

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра ЭиЭЭ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети»
для студентов направления подготовки бакалавриата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль «Системы электроснабжения городов, промышленных
предприятий, сельского хозяйства, и их объектов»

Ставрополь
2021

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с Государственным образовательным стандартом Высшего профессионального образования и рабочей программой дисциплины, для студентов специальности 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Методические указания включают в себя теоретическое обоснование материала тем: «Расчёты режимов сложноразветвлённых сетей с применением вычислительных средств». Методические указания могут быть полезны при выполнении расчетов режимов на ЭВМ при курсовом и дипломном проектировании.

Составитель: Ярош В.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1.	4
Расчет параметров схемы замещения сложноразветвленной электрической сети	
Лабораторная работа 2.	10
Подготовка исходных данных для расчета режимов сложноразветвленной сети	
Лабораторная работа 3	16
Расчет режима сложноразветвленной сети с помощью программы RASTR	
Лабораторная работа 4	21
Выбор регулировочных ответвлений на трансформаторах понижающих подстанций	
Литература	25
Приложения	26

Лабораторная работа 1

«Расчет параметров схемы замещения сложнзамкнутой электрической сети»

1. Цель и содержание работы: Определение и расчет параметров схемы замещения сложнзамкнутой электрической сети.

2. Теоретическое обоснование

Выбор мощности трансформаторов на каждой подстанции необходимо осуществить, исходя из перегрузочной способности 1,6 при отключении одного трансформатора в послеаварийном режиме, т.е.

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{расч}}}{1,6}, \quad (1.1)$$

где $S_{\text{расч}}$ – полная мощность нагрузки соответствующей подстанции. Для подстанции 6 при определении $S_{\text{расч}}$ кроме собственной нагрузки ($S_{\text{расч6}}$) необходимо учесть нагрузки подстанции 3 и 4.

Параметры Г-образных схем замещения трансформаторов можно взять из справочников или рассчитать по формулам. Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов должны быть приведены к высокому напряжению. Коэффициенты трансформации двухобмоточных трансформаторов следует взять равными отношению низкого номинального напряжения трансформатора к высокому номинальному напряжению трансформатора. Для трехобмоточного трансформатора следует определить параметры обмотки высокого и низкого напряжений. Сопротивление обмотки низкого напряжения необходимо привести к среднему напряжению трансформатора:

$$Z_n^* = Z_n \left(\frac{U_{\text{ном.с}}}{U_{\text{ном.в}}} \right)^2 \quad (1.2)$$

где $U_{\text{ном.с}}$, $U_{\text{ном.в}}$ – номинальные напряжения соответствующих обмоток трансформатора;

Z_n – сопротивление обмотки низкого напряжения, приведенное к высокому напряжению.

Для каждой линии производится расчет параметров П-образной схемы замещения по заданному сечению, типу провода и длине линии. Следует обратить внимание, что линии Л6 и Л11 являются двухцепными. Сопротивления и проводимости провод определяются выражениями:

$$R_{л} = \frac{l \cdot r_0}{n_{ц}}, \text{ Ом}; \quad (1.3)$$

$$X_{л} = \frac{l \cdot x_0}{n_{ц}}, \text{ Ом}; \quad (1.4)$$

$$B_{л} = l \cdot b_0 \cdot n_{ц}, \text{ мк См} \quad (1.5)$$

где l - длина трассы линии; $n_{ц}$ - количество цепей на ВЛ.

3. Аппаратура и материалы: Расчеты при выполнении лабораторной работы выполняются на калькуляторе или на ПЭВМ типа IBM с помощью программы Excel.

4. Указание по технике безопасности: При выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума и уровень вибрации на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений. Включать и выключать компьютер можно только с разрешения преподавателя. Запрещается разбор системного блока, а так же подключения к нему дополнительного оборудования.

5. Методика и порядок выполнения работы

По номеру варианта, заданному преподавателем, выбираются схема сети, мощности и коэффициенты мощности нагрузок, номинальные напряжения, сечения и длины линий.

По первой цифре номера варианта выбирается схема сети. Выбор осуществляется следующим образом: в соответствии с первой цифрой варианта по таблице П.1.1 определяются номера отключенных выключателей на схеме электрической сети, приведенной на рисунке П.1.1

По второй цифре номера варианта по данным таблицы П.1.2 определяются активные мощности и коэффициенты мощностей нагрузок подстанций. Далее по таблице П.1.3, по второй цифре номера варианта

определяются номинальные напряжения сети (в знаменателе – номинальные напряжения сети, подключенной к шинам подстанции №6), а также длины (в числителе) и сечения линий (в знаменателе).

Для заданной схемы сети (рисунок П.1.1) требуется:

1. Найти реактивную мощность нагрузок по формуле:

$$Q_{ni} = P_{ni} \operatorname{tg}(\varphi_{ni}), \quad (1.6)$$

где P_{ni} – активная мощность нагрузки подстанций i ;

$$\operatorname{tg}(\varphi_{ni}) = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_{ni})) \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2}}{\cos \varphi}.$$

2. Определить полную мощность нагрузки по формуле:

$$S_{ni} = \frac{P_{ni}}{\cos \varphi_{ni}}. \quad (1.7)$$

3. Результаты вычислений свести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Мощности нагрузок

№ п/ст	P_n , МВт	$\cos \varphi_{ni}$	Q_n , Мвар	S_n , МВ·А

4. Выбрать мощность трансформаторов на каждой подстанции и их тип, исходя из перегрузочной способности 1,6 при отключении одного трансформатора, т.е.

$$S_{ном\ i} \geq \frac{S_{расч\ i}}{1,6}, \quad (1.8)$$

где $S_{расч\ i}$ – полная мощность нагрузки соответствующей подстанции (S_{ni}).

Для подстанции 6 при определении $S_{расч\ 6}$ кроме собственной нагрузки необходимо учесть нагрузки подстанции 3 и 4 (в соответствии с вариантом схемы сети), т.е. $S_{расч\ 6} = S_{n6} + S_{n3} + S_{n4}$.

