

Содержание

Введение.....	5
1 Исходная схема развития сети.....	7
2 Разработка схем развития электрической сети.....	8
3 Расчёт потокораспределения в сети.....	13
4 Выбор номинального напряжения сети.....	18
5 Выбор сечений линий электропередачи.....	21
6 Выбор трансформаторов на понижающих подстанциях.....	28
7 Выбор схем подстанций.....	30
8 Экономическое сопоставление вариантов развития сети.....	33
9 Расчет установившихся режимов сети.....	42
Заключение.....	68
Список литературы.....	69

						Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Введение

Развитие энергетики России, усиление связей между энергосистемами требует расширения строительства электроэнергетических объектов, в том числе линий электропередач и подстанций напряжением 35-110 кВ переменного тока.

В настоящее время ЕЭС России включают в себя семь параллельно работающих объединений энергосистем: Центра, Средней Волги, Урала, Северо-запада, Востока, Юга и Сибири.

Производство электроэнергии растет во всем мире, что сопровождается ростом числа электроэнергетических систем, которое идет по пути централизации выработки электроэнергии на крупных электростанциях и интенсивного строительства линий электропередач и подстанций.

Проектирование электрической сети, включая разработку конфигурации сети и схемы подстанции, является одной из основных задач развития энергетических систем, обеспечивающих надёжное и качественное электроснабжение потребителей. Качественное проектирование является основой надежного и экономичного функционирования электроэнергетической системы.

Проектирование электрической сети сводится к разработке конечного числа рациональных вариантов развития электрической сети, обеспечивающих надежное и качественное электроснабжение потребителей электроэнергией в нормальных и послеаварийных режимах. Выбор наиболее рационального варианта производится по экономическому критерию. При этом все варианты предварительно доводятся до одного уровня качества и надежности электроснабжения. Экологический, социальный и другие критерии при проектировании сети учитываются в виде ограничений.

В этих условиях проектирование электрической сети сводится к разработке конечного числа рациональных вариантов развития электрической сети, обеспечивающих надёжное и качественное электроснабжение потребителей электроэнергией в нормальных и послеаварийных режимах. Выбор наиболее

						Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

рационального варианта производится по экономическому критерию. При этом все варианты предварительно доводятся до одного уровня качества и надёжности электроснабжения. Экологический, социальный и другие критерии при проектировании сети учитываются в виде ограничений.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

1 Исходная схема развития сети

Освещены климатические условия района, которые определяют типы и конструкции опор, длины пролета линий и стоимости сооружения одного километра ЛЭП.

В соответствии с изложенным, в задании на проектирование указаны: категории потребителей по надежности, район развития сети и ограничения по пути построения схем сетей.

Схема развития сети показана на рисунке 1.1.

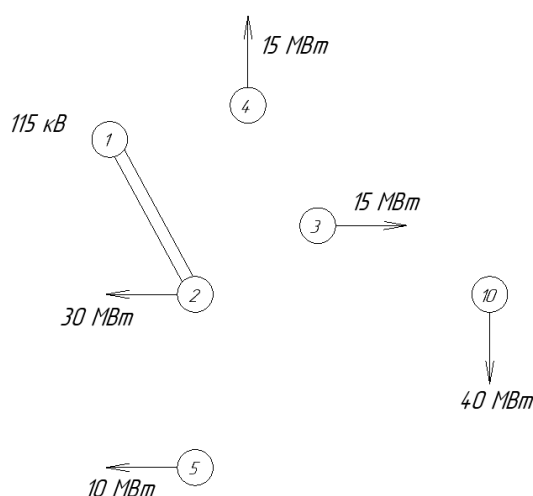


Рисунок 1.1 – Исходная схема развития сети

Дополнительные данные:

- данные потребителей:

$$P_2 = 30 \text{ МВт}; P_4 = 15 \text{ МВт}; P_3 = 15 \text{ МВт}; P_5 = 10 \text{ МВт}; P_{10} = 40 \text{ МВт};$$

$\cos\varphi = 0,9$ - для всех нагрузок;

- потребители узла 5 - III категории надежности, в остальных узлах состав потребителей по надежности одинаков: I категории - 30%, II - 30%, III - 40%;

- номинальное напряжение потребителей 10 кВ;

- T_{\max} нагрузок - 4500 ч;

- район проектирования – Урал.

					Лист
					7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

2 Разработка схем развития электрической сети

Схемы электрических сетей должны обеспечить необходимую надежность электроснабжения, требуемое качество энергии у потребителей, удобство и безопасность эксплуатации, возможность дальнейшего развития сети и подключения новых потребителей. В проектной практике для построения рациональной конфигурации сети принимают повариантный метод, при котором для заданного расположения потребителей намечаются несколько вариантов и из них на основе технико-экономического сравнения выбирается лучший. Этот вариант должен обладать необходимой надежностью, экономичностью и гибкостью. Намечаемые варианты не должны быть случайными. Каждый вариант должен иметь ведущую идею построения схемы: на каждом последующем участке поток электроэнергии должен быть направлен от источника. Необходимо руководствоваться следующими положениями при составлении вариантов схемы сети.

Передача электроэнергии от источника к потребителям должна производиться по самому короткому пути.

Разработку вариантов начинать с наиболее простых схем, требующих для создания сети наименьшего количества линий и электрооборудования подстанций. К числу таких вариантов относятся схемы линий магистрального и замкнутого типов.

Наряду с наиболее простыми вариантами следует рассмотреть и варианты схем с увеличенными капиталовложениями на сооружение линий и подстанций, за счет чего достигается большая эксплуатационная гибкость схемы или повышенная надежность электроснабжения. К числу таких относятся смешанные магистрально-радиальные схемы со сложнзамкнутыми контурами.

К использованию наиболее сложных и дорогих схем сетей следует переходить лишь в тех случаях, когда более простые схемы неудовлетворительны по техническим требованиям и критериям (например, при

						Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

завышенных сечениях проводов, необходимых по допустимому нагреву; при неприемлемых потерях напряжения и т.п.).

В итоге из всех вариантов целесообразно выбрать схемы сети, построенные по двум различным принципам:

- в виде схемы с односторонним питанием;
- в виде схемы замкнутого (кольцевого) типа.

Эти схемы обладают различными качественными и технико-экономическими показателями, поэтому должны быть внимательно изучены. Лучшая из них определяется по приведенным затратам.

В соответствии с ПУЭ нагрузки I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания (допускается от двух секций шин районных подстанций).

В большинстве случаев двухцепная ЛЭП не удовлетворяет требованиям надежности электроснабжения потребителей I и II категорий, так как при повреждении опор возможен перерыв питания. Для таких потребителей следует предусматривать не менее двух одноцепных линий. Для электроприемников III категории допустимо питание по одной линии при технико-экономическом обосновании такого варианта, то есть при учете ущерба от недоотпуска электроэнергии при перерыве питания.

На основании приведенных выше соображений в проекте решаем вопрос о необходимом количестве ЛЭП для каждого потребителя. При этом замкнутая схема приравнивается по надежности к системе электроснабжения по двум одноцепным линиям. Количество присоединяемых к ЛЭП потребителей не ограничивается. Выбранная схема сети (радиальная, магистральная, замкнутая, смешанная) в значительной степени влияет на схемы подстанций. Поэтому при выборе наиболее целесообразного варианта электроснабжения необходимо учитывать стоимость оборудования распределительных устройств подстанций того же класса напряжения, на котором проектируется электрическая сеть. Для каждого варианта схемы сети нужно наметить и схемы электрических

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

соединений подключенных подстанций. При составлении схемы подстанций руководствуются следующими соображениями. Для каждого потребителя I и II категорий на его подстанции устанавливаются по два понижающих трансформатора с распределительным устройством на высокой стороне.

При разработке вариантов электроснабжения потребителей (рисунки 2.1-2.5), учли наличие двух существующих линий 115 кВ сечением АС-240 между питающей подстанцией 1 и узлом 2 мощностью 30 МВт.

Схема электрическая для варианта 1 изображена на рисунке 2.1.

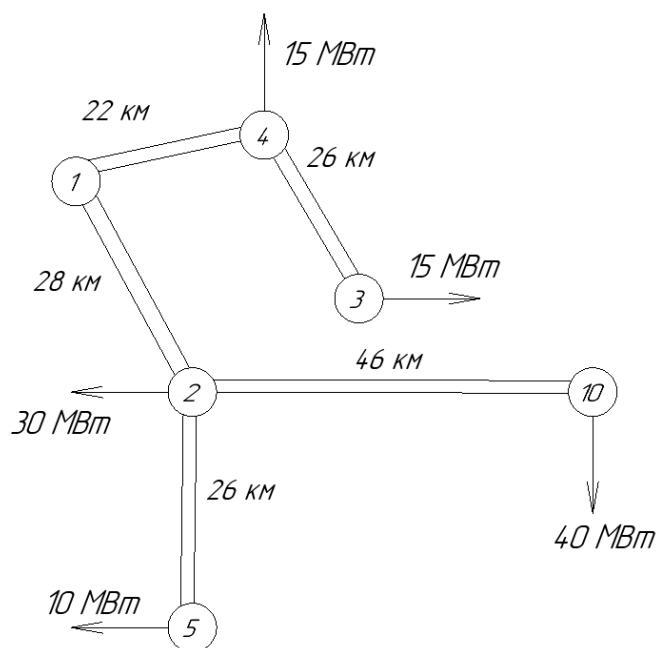


Рисунок 2.1 – Схема развития сети варианта 1

Схема электрическая для варианта 2 изображена на рисунке 2.2.

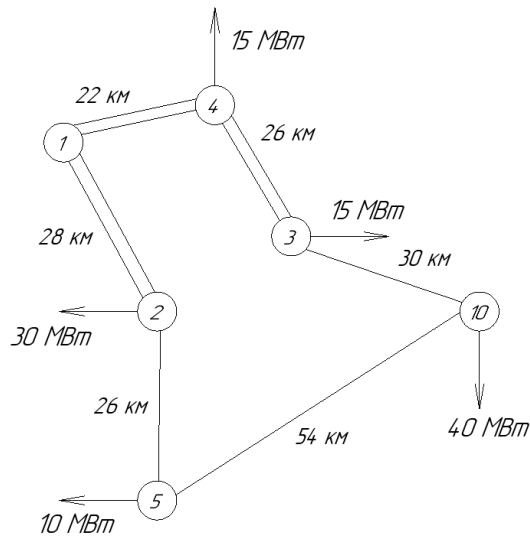


Рисунок 2.2 – Схема развития сети варианта 2

Схема электрическая для варианта 3 изображена на рисунке 2.3.

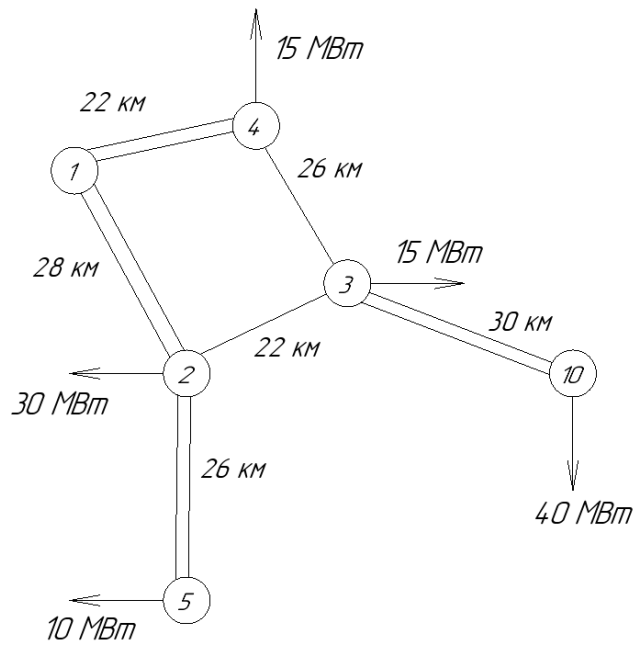


Рисунок 2.3 – Схема развития сети варианта 3

Схема электрическая для варианта 4 изображена на рисунке 2.4.

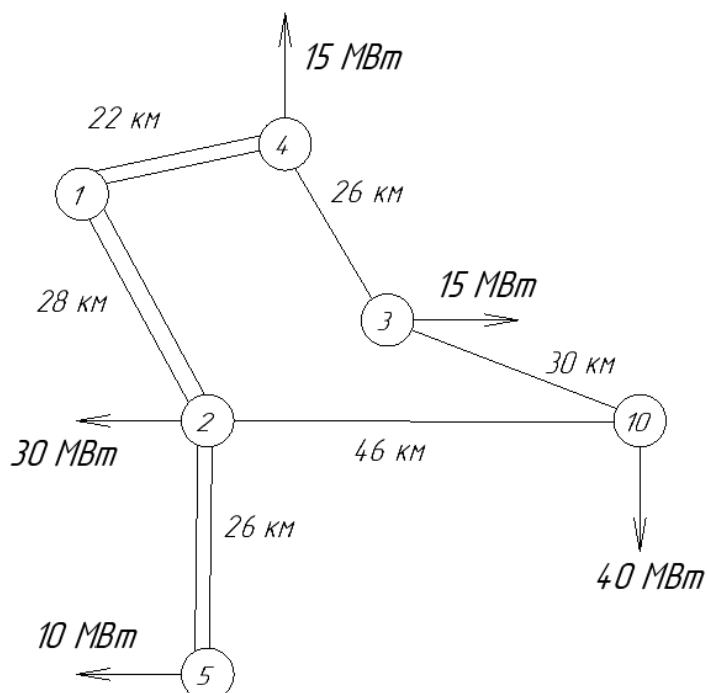


Рисунок 2.4 – Схема развития сети варианта 4

Схема электрическая для варианта 5 изображена на рисунке 2.5.

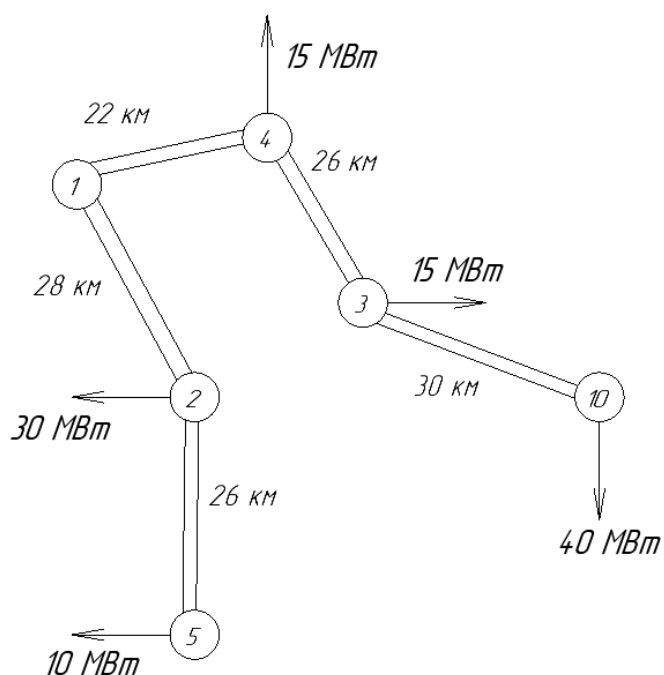


Рисунок 2.5 – Схема развития сети варианта 5

Потребитель узла 5 имеет III категорию надежности, при установке одного трансформатора связи следует учесть ущерб от недоотпуска электроэнергии при

перерыве питания. Решение вопроса о числе трансформаторов в узле 5 следует принять отдельно и распространить на все варианты.

Все разомкнутые варианты, в связи с заданной категорией потребителей по надежности, требуют сооружения на всех участках двух параллельных цепей. Рассмотрение кольцевых сетей позволяет наметить сооружение одной цепи на большинстве трасс. Следует сразу оговорить, что это решение не окончательное и должно быть проверено по условиям возможных отключений линий. Таким образом, к дальнейшему рассмотрению предложены все 5 вариантов развития сети.

						Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Расчёт потокораспределения в сети

В сетях с односторонним питанием потокораспределение рассчитывается следующим образом. Последовательно, начиная от самых отдаленных потребителей складываем мощности узлов, встречающихся при приближении к источнику. Таким образом, получаем перетоки мощности на всех радиальных участках сети.

В случае сети замкнутого типа, перетоки необходимо рассчитывать, используя правило «моментов», представив сеть замкнутого типа в виде сети с двухсторонним питанием. При этом мощность каждого источника такой сети определяется по формуле:

$$P_K = \frac{\sum (P_i \cdot \ell_i)}{\ell_{12}} \quad (3.1)$$

$$Q_K = \frac{\sum (Q_i \cdot \ell_i)}{\ell_{12}} \quad (3.2)$$

где P_K, Q_K - соответственно, определяемые активная и реактивная мощности источников;

P_i, Q_i - активная и реактивная составляющие в узлах потребителей;

ℓ_i - расстояние противоположенного источника до данного потребителя;

ℓ_{12} - общее расстояние между источниками.

Если в кольце имеются участки с двумя и более параллельными цепями, то необходимо эти участки привести к эквивалентным длинам:

$$\ell_{ЭКВ} = \frac{l}{n} \quad (3.3)$$

где ℓ - длина линии, км; n - число параллельных ветвей.

Потокораспределение варианта 1 изображаем на рисунке 3.1.

					Лист
					14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

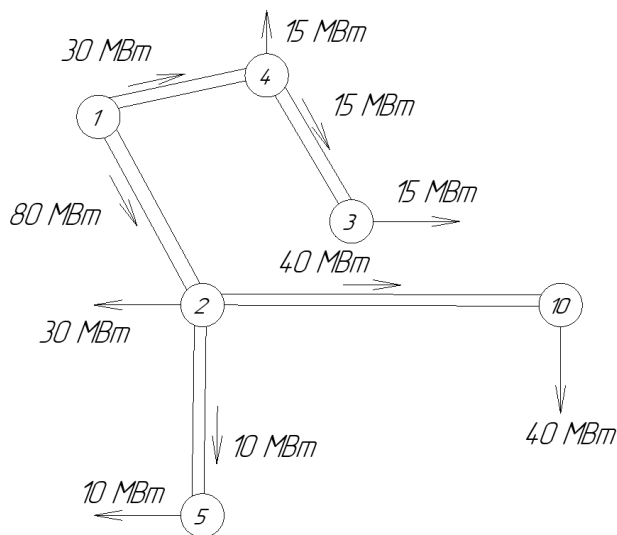


Рисунок 3.1 – Потокораспределение варианта 1

В варианте 1 рассматривается схема сети с односторонним питанием, поэтому потоки мощности на участках сети определяются по известным мощностям нагрузок, начиная с конечных участков.

Потокораспределение варианта 2 изображаем на рисунке 3.2.

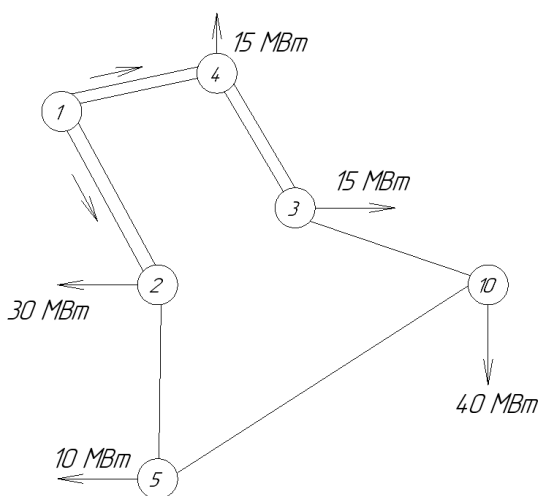


Рисунок 3.2 – Потокораспределение варианта 2

$$\begin{aligned}
 P'_{1-2} &= \frac{P_2 \cdot (l_{2-5} + l_{5-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_5 \cdot (l_{5-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2)}{l_{1-2}/2 + l_{2-5} + l_{5-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2} + \\
 &+ \frac{P_{10} \cdot (l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_3 \cdot (l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_4 \cdot (l_{4-1}/2)}{l_{1-2}/2 + l_{2-5} + l_{5-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2} = \\
 &= \frac{30 \cdot (26 + 54 + 30 + 26 + 22/2) + 10 \cdot (54 + 30 + 26 + 22/2)}{28/2 + 26 + 54 + 30 + 26 + 22/2} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{40 \cdot (30 + 26 + 22/2) + 15 \cdot (26 + 22/2) + 15 \cdot 22/2}{28/2 + 26 + 54 + 30 + 26 + 22/2} = 56,024 \text{ МВт}; \\
P'_{1-4} &= \frac{P_4 \cdot (l_{4-3} + l_{3-10} + l_{10-5} + l_{5-2} + l_{2-1}/2) + P_3 \cdot (l_{3-10} + l_{10-5} + l_{5-2} + l_{2-1}/2)}{l_{1-4}/2 + l_{4-3} + l_{3-10} + l_{10-5} + l_{5-2} + l_{2-1}/2} + \\
& + \frac{P_{10} \cdot (l_{10-5} + l_{5-2} + l_{2-1}/2) + P_5 \cdot (l_{5-2} + l_{2-1}/2) + P_2 \cdot (l_{2-1}/2)}{l_{1-4}/2 + l_{4-3} + l_{3-10} + l_{10-5} + l_{5-2} + l_{2-1}/2} = \\
& = \frac{15 \cdot (26 + 30 + 54 + 26 + 28/2) + 15 \cdot (30 + 54 + 26 + 28/2) + 40 \cdot (54 + 26 + 28/2)}{22/2 + 26 + 30 + 54 + 26 + 28/2} + \\
& + \frac{10 \cdot (26 + 28/2) + 30 \cdot 28/2}{22/2 + 26 + 30 + 54 + 26 + 28/2} = 53,976 \text{ МВт}.
\end{aligned}$$

Потокораспределение в кольце 1-2-5-10-3-4-1 изображаем на рисунке 3.3.

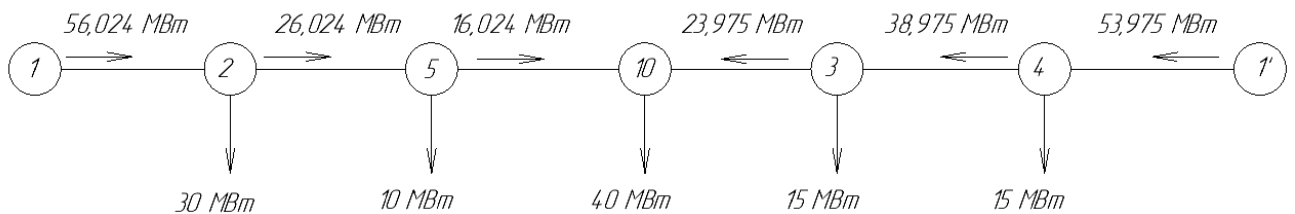


Рисунок 3.3 – Потокораспределение в кольцевой части сети варианта 2

Потокораспределение варианта 3 изображаем на рисунке 3.4.

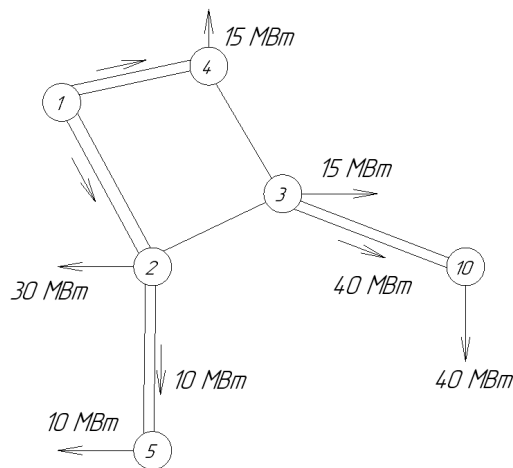


Рисунок 3.4 – Потокораспределение варианта 3

$$\begin{aligned}
P'_{1-2} &= \frac{(P_2 + P_5) \cdot (l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2) + (P_3 + P_{10}) \cdot (l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_4 \cdot l_{4-1}}{l_{1-2}/2 + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2} = \\
& = \frac{(30 + 10) \cdot (22 + 26 + 22/2) + (15 + 40) \cdot (26 + 22/2) + 15 \cdot 22/2}{28/2 + 22 + 26 + 22/2} = 62,465 \text{ МВт};
\end{aligned}$$

$$P'_{1-4} = \frac{P_4 \cdot (l_{4-3} + l_{3-2} + l_{2-1}/2) + (P_3 + P_{10}) \cdot (l_{3-2} + l_{2-1}/2) + (P_2 + P_5) \cdot l_{2-1}/2}{l_{1-4}/2 + l_{4-3} + l_{3-2} + l_{2-1}/2} =$$

$$= \frac{15 \cdot (26 + 22 + 28/2) + (15 + 40) \cdot (22 + 28/2) + (30 + 10) \cdot 28/2}{30 + 18 + 16} = 47,535 \text{ МВт.}$$

Потокораспределение в кольце 1-2-3-4-1 изображаем на рисунке 3.5.

