

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Ф. Белей

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов бакалавриата
по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.31

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
В.И. Гнатюк

Белей, В.Ф.

Электрические станции и подстанции: учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / **В. Ф. Белей.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 44 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины представлены фундаментальные знания о структуре и основных показателях электрических станций и подстанций и электротехнического оборудования; особенностях их режимов работы для достижения соответствующих умений и компетенций. Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с основной профессиональной образовательной программой по данному направлению подготовки.

Табл. – 4, рис. – 19, список литературы – 9 наименований.

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 22.02.2023 г., протокол № 06

УДК 621.31

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© В. Ф. Белей, 2023 г.

Содержание

Введение	4
1. Тематический план занятий	7
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	13
3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы	
студентов	19
Список рекомендуемой литературы.....	20
Приложение 1	21
Приложение 2	24
Приложение 3	31
Приложение 4	40
Приложение 5	41

Введение

Дисциплина «Электрические станции и подстанции» входит в состав основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Целью освоения дисциплины является знакомство с основным электрооборудованием электрических станций и подстанций, умений и навыков в выборе условий их работы в составе электроэнергетической системы.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

- структуру и основные показатели электрических станций и подстанций;
- схемы и основное электротехническое и коммуникационное оборудование электрических станций и подстанций;
- основные режимы работы электротехнического оборудования электрических станций и подстанций;

уметь:

- проводить необходимые исследования в сфере своей профессиональной деятельности;
- применять и эксплуатировать электрооборудование электрических станций и подстанций;
- анализировать техническую информацию по электрооборудованию, схемам электрических соединений электрических станций и подстанций;
- работать над проектами электрических станций и подстанций;
- графически отображать схемы распределительных устройств;

владеть:

- методами расчета и выбора основного электротехнического и коммутационного оборудования электрических станций и подстанций.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля относятся:

- задания и контрольные вопросы к лабораторным работам (для студентов всех форм обучения);
- задания для практических занятий (для студентов всех форм обучения);
- тестовые задания по дисциплине (для студентов всех форм обучения);
- задания по контрольной работе для студентов заочной формы обучения.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме:

- дифференцированного зачета;
- курсового проекта;
- экзамена.

По лабораторному практикуму оценка выполненной лабораторной работы производится при представлении студентом отчета и на основании ответов на вопросы по тематике работы. Обучающийся, самостоятельно выполнивший задание и продемонстрировавший знание теоретических вопросов и умение провести экспериментальное исследование, получает по лабораторной работе оценку «зачтено».

В течение семестра по результатам выполнения работы студента на практических занятиях выставляется экспертная оценка по пятибалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» (табл. 1).

Тестовые задания по дисциплине используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование проводится после рассмотрения на лекциях и практических занятиях соответствующих тем. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – 50-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 50 % правильных ответов.

Дифференцированный зачет выставляется по результатам текущего контроля успеваемости при условии выполнения и успешной защиты практических заданий, лабораторных работ, по результатам тестирования. Порядок и правила выставления зачета по дисциплине преподаватель сообщает обучающимся в начале учебного семестра.

Для защиты *курсового проекта* студент представляет пояснительную записку и чертежи, выполненные в соответствии с требованиями ГОСТ.

К *экзамену* допускаются студенты, получившие положительную экспертную оценку на практических занятиях и защитившие все предусмотренные программой лабораторные работы.

При промежуточной аттестации по дисциплине учитываются оценки студента по лабораторному практикуму, практическим занятиям и курсовому проекту.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся вопросы для подготовки к экзамену, представленных в Приложении 1.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя систему оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Критерии оценивания представлены в таблице 1.

Оценка является экспертной и зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины.

Таблица 1 - Критерии оценивания устных ответов

Система оценивания	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерии	2	3	4	5
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

1. Тематический план занятий

Тема 1. Современные типы электростанций и подстанций

Ключевые вопросы темы

1. Критерии оценки эффективности
2. Типы электростанций, их КПД и установленная мощность.
3. Режимы энергосистемы, расположение электростанций на графике нагрузки сети.
4. Холодный и горячий резерв

Тема 2. Проводники, изоляторы и кабели. Коммутационные электрические аппараты

Ключевые вопросы темы

1. Конструкции неизолированных жестких и гибких проводников, изоляторов.
2. Процесс гашения электрической дуги в коммутационных аппаратах.
3. Типы выключателей, их конструктивные особенности.

Практическая работа 1. Нагрузочная способность проводников.

Задание.

