

## Задание

1. Подготовка исходных данных схемы 750/330/110/35/10/0.38 кВ.
2. Расчет и анализ исходного режима.
3. Оптимизация мест разрывов сети 10, 35 кВ.
4. Оптимизация реактивных мощностей.
5. Выбор шунтирующего реактора 750 кВ.
6. Ручные расчеты
7. Выводы

### 1. Подготовка исходных данных схемы 750/330/110/35/10/0.38 кВ.

На рис.1. показана конфигурация исходной схемы. Узел 751 является балансирующим узлом с заданным напряжением 750 кВ. Нумерация узлов соответствует классам напряжений: 751...753 – узлы 750 кВ; 331...337 – узлы 330 кВ; 111...119 – узлы 110 кВ; 31...37 – узлы 35 кВ; 1...15 – узлы 10 кВ; 16...17 – узлы 0.38 кВ. Узлы 118, 119 являются средними точками трехобмоточных трансформаторов и имеют класс напряжения 110 кВ.

Исходные параметры схемы (марки и длины линий, марки трансформаторов и автотрансформаторов, нагрузки и генерации в узлах) необходимо выбрать самостоятельно в следующих диапазонах:

Длины линий:

750 кВ:	300...400 км (ветвь 752 – 753 с нулевой длиной);
330 кВ:	100...150 км;
110 кВ:	40...60 км;
35 кВ:	10...20 км;
10 кВ:	1.5...3 км;
0.38 кВ:	200...400 м.

Марки линий:

750 кВ:	АС4-400;
330 кВ:	АС2-240, 300, 400, 500;
110 кВ:	АС-120, 150, 185, 240, 300;
35 кВ:	АС-70, 95, 120;
10 кВ:	АС-35, 50, кабель АСБ, ААШВ, АПВ-95, 120, 150;
0.38 кВ:	А-25, 35.

Нагрузки:

750 кВ:	300...500 МВт;
330 кВ:	100...150 МВт, в узле 336 генерация 200...250 МВт;
110 кВ:	40...60 МВт;
35 кВ:	4...6 МВт;
10 кВ:	0.5...1 МВт;
0.38 кВ:	0.01...0.03 МВт.

реактивная нагрузка выбирается из условий:  $\operatorname{tg}\varphi = 0.4...0.6$ .

Трансформаторы:

автотрансформатор 750/330 кВ:	АОДЦТН-333000/750/330/20;
автотрансформатор 330/110 кВ:	АТДЦТН-125000/330/115/38.5;
трансформаторы 110/35/10 кВ:	16000, 25000, 40000 кВА;
трансформаторы 35/10 кВ:	2500, 3200, 4000, 6300 кВА;
трансформатор 10/0.4:	250, 400, 630, 1000 кВА.

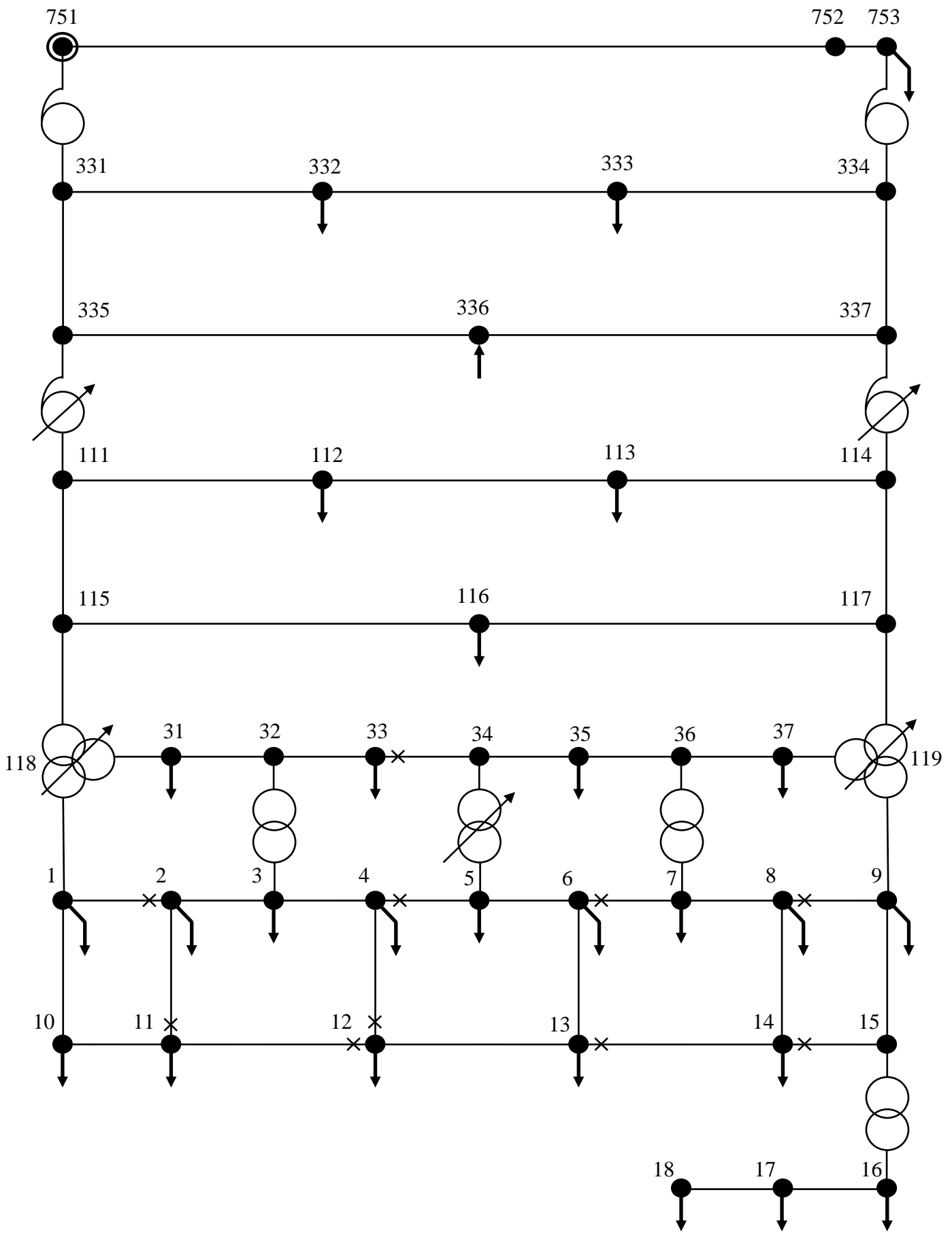


Рис.1. Схема 750/330/110/35/10/0.38 кВ

Последовательность операций:

1. Запустить программу vk\_raotr.exe.
2. Создание файлов схемы: меню "Схема" – "Создать", в диалоговом окне набираем "Имя файла" и нажимаем кнопку "Открыть". По умолчанию загружается пустая таблица узлов схемы.
3. Для редакции таблицы узлов нажимаем клавишу F4. Заполняем столбец "№ узла". В столбце "Обозначение" дублируем номера узлов. В столбце "П" (признак) устанавливаем признак балансирующего узла – символ "b" для узла 751 (строка выделяется синим цветом). В колонке "В" (вершины) устанавливаем цифру "1" для узла 753. Заполняем колонки "Рнаг", "Qнаг" для нагрузочных узлов (см. рис.1) и колонки "Рген", "Qген" для узла 336. Заполняем колонку "Um" номинальными напряжениями – 750, 330, 110, 35, 10, 0.38 кВ.
4. Сохраняем набор клавишей F2 и переходим к таблице ветвей нажатием на панели управления кнопки "vet" или выбором меню "Данные" – "Ветви схемы".
5. Для редакции таблицы ветвей нажимаем клавишу F4. Заполняем столбцы "№ нач.", "№ кон." в соответствии с конфигурацией схемы на рис.1. Для трансформаторных ветвей "№ нач." – сторона высокого напряжения, "№ кон." – сторона низкого или среднего напряжения. В колонке "к" устанавливаем признаки разрывов: "Н" – со стороны начала ветви, "К" – с конца ветви в местах указанных на рис.1.
6. Выполняем проверку правильности конфигурации: меню "Контроль схемы" – "Анализ конфигурации". При правильной конфигурации в схеме не должно быть узлов без питания и должны быть 4 контура, результаты анализа конфигурации приводятся в нижней части окна, например:

[Контроль конфигурации]

Узлов = 44  
Ветвей = 57  
Узлов без питания = 0  
Замкнутых контуров = 4

Список узлов без питания показывается выбором меню "Контроль схемы" – "Узлы без питания", замкнутые контура показываются выбором меню "Контроль схемы" – "Замкнутые контура".