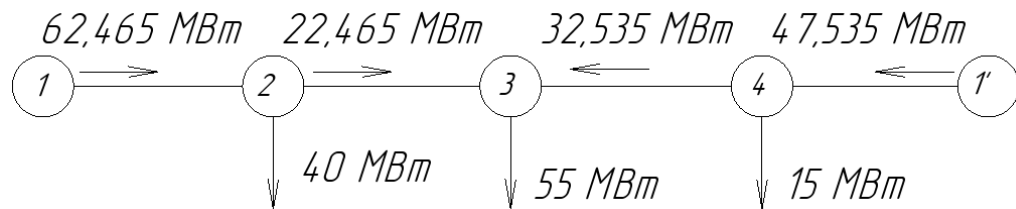


Рисунок 3.5 – Потокораспределение в кольцевой части сети варианта 3

Потокораспределение варианта 4 изображаем на рисунке 3.6.

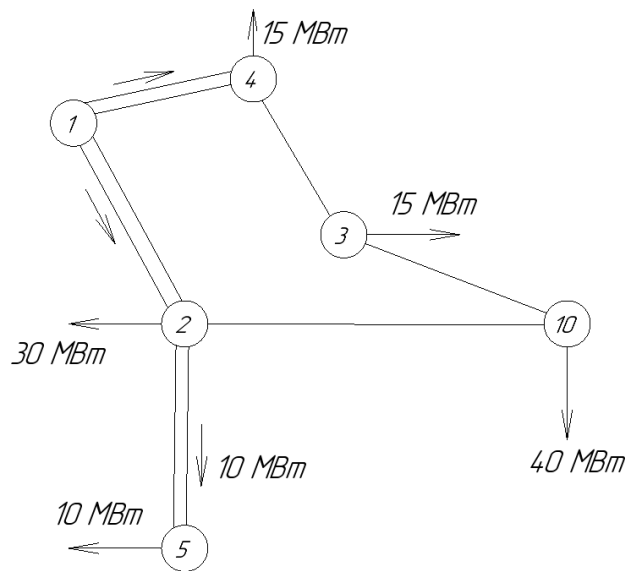


Рисунок 3.6 – Потокораспределение варианта 4

$$P'_{1-2} = \frac{(P_2 + P_5) \cdot (l_{2-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_{10} \cdot (l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_3 \cdot (l_{3-4} + l_{4-1}/2) + P_4 \cdot l_{4-1}/2}{l_{1-2}/2 + l_{2-10} + l_{10-3} + l_{3-4} + l_{4-1}/2} =$$

$$= \frac{(30 + 10) \cdot (46 + 30 + 26 + 22/2) + 40 \cdot (30 + 26 + 22/2) + 15 \cdot (26 + 22/2) + 15 \cdot 22/2}{28/2 + 46 + 30 + 26 + 26 + 22/2} = 62,362 \text{ МВт.}$$

$$P'_{1-4} = \frac{P_4 \cdot (l_{4-3} + l_{3-10} + l_{10-2} + l_{2-1}/2) + P_3 \cdot (l_{3-10} + l_{10-2} + l_{2-1}/2) + P_{10} \cdot (l_{10-2} + l_{2-1}/2) + (P_2 + P_5) \cdot l_{2-1}/2}{l_{1-4}/2 + l_{4-3} + l_{3-10} + l_{10-2} + l_{2-1}/2} =$$

$$= \frac{15 \cdot (26 + 30 + 46 + 28/2) + 15 \cdot (30 + 46 + 28/2) + 40 \cdot (46 + 28/2) + (30 + 10) \cdot 28/2}{22/2 + 26 + 30 + 46 + 28/2} = 47,638 \text{ МВт.}$$

Потокораспределение в кольце 1-2-10-3-4-1 изображаем на рисунке 3.7.

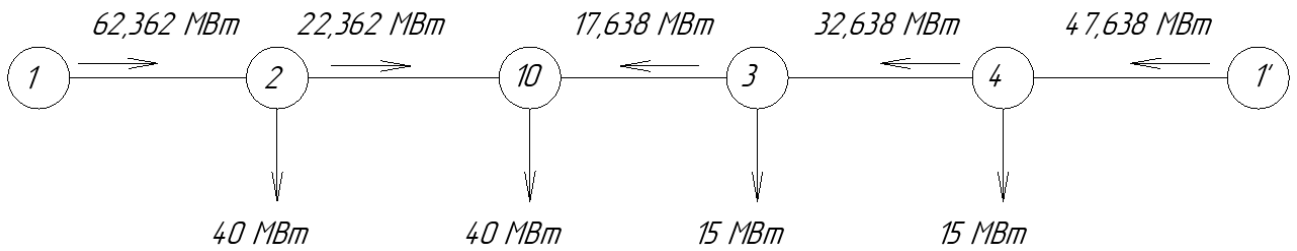


Рисунок 3.7 – Потокораспределение в кольцевой части сети варианта 4

Потокораспределение варианта 5 изображаем на рисунке 3.8.

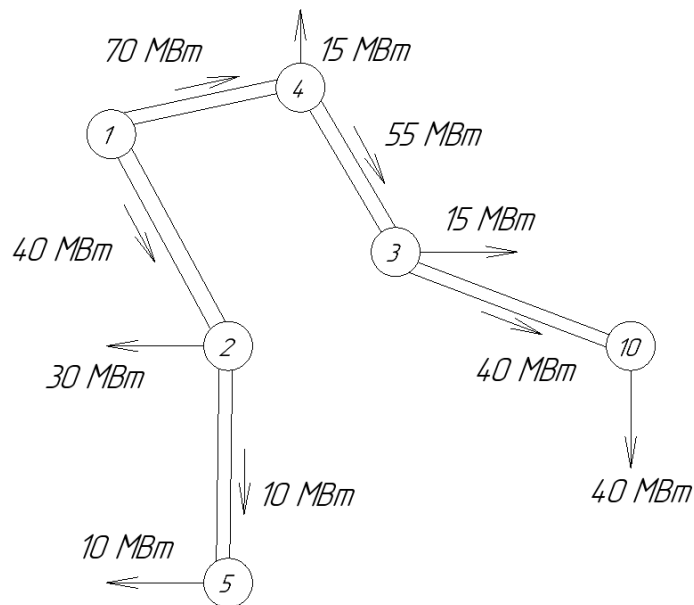


Рисунок 3.8 – Потокораспределение варианта 5

4 Выбор номинального напряжения сети

Одновременно со схемой развития сети выбирается и номинальное напряжение. Напряжение зависит от нескольких факторов:

- мощности потребителей;
- удаленности их от источника питания;
- района сооружения сети и класса номинального напряжения существующей сети.

Выбор напряжения определяется экономическими факторами, при увеличении номинального напряжения возрастают капиталовложения в сооружение сети, но за счет снижения потерь электроэнергии уменьшаются эксплуатационные издержки.

В практике проектирования для выбора рационального напряжения используются кривые [2, рисунок 1.1], данные по пропускной способности и дальности линий электропередачи [2, таблица 1.1] или эмпирические формулы, в частности, формула Г.А. Илларионова, дающая удовлетворительные результаты для шкалы напряжений от 35 до 1150 кВ:

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{\ell/n} + \frac{2500}{P}}} \quad (4.1)$$

где ℓ - длина рассматриваемого участка;

n - число параллельных ветвей.

P - мощность, передаваемая по участку.

Определение напряжения для каждого варианта сети.

Вариант 1 развития сети:

$$U_{1-2} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{1-2}/2} + \frac{2500}{P_{1-2}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{28/2} + \frac{2500}{80}}} = 122,204 \text{ кВ};$$

$$U_{2-5} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{2-5}/2} + \frac{2500}{P_{2-5}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{26/2} + \frac{2500}{10}}} = 58,878 \text{ кВ};$$

$$U_{2-10} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{2-10}/2} + \frac{2500}{P_{2-10}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{46/2} + \frac{2500}{40}}} = 108,956 \text{ кВ};$$

$$U_{1-4} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{1-4}/2} + \frac{2500}{P_{1-4}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{22/2} + \frac{2500}{30}}} = 88,121 \text{ кВ};$$

$$U_{4-3} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{4-3}/2} + \frac{2500}{P_{4-3}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{26/2} + \frac{2500}{15}}} = 69,822 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{СРЕД}} = \frac{\sum U}{n} = \frac{447,981}{5} = 89,596 \text{ кВ}.$$

Вычисления напряжений в других узлах сети производятся аналогично, по формуле (4.1); результаты сведены в таблицы 4.1 – 4.5.

Таблица 4.1 - Вариант 1 развития сети

	1-2	2-5	2-10	1-4	4-3	$U_{\text{СРЕД}}$
L, км	28	26	46	22	26	89,596
P, МВт	80	10	40	30	15	
Uном, кВ	122,204	58,878	108,956	88,121	69,822	

Таблица 4.2 - Вариант 2 развития сети

	1-2	2-5	5-10	10-3	3-4	4-1	$U_{\text{СРЕД}}$
L, км	28	26	54	30	26	22	102,893
P, МВт	56,024	26,024	16,024	23,975	38,975	53,975	
Uном, кВ	111,569	93,135	77,79	120,941	109,529	104,395	

Таблица 4.3 - Вариант 3 развития сети

	1-2	2-5	2-3	3-10	3-4	4-1	$U_{\text{СРЕД}}$
L, км	28	26	22	30	26	22	565,363
P, МВт	62,465	10	22,465	40	32,535	47,535	
Uном, кВ	114,916	58,878	86,385	102,155	102,03	100,999	

Таблица 4.4 - Вариант 4 развития сети

	1-2	2-5	2-10	10-3	3-4	4-1	$U_{\text{СРЕД}}$
L, км	28	26	46	30	26	22	90,061
P, МВт	62,362	10	22,362	17,638	32,638	47,638	
Uном, кВ	114,863	58,878	90,293	79,459	95,828	101,05	

Таблица 4.5 - Вариант 5 развития сети

	1-2	2-5	1-4	4-3	3-10	$U_{\text{СРЕД}}$
L,км	28	26	22	26	30	96,422
P,МВт	40	10	70	55	40	
Uном,кВ	100,908	58,878	111	109,17	102,155	

5 Выбор сечений линий электропередачи

Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи 35-500 кВ можно выполнить по экономическим интервалам и по экономической плотности тока. Рассмотрим выбор сечений по экономическим интервалам.

5.1 Расчет токораспределения в сети

Для определения сечений, необходимо рассчитать узловые токи и токи на каждом участке по формуле:

$$I_{уч} = \frac{P_{уч}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} \quad (5.1)$$

где $P_{уч}$ – передаваемая по участку мощность.

Определим токи нагрузок узлов:

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \phi} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,175 \text{ кА};$$

$$I_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \phi} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,233 \text{ кА};$$

$$I_3 = I_4 = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \phi} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,087 \text{ кА};$$

$$I_5 = \frac{P_5}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \phi} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,058 \text{ кА}.$$

Определим токи на участках сети по формуле (5.1), полученные результаты представлены на рисунках 5.1–5.5.

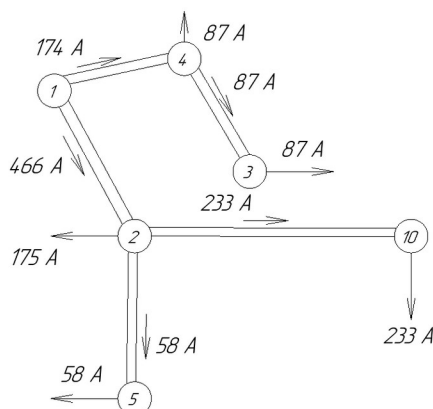


Рисунок 5.1 – Вариант 1 токораспределения в сети

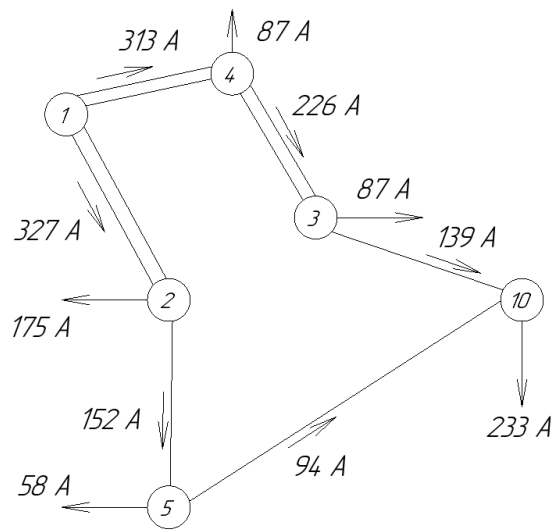


Рисунок 5.2 – Вариант 2 токораспределения в сети

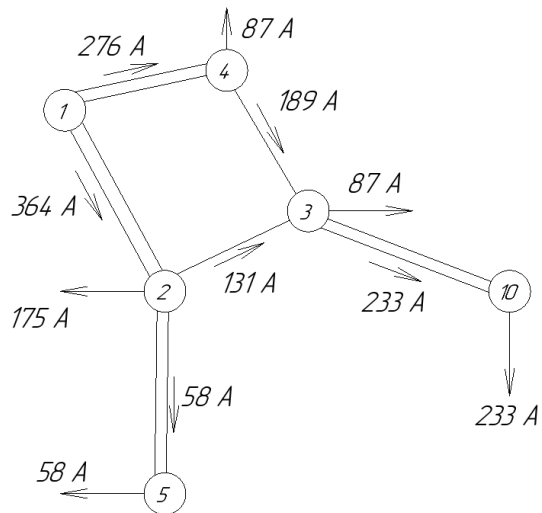


Рисунок 5.3 – Вариант 3 токораспределения в сети

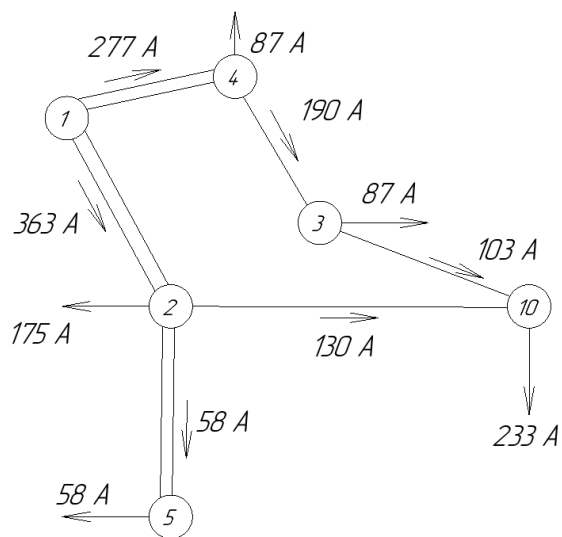


Рисунок 5.4 – Вариант 4 токораспределения в сети

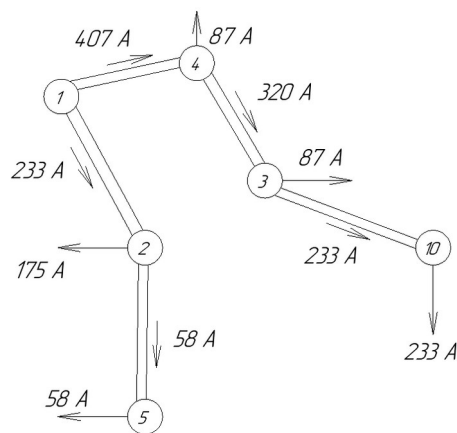


Рисунок 5.5 – Вариант 5 токораспределения в сети

5.2 Выбор сечений линий электропередач

Экономические интервалы для различных стандартных сечений определенного класса напряжения получены при построении зависимости приведенных затрат в сооружение 1 км линии от тока. Вид зависимостей показан на рисунке 5.6.

Сечение F_1, F_2, \dots, F_n - стандартные сечения для класса номинального напряжения $U_{НОМ}$. Экономические интервалы однозначно определяют сечение воздушной линии в зависимости от тока максимального нормального режима I_{max} . Если ток в линии лежит в интервале от 0 до I_{KP} - наиболее экономично сечение F_1 , при токе от I_{KP1} до I_{KP2} - сечение F_2 и т.д. Здесь под I_{max} понимается ток в одной цепи линии.

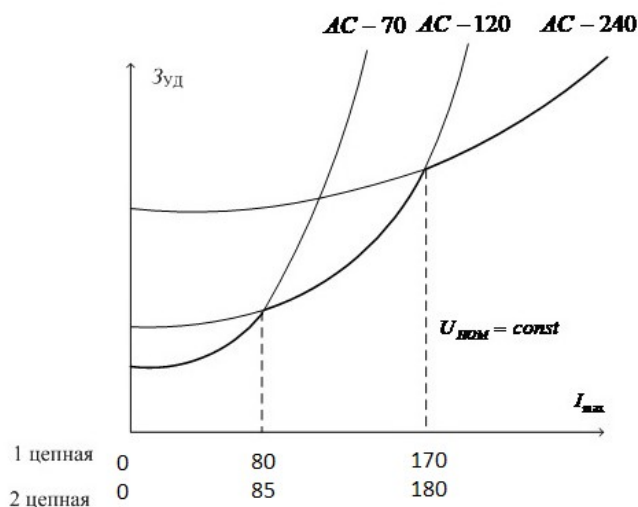


Рисунок 5.6 – Экономические интервалы сечений

Произведем выбор сечений для варианта 2. Учитывая, что проектирование ведется на Урале (район по гололеду II), выбраны стальные опоры для линий 110 кВ.

Определим допустимый ток на участке 1 – 2: существующая линия 1-2 сечением 2х АС-240 проверяется по допустимому току из условий максимального длительного режима (обрыв одного из участков). Допустимый ток для провода АС-240 $I_{доп}=610 А$. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве участка 1-4. По участку 1-2 будет протекать ток $I_{max 1-2}=640 А$, то есть по одной цепи будет протекать $I_{max 1-2}=320 А$, следовательно $I_{max 1-2} < I_{доп}$, результаты проверки удовлетворительны.

Определим допустимый ток на участке 2-5: по условию надежности требуется питание от двух источников, в кольцевой схеме это достигается двухсторонним питанием. Номинальный ток участка $I_{2-5}=152 А$. По экономическому интервалу сечений выбрана одна одноцепная линия АС-120. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве участка 1-4 $I_{max 2-5}=465 А$, то есть $I_{max 2-5} > I_{доп}$. Следовательно, выбираем одну одноцепную линию АС-240.

Определим допустимый ток на участке 5-10: номинальный ток участка $I_{5-10}=94 А$. По экономическому интервалу сечений выбрана одна одноцепная линия АС-120. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве участка 1-4 $I_{max 5-10}=407 А$, то есть $I_{max 5-10} > I_{доп}$. Следовательно, выбираем одноцепную линию АС-240.

Определим допустимый ток на участке 10-3: номинальный ток участка $I_{10-3}=139 А$. По экономическому интервалу сечений выбрана одна одноцепная линия АС-120. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве участка 1-2 $I_{max 10-3}=466 А$, то есть $I_{max 10-3} > I_{доп}$. Следовательно, выбираем одноцепную линию АС-240.

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Определим допустимый ток на участке 4-3: ток участка $I_{4-3}=266 \text{ A}$. По экономическому интервалу сечений выбираем одноцепную линию АС-240. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве цепи на участке 2-1 $I_{\max 3-4}=553 \text{ A}$, то есть $I_{\max 3-4} < I_{\text{доп}}$. Следовательно, выбираем одноцепную линию АС-240.

Определим допустимый ток на участке 4-1: ток участка $I_{\max 4-1}=313 \text{ A}$. По экономическому интервалу сечений выбираем двухцепную линию АС-120. Максимальный ток по сечению возникает при обрыве цепи 1-2 $I_{\max 1-4}=640 \text{ A}$, следовательно $I_{\max 1-4} < I_{\text{доп}}$, результаты проверки удовлетворительны. Следовательно, выбираем двухцепную линию АС-120.

Аналогично проводим выбор сечений проводников для остальных вариантов сети. Результаты расчётов для вариантов сведём в таблицы 5.6 – 5.10.

Таблица 5.6 - Выбор сечений проводников (вариант 1)

Линия	Вид	Ток участка, А	Сечение	Число цепей	Вид аварии	I_{ab} , А	$I_{\text{доп}}$, А
1-2	сущ	466	АС-240/32	2	обрыв 1 цепи	466	610
2-5	проект	58	АС-70/11	2	обрыв 1 цепи	58	265
2-10	проект	233	АС-120/19	2	обрыв 1 цепи	233	265
1-4	проект	174	АС-120/19	2	обрыв 1 цепи	174	390
4-3	проект	87	АС-70/11	2	обрыв 1 цепи	87	265

Таблица 5.7 - Выбор сечений проводников (вариант 2)

Линия	Вид	Ток участка, А	Сечение	Число цепей	Вид аварии	I_{ab} , А	$I_{\text{доп}}$, А
1-2	сущ	327	АС-240/32	2	обрыв 1-4	640	1220
2-5	проект	152	АС-240/32	1	обрыв 1-4	465	780
5-10	проект	94	АС-240/32	1	обрыв 1-4	407	610
10-3	проект	139	АС-240/32	1	обрыв 1-2	466	610
3-4	проект	226	АС-240/32	1	обрыв 1-2	553	610
1-4	проект	313	АС-120/19	2	обрыв 1-2	640	780

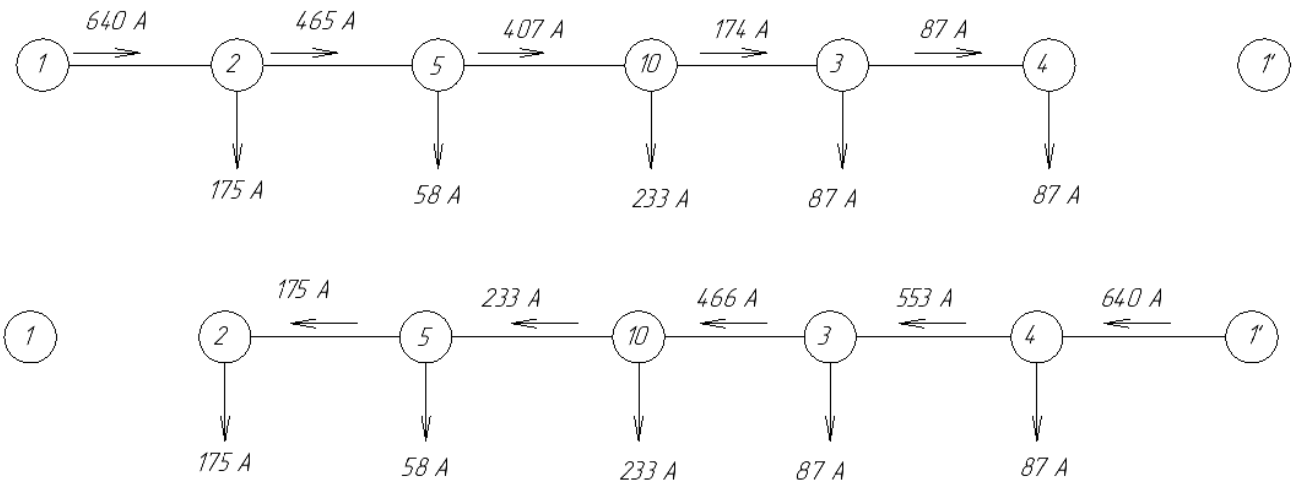


Рисунок 5.7 – Аварийные режимы в кольце для варианта 2

Таблица 5.8 - Выбор сечений проводников (вариант 3)

Линия	Вид	Ток участка, А	Сечение	Число цепей	Вид аварии	I_{ab} , А	$I_{доп}$, А
1-2	сущ	364	АС-240/32	2	обрыв 1-4	640	1220
2-5	проект	58	АС-70/11	2	обрыв 1 цепи	58	265
2-3	проект	131	АС-240/32	1	обрыв 1-4	407	610
3-10	проект	233	АС-120/19	2	обрыв 12-8	233	390
3-4	проект	189	АС-240/32	1	обрыв 1-2	553	610
4-1	проект	276	АС-120/19	2	обрыв 1-2	640	780

