

1. Характеристика программных модулей RastrWin3

Программный комплекс RastrWin3 (далее – ПК) предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электроэнергетических систем (ЭЭС).

Пользовательский интерфейс ПК содержит следующие модули:

Модуль RASTRWIN

1. расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0,4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети);
2. расчет установившихся режимов с учетом частоты;
3. проверка исходной информации на логическую и физическую непротиворечивость;
4. эквивалентирование электрических сетей;
5. оптимизация электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности;
6. расчет положений регуляторов трансформатора под нагрузкой и положений вольтодобавочных трансформаторов;
7. учет изменения сопротивления АТ при изменении положений РПН;
8. расчет предельных по передаваемой мощности режимов ЭС, определение опасных сечений (ОС);
9. структурный анализ потерь мощности по характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения;
10. проведение серийных (многовариантных) расчетов по списку возможных ситуаций, например, многовариантные ремонтные режимы;
11. моделирование отключения ЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце;
12. моделирование генераторов и возможность задания PQ -диаграмм;

13. моделирование зависимостей $Q_{\max(V)}$ генератора с учетом ограничений по токам ротора и статора;
14. моделирование линейных и шинных реакторов, в том числе с возможностью их отключения;
15. анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи (ЛЭП) и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры;
16. расчет сетевых коэффициентов, позволяющих оценить влияние изменения входных параметров на результаты расчета, и наоборот, проанализировать чувствительность результатов расчета к изменению входных параметров;
17. расчет агрегатной информации (потребление, генерация, внешние перетоки) по различным территориальным и ведомственным подразделениям;
18. сравнение различных режимов по заданному списку параметров;
19. расчет режима коротких замыканий (КЗ);
20. расчет утяжеленных режимов для определения критерия статической апериодической устойчивости.

Модуль RASTRKZ

1. расчет металлических коротких замыканий;
2. расчет влияния размыкания линий на токи короткого замыкания и шунты;
3. расчет шунта короткого замыкания для моделирования КЗ в расчете установившегося режима и электромеханических переходных процессов;
4. расчет тока в грозотросе ЛЭП.

Модуль RusTab

1. расчёт электромеханических переходных процессов двигательной и генераторной нагрузки с учётом параметров предшествующего режима;
2. расчёт электромагнитных переходных процессов двигательной и генераторной нагрузки с учётом параметров предшествующего режима;

3. моделирование систем возбуждения, АРВ, а также систем форсировки и расфорсировки синхронных машин;
4. моделирование систем ограничения перевозбуждения и недо возбуждения синхронных машин.

2. Моделирование элементов ЭЭС в ПК

2.1 Подготовка исходных данных

Перед проведением расчетов необходимо подготовить исходные данные по схеме в форме, понятной ПК. Для этого необходимо:

1. иметь начерченную схему с указанием схемных параметров узлов и ветвей;
2. пронумеровать все узлы схемы, включая все промежуточные узлы. Узел в исходных данных программы соответствует электрическим шинам. Номер узла должен быть уникальным положительным числом. Для каждого узла определить его номинальное напряжение и нанести на схему. Для каждого узла нагрузки определить способ ее задания;
3. для узлов с синхронными машинами (СМ) определить активную мощность генерации, пределы регулирования реактивной мощности (Q_{min} – Q_{max}) и заданный (фиксированный) модуль напряжения ($V_{зд}$). Особенности задания исходных данных для таких узлов объясняются действием регуляторов возбуждения СМ. Обычно СМ поддерживает неизменным модуль напряжения на шинах высокого напряжения (за трансформатором) или на шинах генераторного напряжения за счет регулирования реактивной мощности, выдаваемой СМ. Минимальная реактивная мощность Q_{min} соответствует $\cos\varphi=0,96$, а максимальная – $\cos\varphi=0,85$ (для некоторых турбогенераторов минимальное значение $\cos\varphi=0,80$). В ходе расчета режима ПК контролирует реактивную мощность и при нарушении одного из заданных пределов фиксирует реактивную мощность на его значении и освобождает модуль напряжения;

4. при наличии в узле шунтов на землю, например, батареи статических конденсаторов (БСК) или шунтирующего реактора (ШР) определить их проводимость в микросименсах (мкСм) и нанести на схему;
5. для ЛЭП определить продольное сопротивление и проводимость (проводимость задается в мкСм, а емкостный характер отражается знаком «минус»). При наличии в сети группы параллельных линий, необходимо присваивать каждой из них свой номер в группе;
6. для трансформаторов определить сопротивления, проводимость шунта на землю и коэффициент трансформации, равный отношению низшего номинального напряжения к высшему, таким образом, коэффициент трансформации будет меньше единицы для понижающих трансформаторов;
7. автотрансформаторы (АТ) и трехобмоточные трансформаторы представить по схеме звезда с промежуточным узлом и тремя ветвями, две из которых имеют коэффициенты трансформации;
8. определить номер балансирующего узла и его модуль напряжения.

2.2 Ввод исходных данных для узлов схемы

Перед вводом новой схемы целесообразно выполнить команду **Файлы–Новый** и отметить галочкой тип файла **Режим.rg2** (рис. 1).

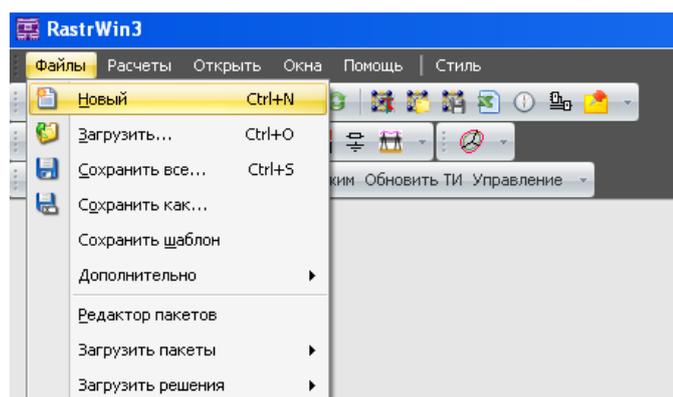


Рисунок 1 – Команда **Файлы–Новый**

Для ввода исходных данных необходимо выбрать меню **Открыть–Узлы–Узлы** и **Открыть–Ветви–Ветви**. На экране появятся два окна, содержащие пустые таблицы для ввода узлов и ветвей (рис. 2).

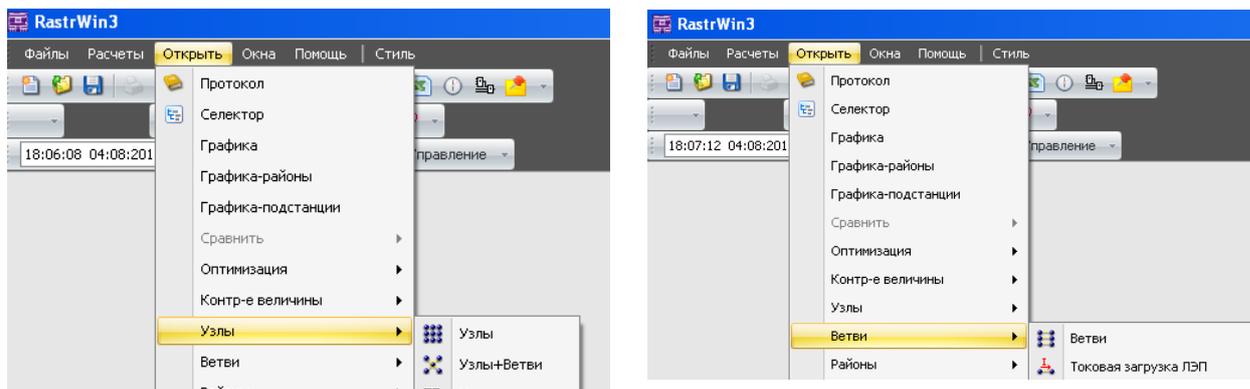


Рисунок 2 – Меню **Открыть–Узлы–Узлы** и **Открыть–Ветви–Ветви**

Ввод исходных данных по схеме следует начинать с вкладки «Узлы». Один или более узлов могут быть назначены базисными (балансирующими), для чего в меню «Тип» этого узла надо выбрать строку «База».

Для узлов (рис. 3) задают: название, номер, тип, активную и реактивную нагрузки (либо генерацию), заданное (стартовое) и номинальное напряжения, проводимости (для индуктивных и ёмкостных элементов, подключенных в узле), пределы по реактивной мощности.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N_схн	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max
1	<input type="checkbox"/>		Ген	2 201	ЭС-2 330 кВ	330					1 200,0	904,7	340,0	336,0	10 000,0
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 202	ЭС-2 220 кВ	220			370,0	175,0					
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	150	ПС Лесная	220			50,0	20,0					
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	160	ТЭЦ РМЗ 220 кВ	220									
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	170	ТЭЦ РМЗ 110 кВ	110			107,0	41,0					
6	<input type="checkbox"/>		Ген	1 801	ТЭЦ РМЗ 6 кВ	6			107,0	41,0	120,0	122,9	6,3	33,6	10 000,0

Рисунок 3 – Фрагмент исходных данных по узлам

На рис. 3 по столбцам слева направо:

1. название узла – вводится произвольно, но не более 256 символов;
2. номер узла (N) – любое целое число от 1 до 2147483647, кроме нуля;
3. тип – в ПК каждый узел имеет определенный тип: балансирующий узел (базисный) – в узле зафиксированы модуль U и угол напряжения dU , а величины активной $P_г$ и реактивной мощностей $Q_г$ рассчитываются с помощью ПК; нагрузочный узел – признак фиксации мощностей нагрузки

$P_n = \text{const}$, $Q_n = \text{const}$ в узле, либо нагрузка задана значениями проводимостей $P_n = g_n U_n^2$, $Q_n = b_n U_n^2$. Рассчитываемыми параметрами являются модуль и фаза напряжения узла. Активная и реактивная мощности нагрузки узла задаются в **МВт** и **Мвар** соответственно.

Модели нагрузок могут быть заданы статическими характеристиками активной и реактивной мощности по напряжению $P_n = P_n(U_{\text{ном}})$, $Q_n = Q_n(U_{\text{ном}})$ (рис. 4).

	№схн	P0	P1	P2	Q0	Q1	Q2
1	61	1,000			2,204	-4,049	2,271
2	62	1,000			-1,264	2,933	-1,177

Рисунок 4 – Задание статических характеристик по напряжению в виде коэффициентов полиномов

ПК обеспечивает возможность задания статических характеристик по напряжению в виде известных коэффициентов полиномов отдельных электроприемников (ЭП), либо всего нагрузочного узла. При задании статических характеристик отдельных ЭП базовая активная и реактивная мощности определяются в результате анализа суточного графика нагрузки электроустановки. При отсутствии этих данных в качестве базовых принимаются номинальные параметры электроустановки. В случае если к узлу подключено несколько ЭП с различными статическими характеристиками, в схеме замещения создается несколько фиктивных узлов, соединённых между собой связями с нулевым сопротивлением, и в каждом из узлов задается статическая характеристика, соответствующая отдельному ЭП.

4. номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$) – модуль номинального напряжения в узле, кВ;

5. активная и реактивная проводимости шунта в узле ($G_{ш}$ и $B_{ш}$), мкСм. Индуктивная проводимость задается со знаком «+», а емкостная – со знаком «-»;

6. Для балансирующего узла задается напряжение на шинах, постоянное по модулю и фазе $U_r = \text{const}$, $\delta_r = \text{const}$.

Для ветвей (рис. 5) задают: названия узлов начала и конца связи, номера узлов, номер параллельности, название связи, сопротивления связи (активные и реактивные), проводимости связи и коэффициент трансформации для трансформаторов и АТ. При вводе данных по ветвям задаются номера узлов, ограничивающих ветвь. Разделение ветвей на ЛЭП и трансформаторы осуществляется программой по значению, проставленному в поле Кт/г (коэффициент трансформации): для ЛЭП это поле остается пустым, для трансформаторов – обязательно заполняется значением.

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	ID Группы	Название	R	X	B	Кт/г	N_анц
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р	2201	2202			ЭС-2 330 кВ - ЭС-2 220 кВ	0,31	14,35		0,697	
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2201	100			ЭС-2 330 кВ - ПС Восточная 330 кВ	3,65	32,30	-346,0		
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2202	150			ЭС-2 220 кВ - ПС Лесная	9,60	42,90	-264,5		
4	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	150	160			ПС Лесная - ТЭЦ РМЗ 220 кВ	4,80	21,45	-132,2		
5	<input type="checkbox"/>		Тр-р	160	170			ТЭЦ РМЗ 220 кВ - ТЭЦ РМЗ 110 кВ	1,04	49,00		0,526	

Рисунок 5 – Фрагмент таблицы исходных данных по ветвям

На рис. 5 слева направо:

1. названия узлов, ограничивающих заданную ветвь – произвольные, но не более 256 символов. Названия узлов не редактируются, так как они автоматически переносятся из таблицы узлов. Номера узлов, ограничивающие заданную ветвь – $N_{нач}$, $N_{кон}$. Если ветвь содержит трансформатор, то его параметры должны быть приведены к напряжению стороны высокого напряжения;
2. номер параллельности ($N_п$) – номер ветви в группе параллельных ветвей, любое целое число;

3. сопротивления связи (R, X) – активное и реактивное сопротивления связи, Ом;
4. проводимости связи (G, B) – активная и реактивная проводимости связи, мкСм. Проводимость индуктивного характера вводится со знаком «+», емкостного – со знаком «-»;
5. $K_{T/g}$, $K_{T/i}$ – вещественная и мнимая составляющие коэффициента трансформации, задаются отношением $U_{\text{нном}}/U_{\text{вном}}$ трансформатора.

2.3 Примеры ввода исходных данных

Модели узлов с генерацией (рис. 6). В ПК заложены возможности моделирования генераторов в расчетах установившихся режимов по следующим вариантам: задаются P_G и U_G , а Q_G и δ_G рассчитываются; задаются P_G и Q_G , а U_G и δ_G рассчитываются. Реальный режим работы генератора в установившемся режиме отражает PU -модель, так как можно считать, что напряжение на выводах генератора поддерживается почти неизменным за счет действия автоматического регулятора возбуждения, а активная мощность определяется нагрузкой турбины и от электрического режима не зависит. При использовании PU -модели задаются также пределы по максимуму и минимуму реактивной мощности генератора Q_{Gmax} и Q_{Gmin} . Если в процессе расчета реактивная мощность достигает предельного значения по максимуму или минимуму, то автоматически происходит замена PU -модели на PQ -модель с фиксацией реактивной мощности соответственно на уровне Q_{Gmax} или Q_{Gmin} . Достижение предельных значений по реактивной мощности означает, что заданное значение напряжения генератора не может поддерживаться при заданном значении активной мощности. На практике режим работы генератора контролируется не по реактивной мощности, а по току статора и ротора.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta	Рай...
25	<input type="checkbox"/>		Нагр	25	Парабель-110	110										8 256,0	113,39	-6,04	
26	<input type="checkbox"/>		Ген	26	Лугенецкая	110			15,3	6,8	5,2	0,8	114,0	-500,0	500,0		114,00	-9,85	
27	<input type="checkbox"/>		Ген	27	Игольская	110			26,8	10,6	16,8	8,0	114,0	-500,0	500,0		114,00	-11,54	

Рисунок 6 – Пример задания исходных данных для генераторного узла

Кроме того, для одного из источников, называемого балансирующим, задается напряжение на шинах постоянное по модулю и фазе $U_r = \text{const}$, $\delta_r = \text{const}$. Например, если за балансирующие узлы приняты шины 500 кВ ПС 500кВ Итатская и шины 220 кВ ПС 220 кВ Нижневартовская, то ввод исходных данных будет выглядеть так, как это показано на рис. 7.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta	Рай...
1	<input type="checkbox"/>		Нагр	1	Томская 500	500					0,0	-207,0					514,01	-3,15	
2	<input type="checkbox"/>		База	2	Итатская	500			-433,1	-332,8	-701,7	-185,4	515,0	-500,0	500,0	1 306,0	515,00	-10,27	
3	<input type="checkbox"/>		Ген	3	Ново-Анжер.	500			1 159,9	190,0	-372,0	620,0	514,0	-500,0	1 000,0	1 306,0	514,00	-11,33	

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta	Рай...
22	<input type="checkbox"/>		Нагр	22	Чапаевка	220			85,6	2,6							231,17	-5,05	
23	<input type="checkbox"/>		Нагр	23	Сов.-соснинская	220			80,4	46,5							230,41	-1,99	
24	<input type="checkbox"/>		База	24	Н.Вартовская	220					234,7	-139,2	228,0	-500,0	500,0		228,00	0,15	

Рисунок 7 – Пример задания исходных данных для балансирующих узлов с генерацией

Модели нагрузок (рис. 8). На рис. 8 представлен ввод исходных данных для узлов нагрузки. Способ задания – константы мощностей $P_n = \text{const}$, $Q_n = \text{const}$.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta	Рай...
33	<input type="checkbox"/>		Нагр	33	Восточная-110	110			119,1	45,8							116,18	-2,99	
34	<input type="checkbox"/>		Нагр	34	Зональная-110	110			111,9	20,2							116,20	-3,32	
35	<input type="checkbox"/>		Нагр	35	Яшкино	110			0,4	-9,7							119,92	-4,29	
36	<input type="checkbox"/>		Нагр	36	Том. ГРЭС-2	110			80,2	37,8							115,90	-2,61	
37	<input type="checkbox"/>		Нагр	38	ТЭЦ СХК	110			84,3	34,7							116,84	0,53	

Рисунок 8 – Пример задания исходных данных для узлов нагрузки

Модель шунтирующего реактора (ШР) (рис. 9). При расчетах установившихся режимов шунтирующие реакторы моделируются включением в соответствующие узлы системы индуктивных проводимостей.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta	Рай...
1	<input type="checkbox"/>		Нагр	1	Томская 500	500					0,0	-207,0					514,01	-3,15	
2	<input type="checkbox"/>		База	2	Итатская	500			-433,1	-332,8	-701,7	-185,4	515,0	-500,0	500,0	1 306,0	515,00	-10,27	
3	<input type="checkbox"/>		Ген	3	Ново-Анжер.	500			1 159,9	190,0	-372,0	620,0	514,0	-500,0	1 000,0	1 306,0	514,00	-11,33	
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	Томская-220	220											231,49	-2,95	

Рисунок 9 – Пример задания исходных данных для ШР

Индуктивная проводимость $B_{ш}$ вводится со знаком «+» и вычисляется по формуле (1):

$$B_{ш} = \frac{S_{ш}}{U_{ном}^2} 10^6, \quad (1)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение реактора, кВ; $S_{ш}$ – номинальная мощность реактора, МВт.

Модели трансформаторов и АТ (рис. 10). Данные элементы задаются значениями активного R и реактивного X сопротивлений обмоток АТ, а также значением коэффициента трансформации.

	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Kт/г	N_анц	БД...	P_нач	Q_нач	Na
1		ЛЭП	1	2			Томская 500 - Итатская	9,70	93,60	-1 088,0				-348	163	
2		ЛЭП	1	3			Томская 500 - Ново-Анжер.	2,39	25,41	-297,0				-1 476	72	
3		Тр-р	1	4	1		Томская 500 - Томская-220	0,97	61,10		0,460			14	-91	
4		Тр-р	1	4	2		Томская 500 - Томская-220	0,97	61,10		0,460			14	-91	
5		ЛЭП	4	5	1		Томская-220 - Восточная...	1,67	11,69	-78,0				16	-67	

Рисунок 10 – Пример задания исходных данных для АТ

Пример моделирования устройств регулирования напряжения рассмотрен на схеме электрической сети рис. 11.

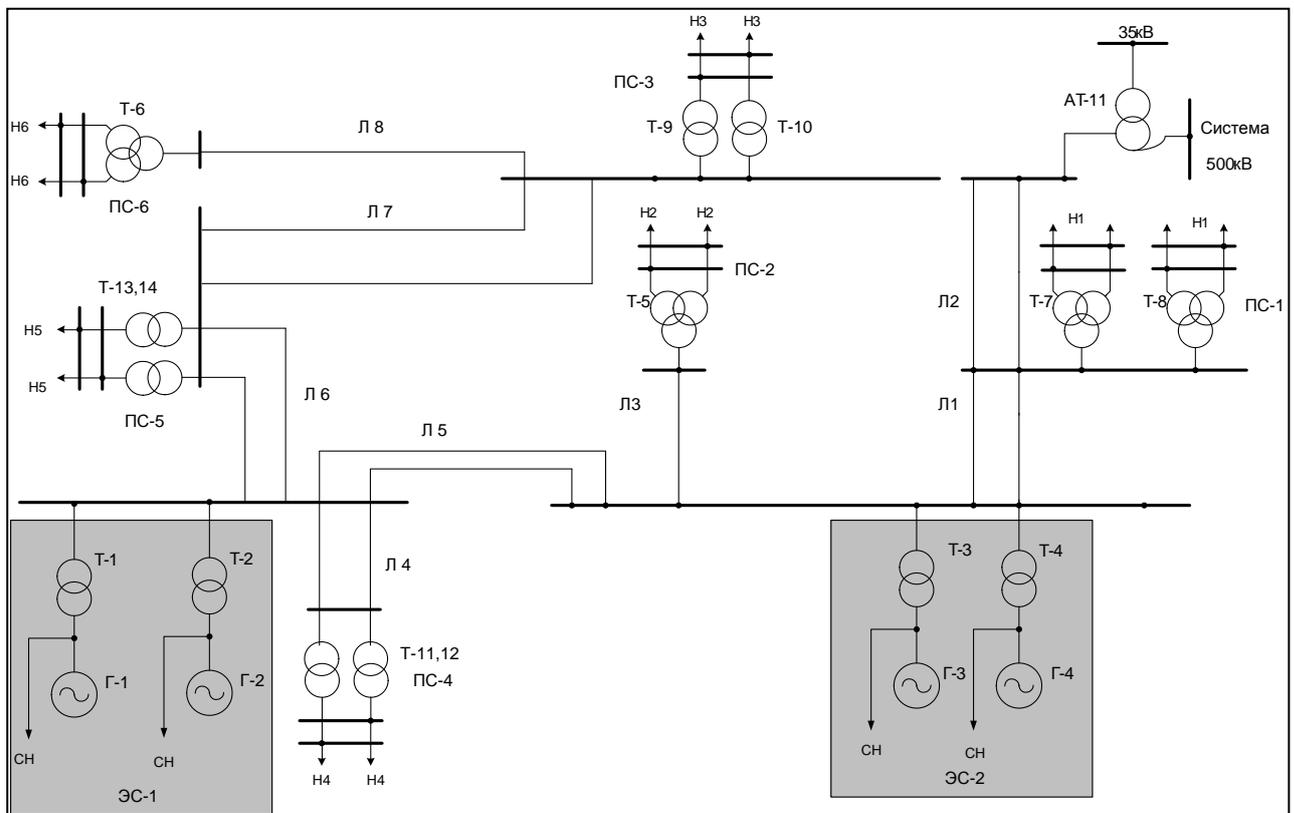


Рисунок 11 – Схема электрической сети

Схема замещения с указанием номеров узлов приведена на рис. 12.