По полученным данным предварительно выбираем стандартные номинальные мощности трансформаторов из таблиц П.2.1-П.2.5.

Произвести расчет параметров схем замещения трансформаторов,

результаты расчета необходимо свести в таблицу 1.2 для двухобмоточных трансформаторов и в таблицу 1.3 для трехобмоточного трансформатора.

Таблица 1.2 – Каталожные и расчетные данные двухобмоточных трансформаторов

№ п/ст	Тип тр-ра	R_m , Ом	X_m , Ом	$K_{m/\varepsilon}$	ΔP_{xx}	ΔQ_{xx}

В таблице 1.2:

– Активное и реактивное сопротивление трансформатора равно:

$$R_m = \frac{r_{m\text{справочное}}}{n_m}, \quad X_m = \frac{x_{m\text{справочное}}}{n_m}, \quad (1.9)$$

где n_m - количество параллельно работающих трансформаторов ($n_m = 2$);

$r_{m\text{справочное}}$, $x_{m\text{справочное}}$ - активное и реактивное сопротивление двухобмоточного трансформатора по справочным данным, Ом

– Коэффициент трансформации принимает значения меньше или равном единице и определяется выражением:

$$K_{m/\varepsilon} = \frac{U_{НОМ\text{НН}}}{U_{НОМ\text{ВН}}}, \quad (1.10)$$

где $U_{НОМ\text{НН}}$, $U_{НОМ\text{ВН}}$ – справочные данные трансформатора номинальное напряжение на высокой стороне трансформатора и номинальное напряжение на низкой стороне трансформатора.

– Потери мощности холостого хода трансформаторов определяем по выражениям:

$$\Delta P_{xx} = \frac{n_m \cdot \Delta P_{x\text{справочник}}}{1000},$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{n_m \cdot \Delta Q_{x\text{справочник}}}{1000}, \quad (1.11)$$

где $\Delta P_{x\text{справочник}}$, $\Delta Q_{x\text{справочник}}$ – потери активной и реактивной мощности холостого хода трансформаторов по справочным данным, кВт, квар.

Таблица 1.3 – Каталожные и расчетные данные трехобмоточного трансформатора

№ п/ст	Тип тр-ра	ветви	R_m , Ом	X_m , Ом	$K_{m/\epsilon}$	ΔP_{xx}	ΔQ_{xx}
6		ВН					
		СН					
		НН					

В таблице 1.3:

– R_m и X_m определяется по выражениям (1.9) для соответствующих ветвей трансформатора (ВН, СН и НН).

– Коэффициенты трансформации трехобмоточного трансформатора определяются по выражению:

$$K_{m/\epsilon} = \frac{U_{НОМ X}}{U_{НОМ ВН}}, \quad (1.12)$$

где $U_{НОМ X}$ – справочные данные трансформатора номинальное напряжение на стороне X трансформатора, X принимает значения ВН, СН, НН

5. Произвести расчет параметров схем замещения линий, результаты расчета необходимо свести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Расчет параметров схемы замещения линий

Линия	$U_{ном}$, кВ	n_y	l , км	F , мм ²	r_o , Ом/км	x_o , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$, См/км	r_l , Ом	x_l , Ом	b_l мкСм

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные на выполнение лабораторной работы в соответствии с номером варианта.
3. Схему электрической сети в соответствии с номером варианта без отключенных участков схемы.
4. Таблицу расчета мощностей нагрузок подстанций.
5. Таблицу выбора трансформаторов.

6. Таблицу результатов расчета параметров схем замещения линий.
7. Выводы по работе.

7. Вопросы для защиты работы

1. Какие сети относятся к сложнзамкнутым?
2. Как выбирается мощности трансформаторов на подстанции?
3. Как определяются коэффициенты трансформации трехобмоточного трансформатора?
4. Как учитывается количество цепей линии при определении параметров схемы замещения?

Лабораторная работа 2

«Подготовка исходных данных для расчета режимов сложнозамкнутой сети»

1. Цель и содержание работы: Подготовка исходных данных для расчета режимов сложнозамкнутой электрической сети на ЭВМ с использованием промышленного программного комплекса RastrWin.

2. Теоретическое обоснование

Программа RastrWin разработана коллективом авторов Уральского политехнического института (г. Екатеринбург, Россия) и предназначена для расчёта и анализа установившихся режимов электроэнергетических систем на IBM-совместимых персональных ЭВМ. Предельный объём схемы полной версии программы 32000 узлов. Студенческая версия RastrWin, которая используется для выполнения лабораторных работ, имеет ограничения по числу узлов, максимальное количество которых не может превышать 60.

Программа RastrWin позволяет производить расчёт, эквивалентирование и утяжеление режима электрических сетей любой сложности и любого напряжения (от 0,4 до 1150 кВ), обеспечивает возможности экранного ввода и коррекции исходных данных, быстрого отключения узлов и ветвей схемы, имеет возможность районирования сети и графического представления схемы или отдельных ее фрагментов вместе с любыми исходными параметрами и результатами расчётов.

Подготовка исходных данных. Перед проведением расчётов исходные данные необходимо представить в форме, понятной RastrWin. Для этого составляется схема замещения всей сети, на которой проставляются номера всех узлов (включая среднюю точку трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора), которые должны быть уникальными и отличными от нуля целыми числами, а также номинальные напряжения для каждого узла. Отдельные элементы сети (энергосистема, генераторы, нагрузки, компенсирующие устройства, линии, трансформаторы)

представляются на схеме замещения в виде, показанном на рисунках 2.1 и 2.2.

