

При разрыве транзита ГРЭС-1 остается с ОЭС, поэтому потерю генерации можно определить по перетоку активной мощности по этому транзиту, он равен 945 МВт.

🗖 Режим ветвей											
7 🐨 🗟											
🛛 нач 🛛 🖂	N кон	Имя	Рнач	Q нач	Р кон	Q кон	Угол	Iнач	1		
20	30	южн,	472.42	109.70	-476.03	-130.99	-7.00	824.37	80		
20	30	южн,	472.42	109.70	-476.03	-130.99	-7.00	824.37	80 🗸		
<)			>		

Небаланс генерации и потребления можно также оценить, выделив при помощи фильтра район с узлами дефицитной части схемы в окне Режим узлов и воспользовавшись командой Статика/Узлы/Сумма, нагрузка превышает генерацию на 895 МВт, но эта цифра не учитывает потери в сети.

Сумма	X
Генерация: Р 2718	МВт
Q 980	МВар
Нагрузка: Р 3613	МВт
Q 1321	МВар
Шунт:Р0	МВт
Q0	МВар
	ОК

Еще один способ определения небаланса – включение узлов дефицитной части схемы в один район схемы, тогда для этого района из меню Статика/Районы можно получить полный баланс мощности, как показано на скриншоте ниже. С учетом потерь в сети небаланс составляет 945 МВт.

🗆 Районы - баланс мощности 🛛 🔀										
Номер	Имя	Pgen	Qgen	Png	Qng	dP	dQ			
0	Вся сх	4276.90	1389.95	4212.70	1575.60	64.20	-185.65			
1	Tren_d	2718.00	979.78	3612.70	1321.00	50.14	-121.82			

Вращающийся первичный резерв мощности, реализуемый действием первичных регуляторов, имеется на ТЗЦ РМЗ —2 МВТ (2% на четырех агрегатах), в ЭС-1 — 60 МВт (5% на четырех агрегатах) и в ЭС-2 — 100 МВт (15% на трех агрегатах), итого 162 МВт. При наличии АЧР-2 первичный резерв мощности при расчете объема АЧР-1 не учитываем. Дефицит генерации без учета первичного резерва равен (–945) МВт.

Допускаемое снижение 46.5 Гц, оценка объема АЧР-1 равна:

$$P_{A^{4}P-1} = \frac{\sum P_{\mu_{2}} \cdot (f_{y} - 50) \cdot k_{f} - 50 \cdot P_{\mathcal{A}}}{50 + (f_{y} - 50) \cdot k_{f}} = \frac{3613 \cdot (46.5 - 50) \cdot 2 - 50(-945)}{50 + (46.5 - 50) \cdot 2} = 510 \text{ MBt}.$$

Объем АЧР-2 принимаем 90 % от объема АЧР-1 и уменьшаем его на величину первичного резерва: 510.0.9 – 162 =~300 МВт. При таком объеме АЧР-2 подъем частоты не должен превысить 50 Гц.

Для сокращения объема исходной информации по автоматике АЧР в условном примере полагаем, что во всех узлах, задействованных в разгрузке энергосистемы по частоте, применена одинаковая настройка АЧР. В реальных задачах настройки АЧР в узлах могут быть различными, в пределе для каждого узла можно задать свою АЧР с индивидуальными настройками. Принятый способ задания информации по АЧР позволяет сократить число автоматик АЧР, если ее настройки в различных узлах одинаковы.

Настройка АЧР-1 и АЧР-2 показана на копии экрана. Для примера показана возможная старая настройка АЧР (до введения стандарта СО-ЦДУ). Принято пять очередей АЧР-1 и три очереди несовмещенной АЧР-2, совмещенная АЧР-2 отсутствует. Мощность отключаемой нагрузки каждой очередью равна 5% от исходного значения до возмущения. Уставки реле частоты и задержки в отключении приняты по умолчанию типовыми. Совмещения очередей АЧР-1 и АЧР-2 нет.

Автоматика									×
□- ABTOMAT □ pusk_for_alar	Объект Узел	Имя	~	АЧР-1 5	спецочереды	ь и основной дь	і́ массив dF	0.100000	Гц
ADIONAL Pusk_for_alar alar_dz/dt alar_z alar_I arodl Start_achr achr 10 ideal paralleling irt APYM APYM APYM APYM Trenachr	Y3en ¥ 10 20 30 51 52 60 81 82 90 111 120 150 180 190 2201 2101 2202 3101 3102 3104 3108	Имя пс.4002 ЮЖН,330 ГРЭС.ГЕН ЦЕН1,220 ЦЕН2,220 ТЭЦ1.ГЕН УЗЛ1,220 УЗЛ,120 УЗЛ,220 УЗЛ,110 пс.3111 пс.3112 пс.3114 пс.3126 ТЭЦРМЗ.6 РАЙО,110		5 # 1 2 3 4 5 - - - - - - - - - - - - -	 +/- очере F s, Гц 48.50 48.40 48.30 48.20 48.10 48.10 48.10 48.70 48.70	дь <u>F v, Гц</u> 48.60 48.50 48.20 48.20 48.20 48.20 48.20 48.80 48.80 48.80 48.80 48.80 48.80 48.80 48.80 48.80	dF dt, c 0.20	0.100000 P ot, % 5.00	
АЧР Тренэнерго в узлах 10,20,51-180.	Р нг Р нг АЧР-1 Р нг АЧР-2	, МВт 2007.3 , МВт 501.8 2, МВт 301.1							
						ОК		Cancel	