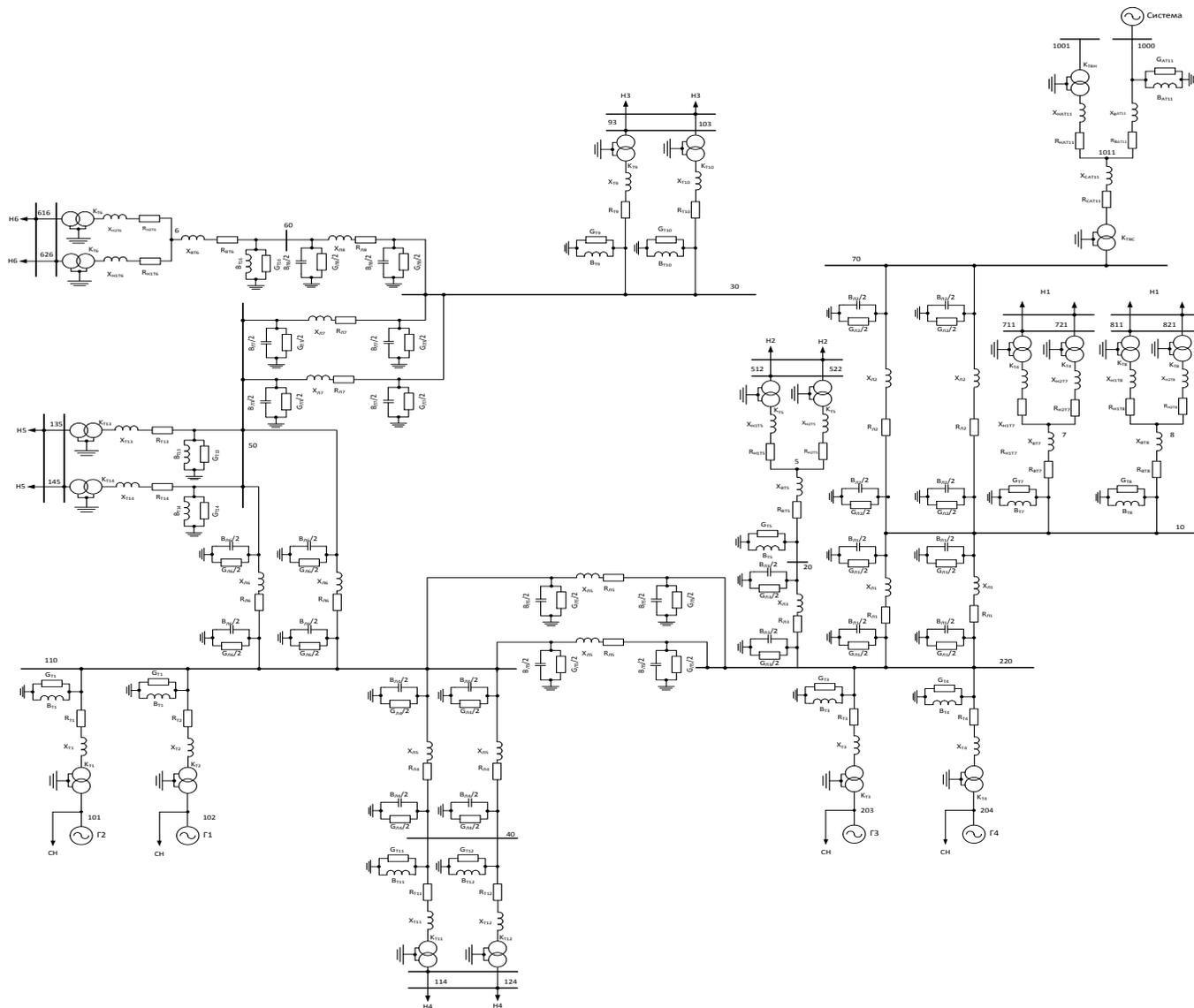


Рисунок 12 – Схема замещения

Последовательность моделирования показана на примере трансформатора ТДЦ-80000/220 (на схеме рис. 11 – Т1, Т2, Т3, Т4) и автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 (на схеме рис. 11 – АТ-11), технические характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Характеристики трансформаторного оборудования

Тип	S, МВА	Пределы регулирования	$U_{ном}$, кВ			U_k , %			P_k , кВт	P_{Σ} , кВт	I_{Σ} , %	R_p , Ом			X_p , Ом			Q_{Σ} , кВАр	\underline{Y} , мкСм
			ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН		
ТДЦ-80000/220	80	$\pm 2 \times 2,5$	242	---	10,5	11			320	105	0,6	2,93			80,53			480	$1,79 + j8,2$
АОДЦТН-267000/500/220	267	$\pm 8 * 1,4\%$ СН	500	230	38,6	11,5	37	23	490	150	0,35	0,28	0,28	1,12	39,79	0	75,69	2803	$1,8 + j5,76$

Во вкладке **Открыть – Трансформаторы – Транс.Паспорт** (рис. 13) задать паспортные данные трансформаторов так, как это показано в табл. 2.

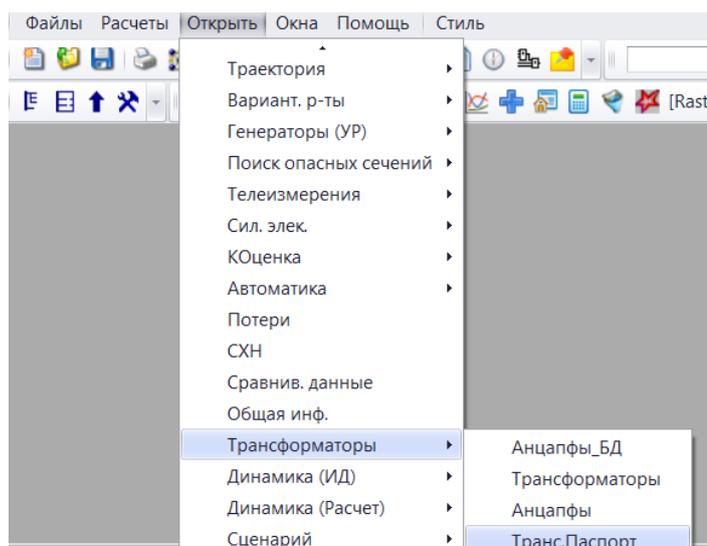


Рисунок 3 – Вкладка **Открыть – Трансформаторы – Транс.Паспорт**

Таблица 2 – Заполнение вкладки Транс.Паспорт

Название	Тип	U_B	U_C	U_H	$S_{ном}$	dP_{xx}	I_{xx}	U_k_{BC}	$U_k_{ВН}$	$U_k_{СН}$	$dP_{кз} (B-C)$	$dP_{кз} (B-H)$	Мин U_k_{B-C}	Макс U_k_{B-C}
Т1	2х-обм	242		10,5	80	105	0,6		11			320		
Т2	2х-обм	242		10,5	80	105	0,6		11			320		
Т3	2х-обм	242		10,5	80	105	0,6		11			320		
Т4	2х-обм	242		10,5	80	105	0,6		11			320		
АТ-11	АТ	500	230	38,6	267	150	0,35	3,8	12,3	7,7	490		13	13,5

Значения Мин U_k_{B-C} и Макс U_k_{B-C} для автотрансформаторов принимаются в соответствии с ГОСТ 17544-85, табл. 3, стр. 22. Следует

обратить внимание на единицы измерения электрических величин, например, величина потерь на холостой ход трансформатора dP_{xx} задается в кВт.

Во вкладке **Открыть – Трансформаторы – Трансформаторы** (рис. 14) задать параметры узлов трансформаторов и автотрансформаторов так, как это показано в табл. 3, а именно, указать узлы, соответствующие ВН и НН у трансформаторов, а также СН и нейтрали у автотрансформаторов; количество отпаяк + нулевая (анц_ПБВ, анц_РПН) и номера РПН и ПБВ ($N_{ПБВ}$, $N_{РПН}$, назначается самостоятельно).

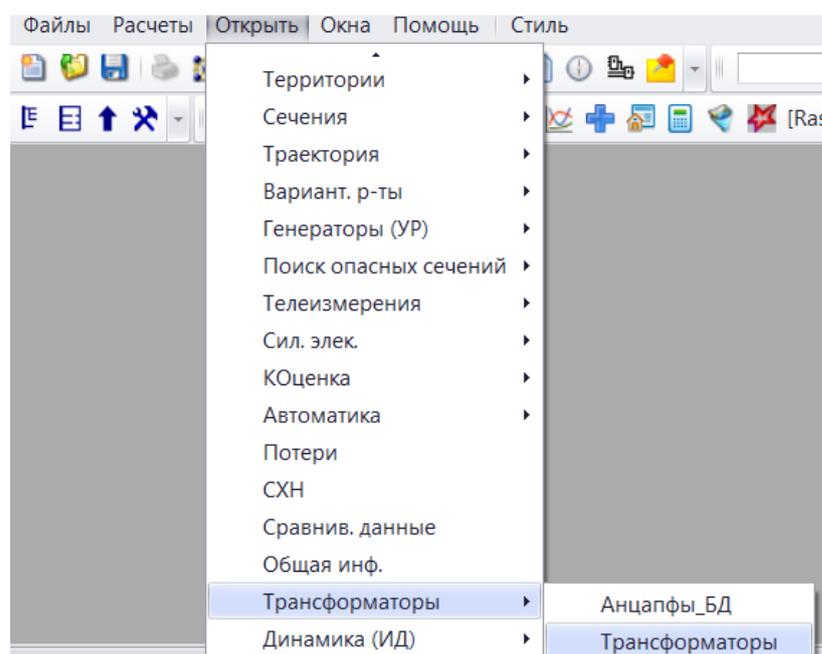


Рисунок 4 – Вкладка **Открыть – Трансформаторы – Трансформаторы**

Таблица 3 – Вкладка **Трансформаторы**

N	Название	Тип	N _В	N _С	N _Н	N ₀	анц_ПБВ	анц_РПН	N_ПБВ	N_РПН
1	T1	2х-обм	110		101		3		1	
2	T2	2х-обм	110		102		3		1	
3	T3	2х-обм	220		203		3		1	
4	T4	2х-обм	220		204		3		1	
5	AT-11	АТ	1000	70	1001	1011		9		2

Сохранять заполненную вкладку **Трансформаторы** следует отдельно через меню **Файл – Сохранить как – Название файла.trn**.

Во вкладке **Открыть – Трансформаторы – Анцапфы** внести данные по системам регулирования напряжения трансформаторов так, как это показано в табл. 4 в соответствии со справочными данными табл. 1.

Таблица 4 – Вкладка Анцапфы

N_bd	Название	ЕИ	+/-	Тип	Место	Кнейт	V_нр	V_рег	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг
1	T1, T2, T3, T4	%	+	ПБВ	ВН	1	10,5	242	2	-2,5	2	2,5
2	AT-11	%	+	РПН	СН	1	500	230	8	-1,4	8	1,4

Информация, вносимая во вкладку Анцапфы:

Nbd – номер типа регулирования трансформатора (автотрансформатора) – ПБВ, РПН из вкладки **Трансформаторы**;

Название – марка трансформатора (автотрансформатора), либо диспетчерский номер на схеме;

ЕИ – единицы измерения шага отпаек (% или кВ). Если это поле не заполнено, предполагаются %, если в это поле занести любой символ, отличный от % и пробела, будут предполагаться кВ;

+/- – порядок нумерации анцапф: «+» – анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки, «-» – от максимальной отрицательной (по умолчанию задается «+»);

Тип – тип регулирования (РПН, ПБВ, ВДТ);

Место – место установки регулирующего устройства;

Кнейтр – число анцапф с нулевой добавкой, то есть количество нулевых отпаек (если технического паспорта на электрооборудование нет, то выставляется по умолчанию равным 1);

V(нр) – напряжение нерегулируемой ступени (номинальное напряжение);

V(рег) – напряжение регулируемой ступени (обычно $U_{в ном}$). По умолчанию добавка напряжения осуществляется к напряжению V(рег);

Nанц – число анцапф без учета нулевой анцапфы с шагом, заданным в следующей колонке Шаг;

Шаг – величина шага (% или кВ в зависимости от поля ЕИ).

Порядок следования пар Nанц – Шаг – от наибольшего минуса к наибольшему плюсу.

Сохранять заполненную вкладку **Анцапфы** следует отдельно через меню **Файл – Сохранить как – Название файла.anc**.

Для расчета установившегося режима с учетом табл. 2-4 необходимо во вкладке **Расчет - Параметры – Режим, в пункте Пересчет АТ/Зх обм.трансформаторов (Транс.)** ввести значение **Да** (рис. 15).

Трансформаторы x Транс.Паспорт x Анцапфы x Анцапфы_БД x Режим x	
Название	
Точность расчета (dP)	1,000
Максимальное число итераций (It)	20
Стартовый алгоритм (Start)	Да
Плоский старт (Пл.старт)	Нет
Макс. допустимое снижение V (dV-)	0,500
Макс. допустимое превышение V (dV+)	2,000
Макс. допустимый угол по связи (dDelta)	5 157
Состояние расчета режима (Статус)	Нормально
Учет частоты : (W)	Нет
Отклонение частоты (dF)	
Пересчитывать P/Q узла по P ген (Ген->P)	Да
Метод Расчета (Метод)	Ньютон
Метод учета ограничений Q (Метод учета ограничений Q)	Стандарт
Уровень печати (Печать)	Мин
Точный метод расчета Qmax (Qmax)	Нет
Сопротивление выключателя (оe на 10-6) (Min_X)	
Пересчет АТ/Зх обм. трансформаторов (Транс.)	Да
Пересчитывать (P/Q) нагрузки узла по ВРДО (Наг->P)	Нет
Удаление выключателей из схемы: (Выкл)	Нет
Пересчет мощности генератора по ГРАМ: (Грам)	Нет
Автоматическое создание БУ (БУ)	Нет

Рисунок 15 – Вкладка Расчет – Параметры – Режим, Пересчет АТ/Зх обм.трансформаторов (Транс.)

Произвести расчет установившегося режима обычным способом. Если напряжение на шинах потребителей не соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013, то необходимо изменить рабочее ответвление трансформатора. Изменить рабочее ответвление трансформатора можно во вкладке **Трансформаторы**. После установки нового рабочего ответвления, повторно произвести расчет установившегося режима.

Модели линий электропередачи (рис. 16). Линии электропередачи задаются активным R и индуктивным X сопротивлениями и емкостной проводимостью B .

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Кт/г	N_анц	БД...	P_нач	Q_нач	Na
13	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	5	9			Восточная-220 - Зональн...	0,93	6,52	-43,0				-28	-60	
14	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	5	10			Восточная-220 - 34	1,43	9,99	-66,0				75	-42	
15	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	7	11			ЭС-2 - ГПП-220	0,84	5,86	-39,0				1	12	
16	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	12	11	1		Томская ТЭЦ-3 - ГПП-220	0,11	0,74	-5,0				-31	-33	
17	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	12	11	2		Томская ТЭЦ-3 - ГПП-220	0,11	0,74	-5,0				-31	-33	
18	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	9	8			Зональная-220 - Крохале...	2,25	15,73	-104,4				6	17	

Рисунок 16 – Пример задания исходных данных для линий электропередач
Модель управляемого шунтирующего реактора (УШР) (рис.17).

	N	Название	S	N_узла	Qном	Uном	Тип	Туст1	Уст1	ЕIрег	Min	Max	Кст
1	1	УШР Томская		1	180,000	525,000	УШР/СТК	V	502,000	%(Qном)	-10,000	120,000	1,000

Рисунок 17 – Пример задания исходных данных для УШР

Исходные данные для УШР: $N_{\text{узла}}$ – номер узла, к которому подключено устройство; $S_{\text{ном}}=Q_{\text{ном}}$ – номинальная мощность; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение; $T_{\text{уст1}}$ – тип уставки: V – напряжение; Уст1 – значение уставки (в зависимости от типа), уставка по напряжению задается для нулевого тока; Min – Max – диапазоны регулирования (вне зависимости от задания единиц измерения пределов регулирования внутри ПК используются пересчитанные эквивалентные проводимости ($B_{\text{min}} - B_{\text{max}}$)); $K_{\text{ст}}$ – коэффициент статизма (%) используется при задании уставки по напряжению.

Примечания: Узел, к которому подключается УШР, не должен содержать генерацию и регулирование напряжения. Для получения сбалансированного режима в результате расчета в узле будет сформирована фиктивная генерация, равная генерирующей мощности УШР; к одному узлу можно подключать несколько УШР, но, в зависимости от задания уставок по напряжению, это может приводить к значительным уравнивающим токам между ними; вне зависимости от задания единиц измерения диапазоны регулирования пересчитываются в соответствующие проводимости для УШР

при номинальных значениях параметров; заданная уставка по напряжению соответствует нулевому току.

Модель фазопоротного устройства (ФПУ) (рис. 18). При расчетах установившихся режимов ФПУ моделируются посредством включения в соответствующие ветви системы комплексного коэффициента трансформации: $K_{T/r}$, $K_{T/i}$ – вещественная и мнимая составляющие коэффициента трансформации.

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_л	Название	R	X	G	B	K _{T/i}	K _{T/r}
37	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	21	22	1	Раскино - Чапаевка	10,38	38,28		-229,0		
38	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	21	22	2	Раскино - Чапаевка	10,38	38,28		-229,0		
39	<input type="checkbox"/>		Тр-р	22	23	1	Чапаевка - Сов.-соснинс...	14,16	52,20		-312,0	0,407	0,913
40	<input type="checkbox"/>		Тр-р	22	23	2	Чапаевка - Сов.-соснинс...	14,16	52,20		-312,0	0,407	0,913
41	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	23	24	1	Сов.-соснинская - Н.Вар...	3,92	14,44		-86,0		
42	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	23	24	2	Сов.-соснинская - Н.Вар...	3,92	14,44		-86,0		

Рисунок 18 – Пример задания исходных данных для ФПУ

Комплексный коэффициент трансформации ФПУ определяется по формуле (2):

$$K_T = K_{T/r} + jK_{T/i} = K_T (\cos\delta_{ФПУ} + j\sin\delta_{ФПУ}) = \cos\delta_{ФПУ} + j\sin\delta_{ФПУ}, \quad (2)$$

где $K_{T/r}$ – действительный коэффициент трансформации; $K_{T/i}$ – мнимый коэффициент трансформации; $\delta_{ФПУ}$ – угол сдвига, град. эл.

2.4 Работа с графическим редактором RastrWin3

Инструкцией можно пользоваться только после заполнения таблиц во вкладках узлы и ветви!

Для того чтобы начать работать с графическим редактором RastrWin необходимо открыть вкладку **Открыть – Графика** на панели задач (рис. 19).

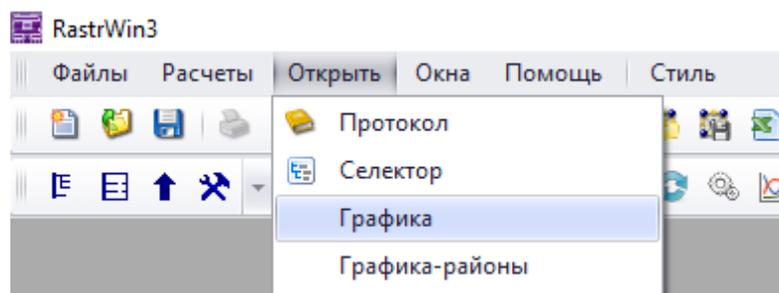


Рисунок 19 – Начало работы с графическим редактором

В результате появится поле графического редактора. В верхнем левом углу поля графического редактора находится панель управления графическими элементами, обозначенными на рисунке 20 номерами с 1 по 10.

Рассмотрим иконки, необходимые для черчения со 2 по 5.



Рисунок 20 – Панель управления графическими элементами

➔ 2 Ввод (рисунок 21).

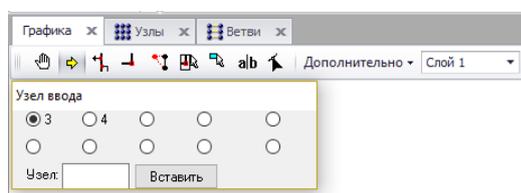


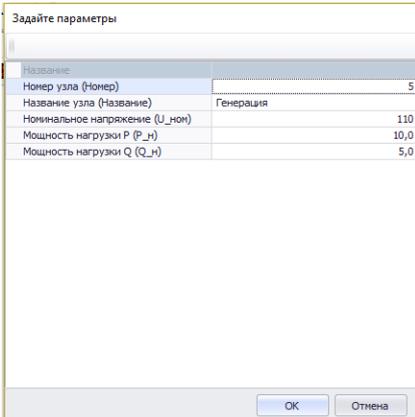
Рисунок 21 – Поле ввода узлов в графическую область

Иконка служит для вызывания списка узлов для ввода в графическую область, позволяет перемещать узлы, находящиеся в графической области, по полю. Для вставки уже имеющихся во вкладке «Узлы» узлов, необходимо: нажать иконку Ввод, выбрать из списка узлов необходимый узел (узлы, ранее введенные в схему, не присутствуют в списке ввода узлов), щелкнуть по свободному полю левой клавишей мышки для вставки узла. Если ранее была введена ветвь во вкладке «Ветви», соединяющая вводимый узел с другим узлом, то ветвь между узлами будет начерчена автоматически.

 3 Присоединение. Иконка позволяет передвигать значки нагрузки, генерации и присоединения ЛЭП для удобства расположения объектов на схеме. Для перемещения необходимо нажать на иконку Присоединение и навести курсор мышки на обозначение генерации, нагрузки или присоединения ЛЭП, зажать левую кнопку мышки и передвигать.

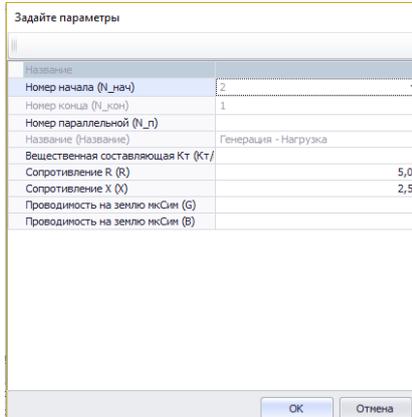
 4 Излом. Использование иконки позволяет создавать углы на ветвях для обхода объектов, например, ПС. Для этого необходимо нажать на иконку Излом и навести курсор мышки на ЛЭП и нажать на левую кнопку мышки для создания видимого излома.