Определить продолжительно допустимые токи окрашенных трубчатых шин, выполненных из алюминия марки АДО, а также из алюминиевых сплавов АД31Т1 и 1915Т и расположенных в закрытых распределительных устройствах. Наружный диаметр шин $D = 100$ мм, толщина стенки $l = 5$ мм. При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ удельное электрическое сопротивление шин из алюминия марки АДО $\rho = 0,029 \cdot 10^{-6}$, из сплавов АД31Т1 и 1915Т — соответственно, $0,0325 \cdot 10^{-6}$ и $0,0517 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Тема 3. Нагрев проводников и электрических аппаратов

Ключевые вопросы темы

Уравнение теплового баланса

Нагрев проводников, электрических аппаратов в продолжительных режимах и при коротких замыканиях, связь с допустимыми температурами нагрева.

Нагревание стальных конструкций, расположенных в сильных магнитных полях. Методы снижения нагревания стальных конструкций

Термическая стойкость проводников и электрических аппаратов

Практическая работа 2. Термическая стойкость.

Задание.

Выбрать по наибольшему продолжительному току и проверить на термическую стойкость медные шины к трансформатору СН при следующих условиях. На станции установлены два турбогенератора ТВФ-100-2 мощностью по 100 МВт; 10,5 кВ; $X_d'' = 0,191$; апериодическая постоянная времени генератора $T_{ag} = 0,3$ с.

А также два трансформатора СН мощностью по 16 МВА. При нормальной работе станции нагрузка трансформатора СН составляет 8 МВт, $\cos\varphi = 0,85$. В случае отключения одного трансформатора СН нагрузка второго удваивается.

Связь станции с сетью системы осуществляется через два трансформатора. Эквивалентное сопротивление этих трансформаторов, отнесенное к базисной мощности 160 МВА, составляет $X_c = 0,4$; апериодическая постоянная времени системы $T_{ac} = 0,06$ с. Время отключения КЗ составляет $t_k = 0,4$ с.

Тема 4. Электродинамические силы в токопроводах и аппаратах

Ключевые вопросы темы

Оценка электродинамической стойкости токопроводов и электрических аппаратов, при возникновении коротких замыканий в электроэнергетической системе, на электростанциях и подстанциях.

Методы расчетов электродинамической стойкости токопроводов.

Практическая работа 3. Электродинамическая стойкость.

Задание.

Условие: Проверить на электродинамическую стойкость многопролетный токопровод 110 кВ (рисунок 1) при следующих условиях: длина пролета $l = 8$ м, расстояние между фазами $a = 1$ м. Проводники трубчатые из алюминиевого сплава АД31Т1 имеют диаметр $D = 120$ мм, толщину стенки $t = 10$ мм, массу $m' = 7,92$ кг/м. Модуль упругости материала проводника $E = 7 \cdot 10^{10}$ Н/м², условный предел текучести $\sigma = 147$ Н/мм²

Использованы опорные изоляторы типа ОСК-10-110-А-4 (минимальная разрушающая нагрузка $P_{pz} = 21000$ Н, высота $h = 1050$ мм). Периодическая со-

ставляющая тока при трехфазном КЗ $I_{п} = 30$ кА, время паузы при АПВ $t_{п} = 0,35$ с

Тема 5. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Синхронные генераторы и компенсаторы

Ключевые вопросы темы

1. Изучение параметров и конструктивных особенностей трансформаторов
2. Энергосберегающие трансформаторы на аморфных сплавах
3. Системы охлаждения, тепловые режимы трансформаторов
4. Способы изменения коэффициента трансформации
5. Перегрузочная способность трансформаторов
6. Синхронные генераторы: типы, особенности конструкции, область применения. Генераторы с воздушным охлаждением

Основной материал, необходимый для изучения данной темы представлен в приложении 2.

Практическая работа 4. Нагрузочная способность трансформаторов.

Задание.

Выбрать номинальную мощность и тип трансформатора для однострансформаторной понижающей ПС 110/10 кВ, предназначенной для электроснабжения потребителей III категории (централизованный трансформаторный резерв предусмотрен) с максимальной нагрузкой $P_{max} = 10$ МВт при $\cos\varphi = 0,8$. Эквивалентная температура воздуха $\vartheta_{охл} = -10$ °С зимой и 20°С летом (район Москвы). Суточные графики нагрузки в зимний и летний периоды года приведены на рис. 1.