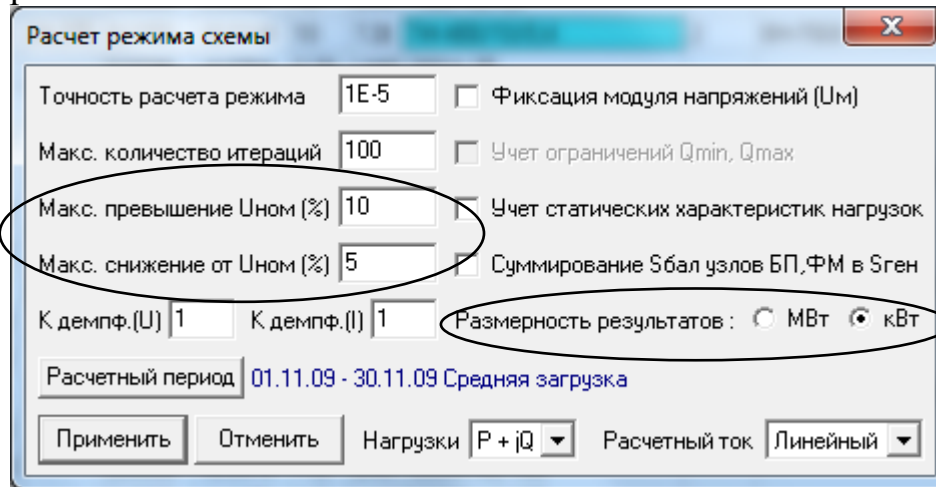
7. Параметры линий и трансформаторов заносятся с помощью клавиши F9 (см. инструкция пользователя РАОТП, п.4.1.2, стр.46). Параметры автотрансформаторов необходимо задать для одной ветви – поэтому они задаются аналогично двухобмоточным трансформаторам.

8. Отчет по разделу 1:

- Описание схемы (классы напряжений, балансирующий узел, выбранные марки линий, марки трансформаторов);
- Рисунок схемы с выбранными нагрузками, марками и длинами линий, мощностями трансформаторов;

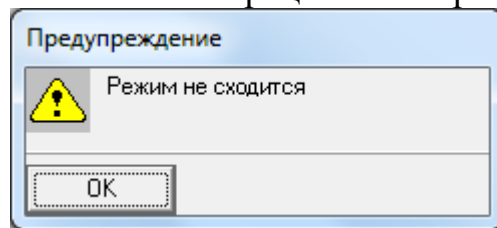
## 2. Расчет и анализ исходного режима.

1. После окончания набора таблицы ветвей нажимаем клавишу F2 для сохранения набора, затем выполняем расчет режима: меню "Режим" – "Расчет режима схемы":



В этом окне нужно обратить внимание на контролируемые пределы по напряжению и размерность результатов расчета. Нажимаем кнопку "Применить".

Если итерационный процесс не сходится то выводится сообщение:



Режим может не сходиться из-за завышенных нагрузок или завышенных сопротивлений (например, вместо 100 км установили длину 1000 км), поэтому в таблице узлов нужно визуально проверить значения нагрузок, а в таблице ветвей – сопротивления (для одного класса напряжений сопротивления линий должны быть примерно одного порядка). Все трансформаторные ветви должны быть записаны от высокого напряжения (начало ветви) к низкому напряжению (конец ветви). Также нужно проконтролировать правильность задания обмоток трехобмоточного трансформатора, например, ветвь 118 – 31 соответствует обмотке СН, а ветвь 118 – 1 – обмотке НН.

2. Следующим шагом (даже если режим не сходится) нужно отрегулировать напряжение трансформаторов "сверху-вниз" – от 330 до 0.38 кВ:

автотрансформаторы 750/330 – как правило не трогаются, напряжение 330 кВ должно быть в пределах 320 – 350 кВ;

автотрансформаторы 330/110 – регулируем напряжение примерно до уровня 115 – 117 кВ на стороне 110 кВ автотрансформаторов, регулируем параллельно оба автотрансформатора;

трансформаторы 110/35/10 – регулируем напряжение примерно до уровней 37 – 38.5 кВ и 10.5 – 10.8 кВ на выводах трансформатора;

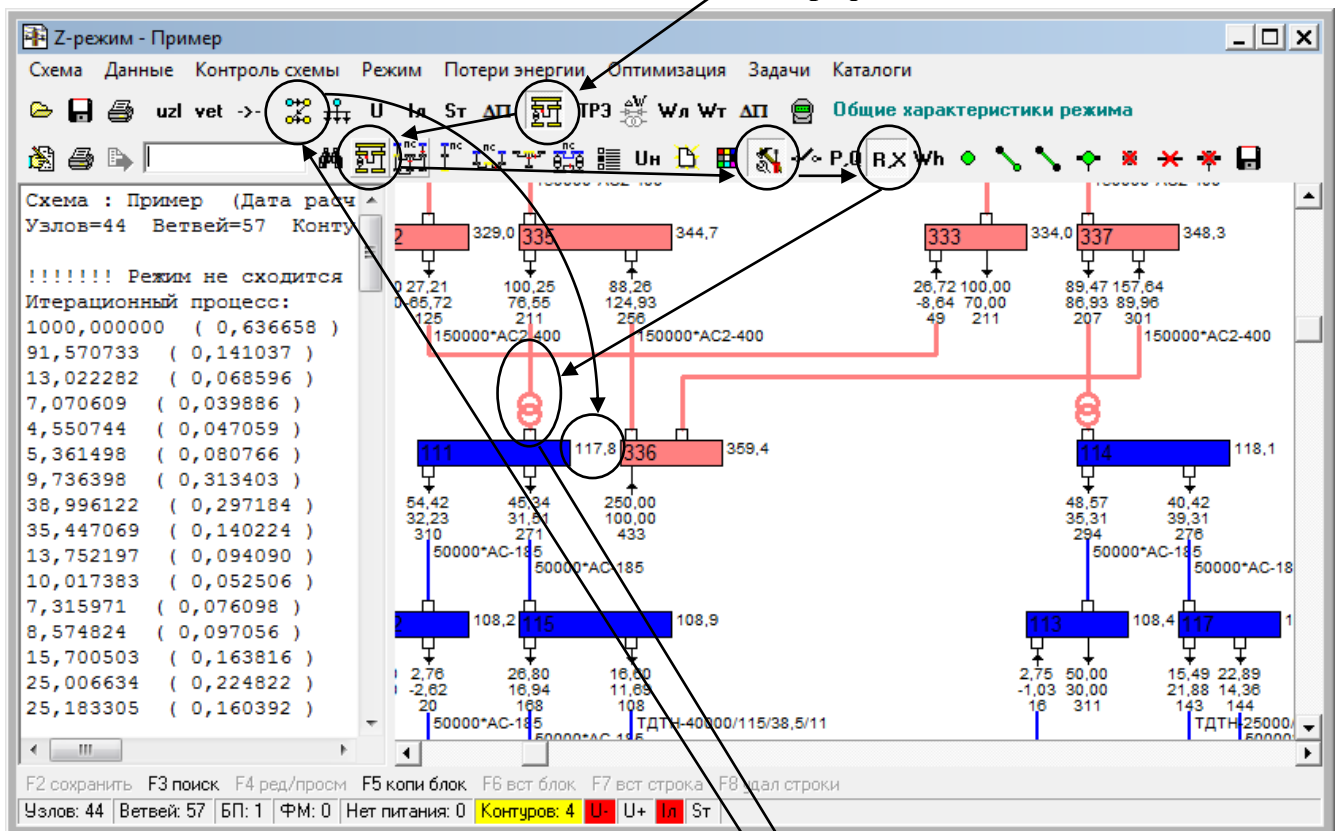
трансформаторы 35/10 – регулируем напряжение примерно до уровня 10.5 – 10.8 кВ;

трансформатор 10/0.4 – регулируем так чтобы в конечном узле отклонение от номинального напряжения было не больше –5%.