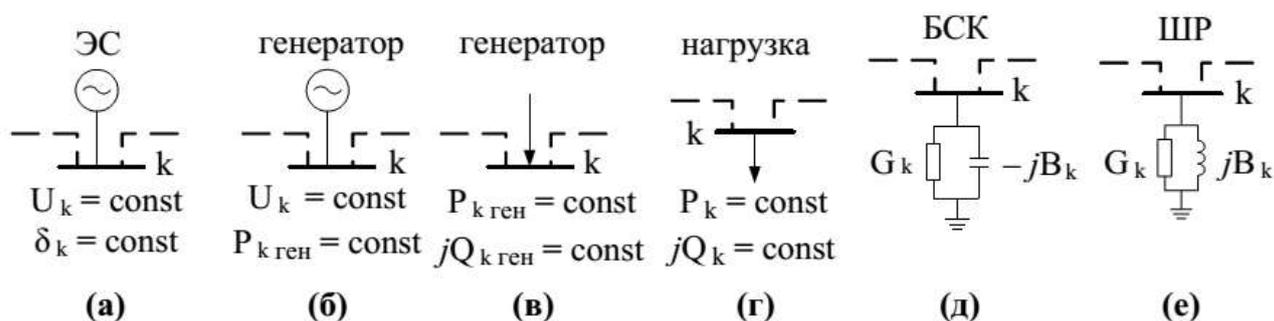


Рисунок 2.1 – Схемы замещения узлов электрической сети:

(а) – энергосистема; (б) – генератор с фиксированными напряжением и активной мощностью; (в) – генератор с фиксированной генерируемой мощностью; (г) – узел нагрузки; (д) – узел с БСК; (е) – узел с ШР.

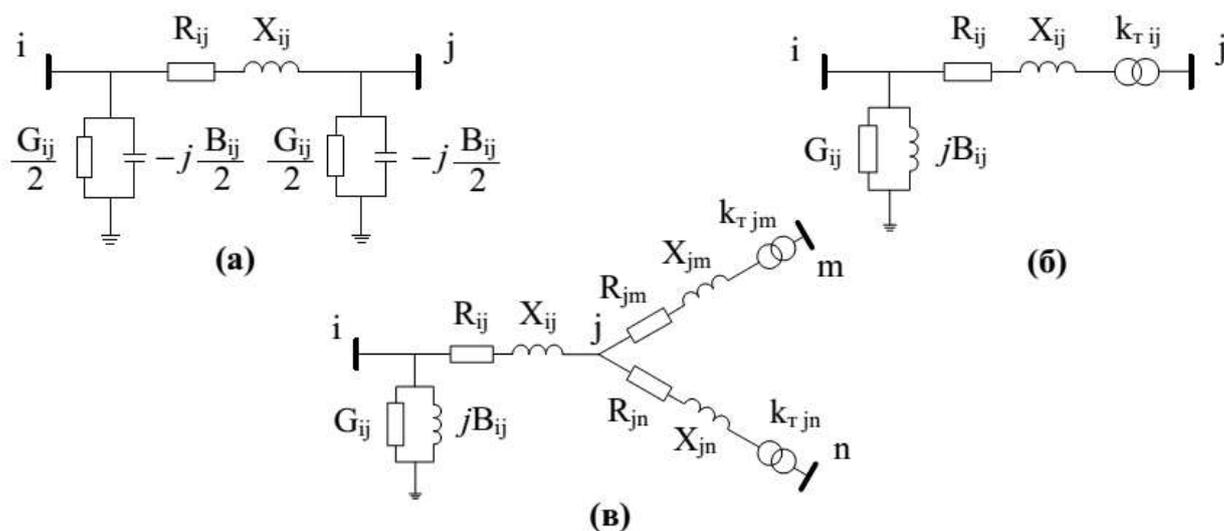


Рисунок – 2.2 Схемы замещения ветвей электрической сети:

(а) – ЛЭП; (б) – двухобмоточный трансформатор; (в) – трёхобмоточный трансформатор или автотрансформатор

3. Аппаратура и материалы: Расчеты при выполнении лабораторной работы выполняются на калькуляторе или на ПЭВМ типа IBM с помощью программы Excel.

4. Указание по технике безопасности: При выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума и уровень вибрации на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых

значений. Включать и выключать компьютер можно только с разрешения преподавателя. Запрещается разбор системного блока, а так же подключения к нему дополнительного оборудования.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Составить схему замещения заданной электрической сети. Пронумеровать все узлы схемы замещения. Узлами должны являться шины высокого и низкого напряжения подстанций 1–9. Для подстанции 6 дополнительно необходимо ввести узел, представляющий шины среднего напряжения. Ветвями в схеме замещения будут являться линии и двухобмоточные трансформаторы. Всем узлам схемы замещения необходимо присвоить уникальные номера в диапазоне от 1 до 999.

Параллельные элементы схемы замещения должны быть представлены одной ветвью с эквивалентными параметрами. Трехобмоточные трансформаторы на подстанции 6 лучше представить в виде двух ветвей; первой, соединяющей узлы высокого и среднего напряжений, и второй, соединяющей узлы среднего и низкого напряжений. Сопротивлением обмотки среднего напряжения можно пренебречь.

Фрагменты схемы замещения электрической сети и образец нумерации узлов приведен на рисунке 2.1.

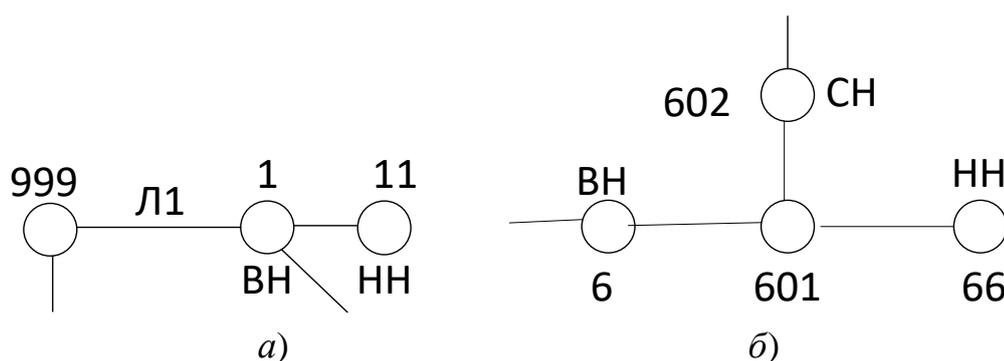


Рисунок 3 – Фрагменты схемы замещения электрической сети:

а) – ЦП–Л1–двухобмоточный трансформатор; б) – трёхобмоточный трансформатор или автотрансформатор.