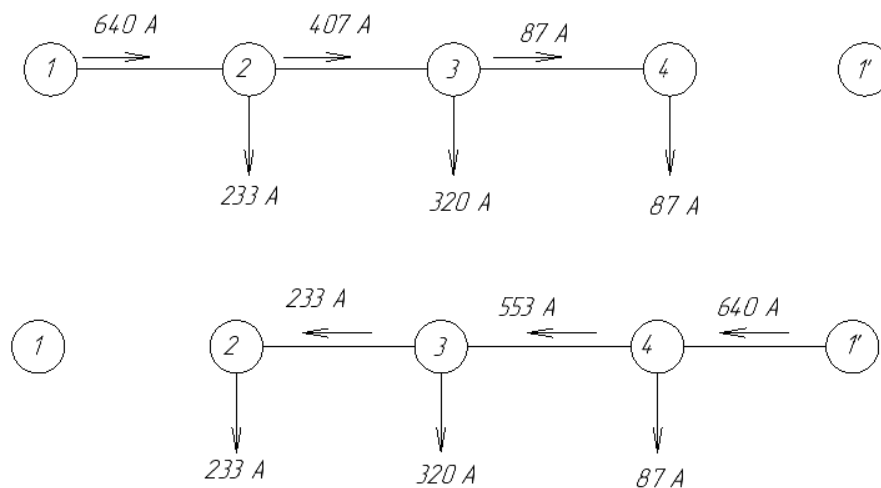


Рисунок 5.8 – Аварийные режимы в кольце для варианта 3

Таблица 5.9 - Выбор сечений проводников (вариант 4)

Линия	Вид	Ток участка, А	Сечение	Число цепей	Вид аварии	I_{ab} , А	$I_{доп}$, А
1-2	сущ	363	АС-240/32	2	обрыв 1-4	640	1220
2-5	проект	58	АС-70/11	2	обрыв 1 цепи	58	265
2-10	проект	130	АС-240/32	1	обрыв 1-4	407	610
10-3	проект	103	АС-240/32	21	обрыв 1-2	466	610
3-4	проект	190	АС-240/32	1	обрыв 1-2	553	610
4-1	проект	277	АС-120/19	2	обрыв 1-2	640	780

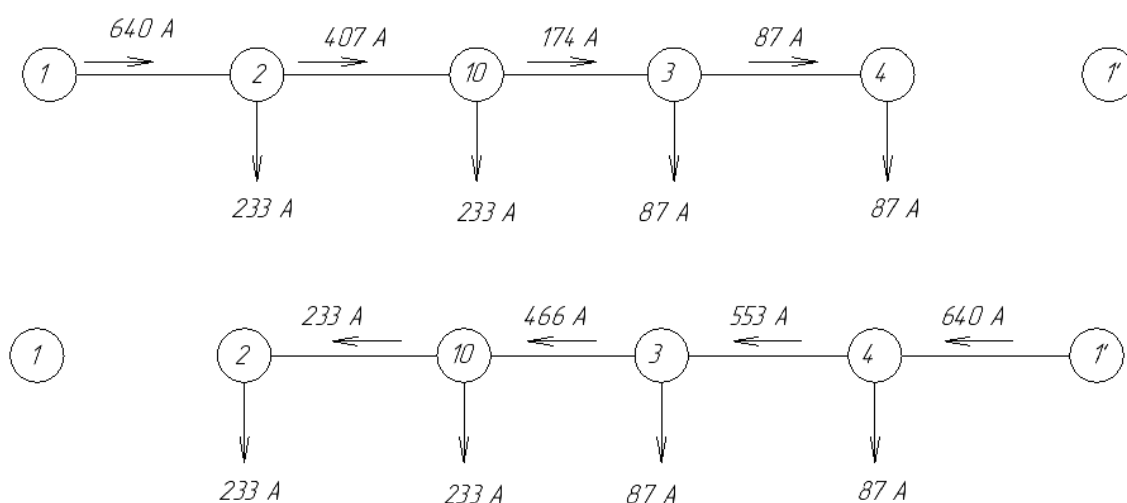


Рисунок 5.9 – Аварийные режимы в кольце для варианта 4

Таблица 5.10 - Выбор сечений проводников (вариант 5)

Линия	Вид	Ток участка, А	Сечение	Число цепей	Вид аварии	I_{ab} , А	$I_{доп}$, А
1-2	сущ	233	АС-240/32	2	обрыв 1 цепи	233	610
2-5	проект	58	АС-70/11	2	обрыв 1 цепи	58	265
1-4	проект	407	АС-240/32	2	обрыв 1 цепи	407	610
4-3	проект	320	АС-120/19	2	обрыв 1 цепи	320	390
3-10	проект	233	АС-120/19	2	обрыв 1 цепи	233	390

6 Выбор трансформаторов на понижающих подстанциях

В практике проектирования на подстанциях всех категорий предусматривается, как правило, установка двух трансформаторов. Установка одного трансформатора рекомендуется только в случае питания потребителей III категории при наличии в сетевом районе передвижной резервной подстанции, обеспечивающей замену трансформатора в течение суток.

Необходимо обеспечить энергией потребителей первой и второй категорий в случае аварии на одном из трансформаторов или его отключении. В этом случае, оставшийся в работе трансформатор должен обеспечить питание потребителей первой и второй категорий с допустимой перегрузкой до 40%, на время не более 6 часов, в течение 5 суток, при коэффициенте заполнения суточного графика 0,75. Следует учитывать, что при аварии с одним из трансформаторов допускается отключение потребителей третьей категории.

Условия выбора трансформаторов:

$$\begin{aligned}U_{H.BH} &\geq U_{УСТ}; \\U_{H.HH} &\geq U_{УСТ}; \\S_{H.T} &\geq S_{\phi.T} = 0,7 \cdot S_{\max}.\end{aligned}\tag{6.1}$$

После выбора трансформатора необходимо произвести проверку:

$$\frac{S_{\max}}{S_{H.T}} \leq 1,4\tag{6.2}$$

Рассмотрим выбор трансформаторов на примере узла 2. Выбор трансформаторов в остальных вариантах производим аналогичным образом:

$$\begin{aligned}S_{\max} &= \frac{P_{НАГР}}{\cos \phi} = \frac{30}{0,9} = 33,333 \text{ МВА}; \\S_{\phi.T} &= 0,7 \cdot S_{\max} = 0,7 \cdot 33,333 = 23,333 \text{ МВА}.\end{aligned}$$

Выбираем тип трансформатора согласно [5, таблица 5.13] ТРДН–25000/110. При этом:

$$U_{H.BH} = 115 \text{ кВ} \geq U_{УСТ} = 110 \text{ кВ};$$

					Лист
					29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$U_{H.HH} = 10,5 \text{ кВ} \geq U_{УСТ} = 10 \text{ кВ};$$

$$S_{HT} = 25 \text{ МВА} \geq S_{\phi.T} = 0,7 \cdot S_{\max} = 23,333 \text{ МВА}.$$

$$\frac{S_{\max}}{S_{H.T}} = \frac{33,333}{25} = 1,333 < 1,4,$$

то есть в аварийном режиме при отключении одного из трансформаторов, второй будет перегружен на 33%.

Все данные о выбранных трансформаторах занесем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Выбор понижающих трансформаторов

№ узла	Мощность нагрузки		S _{ф.т.} , МВ·А	Тип и число трансформаторов
	P, МВт	S, МВт		
2	30	33,333	23,333	2 з ТРДН-25000/110
10	40	44,444	31,111	2 з ТРДН-40000/110
3	15	16,666	11,666	2 з ТДН-16000/110
4	15	16,666	11,666	2 з ТДН-16000/110
5а	10	11,111	7,777	2 з ТДН-10000/110
5б	10	11,111	11,111	ТДН-16000/110

7 Выбор схем подстанций

7.1 Выбор схем электрических соединений распределительных устройств подстанций стороне высшего напряжения

Наиболее дорогостоящим оборудованием распределительных устройств являются высоковольтные выключатели, и поэтому выбор схем распределительных устройств выполняется только с целью определения числа их ячеек. Выбор схем соединения РУ и количество выключателей вариантов представим в таблицах 7.1 – 7.5.

Таблица 7.1 - Число ячеек выключателей 110 кВ (вариант 1)

№ узла	Число присоединений		Схема распределительного устройства 110 кВ	Число ячеек выключателей 110 кВ
	линий	трансформаторов		
1	4	2	Две рабочие и обходная системы шин	8
4	4	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	8
2	6	2	Две рабочие и обходная системы шин	10
3	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
10	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5а	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5б	2	1	Заход-выход	2
Итого:				32(а)32(б)

Таблица 7.2 - Число ячеек выключателей 110 кВ (вариант 2)

№ узла	Число присоединений		Схема распределительного устройства 110 кВ	Число ячеек выключателей 110 кВ
	линий	трансформаторов		
1	4	2	Две рабочие и обходная системы шин	8
2	3	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	7
5а	2	2	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	3
5б	2	1	Заход-выход	2
4	3	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	7
10	2	2	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	3
3	2	2	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	3
Итого:				31(а)30(б)

Таблица 7.3 - Число ячеек выключателей 110 кВ (вариант 3)

№ узла	Число присоединений		Схема распределительного устройства 110 кВ	Число ячеек выключателей 110 кВ
	линий	трансформаторов		
1	4	2	Две рабочие и обходная системы шин	8
2	5	2	Две рабочие и обходная системы шин	9
10	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5а	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5б	2	1	Заход-выход	2
3	4	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	8
4	3	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	7
Итого:				36 (а) 36 (б)

Таблица 7.4 - Число ячеек выключателей 110 кВ (вариант 4)

№ узла	Число присоединений		Схема распределительного устройства 110 кВ	Число ячеек выключателей 110 кВ
	линий	трансформаторов		
1	4	2	Две рабочие и обходная системы шин	8
2	5	2	Две рабочие и обходная системы шин	9
10	2	2	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	3
3	2	2	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	3
4	3	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	7
5а	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5б	2	1	Заход-выход	2
Итого:				32(а) 32(б)

Таблица 7.5 - Число ячеек выключателей 110 кВ (вариант 5)

№ узла	Число присоединений		Схема распределительного устройства 110 кВ	Число ячеек выключателей 110 кВ
	линий	трансформаторов		
1	4	2	Две рабочие и обходная системы шин	8
2	4	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	8
10	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
4	4	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	8
3	4	2	Одна рабочая секционированная и обходная системы шин	8
5а	2	2	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	2
5б	2	1	Заход-выход	2
Итого:				36 (а) 36 (б)

8 Экономическое сопоставление вариантов развития сети

Варианты, подлежащие технико-экономическому сравнению, должны быть технически и экономически сопоставимы. Подсчет приведенных затрат производится по формуле:

$$Z = E_H K + I + U, \text{ руб./год}, \quad (8.1)$$

где E_H – нормативный коэффициент эффективности (в энергетике $E_H = 0,12$);

$K = K_L + K_P$ – соответственно капитальные вложения в линии и подстанции;

$I = I_L + I_P + I_{\Delta\mathcal{E}}$ – соответственно издержки на амортизацию и обслуживание линий I_L , подстанций I_P и $I_{\Delta\mathcal{E}}$ – издержки на возмещение потерь энергии в электрических сетях;

U – математическое ожидание народнохозяйственного ущерба от нарушения электроснабжения.

Ежегодные издержки I_L и I_P определяются суммой отчислений от капитальных вложений [1, формула (6.4)]:

$$I_L = \alpha_L K_L; \quad (8.2)$$

$$I_P = \alpha_P K_P, \quad (8.3)$$

где α_L , α_P – соответственно коэффициенты отчислений на амортизацию и обслуживание для линий и подстанций.

Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание [4] для линий составляют 2,8%, для подстанций 110 кВ – 9,4%, соответственно $\alpha_L = 0,028$, $\alpha_P = 0,094$.

Издержки на возмещение потерь энергии определяются по формуле:

$$I_{\Delta\mathcal{E}} = \beta_0 (\tau \cdot \Delta P'_{\max} + 8760 \cdot \Delta P_{XX}), \quad (8.4)$$

где $\Delta P'_{\max}$ – суммарные переменные потери мощности в сети в режиме максимальных нагрузок;

ΔP_{XX} – суммарные потери холостого хода трансформаторов;

						Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

β_0 – удельная стоимость потерь активной энергии, 0,015 т.руб/МВт ч.[4, таблица 6.3].

τ – число часов максимальных потерь в году. Определяется по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_{\max} / 10^4)^2 \cdot 8760 \quad (8.5)$$

В случае питания потребителя по одной линии ущерб при ее аварийном отключении можно оценить по выражению:

$$Y = a P_{\max} K_B \varepsilon \quad (8.6)$$

где a – удельный годовой ущерб от аварийных ограничений электроснабжения [1, рисунок 6.4, а];

P_{\max} – максимальная нагрузка потребителя;

K_B – коэффициент вынужденного простоя;

ε – степень ограничения потребителя ($\varepsilon = 1$ при полном отключении потребителя, $\varepsilon < 1$ при частичном отключении).

Коэффициент вынужденного простоя определяется по формуле:

$$K_B = \sum_{i=1}^m T_{B_i} \omega_i \quad (8.7)$$

где m – число последовательно, включенных элементов сети;

T_{B_i} – среднее время восстановления элемента i [4, таблица 2.33];

ω_i – параметр потока отказов элемента i [4, таблица 2.32].

Капитальные вложения в линии:

$$K_{\text{л}} = C \cdot \ell \cdot n \quad (8.8)$$

где C – стоимость 1 км линии;

ℓ – длина линии;

n – число параллельных линий.

Капитальные вложения в подстанцию:

						Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_{II} = C \cdot n, \quad (8.9)$$

где C – стоимость 1 ячейки выключателя;

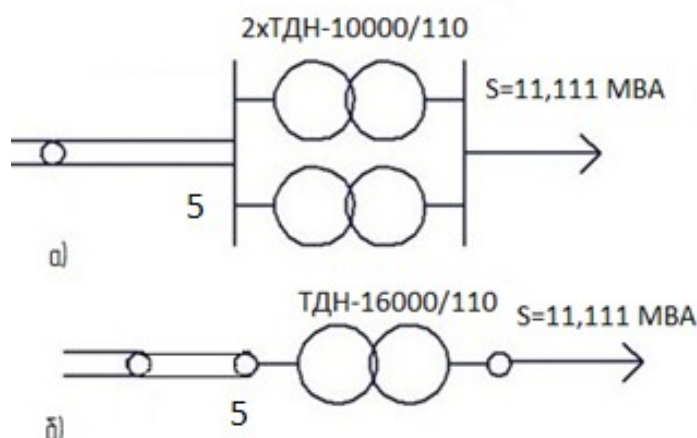
n – число ячеек для учета.

На основании анализа результатов расчета выбираются 2 варианта с меньшими приведенными затратами.

Экономическое сопоставление вариантов

Проанализируем подварианты присоединения узла 5. Решение этого вопроса позволяет однозначно определить схему питания потребителей 3 категории в узле 5.

Вариант *а* предполагает установку на подстанции 5 двух трансформаторов ТДН-10000/110 (рисунок 8.1, а), вариант *б* установку на подстанции 5 одного трансформатора ТДН-16000/110 (рисунок 8.1, б). Длина и количество линий одинакова, поэтому при расчетах стоимость линий не учитывается.



а) вариант а; б) вариант б

Рисунок 8.1 – Схема присоединения узла 5

а) Капиталовложения в подстанцию включают стоимость трансформаторов и распреустройства (РУ) высшего напряжения. Стоимость РУ низшего напряжения незначительна вследствие невысокой стоимости выключателей 10 кВ. Расчетная стоимость трансформатора ТДН-10000/110 [5, таблица 3.6] составляет 12000 тыс.руб., стоимость ячейки выключателя 110 кВ - 1320

тыс.руб. [5, таблица 10.29], R_T (ТДН – 10000/110) = 7,95 Ом [5, таблица 3.6]
тогда:

$$K_{II} = 12000 \cdot 2 + 1320 \cdot 2 = 26640 \text{ тыс.руб.},$$

$$K_{\Sigma} = K_{II} = 26640 \text{ тыс.руб.}$$

Определим параметры схемы замещения сети:

$$R_{II} = R_T / n = 7,95 / 2 = 3,975 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = R_{II} = 3,975 \text{ Ом.}$$

Суммарные потери холостого хода трансформаторов будут равны:

$$\Delta P_{XXII} = \Delta P_{XX} \cdot n = 0,014 \cdot 2 = 0,028 \text{ МВт.}$$

Потери мощности в максимальном режиме, ток определен при выборе сечений, $I_5 = 0,058$ кА, тогда:

$$\Delta P'_{\max} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\Sigma} = 3 \cdot 0,058^2 \cdot 3,975 = 0,04 \text{ МВт.}$$

Число часов максимальных потерь:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10^4}\right) \cdot 8760 = 2886 \text{ ч.}$$

Издержки:

$$I_{\Delta \mathcal{E}} = \beta_0 \cdot (\tau \cdot \Delta P'_{\max} + 8760 \cdot \Delta P_{XX}) = 0,015 \cdot (2886 \cdot 0,04 + 8760 \cdot 0,028) = 5,41 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, приведенные затраты в варианте а присоединения узла 10 составляют:

$$Z_a = E_K \cdot K_{\Sigma} + a_{II} \cdot K_{II} + I_{\Delta \mathcal{E}} = \\ = 0,12 \cdot 26640 + 0,094 \cdot 26640 + 5,41 = 5,706,37 \text{ тыс.руб.}$$

б) Посчитаем капиталовложения в подстанцию:

$$K_{II} = 14400 \cdot 1 + 1320 \cdot 2 = 17040 \text{ тыс.руб.};$$

$$K_{\Sigma} = K_{II} = 17040 \text{ тыс.руб.}$$

Издержки на потери, R_T (ТДН – 16000/110) = 4,38 Ом:

$$R_{II} = R_T = 4,38 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = R_{II} = 4,38 \text{ Ом};$$

					Лист
					37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$\Delta P'_{\max} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\Sigma} = 3 \cdot 0,058^2 \cdot 4,38 = 0,045 \text{ МВт};$$

$$\Delta P_{XXII} = \Delta P_{XX} \cdot n = 0,019 \cdot 1 = 0,019 \text{ МВт};$$

$$I_{\Delta \text{Э}} = \beta_0 \cdot (\tau \cdot \Delta P'_{\max} + 8760 \cdot \Delta P_{XX}) = 0,015 \cdot (2886 \cdot 0,045 + 8760 \cdot 0,019) = 4,444 \text{ тыс. руб}$$

Питание потребителей может быть аварийно прекращено и ущерб, связанный с перерывом питания:

$$Y = a P_{\max} \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m T_{B_i} \omega_i$$

При его расчете следует учесть два последовательно включенных элемента: линию и трансформатор ($m = 2$), при полном отключении $\varepsilon = 1$, удельный ущерб $a = 360 \text{ руб./кВт}$ (6\$ за 1 кВт), $P_{\max} = 10 \text{ МВт}$.

Параметры потока отказов линии $\omega_L = 1,1$ отказ/год на 100 км, трансформатора $\omega_T = 0,02$ отказ/год [1, таблица 2.33]. Среднее время восстановления [1, рисунок 2.31] для линии $T_{BL} = 1 \cdot 10^{-3}$ лет/отказ, трансформатора $T_{BT} = 60 \cdot 10^{-3}$ лет/отказ при отсутствии резервного трансформатора и $T_{BT} = 20 \cdot 10^{-3}$ лет/отказ при его наличии.

$$Y = a \cdot P_{\max} \cdot \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m T_{B_i} \cdot \omega_i = 360 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 0,02 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 4320 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты для подварианта б):

$$\begin{aligned} Z_b &= E_H K_{\Sigma} + \alpha_L K_L + \alpha_{II} K_{II} + I_{\Delta \text{Э}} + Y = \\ &= 0,12 \cdot 17040 + 0,094 \cdot 17040 + 4,444 + 4320 = 7971,004 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Разница приведенных затрат:

$$\frac{Z_b - Z_a}{Z_b} \cdot 100\% = \frac{7971,004 - 5706,37}{7971,004} \cdot 100\% = 28,4\%$$

Разница приведенных затрат составляет 28%, поэтому предпочтение отдается варианту «а» с двумя трансформаторами в связи. Поскольку расчет вариантов для других вариантов аналогичен, этот выбор распространяется на все варианты.

						Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таким образом, при технико-экономическом сопоставлении всех рассматриваемых вариантов питания потребителей узла 5 осуществляется с установкой на подстанции двух трансформаторов ТДН-10000/110.

Прежде чем переходить к анализу экономических характеристик по всем сравниваемым вариантам следует учесть, что во всех вариантах в узлах стоят одинаковые трансформаторы и поэтому нужно учесть только разное число выключателей.

Число выключателей, которое следует учесть при сопоставлении вариантов, сведено в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 - Число ячеек выключателей по вариантам

Вариант	1	2	3	4	5
Число ячеек выключателей	32	31	36	32	36
Число ячеек для учета при экономическом сопоставлении	1	0	5	1	5

При определении приведенных затрат следует учесть, что линия 1 – 2 существующая и во всех вариантах капиталовложения на ее сооружение и амортизационные отчисления не учитываются.

Для определения издержек на покрытие потерь электроэнергии необходимо найти параметры схемы замещения сети:

$$R_{л} = \frac{R_0 \cdot l}{n_{л}} \quad (8.13)$$

где R_0 – удельное сопротивление участка линии электропередач Ом/км;

Сопротивление линии электропередач определим по таблице [4, 3.5]:

$$R_0(AC-70) = 0,429 \text{ Ом/км};$$

$$R_0(AC-120) = 0,249 \text{ Ом/км};$$

$$R_0(AC-240) = 0,12 \text{ Ом/км}.$$

Определим сопротивление участка 1-2 для 1 варианта:

$$R_{л1-2} = \frac{R_0 \cdot l_{1-2}}{n_{л}} = \frac{0,12 \cdot 28}{2} = 1,68 \text{ Ом}.$$

Аналогично определим сопротивления остальных участков, полученные данные внесем в таблицу 8.3.

Определим потери мощности в максимальном режиме на участке 1-2:

$$\Delta P'_{\max \text{ уч-ка}} = 3 \cdot I_{\text{уч-ка}}^2 \cdot R_{\Sigma \text{ уч-ка}}; \quad (8.14)$$

$$\Delta P'_{\max \text{ уч-ка } 1-2} = 3 \cdot I_{1-2}^2 \cdot R_{\Sigma} = 3 \cdot 0,466^2 \cdot 1,68 = 1,094 \text{ МВт.}$$

Аналогично определим потери мощности в максимальном режиме на остальных участках. Результаты расчетов варианта 1 сводим в таблицу 8.3.

Расчётная стоимость линий для II района по гололеду, 1 км/тыс.руб. [5, таблица 10.15]:

	АС-70	АС-120	АС-240
1 цепная линия	990	1014	1128
2 цепная линия	1476	1512	1842

Расчеты для других вариантов развития сети аналогичны расчетам варианта 1. Результаты расчета вариантов 2-5 сводим в таблицы 8.4–8.7.