Требования ГОСТ по качеству напряжения предусматривают отклонения +5%...-5% от номинального напряжения. Однако это требование только для напряжения к которому непосредственно присоединен потребитель. В нашей схеме потребительским считается напряжения 10 и 0.4 кВ, контрольные пределы расширены: +10%...-5%. В принципе остальные напряжения могут выходить за эти рамки до предельно допустимых рабочих напряжений оборудования:

- 10 кВ – 12 кВ;
- 35 кВ – 40.5 кВ;
- 110 кВ – 126 кВ;
- 330 кВ – 363 кВ;
- 750 кВ – 787 кВ.

Анализ и регулирование напряжений удобно выполнять на графике схемы. Последовательность действий показана ниже: **Начало – включение кнопки "Графика схемы"**



Параметры ветви 335 - 111

Линии 2-обм. тр-ры Расщ. тр-ры 3-обм. тр-ры Реакторы

Выбор тр-ра Марка АТ ДЦ ТН-125000/330/115/38,5 Обмотка СН

Параметры R 2,578752 X 91,46691 G 1,056015 B 5,73921

Справочник Ктр' 2,759197 Ктр'' 0 РПН 9

Записать Отменить

Следует отметить, что в автотрансформаторах чтобы поднять напряжение нужно перемещать движок РПН вправо, а в трансформаторах влево – это связано

с тем, что в автотрансформаторах регулирование установлено в обмотку СН, а в трансформаторах в обмотку ВН.

3. После достижения сходимости итерационного процесса в основном окне отображаются общие характеристики режима (повторно вызываются меню: "Режим" – "Общие характеристики"), например:

Схема : Пример (Дата расчета: 14.11.2011 9:50:17)  
Узлов=44 Ветвей=57 Контуров=4 БП=1 ФМ=0

Точность расчета : 1E-5  
Невязка по напряжению : 0,000008, узел: 119 119  
Невязка по конт.токам : 0,000000  
Количество итераций : 37, время расчета: 0:00:00

[Превышены допустимые токи линий]  
Анализ токов выполняется в таблице выбором меню "Режим" – "Загрузка линий" или кнопкой "Iл"

[Превышены допустимые перетоки мощности в трансформаторах]  
Анализ перетоков выполняется в таблице выбором меню "Режим" – "Загрузка тр-ров" или кнопкой "St"

[В схеме завышены напряжения узлов]  
Анализ напряжений выполняется в таблице выбором меню "Режим" – "Напряжения узлов" или кнопкой "U"

[В схеме занижены напряжения узлов]  
Анализ напряжений выполняется в таблице выбором меню "Режим" – "Напряжения узлов" или кнопкой "U"

Потребление	:	834080.000 кВт	579040.000 кВАр
Генерация	:	-250000.000 кВт	-100000.000 кВАр
Балансная мощность	:	-618999.389 кВт	738593.305 кВАр
Потери в схеме	:	<b>34919.392</b> кВт	-1217633.299 кВАр
Нагрузочные потери	:	22635.159 кВт	146632.359 кВАр
от актив.перетоков:	:	16618.829 кВт	
от реакт.перетоков:	:	6016.330 кВт	
Потери холост.хода	:	12284.233 кВт	-1364265.658 кВАр
шунтирующие реакт.:	:	0.000 кВт	0.000 кВАр
конденсатор. уст.:	:	0.000 кВт	0.000 кВАр
Небаланс в схеме	:	-0.003 кВт	-0.006 кВАр

Описание общих характеристик приведено в инструкции пользователя РАОТП (далее, инструкция), п.4.4. Нас будет интересовать в основном величина суммарных активных потерь в схеме (выделено жирным шрифтом).

В нижней части окна отображаются соответствующие индикаторы:

"U–" – в схеме имеются заниженные уровни напряжения;

"U+" – в схеме имеются завышенные уровни напряжения;

"Iл" – превышены допустимые токи линий;

"St" – превышены допустимые перетоки трансформаторов.

При выходе за допустимые пределы индикаторы "загораются" красным цветом:

Узлов: 44 Ветвей: 57 БП: 1 ФМ: 0 Нет питания: 0 Контуров: 4 U- U+ Iл St Номер начала ветви

4. Регулируем напряжения для достижения желаемого уровня для всех классов напряжений: +10%...–5%. Контроль выполняем по таблице напряжений: меню "Режим" – "Напряжения узлов". В этой таблице напряжения отсортированы по возрастанию процентного отклонения расчетного напряжения от

номинального (колонка "dU, %"). Таким образом самые низкие напряжения будут вверху таблицы, самые высокие – внизу таблицы, например:

№	N узла	Uном,кВ	Uрасч,кВ	dU, %
1	12	10	8,084	-19,2
2	13	10	8,289	-17,1
3	34	35	30,166	-13,8
4	6	10	8,693	-13,1
5	35	35	31,757	-9,3
6	116	110	104,407	-5,1
7	5	10	9,574	-4,3
8	33	35	33,523	-4,2
9	18	0,38	0,366	-3,8
10	14	10	8,660	-3,4

Самые низкие напряжения

№	N узла	Uном,кВ	Uрасч,кВ	dU, %
35	1	10	10,686	6,9
36	31	35	37,471	7,1
37	111	110	118,195	7,4
38	3	10	10,769	7,7
39	114	110	118,627	7,8
40	336	330	359,783	9,0
41	16	0,38	0,424	11,5
42	15	10	11,173	11,7
43	37	35	39,123	11,8
44	9	10	11,186	11,9

Самые высокие напряжения

В дальнейшем процедуру регулирования напряжений с помощью РПН (ПБВ) трансформаторов необходимо будет выполнять после каждой задачи оптимизации.

5. Для анализа токов линий выбираем в меню "Режим" – "Загрузка линий". Список линий отсортирован по степени загрузки (колонка "I%"), т.е. самые загруженные линии будут в начале таблицы. Перегруженные линии имеют загрузку больше 100%, например:



**Z-режим - Пример**

Схема Данные Контроль схемы Режим Потери энергии Оптимизация Задачи Каталоги

uzl vet -> U Ил Ст ΔП TP3 Wл Wт ΔП Загрузка линий

№	N нач	N кон	Ул,кВ	Марка линии	Ирасч	Идоп	И%	Рн->	Qн->	-> Pк	-> Qк
1	5	6	10	3000*AC-50	231,956	210	110,5	3433,0	1733,8	3128,0	1553,5
2	36	37	35	15000*AC-70	-269,497	265	101,7	-13797,8	-8776,6	-15271,5	-10014,0
3	6	13	10	1500*AC-35	157,711	175	90,1	2128,0	1053,5	2026,1	1010,7
4	35	36	35	15000*AC-70	-208,459	265	78,7	-9735,7	-6103,4	-10617,7	-6831,4
5	1	10	10	1500*AC-35	125,522	175	71,7	2080,9	1032,8	2016,4	1006,0
6	751	752	750	400000*AC4-400	582,420	835	69,8	421622,7	-628217,7	411410,3	259296,1
7	7	8	10	3000*AC-50	132,456	210	63,1	2117,7	1065,0	2018,3	1006,9
8	111	112	110	50000*AC-185	316,113	510	62,0	55610,7	31362,5	53093,5	26985,1
9	31	32	35	15000*AC-70	157,876	265	59,6	8772,6	5236,3	8269,2	4850,3
10	113	114	110	50000*AC-185	-294,067	510	57,7	-46916,9	-31416,5	-49163,5	-35123,7

F2 сохранить F3 поиск F4 ред/просм F5 копи блок F6 вст блок F7 вст строка F8 удал строки  
 Узлов: 44 Ветвей: 57 БП: 1 ФМ: 0 Нет питания: 0 Контуров: 4 U- U+ Ил Ст Номер начала ветви

### Перегруженные линии

**Примечание:** Допустимые токи воздушных и кабельных линий заданы по их справочным данным (СПЭС) для условий: температура воздуха: +25°C, температура земли: +15°C. В промышленных расчетах необходимо учитывать реальную среднюю температуру воздуха и земли.