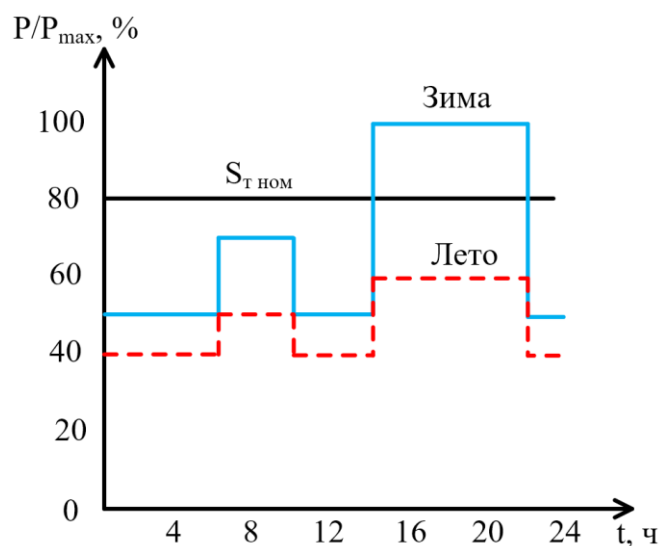


Рисунок 1 – график нагрузки однотрансформаторной ПС

Тема 6. Измерительные трансформаторы и устройства

Ключевые вопросы темы

1. Трансформаторы напряжения, трансформаторы тока
2. Ёмкостные делители напряжения параметры
3. Схемы соединения обмоток, область применения

Тема 7. Электрические схемы электростанций и подстанций

Ключевые вопросы темы

1. Главная схема соединений электростанций и подстанций: определение, элементы.
2. Особенности структурных и принципиальных схем конденсационных электростанций (КЭС), теплоэлектростанций (ТЭЦ), атомных электростанций (АЭС), гидроэлектростанций (ГЭС), парогазовых установок (ПГУ), газотурбинных установок (ГТУ) и подстанций (ПС)

Практическая работа 5. Выбор способа ограничения тока короткого замыкания.

Задание.

Для ТЭЦ выбрать линейные реакторы на отходящих кабельных линиях 10 кВ местной нагрузки при наличии секционного реактора. Исходные данные для кабельной сети:

- число распределительных пунктов - 16;
- категория потребителей I и II;
- все линии резервированы;

- длина линий от ГРУ 10 кВ до РП - 2 км;
- в линии проложены кабели с алюминиевыми жилами сечением

$$S = 150 \text{ мм}^2;$$

- максимальная нагрузка каждой подстанции $P_{max} = 5000 \text{ кВт}$ при $\cos\varphi = 0,87$, $T_{max} = 5600 \text{ ч}$;
- минимальное сечение кабелей, отходящих от РП, составляет 70 мм^2 (алюминиевые жилы), на линиях установлены выключатели типа ВПМ-10-20/630УЗ ($I_{откл\text{ ном}} = 20 \text{ кА}$);
- начальное значение периодической составляющей начального тока КЗ на сборных шинах 10 кВ ТЭЦ $I_{n0} = 64,01 \text{ кА}$.

Основной материал, необходимый для изучения данной темы представлен в приложении 3.

Тема 8. Собственные нужды электростанций и подстанций

Ключевые вопросы темы

Мощность и расход электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций различных типов

Особенности принципиальных схем собственных нужд конденсационных электростанций (КЭС), теплоэлектростанций (ТЭЦ), атомных электростанций (АЭС), гидроэлектростанций (ГЭС), парогазовых установок (ПГУ), газотурбинных установок (ГТУ) и подстанций (ПС)

Основной материал, необходимый для изучения данной темы представлен в приложении 4.

Практическая работа 6. Расчет токов КЗ для выбора электрооборудования.

Задание.

При трехфазном КЗ на шинах 220 кВ ТЭЦ (точка КЗ на рис. 2) определить начальное значение периодической составляющей тока в месте КЗ I_{n0} , значение периодической и апериодической составляющих в момент времени $t = 0,06 \text{ с}$, а также ударный ток КЗ.