Таблица 8.3 - Расчет экономических показателей линий (вариант 1)

Линия	Вид	Длина, км	Ток, А	Сечение	R _л , Ом	$\Delta P'_{\max}$ МВт	K _л , тыс. руб.
1-2	сущ	28	466	2АС-240/32	1,68	1,094	-
2-5	проект	26	58	2АС-70/11	5,564	0,056	51480
2-10	проект	46	233	2АС-120/19	5,727	0,932	93288
1-4	проект	22	174	2АС-120/19	2,739	0,248	44616
4-3	проект	26	87	2АС-70/11	5,564	0,126	51480
Всего:						2,456	240864

Таблица 8.4 - Расчет экономических показателей линий (вариант 2)

Линия	Вид	Длина, км	Ток, А	Сечение	R _л , Ом	$\Delta P'_{\max}$ МВт	K _л , тыс. руб.
1-2	сущ	28	327	2АС-240/32	1,68	0,538	-
2-5	проект	26	152	АС-240/32	3,12	0,216	29328
5-10	проект	54	94	АС-240/32	6,48	0,171	60912
10-3	проект	30	139	АС-240/32	3,6	0,208	33840
3-4	проект	26	226	АС-240/32	2,76	0,422	29328
4-1	проект	22	313	2АС-120/19	2,739	0,805	33264
Всего:						2,36	186672

Таблица 8.5 - Расчет экономических показателей линий (вариант 3)

Линия	Вид	Длина, км	Ток, А	Сечение	R _л , Ом	$\Delta P'_{\max}$, МВт	K _л , тыс. руб.
1-2	сущ	28	364	2АС-240/32	1,68	0,667	-
2-5	проект	26	58	2АС-70/11	5,564	0,056	51480
2-3	проект	22	131	АС-240/32	2,64	0,135	24816
3-10	проект	30	233	АС-120/19	7,47	1,216	60840
3-4	проект	26	189	АС-240/32	3,12	0,334	29328
4-1	проект	22	276	2АС-120/19	2,739	0,625	33264
Всего:						3,033	199728

Таблица 8.6 - Расчет экономических показателей линий (вариант 4)

Линия	Вид	Длина, км	Ток, А	Сечение	R _л , Ом	$\Delta P'_{\max}$, МВт	K _л , тыс. руб.
1-2	сущ	28	363	2АС-240/32	1,68	0,664	-
2-5	проект	26	58	2АС-70/11	5,564	0,056	51480
2-10	проект	46	130	АС-240/32	5,52	0,279	51888
10-3	проект	30	103	АС-240/32	3,6	0,114	33840
3-4	проект	26	190	АС-240/32	3,12	0,337	29328
4-1	проект	22	277	2АС-120/19	2,739	0,63	44616
Всего:						2,08	211152

Таблица 8.7 - Расчет экономических показателей линий (вариант 5)

Линия	Вид	Длина, км	Ток, А	Сечение	R _л , Ом	$\Delta P'_{\max}$, МВт	K _л , тыс. руб.
1-2	сущ	28	233	2АС-240/32	1,68	0,273	-
2-5	проект	26	58	2АС-70/11	5,564	0,056	51480
1-4	проект	22	407	2АС-240/32	1,32	0,655	49632
4-3	проект	26	320	2АС-120/19	3,237	0,994	52728
3-10	проект	30	233	2АС-120/19	3,735	0,608	60840
Всего:						2,586	214680

Капиталовложения в подстанцию включают стоимость трансформаторов и распреустройства (РУ) высшего напряжения. Стоимость РУ низшего напряжения незначительна вследствие невысокой стоимости выключателей 10

кВ. Расчетная стоимость ячейки выключателя 110 кВ – 1320 тыс. руб. [5, таблица 10,29], тогда для 1 варианта:

$$K_{II} = K_{я} \cdot n = 1320 \cdot 1 = 1320 \text{ тыс. руб.}$$

Издержки на компенсацию потерь энергии в варианте 1:

$$I_{\Delta\mathcal{E}} = \beta_0 \cdot (\tau \cdot \Delta P'_{\max} + 8760 \cdot \Delta P_{XXn}) = 0,015 \cdot 2886 \cdot 2,456 = 106,32 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты по варианту 2 определяются:

$$Z_1 = E_H \cdot K_{\Sigma} + \alpha_L \cdot K_L + \alpha_{II} \cdot K_{II} + I_{\Delta\mathcal{E}} =$$

$$0,12 \cdot 242184 + 0,028 \cdot 240864 + 0,094 \cdot 1320 + 106,32 = 36036,672 \text{ тыс. руб.}$$

Полученные результаты расчета составляющих затрат и сопоставление вариантов приведем в таблице 8.8.

Таблица 8.8 - Экономическое сопоставление вариантов сети

№ вар.	K_L	K_{II}	K_{Σ}	$I_{\Delta\mathcal{E}}$	Z	δZ , о. е.
	тыс. руб.					
1	240864	1320	242184	106,32	36036,672	1,299
2	186672	0	186672	102,164	27729,62	1
3	199728	6600	206328	131,298	31103,442	1,121
4	211152	1320	212472	90,043	31623,019	1,14
5	214680	6600	221280	111,947	33296,987	1,2

Анализ результатов сопоставления вариантов развития сети показывает, что наиболее экономичным является 2 вариант развития сети, следующий по экономичности после него вариант 3. В дальнейшем будут рассматриваться наиболее экономичные варианты: 2 и 3.

9 Расчет установившихся режимов сети

Расчет установившихся режимов максимальных нагрузок (вариант 2)

Расчет установившихся режимов выполняется с целью выявления уровней напряжения в узлах сети, анализа их допустимости и выбора, при необходимости, средств регулирования напряжения с целью ввода режима в допустимую область по уровням напряжений. Расчеты установившихся режимов могут выполняться вручную или с использованием ЭВМ. Расчет установившегося режима на ЭВМ может выполняться с использованием любой программы расчета режима.

Основными этапами расчета и анализа режимов являются:

- составление схемы замещения и расчет ее параметров для двух наиболее экономичных вариантов сети;
- расчет установившихся режимов в нормальных и послеаварийных режимах (для обеих схем);
- анализ уровней напряжений в узлах сети и выбор средств регулирования напряжения (выбор рациональных отпаяк на трансформаторах, батарей конденсаторов) с целью соблюдения требований ГОСТа по напряжению;
- результаты расчетов нормальных и послеаварийных режимов наносятся на схему сети с указанием мощностей выбранных компенсирующих устройств и отпаяк на трансформаторах.

						Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

9.1 Расчет параметров схемы замещения

Составление схемы замещения, определение ее параметров.

Параметры схемы замещения приведены в таблице 9.1 (по узлам схемы) и в таблице 9.2. При подготовке схемы замещения учтены трансформаторы подстанций с номинальными коэффициентами трансформации, $k_{TH} = U_{HH} / U_{BH}$.

Потери холостого хода указаны в узлах сети на высшей стороне трансформаторов. Нагрузки указаны в новых узлах (21, 41, 51, 101 и 31).

Таблица 9.1 - Параметры узлов сети

Номер узла	U _{ном} , кВ	Мощность узла	
		P, МВт	Q, МВт
1	115	-	-
2	110	0,054	0,35
10	110	0,072	0,52
3	110	0,038	0,224
4	110	0,038	0,224
5	110	0,028	0,14
21	10,5	30	14,529
101	10,5	40	19,372
31	10,5	15	7,264
41	10,5	15	7,264
51	10,5	10	4,843

Параметры схемы замещения линий находятся по формулам:

$$R_{Л} = \frac{R_0 \cdot l}{n}; \quad (9.1)$$

$$X_{Л} = \frac{X_0 \cdot l}{n}; \quad (9.2)$$

$$B_{Л} = b_0 \cdot l \cdot n, \quad (9.3)$$

где R_0 – удельное активное сопротивление [5, таблица 3.8];

X_0 – удельное реактивное сопротивление [5, таблица 3.8];

b_0 – удельная емкостная проводимость [5, таблица 3.8].

Параметры схемы замещения трансформаторов находятся по формулам:

$$R_{T \text{ экв}} = \frac{R_T}{N}; \quad (9.4)$$

$$X_{T \text{ экв}} = \frac{X_T}{N}, \quad (9.5)$$

Емкости линий определяются по формуле:

$$-jQ_C = -\frac{1}{2} \cdot U_{\text{НОМ}}^2 \cdot jB \quad (9.6)$$

где N – число трансформаторов на подстанции.

Рассчитаем параметры ветви 1-2:

$$R_{Л1-2} = \frac{R_0 \cdot l_{1-2}}{n} = \frac{0,12 \cdot 28}{2} = 1,68 \text{ Ом} \quad (9.1)$$

$$X_{Л1-2} = \frac{X_0 \cdot l_{1-2}}{n} = \frac{0,405 \cdot 28}{2} = 5,67 \text{ Ом} \quad (9.2)$$

$$B_{Л1-2} = b_0 \cdot l_{1-2} \cdot n = 2,81 \cdot 28 \cdot 2 = 157,36 \text{ мкСм} \quad (9.3)$$

$$-jQ_{C1-2}^H = -jQ_{C1-2}^K = -\frac{1}{2} (115)^2 \cdot j(157,36 \cdot 10^{-6}) = -j1,04 \text{ Мвар.}$$

Таблица 9.2 - Параметры ветвей сети

Номер узла		R, Ом	X, Ом	B, мкСм	Q _C , Мвар	K _{тн}
Нач	Кон.					
1	2	1,68	5,67	157,36	1,04	-
2	21	1,27	27,95	-	-	0,091
2	5	3,12	10,53	73,06	0,483	-
5	51	3,975	69,5	-	-	0,091
5	10	6,48	21,87	151,74	1,003	-
10	101	0,7	17,35	-	-	0,091
10	3	3,6	12,15	84,3	0,557	-
3	31	2,19	43,35	-	-	0,091
3	4	3,12	10,53	73,06	0,483	-
4	41	2,19	43,35	-	-	0,091
1	4	2,739	4,697	117,04	0,774	-

Определяем потери в трансформаторах и пересчитываем нагрузку с учетом этих потерь. Потери в обмотках трансформаторов определяем по соотношениям:

$$\Delta P_{об} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R_T; \quad (9.4)$$

$$\Delta Q_{об} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X_T; \quad (9.5)$$

$$\Delta S_{об} = \Delta P_{об} + j\Delta Q_{об}. \quad (9.6)$$

Потери холостого хода определяем из справочных данных.

Определим мощность, которая подходит к узлу 2.

В узле 2 выбран трансформатор ТРДН 25000/110, нагрузка узла $S_2 = 30 + j14,529$.

Параметры трансформатора [2, таблица 1.30]:

$\Delta P_X = 27$ кВт, $\Delta Q_X = 175$ квар, $R_T = 2,54$ Ом, $X_T = 55,9$ Ом.

$$\Delta P_{об} = \frac{\left(\frac{30}{2}\right)^2 + \left(\frac{14,529}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 2,54 = 0,053 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{об} = \frac{\left(\frac{30}{2}\right)^2 + \left(\frac{14,529}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 55,9 = 1,174 \text{ Мвар}.$$

К шинам 110 кВ подстанции 2 подходит мощность:

$$S'_2 = 2S_{об} + n \cdot S_{XX} + S_2 = 2 \cdot (0,053 + j1,174) + 0,054 + j0,35 + 30 + j14,529 = \\ i30,16 + j17,227 \text{ МВА}.$$

Определим мощность, которая подходит к узлу 10.

В узле 10 выбран трансформатор ТРДН 40000/110, нагрузка узла $S_{10} = 40 + j19,372$.

Параметры трансформатора [2, таблица 1.30]:

$\Delta P_X = 36$ кВт, $\Delta Q_X = 260$ квар, $R_T = 1,4$ Ом, $X_T = 34,7$ Ом.

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Delta P_{об} = \frac{\left(\frac{40}{2}\right)^2 + \left(\frac{19,372}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 1,4 = 0,052 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{об} = \frac{\left(\frac{40}{2}\right)^2 + \left(\frac{19,372}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 34,7 = 1,295 \text{ Мвар}.$$

К шинам 110 кВ подстанции 10 подходит мощность:

$$S'_{10} = 2S_{об} + n \cdot S_{ХХ} + S_{10} = 2 \cdot (0,052 + j1,295) + 0,072 + j0,52 + 40 + j19,372 = \\ i 40,176 + j22,658 \text{ МВА}.$$

Определим мощность, которая подходит к узлу 3 и 4.

В узле 3 нагрузка идентична узлу 4, выбран трансформатор ТДН - 16000/110, нагрузка узла $S_3 = 15 + j7,264$.

Параметры трансформатора [2, таблица 1.30]:

$$\Delta P_X = 19 \text{ кВт}, \Delta Q_X = 112 \text{ квар}, R_T = 4,38 \text{ Ом}, X_T = 86,7 \text{ Ом}.$$

$$\Delta P_{об} = \frac{\left(\frac{15}{2}\right)^2 + \left(\frac{7,264}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 4,38 = 0,022 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{об} = \frac{\left(\frac{15}{2}\right)^2 + \left(\frac{7,264}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 86,7 = 0,455 \text{ Мвар}.$$

К шинам 110 кВ подстанции 3 подходит мощность:

$$S'_3 = 2S_{об} + n \cdot S_{ХХ} + S_3 = 2 \cdot (0,022 + j0,455) + 0,038 + j0,224 + 15 + j7,264 = \\ i 15,082 + j8,398 \text{ МВА}.$$

Определим мощность, которая подходит к узлу 5.

В узле 5 выбран трансформатор ТДН - 10000/110, нагрузка узла $S_5 = 10 + j4,843$.

Параметры трансформатора [2, таблица 1.30]:

$$\Delta P_X = 14 \text{ кВт}, \Delta Q_X = 70 \text{ квар}, R_T = 7,95 \text{ Ом}, X_T = 139 \text{ Ом}.$$

$$\Delta P_{об} = \frac{\left(\frac{10}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,843}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 7,95 = 0,018 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{об} = \frac{\left(\frac{10}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,843}{2}\right)^2}{115^2} \cdot 139 = 0,324 \text{ Мвар.}$$

К шинам 110 кВ подстанции 5 подходит мощность:

$$S'_5 = 2S_{об} + n \cdot S_{XX} + S_5 = 2 \cdot (0,018 + j0,324) + 0,028 + j0,14 + 10 + j4,843 = \\ \dot{=} 10,064 + j5,631 \text{ МВА.}$$

9.2 Расчет потокораспределения сети

Далее определяем мощности на всех участках с учетом потерь, начиная от потребителей к источнику. Потери определяются по формулам:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_{н.г}^2} R; \quad (9.7)$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_{н.г}^2} X. \quad (9.8)$$

Эквивалентная мощность в узлах:

$$S_{\mathcal{O}2} = S_2 - jQ_{2-1} - jQ_{2-5} = 30,16 + j17,227 - j1,04 - j0,483 = 30,16 + j15,704 \text{ МВА};$$

$$S_{\mathcal{O}5} = S_5 - jQ_{2-5} - jQ_{5-10} = 10,064 + j5,631 - j1,003 - j0,483 = 10,064 + j4,145 \text{ МВА};$$

$$S_{\mathcal{O}10} = S_{10} - jQ_{10-5} - jQ_{10-3} = 40,176 + j22,658 - j1,003 - j0,557 = 40,176 + j21,098 \text{ МВА};$$

$$S_{\mathcal{O}3} = S_3 - jQ_{3-10} - jQ_{3-4} = 15,082 + j8,398 - j0,557 - j0,483 = 15,082 + j7,358 \text{ МВА};$$

$$S_{\mathcal{O}4} = S_4 - jQ_{4-1} - jQ_{4-3} = 15,082 + j8,398 - j0,483 - j0,774 = 15,082 + j7,141 \text{ МВА.}$$

Мощность в начале линии:

$$S^H = S^K + \Delta S - jQ. \quad (9.9)$$

В случае сети замкнутого типа, перетоки необходимо рассчитывать, используя правило «моментов», представив сеть замкнутого типа в виде сети с двухсторонним питанием.

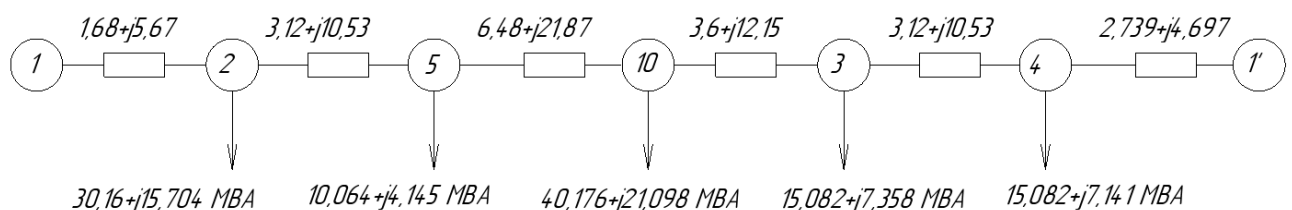


Рисунок 9.1 – Разомкнутая расчётная схема для кольцевой сети

Рассмотрим кольцо 1-2-5-10-3-4-1, и найдем точку потокораздела.

$$S_{1-2} = \frac{S_2 \cdot (Z_{2-5}^i + Z_{5-10}^i + Z_{10-3}^i + Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2) + S_5 \cdot (Z_{5-10}^i + Z_{10-3}^i + Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2) + S_{10} \cdot (Z_{10-3}^i + Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2)}{Z_{1-2}^i / 2 + Z_{2-5}^i + Z_{5-10}^i + Z_{10-3}^i + Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2} +$$

$$\frac{S_3 \cdot (Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2) + S_4 \cdot Z_{4-1}^i / 2}{Z_{1-2}^i / 2 + Z_{2-5}^i + Z_{5-10}^i + Z_{10-3}^i + Z_{3-4}^i + Z_{4-1}^i / 2} = \frac{-621,117 + j4326,491}{20,739 + j65,447} = 57,341 + j27,66 \text{ МВА};$$

$$S_{1-4} = \frac{S_4 \cdot (Z_{4-3}^i + Z_{3-10}^i + Z_{10-5}^i + Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2) + S_3 \cdot (Z_{3-10}^i + Z_{10-5}^i + Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2) + S_{10} \cdot (Z_{10-5}^i + Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2)}{Z_{1-2}^i / 2 + Z_{4-3}^i + Z_{3-10}^i + Z_{10-5}^i + Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2} +$$

$$\frac{S_5 \cdot (Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2) + S_2 \cdot Z_{2-1}^i / 2}{Z_{1-2}^i / 2 + Z_{4-3}^i + Z_{3-10}^i + Z_{10-5}^i + Z_{5-2}^i + Z_{2-1}^i / 2} = \frac{-714,665 + j4059,48}{20,739 + j65,447} = 53,223 + j27,786 \text{ МВА}.$$

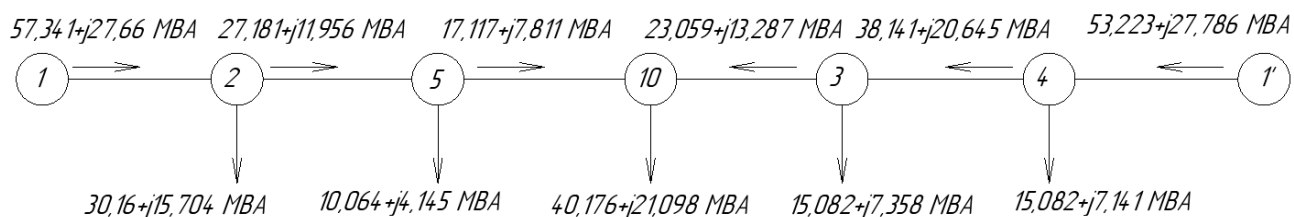


Рисунок 9.2 – Точка потокораздела кольцевой сети

Расчёт мощности на участке 5-10 с учетом потерь:

$$S_{5-10}^K = 17,117 + j7,811 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot R_{5-10} = \frac{17,117^2 + 7,811^2}{115^2} \cdot 6,48 = 0,173 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot X_{5-10} = \frac{17,117^2 + 7,811^2}{115^2} \cdot 21,87 = 0,585 \text{ Мвар};$$

$$S_{5-10}^H = S_{5-10}^K + \Delta S = 17,29 + j8,396 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 2-5 с учетом потерь:

$$S_{2-5}^K = S_{5-10}^H + S_{\text{н2}} = 27,354 + j12,541 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot R_{2-5} = \frac{27,354^2 + 12,541^2}{115^2} \cdot 3,12 = 0,213 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot X_{2-5} = \frac{27,354^2 + 12,541^2}{115^2} \cdot 10,53 = 0,72 \text{ Мвар};$$

$$S_{2-5}^H = S_{2-5}^K + \Delta S = 27,567 + j13,261 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 1-2 с учетом потерь:

$$S_{1-2}^K = S_{\text{н1}} + S_{2-5}^H = 57,727 + j28,965 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{P_{1-2}^K + Q_{1-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-2} = \frac{57,727^2 + 28,965^2}{115^2} \cdot 1,68 = 0,529 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P_{1-2}^K + Q_{1-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-2} = \frac{57,727^2 + 28,965^2}{115^2} \cdot 5,67 = 1,788 \text{ Мвар};$$

$$S_{1-2}^H = S_{1-2}^K + \Delta S = 58,256 + j30,753 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 10-3 с учетом потерь:

$$S_{10-3}^K = 23,059 + j13,287 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot R_{10-3} = \frac{23,059^2 + 13,287^2}{115^2} \cdot 3,6 = 0,192 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot X_{10-3} = \frac{23,059^2 + 13,287^2}{115^2} \cdot 12,15 = 0,65 \text{ Мвар};$$

$$S_{10-3}^H = S_{10-3}^K + \Delta S = 23,251 + j13,937 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 3-4:

$$S_{3-4}^H = S_{10-3}^K + S_{\text{Э3}} = 38,333 + j21,295 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{38,333^2 + 21,295^2}{115^2} \cdot 3,12 = 0,453 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{38,333^2 + 21,295^2}{115^2} \cdot 10,53 = 1,531 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-4}^H = S_{3-4}^K + \Delta S = 38,786 + j22,826 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 4-1:

$$S_{1-4}^H = S_{3-4}^K + S_{\text{Э4}} = 53,868 + j29,967 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot R_{4-1} = \frac{53,868^2 + 29,967^2}{115^2} \cdot 2,739 = 0,786 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot X_{4-1} = \frac{53,868^2 + 29,967^2}{115^2} \cdot 4,455 = 1,28 \text{ Мвар};$$

$$S_{4-1}^H = S_{4-1}^K + \Delta S = 54,654 + j31,247 \text{ МВА}.$$

9.3 Определение потерь напряжения в нормальном режиме

В соответствии с ГОСТ напряжение на шинах потребителя в нормальных режимах работы должно находиться в интервале от $0,95 U_{\text{НОМ}}$ до $1,05 U_{\text{НОМ}}$. Если

						Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

напряжения на шинах потребителя находятся в указанной зоне, но не равны номинальным, то следует выполнить регулирование напряжений установленными средствами регулирования.

Напряжение узла в соответствии с направлением мощности определяется как:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{1-2} - j\delta U_{1-2} \quad (9.10)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{PR + QX}{U_1} \quad (9.11)$$

$$\delta U_{1-2} = \frac{PX - QR}{U_1} \quad (9.12)$$

В сетях 110 кВ и ниже поперечной составляющей пренебрегают, поэтому будем использовать только продольную составляющую.

$$\Delta U_{1-2} = \frac{P_{1-2}^H \cdot R_{1-2} + Q_{1-2}^H \cdot X_{1-2}}{U_1} = \frac{58,256 \cdot 1,68 + 30,753 \cdot 5,67}{115} = 2,367 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 115 - 2,367 = 112,633 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-5} = \frac{P_{2-5}^H \cdot R_{2-5} + Q_{2-5}^H \cdot X_{2-5}}{U_2} = \frac{27,567 \cdot 3,12 + 13,261 \cdot 10,53}{112,633} = 2,003 \text{ кВ};$$

$$U_5 = U_2 - \Delta U = 112,633 - 2,003 = 110,63 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{5-10} = \frac{P_{5-10}^H \cdot R_{5-10} + Q_{5-10}^H \cdot X_{5-10}}{U_5} = \frac{17,29 \cdot 6,48 + 8,396 \cdot 21,87}{110,63} = 2,672 \text{ кВ};$$

$$U_{10}^1 = U_5 - \Delta U = 110,63 - 2,672 = 107,958 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{1-4} = \frac{P_{1-4}^H \cdot R_{1-4} + Q_{1-4}^H \cdot X_{1-4}}{U_1} = \frac{54,654 \cdot 2,739 + 31,247 \cdot 4,697}{115} = 2,577 \text{ кВ};$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 2,577 = 112,423 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{P_{3-4}^H \cdot R_{3-4} + Q_{3-4}^H \cdot X_{3-4}}{U_4} = \frac{38,786 \cdot 3,12 + 22,826 \cdot 10,53}{112,423} = 3,214 \text{ кВ};$$

$$U_3 = U_4 - \Delta U = 112,423 - 3,214 = 109,209 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-10} = \frac{P_{3-10}^H \cdot R_{3-10} + Q_{3-10}^H \cdot X_{3-10}}{U_3} = \frac{23,251 \cdot 3,6 + 13,937 \cdot 12,15}{109,209} = 2,317 \text{ кВ};$$

						Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$U_{10}^2 = U_3 - \Delta U = 109,209 - 2,317 = 106,892 \text{ кВ};$$

$$U_{10} = \sqrt{U_{10}^2} = \sqrt{106,892} = 10,34 \text{ кВ};$$

9.4 Определение напряжений на низкой стороне

Напряжения на низкой стороне определим по соотношениям:

$$U_y^B = \sqrt{\left(U_y - \frac{P_y'' \cdot R_{Ty} + Q_y'' \cdot X_{Ty}}{U_y} \right)^2 + \left(\frac{P_y'' \cdot X_{Ty} - Q_y'' \cdot R_{Ty}}{U_y} \right)^2} \quad (9.13)$$

$$U_y^H = U_y^B \cdot k_T, \quad (9.14)$$

где U_y^B, U_y^H - напряжения на шинах подстанции на низкой и высокой сторонах,
 k_T - коэффициент трансформации трансформатора.

$$U_2^B = \sqrt{\left(U_2 - \frac{P_{T2}^H \cdot R_{T2} + Q_{T2}^H \cdot X_{T2}}{U_2} \right)^2 + \left(\frac{P_{T2}^H \cdot X_{T2} - Q_{T2}^H \cdot R_{T2}}{U_2} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(112,633 - \frac{30,16 \cdot 1,27 + 17,227 \cdot 27,95}{112,633} \right)^2 + \left(\frac{30,16 \cdot 27,95 - 17,227 \cdot 1,27}{112,633} \right)^2} = 108,263 \text{ кВ};$$

$$U_2^H = 108,263 \cdot 0,091 = 9,851 \text{ кВ}.$$

Напряжение в остальных узлах рассчитываем аналогично.

$$U_5^B = 106,905 \text{ кВ};$$

$$U_5^H = 106,905 \cdot 0,091 = 9,728 \text{ кВ}.$$

$$U_4^B = 109,036 \text{ кВ};$$

$$U_4^H = 109,036 \cdot 0,091 = 9,922 \text{ кВ}.$$

$$U_3^B = 105,733 \text{ кВ};$$

$$U_3^H = 105,733 \cdot 0,091 = 9,621 \text{ кВ}.$$

$$U_{10}^B = 103,697 \text{ кВ};$$

$$U_{10}^H = 103,697 \cdot 0,091 = 9,436 \text{ кВ}.$$

					Лист
					52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

9.5 Выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения

Допустимые отклонения напряжения на шинах потребителя, согласно с договором потребителя, в нормальных режимах составляют $\pm 5\%$ и в послеаварийных (максимальные отклонения) $\pm 10\%$ от номинального напряжения, т.е. в нормальном режиме при номинальном напряжении 110 кВ должно находиться в пределах 104,5 кВ - 115,5 кВ.