6. Для анализа перетоков мощностей трансформаторов выбираем в меню "Режим" – "Загрузка тр-ров". Список трансформаторов отсортирован по степени загрузки (колонка "S%"), т.е. самые загруженные трансформаторы будут в начале таблицы, например:

**Z-режим - Пример**

Схема Данные Контроль схемы Режим Потери энергии Оптимизация Задачи Каталоги

uzl vet -> U Ил Ст ΔП TP3 Wл Wт ΔП Загрузка трансформаторов

№	N нач	N кон	Марка тр-ра	Sфакт	Sном	S%	Рн->	Qн->	Ин->	-> Pк	-> Qк	-> Ik
1	36	7	ТМН-2500/35/11	3727,9	2500	149,1	3180,2	1945,3	61,6	3117,7	1564,0	194,9
2	34	5	ТМН-4000/35/11	5422,1	4000	135,6	4520,2	2994,6	103,8	4433,0	2233,0	299,3
3	117	119	ТДТН-25000/115/38,5	27660,6	25000	110,6	21543,7	17348,8	146,4	21421,4	13568,1	125,0
4	335	111	АТДЦТН-125000/330	127645,2	125000	102,1	104150,7	73796,4	213,5	103675,1	60700,2	586,8
5	337	114	АТДЦТН-125000/330	126681,7	125000	101,3	95391,7	83358,7	209,7	94926,0	70699,9	576,1
6	119	37	ТДТН-25000/115/38,5	24142,3	25000	96,6	20334,4	13014,0	119,0	20271,5	13014,0	355,5
7	751	331	АОДЦТН-333000/750	229910,7	333000	69,0	197376,1	-110376,1	174,1	196536,1	-119299,1	397,5
8	32	3	ТМН-6300/35/11	3516,5	6300	55,8	3065,9	1722,1	57,9	3042,5	1522,2	182,4
9	115	118	ТДТН-40000/115/38,5	20310,5	40000	50,8	16938,3	11207,7	107,0	16871,2	9787,6	100,5
10	118	31	ТДТН-40000/115/38,5	16062,0	40000	40,2	13789,6	8236,3	82,8	13772,6	8236,3	247,3

F2 сохранить F3 поиск F4 ред/просм F5 копи блок F6 вст блок F7 вст строка F8 удал строки  
 Узлов: 44 Ветвей: 57 БП: 1 ФМ: 0 Нет питания: 0 Контуров: 4 U- U+ Ил Ст Номер начала ветви

### Перегруженные трансформаторы

7. Выборка таблиц для анализа потерь в линиях и трансформаторах выполняется меню "Режим" – "Потери в линиях", "Режим" – "Потери в трансформаторах". Форматы таблиц результатов приведены в п.4.6. инструкции.

8. Ранжирование суммарных потерь по различным критериям выполняется выбором меню "Режим" – "Потери в схеме" (см. п.4.6.6 инструкции). Пример таблицы ранжирования потерь по типу оборудования (линии, трансформаторы) и классам напряжения показан ниже:



**Z-режим - Пример**

Схема Данные Контроль схемы Режим Потери энергии Оптимизация Задачи Каталоги

uzl vet -> U Ил Ст ΔП TP3 Wл Wт ΔП Загрузка трансформаторов

Расчет потерь по критериям: Оборудование: Тр-ры Уном: 10 Принадлежность: Все Районы: Все

№	N нач	N кон	Марка тр-ра	Sфакт	Sном	S%	Pн->	Qн->	In->	-> Pк	-> Qк	-> Iк
1	36	7	ТМН-2500/35/11	3727,9	2500	149,1	3180,2	1945,3	61,6	3117,7	1564,0	194,9
2	34	5	ТМН-4000/35/11	5422,1	4000	135,6	4520,2	2994,6	103,8	4433,0	2233,0	299,3
3	117	119	ТДТН-25000/115/38,5/11	27680,6	25000	110,6	21543,7	17348,8	146,4	21421,4	13568,1	125,0

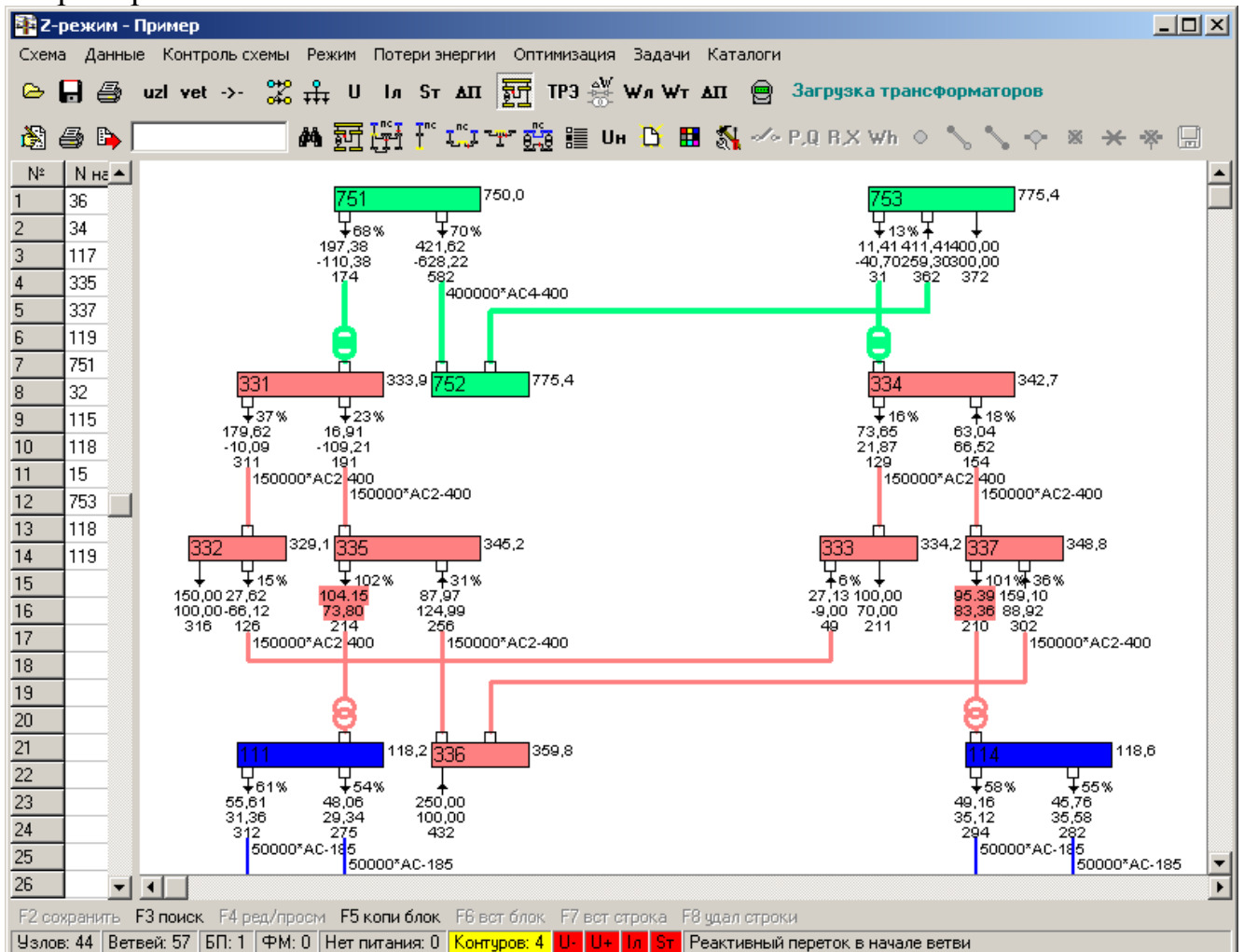
Суммарные потери в схеме: dP схемы = 34919,4 кВт