 5 Рисование схемы. Иконка позволяет работать напрямую с полем области: вводить новые узлы, рисовать и задавать соединения между узлами схемы. Для того чтобы поставить узел в поле схемы, необходимо нажать иконку Рисование схемы и щелкнуть левой кнопкой мышки по свободному месту на поле. Появится окно параметров (рисунок 22, а), в котором можно ввести только параметры нагрузки. Узел База или Генерация вводятся только через вкладку «Узлы». Для черчения ветвей необходимо повторно воспользоваться иконкой Рисование схемы, навести мышку на нужный узел, и зажать левую кнопку мышки, затем растягивать линию до нужного узла. После этого отпустить левую кнопку мышки и появится поле заполнения параметров линии (рисунок 22, б).



Задайте параметры	
Название	
Номер узла (номер)	5
Название узла (название)	
Номинальное напряжение (U_ном)	110
Номинальная нагрузка P (P_н)	10,0
Мощность нагрузки Q (Q_н)	5,0
Генерация	

а)



Задайте параметры	
Название	
Номер начала (N_нач)	2
Номер конца (N_кон)	1
Номер параллельной (N_п)	
Название (название)	Генерация - Нагрузка
Вещественная составляющая Kt (Kt/)	5,00
Сопротивление R (R)	2,50
Сопротивление X (X)	
Проводимость на землю мкСм (G)	
Проводимость на землю мкСм (B)	

б)

Рисунок 22 – Ввод параметров: а) узлов, б) ветвей с помощью иконки Рисование схемы

Вспомогательные элементы показаны на рисунке 19 номерами 1, 6 – 10.

 1 Просмотр. Нажатие иконки позволяет перемещаться по полю. Для использования нажмите иконку Просмотр, переместите курсор мышки на поле схемы и зажмите левую клавишу мыши.

 6 Выделить. Иконка позволяет выделить один или несколько узлов на схеме для последующего их перемещения или удаления (рисунок 23).

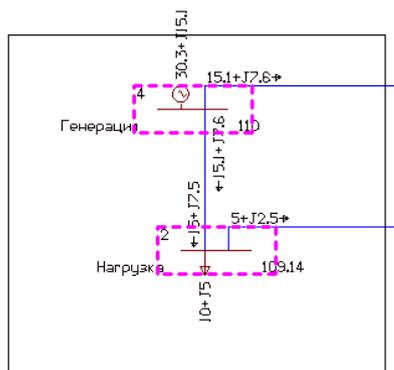


Рисунок 23 – Выделение объектов на схеме при помощи иконки Выделить

Удаление объекта или группы объектов возможно следующим образом: выбрать объекты, нажать правую кнопку мышки и из всплывающего меню выбрать Макрос – Удалить из графики, как показано на рисунке 24.

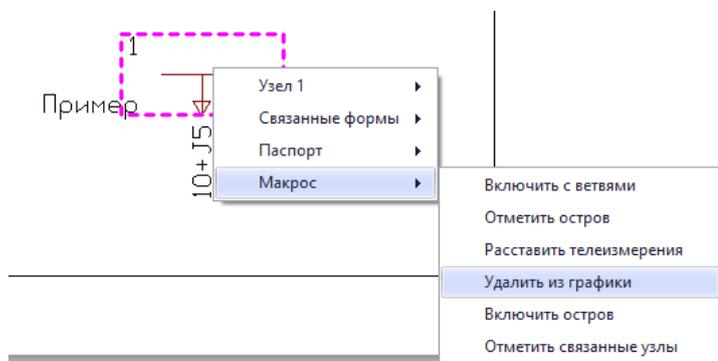


Рисунок 24– Удаление объектов из графики

Чтобы снять выделение с объекта, необходимо не переключая иконки, щелкнуть левой клавишей мыши по пустому полю.

 7 Текст. Иконка текст позволяет перемещать и удалять текст подписи узла (название узла, мощности нагрузки и генерации, номинальное и расчетное напряжение), перетоки мощностей по ветвям.

alb 8 Надписи. Иконка позволяет вносить и редактировать дополнительные надписи на схеме. Для того чтобы написать или редактировать текст необходимо нажать на иконку Надписи и навести на пустое поле, поле чего нажать левую кнопку и набирать текст.

9 Объекты. Иконка необходима для редактирования выносных линий, нанесенных на план.

Меню Дополнительно – содержит дополнительные возможности по выводу информации на схему (рисунок 25).

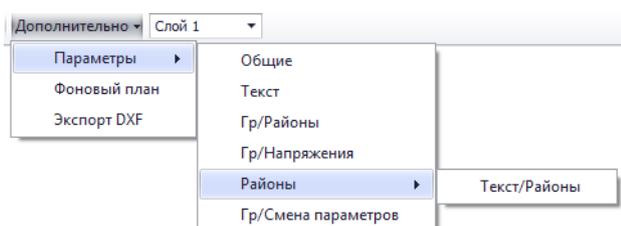


Рисунок 25 – Вид меню Дополнительно

Вкладка **Общие** отвечает за параметры цвета узлов, ветвей, текста подписей.

Вкладка **Текст** отвечает за параметры текста в каждом конкретном узле (цвет, слой, в который данный текст будет определен, шрифт и т. д.). Заполнение графы параметры меняется в зависимости от того, какие режимы необходимо вывести в поле схемы.

Команда **Гр/Район** задает способы выделения районов сети.

Команда **Гр/Напряжение** задает способы выделения различных номинальных напряжений. После ее выбора на экране появляется таблица. В ней содержатся все номинальные напряжения, присутствующие в данной схеме.

Слой 1 10 Слой. Иконка позволяет выводить информацию конкретного слоя на экран. При начале работы все отображаемые элементы сети и текстовые надписи находятся по умолчанию в Слой 1, при дальнейшей работе присутствует возможность через меню **Дополнительно** назначить конкретный слой для каждого объекта.

Для удобства сохранения и редактирования графики необходимо выбрать вкладку **Дополнительно** и нажать **Экспорт в DFX** (рисунок 26).

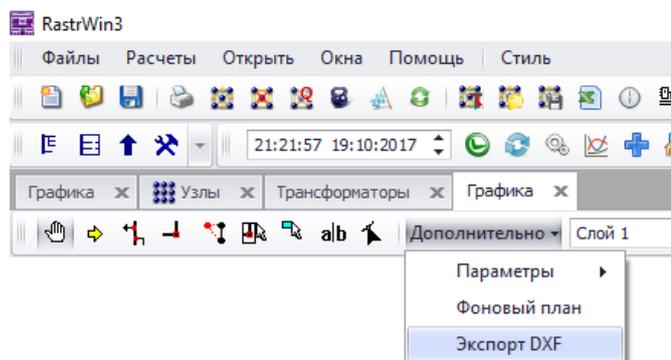


Рисунок 26 – Сохранение схемы в DFX

Так как DFX-формат является НЕ редактируемым форматом для программного комплекса AutoCAD, то необходимо запустить сохраненный файл в AutoCAD и сохранить с расширением *.dwg.

Сохранение чертежа AutoCAD в Visio

Вариант 1

Перед началом процедуры необходимо:

1. Сохранить файл в AutoCAD в версии 2000 или 2004. Открыть файл *.dwg при помощи любой версии AutoCAD и выполнить **Файл – Сохранить** как, выбрать **НОВОЕ** имя чертежа и место его сохранения, выбрать в списке вариантов сохранения **Чертеж AutoCAD 2000** или **Чертеж AutoCAD 2004**.
2. Выбрать команду **Файл - Открыть**.
3. Найти папку, в которой хранится документ, выбрать папку или нажать кнопку **Обзор**.
4. Выбрать список **Все файлы Visio** и затем пункт **Чертеж AutoCAD**.
5. Выделить файл и нажать кнопку **Открыть**.

Вариант 2

1. Во вкладке **Вставка** нажать опцию **Чертеж САПР**.
2. Выделить файл и нажать опцию **Открыть**.

Преобразование объектов в формате DWG или DXF в фигуры Visio

После импорта или открытия чертежа AutoCAD в Visio можно преобразовать его в фигуры, которыми можно управлять. Обратите внимание, что преобразование в фигуры Visio нельзя отменить.

1. Щелкните пустое место на схеме, чтобы отменить выбор всех объектов.
2. Наведите указатель на внешнюю границу документа AutoCAD и

удерживайте его, пока он не изменится на следующий значок: 

3. Щелкните правой кнопкой мыши и выберите **Объект - Чертеж САПР - Преобразовать**.

4. В диалоговом окне **Преобразовать объект САПР** выбрать слои чертежа AutoCAD, которые необходимо преобразовать в фигуры Visio.

5. Нажмите кнопку **Дополнительно**, чтобы отобразить больше параметров. Например, можно удалить преобразованные слои, преобразовать чертеж в фигуры размеров Visio или преобразовать в фигуры линии штриховки в узор.

3. Расчёт и анализ установившегося режима

3.1 Виды режимов

Режим энергосистемы – это единый процесс производства, преобразования, передачи и потребления электрической энергии в энергосистеме, характеризуемый его техническими параметрами, состоянием объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии (включая схемы электрических соединений объектов электроэнергетики).

Различают **установившиеся** и **переходные** режимы энергосистем.

К **установившимся** режимам относятся режимы, которые характеризуются неизменными параметрами. Медленные изменения режима, связанные с внутрисуточными изменениями электропотребления и генерации, нерегулярными колебаниями мощностей, передаваемых по связям, работой устройств регулирования частоты и активной мощности и т.п., рассматриваются как последовательность установившихся режимов.

К **переходным** относятся режимы от начального возмущения до окончания вызванных им электромеханических процессов (с учетом первичного регулирования частоты энергосистемы).

Нормальный режим энергосистемы – режим энергосистемы, при котором все потребители снабжаются электрической энергией в соответствии с договорами и диспетчерскими графиками, а значения технических параметров режима энергосистемы и оборудования находятся в пределах длительно допустимых значений, имеются нормативные оперативные резервы мощности и топлива на электростанциях.

Аварийный режим энергосистемы – режим энергосистемы с параметрами, выходящими за пределы требований технических регламентов, возникновение и длительное существование которого представляют недопустимую угрозу жизни людей, повреждения оборудования и/или ведут к ограничению подачи электрической и тепловой энергии в значительном объеме.

Послеаварийный режим энергосистемы – режим, в котором энергосистема находится после локализации аварии до установления нормального или вынужденного режима. Послеаварийный режим характеризуется сниженными требованиями к параметрам режима, по сравнению с требованиями к нормальному режиму. Продолжительность нормализации послеаварийного режима ограничена 20 мин. Превышение указанного времени означает переход к работе в вынужденном режиме.

Вынужденный режим энергосистемы – режим энергосистемы, при котором загрузка некоторых контролируемых сечений выше максимально допустимой, но не превышает аварийно допустимой. Вынужденный режим может быть разрешен на высшем уровне диспетчерского управления для послеаварийных режимов на время прохождения максимума или минимума нагрузки, но не более 40 мин (дополнительно к 20 мин, разрешенным для нормализации послеаварийного режима), или на время, необходимое для

ввода ограничений и/или мобилизации резерва, а также при невозможности выполнения требований к нормальным режимам энергосистемы.

Режим синхронных качаний – режим энергосистемы, характеризующийся низкочастотными периодическими изменениями токов, напряжений и мощности при сохранении синхронности параллельной работы генераторов.

Асинхронный режим – режим энергосистемы, характеризующийся устойчивыми глубокими периодическими колебаниями напряжений, токов и мощностей, периодическим изменением взаимного угла ЭДС генераторов электростанций и наличием разности частот между частями синхронной зоны при сохранении электрической связи между ними.

Технологический режим объекта электроэнергетики или энергопринимающей установки потребителя – процесс, протекающий в технических устройствах объекта электроэнергетики или энергопринимающей установки потребителя электрической энергии, и состояние этого объекта или установки (включая параметры настройки системной и противоаварийной автоматики).

3.2 Расчет и анализ установившегося режима

С целью выполнения расчета установившегося режима необходимо зайти в меню **Расчеты** и выбрать вкладку **Режимы**, как показано на рис. 27.

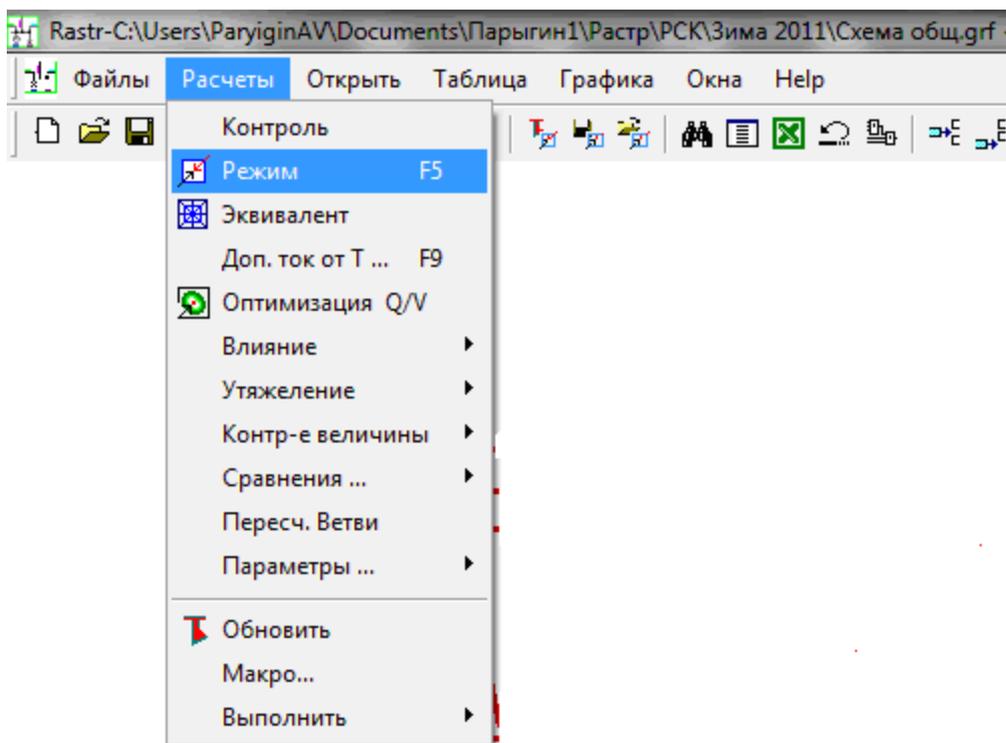


Рисунок 27 – Запуск режима на расчет

Алгоритм расчёта установившегося режима основан на уравнении узловых напряжений, система которых решается методом Ньютона. По окончании расчета выдается протокол результатов, в котором отображаются величины, характеризующие итерационный процесс метода Ньютона (рис. 28).

The image shows a screenshot of a 'Протокол' (Protocol) window. It displays the status of the calculation: 'Контроль исходных данных' (Control of initial data) is successful, and 'Расчет установившегося режима. Сообщений - 6' (Calculation of steady-state mode. Messages - 6) is completed. Below this is a table with 13 columns: 'Ит' (Iteration), 'Max.неб.' (Max. deviation), 'Узел >V' (Node >V), 'Узел <V' (Node <V), 'Узел' (Node), 'Угол' (Angle), 'Линия Rk' (Line Rk), and 'Шаг' (Step). The table contains 6 rows of data, each with a lightbulb icon in the first column.

Ит	Max.неб.	Узел >V	Узел <V	Узел	Угол	Линия Rk	Шаг
0	1187.0	1030 730,4	30 1.10	1060	1.00	2202 0.0	10-40 0.00 1.000
1	284.3	40 89.9	40 1.10	1060	0.90	110 11.5	100-2201 6.07 1.000
2	24.4	40 101.5	3103 1.10	1060	0.84	110 23.3	4000-3103 2.62 1.000
3	86.8	30 727.4	30 1.10	1060	0.80	80 27.1	4000-3103 0.22 1.000
4	6.1	1030 39.1	30 1.10	1060	0.81	80 26.8	4000-3103 18.50 1.000
5	0.0	20 0.1	30 1.10	1060	0.81	80 26.8	4000-3103 354.88 1.000

Рисунок 28 – Протокол результатов расчета установившегося режима

Помимо протокола, для анализа параметров режима в ПК существует вкладка **Узлы+Ветви** (рис. 29).

Файлы Расчеты Открыть Таблица Графика Окна Help												
S	Номер	Название	V	Delta	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	Q_ш
S	№	Название	V_2	dDelta	P_л	Q_л	dP	dQ	I_л	P_ш	Q_ш	
	35	Означ.500	515.62	4.72								
	101	сш гэс 500(1)	524.9	2.7	1389	401	4.77	73.22	1619		-30.32	
	202	сш гэс 500(2)	524.8	1.7	864	448	2.14	33	1090	0	-30.58	
	37	Алюмин.500	510.6	-1.7	-619	-148	1.54	19.43	713		-39.23	
	37	Алюмин.500	510.6	-1.7	-622	-149	1.55	19.52	716		-38.96	
	39	Означ. 220	227.6	-4.5	-507	-282	0.71	50.28	649			
	39	Означ. 220	227.6	-4.5	-507	-282	0.71	50.28	649			
	36	Абакан. 500	500		557	-387	-436.4	-834.8				
	37	Алюмин.500	510.6	3.1	616	202	2.94	36.91	749	0	-68.43	
	37	Алюмин.500	510.6	3.1	616	202	2.94	36.91	749	0	-68.43	
	41	Абаканская 220	230.8	-1.1	-120	22	0.03	2.35	140			
	41	Абаканская 220	230.8	-1.1	-120	22	0.03	2.35	140			
	37	Алюмин.500	510.56	3.06								
	35	Означ.500	515.6	1.7	618	168	1.54	19.43	724		-39.23	
	35	Означ.500	515.6	1.7	621	168	1.55	19.52	727		-38.96	
	36	Абакан. 500	500	-3.1	-619	-170	2.94	36.91	726	0	-68.43	
	36	Абакан. 500	500	-3.1	-619	-170	2.94	36.91	726	0	-68.43	
	40	Алюмин.220	235	-0	0	2	0	0	2			
	40	Алюмин.220	235	-0	0	2	0	0	2			

Рисунок 29 – Фрагмент представления результатов в форме **Узлы+Ветви**

Каждая выделенная цветом строка, содержит параметры узла, последующие строки – параметры присоединенных к нему линий и трансформаторов.

Параметрами узла являются номер, название, расчетный модуль (V) и фаза напряжения, нагрузка ($P_{н}$, $Q_{н}$), активная генерация ($P_{г}$), рассчитанная реактивная генерация ($Q_{г}$), заданные модуль напряжения ($V_{зд}$) и пределы изменения реактивной генерации (Q_{min} , Q_{max}), мощность шунта ($Q_{ш}$).

Параметрами ветви, связанной с узлом, являются номер и название противоположного узла ветви, модуль напряжения и угол напряжения (V_2 , $dDelta$), переток мощности ($P_{л}$, $Q_{л}$), входящий в узел, продольные потери мощности (dP , dQ), модуль тока ($I_{л}$), мощности шунта ($P_{ш}$, $Q_{ш}$).

Опция, связанная с визуализацией расчетного тока в линии, находится в меню **Открыть – Ветви - Токовая загрузка ЛЭП** (рис. 4).

N_нач	N_кон	Название	I_нач	I_кон	Место	инт	N_I(t)	Tс	Iдоп_25
101	35	сш гэс 500(1) - Означ.500	1610	1619	ВН				2835
202	35	сш гэс 500(2) - Означ.500	1074	1090	ВН				2835
35	37	Означ.500 - Алюмин.500	713	724	ВН				2450
35	37	Означ.500 - Алюмин.500	716	727	ВН				2450
37	36	Алюмин.500 - Абакан. 500	726	749	ВН				2450
37	36	Алюмин.500 - Абакан. 500	726	749	ВН				2450
42	41	Абакан-Р. 220 - Абаканская 220	115	115	ВН				830
42	41	Абакан-Р. 220 - Абаканская 220	115	115	ВН				830

Рисунок 30 –Фрагмент представления результатов по токовой загрузке ЛЭП

Анализ параметров режима выполняется для:

1. проверки соответствия уровней напряжения в узлах требованиям ГОСТ;
2. определения необходимости установки регулирующих устройств;
3. расчета переходных режимов, с последующим выбором управляющих воздействий;
4. проверки сечений проводов ЛЭП по допустимой токовой загрузке.

Сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке $I_{доп}$ (по нагреву) согласно формуле

$$I_{р.н.} \leq I_{доп}, \quad (3)$$

где $I_{р.н.}$ – расчетный ток для проверки проводов по нагреву (рис. 30).

Образец описания анализа параметров режима

На шинах всех ПС полученное расчетное напряжение удовлетворяет требованиям ГОСТ.

Установка устройства продольной компенсации (УПК) Саяно-Шушенская ГЭС – Новокузнецкая приводит к повышению напряжения на его выводах. Это связано с тем, что конденсаторные батареи установки под действием тока линии генерируют избыточную реактивную мощность, которая не компенсируется потерями в индуктивном сопротивлении линии, что приводит к повышению напряжения.

В связи с этим, на выводах УПК включены ШР для снижения напряжения. Эффективность влияния ШР на уровни напряжений можно увидеть в табл. №.

Таблица № – Уровни напряжений на выводах УПК

Название узла	$U_{расч}$, кВ	
	без ввода ШР	с вводом ШР
УПК СШ ГЭС	528,04	520,37
УПК Новокузнецкая	523,68	521,54

По результатам, представленным в табл. №, видно, что напряжения в узлах, благодаря использованию ШР, снижаются.

Помимо обсуждения вопроса качества электрической энергии по напряжению, необходимо проанализировать полученные значения токов, передаваемых по линиям в нормальном режиме.

В табл. № приведены значения рассчитанных и допустимых токов.