2. Используя результаты выполнения лабораторной работы № 1

подготовить исходную информацию по схеме замещения для расчета на ЭВМ с использованием промышленного программного комплекса RastrWin в виде таблиц 2.1 и 2.2 для максимального, минимального и послеаварийного режимов. Напряжение балансирующего узла $U_{бал \text{ узла}}$ следует принять равным:

- 1,1 от номинального напряжения сети высокого напряжения для режима максимальных нагрузок;
- 1,02 от номинального напряжения сети высокого напряжения для режима минимальных нагрузок;
- 1,04 от номинального напряжения сети высокого напряжения для послеаварийного режима.

Наименьшая летняя нагрузка составляет 50 % от наибольшей зимней нагрузки. Номинальные напряжения узлов $U_{ном}$ рекомендуется принять равными номинальным напряжениям соответствующих сетей. В послеаварийном режиме отключается одна цепь на линиях 6 и 11 и одна из линий от источника питания (999-1, 999-5, 999-7).

Таблица 2.1 – Исходная информация по узлам

№ узла	$U_{ном}$, кВ	P , МВт	Q , Мвар
999		–	–
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
11			
22			
33			
44			
55			
66			
77			
88			
601		–	–
602		–	–

Где в таблицу 2.1:

– № узла – присвоенный номер узла на схеме замещения сети;
 – $U_{ном}$ – номинальное напряжение узла (1-602). Для балансирующего узла 999 напряжение следует принять в соответствии с п. 2, например в режиме максимальных нагрузок $U_0 = 1,1 * 110 = 121$ кВ;

– P , Q – активная и реактивная мощности нагрузки узла. Для шин ВН принимается равной потерям на холостой ход трансформаторов (таблица 1.2 и 1.3 лабораторная работа № 1), для шин НН – мощность нагрузки п/ст (таблица 1.1 лабораторная работа № 1).

Таблица 2.2 – Исходная информация по ветвям

	№ начала ветви	№ конца ветви	R , Ом	X , Ом	B , мкСм	$K_{m/\epsilon}$
Л1						–
Л2						–
Л3						–
Л-4						–
Л-5						–
Л-6						–
Л-7						–
Л-8						–
Л-9						–
Л-10						–
Л-11						–
п/ст1					–	
п/ст2					–	
п/ст3					–	
п/ст4					–	
п/ст5					–	
п/ст6					–	
п/ст7					–	
п/ст8					–	

Где в таблицу 2.2:

– № начала ветви, № конца ветви – номера узлов в соответствии со схемой замещения электрической сети п. 1;

– для линий R , X , B – берутся из таблицы 1.4 лабораторной работы № 1, $K_{m/\epsilon} = 0$. B – емкостная проводимость линии (вводится с отрицательным знаком), мкСм;

– для п/ст R , X и $K_{m/\epsilon}$ берутся из таблиц 1.2, 1.3 лабораторной работы № 1, $B = 0$.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные результаты выполнения лабораторной работы №1.
3. Схема замещения заданной электрической сети в соответствии с вариантом без отключенных участков схемы.
4. Исходную информацию по схеме замещения для расчета на ЭВМ с использованием промышленного программного комплекса RastrWin в виде таблиц Исходная информация по узлам и ветвям для:
 - максимального режима;
 - минимального режима
 - послеаварийного режима.
5. Выводы по работе.

7. Вопросы для защиты работы

1. Объясните термин режим максимальных нагрузок?
2. Как в лабораторной работе задан послеаварийный режим?
3. В чем отличие задания исходной информации по узлам для минимального режима от максимального режима?
4. В чем отличие задания исходной информации по ветвям для аварийного режима от максимального режима?
5. В чем отличие задания исходной информации по узлам и ветвям для минимального режима от послеаварийного режима?
6. Почему в замкнутой сети в послеаварийном режиме рассматривается авария на линии, отходящей от центра питания?

Лабораторная работа 3
«Расчет режима сложноразветвленной сети с помощью программы
RASTR»

1. Цель и содержание работы: Выполнение расчетов на ЭВМ с использованием промышленного программного комплекса RastrWin для максимального, минимального и послеаварийного режимов.

2. Теоретическое обоснование

2.1 Данные по узлам.

Ввод схемы сети начинаем с данных по узлам. Минимально необходимым набором информации для каждого узла сети является:

O – отметка узла (используется для сортировки, выборки, эквивалентирования и т.д.); в данном поле пусто, если узел не отмечен;

S – состояние узла (включен/отключен); во включенном состоянии узла поле является пустым;

Тип – тип узла (База, Нагр, Ген+, Ген–); определяется программой автоматически за исключением базисного (балансирующего) узла, в качестве которого необходимо задать шины энергосистемы (узел 999 – рисунок 1), выбрав в данной ячейке вариант База;

Номер – номер узла; задается в соответствии со схемой замещения сети рисунок 1;

Название – задается название узла (оставляем не заполненным);

U_ном – задается номинальное напряжение узла, [кВ];

P_н, Q_н – активная и реактивная мощности нагрузки в узле; заносятся величины в соответствии с таблицей 5 лабораторной работы № 2 P_n , МВт и Q_n , Мвар;

P_г, Q_г – активная и реактивная мощности генерации в узле; для базисного (балансирующего) узла – расчетные величины, [МВт] и [Мвар];

Q_{min}, Q_{max} – пределы генерации реактивной мощности в узле; задаются для генераторных узлов, [Мвар];

$V_{зд}$ – модуль фиксированного напряжения в узле, [кВ];

$G_{ш}$, $B_{ш}$ – активная и реактивная проводимости шунта на землю в узлах, где установлены БСК или ШР [мкСм];

V – расчётный модуль напряжения в узле; для базисного (балансирующего) и генераторного узла (рис.1.1, б) задаётся автоматически и фиксируется после задания величины $V_{зд}$, для остальных узлов рассчитывается программой, [кВ];

Δ – расчётный угол напряжения в узле; для базисного (балансирующего) узла задаётся и фиксируется величина δ , для остальных узлов рассчитывается программой, [град].