Параметры различных элементов схемы:

- Генераторы G1 и G2: $P_{\text{НОМ}} = 110 \text{ МВт}$, $U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}$, $\cos\varphi = 0,8$, $x_{d(\text{НОМ})}'' = 0,189$, $x_2 = 0,23$, $T_b^{(3)} = 0,41 \text{ с}$.
- Трансформаторы T1 и T2: $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, $n = 230/10,35 \text{ кВ}$, $u_k = 11\%$, $\Delta p_k = 315 \text{ кВт}$.
- Трансформаторы собственных нужд TCH1 и TCH2: $S_{\text{НОМ}} = 10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, $n = 10,5/6,3 \text{ кВ}$, $u_k = 8\%$, $\Delta p_k = 60 \text{ кВт}$.
- Реактор LR1: $U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 4000 \text{ А}$, $X = 0,18 \text{ Ом}$, $\Delta p = 27,7 \text{ кВт}$.
- Реакторы LR2 и LR3: $U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$, $X = 0,35 \text{ Ом}$, $\Delta p = 5,9 \text{ кВт}$.
- Линии W1 и W2: $l = 150 \text{ км}$, $x_{\text{ул}} = 0,429 \text{ Ом/км}$, $R_{\text{ул}} = 0,098 \text{ Ом/км}$.
- Система C: $S_{\text{С НОМ}} = 4000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, $x_{\text{С(НОМ)}} = 1,1$, $X_{\text{С}}/R_{\text{С}} = 15$.

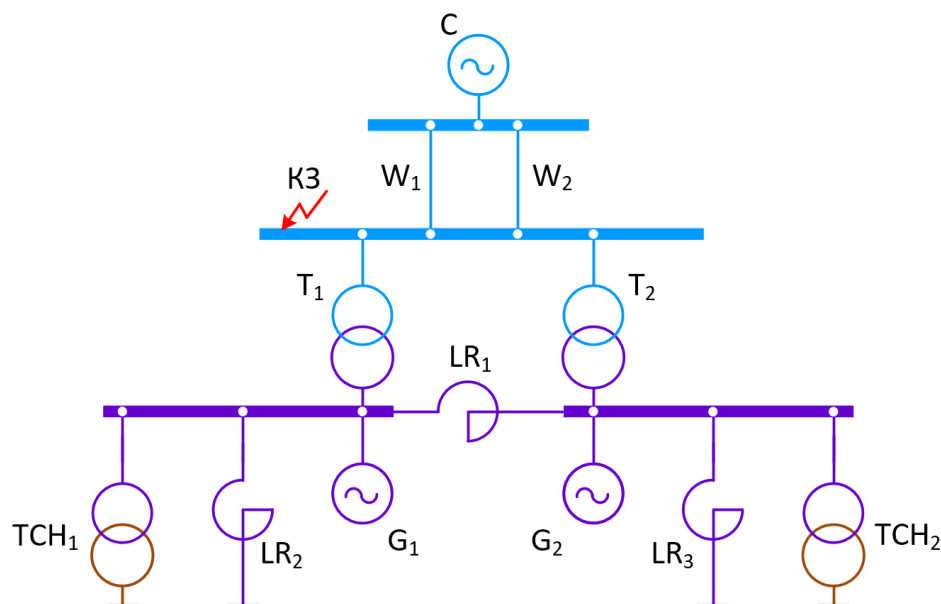


Рисунок 2 – Расчетная схема

Тема 9. Схемы распределительных устройств электроустановок.

Ключевые вопросы темы

Типовые схемы распределительных устройств электростанций и подстанций

Область применения типовых схем

Схемы подстанций на низшем напряжении

Основной материал, необходимый для изучения данной темы представлен в приложении 5.

Тема 10. Оперативный ток на электростанциях и подстанциях

Ключевые вопросы темы

Общие сведения об оперативном токе: область применения, виды

Источники постоянного оперативного тока

Выбор мощности аккумуляторной батареи

Выбор зарядных агрегатов

Источники переменного оперативного тока

Тема 11. Заземляющие устройства электрических станций и подстанций

Ключевые вопросы темы

Общие сведения о заземляющих устройствах

Опасность замыканий на землю

Удельное сопротивление грунта и воды. Расчет сопротивления грунта.

Конструкции защитных заземлений

Схема расчета заземления

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. «РАЗЪЕДИНИТЕЛИ»

Задание: на основе изучения конструкций и технических параметров разъединителей, выяснить их области применения, управления и требования к эксплуатации.

Контрольные вопросы.

1. Какие операции производятся разъединителями, какие при этом должны быть соблюдены условия?
2. Каких типов и на какие номинальные напряжения выпускаются разъединители?
3. Чем обусловлены конструктивные различия главных ножей разъединителей РВ-10/1000 и РВРЗ-2-10/2000?
4. Что такое магнитный замок, его принцип действия?
5. Какими блокировками снабжаются современные разъединители, их назначение?
6. Какие части разъединителей воспринимают электродинамические силы, возникающие при коротких замыканиях?

7. Почему недопустимо отключение разъединителей и отделителей под нагрузкой?
8. Как должен действовать оперативный персонал при выполнении операций включения и отключения разъединителей?