Узлы, задействованные в отключении нагрузки, выделены галочками. Для всех выделенных узлов настройка АЧР одинакова. Под таблицей объектов в ходе выбора объектов (узлов), числа очередей и доли отключаемой нагрузки автоматически вычисляется (суммируется) исходная мощность нагрузки в выделенных узлах (2007 МВт) и объем отключаемой нагрузки АЧР-1 (502 МВт) и АЧР-2 (301 МВт).

В автоматике задается исходное возмущение — отключение транзита ГРЭС-1 — ПС Южная через две секунды от начала расчета переходного процесса:

Автоматика						X
	Факторь	si				
	ID	Имя	Параметры	Объекты		Значение
	t	Время	нет	нет		10.69
□ arodl ☑ start_achr □ achr 10						
ideal paralleling						
APYM	АЛУ					
Ė. • AHP	ID	Выражение		dt, сек.	Значение	
a1	off	t >= 2.0		0.0000	1	
☐ a2 ☑ Trenachr	New					
	Действи	ія /	1			
	ID	Имя	Параметры	Объекты		Статус
	off	Коммутация ветви	н-откл, к-откл	20-30, 20	-30	Готов
Исходное возмущение для АЧР. При отключении двух линий 20-30 Тренэнерго отделяется от ОЭС с дефицитом ~900 МВт.	,	Сброс		ОК		ancel

Для простоты в условном примере полагаем, что обе ветви отключаются одновременно.

10.2.3.3 Расчет

В опциях программы проверяется правильность установок для расчетов АЧР (см. Опции/Динамика, Опции/Дополнительно). Чтобы учесть зависимость реактивностей пассивных элементов схемы от частоты, на вкладке Опции/Дополнительно снимается галочка в чек-боксе Г Не учитывать зависимость параметров ветвей от частоты.

Запускается расчет переходного процесса. В журнале появляются сообщения о протекании процесса, см. раздел 3.6.3.

Для анализа переходного процесса можно осциллографировать частоту вращения генераторов в герцах или построить графики переходных процессов, частоты вращения генераторов находятся в файле pp_generator.pts.

0	scillograph 1							
Ø	🔳 🗙 🗵 🗬) @ Q	Q 🙊 🖽 🕻	: 🕀 🖓	<mark>≁</mark> ⊞			
	Trace	Значение	51				·	
	время gen/180/f, Гц	47.4176	50.5	000				
	gen/1010/f, Гц gen/1011/f, Гц	47.4028 47.4009	50.5	N				
	gen/1030/f, Гц	50.7416 47.4051	50				; 	
	gen/2201/f, Гц	47.4041	40.5					
	gen/3101/f, Гц gen/4000/f, Гц	47.3995 50.7379	49.5					
			49					
			48.5				·	/
			48					
			47.5		Solution and the second			
<			47.5	5		10	15	20



Рис. Переходный процесс при разгрузке Тренэнерго по частоте при отключении транзита ГРЭС-1 — ПС Южная

Осциллографы показывают изменение частоты вращения генераторов в избыточной и дефицитной частях энергосистемы.

Заброс частоты в избыточной части ОЭС составил 51,05 Гц.

В дефицитной части минимальная частота после отключения 5 очередей АЧР-1 составила 47,4 Гц.

Объем АЧР-2 и первичный резерв мощности, реализуемый действием АРС турбин, обеспечивают подъем частоты до 49,8 Гц.

Графики показывают, что задержки в отключении очередей АЧР-2 можно сократить, это уменьшит провал частоты и сократит общее время переходного процесса.

Для проведения нового расчета нужно:

- прежде всего, не забыть включить отключившиеся ветви 20-30, если в Опции/Динамика было снята галочка Восстанавливать состояние ветвей схемы после расчета. Целесообразно проводить расчеты АЧР с включенным возвратом ветвей схемы в исходное состояние, это избавляет от необходимости коммутировать ветви вручную;
- рассчитать установившийся режим;
- изменить настройки АЧР;
- запустить расчет переходного процесса.

Примечание.

1. Если при выходе из программы по запросу на сохранение схемы ответить "Да", то будут сохранены все данные для расчетов статики и динамики, включая автоматику АЧР, а также включенное/отключенное состояние ветвей.

2. Перед сохранением схемы целесообразно включить все отключившиеся в ходе расчета переходного процесса связи до сохранения схемы, иначе при последующем чтении файла и запуске расчета УР может оказаться, что режим не существует.

Целесообразно перед началом работы для страховки создать копию схемы командой «Файлы/Сохранить как...» и работать с копией.

10.3 Расчеты процессов синхронизации/ресинхронизации энергосистем

Примеры расчётов процессов при синхронизации генераторов, ресинхронизации в энергосистемах будут добавлены позже.