2.2 Данные по ветвям

Основными полями, в которые заносятся исходные данные по ветвям сети, являются:

O – отметка ветви (используется для сортировки, выборки, эквивалентирования и т.д.); в данном поле пусто, если ветвь не отмечена;

S – состояние ветви (включена/отключена); во включенном состоянии ветви поле является пустым; ветвь может быть отключена в начале, в конце или с обеих сторон;

$Тип$ – тип ветви (ЛЭП, Тр-р); определяется программой автоматически по значению ячейки, в которую заносится коэффициент трансформации ветви;

$N_{нач}$, $N_{кон}$ – номера узлов, которыми ограничена ветвь; для трансформатора начало ветви $N_{нач}$ – это обязательно тот узел, к напряжению которого приведены его параметры (как правило, это напряжение высокой обмотки);

$Название$ – название ветви; задаётся программой автоматически по известным названиям узлов, ограничивающих данную ветвь;

$N_{п}$ – номер параллельной ветви; задаётся, если несколько линий или трансформаторов работают параллельно;

R , X – активное и реактивное сопротивления ветви; задаются величины

в соответствии с таблицей 6 лабораторной работы № 2 – R , Ом и X , Ом;

B – реактивная проводимости ветви; задаются величины в соответствии с таблицей 6 лабораторной работы № 2 – B , мк См;

KT/r – вещественная часть комплексного коэффициента трансформации трансформатора; в это поле заносятся величины в соответствии с таблицей 6 лабораторной работы № 2 – $K_{m/e}$, важно: величина KT/r есть отношение номинального напряжения обмотки узла $N_{кон}$ к номинальному напряжению обмотки узла $N_{нач}$, т.е. $KT/r < 1$.

После занесения исходной информации в таблицы Узлы и Ветви созданный файл режима необходимо сохранить.

Создается 3 файла режима для режима максимальных, минимальных нагрузок и послеаварийного режима.

3. Аппаратура и материалы: Расчеты при выполнении лабораторной работы выполняются на ПЭВМ типа IBM с помощью промышленного программного комплекса RastrWin.

4. Указание по технике безопасности: При выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума и уровень вибрации на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений. Включать и выключать компьютер можно только с разрешения преподавателя. Запрещается разбор системного блока, а так же подключения к нему дополнительного оборудования.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Исходными данными являются результаты выполнения лабораторных работ: №1 – «Расчет параметров схемы замещения сложнзамкнутой электрической сети»; №2 – «Подготовка исходных данных для расчета режимов сложнзамкнутой сети» по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети».

Создаем файл режима сети, выполнив команду Новый в пункте Файлы главного меню и отметив галочкой тип файла режим.rg2 (Файлы–Новый–режим.rg2). Сохраним вновь созданный файл режима (Файлы–Сохранить

как...) в рабочем каталоге студента под именем, удобном для восприятия и идентификации, и содержащем информацию о группе, фамилии студента, номере варианта, типе режа сети, например:

ЕЕВ-111_Ivanov_11_max.rg2 – для режима максимальных нагрузок;

ЕЕВ-111_Ivanov_11_min.rg2 – для режима минимальных нагрузок;

ЕЕВ-111_Ivanov_11_na.rg2 – для послеаварийного режима.

После сохранения файла режима открываем два окна, содержащие пустые таблицы для ввода информации об узлах и ветвях сети (Открыть–Узлы–Узлы и Открыть–Ветви–Ветви).

Открытые таблицы Узлы и Ветви содержат столбцы и строки, в которые заносится информация об узлах и ветвях. Каждый столбец (поле) соответствует определённому виду данных (название, номинальное напряжение, сопротивления и т.д.), а каждая строка является записью (набором данных) для каждого узла или ветви.

Для добавления в таблицу строк, их удаления и дублирования, необходимо использовать команды Вставить, Добавить, Удалить, Дублировать в пункте Таблица главного меню (добавление происходит в конец таблицы, а вставка – перед выделенной строкой).

Перемещаться по столбцам и строкам таблиц можно с помощью мыши и соответствующих клавиш клавиатуры, а переключаться между режимами просмотра и редактирования таблицы – щелчком мыши на выделенной ячейке, клавишами Enter и F2.

2. Выполнить расчеты. Расчёт режима сети производится после выполнения команды Расчеты–Режим или нажатия клавиши F5.

Если расчёт завершился успешно (режим сошёлся), в окне Протокол не будет сообщений об ошибках.

Результаты расчёта режима сети, отображаются в таблице Узлы+Ветви (Открыть–Узлы–Узлы+Ветви).

3. Сделать скриншоты таблиц Узлы, Ветви и Узлы+Ветви для максимального, минимального и послеаварийного режима.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные результаты выполнения лабораторной работы № 2.
3. Схема замещения заданной электрической сети в соответствии с вариантом без отключенных участков схемы.
4. Исходную информацию подготовленную в программе RastrWin в виде таблиц Узлы и Ветви для максимального, минимального и послеаварийного режима.
5. Результаты расчета в программе RastrWin в виде таблиц Узлы+Ветви для максимального, минимального и послеаварийного режима.
6. Выводы по работе.

7. Вопросы для защиты работы

1. Какая информация используется в программе в качестве исходной?
2. Дайте краткую характеристику методов расчета режима электрической сети на ЭВМ.
3. Дайте краткую характеристику программ для ЭВМ, используемых для расчётов сложнзамкнутых сетей?
4. Какой математический метод расчета систем уравнений установившегося режима используется в программе RASTR?
5. Каким образом осуществляется ввод исходной информации о схеме замещения сети в программе RASTR?

Лабораторная работа 4

«Выбор регулировочных ответвлений на трансформаторах понижительных подстанций»

1. Цель и содержание работы: Произвести выбор регулировочных ответвлений на трансформаторах понижительных подстанций на основании расчетов по программе RastrWin для максимального, минимального и послеаварийного режимов.

2. Теоретическое обоснование

Регулирование напряжения осуществляется на источниках питания и на приемных понижающих подстанциях. В данной лабораторной работе рассматривается возможность регулирования напряжения на понижающих подстанциях. В качестве основного средства регулирования напряжения принимаются трансформаторы с регулированием рабочих ответвлений под нагрузкой (с РПН), для которых в справочных данных приводятся сведения о ступенях регулирования и месте их установки.