Лабораторная работа №2. «МАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ»

Задание: провести исследование работы выключателя согласно заданию, изложенному в методических указаниях, выяснить назначение, область применения, преимущества и недостатки современных масляных выключателей.

Контрольные вопросы.

1. Какое назначение имеет выключатель?
2. Какие функции выполняет масло в баковых и маломасляных выключателях?
3. Перечислите основные достоинства и недостатки баковых и маломасляных выключателей?
4. С какой целью используют многократный разрыв?
5. Укажите путь протекания тока через масляные выключатели типа МКП-110М и ВМП-10 при включенном положении.
6. Какие части выключателя воспринимают электродинамические силы, возникающие при коротких замыканиях?
7. На основании проведенного опыта дайте трактовку соотношения между временем включения и временем отключения выключателя ВМП-10.
8. Объяснить назначение активных сопротивлений, встроенных в выключатель.

Лабораторная работа №3 «ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ»

Задание: оценить технические характеристики, выяснить назначение, область применения, преимущества и недостатки современных масляных выключателей.

Контрольные вопросы.

1. Каковы химические свойства элегаза, позволяющие ему гасить дугу?
2. Основные достоинства и недостатки элегаза?
3. Назовите область применения элегазовых выключателей.
4. Какие типы выключателей конкурируют с элегазовыми в различных классах напряжений?
5. Назовите основные технические характеристики элегазового выключателя.
6. Какие вы знаете типы дугогасительных камер элегазовых выключателей?
7. Зачем необходим контроль плотности элегаза?

Лабораторная №4. «ВОЗДУШНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ»

Задание: изучить систему управления, рассмотреть и проанализировать технические характеристики выключателя, выяснить область применения, преимущества и недостатки существующих воздушных выключателей.

Контрольные вопросы.

1. Какова роль шунтирующих резисторов и конденсаторов, установленных на дугогасительном устройстве выключателя?
2. Чем определяется расстояние, на которое расходятся дугогасительные контакты воздушных выключателей при их отключении, и каков порядок этой величины?
3. Каковы пути обеспечения необходимой электрической прочности разрыва в воздушных выключателях?
4. Каким образом производится комплектация выключателей серии ВНВ на разные напряжения?
5. Какие типы гасительных камер используются в воздушных выключателях?
6. Какое назначение имеют отделители в генераторном воздушном выключателе ВВГ-20?

Поясните устройство камеры с многократным разрывом, их назначение и принцип выполнения.

Лабораторная работа № 5. «ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ».

Задание: провести исследование работы выключателя согласно заданию, изложенному в методических указаниях, выяснить назначение, область применения, преимущества и недостатки современных вакуумных выключателей.

Контрольные вопросы.

1. Конструктивное выполнение и основные достоинства вакуумных выключателей.
2. Опишите процесс включения и отключения выключателя ВВ /TEL-10.
3. Как происходит гашение дуги в вакуумных выключателях? Опишите конструкцию дугогасительной камеры.
4. Опишите работу схемы управления выключателя.
5. Для чего служит разделительный трансформатор?

Лабораторная работа № 6. «ТРЕНАЖЕР МОДУС. ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ»

Задание: изучение тренажера для электростанций и подстанций; выполнение заданий по оперативным переключениям:

1. Аварийное отключение выключателя 10 кв при КЗ на отходящем фидере
2. Отключение и заземление линии 110кВ для проведения на ней ремонтных работ
3. Оперативные переключения при аварийном отключении линии 110кв на тепловой электростанции (неуспешное дистанционное включение).

Контрольные вопросы.

1. Пояснить назначение каждого элемента схемы тренажера.
2. В каких случаях оперативный ток необходимо снять с привода?
3. Что предусматривается в тренажере для соблюдения правил техники безопасности?
4. Пояснить предназначение и принцип действие автоматического повторного включения в данном тренажёре.

5. С какой стороны начинается процесс отключения линии электропередачи напряжением 110 кВ?
6. Пояснить необходимость каждой из операций, выполняемой в процессе производства оперативных переключений, конкретно по каждой лабораторной работе.
7. Рассмотреть возможные варианты изменения последовательности выполняемых операций.
8. Рассмотреть возможные пути ликвидации аварийной ситуации при различных вариантах её развития.

Лабораторная работа 7 «ЯЧЕЙКА КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СЕРИИ ФЛЮЭЙР-100/200»

Задание: изучение конструкции ячейки комплектного распределительного устройства (КРУ) серии Флюэйр-100/200 систем управления.

Контрольные вопросы.