10.4 Расчеты процессов пусков и самозапусков синхронных и асинхронных двигателей в узлах нагрузки

Примеры расчётов процессов самозапуска и пуска АД приведены в книге «Устойчивость энергосистем-2.pdf», глава 11.

11. Создание новой электрической схемы

После запуска программы таблицы в окнах Данные узлов и Данные ветвей схемы пустые, можно сразу приступить к вводу данных узлов и ветвей. Создание новой схемы, не выходя из программы, можно начать, выбрав команду Файл/Новый. Открытая схема закрывается, после чего осуществляется ввод новой схемы "с нуля".

1. В процессе создания новой схемы необходимо регулярно сохранять схему в файле, чтобы не потерять результаты ввода при сбоях.

2. Ввод параметров узлов в окне "Данные узлов" и параметров ветвей в окне "Данные ветвей" может производиться в любом порядке. При вводе схемы автоматически проводится топологический анализ схемы. Этот анализ проводится при любом изменении конфигурации вводимой схемы и начинается с поиска базисного узла, который является узлом свертки.

Уже в начале создания схемы целесообразно назначить базисный узел (его можно назначить произвольно, потом изменить). Базисный узел является узлом свертки схемы и необходим для топологического анализа, поэтому его назначение заметно уменьшит количество сообщений в журнале об ошибках при топологическом анализе схемы

3. Рекомендуется вводить сначала ветви, затем узлы вершин ветвей, это уменьшит число последующих коммутаций ветвей и узлов вручную. Если первыми ввести узлы, номеров которых нет у начала или конца уже введённых ветвей, эти узлы автоматически отключаются (их параметры отображаются блеклым серым цветом). При последующем вводе ветви с этим номером, ветвь отключается от ранее отключённого узла. В схему автоматически добавляется узел отключённого конца ветви. Если же первыми вводить ветви, для которых еще нет узлов начала и конца, ветви автоматически отключаются, но после ввода узлов начала и конца ветви автоматически включаются.

Введённые и отключенные ветви и узлы необходимо включать по мере ввода, не откладывая. Номера отключенных концов ветвей генерируются программой автоматически, они могут совпасть с номерами узлов, которые должны будут введены в схему.

Например, после ввода в таблицу Данные узлов нового узла, он будет отключен (отображается в таблице данных узлов блеклым серым цветом), если этого узла еще нет среди вершин включённых ветвей. Если затем ввести ветвь, соединяющую отключенный новый узел с существующим узлом в схеме, конец этой ветви отключается от отключенного узла и для отключенного конца ветви автоматически генерируется новый номер узла, сам узел с этим номером добавляется в схему. Необходимо включить отключенный конец ветви. При этом и отключенный узел, и ветвь включаются, узел становится вершиной ветви, а автоматически сгенерированный узел отключенного конца ветви удаляется из схемы.

Если введено много ветвей и узлов, которые автоматически отключены, то последующее их включение нужно начинать с ветви, у которой узел начала или узел конца уже включены.

4. Обеспечивается автоматическое создание генерирующих агрегатов и комплексных нагрузок с параметрами по умолчанию.

Если в таблице Данные узлов в новом добавляемом в схему узле или в существующем узле задать активную и/или реактивную генерацию, то для такого узла автоматически создается генерирующий агрегат с параметрами по умолчанию. Если в узле задана активная и/или реактивная нагрузка, то для такого узла автоматически создается комплексная нагрузка с параметрами по умолчанию без двигательной составляющей.

Параметры генерирующих агрегатов и комплексной нагрузки можно отредактировать или сразу после ввода данных узла, или после ввода данных по всем или некоторым узлам. Можно копировать и вставлять параметры однотипных элементов.

При удалении генерации из какого-либо узла таблицы Данные узлов автоматически удаляется генерирующий агрегат этого узла. При удалении нагрузки из какого-либо узла

таблицы Данные узлов автоматически удаляется комплексная нагрузка этого узла. Добавить или удалить генератор/нагрузку в таблицах генераторов и нагрузок нельзя.

5. Тип генераторного узла, назначаемого при автоматическом создании нового генератора (при добавлении генерации в узел), связан с Qmin и Qmax. Если и Qmin, и Qmax равны нулю, в узле будет *PQ*-генератор. Если Qmin и/или Qmax не равны нулю, в узле будет *PU*-генератор. В дальнейшем в диалоге Схема/Узлы/Коррекция... можно изменить тип генераторного узла.

При создании новой схемы при добавлении генерации в узел можно сразу назначать в узле *PEq*-генератор даже если Qmin и Qmax равны нулю. Для этого в диалоге Опции/Статика нужно включить опцию ^Г отключить топологический анализ схемы</sup>. В схему будет введен узел с *PEq*-генератором, или в уже введённом узле будет добавлен *PEq*-генератор, у которого будут нулевые Qmin и Qmax. Однако при запуске расчёта УР он получит тип *PEqc*-генератора. Чтобы он оставался *PEq*-генератором, нужно ввести Qmin и/или Qmax.

<END>