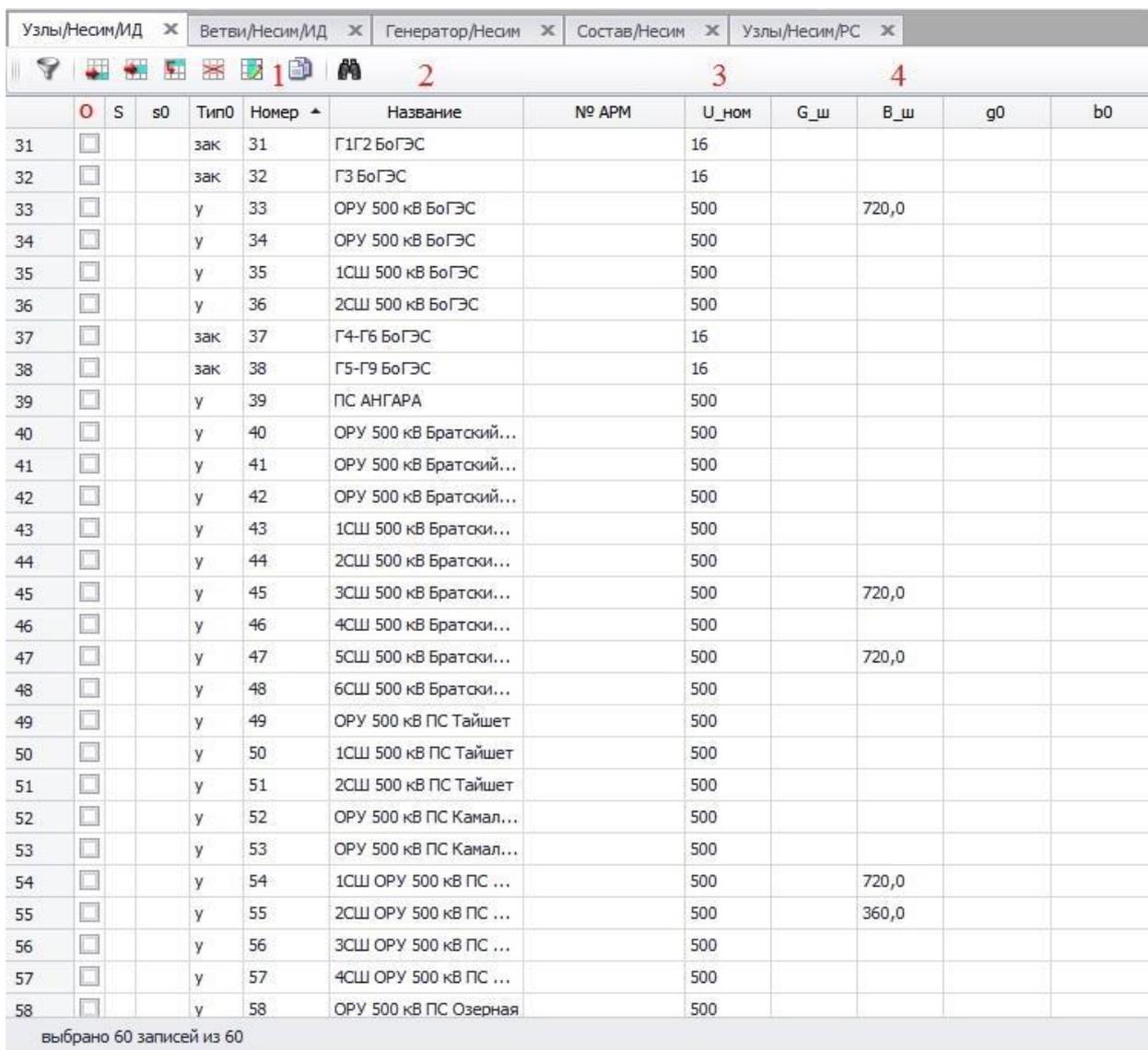
Таблица № – Результаты расчетов токов по ветвям

Начало ветви - i	Конец ветви - j	№ цепи	I_{ij} , кА	$I_{доп.}$, кА
СШГЭС 500(1)	Означенное 500		2,422	2,835
СШГЭС 500(2)	Означенное 500		1,680	2,835
СШГЭС 500(1)	УПК СШГЭС		1,017	2,190
СШГЭС 500(2)	УПК СШГЭС		0,677	2,190
УПК СШГЭС	УПК Новокузнецкая		1,700	2,190
УПК Новокузнецкая	ПС Новокузнецкая	1	0,846	2,190
УПК Новокузнецкая	ПС Новокузнецкая	2	0,846	2,190

По результатам, представленным в табл. №, видно, что значения токов в ветвях находятся в допустимых пределах.

4 Расчёты коротких замыканий

Для выполнения расчетов коротких замыканий необходимо заполнить исходными данными таблицы: «Узлы/Несим/ИД», «Ветви/Несим/ИД», «Генератор/Несим» и «Состав/Несим» (рис. 31-34).



	O	S	s0	Тип0	Номер	Название	№ АРМ	U_ном	G_ш	B_ш	g0	b0
31	<input type="checkbox"/>			зак	31	Г1Г2 БоГЭС		16				
32	<input type="checkbox"/>			зак	32	Г3 БоГЭС		16				
33	<input type="checkbox"/>			у	33	ОРУ 500 кВ БоГЭС		500		720,0		
34	<input type="checkbox"/>			у	34	ОРУ 500 кВ БоГЭС		500				
35	<input type="checkbox"/>			у	35	1СШ 500 кВ БоГЭС		500				
36	<input type="checkbox"/>			у	36	2СШ 500 кВ БоГЭС		500				
37	<input type="checkbox"/>			зак	37	Г4-Г6 БоГЭС		16				
38	<input type="checkbox"/>			зак	38	Г5-Г9 БоГЭС		16				
39	<input type="checkbox"/>			у	39	ПС АНГАРА		500				
40	<input type="checkbox"/>			у	40	ОРУ 500 кВ Братский...		500				
41	<input type="checkbox"/>			у	41	ОРУ 500 кВ Братский...		500				
42	<input type="checkbox"/>			у	42	ОРУ 500 кВ Братский...		500				
43	<input type="checkbox"/>			у	43	1СШ 500 кВ Братски...		500				
44	<input type="checkbox"/>			у	44	2СШ 500 кВ Братски...		500				
45	<input type="checkbox"/>			у	45	3СШ 500 кВ Братски...		500		720,0		
46	<input type="checkbox"/>			у	46	4СШ 500 кВ Братски...		500				
47	<input type="checkbox"/>			у	47	5СШ 500 кВ Братски...		500		720,0		
48	<input type="checkbox"/>			у	48	6СШ 500 кВ Братски...		500				
49	<input type="checkbox"/>			у	49	ОРУ 500 кВ ПС Тайшет		500				
50	<input type="checkbox"/>			у	50	1СШ 500 кВ ПС Тайшет		500				
51	<input type="checkbox"/>			у	51	2СШ 500 кВ ПС Тайшет		500				
52	<input type="checkbox"/>			у	52	ОРУ 500 кВ ПС Камал...		500				
53	<input type="checkbox"/>			у	53	ОРУ 500 кВ ПС Камал...		500				
54	<input type="checkbox"/>			у	54	1СШ ОРУ 500 кВ ПС ...		500		720,0		
55	<input type="checkbox"/>			у	55	2СШ ОРУ 500 кВ ПС ...		500		360,0		
56	<input type="checkbox"/>			у	56	3СШ ОРУ 500 кВ ПС ...		500				
57	<input type="checkbox"/>			у	57	4СШ ОРУ 500 кВ ПС ...		500				
58	<input type="checkbox"/>			у	58	ОРУ 500 кВ ПС Озерная		500				

выбрано 60 записей из 60

Рисунок 31 – Табличный процессор «Узлы/Несим/ИД»

На рисунке 31 по столбцам слева на право:

- 1 – номер узла – любое целое число от 1 до 2147483647, кроме нуля;
- 2 – название узла – вводится произвольно, но не более 256 символов;
- 3 – номинальное напряжение – модуль номинального напряжения в узле, кВ;
- 4 – реактивная составляющая проводимости шунта в узле – индуктивная проводимость задается со знаком «плюс», а емкостная со знаком «минус».

	0	S	1	s0	2	3	4	5	6	7	8	9			
			Тип		tr0	N_нач	N_кон	N_п	Название	R	X	G	B	Кт/г	Кт/г
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	2	1		ОРУ 500 кВ БрГЭС - Г1-Г...	0,00	61,24				0,030
2	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	2	5		ОРУ 500 кВ БрГЭС - 1СШ ...						
3	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	2	6		ОРУ 500 кВ БрГЭС - 2СШ ...						
4	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	5	3		1СШ ОРУ 500 кВ БрГЭС - ...						
5	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	5	4		1СШ ОРУ 500 кВ БрГЭС - ...						
6	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	3	6		ОРУ 500 кВ БрГЭС - 2СШ ...						
7	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	4	6		ОРУ 500 кВ БрГЭС - 2СШ ...						
8	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	11	3		1СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	43,87				2,174
9	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	11	12		1СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...						
10	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	11	7		1СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	64,45				0,065
11	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	12	8		2СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	42,96				0,065
12	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	14	4		4СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	43,87				2,174
13	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	14	13		4СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...						
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	14	10		4СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	64,45				0,065
15	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	13	9		3СШ ОРУ 220 кВ БрГЭС - ...	0,00	42,96				0,065
16	<input type="checkbox"/>		ЛЭП		Выкл	2	15		ОРУ 500 кВ БрГЭС - ОРУ ...	7,46	79,22		-963,0		
17	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	15	19		ОРУ 500 кВ УИГЭС - 3СШ...						
18	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	15	20		ОРУ 500 кВ УИГЭС - 4СШ...						
19	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	15	22		ОРУ 500 кВ УИГЭС - Г13-...	0,00	48,81				0,030
20	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	19	17		3СШ ОРУ 500 кВ УИГЭС - ...						
21	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	18	20		2СШ ОРУ 500 кВ УИГЭС - ...						
22	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	18	16		2СШ ОРУ 500 кВ УИГЭС - ...						
23	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	17	16		1СШ ОРУ 500 кВ УИГЭС - ...						
24	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	16	21		ОРУ 500 кВ УИГЭС - Г5-Г...	0,00	24,40				0,030
25	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	23	19		1СШ ОРУ 220 кВ УИГЭС - ...	0,00	67,39				2,174
26	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	24	20		2СШ ОРУ 220 кВ УИГЭС - ...	0,00	67,39				2,174
27	<input type="checkbox"/>		Выкл		Выкл	23	24		1СШ ОРУ 220 кВ УИГЭС - ...						
28	<input type="checkbox"/>		Тр-р		Тр-р	23	25		1СШ ОРУ 220 кВ УИГЭС - ...	0,00	53,89				0,065

выбрано 78 записей из 78

Рисунок 32 – Табличный процессор «Ветви/Несим/ИД»

На рисунке 32 по столбцам слева на право:

1 – тип ветви. Различают три типа ветвей: Трансформатор, линии электропередачи, выключатель. Типы узлов выставляются автоматически, в зависимости от введенных параметров;

2 – тип ветви нулевой последовательности. Различают три типа ветвей: трансформатор, линия электропередачи, выключатель;

3 – номер узла, начинающий заданную ветвь, целые числа от 1 до 2147483647, кроме нуля;

4 – номер узла, заканчивающий заданную ветвь, целые числа от 1 до 2147483647, кроме нуля;

5 – названия узлов ограничивающих заданную ветвь. Названия узлов не редактируются, так как они автоматически переносятся из таблицы узлов;

6 – сопротивление связи. Активное сопротивление связи, Ом;

7 – сопротивление связи. Реактивное сопротивление связи, Ом;
 8 – реактивная составляющая проводимости связи. Индуктивная проводимость задается со знаком «плюс», а емкостная – со знаком «минус»;
 9 – коэффициент трансформации связи. Отношение напряжений конечного и начального узлов, при условии, что в ветви находится трансформатор.

	\$	s0	N agr	1 Название	2 N узла	r	3 x	r2	X2	r0	X0	4 E
1				Г1-Г8 БрГЭС	1		0,028					18,030
2				Г16Г14 БрГЭС	7		0,112					18,030
3				Г18Г17Г15 БрГЭС	8		0,074					18,030
4				Г9Г10Г11 БрГЭС	9		0,074					18,030
5				Г12Г13 БрГЭС	10		0,112					18,030
6				Г5-Г12 УИГЭС	21		0,022					17,610
7				Г13-Г16 УИГЭС	22		0,044					17,610
8				Г1Г2 УИГЭС	25		0,087					17,610
9				Г3Г4 УИГЭС	26		0,087					17,610
10				Г1Г2 БoГЭС	32		0,080					17,730
11				Г3 БoГЭС	31		0,160					17,730
12				Г4-Г6 БoГЭС	37		0,054					17,730
13				Г7-Г9 БoГЭС	38		0,054					17,730

Рисунок 33 – Табличный процессор «Генератор/Несим»

На рисунке 33 по столбцам слева на право:

- 1 – название генератора. Вводится произвольно, но не более 256 символов;
- 2 – номер узла. Любое целое число от 1 до 2147483647, кроме нуля, номер узла должен соответствовать генераторному узлу в схеме замещения;
- 3 – сопротивление генератора – реактивное сопротивление прямой последовательности, Ом;
- 4 – электродвижущая сила генератора, кВ.

Для расчета коротких замыканий необходимо, чтобы были заданы параметры хотя бы одного генератора, в генераторах НЕ допускается отсутствие сопротивление прямой и/или обратной последовательности, только нулевой, когда он представляет собой землю в схеме нулевой последовательности.

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	I 1	dI 1
1	1	1	3ф	58			8,8609	-87,83

Рисунок 34 – Табличный процессор «Состав/Несим»

На рисунке по столбцам слева на право:

- 1 – номер несимметрии – номер несимметрии в схеме;
- 2 – номер составляющей несимметрии – количество коротких замыканий в схеме, составляющих одну несимметрию;
- 3 – тип несимметрии – тип короткого замыкания, трехфазное, двухфазное, однофазное, однофазное на землю;
- 4 – параметры несимметрии – П1 – номер узла короткого замыкания или номер начала линии, в которой произошло короткое замыкание, П2 – номер конца линии, П3 – номер параллельности линии;
- 5 – суммарная величина модуля тока прямой последовательности – ток короткого замыкания, рассчитываемый ПК, кА.

В табличном процессоре «Узлы» для расчёта токов несимметричных коротких замыканий необходимо указать, закорочен ли узел в схеме нулевой последовательности (столбец «закорочен ли узел на землю в нулевой последовательности» – Тип0 (tip0)). В столбце Тип0 могут быть внесены два варианта значений: «у» – узел в схеме замещения нулевой последовательности, «зак» – земля в схеме замещения нулевой последовательности.

Для выполнения предварительных оценочных расчётов можно воспользоваться встроенной функциональностью RastrKZ и RastrWin3. Так, для автоматической генерации, необходимой для расчёта параметров коротких замыканий, имеется макрос «MakeNonSym.rbs», работающий в автоматическом режиме и не требующий какой-либо предварительной настройки. Располагается макрос в директории «macro». Вызов макроса

может быть выполнен с помощью соответствующего пункта меню RastrWin3 «Расчёты» – «Макро...» (рис. 35).

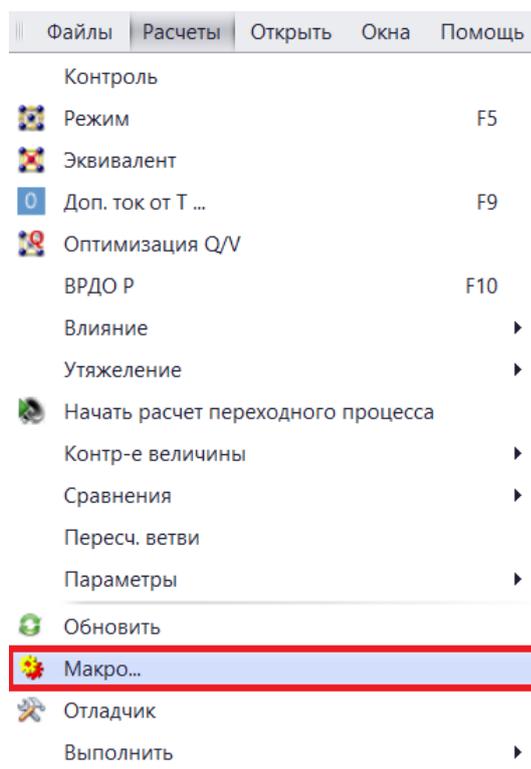


Рисунок 35 – Вызов модуля запуска макросов

В появившемся окне необходимо выбрать команду «Файл» - «Открыть...» и необходимый макрос. По умолчанию открывается директория с макросами RastrWin3 «macro» (рис. 36).

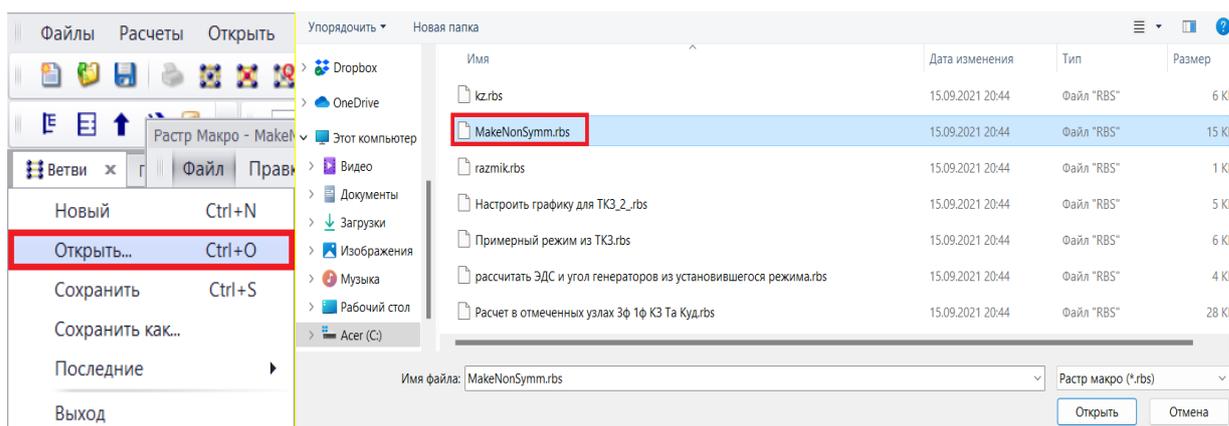


Рисунок 36 – Вызов макроса MakeNonSymm

Использование макроса MakeNonSymm не является обязательным для выполнения расчётов, более того, лучше использовать реальные данные и схемы обратной и нулевой последовательностей. Однако макрос может помочь в случае отсутствия реальных данных о параметрах какого-либо

элемента схемы или при появлении ошибок расчёта, связанных с некорректностью исходных данных.

4.1 Редактирование магнитосвязанных групп

Для облегчения работы с группами магнитосвязанных ветвей в RastrKZ имеется специализированный редактор. С его помощью ветвям расчётной модели с сопротивлениями нулевой последовательности можно сопоставить группу магнитосвязанных ветвей и задать параметры магнитных связей между этими ветвями. Редактор вызывается путем нажатия на соответствующую ему пиктограмму на панели ТКЗ (рис. 37).

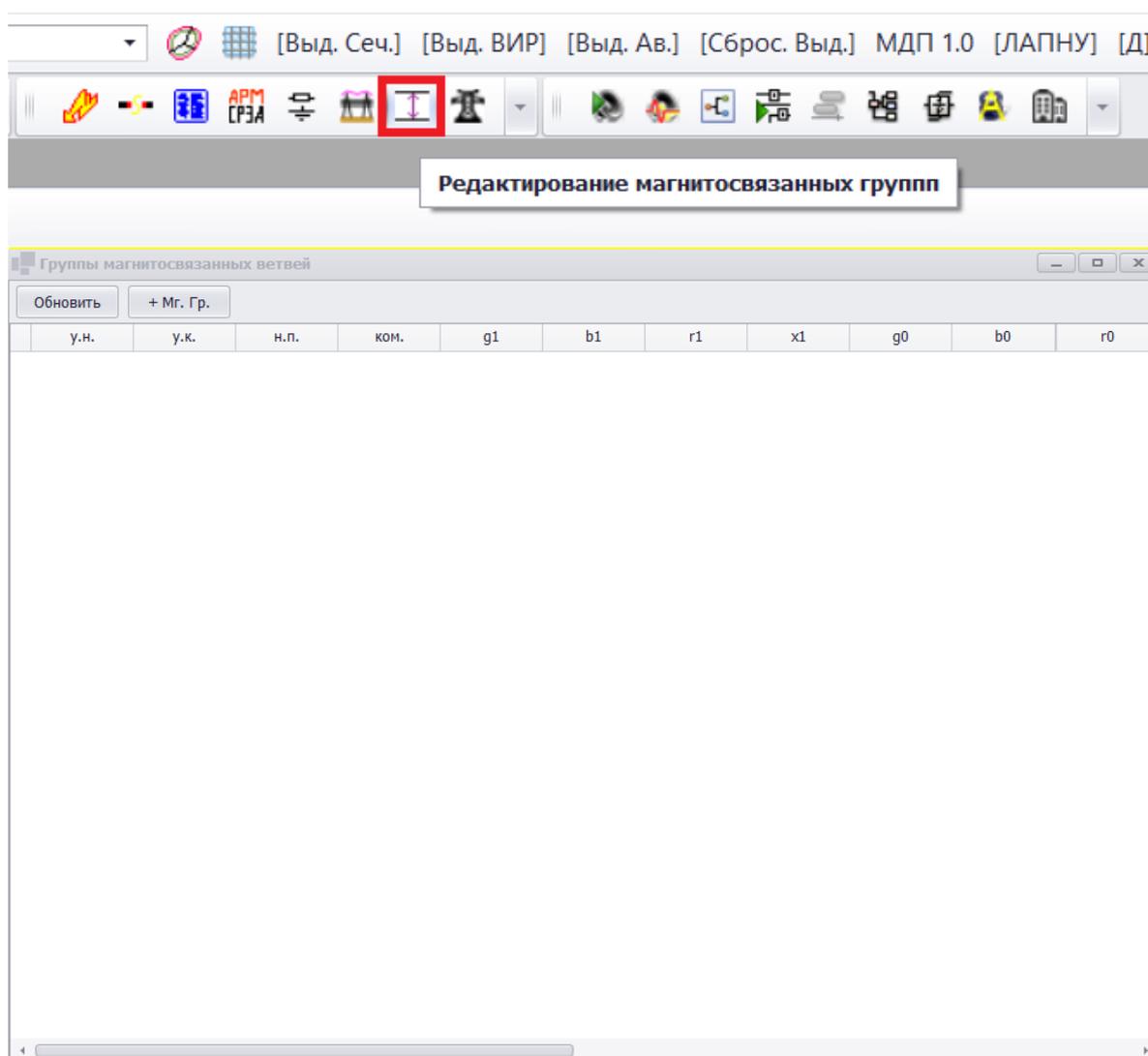


Рисунок 37 – Вызов редактора магнитосвязанных ветвей нулевой последовательности

Панели управления отображают существующие магнитосвязанные группы ветвей и позволяют осуществить следующие операции (рис. 38-42):

1. «Обновить» – пересчитать из таблиц данные по магнитосвязанным группам. Нужно для внесения ручных правок.
2. «+Мг. Гр.» – добавить новую группу магнитосвязанных ветвей. Ветви уже должны быть заданы в таблице данных по ветвям нулевой последовательности (файл режима загружен по шаблону «динамика.rst», заполнен столбец x_0 в таблице «Ветви» для ветвей, соответствующих магнитосвязанным линиям).