Оборудование	Уном	Принадлежность	dP сум	%	dQ сум	dP наг	%	dQ наг	dP x.x.	%	dQ x.x.	dP реакт	%
Линии	750		10212,4	29	-887513,1	2647,8	8	41188,0	7564,6	22	-928701,1	2152,2	6
Линии	330		7599,4	22	-391100,1	4773,3	14	41412,0	2826,1	8	-432512,1	3594,0	10
Линии	110		10119,0	29	12843,7	10119,0	29	24702,3	0,0	0	-11858,7	7213,2	21
Линии	35		3277,8	9	2588,3	3277,8	9	2884,4	0,0	0	-296,1	2340,1	7
Линии	10		674,3	2	348,7	674,3	2	361,5	0,0	0	-12,8	539,5	2
Линии	10,38		5,3	0	1,8	5,3	0	1,8	0,0	0	0,0	4,3	0
Трансформаторы	750		1645,1	5	12865,6	93,4	0	5631,5	1551,7	4	7234,1	66,8	0
Трансформаторы	330		941,4	3	25755,0	687,2	2	24373,1	254,3	1	1381,9	451,6	1
Трансформаторы	110		270,2	1	5223,9	203,2	1	4848,4	67,0	0	375,5	140,6	0
Трансформаторы	35		173,0	0	1342,7	153,7	0	1228,7	19,3	0	114,1	116,5	0
Трансформаторы	10		1,5	0	10,9	0,1	0	0,5	1,3	0	10,5	0,1	0

F2 сохранить F3 поиск F4 ред/просм F5 копи блок F6 вст блок F7 вст строка F8 удал строки

Узел: 44 Ветвей: 57 БП: 1 ФМ: 0 Нет питания: 0 Контуров: 4 U+ U- Ил Ст Реактивный переток в начале ветви

9. Графика схемы с исходными параметрами и результатами расчета показывается нажатием кнопок "Графика схемы" – "Отображение всей схемы", например:



Раскраска и толщина линий заданы в соответствии с классами напряжений (цвета выбраны произвольно). Функциональные возможности работы с графикой схемы отражены в п.4.9 инструкции. На перегруженных трансформаторах и линиях перетоки мощности (токи) выделяются красным фоном.

#### 10. Отчет по разделу 2:

- итерационный процесс расчета режима должен сходиться;
- общие характеристики режима;
- таблицы узлов, ветвей;
- таблицы напряжений узлов, загрузки линий, загрузки трансформаторов, потерь в линиях, потерь в трансформаторах;
- таблица ранжирования суммарных потерь активной и реактивной мощности;
- графика схемы;
- выводы.

Примечание: таблицы можно выводить на печать меню "Схема" – "Печать" или выводить в формат Excel – правая кнопка мыши на таблице, выбор в контекстном меню пункта "Вывод в Microsoft Excel", а затем вставлять в отчет. Графика схемы также выводится на печать или в растровый файл (см. п 4.9.3 инструкции). Выводы должны содержать информацию:

- узлы с заниженным и завышенным напряжением, причины такого напряжения и возможности (или невозможности) отрегулировать напряжение с помощью РПН (ПБВ) трансформаторов;
- перегруженные линии и трансформаторы;
- в каком оборудовании (линии или трансформаторы) и в каком классе напряжения наибольшие суммарные потери активной мощности. На каких классах напряжений преобладают нагрузочные потери трансформаторов, а на каких потери холостого хода. На каком классе напряжений наибольшая зарядная мощность линий;
- какой процент составляют суммарные потери активной мощности от суммарного поступления в сеть (балансная мощность + генерация).

### 3. Оптимизация мест разрывов сети 10, 35 кВ

Теоретический материал – инструкция, п.4.10.1. Окно оптимизации мест разрывов выбираем меню: "Оптимизация" – "Места разрывов" (рис.2): красным цветом отмечены разрывы в цепочках питания которых имеются перегруженные линии. Стрелками влево, вправо находим оптимальное место первого разрыва, затем повторяем эту операцию с остальными разрывами. Отметим, что если очередной сдвиг сопровождается увеличением потерь, однако при этом устраняется перегруз линий в цепи питания этого разрыва, то это является успешным сдвигом. В результате эффект от сдвига части разрывов может быть отрицательный (потери увеличиваются). После первого прохода по всем разрывам нужно сделать повторные проходы до тех пор пока ни один разрыв не изменит своего положения.

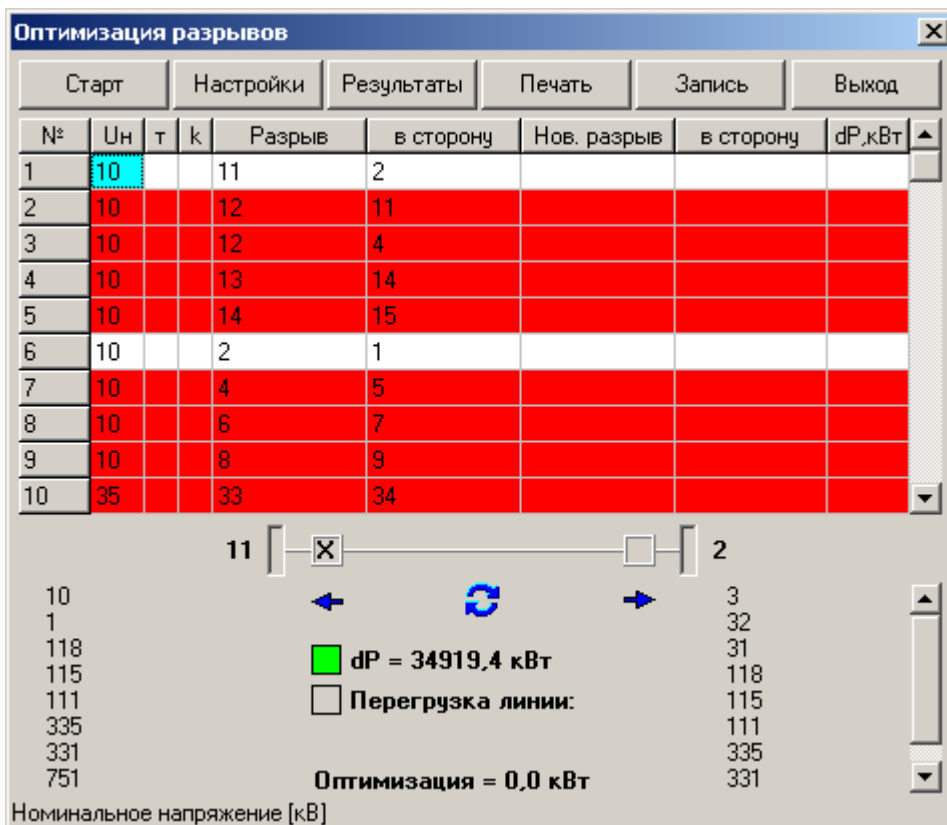


Рис.2. Исходное состояние разрывов

Для отображения результатов в текстовом виде нужно нажать кнопку "Результаты" и скопировать их в отчет. Завершаем ручную оптимизацию кнопкой "Выход" (при этом результаты оптимизации не сохраняются).

Повторно выбираем меню "Оптимизация" – "Места разрывов" (все разрывы в исходном состоянии). Нажимаем кнопку "Старт" (рис.3):