Потребители могут находиться непосредственно на шинах низкого напряжения или быть удалены от них, поэтому на шинах подстанций должны быть заданы требуемые напряжения с учетом компенсации падения напряжения от шин подстанций до шин потребителя.

Рассмотрим выбор отпайки на примере узла 2.

$$k_T = \frac{115 \pm 9 \cdot 1,78\%}{10,5}, \quad (9.15)$$

где цена одной отпайки равна 2,047 кВ.

Тогда:

$$k_{ТРЕБ} = \frac{U_{2Н}^B}{U_{ТРЕБ}} = \frac{108,263}{10,4} = 10,409;$$

$$X = \frac{10,409 \cdot 10,5 - 115}{2,047} = -2,782 \approx -3.$$

Теперь определим напряжение потребителя при работе трансформатора на определенной ранее отпайке:

$$U_{ПОТР} = \frac{108,263 \cdot 10,5}{115 - 3 \cdot 2,047} = 10,442 \text{ кВ.}$$

Аналогичным образом определяются отпайки и в других узлах. Все полученные значения занесем в таблицу 9.3.

Т а б л и ц а 9.3 - Выбор отпаек на трансформаторах

Номер узла	21	51	41	31	101
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,851	9,728	9,922	9,621	9,436

Рациональная отпайка	-3	-3	-2	-4	-5
Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,442	10,311	10,322	10,393	10,388

Анализ качества электроэнергии у потребителя позволяет сделать вывод, что дополнительных средств регулирования напряжения из условий нормального режима максимальных нагрузок не требуется.

Расчет установившихся режимов максимальных нагрузок (вариант 3)

Расчет параметров схемы замещения.

Параметры схемы замещения приведем в таблице 9.4 (по узлам схемы) и в таблице 9.5.

Т а б л и ц а 9.4 - Параметры узлов сети

Номер узла	U _{ном} , кВ	Мощность узла	
		P, МВт	Q, МВт
1	115	-	-
2	110	0,054	0,35
10	110	0,072	0,52
3	110	0,038	0,224
4	110	0,038	0,224
5	110	0,028	0,14
21	10,5	30	14,529
101	10,5	40	19,372
31	10,5	15	7,264
41	10,5	15	7,264
51	10,5	10	4,843

Т а б л и ц а 9.5 - Параметры ветвей сети

Номер узла		R, Ом	X, Ом	B, мкСм	Q _C , Мвар	K _{тп}
Нач	Кон.					
1	2	1,68	5,67	157,36	1,04	-
2	21	1,27	27,95	-	-	0,091
2	5	5,564	5,772	132,6	0,876	-
5	51	3,975	69,5	-	-	0,091
2	3	2,64	8,91	61,82	0,408	-
3	31	2,19	43,35	-	-	0,091
3	10	3,735	6,405	159,6	1,055	-
10	101	0,7	17,35	-	-	0,091
3	4	3,12	10,53	73,06	0,483	-
4	41	2,19	43,35	-	-	0,091
1	4	2,739	4,697	117,04	0,774	-

Расчет потокораспределения сети.

Определяем мощности на всех участках с учетом потерь.

Эквивалентная мощность в узлах:

$$S_{\text{Э}2} = S_2 - jQ_{2-1} - jQ_{2-5} - jQ_{2-3} =$$

$$i 30,16 + j 17,227 - j 1,04 - j 0,876 - j 0,408 = 30,16 + j 14,903 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{Э}5} = S_5 - jQ_{2-5} = 10,064 + j 5,631 - j 0,876 = 10,064 + j 4,755 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{Э}10} = S_{10} - jQ_{10-3} = 40,176 + j 22,658 - j 1,055 = 40,176 + j 21,603 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{Э}3} = S_3 - jQ_{3-10} - jQ_{3-4} - jQ_{3-2} =$$

$$i 15,082 + j 8,398 - j 0,408 - j 0,483 - j 1,055 = 15,082 + j 6,452 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{Э}4} = S_4 - jQ_{4-1} - jQ_{4-3} = 15,082 + j 8,398 - j 0,483 - j 0,774 = 15,082 + j 7,141 \text{ МВА}.$$

Рассчитаем мощность на участке 2-5 с учетом потерь:

$$S_{2-5}^K = S_{\text{Э}5} = 10,064 + j 4,755 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot R_{2-5} = \frac{10,064^2 + 4,755^2}{115^2} \cdot 5,564 = 0,052 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot X_{2-5} = \frac{10,064^2 + 4,755^2}{115^2} \cdot 5,772 = 0,054 \text{ Мвар};$$

$$S_{2-5}^H = S_{2-5}^K + \Delta S = 10,116 + j 4,809 \text{ МВА}.$$

$$S_2' = S_{2-5}^H + S_{\text{Э}2} = 40,276 + j 19,712 \text{ МВА}.$$

Рассчитаем мощность на участке 3-10 с учетом потерь:

$$S_{3-10}^K = S_{9-10} = 40,176 + j21,603 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-10} = \frac{P_{3-10}^K + Q_{3-10}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-10} = \frac{40,176^2 + 21,603^2}{115^2} \cdot 3,735 = 0,587 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-10} = \frac{P_{3-10}^K + Q_{3-10}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-10} = \frac{40,176^2 + 21,603^2}{115^2} \cdot 6,405 = 1,007 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-10}^H = S_{3-10}^K + \Delta S = 40,763 + j22,61 \text{ МВА}.$$

$$S_3' = S_{3-10}^H + S_{93} = 55,845 + j29,062 \text{ МВА}.$$

В случае сети замкнутого типа, потоки необходимо рассчитывать, используя правило «моментов», представив сеть замкнутого типа в виде сети с двухсторонним питанием.

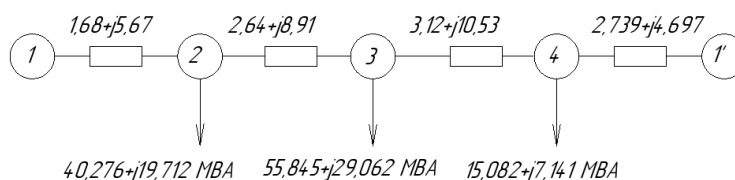


Рисунок 9.3 – Разомкнутая расчётная схема для кольцевой сети

Рассмотрим кольцо 1-2-3-4-1, и найдем точку потокораздела.

$$S_{1-2} = \frac{S_2 \cdot (Z^{i_{2-3}} + Z^{i_{3-4}} + Z^{i_{4-1}/2}) + S_3 \cdot (Z^{i_{3-4}} + Z^{i_{4-1}/2}) + S_4 \cdot Z^{i_{4-1}/2}}{Z^{i_{1-2}}/2 + Z^{i_{2-3}} + Z^{i_{3-4}} + Z^{i_{4-1}/2}} =$$

$$i \frac{-241,045 + j2250,699}{10,179 + j29,807} = 65,149 + j30,335 \text{ МВА};$$

$$S_{1-4} = \frac{S_4 \cdot (Z^{i_{4-3}} + Z^{i_{3-2}} + Z^{i_{2-1}/2}) + S_3 \cdot (Z^{i_{3-2}} + Z^{i_{2-1}/2}) + S_2 \cdot Z^{i_{2-1}/2}}{Z^{i_{1-4}}/2 + Z^{i_{4-3}} + Z^{i_{3-2}} + Z^{i_{2-1}/2}} =$$

$$i \frac{-293,676 + j1633,086}{10,179 + j29,807} = 46,054 + j25,58 \text{ МВА}.$$

65,149+j30,335 МВА 24,873+j10,623 МВА 30,972+j18,439 МВА 46,054+j25,58 МВА

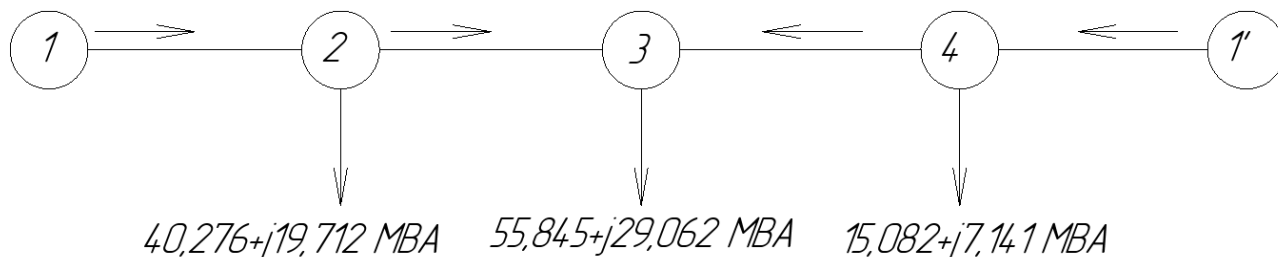


Рисунок 9.2 – Точка потоко раздела кольцевой сети

Расчёт мощности на участке 2-3 с учетом потерь:

$$S_{2-3}^K = 24,873 + j10,623 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{2-3} = \frac{P_{2-3}^K + Q_{2-3}^K}{U_H^2} \cdot R_{2-3} = \frac{24,873^2 + 10,623^2}{115^2} \cdot 2,64 = 0,146 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{P_{2-3}^K + Q_{2-3}^K}{U_H^2} \cdot X_{2-3} = \frac{24,873^2 + 10,623^2}{115^2} \cdot 8,91 = 0,492 \text{ Мвар};$$

$$S_{2-3}^H = S_{2-3}^K + \Delta S = 25,019 + j11,115 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 1-2 с учетом потерь:

$$S_{1-2}^K = S_{\text{Э}2} + S_{2-3}^H = 65,295 + j30,827 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{P_{1-2}^K + Q_{1-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-2} = \frac{65,295^2 + 30,827^2}{115^2} \cdot 1,68 = 0,662 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P_{1-2}^K + Q_{1-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-2} = \frac{65,295^2 + 30,827^2}{115^2} \cdot 5,67 = 2,235 \text{ Мвар};$$

$$S_{1-2}^H = S_{1-2}^K + \Delta S = 65,957 + j33,062 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 3-4 с учетом потерь:

$$S_{3-4}^K = 30,972 + j18,439 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{30,972^2 + 18,439^2}{115^2} \cdot 3,12 = 0,306 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{30,972^2 + 18,439^2}{115^2} \cdot 10,53 = 1,034 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-4}^H = S_{3-4}^K + \Delta S = 31,278 + j19,473 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 1-4 с учетом потерь:

$$S_{1-4}^K = S_{\text{Э}4} + S_{3-4}^H = 46,36 + j26,614 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{1-4} = \frac{P_{1-4}^K + Q_{1-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-4} = \frac{46,36^2 + 26,614^2}{115^2} \cdot 2,739 = 0,591 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{1-4} = \frac{P_{1-4}^K + Q_{1-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{1-4} = \frac{46,36^2 + 26,614^2}{115^2} \cdot 4,697 = 1,014 \text{ Мвар};$$

$$S_{1-4}^H = S_{1-4}^K + \Delta S = 46,951 + j27,628 \text{ МВА}.$$

						Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определение потерь напряжения в нормальном режиме.

Определим потери напряжения.

$$\Delta U_{1-2} = 2,593 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 115 - 2,593 = 112,407 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-5} = 0,747 \text{ кВ};$$

$$U_5 = U_2 - \Delta U = 112,407 - 0,747 = 111,66 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-3} = 1,468 \text{ кВ};$$

$$U_3' = U_2 - \Delta U = 112,407 - 1,468 = 110,939 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{1-4} = 2,246 \text{ кВ};$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 2,246 = 112,754 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{4-3} = 2,684 \text{ кВ};$$

$$U_3 = \frac{U_3' + \Delta U_{4-3}}{2} = \frac{110,939 + 110,939}{2} = 110,504 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-10} = 2,688 \text{ кВ};$$

$$U_{10} = U_3 - \Delta U = 110,504 - 2,688 = 107,816 \text{ кВ}.$$

Определение напряжений на низкой стороне.

Напряжения на низкой стороне определим по формулам (9.13) и (9.14):

$$U_2^B = 108,029 \text{ кВ}; \quad U_2^H = 9,83 \text{ кВ};$$

$$U_5^B = 107,966 \text{ кВ}; \quad U_5^H = 9,824 \text{ кВ};$$

$$U_4^B = 109,377 \text{ кВ}; \quad U_4^H = 9,953 \text{ кВ};$$

$$U_3^B = 107,064 \text{ кВ}; \quad U_3^H = 9,742 \text{ кВ};$$

$$U_{10}^B = 104,099 \text{ кВ}; \quad U_{10}^H = 9,473 \text{ кВ}.$$

Выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения.

Аналогичным образом определяем отпайки во всех узлах. Все полученные значения занесем в таблицу 9.6.

Таблица 9.6 - Выбор отпаяк на трансформаторах

						Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Номер узла	21	51	41	31	101
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,83	9,824	9,953	9,742	9,473
Рациональная отпайка	-3	-3	-2	-3	-5
Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,419	10,413	10,355	10,326	10,433

Анализ качества электроэнергии у потребителя позволяет сделать вывод, что дополнительных средств регулирования напряжения из условий нормального режима максимальных нагрузок не требуется.

Расчет установившихся послеаварийных режимов (вариант 2)

Расчет послеаварийных режимов аналогичен расчету установившихся режимов максимальных нагрузок. Рассмотрим наиболее тяжелые для системы случаи обрывов проводов.

Мощности на участках и потери мощности в них находятся по формулам (9.7) – (9.9).

Для варианта 2 рассмотрим режим при обрыве линии 1-2.

Эквивалентная мощность в узлах:

$$S_{\varnothing 2} = S_2 - jQ_{2-5} = 30,16 + j17,227 - j0,483 = 30,16 + j16,744 \text{ МВА};$$

$$S_{\varnothing 5} = S_5 - jQ_{2-5} - jQ_{5-10} = 10,064 + j5,631 - j1,003 - j0,483 = 10,064 + j4,145 \text{ МВА};$$

$$S_{\varnothing 10} = S_{10} - jQ_{10-5} - jQ_{10-3} = 40,176 + j22,658 - j1,003 - j0,557 = 40,176 + j21,098 \text{ МВА};$$

$$S_{\varnothing 3} = S_3 - jQ_{3-10} - jQ_{3-4} = 15,082 + j8,398 - j0,557 - j0,483 = 15,082 + j7,358 \text{ МВА};$$

$$S_{\varnothing 4} = S_4 - jQ_{4-1} - jQ_{4-3} = 15,082 + j8,398 - j0,483 - j0,774 = 15,082 + j7,141 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 2-5 с учетом потерь:

$$S_{2-5}^K = S_{\varnothing 2} = 30,16 + j16,744 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot R_{2-5} = \frac{30,16^2 + 16,744^2}{115^2} \cdot 3,12 = 0,5 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot X_{2-5} = \frac{30,16^2 + 16,744^2}{115^2} \cdot 10,53 = 0,519 \text{ Мвар};$$

$$S_{2-5}^H = S_{2-5}^K + \Delta S = 30,66 + j17,263 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 5-10 с учетом потерь:

$$S_{5-10}^K = S_{\varnothing 5} + S_{2-5}^H = 40,724 + j21,408 \text{ МВА};$$

						Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot R_{5-10} = \frac{40,724^2 + 21,408^2}{115^2} \cdot 6,48 = 1,037 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot X_{5-10} = \frac{40,724^2 + 21,408^2}{115^2} \cdot 21,87 = 3,5 \text{ Мвар};$$

$$S_{5-10}^H = S_{5-10}^K + \Delta S = 41,757 + j24,908 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 10-3 с учетом потерь:

$$S_{10-3}^K = S_{910} + S_{5-10}^H = 81,933 + j46,006 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot R_{10-3} = \frac{81,933^2 + 46,006^2}{115^2} \cdot 3,6 = 2,403 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot X_{10-3} = \frac{81,933^2 + 46,006^2}{115^2} \cdot 12,15 = 8,111 \text{ Мвар};$$

$$S_{10-3}^H = S_{10-3}^K + \Delta S = 84,336 + j54,117 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 3-4:

$$S_{3-4}^H = S_{10-3}^K + S_{93} = 99,418 + j61,475 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{99,418^2 + 61,475^2}{115^2} \cdot 3,12 = 3,223 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{99,418^2 + 61,475^2}{115^2} \cdot 10,53 = 10,878 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-4}^H = S_{3-4}^K + \Delta S = 102,641 + j72,353 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 4-1:

$$S_{1-4}^H = S_{3-4}^K + S_{94} = 117,723 + j79,494 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot R_{4-1} = \frac{117,723^2 + 79,494^2}{115^2} \cdot 2,739 = 4,179 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot X_{4-1} = \frac{117,723^2 + 79,494^2}{115^2} \cdot 4,697 = 7,166 \text{ Мвар};$$

$$S_{4-1}^H = S_{4-1}^K + \Delta S = 121,902 + j86,66 \text{ МВА}.$$

Определение потерь напряжения в аварийном режиме.

$$\Delta U_{1-4} = 3,587 \text{ кВ};$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 3,587 = 111,413 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-4} = 9,712 \text{ кВ};$$

						Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$U_3 = U_4 - \Delta U = 111,413 - 9,712 = 101,701 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{10-3} = 9,45 \text{ кВ};$$

$$U_{10} = U_3 - \Delta U = 101,701 - 9,45 = 92,251 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{10-5} = 8,838 \text{ кВ};$$

$$U_5 = U_{10} - \Delta U = 92,251 - 8,838 = 83,413 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-5} = 3,326 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_5 - \Delta U = 83,413 - 3,326 = 80,087 \text{ кВ}.$$

Определим напряжения на низкой стороне.

$$U_4^B = 107,998 \text{ кВ}; U_4^H = 9,872 \text{ кВ}.$$

$$U_3^B = 97,995 \text{ кВ}; U_3^H = 8,917 \text{ кВ}.$$

$$U_{10}^B = 87,994 \text{ кВ}; U_{10}^H = 8,007 \text{ кВ}.$$

$$U_5^B = 78,66 \text{ кВ}; U_5^H = 7,158 \text{ кВ}.$$

$$U_2^B = 74,306 \text{ кВ}; U_2^H = 6,761 \text{ кВ}.$$

Произведем выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения, результаты внесем в таблицу 9.6.

Таблица 9.6 - Выбор отпаяк на трансформаторах

Номер узла	41	31	101	51	21
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,827	8,917	8,007	7,158	6,761
Рациональная отпайка	-3	-8	-9	-9	-9
Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,416	10,433	9,475	8,552	8,001

Анализ качества электроэнергии у потребителя позволяет сделать вывод, что требуются дополнительные средства регулирования напряжения.

Мощность КУ определяется по формуле:

$$Q_{КУ} = \frac{[U_{ЖЕЛ} \cdot (U_{ЖЕЛ} - U)]}{X'_{\Sigma}},$$

где $X'_{\Sigma} = X_{\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{k_T}\right)^2$.

Мощность компенсирующего устройства в узле 10:

$$\Delta U = U_{10} - \Delta U_{\text{MIN ДОП}} = 8,007 - 9,45 = -1,443 \text{ кВ};$$

$$Q_{KV10} = \frac{\Delta U \cdot 9,45}{(X_{1-4} + X_{4-3} + X_{3-10} + X_{T10}) \left(\frac{1}{K_T}\right)^2} = \frac{-1,443 \cdot 9,45}{(4,697 + 10,53 + 12,15 + 17,35) \cdot 0,091^2} = -36,816 \text{ Мвар.}$$

Мощность компенсирующего устройства в узле 5:

$$\Delta U = U_5 - \Delta U_{\text{MIN ДОП}} = 7,158 - 9,45 = -2,292 \text{ кВ};$$

$$Q_{KV5} = \frac{\Delta U \cdot 9,45}{(X_{1-4} + X_{4-3} + X_{3-10} + X_{10-5} + X_{T5}) \left(\frac{1}{K_T}\right)^2} =$$

$$i \frac{-2,292 \cdot 9,45}{(4,697 + 10,53 + 12,15 + 21,87 + 69,5) \cdot 0,091^2} = -22,1 \text{ Мвар.}$$

Мощность компенсирующего устройства в узле 2:

$$\Delta U = U_2 - \Delta U_{\text{MIN ДОП}} = 6,761 - 9,45 = -2,689 \text{ кВ};$$

$$Q_{KV2} = \frac{\Delta U \cdot 9,45}{(X_{1-4} + X_{4-3} + X_{3-10} + X_{10-5} + X_{5-2} + X_{T2}) \left(\frac{1}{K_T}\right)^2} =$$

$$i \frac{-2,689 \cdot 9,45}{(4,697 + 10,53 + 12,15 + 21,87 + 10,53 + 27,95) \cdot 0,091^2} = -34,973 \text{ Мвар.}$$

Выполнив проверку в программном комплексе RastrWin, определили, что достаточно применить компенсацию реактивной мощности в узлах 10, 5 и 2.

В узле 10 применили три установки суммарной мощности 35 Мвар типа БСК – 30 Мвар – 10,5 и БСК – 5 Мвар – 10,5.

В узле 5 применили установки суммарной мощности 20 Мвар типов БСК – 15 Мвар – 10,5 и БСК – 5 Мвар – 10,5.

В узле 2 применили три установки суммарной мощности 35 Мвар типов БСК – 15 Мвар – 10,5 и БСК – 5 Мвар – 10,5.

Так же в программном комплексе RastrWin проверили все аварийные режимы с учетом установок КУ.

Произведем расчет потерь с учетом КУ для обрыва обеих линий 1-2.