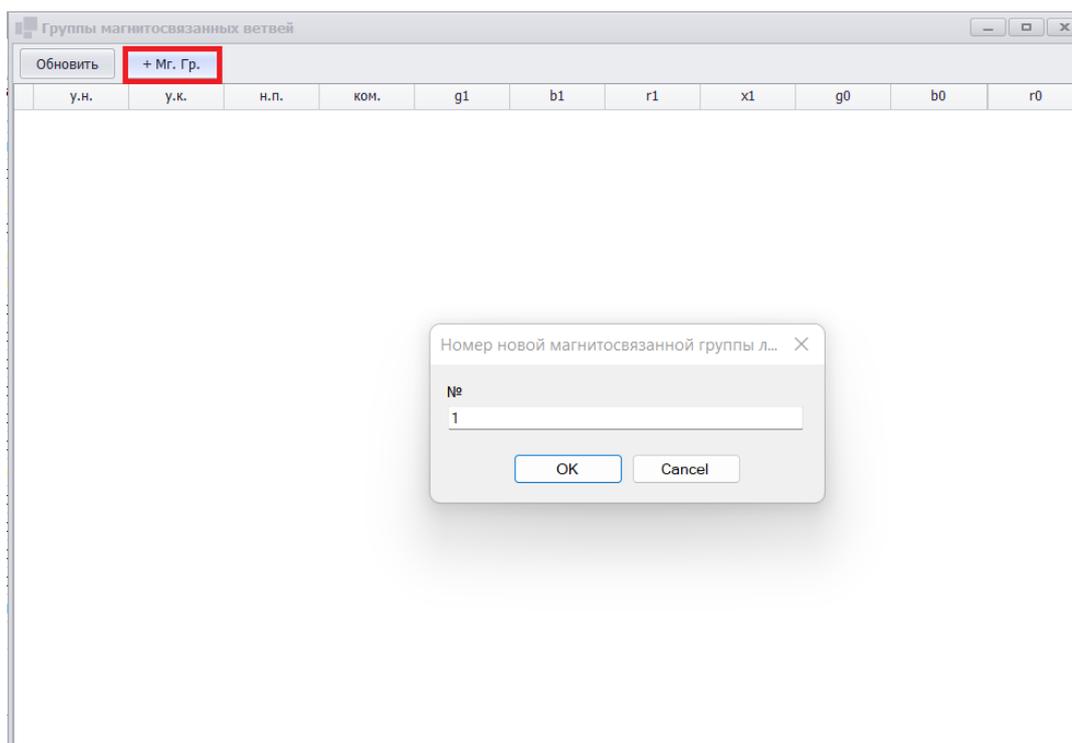


Рисунок 38 – Добавление новой группы магнитосвязанных ветвей

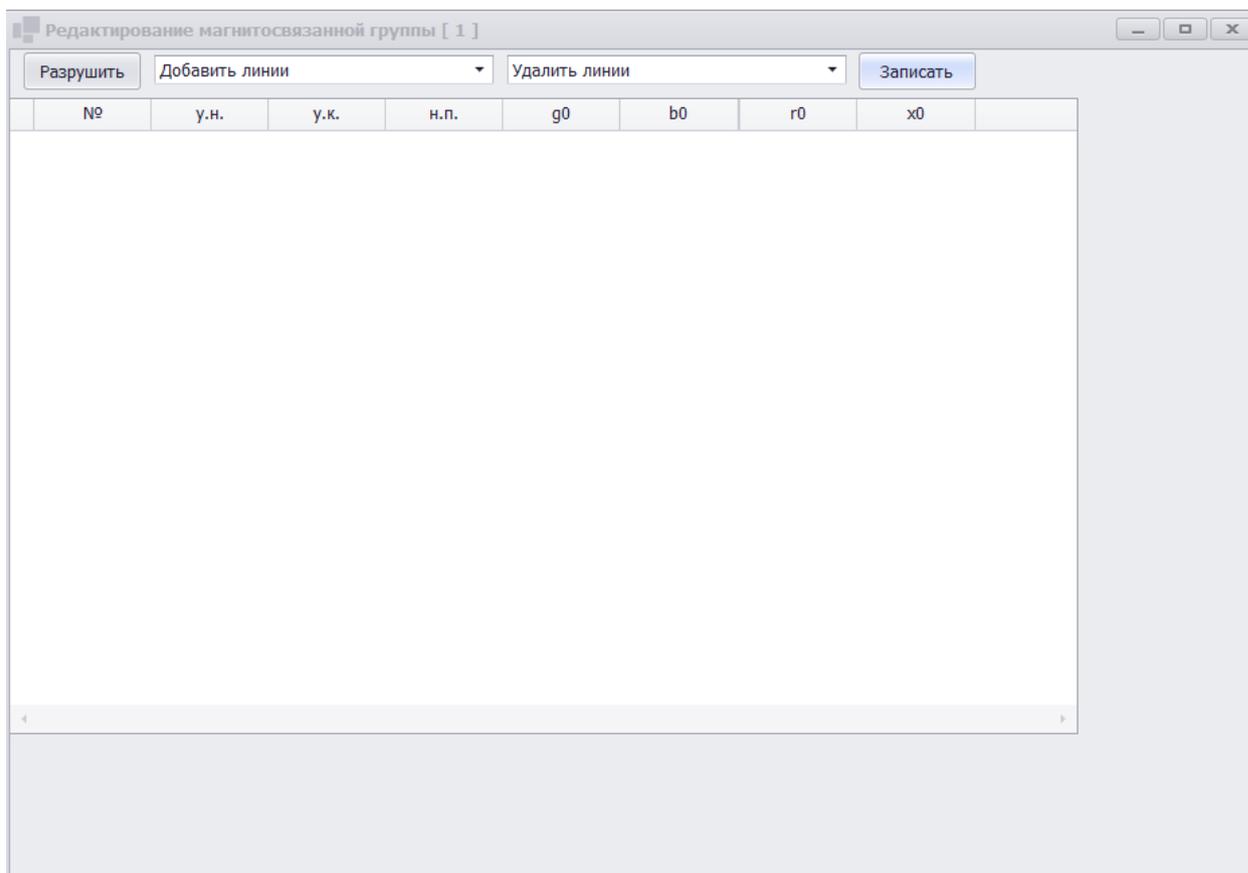


Рисунок 39 – Окно редактирования групп магнитосвязанных ветвей

3. «Двойной щелчок мыши» – вызывает редактор сопротивлений взаимоиндукции линий магнитосвязанной группы, по которой выполнен щелчок мыши.

Редактор магнитосвязанных групп позволяет (рис. 40): 1) редактировать параметры взаимоиндукции между линиями – нижняя треугольная матрица, выделенная красным, соответствует задаваемым сопротивлениям взаимоиндукции; собственные сопротивления нулевой последовательности внесённых в группу линий располагаются на главной диагонали матрицы (матрица 2x2 – для двух ветвей, для магнитосвязанных групп, линии которых разделены на участки, размерность будет больше), выделены зелёным и не редактируются;

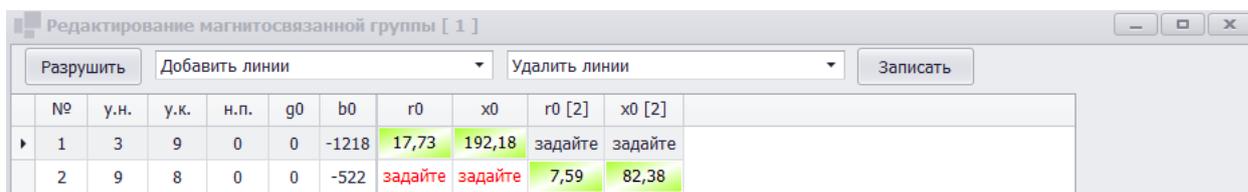


Рисунок 40 – Редактирование групп магнитосвязанных ветвей

2) добавлять линии в группе – «Добавить линии» (рис.41);

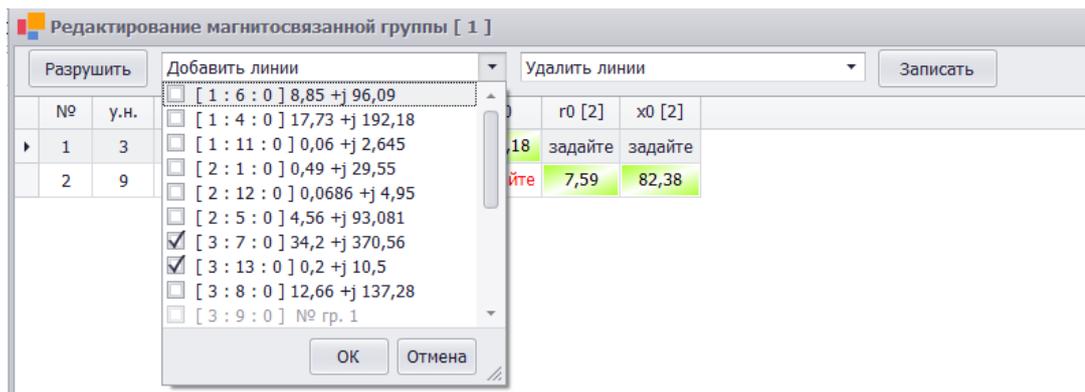


Рисунок 41 – Добавление линий в магнитосвязанную группу

3) удалять линии в группе – «Удалить линии» (рис. 42);

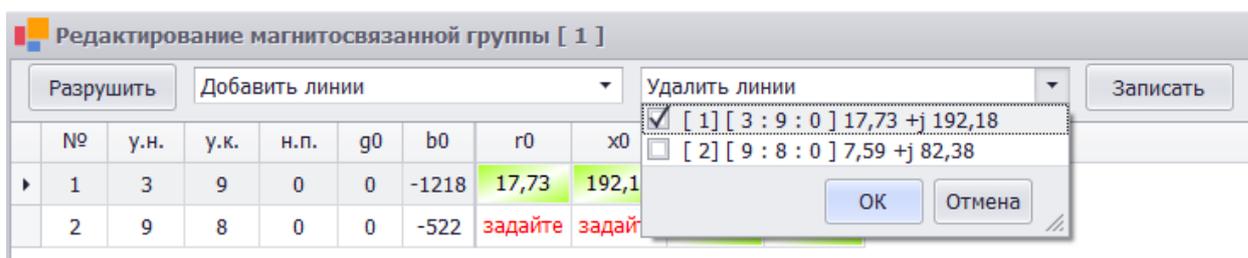


Рисунок 42 – Удаление линий в магнитосвязанной группе

4) разрушить группу – «Разрушить»; 5) записать произведенные изменения – «Записать».

В качестве примера рассмотрим задание групп магнитосвязанных линий для схемы, графика которой в RastrWin3 приведена на рис 43.

Магнитосвязанными линиями принимаем группы следующих линий: I группа: линии, соответствующие ветвям 3 – 7 и 3 – 9; II группа: линии, соответствующие ветвям 3 – 8 и 9 – 8.

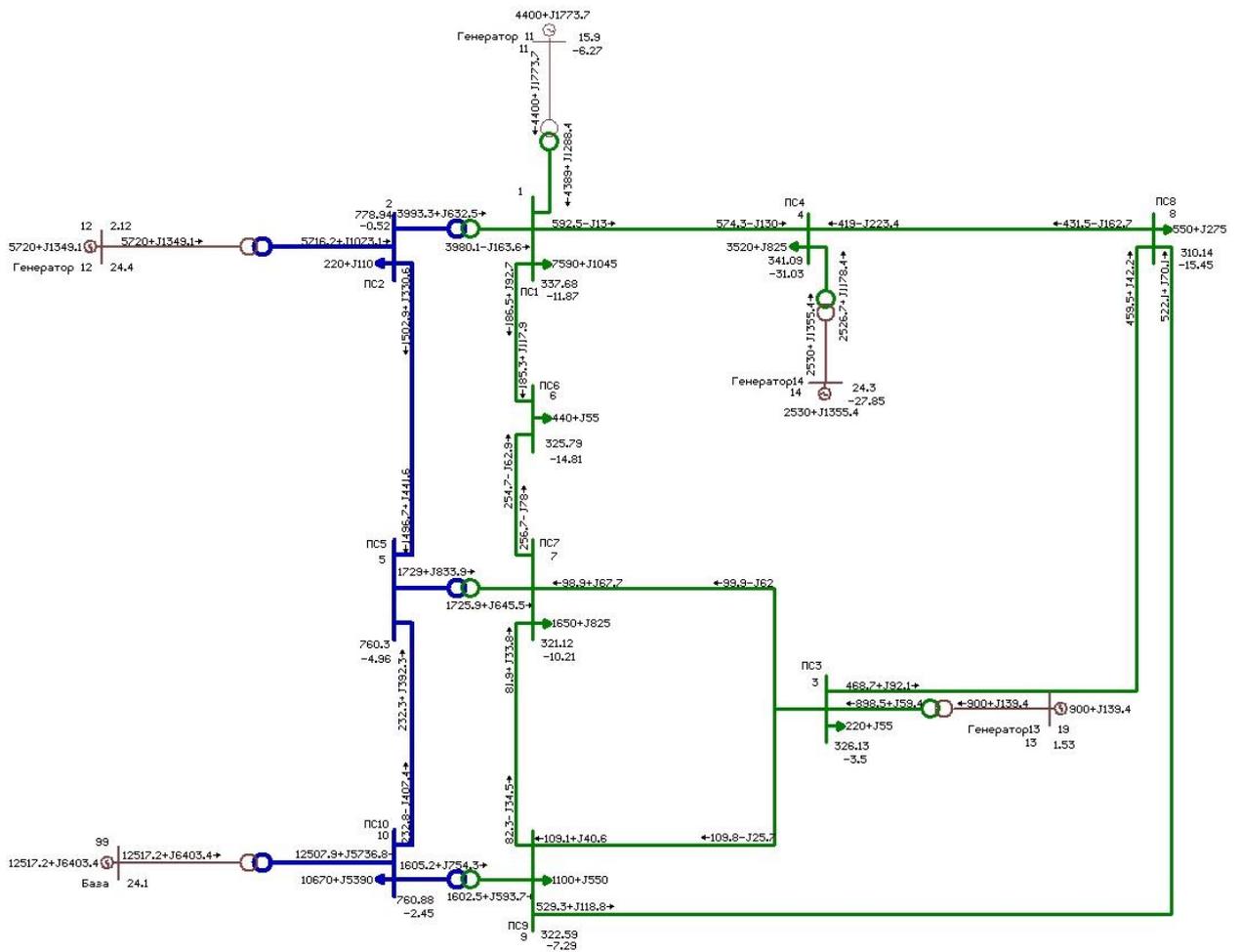


Рисунок 43 – Графика схемы

В редакторе магнитосвязанных групп добавляем поочерёдно две группы указанных линий. В качестве сопротивления, величина которого заносится в поле, помеченное словом «задайте», указывается сопротивление взаимной индукции $x_{вз}$, которое рассчитывается по формуле (4)

$$x_{вз} = kx_1, \quad (4)$$

где k – коэффициент взаимной реактивности нулевой последовательности;

x_1 – сопротивление прямой последовательности ветви, в строке для которой вносится значение. Например, для ветви 3–9 реактивное сопротивление прямой последовательности $x_1=64,06$ Ом. Коэффициент взаимной реактивности равен 1,6. Тогда в магнитосвязанной группе I (рис. 44), в поле второй строки в столбце x_0 заносится значение сопротивления взаимной индукции, равное $1,6 \cdot 64,06 = 102,496$ Ом.

№	у.н.	у.к.	н.п.	g0	b0	r0	x0	r0 [2]	x0 [2]
1	3	7	0	0	0	11,4	432,32	0	102,496
2	3	9	0	0	0	0	102,496	5,91	224,21

Рисунок 44 – Задание сопротивления взаимоиндукции для магнитосвязанной группы I

Задать магнитосвязанные группы можно также с использованием вкладок «Несимметрия–Ветви/Несим/ИД» и «Несимметрия–Магнитосвязь/Несим». Номер магнитосвязанной группы, к которой принадлежит ветвь и номер ветви в магнитосвязанной группе задаются в таблице «Несимметрия – Ветви/Несим/ИД» с помощью столбцов «№мс гр» и «№мс» (рис. 45).

S	Тип	s0	tip0	N_нач	N_кон	N_п	Название	R	X	G	B	Kt/l	Kt/r	r0	x0	№ мс гр	№ мс
✓	лэп		лэп	3	8		пс3 - пс8	4,22	45,76		-500,0			4,220	160,160	2	1
✓	лэп		лэп	3	9		пс3 - пс9	5,91	64,06		-700,0			5,910	224,210	1	2
✓	лэп		лэп	3	7		пс3 - пс7	11,40	123,52		-1 350,0			11,400	432,320	1	1
✓	лэп		лэп	9	8		пс9 - пс8	2,53	27,46		-300,0			2,530	96,110	2	2

Рисунок 45 – Задание магнитосвязанных групп во вкладке «Несимметрия→Ветви/Несим/ИД»

Сопротивления взаимоиндукции задаются во вкладке «Несимметрия–Магнитосвязь/Несим» с помощью столбцов «r0» и «x0» (рис.46):

№ мс гр	№ мс 1	№ мс 2	r0	x0
1	2	1		43,936
2	1	1		102,496

Рисунок 46 – Задание сопротивлений взаимоиндукции во вкладке «Несимметрия→Ветви/Несим/ИД»

Стоит отметить, что при выборе любого из способа задания магнитосвязанной группы, внесённая информация дублируется другим способом.

4.2 Расчёт сопротивления шунта короткого замыкания

Панель программного модуля RastrKZ находится в правом верхнем углу меню (рис. 47).

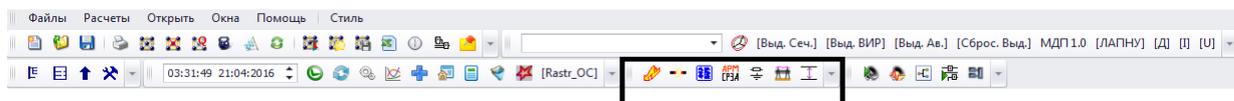


Рисунок 47 – Расположение панели программного модуля RastrKZ в меню
Внешний вид панели, используемой для расчётов сопротивлений шунта короткого замыкания, представлен на рис. 48.

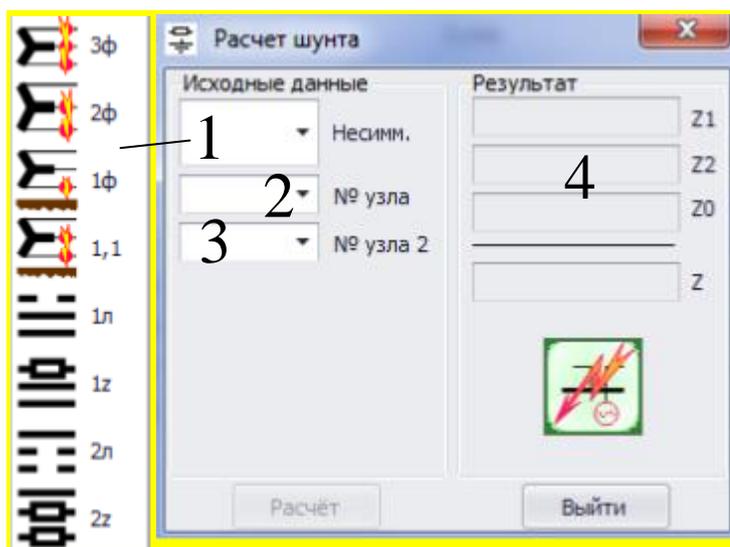


Рисунок 48 – Внешний вид панели для расчета шунта

- в поле №1 задаётся вид несимметрии (3), (2), (1,1), (1);
- в поле №2 выбирается номер узла – начальной точки расчёта сопротивления шунта;
- в поле №3 выбирается номер узла – конечной точки расчёта сопротивления шунта;
- в поле №4 выводятся значения сопротивлений шунта для прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также суммарное сопротивление шунта для выбранного вида несимметрии.

На рис. 49 приведен пример расчёта сопротивления шунта трёхфазного короткого замыкания в узле 3 расчётной модели, графика RastrWin3 которой приведена на рис. 43.

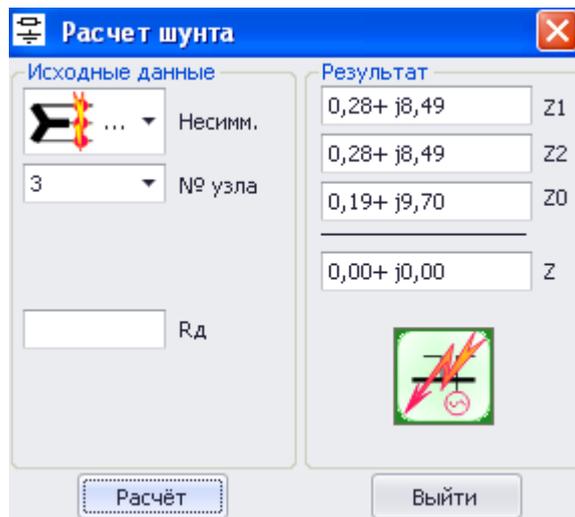


Рисунок 49 – Расчёт сопротивления шунта трёхфазного короткого замыкания

На рис. 50-56 приведены результаты расчёта сопротивлений шунтов поперечной и продольной несимметрии.