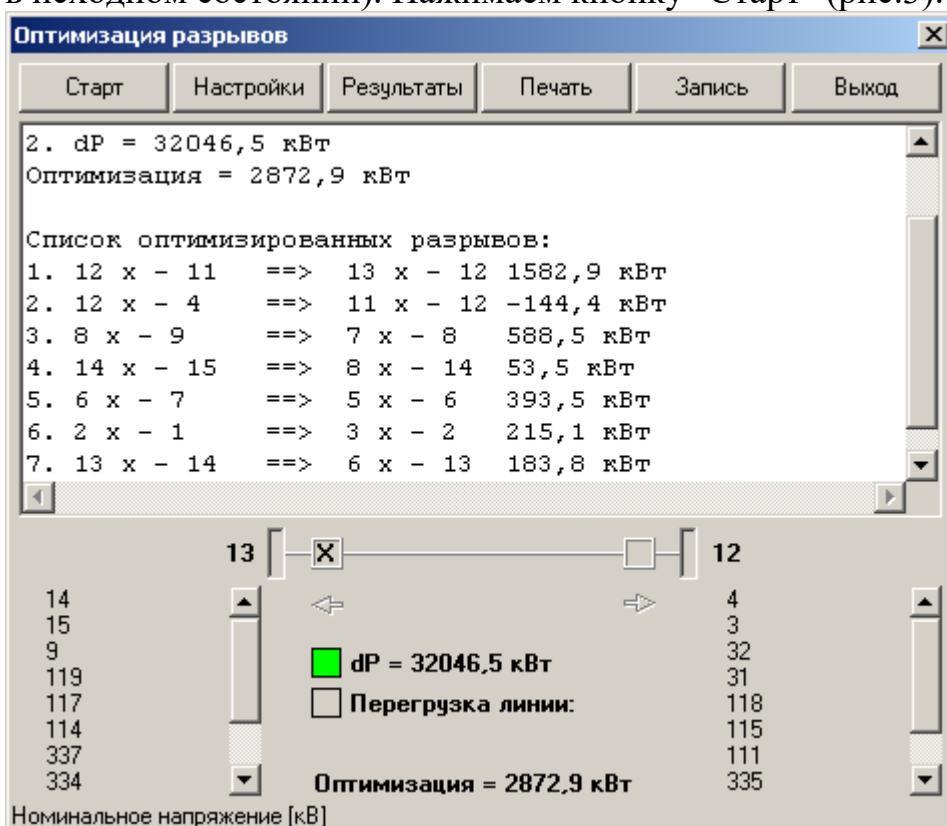


Рис.3. Результаты оптимизации

Результаты автоматической оптимизации необходимо скопировать в отчет. Запоминаем значение потерь (например, 32046 кВт). Нажимаем кнопку "Запись" для сохранения результатов оптимизации в таблицу ветвей, после этого кнопку "Выход". Рассчитываем режим, проверяем соответствие потерь в общих характеристиках режима значению потерь после оптимизации (например, значению 32046 кВт).

Регулируем напряжения в трансформаторах для достижения желаемого уровня для всех классов напряжений: +10%...–5%.

Отчет по разделу 3:

- результаты оптимизации в ручном и автоматическом режиме, выделить различия (если есть), выделить разрывы с максимальным и минимальным эффектом оптимизации, объяснить отрицательный эффект от сдвига разрывов (если такие есть);
- общие характеристики режима (после регулирования напряжения);
- таблицы напряжений узлов, загрузки линий, загрузки трансформаторов;
- таблица ранжирования суммарных потерь;
- графика схемы;
- выводы.

Выводы должны содержать информацию:

- сравнение суммарных потерь и составляющих потерь в линиях 35, 10 кВ в режимах до и после оптимизации разрывов;
- сравнение напряжений, загрузки линий и трансформаторов с исходным режимом;
- на графике схемы указать переносы разрывов.

#### **4. Оптимизация реактивных мощностей.**

Теоретический материал – инструкция, п.4.10.2. Для оптимизации реактивных мощностей выберем узлы 336 (электростанция), 116 (узел 110 кВ с низким напряжением), узлы 3, 5, 7 (шины 10 кВ подстанций 35/10 кВ). Окно оптимизации реактивных мощностей выбираем меню: "Оптимизация" – "Реактив. мощности" (рис.4). Нажимаем клавишу F4, вручную вводим номера узлов в колонку "№ узла", нажимаем кнопку "Загрузка Qисх" (из таблицы узлов копируются исходные значения генерации реактивной мощности в колонку "Qг", размерность реактивных мощностей в таблице – кВАр), нажимаем кнопку "Режим" (происходит расчет исходного режима) – значение исходных потерь должно соответствовать последнему режиму, шаг оптимизации (поле ввода "dQ") устанавливаем 1000 кВАр. Окно оптимизации должно выглядеть как показано на рис.4.

Запускаем оптимизацию кнопкой "Старт", после останова уменьшаем шаг оптимизации до 100 кВАр, снова нажимаем "Старт", после останова уменьшаем шаг оптимизации до 10 кВАр, нажимаем "Старт". После останова окно оптимизации может иметь вид как на рис.5. По результатам оптимизации следует отметить, что в узле 336 (генераторы электростанции) оптимально потребление реактивной мощности, а в узлах 116, 3, 5, 7 – генерация. Запоминаем значение потерь (например, 28560 кВт). Нажимаем кнопку "Запись Qопт" для сохранения результатов оптимизации в таблицу узлов, после этого кнопку "Сохранить".

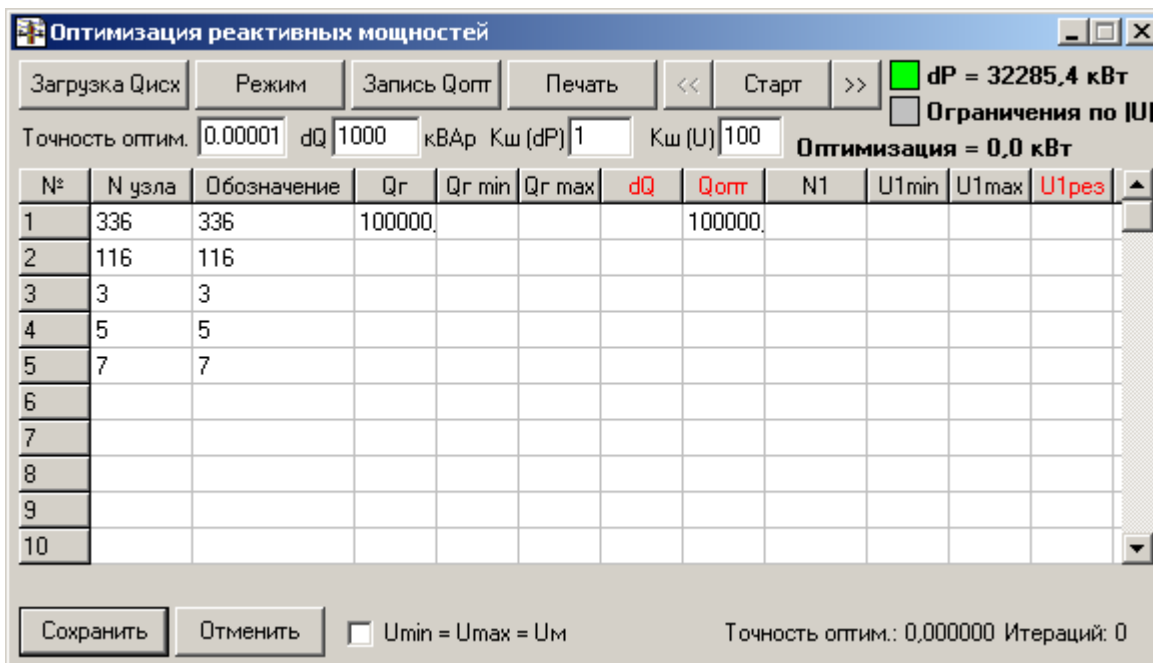


Рис.4. Исходное состояние для оптимизации реактивных мощностей

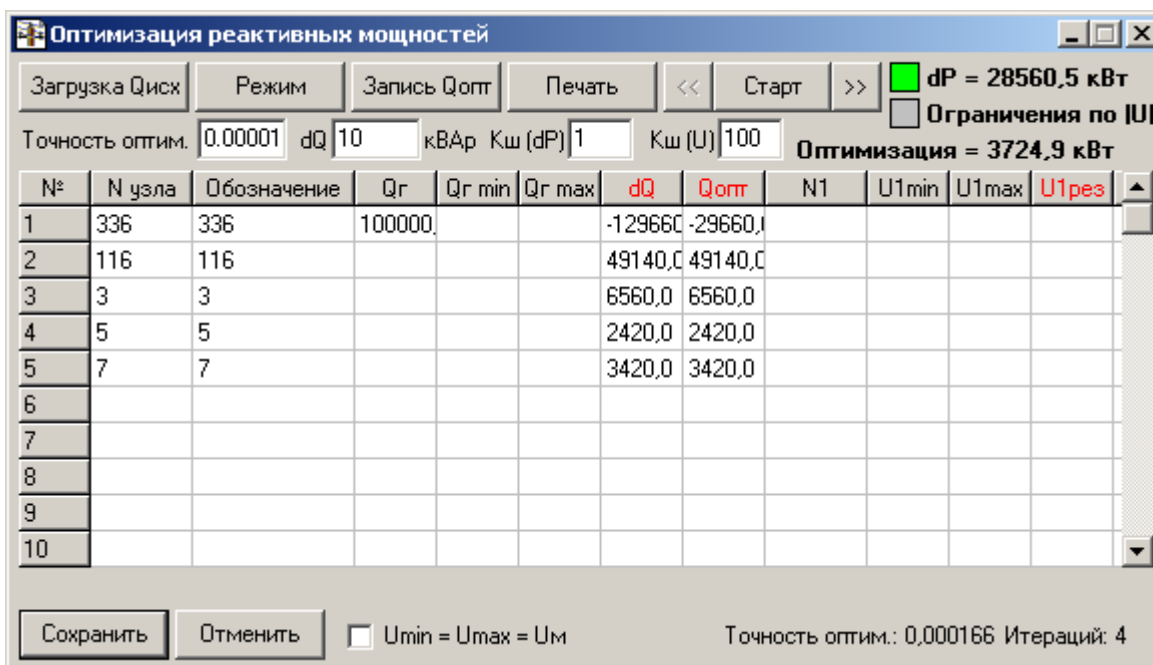


Рис.5. Результаты оптимизации

Рассчитываем режим, проверяем соответствие потерь в общих характеристиках режима значению потерь после оптимизации (например, значению 28560 кВт).