1. Где используются и на какое номинальное рабочее напряжение используются ячейки КРУ?
2. Основные блокировочные устройства, обеспечивающие безопасное обслуживание ячейки?
3. Основные эксплуатационные отсеки ячейки?
4. Занимаемые положения, относительно ячейки, выключателя и при этом его функциональные возможности?
5. Заземляющий разъединитель – место установки, предназначение и взаимосвязь с положением выключателя?
6. Устройство и система управления приводом выключателя?
7. Основные элементы стационарной части ячейки?
8. Измерительные трансформаторы, используемые в КРЭ: назначение, конструктивное исполнение?
9. Отсек релейной защиты и управления: составные части и назначение?

10. Отсек кабельной сборки: назначение и состав?
11. Нарисовать однолинейную схему: вводной, отходящей и секционной ячейки с выключателем.

3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов является обязательной частью образовательного процесса. Наряду с изучением лекционного материала необходимо самостоятельно более подробно рассмотреть указанные в данном пособии темы. Подготовка к практическим и лабораторным занятиям заключается в изучении теоретического материала с использованием учебно-методических пособий, учебной литературы в области электрических станций и подстанций. Только после этого можно приступать к выполнению практических или лабораторных заданий. После проработки теоретического материала, выполнения практической / лабораторной работы нужно ответить на вопросы для самоконтроля. Ответы должны быть развернутыми. После изучения темы нужно выполнить задание для самостоятельной работы, чтобы оценить готовность решать стандартные задачи электрических станций и подстанций.

При освоении данной дисциплины студент должен выполнить курсовую работу, лабораторные работы, контрольную работу.

Курсовую работу рекомендуется начинать выполнять сразу после прослушивания необходимого теоретического материала на лекциях.

При выполнении контрольной работы следует придерживаться следующих правил:

- условия задач должны полностью соответствовать варианту;
- решение задачи необходимо сопровождать пояснениями и подробными вычислениями.

Список рекомендуемой литературы

1. Балаков, Ю.Н. Проектирование схем электроустановок : учеб. пособие / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - 3-е изд., стер. - Москва : МЭИ, 2009. - 287 с.
2. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций : справ. материалы для курсового и дипл. проектирования : учеб. пособие / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1989. - 608 с
3. Белей В.Ф., Задорожный А.О. Ветроэнергетика России: анализ состояния и перспективы развития//М. - Энергия: экономика, техника, экология, 2018, №7. – 19-29 с.
4. Электрическая часть станций и подстанций : учеб. для вузов по спец. "Электр. станции" / И. П. Крючков [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1990. - 575 с.
5. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Ред. А. А. Васильев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 575 с.
6. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. / И. П. Копылов. – 2-е изд., перераб. – Москва: Высшая школа, 2000. – 608 с.
7. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).
8. Коломиец, Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций: учебное пособие / Н. В. Коломиец, Н. Р. Пономарчук, Г. А. Елгина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 80 с.
9. Афонин, В.В. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие : в 3 ч. / В.В. Афонин, К.А. Набатов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. Ч. 1. - 91 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).

ТИПОВЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Электрические станции: определения, критерии оценки эффективности.
2. Основные характеристики электростанций: КЭС, ТЭЦ, АЭС, ГЭС и ГАЭС, био- и ветроэлектростанций.
3. Режимы энергосистемы и участие электростанций в выработке электрической энергии, холодный и горячий резервы.
4. Требования, предъявляемые к электрооборудованию и токопроводам электрических станций и подстанций.
5. Неизолированные жесткие и гибкие проводники.
6. Изоляторы, типы и их технические характеристики.
7. Электрическая дуга в выключателях и методы ее тушения.
8. Особенности конструкций и технических характеристик различных типов выключателей.
9. Общие вопросы теории нагрева, уравнение теплового баланса. Допустимые температуры для проводников и аппаратов в продолжительном режиме. Нагревостойкость.
10. Нагревание стальных конструкций, расположенных в сильных магнитных полях.
11. Особенности процесса нагрева проводников при коротком замыкании. Термическая стойкость неизолированных проводников, электрических аппаратов и кабелей.
12. Определение интеграла Джоуля.
13. Выбор и проверка на термическую стойкость токопроводов на электростанции. Пояснить на примерах 5.1 и 5.2, приведенных в учебнике- “Васильев А.А. и другие. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоиздат, 1990.- 576 с.”
14. Простейшие случаи электродинамического взаимодействия проводников.
15. Электродинамические силы в трехфазном токопроводе при коротком замыкании.