Расчёт мощности на участке 2-5 с учетом потерь:

$$S_{2-5}^K = S_{\text{Э2}} - jQ_{KV2} = 30,16 - j18,256 \text{ МВА};$$

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Delta P_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot R_{2-5} = \frac{30,16^2 + (-18,256)^2}{115^2} \cdot 3,12 = 0,293 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{2-5} = \frac{P_{2-5}^K + Q_{2-5}^K}{U_H^2} \cdot X_{2-5} = \frac{30,16^2 + (-18,256)^2}{115^2} \cdot 10,53 = 0,989 \text{ Мвар};$$

$$S_{2-5}^H = S_{2-5}^K + \Delta S = 30,453 - j17,267 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 5-10 с учетом потерь:

$$S_{5-10}^K = S_{\text{Э5}} + S_{2-5}^H - jQ_{KV5} = 40,517 - j33,122 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot R_{5-10} = \frac{40,517^2 + (-33,122)^2}{115^2} \cdot 6,48 = 1,341 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{5-10} = \frac{P_{5-10}^K + Q_{5-10}^K}{U_H^2} \cdot X_{5-10} = \frac{40,517^2 + (-33,122)^2}{115^2} \cdot 21,87 = 4,528 \text{ Мвар};$$

$$S_{5-10}^H = S_{5-10}^K + \Delta S = 41,858 - j28,594 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 10-3 с учетом потерь:

$$S_{10-3}^K = S_{\text{Э10}} + S_{5-10}^H - jQ_{KV10} = 82,034 - j42,496 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot R_{10-3} = \frac{82,034^2 + (-42,496)^2}{115^2} \cdot 3,6 = 2,323 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{10-3} = \frac{P_{10-3}^K + Q_{10-3}^K}{U_H^2} \cdot X_{10-3} = \frac{82,034^2 + (-42,496)^2}{115^2} \cdot 12,15 = 7,841 \text{ Мвар};$$

$$S_{10-3}^H = S_{10-3}^K + \Delta S = 84,357 - j34,655 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 3-4:

$$S_{3-4}^H = S_{10-3}^K + S_{\text{Э3}} = 99,439 - j27,297 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{99,439^2 + (-27,297)^2}{115^2} \cdot 3,12 = 2,508 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-4} = \frac{P_{3-4}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{99,439^2 + (-27,297)^2}{115^2} \cdot 10,53 = 8,466 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-4}^H = S_{3-4}^K + \Delta S = 101,947 - j18,831 \text{ МВА}.$$

Расчёт потерь на участке 4-1:

$$S_{1-4}^H = S_{3-4}^K + S_{\text{Э4}} = 117,029 - j11,69 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot R_{4-1} = \frac{117,029^2 + (-11,69)^2}{115^2} \cdot 2,739 = 2,864 \text{ МВт};$$

									Лист
									63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Delta Q_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot X_{4-1} = \frac{117,029^2 + (-11,69)^2}{115^2} \cdot 4,697 = 4,912 \text{ Мвар};$$

$$S_{4-1}^H = S_{4-1}^K + \Delta S = 119,893 - j6,778 \text{ МВА}.$$

Определение потерь напряжения в аварийном режиме.

$$\Delta U_{1-4} = 2,577 \text{ кВ};$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 2,577 = 112,423 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-4} = 1,05 \text{ кВ};$$

$$U_3 = U_4 - \Delta U = 112,423 - 1,05 = 111,373 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{10-3} = -1,077 \text{ кВ};$$

$$U_{10} = U_3 - \Delta U = 111,373 - (-1,077) = 112,45 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{10-5} = -3,205 \text{ кВ};$$

$$U_5 = U_{10} - \Delta U = 112,45 - (-3,205) = 115,655 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-5} = -0,785 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_5 - \Delta U = 115,655 - (-0,785) = 116,44 \text{ кВ}.$$

Определим напряжения на низкой стороне.

$$U_4^B = 109,036 \text{ кВ}; U_4^H = 9,922 \text{ кВ}.$$

$$U_3^B = 107,957 \text{ кВ}; U_3^H = 9,824 \text{ кВ}.$$

$$U_{10}^B = 108,871 \text{ кВ}; U_{10}^H = 9,907 \text{ кВ}.$$

$$U_5^B = 112,077 \text{ кВ}; U_5^H = 10,199 \text{ кВ}.$$

$$U_2^B = 112,196 \text{ кВ}; U_2^H = 10,209 \text{ кВ}.$$

Произведем выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения, результаты внесем в таблицу 9.7.

Таблица 9.7 - Выбор отпаяк на трансформаторах

Номер узла	41	31	101	51	21
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,922	9,824	9,907	10,199	10,209
Рациональная отпайка	-2	-3	-2	-1	-1
Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,322	10,412	10,307	10,418	10,429

Расчет установившихся послеаварийных режимов (вариант 3)

Для варианта 3 рассмотрим режим при обрыве линии 1-2.

Эквивалентная мощность в узлах:

$$\begin{aligned} S_{\mathcal{O}2} &= S_2 - jQ_{2-5} - jQ_{2-3} = \\ & i 30,16 + j 17,227 - j 0,876 - j 0,408 = 30,16 + j 15,943 \text{ МВА}; \\ S_{\mathcal{O}5} &= S_5 - jQ_{2-5} = 10,064 + j 5,631 - j 0,876 = 10,064 + j 4,755 \text{ МВА}; \\ S_{\mathcal{O}10} &= S_{10} - jQ_{10-3} = 40,176 + j 22,658 - j 1,055 = 40,176 + j 21,603 \text{ МВА}; \\ S_{\mathcal{O}3} &= S_3 - jQ_{3-10} - jQ_{3-4} - jQ_{3-2} = \\ & i 15,082 + j 8,398 - j 0,408 - j 0,483 - j 1,055 = 15,082 + j 6,452 \text{ МВА}; \\ S_{\mathcal{O}4} &= S_4 - jQ_{4-1} - jQ_{4-3} = 15,082 + j 8,398 - j 0,483 - j 0,774 = 15,082 + j 7,141 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

Расчёт мощности на участке 2-3 с учетом потерь:

$$\begin{aligned} S_{2-3}^K &= S_{\mathcal{O}2} + S_{2-5}^H = 40,276 + j 20,752 \text{ МВА}; \\ \Delta P_{3-2} &= \frac{P_{3-2}^K + Q_{3-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-2} = \frac{40,276^2 + 20,752^2}{115^2} \cdot 2,64 = 0,409 \text{ МВт}; \\ \Delta Q_{3-2} &= \frac{P_{3-2}^K + Q_{3-2}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-2} = \frac{40,276^2 + 20,752^2}{115^2} \cdot 8,91 = 1,383 \text{ Мвар}; \\ S_{3-2}^H &= S_{3-2}^K + \Delta S = 40,685 + j 22,135 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

Расчёт мощности на участке 4-3 с учетом потерь:

$$\begin{aligned} S_{4-3}^K &= S_{\mathcal{O}3} + S_{2-3}^H + S_{10-3}^H = 96,53 + j 51,197 \text{ МВА}; \\ \Delta P_{4-3} &= \frac{P_{4-3}^K + Q_{4-3}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{96,53^2 + 51,197^2}{115^2} \cdot 3,12 = 2,816 \text{ МВт}; \\ \Delta Q_{4-3} &= \frac{P_{4-3}^K + Q_{4-3}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{96,53^2 + 51,197^2}{115^2} \cdot 10,53 = 9,506 \text{ Мвар}; \\ S_{3-4}^H &= S_{3-4}^K + \Delta S = 99,346 + j 60,703 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

Расчёт мощности на участке 4-1 с учетом потерь:

$$\begin{aligned} S_{4-1}^K &= S_{\mathcal{O}4} + S_{4-3}^H = 114,428 + j 67,844 \text{ МВА}; \\ \Delta P_{4-1} &= \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-4} = \frac{114,428^2 + 67,844^2}{115^2} \cdot 2,739 = 3,665 \text{ МВт}; \\ \Delta Q_{4-1} &= \frac{P_{4-1}^K + Q_{4-1}^K}{U_H^2} \cdot X_{1-4} = \frac{114,428^2 + 67,844^2}{115^2} \cdot 4,697 = 6,285 \text{ Мвар}; \end{aligned}$$

$$S_{1-4}^H = S_{1-4}^K + \Delta S = 118,093 + j74,129 \text{ МВА.}$$

Определение потерь напряжения в нормальном режиме.

Определим потери напряжения.

$$\Delta U_{1-4} = 5,84 \text{ кВ;}$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 5,84 = 109,16 \text{ кВ;}$$

$$\Delta U_{4-3} = 8,695 \text{ кВ;}$$

$$U_3 = U_4 - \Delta U = 109,16 - 8,695 = 100,465 \text{ кВ;}$$

$$\Delta U_{3-10} = 2,956 \text{ кВ;}$$

$$U_{10} = U_3 - \Delta U = 100,465 - 2,956 = 97,509 \text{ кВ;}$$

$$\Delta U_{3-2} = 3,032 \text{ кВ;}$$

$$U_2 = U_3 - \Delta U = 100,465 - 3,032 = 97,433 \text{ кВ;}$$

$$\Delta U_{2-5} = 0,862 \text{ кВ;}$$

$$U_5 = U_2 - \Delta U = 97,433 - 0,862 = 96,571 \text{ кВ.}$$

Определение напряжений на низкой стороне.

Напряжения на низкой стороне определим по формулам (9.13) и (9.14):

$$U_4^B = 105,682 \text{ кВ; } U_4^H = 9,617 \text{ кВ;}$$

$$U_3^B = 96,719 \text{ кВ; } U_3^H = 8,801 \text{ кВ;}$$

$$U_{10}^B = 93,449 \text{ кВ; } U_{10}^H = 8,503 \text{ кВ;}$$

$$U_2^B = 92,482 \text{ кВ; } U_2^H = 8,415 \text{ кВ;}$$

$$U_5^B = 92,37 \text{ кВ; } U_5^H = 8,405 \text{ кВ.}$$

Выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения.

Аналогичным образом определяем отпайки во всех узлах. Все полученные значения занесем в таблицу 9.8.

Таблица 9.8 - Выбор отпайек на трансформаторах

Номер узла	41	31	101	51	21
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,617	8,801	8,503	8,405	8,415
Рациональная отпайка	-4	-8	-9	-9	-9

					Лист
					66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,388	10,297	10,159	10,054	10,042
--	--------	--------	--------	--------	--------

Анализ качества электроэнергии у потребителя позволяет сделать вывод, что требуются дополнительные средства регулирования напряжения.

Мощность компенсирующего устройства в узле 3:

$$\Delta U = U_3 - \Delta U_{\text{MIN ДОП}} = 8,801 - 9,45 = -0,649 \text{ кВ};$$

$$Q_{KV3} = \frac{\Delta U \cdot 9,45}{(X_{1-4} + X_{4-3} + X_{T3}) \left(\frac{1}{K_T}\right)^2} = \frac{-0,649 \cdot 9,45}{(4,697 + 10,53 + 43,35) \cdot 0,091^2} = -12,643 \text{ Мвар.}$$

Мощность компенсирующего устройства в узле 2:

$$\Delta U = U_2 - \Delta U_{\text{MIN ДОП}} = 8,415 - 9,45 = -1,035 \text{ кВ};$$

$$Q_{KV2} = \frac{\Delta U \cdot 9,45}{(X_{1-4} + X_{4-3} + X_{3-2} + X_{T2}) \left(\frac{1}{K_T}\right)^2} = \frac{-1,035 \cdot 9,45}{(4,697 + 10,53 + 8,91 + 27,95) \cdot 0,091^2} = -22,675 \text{ Мвар.}$$

Выполнив проверку в программном комплексе RastrWin, определили, что достаточно применить компенсацию реактивной мощности в узлах 2 и 3.

В узле 2 применили две установки суммарной мощности 20 Мвар типа БСК – 30 Мвар – 10,5 и БСК – 5 Мвар – 10,5.

В узле 3 применили две установки суммарной мощности 10 Мвар типов БСК – 5 Мвар – 10,5.

Так же в программном комплексе RastrWin проверили все аварийные режимы с учетом установок КУ.

Расчёт мощности на участке 2-3 с учетом потерь:

$$S_{2-3}^K = S_{3-2}^H + S_{2-5}^H - jQ_{KV2} = 40,276 + j0,752 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{3-2} = \frac{P_{3-2}^K + Q_{3-2}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-2} = \frac{40,276^2 + 0,752^2}{115^2} \cdot 2,64 = 0,323 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{3-2} = \frac{P_{3-2}^K + Q_{3-2}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-2} = \frac{40,276^2 + 0,752^2}{115^2} \cdot 8,91 = 1,093 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-2}^H = S_{3-2}^K + \Delta S = 40,599 + j1,845 \text{ МВА.}$$

Расчёт мощности на участке 4-3 с учетом потерь:

						Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S_{4-3}^K = S_{\text{Э}3} + S_{2-3}^H + S_{10-3}^H - jQ_{KV3} = 96,444 + j20,907 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{4-3} = \frac{P_{4-3}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{3-4} = \frac{96,444^2 + 20,907^2}{115^2} \cdot 3,12 = 2,297 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{4-3} = \frac{P_{4-3}^K + Q_{3-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{3-4} = \frac{96,444^2 + 20,907^2}{115^2} \cdot 10,53 = 7,754 \text{ Мвар};$$

$$S_{3-4}^H = S_{3-4}^K + \Delta S = 98,741 + j28,661 \text{ МВА}.$$

Расчёт мощности на участке 4-1 с учетом потерь:

$$S_{4-1}^K = S_{\text{Э}4} + S_{4-3}^H = 113,823 + j35,802 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{1-4}^K}{U_H^2} \cdot R_{1-4} = \frac{113,823^2 + 35,802^2}{115^2} \cdot 2,739 = 2,948 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{4-1} = \frac{P_{4-1}^K + Q_{1-4}^K}{U_H^2} \cdot X_{1-4} = \frac{113,823^2 + 35,802^2}{115^2} \cdot 4,697 = 5,056 \text{ Мвар};$$

$$S_{1-4}^H = S_{1-4}^K + \Delta S = 116,771 + j40,858 \text{ МВА}.$$

Определение потерь напряжения в нормальном режиме.

Определим потери напряжения.

$$\Delta U_{1-4} = 4,449 \text{ кВ};$$

$$U_4 = U_1 - \Delta U = 115 - 4,449 = 110,551 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{4-3} = 5,516 \text{ кВ};$$

$$U_3 = U_4 - \Delta U = 110,551 - 5,516 = 105,035 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-10} = 2,828 \text{ кВ};$$

$$U_{10} = U_3 - \Delta U = 105,035 - 2,828 = 102,207 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{3-2} = 1,176 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_3 - \Delta U = 105,035 - 1,176 = 103,859 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2-5} = 0,809 \text{ кВ};$$

$$U_5 = U_2 - \Delta U = 103,859 - 0,809 = 103,05 \text{ кВ}.$$

Определение напряжений на низкой стороне.

Напряжения на низкой стороне определим по формулам (9.13) и (9.14):

$$U_4^B = 107,113 \text{ кВ}; \quad U_4^H = 9,747 \text{ кВ};$$

						Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$U_3^B = 101,434 \text{ кВ}; \quad U_3^H = 9,23 \text{ кВ};$$

$$U_{10}^B = 98,311 \text{ кВ}; \quad U_{10}^H = 8,946 \text{ кВ};$$

$$U_2^B = 99,169 \text{ кВ}; \quad U_2^H = 9,024 \text{ кВ};$$

$$U_5^B = 99,082 \text{ кВ}; \quad U_5^H = 9,016 \text{ кВ}.$$

Выбор средств регулирования напряжения на стороне высокого напряжения.

Аналогичным образом определяем отпайки во всех узлах. Все полученные значения занесем в таблицу 9.8.

Таблица 9.8 - Выбор отпаяк на трансформаторах

Номер узла	41	31	101	51	21
Требуемое напряжение на ПС, кВ	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Напряжение до регулирования, кВ	9,747	9,23	8,946	9,016	9,024
Рациональная отпайка	-3	-6	-8	-7	-7
Напряжение на шинах ПС после регулирования, кВ	10,331	10,368	10,466	10,334	10,343

Заключение

Рассмотрены вопросы проектирования электрической сети с учетом существующей линии 110 кВ. Рассмотрено пять вариантов развития сети, при этом для всех вариантов произведен выбор напряжения сети, сечений ЛЭП, трансформаторов на понижающих подстанциях и схемы распределительных устройств.

Из пяти схем путем технико-экономического сравнения для дальнейшего рассмотрения приняты две схемы.

Для оставшихся двух схем рассчитаны установившиеся и аварийные режимы сети.

Список литературы

1. Волкова Т. Ю., Юлукова Г.М. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Электроэнергетика» (раздел «Электроэнергетические системы и сети») 2004.

2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для ВУЗов. - М.: Энергоатомиздат, 2009.

4. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.

5. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008.

6. ОАО «ФСК ЕЭС», схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ, типовые решения. – СТО 56947007-29.240.30.010-2008, 2007.

7. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов - 9-е изд., перераб. и доп. / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Академия, 2013. – 448 с.

8. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. НЦ ЭНАС, 2003.

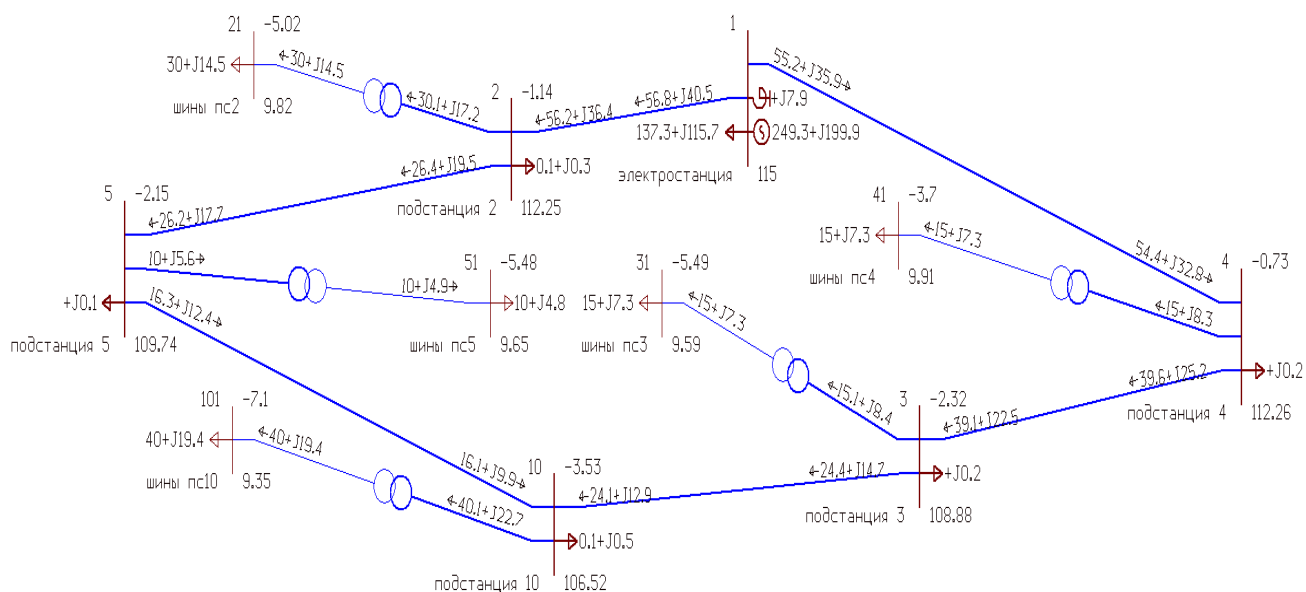
						Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А

Расчет установившихся режимов максимальных нагрузок с применением программы RastrWin

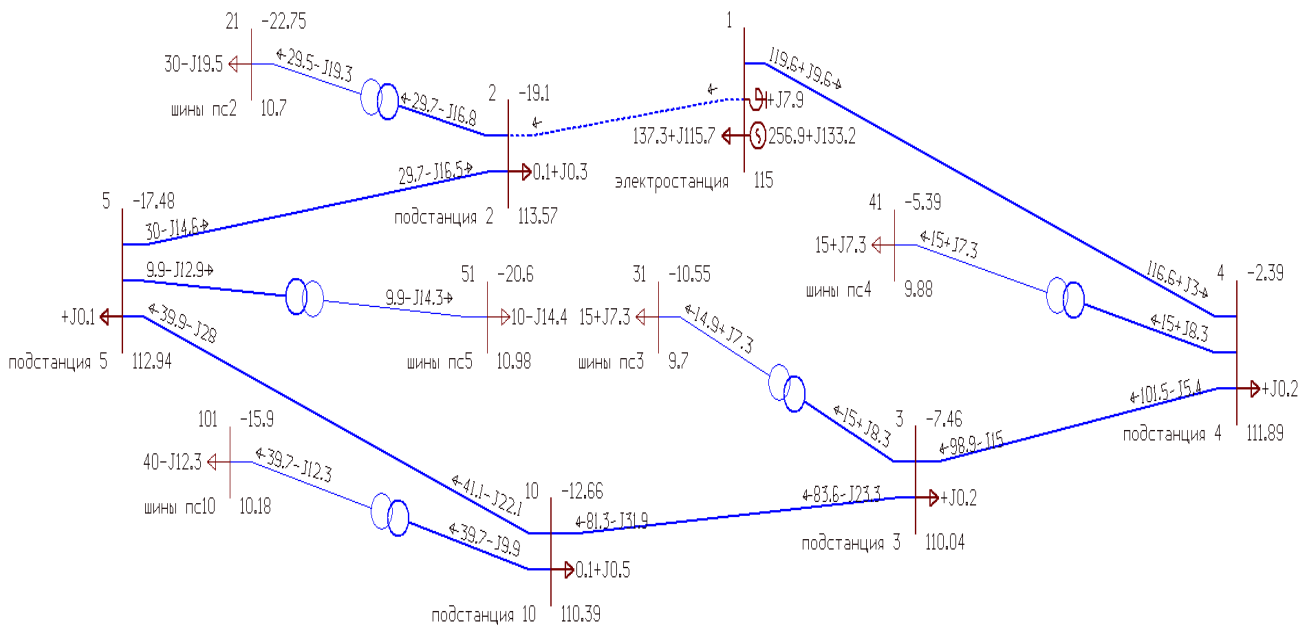
Режим максимальных нагрузок (вариант 2)

1	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	249,3	199,9				8
2	2	подстанция 2	112,2	-1,1	-57	-40	0,61	2,05	350		2,03	
3	4	подстанция 4	112,3	-0,7	-55	-36	0,89	1,52	331		1,51	
4	2	подстанция 2	112,25	-1,14	0,1	0,4						
5	1	электростанция	115,0	1,1	56	36	0,61	2,05	344		2,03	
6	21	шины пс2	9,8	-3,9	-30	-17	0,12	2,67	178			
7	5	подстанция 5	109,7	-1,0	-26	-20	0,26	0,89	169		0,90	
8	10	подстанция 10	106,52	-3,53	0,1	0,5						
9	101	шины пс10	9,4	-3,6	-40	-23	0,13	3,25	250			
10	5	подстанция 5	109,7	1,4	16	10	0,21	0,72	102		1,77	
11	3	подстанция 3	108,9	1,2	24	13	0,24	0,82	148		0,98	
12	3	подстанция 3	108,88	-2,32	0,0	0,2						
13	31	шины пс3	9,6	-3,2	-15	-8	0,05	1,09	91			
14	10	подстанция 10	106,5	-1,2	-24	-15	0,24	0,82	151		0,98	
15	4	подстанция 4	112,3	1,6	39	22	0,54	1,82	239		0,89	
16	4	подстанция 4	112,26	-0,73	0,0	0,2						
17	41	шины пс4	9,9	-3,0	-15	-8	0,05	1,02	88			
18	3	подстанция 3	108,9	-1,6	-40	-25	0,54	1,82	242		0,89	
19	1	электростанция	115,0	0,7	54	33	0,89	1,52	327		1,51	
20	5	подстанция 5	109,74	-2,15	0,0	0,1						
21	51	шины пс5	9,6	-3,3	-10	-6	0,04	0,76	61			
22	2	подстанция 2	112,2	1,0	26	18	0,26	0,89	166		0,90	
23	10	подстанция 10	106,5	-1,4	-16	-12	0,21	0,72	108		1,77	
24	21	шины пс2	9,82	-5,02	30,0	14,5						
25	2	подстанция 2	112,2	3,9	30	15	0,12	2,67	1 961			
26	101	шины пс10	9,35	-7,10	40,0	19,4						
27	10	подстанция 10	106,5	3,6	40	19	0,13	3,25	2 746			
28	31	шины пс3	9,59	-5,49	15,0	7,3						
29	3	подстанция 3	108,9	3,2	15	7	0,05	1,09	1 004			
30	41	шины пс4	9,91	-3,70	15,0	7,3						
31	4	подстанция 4	112,3	3,0	15	7	0,05	1,02	971			
32	51	шины пс5	9,65	-5,48	10,0	4,8						
33	5	подстанция 5	109,7	3,3	10	5	0,04	0,76	666			



Обрыв цепи 1-2 (вариант 2)