Регулируем напряжения в трансформаторах для достижения желаемого уровня для всех классов напряжений: +10%...-5%. Если имеются трансформаторы перегруженные за счет оптимизации, то нужно вручную уменьшить значение генерации реактивной мощности в соответствующих узлах.

Отчет по разделу 4:

- Форматы окон до и после оптимизации (как на рис.4, 5), прокомментировать значения приращений (колонка "dQ") и оптимальных реактивных мощностей (колонка "Qопт") в оптимизируемых узлах;

- общие характеристики режима (после регулирования напряжения и устранения перегрузов);
- таблицы напряжений узлов, загрузки линий, загрузки трансформаторов;
- таблица ранжирования суммарных потерь;
- графика схемы;
- выводы.

Выводы должны содержать информацию:

- сравнение суммарных потерь с режимом п.3 и составляющих потерь в таблицах ранжирования;
- сравнение напряжений, загрузки линий и трансформаторов с режимом п.3;
- используя графику схемы и таблицу ранжирования потерь объяснить смысл оптимизации реактивных мощностей;
- с помощью какого оборудования выполняется регулирование реактивных мощностей в оптимизируемых узлах (генераторы, батареи статических конденсаторов, статические компенсаторы и др.).

## 5. Выбор шунтирующего реактора 750 кВ

Используем схему после оптимизации реактивных мощностей. Необходимо отключить линию 750 (например, для вывода в ремонт), при этом завышается напряжение на отключаемой стороне за пределы допустимого напряжения для этого класса (787 кВ). Необходимо подобрать шунтирующий реактор с такой реактивной проводимостью  $W_{ш}$ , чтобы напряжение на отключаемой стороне было  $750 \pm 1$  кВ. Последовательность операций:

1. Включаем графику схемы, отображаем всю схему, включаем режим редактирования, включаем режим изменения коммутаций ветвей.

2. Отключаем ветвь 752 – 753 с любой стороны (рис.6).

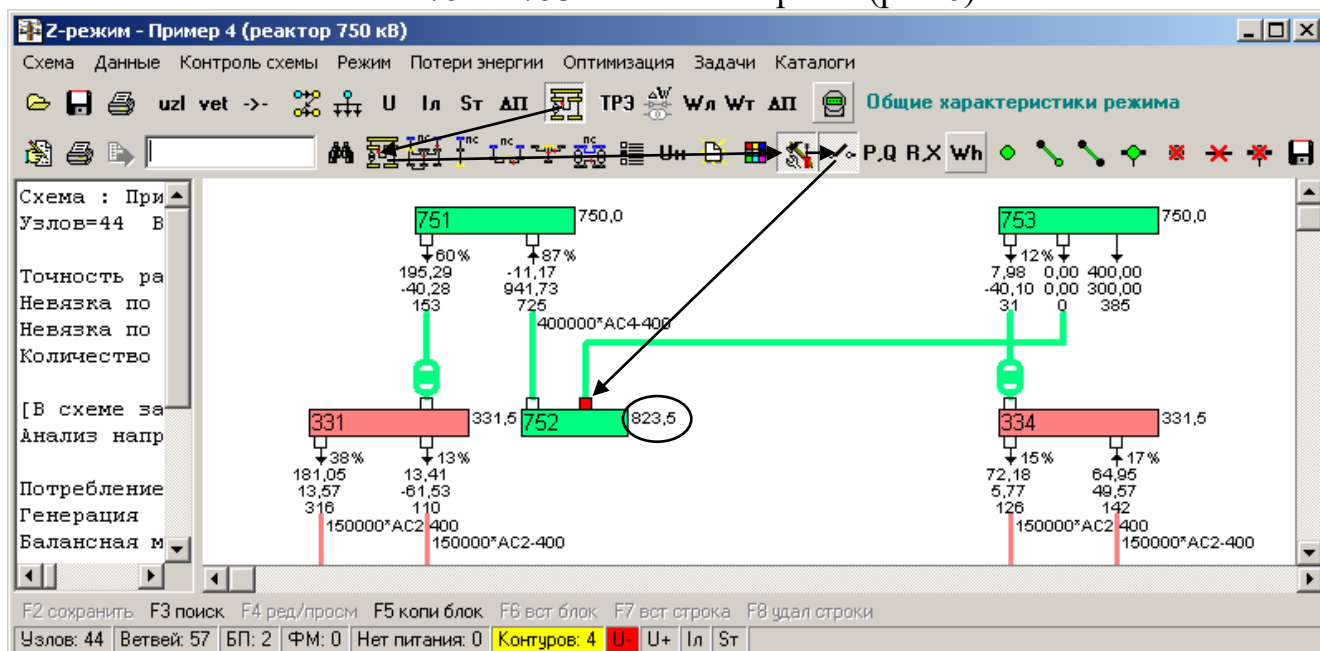


Рис.6

3. Правой кнопкой мыши щелкаем на узле 753, выбираем пункт меню "Свойства". В окне свойств узла отображаем закладки "Гш, Вш ...", "Тип узла ..." (рис.7), в поле тип узла выбираем "Баланс." (т.е. делаем узел 753 балансирующим). Если этого не сделать то после отключения ветви 752 – 753 режим сходиться не будет.

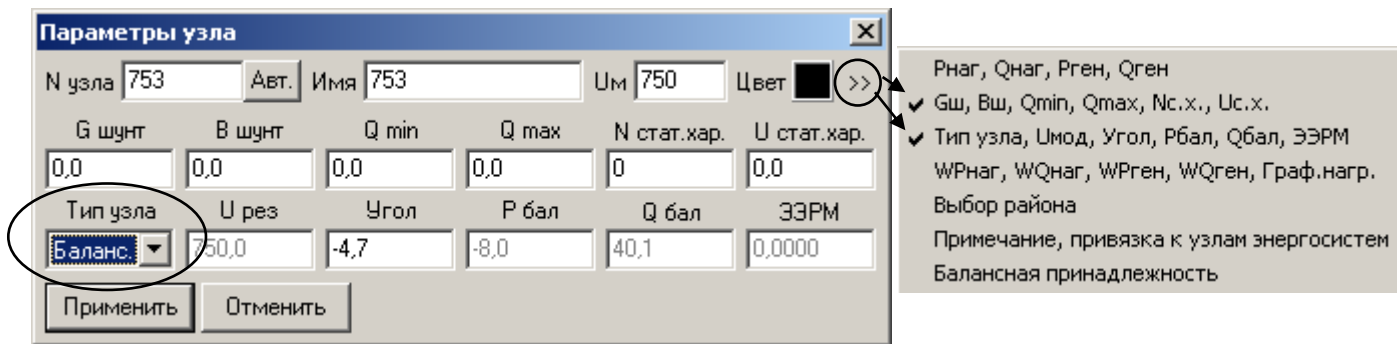


Рис.7

4. Считаем режим, напряжение в узле 752 должно быть завышенным, как показано на рис.6. Для уменьшения напряжения до нужных пределов щелкаем правой кнопкой мыши на узле 752 и устанавливаем значение проводимости шунтирующего реактора в поле "В шунт" (рис.8).