16. Расчет однопролетных токопроводов при статической и динамической нагрузках.
17. Анализ частотных характеристик.
18. Упрощенный метод расчета электродинамической стойкости токопроводов.
19. Электродинамическая стойкость токопроводов с гибкими проводниками.
20. Комплектные токопроводы.
21. Типы синхронных генераторов, используемых на электрических станциях. Параметры, технические характеристики.
22. Синхронные компенсаторы. Основные параметры и характеристики. Область применения.
23. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и их характеристики. Регулирование напряжения.
24. Вспомогательное оборудование трансформаторов и системы охлаждения.
25. Тепловой режим и нагрузочная способность трансформаторов.
26. Токоограничительные реакторы: конструкция, электродинамическая и термическая стойкость, выбор.
26. Главные схемы электрических соединений. Общие сведения, критерии при выборе главных схем. Элементы главной схемы.
27. Одиночная система шин. Область применения, достоинства и недостатки.
28. Схемы мостиков и многоугольников. Область применения, достоинства и недостатки.
29. Одиночная система шин с обходной шиной, двойная система шин. Схема с двумя основными и одной обходной системами шин. Области применения, достоинства и недостатки вышеприведенных схем..
30. Схема с двумя выключателями на цепь. Полуторная схема и схема 4/3. Чистые блоки Г-Т-ЛЭП. Область применения, достоинства и недостатки.
31. Главные схемы тепловых электростанций: ТЭЦ и КЭС.
32. Главные схемы гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих станций.
33. Главные схемы атомных электростанций и подстанций.
34. Выбор главной схемы. Общие требования и рекомендации.
35. Собственные нужды электрических станций, общие сведения.

36. Источники питания собственных нужд. Общие требования к схемам питания собственных нужд.
37. Выбор мощности трансформаторов собственных нужд. Ограничение токов короткого замыкания в схемах собственных нужд.
38. Особенности питания собственных нужд тепловых электростанций.
39. Схемы собственных нужд конденсационных электростанций теплоэлектроцентралей.
40. Собственные нужды атомных электростанций.
41. Собственные нужды гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих станций.
42. Главные схемы подстанций. Способы присоединения токоприемников к сети СН.
43. Измерительные трансформаторы напряжения: технические характеристики, электрические схемы, их выбор.
44. Измерительные трансформаторы тока: типы, конструкция, технические характеристики.
45. Электродинамическая и термическая стойкость, выбор трансформаторов тока.
46. Вторичные соединения: общие требования, требования и детали схем вторичных соединений.
47. Источники постоянного оперативного тока электростанций и подстанций.
48. Выбор зарядных агрегатов. Распределение постоянного оперативного тока.
49. Источники переменного оперативного тока. Область применения.
50. Общие сведения и конструкции распределительных устройств.
51. Требования к распределительным устройствам. Общие принципы выполнения.
52. Правила устройства и основные размеры открытых и закрытых распределительных устройств.
53. Вторичные соединения: общие требования, требования и детали схем вторичных соединений.
54. Заземляющие устройства: основные понятия, опасность замыкания на землю, роль защитного заземления, удельное сопротивление грунта.
55. Конструкция защитных заземлений. Схема расчета заземления

Раздаточные материалы по теме 5

Таблица 1 - Классификация трансформаторов по габаритам

Номер габарита	Диапазон мощностей, кВА	Класс напряжения, кВ
I	До 100	До 35
II	Свыше 100 до 1000	До 35
III	Свыше 1000 до 6300	До 35
IV	Свыше 6300	До 35
V	До 32000	Свыше 35 до 110
VI	Свыше 32000 до 80000	До 330
VII	Свыше 80000 до 200000	До 330
VIII	Свыше 200000	Свыше 330
	Независимо от мощности для ЛЭП постоянного тока	Независимо от напряжения