Понижающие двухобмоточные трансформаторы с РПН в нейтрали ВН. Ответвление высшей части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{H.жсл}$, может быть определено по выражению:

$$n_{отв.жсл} = \left(\frac{U_H}{U_{H.жсл}} - 1 \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{отв}}, \quad (4.1)$$

где U_H - действительное напряжение НН подстанции, рассчитанное на предыдущем этапе (распечатки расчета на ЭВМ);

$\Delta U_{отв}$ - ступень регулирования напряжения в процентах.

Вычисленное значение округляется до ближайшего целого числа с учетом максимального числа ответвлений. После этого следует определить действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции:

$$U_H^{\text{действ}} = \frac{U_H}{1 + n_{\text{отв}} \frac{\Delta U_{\text{отв}}}{100}} \quad (4.2)$$

и отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения:

$$\delta U = \frac{U_H^{\text{действ}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} 100\% . \quad (4.3)$$

Желаемое напряжение на шинах низшего напряжения определяется по выражению:

$$U_{\text{н жел}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} . \quad (4.4)$$

Трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы имеющие РПН в нейтрали ВН. Изменение коэффициентов трансформации между обмотками ВН и СН и обмотками ВН и НН производится взаимосвязано.

Определяем ответвление высшей части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах низшего напряжения $U_{\text{н жел}}$ по выражению (4.1). После этого определяем действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции по выражению (4.2) и отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения по выражению (4.3).

Определяем действительное напряжение на шинах среднего напряжения подстанции по выражению (4.2) для числа ответвлений определенных для низшего напряжения и отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения по выражению (4.3).

Трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы имеющие РПН в линии СН. Изменение коэффициентов трансформации производится только между обмотками ВН и СН.

Определяем ответвление высшей части обмотки, обеспечивающее желаемое напряжение на шинах среднего напряжения $U_{\text{с жел}}$, действительное напряжение на шинах среднего напряжения подстанции и отклонение напряжения на шинах среднего напряжения от номинального напряжения по выражениям (4.1-4.3).

Если требуется изменить под нагрузкой коэффициент трансформации между обмотками ВН и НН, то необходимо установить дополнительно

линейный регулятор последовательно с обмоткой НН.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Исходными данными являются результаты выполнения лабораторной работы №3 «Расчет режима сложноразветвленной сети с помощью программы RASTR» по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети».

2. Произвести выбор отпаяк РПН трансформаторов, используя выражения (4.1-4.3) отдельно для максимального, минимального и послеаварийного режима. Выбор отпаяк РПН трансформаторов 3 и 4 произвести без учета регулирования СН на 3-х обмоточном трансформаторе б.

3. Результаты выбора отпаяк РПН по всем подстанциям свести в таблицы для максимального, минимального и послеаварийного режима.

Таблица 4.1 – Результат выбора отпаяк РПН трансформаторов в режиме максимальных нагрузок

№	Регулирование напряжения	U_n	$U_{n\text{ жел}}$	$\Delta U_{отв}$	$n_{рас}$	n	$U_{\text{дейст}}$	$U\%$
11								
22								
33								
44								
55								
66								
602								
77								
88								

Примечание. Выбор отпаяк РПН трансформаторов для узлов 33 и 44 произведен без учета регулирования СН на 3-х обмоточном трансформаторе.

4. Определить КПД передачи электроэнергии в режиме максимальных нагрузок по выражению:

$$\eta = (\Sigma P_{\text{потр}} / P_{\text{ист.}}) \times 100\%; \quad (4.5)$$

где $\Sigma P_{\text{потр}}$ – суммарная активная мощность нагрузок всех подстанций;

$P_{\text{ист.}}$ – активная мощности генерации в базисном (балансирующем) узле
($P_{\text{г}}$ – расчётная величина в таблице Узлы).

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные результаты выполнения лабораторной работы № 3.
3. Схема замещения заданной электрической сети в соответствии с вариантом без отключенных участков схемы.
4. Пример расчета при выборе отпайки РПН для одного трансформатора.
5. Таблицы с результатами выбора отпаяк РПН по всем подстанциям для максимального, минимального и послеаварийного режима.
6. Расчет КПД передачи электроэнергии в режиме максимальных нагрузок по выражению
7. Выводы по работе.

7. Вопросы для защиты работы

1. Какие средства регулирования напряжения используются в электрических сетях?
2. В чем отличие трансформаторов с РПН и ПБВ?
3. На подстанции с трехобмоточным трансформатором РПН на ВН. Требуется принципиально различные режимы регулирования напряжения на СН и НН. Устройство РПН используют для регулирования напряжения на СН или НН и почему?
4. Какие дополнительные средства регулирования напряжения могут применяться на стороне НН и СН?

Список рекомендуемой литературы

1 Список основной литературы

1.1 Веников В.А. Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнергетических специальностей вузов/ В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – 2-е изд. М.: Высшая школа, 1998.

1.2 Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие/ А.А. Герасименко, В.Ф. Федин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ; Минск: БНТУ, 2006. – 808 с.

1.3 Справочник по проектированию электрических сетей/ Под редакцией Д. Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006 – 320 с.

1.4 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии/ под общ. ред. Л.И. Попова (гл. ред.) и др. – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. –964 с.

2 Список дополнительной литературы

2.1 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. –М.: Энергоатомиздат, 1989.– 592 с.

2.2 Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб, и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985.– 352 с.

2.3 Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов: Учеб. пособие для студентов электроэнергет. спец. вузов, 2-е изд. , Под ред. В.М. Блок.– М. : Высш. шк., 1990. – 383 с.