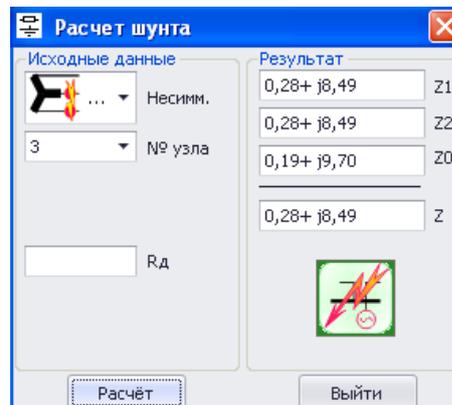


Рисунок 50 – Расчёт сопротивления шунта двухфазного(междуфазного) короткого замыкания

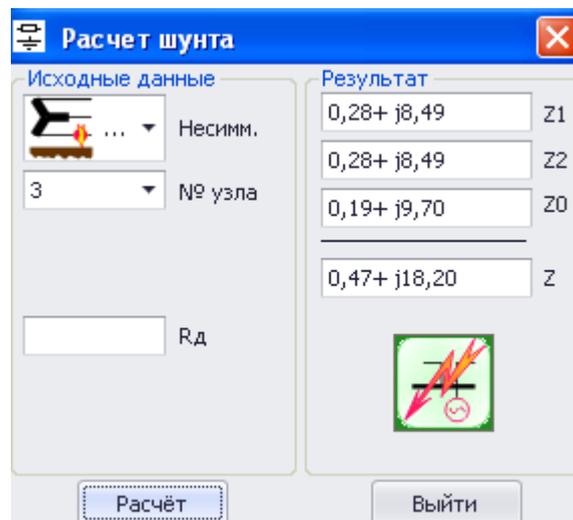


Рисунок 51 – Расчёт сопротивления шунта однофазного короткого замыкания

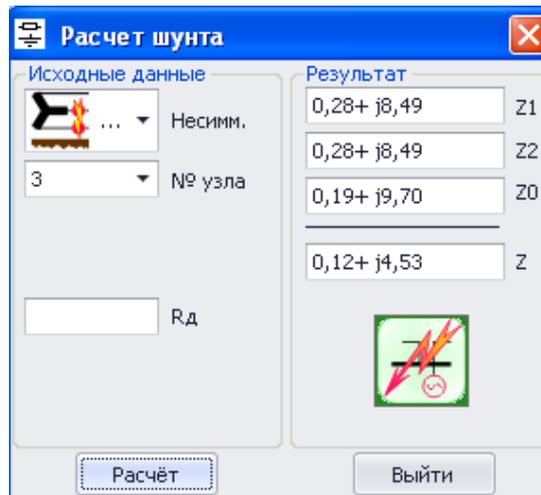


Рисунок 52 – Расчёт сопротивления шунта двухфазного короткого замыкания на землю

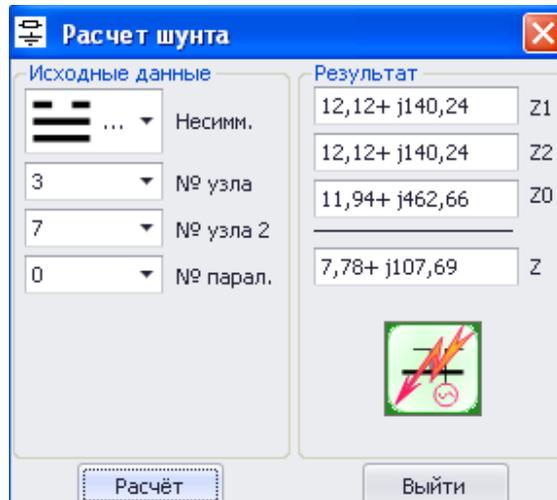


Рисунок 53 – Расчёт сопротивления шунта при обрыве одной фазы ветви 3–7

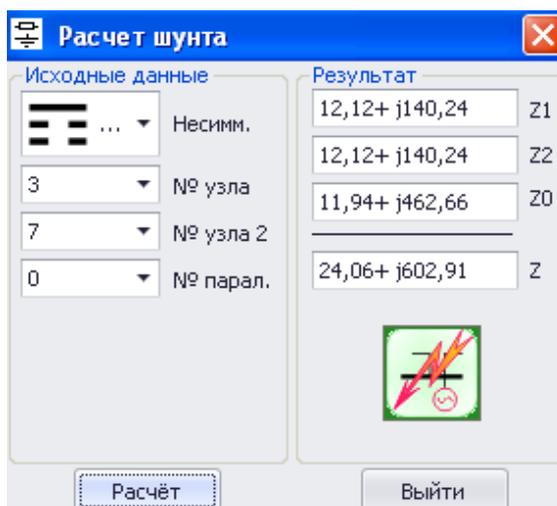


Рисунок 54 – Расчёт сопротивления шунта при обрыве двух фаз ветви 3–7

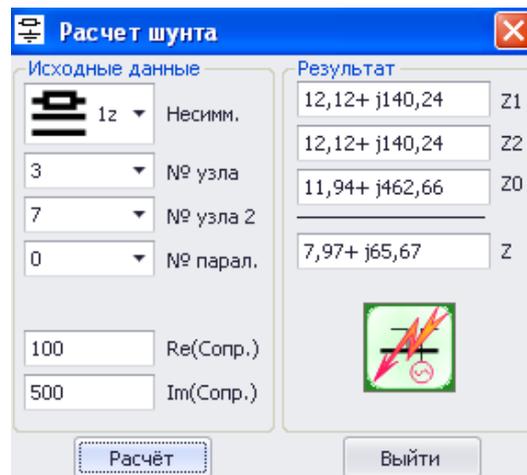


Рисунок 55 – Расчёт сопротивления шунта при добавлении сопротивления $100 + j500$ Ом в одну из фаз ветви 3–7

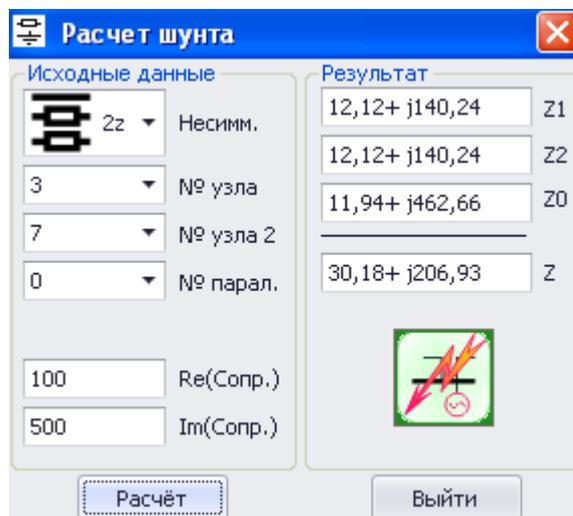


Рисунок 56 – Расчёт сопротивления шунта при добавлении сопротивления $100 + j500$ Ом в две фазы ветви 3–7

4.3 Расчёт параметров короткого замыкания

Имеется два способа расчета параметров короткого замыкания в RastrKZ: одиночный расчет; пакетный расчет.

Для выполнения одиночного расчета необходимо открыть вкладку «Несимметрия–Состав/Несим». В столбце «№» указывается номер несимметрии, позволяющий выполнять расчет параметров короткого замыкания с несколькими одновременно действующими группами несимметрии, в столбце «№ сост» указывается номер составляющей несимметрии, что позволяет в одной группе указать несколько точек несимметрии. В столбце «Тип» указывается тип несимметрии, в столбце

«П1» указывается номер узла несимметрии (в случае задания продольной несимметрии в столбце «П1» указывается узел начала ветви, в столбце «П2» – узел конца ветви, в столбце «П3» – номер параллельности ветви).

На рис. 57 представлен пример задания точки трёхфазного короткого замыкания для узла 3 рассматриваемой схемы (рис. 43).

	S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	I 1	dI 1	I 2	dI 2	I 0
1	1	1	1	3ф	3			23,5222	-88,10	0,0000		0,0000

Рисунок 57 – Задание трёхфазного короткого замыкания в узле 3

Выполнение несимметрии осуществляется путём нажатия на иконку «🔥» («ТКЗ») на главной рабочей панели (рис. 58).



Рисунок 58 – Расчёт несимметрии

После расчёта параметров несимметрии в таблице «Несимметрия–Состав/Несим» появятся расчётные значения симметричных составляющих суммарного тока несимметрии (модуль и угол тока) (рис. 59).

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	I 1	dI 1	I 2	dI 2	I 0	dI 0	r1	x1	r2	x2	r0	x0
1	1	1	3ф	3			24,6469	-87,87	0,0000		0,0000							

Рисунок 59 – Результаты несимметрии

Для просмотра результатов расчёта других параметров короткого замыкания необходимо открыть вкладки раздела «Открыть – Несимметрия»:

«Узлы/Несим/РС» — расчетные значения параметров симметричных составляющих узлов (рис. 60);

O	S	s0	Тип0	Номер	Название	U_ном	V	Delta	VIL	dVIL	V1	Delta1	V2	Delta2	V0	Delta0	z.I1	z.dI1	z.I2	z.dI2	z.I0	z.dI0	
1		y	10	ПС10	750	760,88	-2,45	770,10	3	444,62	-0,05						0,00						
2		y	99	База	24	24,10		24,02	0	13,87	-0,02						0,00						
3		y	5	ПС5	750	760,30	-4,96	775,54	3	447,76	-0,19						0,00						
4		y	2	ПС2	750	778,94	-0,51	786,94	5	454,34	-0,04						0,00						
5		зак	12	Генератор 12	24	24,40	2,12	24,40	2	14,09	-0,01						0,00						
6		y	1	ПС1	330	337,68	-11,87	348,60	6	201,27	-0,03						0,00						
7		зак	11	Генератор 11	16	15,90	-5,27	15,89	1	9,17	-0,01						0,00						
8		зак	14	Генератор14	24	24,30	-27,85	24,28	1	14,02	-0,01						0,00						
9		y	4	ПС4	330	341,09	-31,02	346,49	5	200,05	-0,08						0,00						
10		y	8	ПС8	330	310,14	-15,45	223,47	-32	129,62	-0,44						0,00						
11		y	9	ПС9	330	322,59	-7,29	300,24	-9	173,34	-0,54						0,00						
12		y	7	ПС7	330	321,12	-10,20	328,08	-1	189,42	-0,38						0,00						
13		y	6	ПС6	330	325,79	-14,81	340,25	3	196,44	-0,23						0,00						
14		зак	13	Генератор13	20	19,00	1,53	18,47	-8	10,66	-0,03						0,00						
15		y	3	ПС3	330	326,13	-3,50		-100								0,00		0,00		0,00		

Рисунок 60 – Результаты расчёта симметричных составляющих узлов

«Узлы/Несим/РФ» — расчетные значения параметров узлов по фазам

(рис. 61);

№	О	S	s0	Тип0	Номер	Название	U_ном	Va	Da	Vb	Db	Vc	Dc	z.Ia	z.dIa	z.Ib	z.dIb	z.Ic	z.dIc
1	<input type="checkbox"/>			у	10	ПС10	750	444,62	-0,05	-444,62	59,95	-444,62	-60,05	0,00		0,00		0,00	
2	<input type="checkbox"/>			у	99	База	24	13,87	-0,02	-13,87	59,98	-13,87	-60,02	0,00		0,00		0,00	
3	<input type="checkbox"/>			у	5	ПС5	750	447,76	-0,19	-447,76	59,81	-447,76	-60,19	0,00		0,00		0,00	
4	<input type="checkbox"/>			у	2	ПС2	750	454,34	-0,04	-454,34	59,96	-454,34	-60,04	0,00		0,00		0,00	
5	<input type="checkbox"/>			зак	12	Генератор 12	24	14,09	-0,01	-14,09	59,99	-14,09	-60,01	0,00		0,00		0,00	
6	<input type="checkbox"/>			у	1	ПС1	330	201,27	-0,03	-201,27	59,97	-201,27	-60,03	0,00		0,00		0,00	
7	<input type="checkbox"/>			зак	11	Генератор 11	16	9,17	-0,01	-9,17	59,99	-9,17	-60,01	0,00		0,00		0,00	
8	<input type="checkbox"/>			зак	14	Генератор14	24	14,02	-0,01	-14,02	59,99	-14,02	-60,01	0,00		0,00		0,00	
9	<input type="checkbox"/>			у	4	ПС4	330	200,05	-0,08	-200,05	59,92	-200,05	-60,08	0,00		0,00		0,00	
10	<input type="checkbox"/>			у	8	ПС8	330	129,02	-0,44	-129,02	59,56	-129,02	-60,44	0,00		0,00		0,00	
11	<input type="checkbox"/>			у	9	ПС9	330	173,34	-0,54	-173,34	59,46	-173,34	-60,54	0,00		0,00		0,00	
12	<input type="checkbox"/>			у	7	ПС7	330	189,42	-0,38	-189,42	59,62	-189,42	-60,38	0,00		0,00		0,00	
13	<input type="checkbox"/>			у	6	ПС6	330	196,44	-0,23	-196,44	59,77	-196,44	-60,23	0,00		0,00		0,00	
14	<input type="checkbox"/>			зак	13	Генератор13	20	10,66	-0,03	-10,66	59,97	-10,66	-60,03	0,00		0,00		0,00	
15	<input type="checkbox"/>			у	3	ПС3	330							0,00		0,00		0,00	

Рисунок 61 – Результаты расчёта параметров узлов по фазам

«Ветви/Несим/РС» — расчетные значения параметров симметричных составляющих ветвей (рис.62);

№	О	S	Тип	s0	Ир0	N_нач	N_кон	N_л	Название	I1_н	dI1_н	I2_н	dI2_н	I0_н	dI0_н	I1_м	Ol_м	I1_л	xI_л	I1_к	dI1_к	I2_к	dI2_к	I0_к	dI0_к	P1_к	Ol_к	I1_к	xI_к
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	10	99			ПС10-База	-1,380	-83,810					-300,205	-1,829...	-35,039	-320,256	-44,519	-83,810					-200,366	-1,941...	-0,034	-0,310
2	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	10	5			ПС10-ПС5	0,341	88,561					18,980	-54,178	31,548	-1,304...	0,284	-88,543					10,965	381,676	-45,234	1,574,540
3	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	2	5			ПС2-ПС5	0,129	-67,681					66,659	162,095	1,343...	3,267...	0,303	-80,801					66,440	401,923	240,619	1,456,645
4	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	2	12			ПС2-Генератор 12	-0,049	-17,413					-63,705	-19,937	-8,853...	-2,770...	-1,580	-17,413					-63,706	-19,973	6,509	-3,668
5	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	2	1			ПС2-ПС1	-0,104	-88,845					-2,954	-142,159	-90,472	-4,354...	-0,237	-88,845					-2,970	-143,123	-17,610	-848,721
6	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	1	11			ПС1-Генератор 11	-0,301	-81,708					-26,286	-179,616	-96,937	-662,391	-5,622	-81,708					-26,302	-180,333	0,200	1,371
7	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	4	14			ПС4-Генератор14	-0,946	-83,388					-6,121	-563,898	-24,626	-310,020	-13,671	-83,388					-6,255	-571,013	-0,118	-1,018
8	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	1	4			ПС1-ПС4	0,052	85,531					2,425	-31,279	299,593	-3,861...	0,089	-87,471					2,420	53,205	102,425	2,251,853
9	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	8	4			ПС8-ПС4	-1,149	-84,386					-46,924	-442,288	-11,846	-111,654	-1,035	-83,738					-68,541	-617,103	-21,345	-192,180
10	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	9	8			ПС9-ПС8	1,581	-85,485					72,476	819,145	9,561	109,190	1,627	-85,625					52,869	627,247	6,661	79,042
11	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	9	7			ПС9-ПС7	-0,310	-84,738					-16,316	-160,535	-56,486	-555,772	-0,184	-80,805					-17,424	-103,324	-170,815	-1,012...
12	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	6	7			ПС6-ПС7	0,185	-79,297					28,687	107,093	201,302	1,042...	0,252	-82,233					20,262	141,583	106,617	744,979
13	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	1	6			ПС1-ПС6	0,117	-72,902					28,890	67,771	504,759	1,637...	0,185	-79,297					20,687	107,093	201,302	1,042,122
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	3	13			ПС3-Генератор13	-17,629	-88,939								-306,051	-88,939						-188,459	-9,789...	-0,001	-0,025
15	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	7			ПС3-ПС7	-1,527	-85,104									-1,400	-84,623					-79,746	-791,396	-13,567	-194,641
16	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	9			ПС3-ПС9	-2,694	-85,271									-2,634	-85,149					-128,724	-1,363...	-6,194	-65,515
17	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	8			ПС3-ПС8	-2,808	-85,173									-2,775	-85,112					-99,793	-1,069...	-4,138	-46,235
18	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	5	7			ПС5-ПС7	0,586	-84,547					77,412	783,599	75,095	760,143	1,332	-84,547					76,907	753,138	14,444	141,443
19	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	10	9			ПС10-ПС9	1,718	-85,318					189,225	2,284...	21,364	257,676	3,905	-85,318					184,805	2,022...	4,041	44,204

Рисунок 62 – Результаты расчёта параметров симметричных составляющих ветвей

«Ветви→Несим→РФ» – расчетные значения параметров фаз ветвей (рис. 63).

№	О	S	Тип	s0	Ир0	N_нач	N_кон	N_л	Название	Ia_н	dIa_н	Ib_н	dIb_н	Ic_н	dIc_н	Ia_к	dIa_к	Ib_к	dIb_к	Ic_к	dIc_к
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	10	99			ПС10-База	-1,380	-83,810	1,380	-23,810	-1,380	36,190	-44,519	-83,810	44,519	-23,810	-44,519	36,190
2	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	10	5			ПС10-ПС5	0,341	88,561	0,341	-31,439	-0,341	28,561	0,284	-86,543	-0,284	-28,543	0,284	31,457
3	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	2	5			ПС2-ПС5	0,129	-67,681	-0,129	-7,681	0,129	52,319	0,303	-80,801	-0,303	-20,801	0,303	39,199
4	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	2	12			ПС2-Генератор 12	-0,049	-17,413	0,049	42,587	0,049	-77,413	-1,580	-17,413	1,580	42,587	1,580	-77,413
5	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	2	1			ПС2-ПС1	-0,104	-88,845	0,104	-28,845	-0,104	31,155	-0,237	-88,845	0,237	-28,845	0,237	31,155
6	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	1	11			ПС1-Генератор 11	-0,301	-81,708	0,301	-21,708	-0,301	38,292	-6,622	-81,708	6,622	-21,708	-6,622	38,292
7	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	4	14			ПС4-Генератор14	-0,946	-83,388	0,946	-23,388	-0,946	36,612	-13,671	-83,388	13,671	-23,388	-13,671	36,612
8	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	1	4			ПС1-ПС4	0,052	85,531	0,052	-34,469	-0,052	25,531	0,089	-87,471	-0,089	-27,471	0,089	32,529
9	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	8	4			ПС8-ПС4	-1,149	-84,386	1,149	-24,386	-1,149	35,614	-1,035	-83,738	1,035	-23,738	-1,035	36,262
10	<input checked="" type="checkbox"/>		лэп	лэп	9	8			ПС9-ПС8	1,581	-85,485	-1,581	-25,485	1,581	34,515	1,627	-85,625	-1,627	-25,625	1,627	34,375
11	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	9	7			ПС9-ПС7	-0,310	-84,738	0,310	-24,738	-0,310	35,262	-0,184	-80,805	0,184	-20,805	-0,184	39,195
12	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	6	7			ПС6-ПС7	0,185	-79,297	-0,185	-19,297	0,185	40,703	0,252	-82,233	-0,252	-22,233	0,252	37,767
13	<input type="checkbox"/>		лэп	лэп	1	6			ПС1-ПС6	0,117	-72,902	-0,117	-12,902	0,117	47,098	0,185	-79,297	-0,185	-19,297	0,185	40,703
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	3	13			ПС3-Генератор13	-17,629	-88,939	17,629	-28,939	-17,629	31,061	-306,051	-88,939	306,051	-28,939	-306,051	31,061
15	<input checked="" type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	7			ПС3-ПС7	-1,527	-85,104	1,527	-25,104	-1,527	34,896	-1,400	-84,623	1,400	-24,623	-1,400	35,377
16	<input checked="" type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	9			ПС3-ПС9	-2,694	-85,271	2,694	-25,271	-2,694	34,729	-2,634	-85,149	2,634	-25,149	-2,634	34,851
17	<input checked="" type="checkbox"/>		лэп	лэп	3	8			ПС3-ПС8	-2,808	-85,173	2,808	-25,173	-2,808	34,827	-2,775	-85,112	2,775	-25,112	-2,775	34,888
18	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	5	7			ПС5-ПС7	0,586	-84,547	-0,586	-24,547	0,586	35,453	1,332	-84,547	-1,332	-24,547	1,332	35,453
19	<input type="checkbox"/>		Тр-р	Тр-р	10	9			ПС10-ПС9	1,718	-85,318	-1,718	-25,318	1,718	34,682	3,905	-85,318	-3,905	-25,318	3,905	34,682

Рисунок 63 – Результаты расчёта параметров фаз ветвей

Для выполнения пакетного расчета токов несимметрии можно использовать библиотеку макросов «ТКЗ». Стандартные макросы находятся в папке «Мои документы–Rastrwin3–macro». Назначение каждого макроса библиотеки «ТКЗ» приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Назначение макросов

Название макроса	Назначение
MakeNonSymm.rbs	Создание примерной схемы обратной и нулевой последовательностей по данным прямой
Расчет в отмеченных узлах 3 ф 1 ф КЗ.rbs	Последовательный расчет шунта, ТКЗ 3 ф, ТКЗ 1 ф во всех отмеченных узлах
Примерный режим из ТКЗ.rbs	Попытка дополнить данные для расчета ТКЗ данными для расчета установившегося режимов
Настроить графику для ТКЗ.rbs	Настройка текущей графики на работу с ТКЗ, внесение изменений в Графика-Тест и градиенты по линиям
Расчет в отмеченных узлах 3 ф 1 ф КЗ через выкл.rbs	Расчёт токов, протекающих через выключатели данного узла при 3 ф и 1 ф КЗ за ними
Ткз утяжеление.rbs	Вращение углов заданных генераторов
Расчитать ЭДС и угол генераторов из установившегося режима.rbs	Расчёт ЭДС и углы из установившегося режима

Важно отметить:

1. для успешного и корректного расчёта параметров несимметрии базисный узел и генераторные узлы, а также узлы с двигательной нагрузкой должны быть заданы в таблице «Генераторы», причём, узлы с двигательной нагрузкой задаются отрицательной мощностью генерации. Минимальный набор информации, необходимой для расчёта параметров короткого замыкания, который заносится в таблицу «Генераторы (УР)» приведён на рис. 64.

	S	ПГ	N agr	Название	N узла	P	E	x	ур.Е	ур.Угол	Qmax
1		<input type="checkbox"/>	1	Генератор 11	11	4 400,00	15,900	0,001	15,902	-5,276	4 000,00
2		<input type="checkbox"/>	2	Генератор 12	12	5 720,00	24,400	0,001	24,401	2,674	3 000,00
3		<input type="checkbox"/>	3	Генератор 13	13	900,00	19,000	0,001	19,000	1,671	3 000,00
4		<input type="checkbox"/>	4	Генератор 14	14	2 530,00	24,300	0,001	24,300	-27,603	3 000,00
5		<input type="checkbox"/>	5	База	99		24,100	0,001	24,100		

Рисунок 64 – Информация в таблице «Генераторы (УР)» для расчёта параметров несимметрии (столбцы «Е» и «х»)

2. фазы напряжений в RastrKZ при расчёте несимметричных режимов отсчитываются от действительной оси. Это стоит учитывать при сравнении результатов, полученных с использованием RastrKZ, и результатов аналитического расчёта.

Расчёт электромеханических переходных процессов синхронных и асинхронных двигателей

Принципы формирования исходных данных для расчета электромеханических переходных процессов

При импорте данных установившегося режима необходимо **загрузить файл в формате rg2 и сохранить его по типу «динамика.rst», затем снова загрузить файл «динамика.rst»**, только тогда файл дополняется полями, необходимыми для расчета динамики.

Для упрощения ввода данных возможно создание и ведение справочника оборудования, в котором описаны типовые характеристики устройств. Такой справочник хранится в отдельном файле (оборудование.brd) и может быть загружен с любым файлом динамики.

Панель программного модуля RusTab находится в правом верхнем углу меню программного комплекса RastrWin3 (рис. 7).

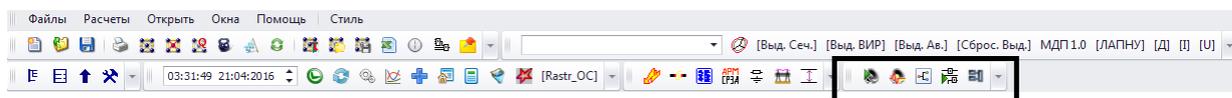


Рисунок 7 – Расположение панели программного модуля RusTab в меню программного комплекса RastrWin3

Для перехода в окно ввода исходных данных для синхронного и асинхронного двигателей необходимо из главного меню перейти по вкладкам: «Открыть» → «Динамика (ИД)» → «СД (ИД)» и «АД (ИД)» соответственно (рис. 8).