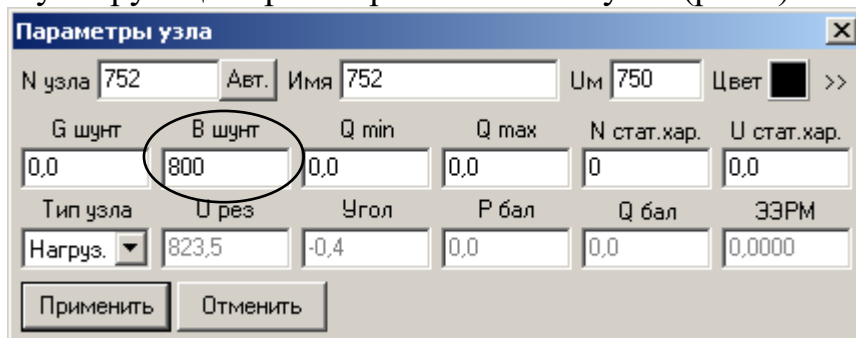


Рис.8

5. Повторяем расчет режима, подбираем значение "В шунт" таким образом, чтобы напряжение в узле 752 было  $750 \pm 1$  кВ.

Отчет по разделу 5:

- напряжение в узле 752 до и после установки шунтирующего реактора;
- таблица ранжирования потерь в линии 750 кВ до и после установки шунтирующего реактора;
- таблица узлов схемы;
- выводы.

Выводы должны содержать информацию:

- необходимость включения шунтирующего реактора;
- объяснить изменение потерь в линии 750 кВ до и после установки реактора.

## 6. Ручные расчеты

Необходимо выполнить расчеты на основе данных исходного режима (п.2). Данные для ручных расчетов выбираются из таблицы узлов – колонки  $R_{наг}$ ,  $Q_{наг}$ ,  $P_{ген}$ ,  $Q_{ген}$ ,  $U_{расч}$ ,  $Угол$ , и таблицы ветвей – колонки  $R$ ,  $X$ ,  $G$ ,  $B$ ,  $K_{тр}$ ,  $I'$ ,  $I''$ . Значения  $I'$ ,  $I''$  для линий – ток в сопротивлении линии, для трансформаторов – ток в сопротивлении на стороне высокого напряжения. Направление тока в таблице ветвей принято от № нач к № кон, для проводимостей направление тока принято к "земле" (рис.9).



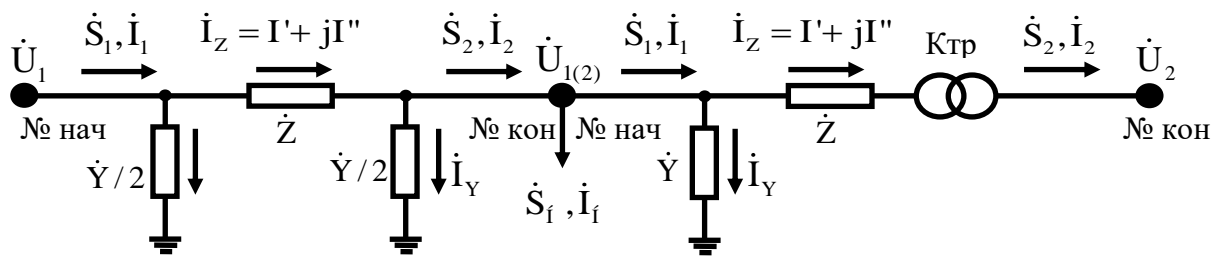


Рис.9.

Размерности величин в таблицах узлов и ветвей:

$R_{наг}, Q_{наг}, P_{ген}, Q_{ген}$  – МВт, МВАр;

$U_{расч}, \text{Угол}$  – кВ, градусы;

$R, X$  – Ом;

$G, B$  – мкСм (микросименс, т.е.  $\text{См} \cdot 10^{-6}$ );

$I', I''$  – кА.

На протяжении всех расчетов нужно соблюдать одинаковые размерности, например:

$$\dot{I}_Z = 0.1452 - j 0.0356 \text{ кА}, \quad I_Z = 0.1495 \text{ кА}$$

$$\dot{U} = 345.23 \angle -6.54, \quad U = 345.23 \text{ кВ}$$

$$\dot{Z} = 1.521 + j 30.735 \text{ Ом}$$

$$\dot{Y} = 2.3 - j 125.7 \text{ мкСм}$$

$$\Delta \dot{S}_Z = I_Z^2 \cdot \dot{Z} = 0.1495^2 \cdot (1.521 + j 30.735) = 0.227 + j 4.595 \text{ МВА}$$

или

$$\Delta \dot{S}_Z = I_Z^2 \cdot \dot{Z} = 0.1495^2 \cdot (1.521 + j 30.735) \cdot 10^3 = 227 + j 4595 \text{ кВА}$$

...

$$\dot{I}_Y = 345.23 \angle -6.54 \cdot (2.3 + j 125.7) \cdot 10^{-3} = 5.73 + j 43.02 \text{ А}$$

или

$$\dot{I}_Y = 345.23 \angle -6.54 \cdot (2.3 + j 125.7) \cdot 10^{-6} = 0.0057 + j 0.0430 \text{ кА}$$

т.е. можно использовать размерности МВА, МВт, МВАр или кВА, кВт, кВАр для мощностей и А или кА для токов, но нужно придерживаться этих размерностей во всех расчетах. **Запись конечных результатов со степенью  $1.234 \cdot 10^3$  не допустима.**

Для вычислений используются следующие формулы:

$$\text{потери в сопротивлении: } \Delta \dot{S}_Z = I_Z^2 \cdot \dot{Z} \quad (1)$$

$$\text{потери в проводимости: } \Delta \dot{S}_Y = U^2 \cdot \dot{Y} \quad (2)$$

$$\text{ток в сопротивлении: } \dot{I}_Z = (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) / \dot{Z} \quad (3)$$

$$\text{ток в проводимости: } \dot{I}_Y = \Delta \dot{S}_Y / \hat{U} = U^2 \cdot \hat{Y} / \hat{U} = \hat{U} \cdot \hat{Y} \quad (4)$$

$$\text{ток нагрузки: } \dot{I}_H = \hat{S}_H / \hat{U} \quad (5)$$

$$\text{переток мощности: } \dot{S} = \hat{U} \cdot \hat{I} \quad (6)$$

$$\text{падение напряжения: } \dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \dot{I}_Z \cdot \dot{Z} \quad (7)$$

$$\text{учет коэф. трансф. Ктр: } \dot{U}_1 = \dot{U}_2 \cdot K_{тр}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_1 \cdot K_{тр} \quad (8)$$

Задание для ручных расчетов:

1. Рассчитать активные и реактивные потери в сопротивлении и потери в проводимости для произвольной линии 330 кВ и автотрансформатора 330/110 кВ на основе известных напряжений в узлах (таблица узлов) и токов ветвей (таблица ветвей) – формулы (1), (2). Все полученные значения сравнить с результатами расчета в комплексе РАОТП (таблицы потерь в линиях и трансформаторах).

2. Составить баланс токов и баланс мощностей в узле 333. Известны напряжения узлов (таблица узлов). Необходимо рассчитать токи в сопротивлениях, токи в проводимостях, ток нагрузки – формулы (3), (4), (5) и составить баланс токов. Перетоки мощности рассчитать по формуле (6) и сравнить с результатами расчета в комплексе РАОТП (таблица загрузки линий).

3. Рассчитать токовую загрузку линии 332 – 333. Для этого определить токи в начале и конце линии, для расчета загрузки выбрать больший из них. Для определения загрузки необходимо использовать фазный ток, который в корень из трех раз меньше линейного. Сравнить с результатами расчета в комплексе РАОТП (таблица загрузки линий).

4. На основании заданного тока ( $I'$ ,  $I''$ ) и напряжения на стороне 110 кВ автотрансформатора 330/110 кВ рассчитать напряжение и переток мощности на стороне 330 кВ и 110 кВ – формулы (7), (8). Рассчитать загрузку автотрансформатора по отношению к его номинальной мощности. Проверить правильность вычислений по результатам РАОТП (таблица узлов, таблица загрузки трансформаторов).