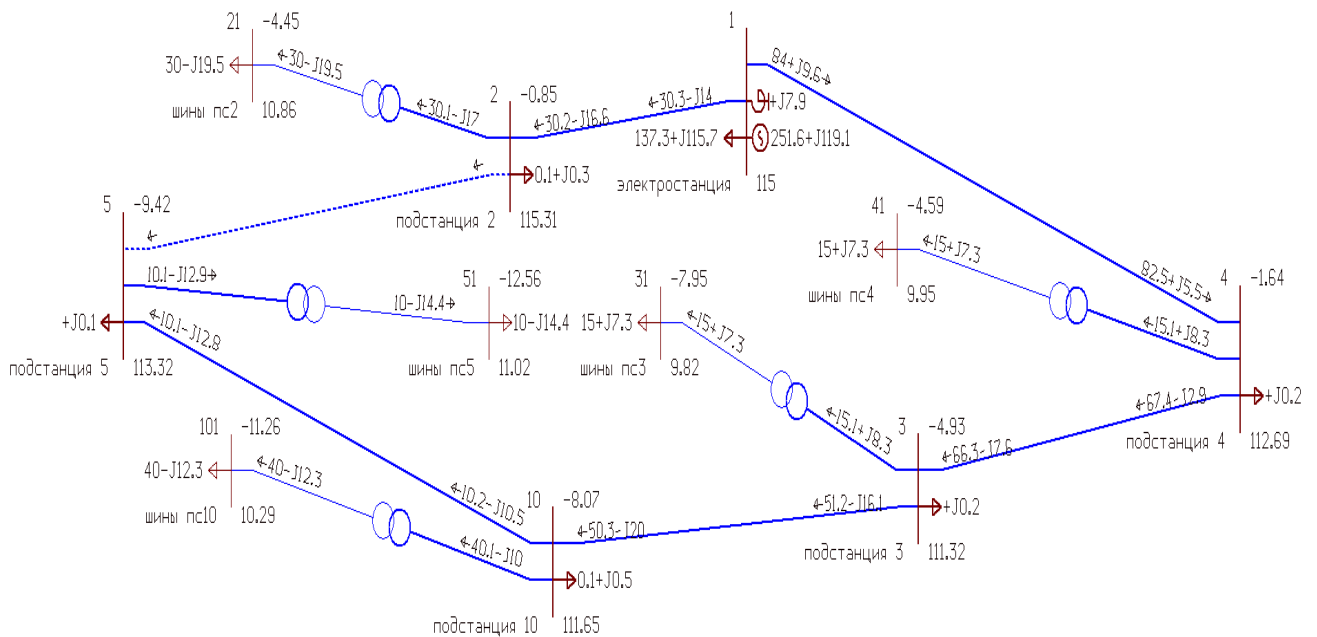
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	256,9	133,2			8
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	подстанция 2									
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,9	-2,4	-120	-10	2,98	5,11	602	0,00	1,51
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,57	-19,10	0,1	0,4					
5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	электростанция									
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,7	-3,6	-30	17	0,11	2,52	173		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,9	1,6	30	-16	0,28	0,93	173	0,00	0,94
8	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,39	-12,66	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,2	-3,2	-40	10	0,10	2,39	214		
10	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,9	-4,8	-41	22	1,18	3,98	244	0,00	1,89
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,0	5,2	81	-32	2,24	7,58	457		1,02
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,04	-7,46	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,7	-3,1	-15	-8	0,05	1,05	90		
14	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,4	-5,2	-84	23	2,24	7,58	455		1,02
15	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,9	5,1	99	-15	2,58	8,70	525	0,00	0,90
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,89	-2,39	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,9	-3,0	-15	-8	0,05	1,02	89		
18	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,0	-5,1	-102	5	2,58	8,70	525	0,00	0,90
19	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,4	117	3	2,98	5,11	602	0,00	1,51
20	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,94	-17,48	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,0	-3,1	-10	13	0,08	1,44	83		
22	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,6	-1,6	-30	15	0,28	0,93	170	0,00	0,94
23	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,4	4,8	40	-28	1,18	3,98	249	0,00	1,89
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,70	-22,75	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,6	3,6	30	-19	0,11	2,52	1 904		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,18	-15,90	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,4	3,2	40	-12	0,10	2,39	2 354		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,70	-10,55	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,0	3,1	15	7	0,05	1,05	988		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,88	-5,39	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,9	3,0	15	7	0,05	1,02	974		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	10,98	-20,60	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,9	3,1	10	-14	0,08	1,44	913		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Обрыв цепи 2-5 (вариант 2)

1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	251,6	119,1			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,3	-0,9	-30	14	0,15	0,49	168		2,09
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,7	-1,6	-84	-10	1,48	2,53	424	0,00	1,52
4	<input checked="" type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,31	-0,85	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	0,9	30	-17	0,15	0,49	172		2,09
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,9	-3,6	-30	17	0,11	2,51	173		
7	<input checked="" type="checkbox"/>	5	подстанция 5									
8	<input checked="" type="checkbox"/>	10	подстанция 10	111,65	-8,07	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,3	-3,2	-40	10	0,10	2,38	214		
10	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,3	-1,3	-10	10	0,12	0,41	76		1,92
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	111,3	3,1	50	-20	0,84	2,84	280	0,00	1,05
12	<input checked="" type="checkbox"/>	3	подстанция 3	111,32	-4,93	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,8	-3,0	-15	-8	0,05	1,03	89		
14	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	111,6	-3,1	-51	16	0,84	2,84	278	0,00	1,05
15	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,7	3,3	66	-8	1,12	3,77	346	0,00	0,92
16	<input checked="" type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,69	-1,64	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,0	-3,0	-15	-8	0,05	1,01	88		
18	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	111,3	-3,3	-67	3	1,12	3,77	346	0,00	0,92
19	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,6	82	6	1,48	2,53	424	0,00	1,52
20	<input checked="" type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,32	-9,42	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,0	-3,1	-10	13	0,08	1,45	83		
22	<input checked="" type="checkbox"/>	2	подстанция 2									
23	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	111,6	1,3	10	-13	0,12	0,41	83		1,92
24	<input checked="" type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,86	-4,45	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,3	3,6	30	-19	0,11	2,51	1 902		
26	<input checked="" type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,29	-11,26	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	111,6	3,2	40	-12	0,10	2,38	2 347		
28	<input checked="" type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,82	-7,95	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	111,3	3,0	15	7	0,05	1,03	979		
30	<input checked="" type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,95	-4,59	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,7	3,0	15	7	0,05	1,01	967		
32	<input checked="" type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,02	-12,56	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,3	3,1	10	-14	0,08	1,45	917		



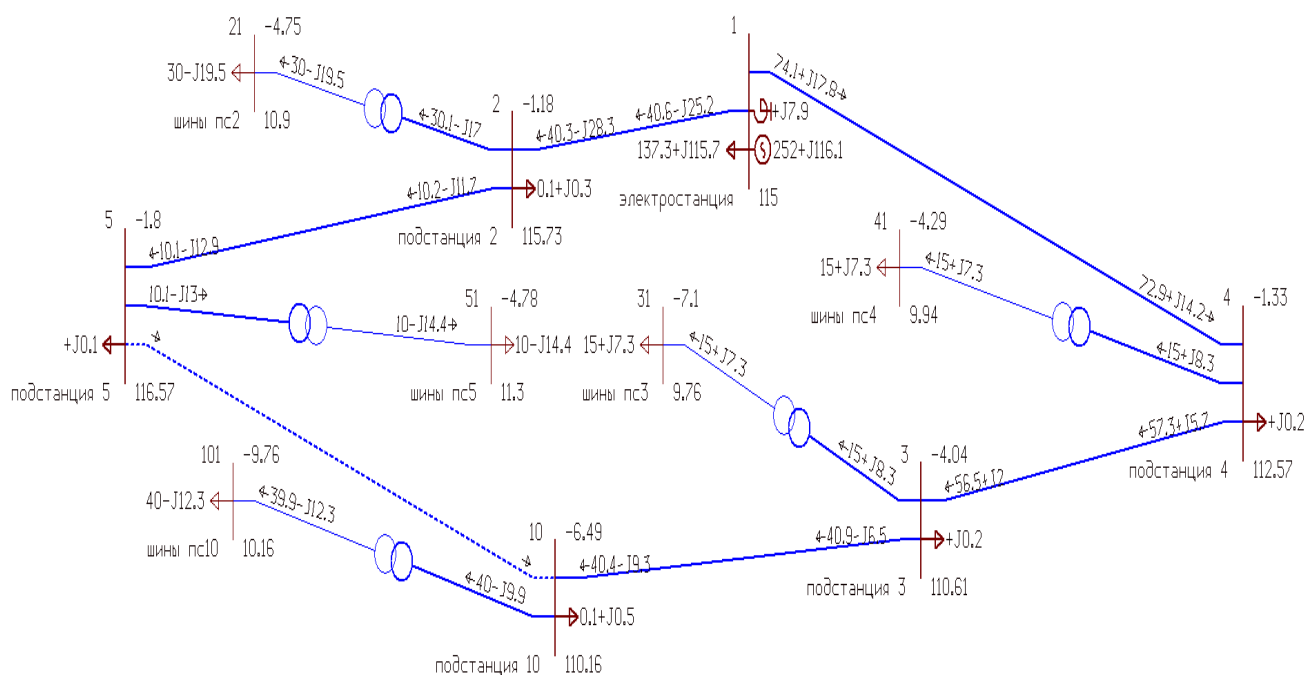
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
			Дата

Лист

73

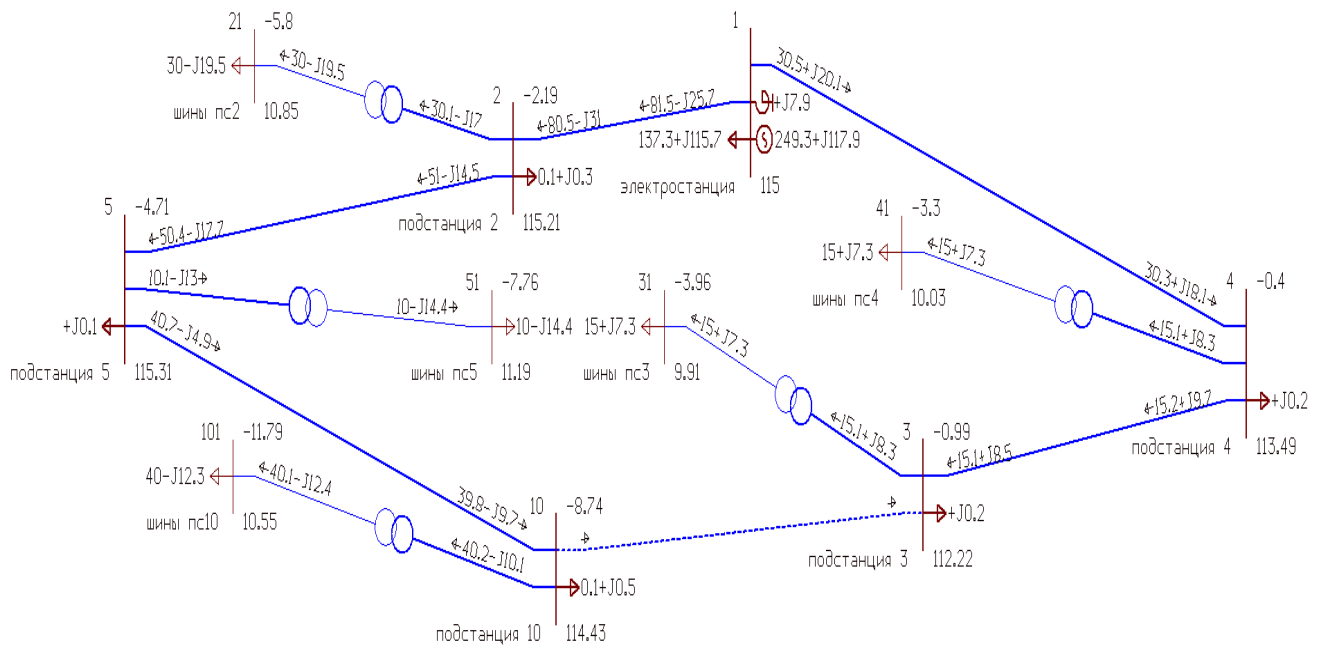
Обрыв цепи 5-10 (вариант 2)

1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	252,0	116,1			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,7	-1,2	-41	25	0,30	1,00	240		2,09
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	-1,3	-74	-18	1,20	2,05	383		1,52
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,73	-1,18	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,2	40	-28	0,30	1,00	246		2,09
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,9	-3,6	-30	17	0,11	2,49	172		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	116,6	-0,6	-10	12	0,06	0,20	77	0,00	0,99
8	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,16	-6,49	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,2	-3,3	-40	10	0,10	2,43	216		
10	<input checked="" type="checkbox"/>	5	подстанция 5									
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,6	2,5	40	-9	0,51	1,71	217	0,00	1,03
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,61	-4,04	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,8	-3,1	-15	-8	0,05	1,05	90		
14	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,2	-2,5	-41	7	0,51	1,71	216	0,00	1,03
15	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	2,7	56	2	0,82	2,75	295	0,00	0,91
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,57	-1,33	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,9	-3,0	-15	-8	0,05	1,01	88		
18	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,6	-2,7	-57	-6	0,82	2,75	295	0,00	0,91
19	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,3	73	14	1,20	2,05	381		1,52
20	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	116,57	-1,80	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,3	-3,0	-10	13	0,08	1,38	81		
22	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,7	0,6	10	-13	0,06	0,20	81	0,00	0,99
23	<input checked="" type="checkbox"/>	10	подстанция 10									
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,90	-4,75	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,7	3,6	30	-19	0,11	2,49	1 895		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,16	-9,76	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	110,2	3,3	40	-12	0,10	2,43	2 376		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,76	-7,10	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	110,6	3,1	15	7	0,05	1,05	985		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,94	-4,29	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	3,0	15	7	0,05	1,01	967		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,30	-4,78	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	116,6	3,0	10	-14	0,08	1,38	895		



Обрыв цепи 10-3 (вариант 2)

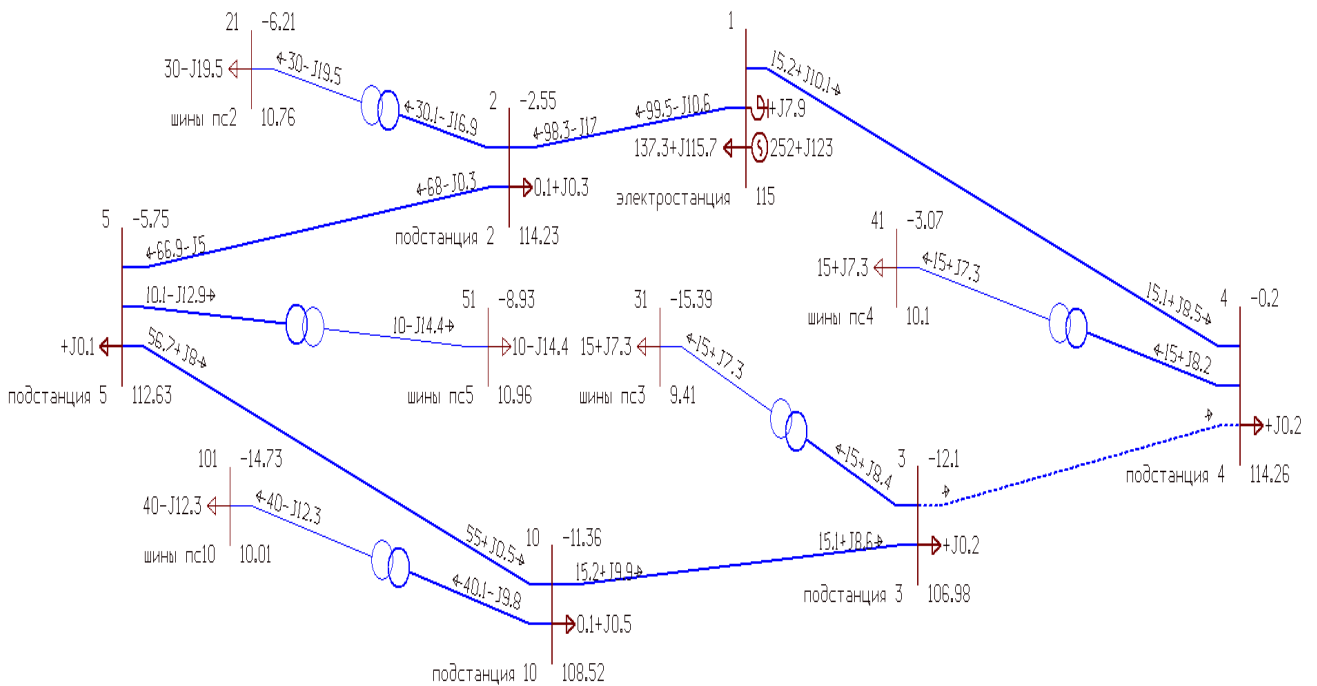
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	249,3	117,9			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,2	-2,2	-81	26	0,93	3,15	429		2,08
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	113,5	-0,4	-31	-20	0,27	0,46	184		1,53
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,21	-2,19	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,2	81	-31	0,93	3,15	432		2,08
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,9	-3,6	-30	17	0,11	2,52	173		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	115,3	-2,5	-51	15	0,66	2,24	266		0,97
8	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	114,43	-8,74	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,5	-3,0	-40	10	0,09	2,27	209		
10	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	115,3	4,0	40	-10	0,82	2,78	207	0,00	2,00
11	<input checked="" type="checkbox"/>	3	подстанция 3									
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	112,22	-0,99	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,9	-3,0	-15	-8	0,05	1,02	88		
14	<input checked="" type="checkbox"/>	10	подстанция 10									
15	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	113,5	0,6	15	8	0,08	0,26	89	0,00	0,93
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	113,49	-0,40	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,0	-2,9	-15	-8	0,05	0,99	87		
18	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	112,2	-0,6	-15	-10	0,08	0,26	91	0,00	0,93
19	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	0,4	30	18	0,27	0,46	179		1,53
20	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	115,31	-4,71	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,2	-3,0	-10	13	0,08	1,41	82		
22	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,2	2,5	50	-18	0,66	2,24	267		0,97
23	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	114,4	-4,0	-41	5	0,82	2,78	205	0,00	2,00
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,85	-5,80	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	115,2	3,6	30	-19	0,11	2,52	1 904		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,55	-11,79	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	114,4	3,0	40	-12	0,09	2,27	2 297		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,91	-3,96	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	112,2	3,0	15	7	0,05	1,02	971		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,03	-3,30	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	113,5	2,9	15	7	0,05	0,99	960		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,19	-7,76	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	115,3	3,0	10	-14	0,08	1,41	904		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Обрыв цепи 3-4 (вариант 2)

1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	252,0	123,0			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,2	-2,5	-100	11	1,28	4,31	503		2,07
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,3	-0,2	-15	-10	0,07	0,11	91		1,54
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,23	-2,55	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,5	98	-17	1,28	4,31	504		2,07
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,8	-3,7	-30	17	0,12	2,56	175		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,6	-3,2	-68	0	1,11	3,73	344		0,94
8	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	108,52	-11,36	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,0	-3,4	-40	10	0,10	2,51	219		
10	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,6	5,6	55	0	1,67	5,63	293		1,86
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,0	-0,7	-15	-10	0,10	0,33	96	0,00	0,98
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	106,98	-12,10	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,4	-3,3	-15	-8	0,06	1,12	93		
14	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	108,5	0,7	15	9	0,10	0,33	94	0,00	0,98
15	<input checked="" type="checkbox"/>	4	подстанция 4									
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,26	-0,20	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,1	-2,9	-15	-8	0,05	0,98	87		
18	<input checked="" type="checkbox"/>	3	подстанция 3									
19	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	0,2	15	8	0,07	0,11	87		1,54
20	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,63	-5,75	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	11,0	-3,2	-10	13	0,08	1,47	84		
22	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,2	3,2	67	-5	1,11	3,73	344		0,94
23	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	108,5	-5,6	-57	-8	1,67	5,63	294		1,86
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,76	-6,21	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,2	3,7	30	-19	0,12	2,56	1 918		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	10,01	-14,73	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	108,5	3,4	40	-12	0,10	2,51	2 412		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,41	-15,39	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,0	3,3	15	7	0,06	1,12	1 021		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,10	-3,07	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,3	2,9	15	7	0,05	0,98	953		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	10,96	-8,93	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	112,6	3,2	10	-14	0,08	1,47	922		



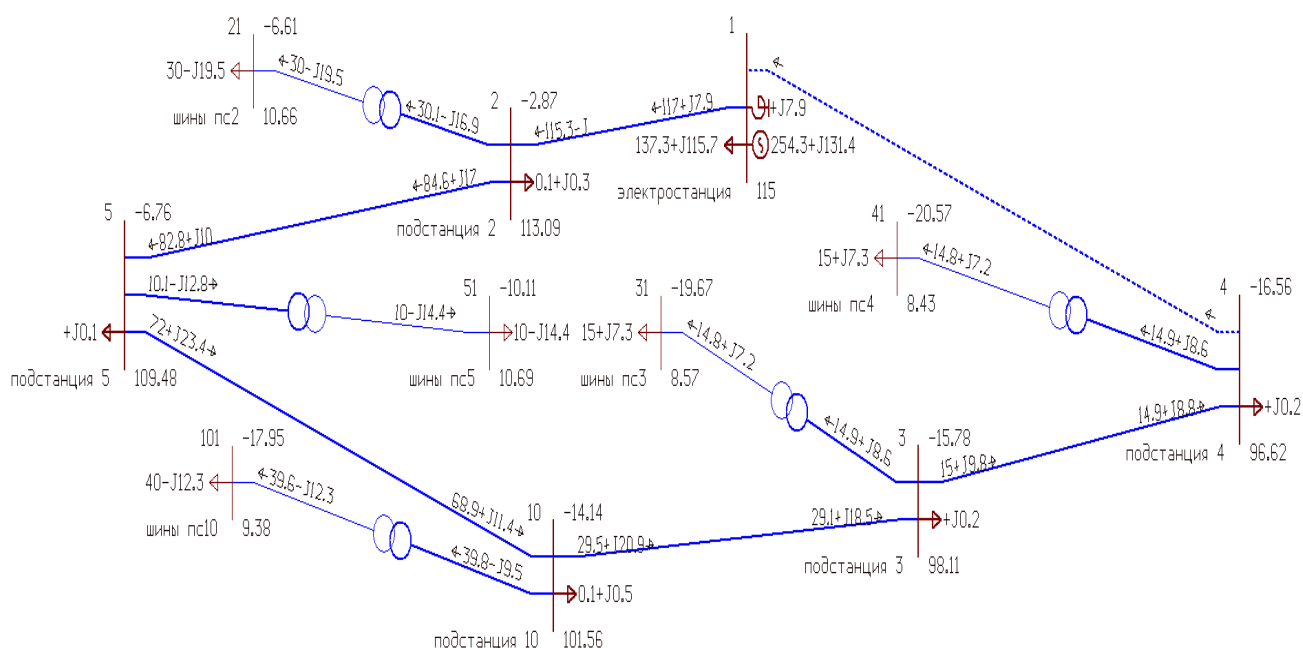
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Лист

76

Обрыв цепи 1-4 (вариант 2)

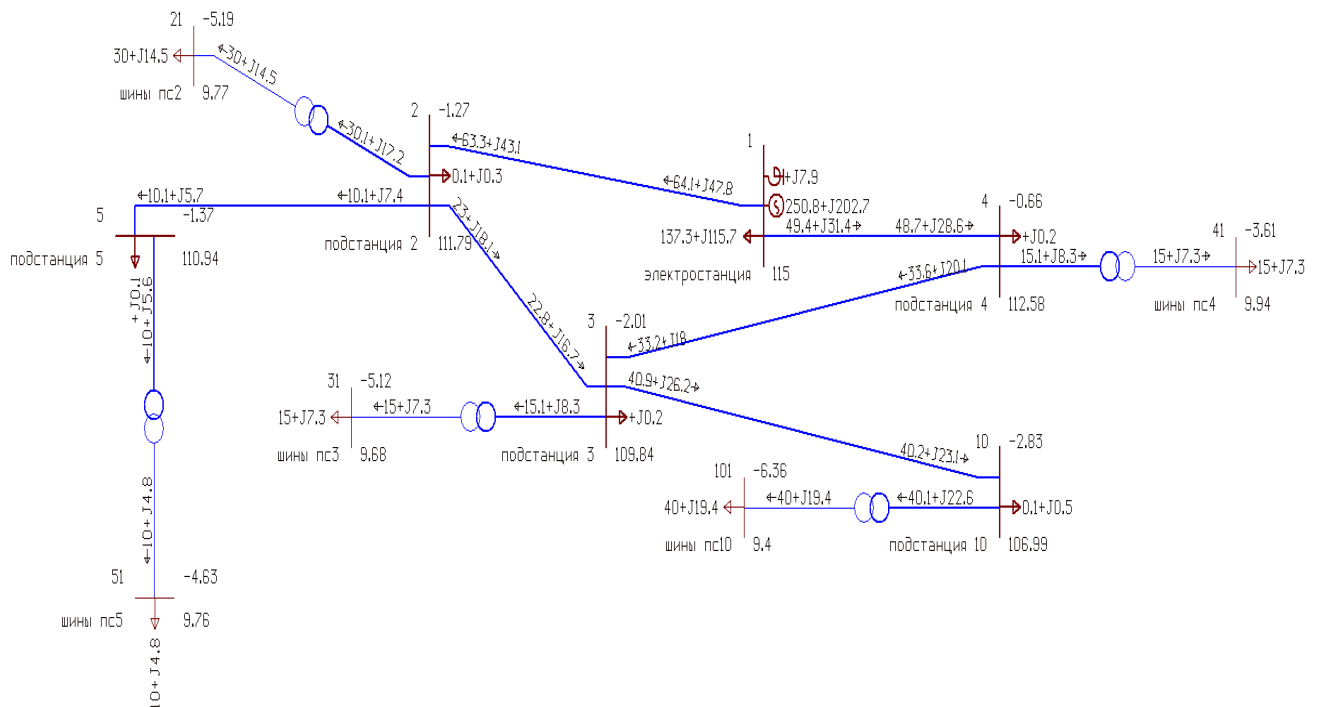
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	254,3	131,4			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,1	-2,9	-117	-8	1,75	5,89	589		2,05
3	<input checked="" type="checkbox"/>	4	подстанция 4									
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,09	-2,87	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,9	115	0	1,75	5,89	588		2,05
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,7	-3,7	-30	17	0,12	2,60	176		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,5	-3,9	-85	-17	1,81	6,12	441		0,91
8	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	101,56	-14,14	0,1	0,5					
9	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,4	-3,8	-40	9	0,11	2,81	232		
10	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,5	7,4	69	11	3,07	10,37	397		1,69
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	98,1	-1,6	-30	-21	0,45	1,52	206	0,00	0,84
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	98,11	-15,78	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	8,6	-3,9	-15	-9	0,07	1,33	101		
14	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	101,6	1,6	29	19	0,45	1,52	203	0,00	0,84
15	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	96,6	-0,8	-15	-10	0,10	0,35	106		0,69
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	96,62	-16,56	0,0	0,2					
17	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	8,4	-4,0	-15	-9	0,07	1,37	103		
18	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	98,1	0,8	15	9	0,10	0,35	104		0,69
19	<input checked="" type="checkbox"/>	1	электростанция									
20	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,48	-6,76	0,0	0,1					
21	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	10,7	-3,3	-10	13	0,09	1,54	86		
22	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,1	3,9	83	10	1,81	6,12	440		0,91
23	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	101,6	-7,4	-72	-23	3,07	10,37	399		1,69
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,66	-6,61	30,0	-19,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	113,1	3,7	30	-19	0,12	2,60	1 936		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,38	-17,95	40,0	-12,3					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	101,6	3,8	40	-12	0,11	2,81	2 553		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	8,57	-19,67	15,0	7,3					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	98,1	3,9	15	7	0,07	1,33	1 110		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	8,43	-20,57	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	96,6	4,0	15	7	0,07	1,37	1 128		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	10,69	-10,11	10,0	-14,4					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,5	3,3	10	-14	0,09	1,54	945		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