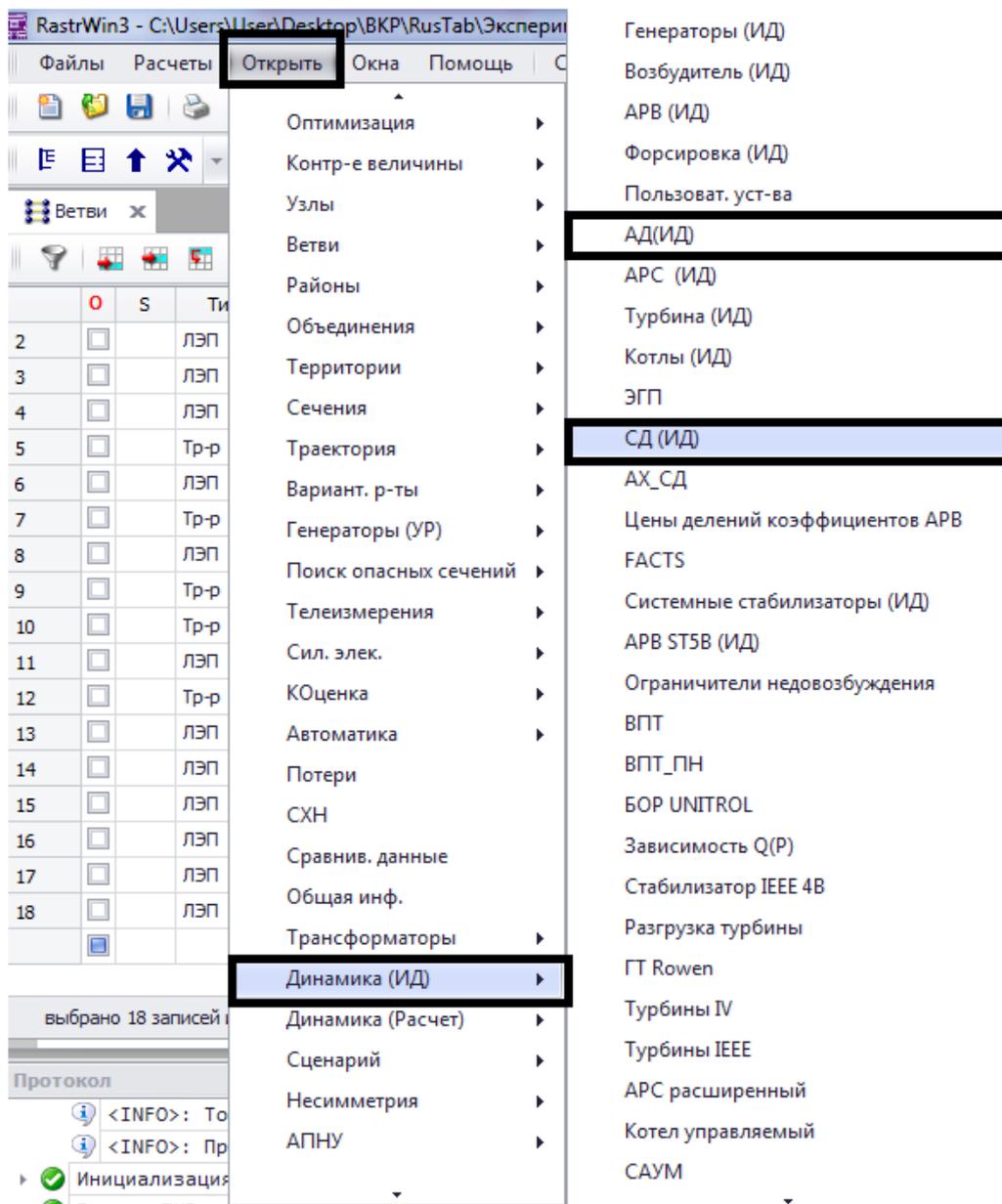


Рисунок 8 – Переход в окно ввода исходных данных для синхронного и асинхронного двигателей

Вид окна задания исходных данных для синхронного двигателя показан на рис. 9.

S	N агр	Название	N узла	Модель	Марка	N_взб	%	COS(Ф...	P	P_ном	U_н_ном	COS(Ф...	Мст	Итрор	Мпуск	s_г	N_ак	K_демп	Mj	Xd
1	2	СДР3-14-56-12У3	62	Эк-Мус...		62	100,000	0,900		0	6	0,900	0,500	0,100			1		10	25,07

Рисунок 9 – Окно задания исходных данных для синхронного двигателя

Для синхронного двигателя задают:

- $[N_{\text{арп}}]$ – номер двигателя (любое целое число). Каждому двигателю присваивается уникальный идентификационный номер;
- [Модель] – тип расчётной модели, например «3-kMustang»;
- $[N_{\text{узла}}]$ – номер узла, в котором задан двигатель;
- $[N_{\text{взб}}]$ – номер возбудителя (любое целое число). Каждому двигателю должен соответствовать возбудитель с уникальным идентификационным номером;
- [%] – процент мощности вырабатываемой синхронным двигателем в узле. Данное значение показывает, какую часть от суммарной мощности узла составляет мощность синхронного двигателя;
- $[\cos(\Phi)_{\text{раб}}]$ – рабочий коэффициент мощности. Знак «+» соответствует режиму недовозбуждения, «-» – режиму перевозбуждения;
- $[U_{\text{ном}}]$ – номинальное напряжение двигателя, кВ;
- $[\cos(\Phi)_{\text{ном}}]$ – номинальный (паспортный) коэффициент мощности;
- $[M_{\text{ст}}]$ – статический момент сопротивления на валу двигателя в долях от номинального, о.е.;
- $[M_{\text{трог}}]$ – дополнительный момент сопротивления в долях от номинального, возникающий при трогании, о.е.;
- $[M_{\text{пуск}}]$ – пусковой момент двигателя в долях от номинального, о.е.;
- $[N_{\text{ах}}]$ – номер асинхронной характеристики;
- $[M_j]$ – механическая постоянная инерции двигателя, сек;
- $[x_d]$ – синхронное реактивное сопротивление по продольной оси, Ом;
- $[x'_d]$ – переходное реактивное сопротивление по продольной оси, Ом;

- $[x_d'']$ – сверхпереходное реактивное сопротивление по продольной оси, Ом;
- $[T_{d0}']$ – переходная постоянная времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора, сек.

Все задаваемые параметры синхронного двигателя, кроме $[M_j]$, $[x_d]$, $[x_d']$, $[x_d'']$ являются справочными и исходными данными.

Пример расчёта сверхпереходного реактивного сопротивления по продольной оси синхронного двигателя.

1. Определяется номинальная полная мощность синхронного двигателя:

$$S_{\text{номСД}} = \frac{P_{\text{номСД}}}{\eta_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})} = \frac{315}{0,925 \cdot 0,9} = 378,4 \text{ кВА},$$

где:

$P_{\text{номСД}}$ – номинальная мощность синхронного двигателя, кВт;

$\eta_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент полезного действия (КПД) СД, о.е.;

$\cos(\varphi_{\text{ном}})$ – номинальный коэффициент активной мощности СД, о.е.

2. Определяется сверхпереходное реактивное сопротивление по продольной оси:

$$\begin{aligned} x_d'' &= \left[\frac{1}{I_{\text{пуск}^*}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{M_{\text{пуск}^*} \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})}{I_{\text{пуск}^*}} \right)^2} \right] \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{номСД}}} = \\ &= \left[\frac{1}{5,5} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1,1 \cdot 0,9}{5,5} \right)^2} \right] \cdot \frac{6,3^2}{378,4} = 18,76 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

где:

$I_{\text{пуск}^*}$ – кратность пускового тока по отношению к номинальному о.е.;

$M_{\text{пуск}^*}$ – кратность пускового момента по отношению к номинальному о.е.;

$U_{\text{ср.ном}}$ – средне номинальное напряжение, кВ.

Для асинхронной характеристики задают:

- $[N]$ – номер характеристики (любое целое число). Каждой асинхронной характеристике присваивается уникальный идентификационный номер;
- $[s]$ – скольжение, %
- $[M_{ac}]$ – значение асинхронного момента в долях от номинального, о.е.

Таблица для ввода параметров возбудителей синхронных машин расположена: Открыть – Динамика (ИД) – Возбудитель (ИД) (рис. 10).

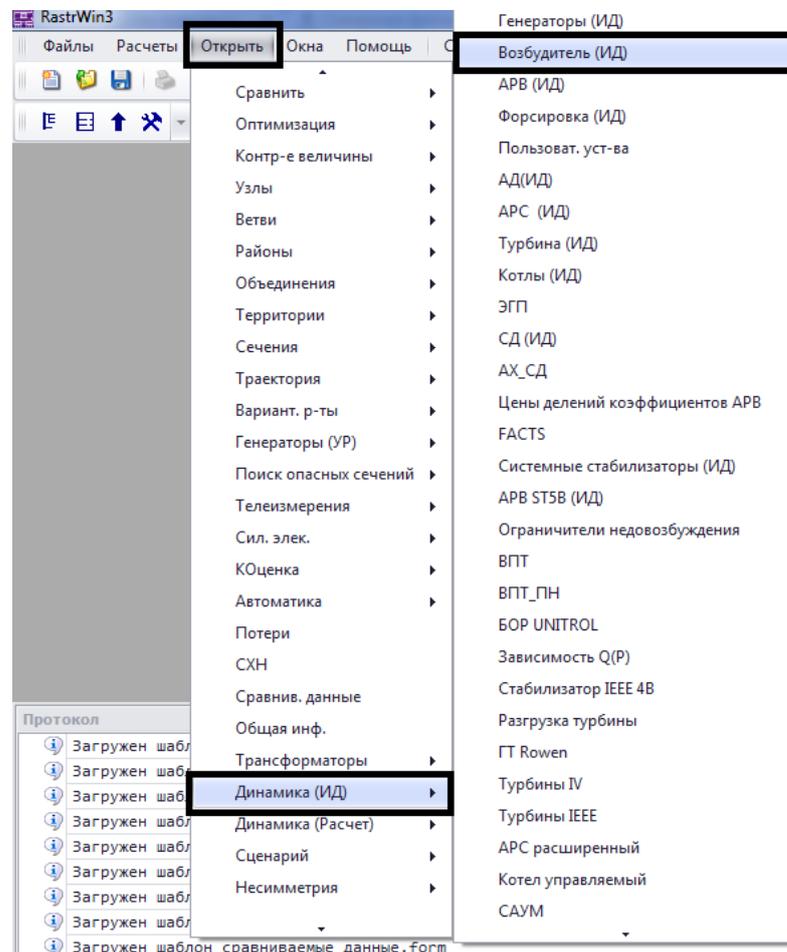


Рисунок 10 – Возбудитель (ИД)

Для возбудителя задают:

- $[N_{арр}]$ – номер возбудителя (любое целое число). Каждому возбудителю присваивается уникальный идентификационный номер;
- $[T_{возб}]$ – постоянная времени возбудителя, сек;

- [Тип] – тип возбуждения (независимое/зависимое);
- $[U_{f\text{мин}}]$ – минимальное значение напряжения возбуждения, о.е;
- $[U_{f\text{макс}}]$ – максимальное значение напряжения возбуждения, о.е;
- $[I_{f\text{мин}}]$ – минимальное значение тока возбуждения, о.е;
- $[I_{f\text{макс}}]$ – максимальное значение тока возбуждения, о.е.

Пример ввода данных по возбудителям, представлен на рис. 11.

S	N агр	Название	Модель	Марка	N_АРВ	N форс	T_возб	K_г	K_гф	Uf_min	Uf_max	If_min	If_max	Тип
1	1 319		Мустанг		1 319		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...
2	1 320		Мустанг		1 320		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...
3	1 321		Мустанг		1 321		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...
4	1 322		Мустанг		1 322		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...
5	1 323		Мустанг		1 323		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...
6	1 324		Мустанг		1 324		0,040			-1,600	2,000	0,600	2,000	Нез...

Рисунок 11 – Ввод данных по возбудителям

Примечания:

1. Номера возбудителей должны быть уникальными для каждого двигателя (генератора) и могут совпадать его номером;
2. Ввод информации о возбудителе осуществляется построчно для каждого возбудителя с занесением необходимых численных значений в соответствующие поля. Отсутствие в каком-либо поле числового значения означает, что параметр равен нулю.

Если синхронный двигатель имеет АРВ, то необходимо ввести параметры регуляторов возбуждения (рис. 12). Регулирование возбуждения оказывает существенное влияние на процессы при больших возмущениях и применении управляющих воздействий.

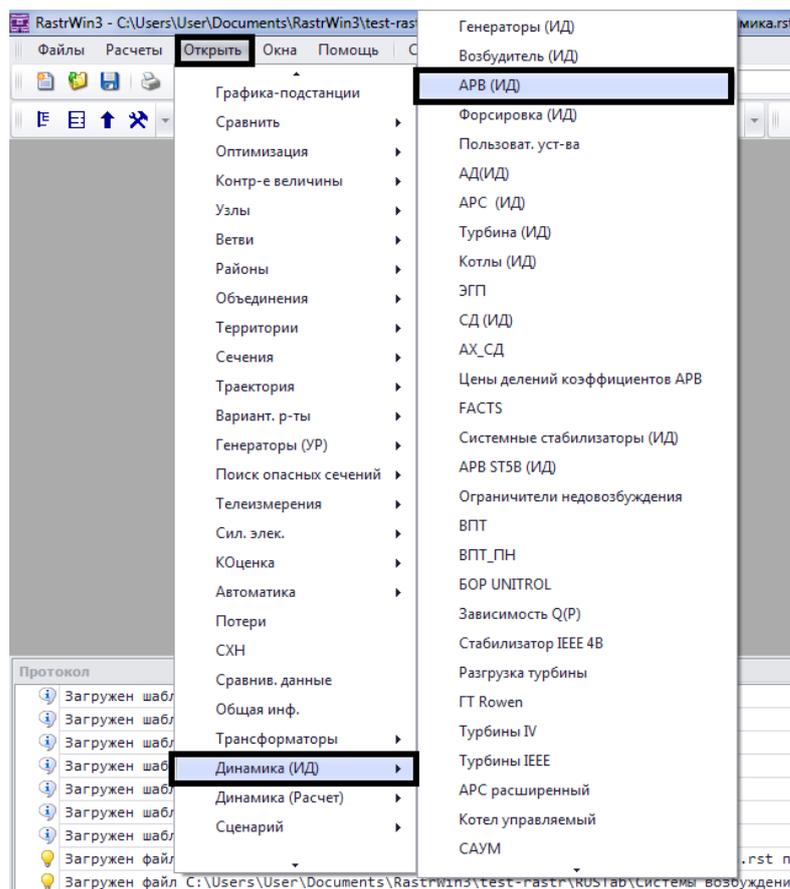


Рисунок 12 – АРВ (ИД)

Все исходные данные для моделирования АРВ вносятся в таблицу (рис. 13), расположенную: Открыть – Динамика (ИД) – АРВ (ИД).

S	N agr	Название	Модель	Марка	T_рв	Ku	K'u	K'if	Kf	K'f	Tf	Umin	Umax	Alpha

Рисунок 13 – Окно задания исходных данных АРВ для синхронного двигателя

Описание параметров АРВ представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры регуляторов возбуждения

Параметр	Описание
S	Состояние АРВ
Naгр	Номер АРВ
Название	Название АРВ
Модель	Модель АРВ. Элементы перечисления: Автовыбор Выбор Пользов. Упрощенная Полная.

Марка	Марка АРВ
T _{рв}	Постоянная времени регулятора возбуждения [с].
U _{min} , U _{max}	Ограничения входного сигнала РВ [ед.ном.воз.].
K _u	Коэффициент регулирования по отклонению напряжения [(ед. ном. воз.)/(ед. напр.)]
K' _u	Коэффициент регулирования по производной напряжения [делений]
K' _f	Коэффициент регулирования по производной тока ротора [делений]
K _f	Коэффициент регулирования по отклонению частоты на шинах генератора от ее предшествующего значения [делений]
K' _f	Коэффициент регулирования по производной частоты [делений]
T _f	Постоянная времени в канале отклонения частоты [с]
ALFA	Коэффициент, позволяющий учесть изменение уставки по напряжению при отклонении частоты в сети [о.е.]

Пример ввода исходных данных по АРВ представлен на рис. 14.

The screenshot shows a software window titled 'RastrWin3' with a menu bar (Файлы, Расчеты, Открыть, Окна, Помощь, Стиль) and a toolbar. Below the toolbar is a status bar showing the time '22:13:18' and date '30:04:2016'. The main area displays a table with the following data:

S	N арв	Название	Модель	Марка	T _{рв}	K _u	K' _u	K' _f	K _f	K' _f	T _f	U _{min}	U _{max}	Alpha
1	1 320		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
2	1 319		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
3	1 321		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
4	1 322		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
5	1 323		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
6	1 324		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	
7	1 325		Пропорциональная		0,040	50,000	3,600	1,000	2,600	2,500	0,900	-6,000	6,000	

Рисунок 14 – Ввод исходных данных по АРВ

Примечания:

1. Номера регуляторов возбуждения должны быть уникальными для каждого двигателя (генератора) и могут совпадать его номером;
2. Ввод информации по АРВ осуществляется построчно для каждого РВ с занесением необходимых численных значений в

соответствующие поля. Отсутствие в каком-либо поле числового значения означает, что параметр равен нулю.

Перечень исходных данных для асинхронного двигателя представлен на рис. 15.

S	N	Название	N узла	Модель	Марка	%	P	Q	Tдв	CosФ	Kзаг	Mст	Mтрог	Kн	Uдв/У...	Mmax	Mпуск	Iпуск	s_ном	s_г
1	61	ДАЗ304-400КК-ИМУ 1	61	ДХН-1		100,000	0,336	0,199	0,800	0,860	0,700	0,500	0,100	4,000	1,000	2,800	1,300	7,000	2,000	70,000

Рисунок 15 – Окно задания исходных данных для асинхронного двигателя

Для асинхронного двигателя задают:

- $[N_{\text{агр}}]$ – номер двигателя (любое целое число). Каждому двигателю присваивается уникальный идентификационный номер;
- [Модель] – тип расчётной модели, например «ДХН–1»;
- $[N \text{ узла}]$ – номер узла, в котором задан двигатель;
- [%] – процент мощности, вырабатываемой асинхронным двигателем в узле. Данное значение показывает, какую часть от суммарной мощности узла составляет мощность асинхронного двигателя;
- $[T_{\text{дв}}]$ – механическая постоянная времени вместе с приводным механизмом, сек;
- $[\cos(\Phi)_{\text{ном}}]$ – номинальный (паспортный) коэффициент мощности;
- $[K_{\text{заг}}]$ – коэффициент загрузки асинхронного двигателя, о.е.;
- $[M_{\text{ст}}]$ – статический момент сопротивления на валу двигателя в долях от номинального, о.е.;
- $[M_{\text{трог}}]$ – дополнительный момент сопротивления в долях от номинального, возникающий при трогании, о.е.;
- $[M_{\text{пуск}}]$ – пусковой момент двигателя в долях от номинального, о.е.;

- $[U_{\text{дв}}/U_{\text{ном}}]$ – напряжение двигателя в долях от номинального напряжения, о.е.;
- $[M_{\text{макс}}]$ – максимальный момент двигателя в долях от номинального, о.е.;
- $[I_{\text{пуск}}]$ – пусковой ток в долях номинального, о.е.;
- $[s_{\text{ном}}]$ – номинальное скольжение, о.е.;
- $[s_r]$ – скольжение, начиная с которого вводится учет вытеснения тока в роторе.

Все задаваемые параметры асинхронного двигателя являются справочными и исходными данными.

После заполнения таблиц исходных данных, необходимо произвести их сохранение согласно процедуре: Главное меню → Файлы → Сохранить как (рис. 16).

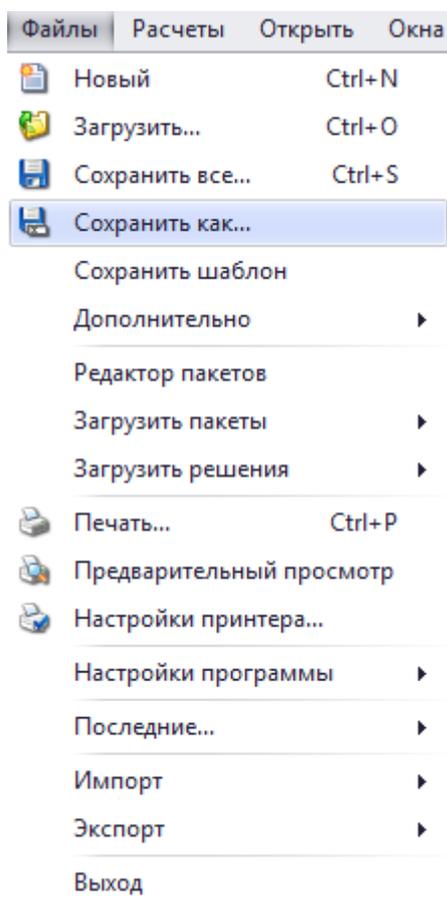


Рисунок 16 – Сохранение данных динамики

Данные о двигателях, АРВ, возбудителях и режим будут объединены в одном файле – динамика.rst(рис. 17).

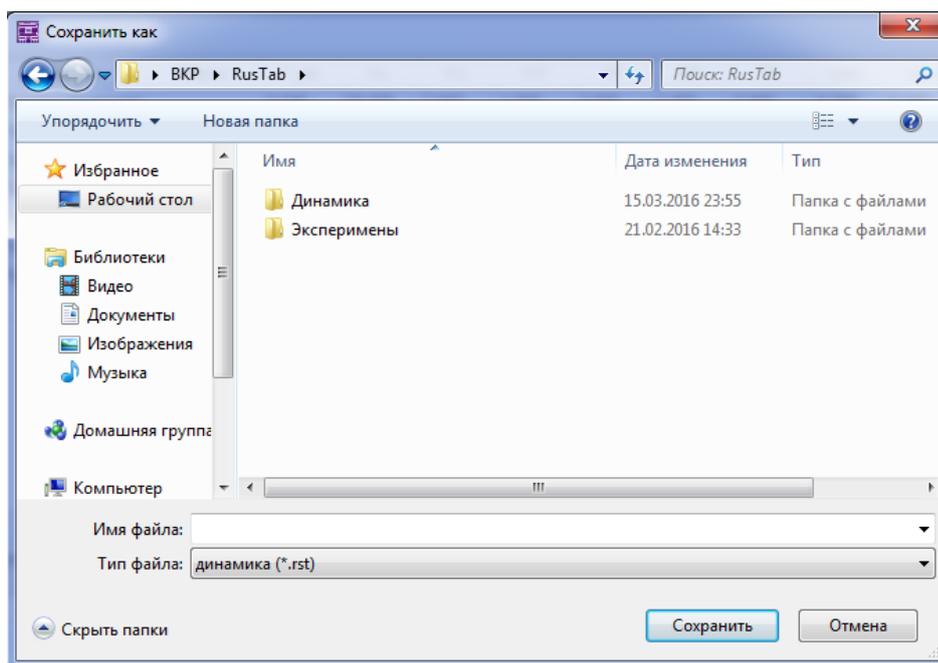


Рисунок 17 – Сохранение данных динамики

В ПК предусмотрена система моделирования событий, которые могут происходить в процессе расчета. Эта система объединяет две очень близкие по смыслу подсистемы: подсистему моделирования автоматики и подсистему моделирования сценария расчета динамики.