Исходные данные для выполнения лабораторных работ

Таблица П.1.1 – Выбор варианта схемы

Номер схемы (первая цифра)	1	2	3	4	5
Отключенные выключатели	14, 21, 23, 24	9, 10	3, 11, 12, 13, 14, 21	17, 18, 19, 22	4, 5, 6, 20

Таблица П.1.2 – Активные мощности нагрузок P_n (МВт) и коэффициенты мощности $\cos\varphi$

Последняя цифра	п/ст 1	п/ст 2	п/ст 3	п/ст 4	п/ст 5	п/ст 6	п/ст 7	п/ст 8
1	20/ 0,8	15/ 0,9	5/ 0,85	10/0,92	20/ 0,8	15/0,9	10/0,85	15/0,92
2	20/0,85	25/0,8	15/0,9	10/0,85	40/0,92	25/0,8	50/0,85	45/0,9
3	10/0,92	10/0,8	10/0,8	5/0,9	10/0,85	15/0,92	20/0,8	5/0,9
4	25/0,9	20/0,85	10/0,9	15/0,8	20/0,9	25/0,85	30/0,92	40/0,85
5	15/0,8	20/0,9	5/0,92	10/0,85	15/0,8	20/0,85	15/0,9	5/0,92
6	40/0,85	45/0,9	15/0,8	10/0,92	25/0,85	25/0,8	20/0,9	30/0,92
7	5/0,9	15/0,85	10/0,92	5/0,9	15/0,85	20/0,8	15/0,9	10/0,8
8	30/0,92	40/0,9	10/0,8	15/0,85	35/0,9	25/0,85	25/0,8	20/0,92
9	5/0,8	10/0,9	5/0,85	10/0,93	10/0,8	15/0,9	20/0,9	5/0,85
0	25/0,85	40/0,9	15/0,8	10/0,85	35/0,9	25/0,9	40/0,9	25/0,8

Таблица П.1.3 – Длины (км) и сечения линий (мм²)

Последняя цифра	$U_{ном}$, кВ	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9	Л10	Л11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	110/35	20/120	30/150	40/185	50/240	60/150	5/120	10/150	20/150	30/185	40/240	50/120
2	220/110	80/240	85/300	90/400	95/240	100/300	20/150	30/185	80/300	85/400	90/240	95/300
3	110/35	30/120	40/150	50/185	60/240	20/120	10/120	15/150	30/150	40/185	50/240	60/240
4	220/110	85/240	90/300	95/400	100/240	80/300	30/185	20/240	85/240	90/300	95/400	100/240
5	110/35	40/150	50/185	60/240	20/150	30/185	15/150	5/150	40/185	50/240	60/240	20/185
6	220/110	90/300	95/300	100/400	80/240	85/300	20/150	20/240	90/400	95/300	100/300	80/400
7	110/35	50/150	60/185	20/150	30/185	40/185	5/120	5/150	50/185	60/240	20/150	30/185
8	220/110	95/300	100/400	80/300	85/400	90/300	20/185	30/185	95/300	100/400	80/240	85/300
9	110/35	60/240	20/150	30/185	40/240	50/240	10/120	10/150	60/240	20/185	30/185	40/240
0	220/110	100/400	80/300	85/300	90/400	95/300	20/185	20/240	100/400	80/240	85/300	90/300

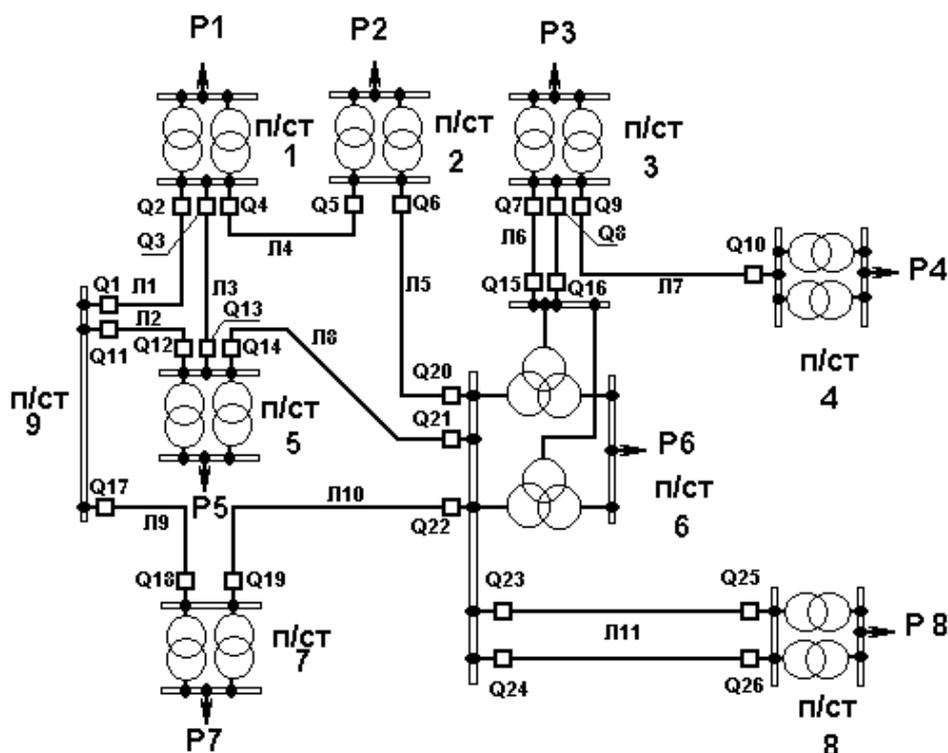


Рисунок П.1.1 – Схема сети

Основные каталожные и расчетные данные трансформаторов

Таблица П.2.1 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип	$S_{ном},$ МВ·А	Регулиро- вание на- пряжения	Каталожные данные				Расчетные данные				
			$U_{ном}$, кВ		$u_k, \%$	$\Delta P_k,$ кВт	$\Delta P_{X3},$ кВт	$I_{X3}, \%$	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$\Delta Q_{X3},$ квар
			ВН	НН							
ТМН (ТМ)-1000/35	1	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4	8,6	49,8	22,1
ТМН (ТМ)-1600/35	1,6	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	12,4	49,2	17,6
ТМН (ТМ)-2500/35	2,5	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	5,1	31,9	27,5
ТМН (ТМ)-4000/35	4,0	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6	23	40
ТМН (ТМ)-6300/35	6,3	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4	14,6	56,7
ТМН-10000/35	10	$\pm 9 \times 1,3\%$	36,75	10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,88	10,1	80