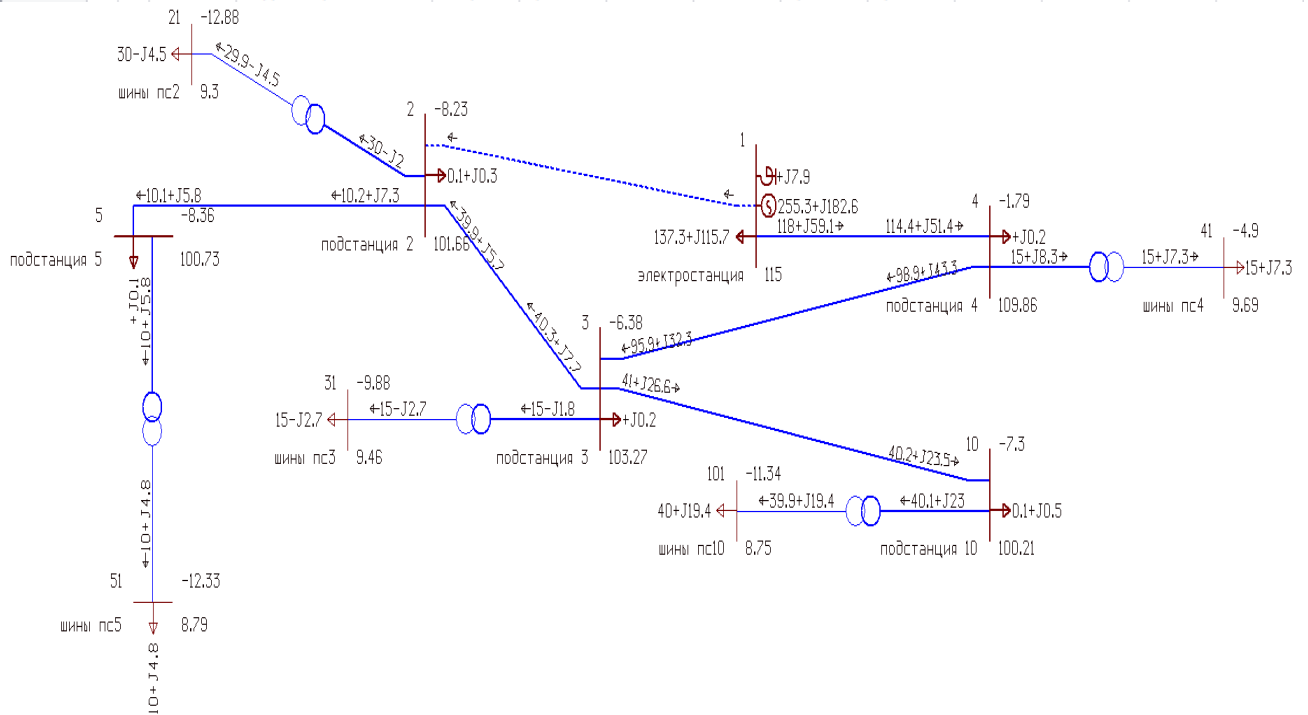
Режим максимальных нагрузок (вариант 3)

1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	250,8	202,7				8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,8	-1,3	-64	-48	0,80	2,70	401		2,02	
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	-0,7	-49	-31	0,70	1,20	294		1,52	
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,79	-1,27	0,1	0,4						
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,3	63	43	0,80	2,70	395		2,02	
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	9,8	-3,9	-30	-17	0,12	2,69	179			
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,9	-0,1	-10	-7	0,06	0,07	65		1,64	
8	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	109,8	-0,7	-23	-18	0,18	0,60	151		0,76	
9	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	106,99	-2,83	0,1	0,5						
10	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,4	-3,5	-40	-23	0,13	3,21	248			
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	109,8	0,8	40	23	0,72	1,23	250		1,88	
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	109,84	-2,01	0,0	0,2						
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,7	-3,1	-15	-8	0,05	1,06	90			
14	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,8	0,7	23	17	0,18	0,60	149		0,76	
15	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	107,0	-0,8	-41	-26	0,72	1,23	255		1,88	
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	1,4	33	18	0,37	1,26	198	0,00	0,90	
17	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,58	-0,66	0,0	0,2						
18	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,9	-3,0	-15	-8	0,05	1,01	88			
19	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	109,8	-1,4	-34	-20	0,37	1,26	201	0,00	0,90	
20	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	0,7	49	29	0,70	1,20	290		1,52	
21	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,94	-1,37	0,0	0,1						
22	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,8	-3,3	-10	-6	0,04	0,75	60			
23	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,8	0,1	10	6	0,06	0,07	60		1,64	
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	9,77	-5,19	30,0	14,5						
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,8	3,9	30	15	0,12	2,69	1 969			
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,40	-6,36	40,0	19,4						
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	107,0	3,5	40	19	0,13	3,21	2 731			
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,68	-5,12	15,0	7,3						
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	109,8	3,1	15	7	0,05	1,06	994			
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,94	-3,61	15,0	7,3						
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	112,6	3,0	15	7	0,05	1,01	968			
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,76	-4,63	10,0	4,8						
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,9	3,3	10	5	0,04	0,75	657			



Обрыв цепи 1-2 (вариант 3)

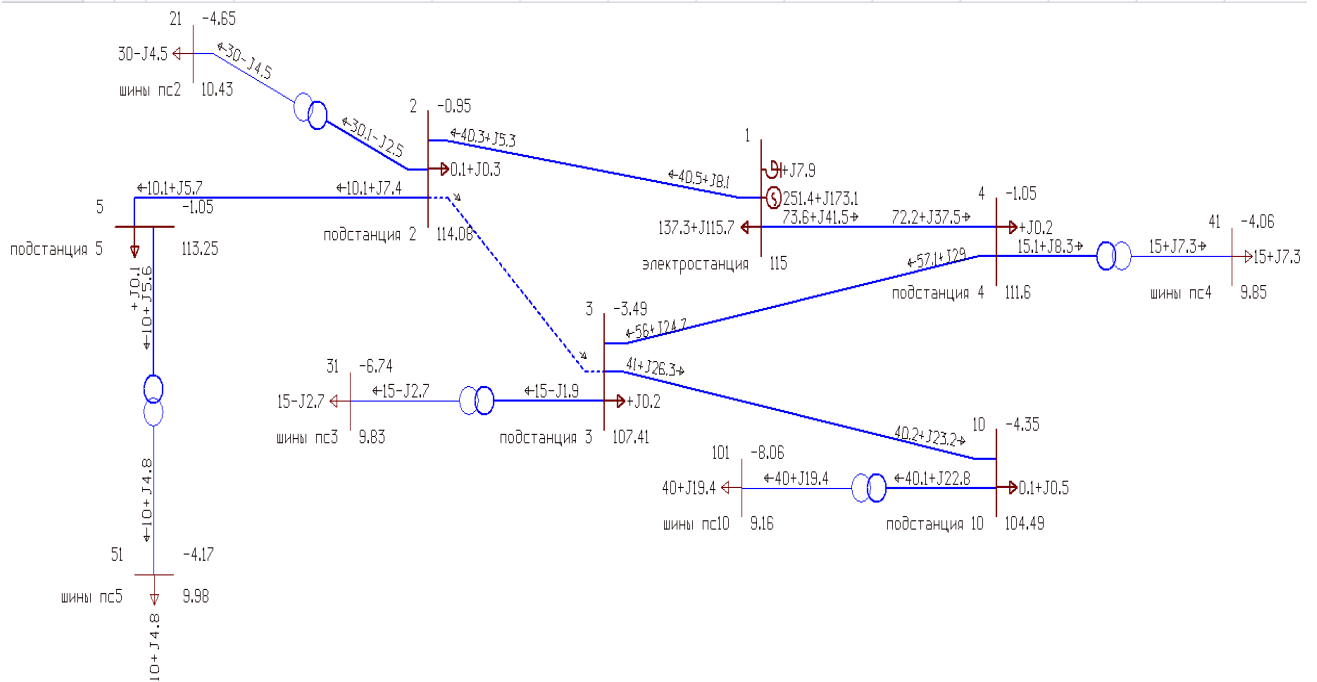
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	255,3	182,6				8
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	подстанция 2										
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	109,9	-1,8	-118	-59	3,59	6,15	663		1,48	
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	101,66	-8,23	0,1	0,4						
5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	электростанция										
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	9,3	-4,7	-30	2	0,11	2,45	171			
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	100,7	-0,1	-10	-7	0,08	0,08	71		1,36	
8	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	103,3	1,9	40	6	0,41	1,40	229		0,65	
9	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	100,21	-7,30	0,1	0,5						
10	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	8,8	-4,0	-40	-23	0,15	3,69	266			
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	103,3	0,9	40	24	0,82	1,41	268	0,00	1,65	
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	103,27	-6,38	0,0	0,2						
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,5	-3,5	-15	2	0,05	0,93	85			
14	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	101,7	-1,9	-40	-8	0,41	1,40	229		0,65	
15	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	100,2	-0,9	-41	-27	0,82	1,41	273	0,00	1,65	
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	109,9	4,6	96	32	3,00	10,14	566		0,83	
17	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	109,86	-1,79	0,0	0,2						
18	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,7	-3,1	-15	-8	0,05	1,06	90			
19	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	103,3	-4,6	-99	-43	3,00	10,14	567		0,83	
20	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,8	114	51	3,59	6,15	659		1,48	
21	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	100,73	-8,36	0,0	0,1						
22	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	8,8	-4,0	-10	-6	0,05	0,92	66			
23	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	101,7	0,1	10	6	0,08	0,08	67		1,36	
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	9,30	-12,88	30,0	-4,5						
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	101,7	4,7	30	-4	0,11	2,45	1 879			
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	8,75	-11,34	40,0	19,4						
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	100,2	4,0	40	19	0,15	3,69	2 926			
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,46	-9,88	15,0	-2,7						
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	103,3	3,5	15	-3	0,05	0,93	930			
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,69	-4,90	15,0	7,3						
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	109,9	3,1	15	7	0,05	1,06	993			
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	8,79	-12,33	10,0	4,8						
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	100,7	4,0	10	5	0,05	0,92	728			



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Обрыв цепи 2-3 (вариант 3)

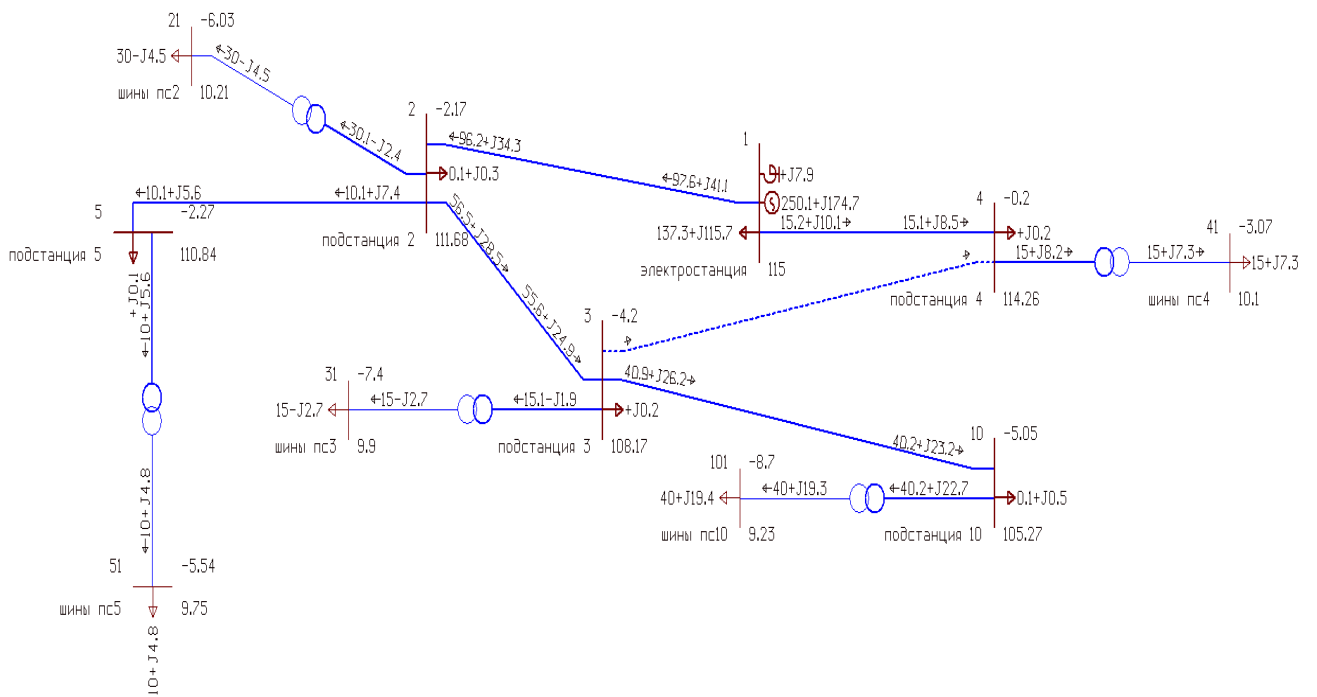
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	251,4	173,1			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,1	-1,0	-40	-8	0,21	0,72	207	0,00	2,06
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,6	-1,0	-74	-41	1,47	2,51	424		1,50
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,08	-0,95	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,0	40	5	0,21	0,72	206	0,00	2,06
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,4	-3,7	-30	3	0,09	1,96	153		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,3	-0,1	-10	-7	0,06	0,06	64	0,00	1,71
8	<input checked="" type="checkbox"/>	3	подстанция 3									
9	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	104,49	-4,35	0,1	0,5					
10	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,2	-3,7	-40	-23	0,14	3,38	255		
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,4	0,9	40	23	0,75	1,29	257		1,79
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,41	-3,49	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,8	-3,2	-15	2	0,04	0,86	81		
14	<input checked="" type="checkbox"/>	2	подстанция 2									
15	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	104,5	-0,9	-41	-26	0,75	1,29	262		1,79
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,6	2,4	56	25	1,02	3,44	329		0,88
17	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,60	-1,05	0,0	0,2					
18	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,8	-3,0	-15	-8	0,05	1,03	89		
19	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,4	-2,4	-57	-29	1,02	3,44	331		0,88
20	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	1,0	72	37	1,47	2,51	421		1,50
21	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,25	-1,05	0,0	0,1					
22	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	10,0	-3,1	-10	-6	0,04	0,71	59		
23	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,1	0,1	10	6	0,06	0,06	59	0,00	1,71
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,43	-4,65	30,0	-4,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	114,1	3,7	30	-4	0,09	1,96	1 679		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,16	-8,06	40,0	19,4					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	104,5	3,7	40	19	0,14	3,38	2 801		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,83	-6,74	15,0	-2,7					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	107,4	3,2	15	-3	0,04	0,86	895		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,85	-4,06	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	111,6	3,0	15	7	0,05	1,03	977		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,98	-4,17	10,0	4,8					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	113,3	3,1	10	5	0,04	0,71	643		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Обрыв цепи 3-4 (вариант 3)

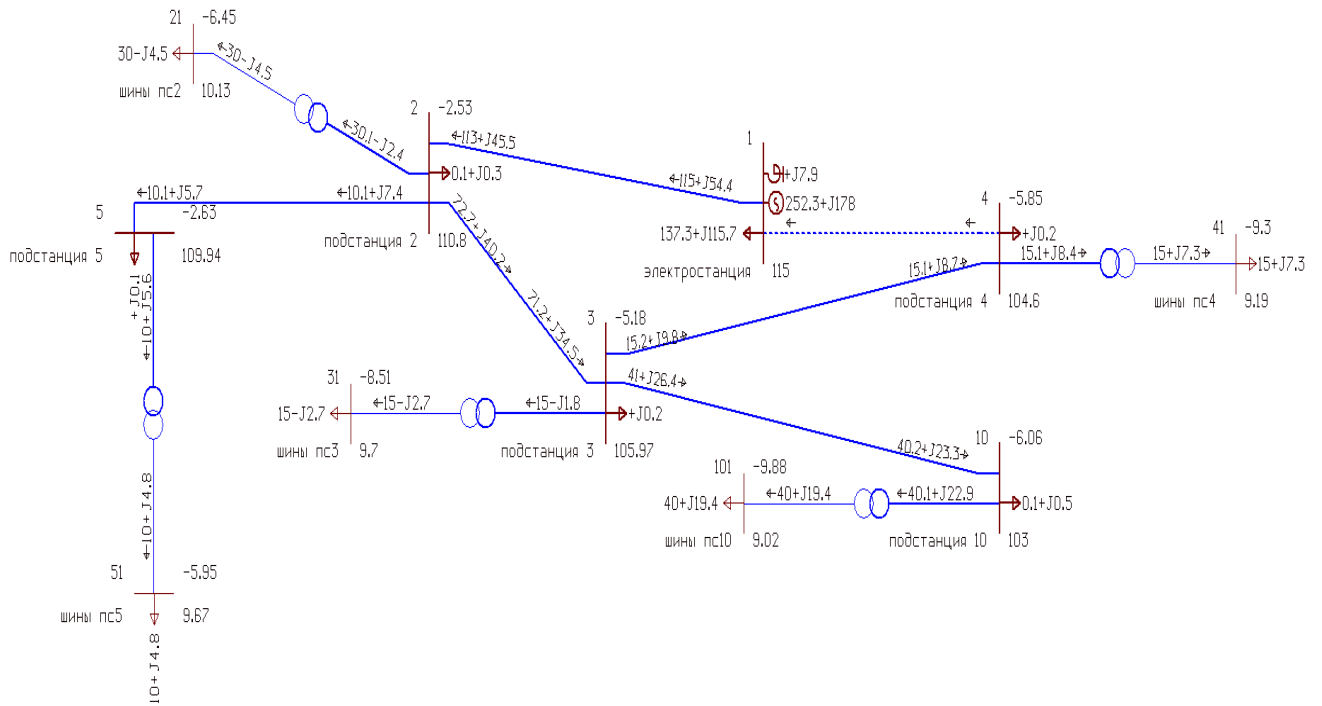
1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00			137,3	115,7	250,1	174,7				8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,7	-2,2	-98	-41	1,41	4,77	532			2,02	
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,3	-0,2	-15	-10	0,07	0,11	91			1,54	
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,68	-2,17	0,1	0,4							
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,2	96	34	1,41	4,77	528			2,02	
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,2	-3,9	-30	2	0,09	2,04	156				
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,8	-0,1	-10	-7	0,06	0,07	65	0,00		1,64	
8	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	108,2	-2,0	-56	-29	0,84	2,84	327	0,00		0,75	
9	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	105,27	-5,05	0,1	0,5							
10	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,2	-3,7	-40	-23	0,13	3,33	253				
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	108,2	0,8	40	23	0,74	1,27	254	0,00		1,82	
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	108,17	-4,20	0,0	0,2							
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,9	-3,2	-15	2	0,04	0,85	81				
14	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,7	2,0	56	25	0,84	2,84	325	0,00		0,75	
15	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	105,3	-0,8	-41	-26	0,74	1,27	259	0,00		1,82	
16	<input checked="" type="checkbox"/>	4	подстанция 4											
17	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,26	-0,20	0,0	0,2							
18	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,1	-2,9	-15	-8	0,05	0,98	87				
19	<input checked="" type="checkbox"/>	3	подстанция 3											
20	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	0,2	15	8	0,07	0,11	87			1,54	
21	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,84	-2,27	0,0	0,1							
22	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,8	-3,3	-10	-6	0,04	0,75	60				
23	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,7	0,1	10	6	0,06	0,07	60	0,00		1,64	
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,21	-6,03	30,0	-4,5							
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	111,7	3,9	30	-4	0,09	2,04	1 716				
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,23	-8,70	40,0	19,4							
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	105,3	3,7	40	19	0,13	3,33	2 781				
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,90	-7,40	15,0	-2,7							
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	108,2	3,2	15	-3	0,04	0,85	890				
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	10,10	-3,07	15,0	7,3							
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	114,3	2,9	15	7	0,05	0,98	953				
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,75	-5,54	10,0	4,8							
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	110,8	3,3	10	5	0,04	0,75	658				



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Обрыв цепи 1-4 (вариант 3)

1	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,00		137,3	115,7	252,3	178,0			8
2	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	110,8	-2,5	-115	-54	2,04	6,89	639	0,00	2,01
3	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4									
4	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	110,80	-2,53	0,1	0,4					
5	<input type="checkbox"/>	1	электростанция	115,0	2,5	113	46	2,04	6,89	635	0,00	2,01
6	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,1	-3,9	-30	2	0,09	2,07	157		
7	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,9	-0,1	-10	-7	0,07	0,07	65	0,00	1,62
8	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	106,0	-2,6	-73	-40	1,48	4,99	433	0,00	0,73
9	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	103,00	-6,06	0,1	0,5					
10	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,0	-3,8	-40	-23	0,14	3,49	259		
11	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	106,0	0,9	40	23	0,78	1,33	261		1,74
12	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	105,97	-5,18	0,0	0,2					
13	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,7	-3,3	-15	2	0,04	0,89	83		
14	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	110,8	2,6	71	35	1,48	4,99	431	0,00	0,73
15	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	103,0	-0,9	-41	-26	0,78	1,33	266		1,74
16	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	104,6	-0,7	-15	-10	0,09	0,30	98		0,81
17	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	104,60	-5,85	0,0	0,2					
18	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,2	-3,4	-15	-8	0,06	1,18	95		
19	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	106,0	0,7	15	9	0,09	0,30	96		0,81
20	<input type="checkbox"/>	1	электростанция									
21	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,94	-2,63	0,0	0,1					
22	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,7	-3,3	-10	-6	0,04	0,76	60		
23	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	110,8	0,1	10	6	0,07	0,07	61	0,00	1,62
24	<input type="checkbox"/>	21	шины пс2	10,13	-6,45	30,0	-4,5					
25	<input type="checkbox"/>	2	подстанция 2	110,8	3,9	30	-4	0,09	2,07	1 729		
26	<input type="checkbox"/>	101	шины пс10	9,02	-9,88	40,0	19,4					
27	<input type="checkbox"/>	10	подстанция 10	103,0	3,8	40	19	0,14	3,49	2 845		
28	<input type="checkbox"/>	31	шины пс3	9,70	-8,51	15,0	-2,7					
29	<input type="checkbox"/>	3	подстанция 3	106,0	3,3	15	-3	0,04	0,89	907		
30	<input type="checkbox"/>	41	шины пс4	9,19	-9,30	15,0	7,3					
31	<input type="checkbox"/>	4	подстанция 4	104,6	3,4	15	7	0,06	1,18	1 047		
32	<input type="checkbox"/>	51	шины пс5	9,67	-5,95	10,0	4,8					
33	<input type="checkbox"/>	5	подстанция 5	109,9	3,3	10	5	0,04	0,76	664		



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

									Лист
									83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					