Описание автоматики хранится в шаблоне «автоматика.dfw», описание сценариев – в шаблоне «сценарий.scn». Описание автоматики задается в трех таблицах **Открыть/Автоматика**, описание сценария – в трех таблицах **Открыть/Сценарий**.

Каждая подсистема для пользователя представлена тремя однотипными таблицами – **Пусковые органы**, **Логика**, **Действия**. Таблицы **Пусковые органы** и **Действия** оперируют с параметрами режима объектов – генератор N, узел N, Ветвь N1,N2 модели (текущей расчетной схемы). Таблица **Пусковые органы** предназначена для измерения параметров, а таблица **Действие** – для изменения параметров расчетной модели. Таблица **Логика** описывает логические выражения для активизации **Действий** на основании

значений контролируемых параметров, задаваемых в таблице **Пусковые органы**.

Общая структура подсистем автоматики и сценария показана на рис. 18.

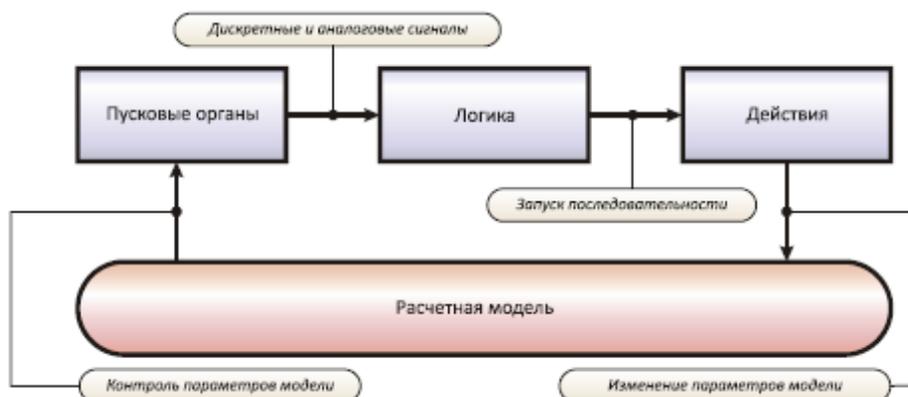


Рисунок 18 – Структура подсистем автоматики и сценария

Исходные данные по автоматике и сценарию последовательно вводятся в таблицы, расположенные по ссылке: **Главное меню** → **Открыть** → **Сценарий (Автоматика)** (рис. 19).

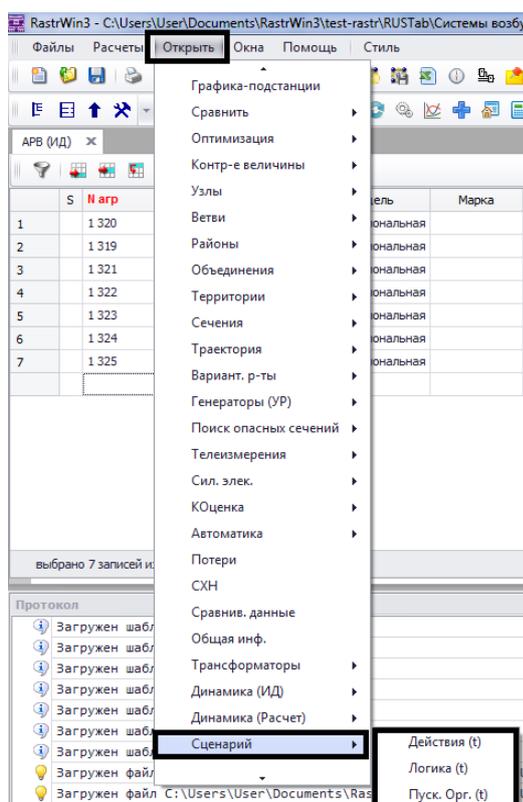


Рисунок 19 – Открытие окна «Сценарий»

Примечание: разделение автоматики и сценария сделано с целью обеспечения независимости описания автоматики от описания событий, и

тем самым получить возможность выполнения разных вариантов расчетов на одной и той же автоматике.

Внешний вид этих окон «Сценарий Действия» и «Сценарий Логика» показан на рис. 20 и 21 соответственно.

	N	N группы	Тип	Название	Формула	Тип объекта	Свойство объекта	Ключ объекта	Режим	N сраб
1	5	2	Узел Rш		0.06			666	0	1
2	7	1	Узел Rш		0.3			666	0	1
3	6	2	Узел Xш		0.04			666	0	1
4	8	1	Узел Xш		0.5			666	0	1

Рисунок 20 – Окно моделирования сценария переходного процесса «Сценарий Действия»

	N	Название	N модуля	Тип	Формула	Действия	Выдержка
1	1			Формула	1	A1	0.5
2	2			Формула	1	A2	0.1

Рисунок 21 – Окно моделирования сценария переходного процесса «Сценарий Логика»

«Действие» должно иметь собственный уникальный идентификатор в поле **N** и идентификатор группы, в которую оно входит в поле **N группы**. Выполняться могут только действия, входящие в группу.

Для директивы «Действия» задают:

- $[N]$ – номер действия (любое целое число). Каждому действию присваивается уникальный идентификационный номер;
- $[N \text{ группы}]$ – номер группы действий (любое целое число), которые происходят одновременно. Каждой группе присваивается уникальный идентификационный номер;
- $[\text{Тип}]$ – тип действия. Данное поле характеризует тип параметров, которые подвергаются изменениям в результате сценария, например,

сопротивление шунта, потребление/генерация активной и реактивной мощности и т.д.;

- [Формула] – поле содержит расчётное выражение для получения числовых значений параметров, выбранных в поле «Тип»;
- [Ключ объекта] – номер узла, в котором моделируется возмущение;
- [N сраб] – количество срабатываний действий.

В поле **Формула** может быть задано выражение, по которому рассчитывается значение, присваиваемое параметру объекта, управляемого действием. В выражении можно использовать символические ссылки, что позволяет динамически рассчитывать требуемое значение параметров по любой комбинации параметров модели.

В поле **Нсраб** должно быть указано допустимое количество срабатываний данного действия. По умолчанию допускается одно срабатывание. Если в поле **Нсраб** установлен ноль, действие не будет исполняться.

Примечания:

1. Элементы **Действия** можно объединять в группы, что позволяет задавать сложные действия, одновременно изменяющие параметры нескольких объектов модели;
2. **Действия** не привязаны ко времени и выполняются только по команде от элемента Логика.

Для ввода, коррекции и просмотра информации о логике предлагается табличный редактор (рис.22).

N	Название	N модуля	Тип	Формула	Действия	Выдержка	ПО мод	Const мод	Дейст мод	Режим
1										

Рисунок 22 – Табличный редактор «Логика»

Каждая строка таблицы соответствует одному элементу логики. Элемент логики должен иметь уникальный номер, задаваемый в поле **N**.

Для директивы «Логика» задают:

- [N] – номер элемента логики (любое целое число). Каждому элементу логики присваивается уникальный идентификационный номер;
- [Тип] – тип логического выражения. Тип элемента логики – «Формула» означает, что программа будет анализировать выражение в поле «Формула». Если оно истинно, то необходимо выполнить действие, указанные в поле «Действия»;
- [Формула] – данное поле содержит выражение, являющееся критерием совершения действия. Задание любой константы, отличной от нуля, обуславливает его истинность. В этом случае «Логика» срабатывает сразу же после начала расчёта.
- [Выдержка] – выдержка времени, сек. Числовое значение этого поля устанавливает задержку срабатывания действия после срабатывания элемента логики;
- [Действия] – указывает на группу действий, которые необходимо выполнить (например A1 означает «Action 1», т.е. срабатывание первой группы действий).

В поле **Действия** размещаются ссылки на группы действий, которые будут исполнены в случае, если расчет по выражению в поле **Формула** даст логическую единицу. Группы действий задаются в виде списка, разделенного запятыми. Каждая группа действий может быть исполнена с параметрами. **Действия** могут быть исполнены сразу после того, как формула возвратит единицу, при условии, что в поле **Выдержка** установлено значение ноль. Если в поле **Выдержка** указан интервал времени, действия будут исполнены по истечении этого интервала и при условии, что на протяжении всего интервала формула возвращала единицу.

Поле **Режим** управляет способом исполнения действий, связанных с элементом логики. В положении «Нормальный» (по умолчанию) действия будут исполняться для всех моментов времени, для которых выражение в поле **Формула** дает истину. В положении «Импульс» действия будут

исполняться при переходе значения выражения в поле Формула из состояния ложь в состояние истина.

В случае если результат вычисления может быть трактован как логическая единица, элемент логики запускает выдержку времени, на протяжении которой продолжает контролировать результат вычисления. Если в течение выдержки результат вычисления сохранит значение логической единицы, элемент логики запускает действия, заданные в его списке.

Пусковые органы задаются в табличной форме (рис.23).

N	Тип	Название	Формула	Тип объекта	Свойство объекта	Ключ объекта
1						

Рисунок 23 – Табличный редактор «Пусковые органы»

Каждый пусковой орган должен иметь уникальный номер, задаваемый в поле **N**. Пусковой орган задается типом, который определяет параметр, значение которого поступает в пусковой орган из расчетной модели. В поле **Тип** предусмотрены варианты, представленные в табл. 2.

Таблица 2 – Список параметров, поступающих из расчетной модели

Откл	Пусковой орган отключен, на выходе всегда 0
Объект	Пусковой орган отнесен к объекту модели, который описывается в полях «Тип объекта», «Свойство объекта» и «Ключ объекта».
Время	На выходе пускового органа выдается текущее время расчета в секундах в виде числа с плавающей точкой.
Откл	Пусковой орган вне зависимости от параметров всегда выдает 0

Таблица 12 – Продолжение

Сост. Узла	На выходе пускового органа состояние узла с номером, заданным в поле «Ключ объекта». Выходное значение «0» соответствует отключенному состоянию, «1» – включенному
------------	--

	состоянию узла.
Сост Ветви	На выходе пускового органа состояние ветви, с номерами узлов начала и конца и номером параллельной цепи, заданными через запятую в поле «Ключ объекта». Выходное значение «0» соответствует отключенному состоянию, «1» – включенному состоянию ветви.
Ветвь Инач	Ток в начале ветви в килоамперах.
Ветвь Икон	Ток в конце ветви в килоамперах.
Ветвь Рнач	Поток активной мощности в начале ветви в мегаваттах.
Ветвь Ркон	Поток активной мощности в конце ветви в мегаваттах.
Ветвь Qнач	Поток реактивной мощности в начале ветви в мегаварах.
Ветвь Qкон	Поток реактивной мощности в конце ветви в мегаварах.
Ветвь РНнач	Угол мощности в начале ветви в радианах
Ветвь РНкон	Угол мощности в конце ветви в радианах

В поле **Название** задается произвольное название пускового органа. Значение этого поля в процессе работы автоматики не используется. В поле **Формула** задается расчетное выражение, которое определяет значение, передаваемое на выход. В случае если в поле ничего не задано, на выход передается значение параметра объекта модели, к которому привязан данный пусковой орган. Номер узла задается в поле **Ключ объекта**. Пусковой орган любого типа с любой формулой не может изменить параметры модели, поскольку параметры в пусковом органе доступны только для чтения.

После ввода необходимых данных для всех элементов сценария производится сохранение: **Главное меню – Файлы – Сохранить как – имя файла.scn**(рис. 24).

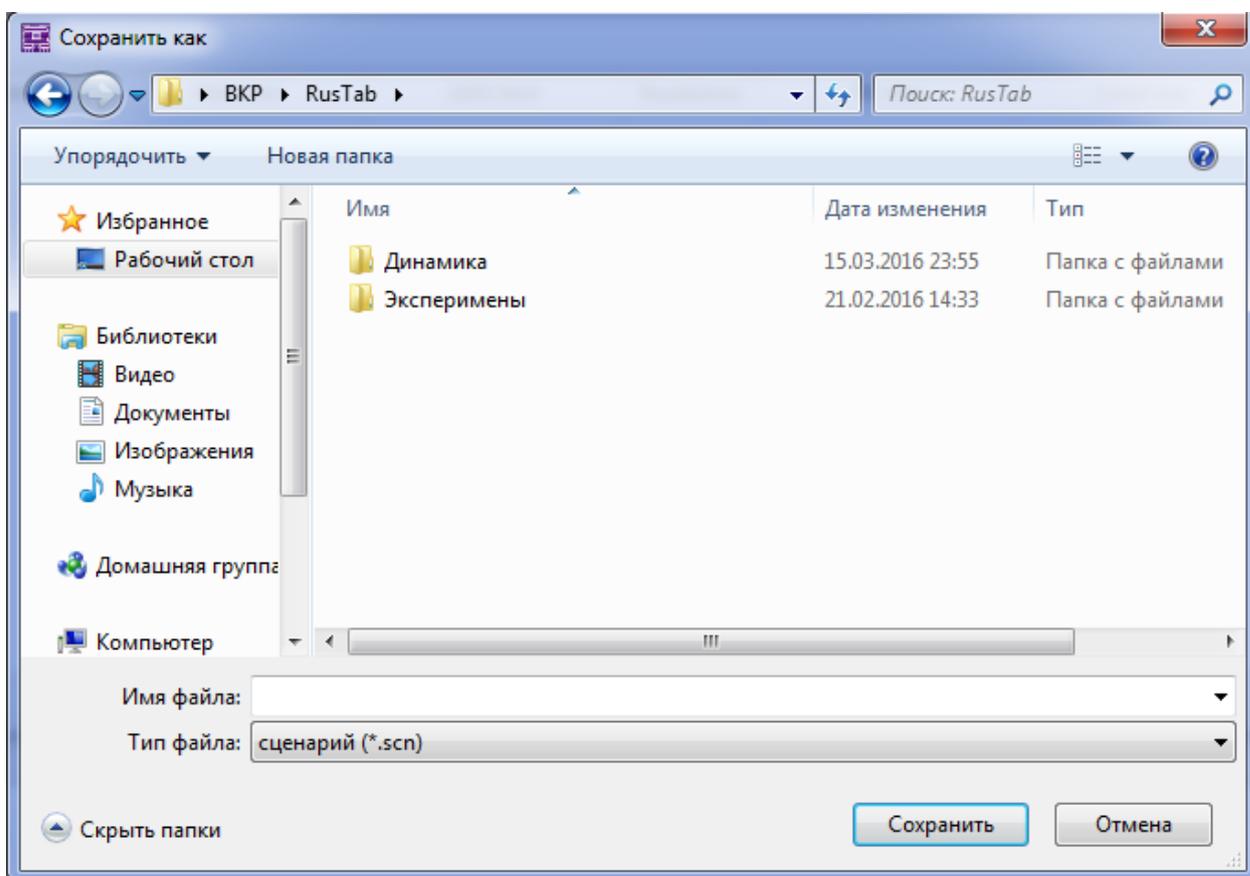


Рисунок 24 – Пример сохранения сценария

Расчет переходных процессов и вывод результатов

После задания исходных данных и сценария, нажатием кнопки «Начать расчёт переходного процесса»(рис. 25) производится расчёт переходного процесса. Для просмотра полученных характеристик необходимо левой кнопкой мыши в строке задания исходных данных для двигателей открыть графики (рис. 26).



Рисунок 25 – Начало расчёта переходного процесса

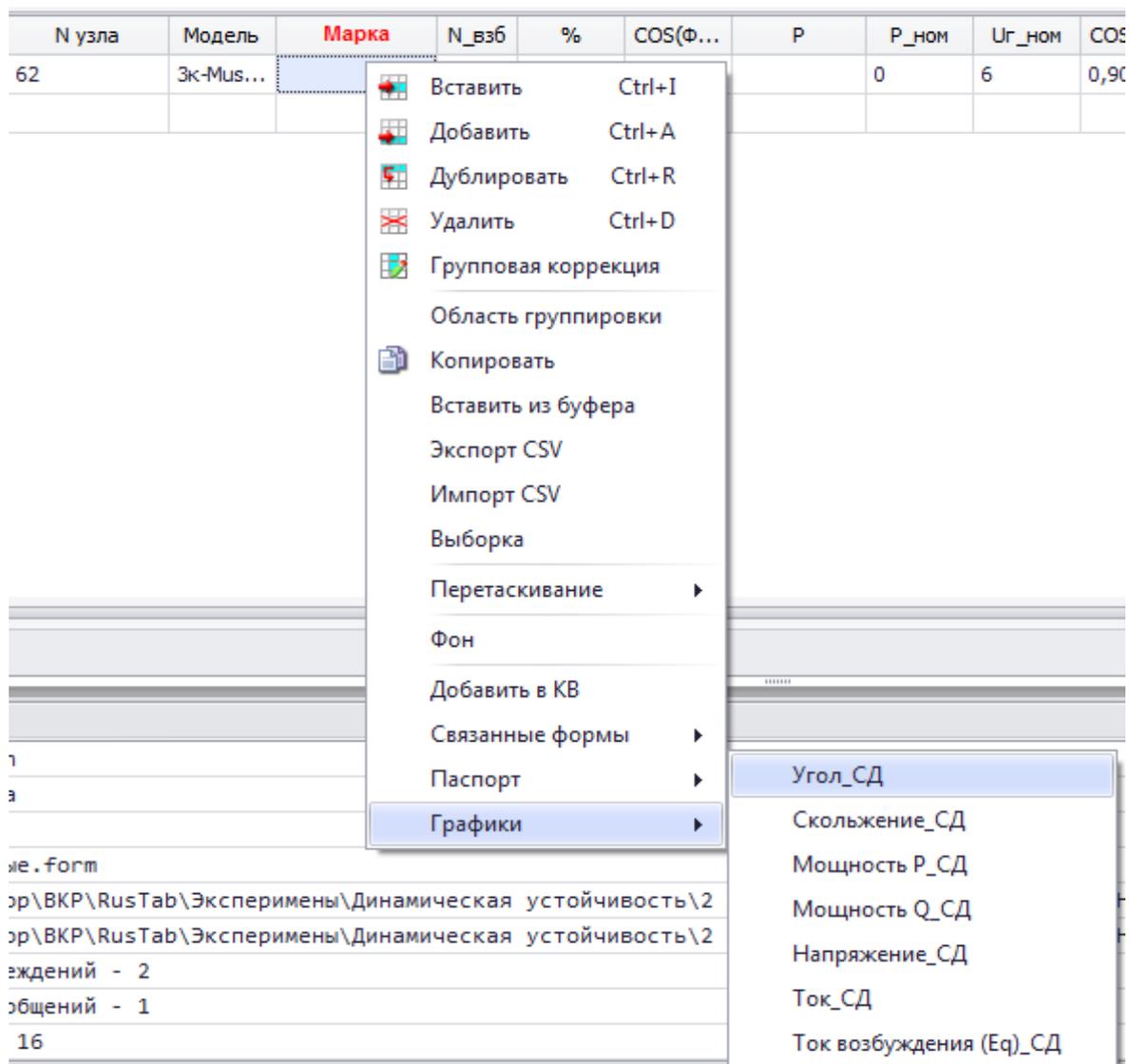


Рисунок 26 – Переход в окно отображения результатов расчёта переходного процесса для синхронного двигателя

Окно вывода результатов расчёта представлено на рис. 27.

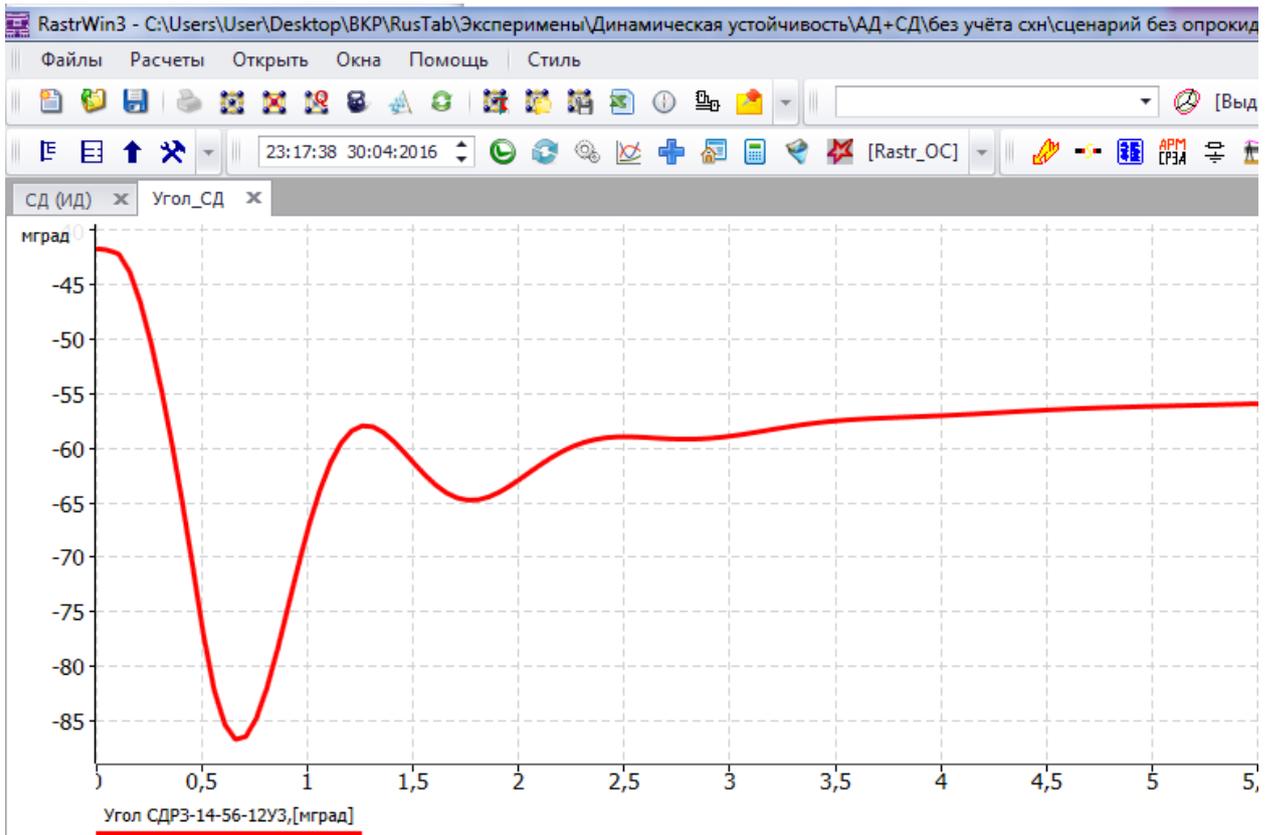


Рисунок 27 – Окно вывода результатов расчёта