Таблица П.2.2 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{ном},$ МВ·А	Регулиро- вание на- пряжения	Каталожные данные				Расчетные данные				
			$U_{ном},$ кВ		$u_k, \%$	$\Delta P_k,$ кВт	$\Delta P_{X3},$ кВт	$I_{X3}, \%$	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$\Delta Q_{X3},$ квар
			ВН	НН							
ТМН-2500/110	2,5	$\pm 10 \times 1,5\%$	110	11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
ТМН-6300/110	6,3	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
ТДН-10000/110	10	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
ТДН-16000/110	16	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТРДН-25000/110	25	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
ТРДН-40000/110	40	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
ТРДЦН-63000/110	63	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
ТРДЦН-80000/110	80	$\pm 9 \times 1,78\%$	115	10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480

Таблица П.2.3 – Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ·А	Каталожные данные										Расчетные данные							
		$U_{\text{ном}}$, обмоток, кВ			i_k , %			ΔP_k , кВт	ΔP_{x3} , кВт	I_{k3} , %	$R_{\text{т}}$, Ом			$X_{\text{т}}$, Ом			Q_x , квар		
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН			
ТМТН-6300/110	6,3	115	38,5	11	10,5	17	6	58	14	1,2	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6		
ТДТН-10000/110	10	115	38,5	11	10,5	17	6	76	17	1,1	5	5	5	142,2	0	82,7	110		
ТДТН-16000/110	16	115	38,5	11	10,5	17	6	100	23	1,0	2,6	2,6	2,6	88,9	0	52	160		
ТДТН-25000/110	25	115	38,5	11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175		
ТДТН-40000/110	40	115	38,5	11	10,5	17	6	200	43	0,6	0,8	0,8	0,8	35,5	0	22,3	240		
ТДТН-63000/110	63	115	38,5	11	10,5	17	6,5	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441		
ТДТН-80000/110	80	115	38,5	11	11	18,5	7	390	82	0,6	0,4	0,4	0,4	18,6	0	11,9	480		

Все трансформаторы имеют РПН $\pm 9 \times 1,78\%$ в нейтрали ВН

Таблица П.2.4 – Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ·А	Регулирование напряжения				Каталожные данные						Расчетные данные			
						$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		i_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_{x3} , кВт	I_{x3} , %	$R_{\text{т}}$, Ом	$X_{\text{т}}$, Ом	ΔQ_x , квар	
						ВН	НН								
ТРДН-32000/220	32	РПН в нейтрали ВН $\pm 12\%$, ± 12 ступеней				230	6,6	11,5	150	45	0,65	7,7	190,5	208	
ТРДНС-40000/220	40					230	11	11,5	170	50	0,9	5,6	152,4	360	
ТРДНС-63000/220	63					230	6,3	11,5	300	82	0,8	3,9	96,7	504	
ТДЦ-80000/220	80	ПБВ на стороне ВН $\pm 2 \times 2,5\%$				242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480	

Таблица П.2.5 – Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{ном},$ МВ·А	Регулирование напряжения	Каталожные данные										Расчетные данные						
			$U_{ном},$ обмо- ток, кВ		$i_{кз}, \%$				$\Delta P_{кз},$ кВт		$\Delta P_{х},$ кВт	$I_{х},$ %	$R_{т},$ Ом		$X_{т},$ Ом		$\Delta Q_{х},$ квар		
					ВН- СН	ВН- НН	СН- НН	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН			ВН	СН	ВН	СН		НН	
АТДЦТН- 63000/220/110	63	РПН в линии СН ±12%, ± 6 ступеней	230	121	11	35	22	215	–	–	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
АТДЦТН- 125000/220/110	125	РПН в линии СН ±12%, ± 6 ступеней	230	121	11	45	28	305	–	–	65	0,5	0,52	0,52	3,2	49,0	0	131	625
АТДЦТН- 200000/220/110	200	РПН в линии СН ±12%, ± 6 ступеней	230	121	11	32	20	430	–	–	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
АТДЦТН- 250000/220/110	250	РПН в линии СН ±12%, ± 6 ступеней	230	121	11	33,4	20,8	520	–	–	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250

Расчетные данные ВЛ со сталеалюминиевыми проводами

Таблица П 3.1 – Расчетные данные ВЛ 35–150 кВ со сталеалюминиевыми проводами [6]

Номинальное сечение, мм ² (алюминий/сталь)	r_0 , Ом/км при 20 °С	150 кВ		110 кВ		35 кВ
		x_0 , Ом/км	b_0 , см/км 10 ⁻⁶	x_0 , Ом/км	b_0 , см/км 10 ⁻⁶	x_0 , Ом/км
70/11	0,422	—	—	0,444	2,547	0,432
95/16	0,301	—	—	0,434	2,611	0,421
120/19	0,244	0,441	2,565	0,427	2,658	0,414
150/24	0,204	0,434	2,611	0,420	2,707	0,406
185/29	0,159	0,429	2,645	0,413	2,747	—
240/32	0,118	0,420	2,702	0,405	2,808	—

Таблица П 3.2 – Расчетные данные ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами [6]

Номинальное сечение, мм (алюминий/сталь)	Число проводов в фазе, шт.	r_0 , Ом/км при 20 °С	220 кВ	
			x_0 , Ом/км	b_0 10 ⁻⁶ , см/км
240/32	1	0,1180	0,435	2,604
	2	0,0590	—	—
240/56	5	0,0240	—	—
300/39	1	0,0960	0,429	2,645
	2	0,0480	—	—
300/48	8	0,0123	—	—
300/66	3	0,0330	—	—
	5	0,0200	—	—
330/43	3	0,0290	—	—
	8	0,0109	—	—
400/51	1	0,0730	0,42	2,701
	2	0,0365	—	—
	3	0,0243	—	—
	5	0,0146	—	—
400/64	4	0,0187	—	—
500/64	1	0,0590	0,413	2,740
	2	0,0295	—	—
	3	0,0197	—	—
	4	0,0148	—	—