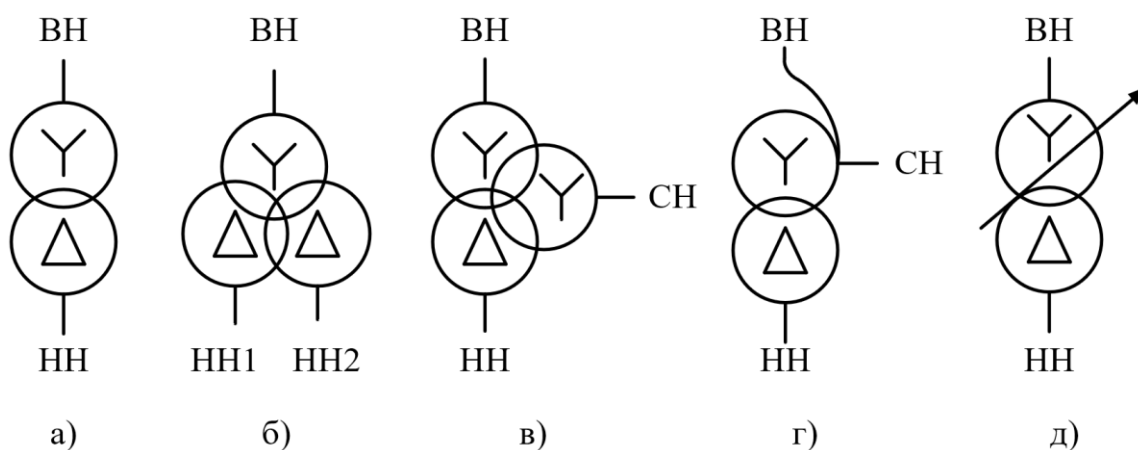
Обозначения трансформаторов

Принцип расшифровки обозначений трансформаторов приведен на рисунке 2.

Расшифровка буквенных обозначений и примеры приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2 – Буквенные обозначения трансформаторов

A	Автотрансформатор	H	Трансформаторы с устройством РПН
T	Трёхфазные трансформаторы	O	Группа однофазных трансформаторов
P	Трансформаторы с расщеплённой обмоткой	C	Для собственных нужд
T	Трёхобмоточные трансформаторы	Π	Для линий постоянного тока



а – двухобмоточный трансформатор (Т), б – трансформатор с расщепленной обмоткой (Р), в – трёхобмоточный трансформатор (Т), г – автотрансформатор (А), д – трансформатор с устройством РПН (Н)

Рисунок 1 – Примеры трансформаторов с их буквенными обозначениями

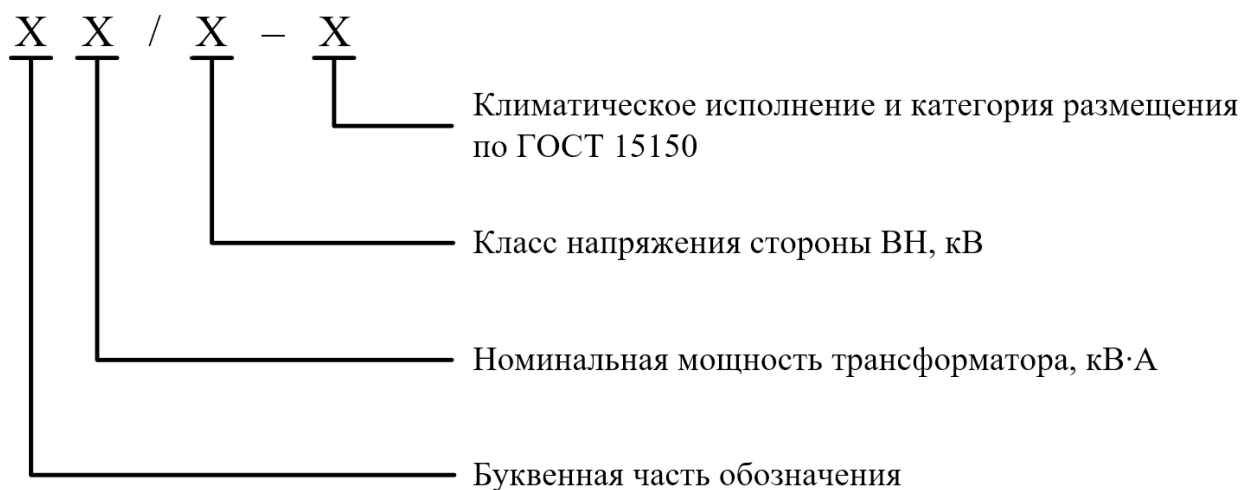


Рисунок 2 – Условное обозначение трансформаторов

Пример обозначения: ТМ -100/10 – 77У1 - трёхфазный двухобмоточный трансформатор с естественным масляным охлаждением, номинальная мощность 100 кВА, класс напряжения 10 кВ, конструкция 1977 г., для районов с умеренным климатом, установка на открытом воздухе.

Конструкция трансформаторов на примере ТРДН – 40 000/110 (рисунок 3)

Состоит из: 1 – ввод 110 кВ; 2 – ввод НН 10 кВ; 3 – крюк для подъема трансформатора; 4 – бак; 5 – радиатор; 6 – фильтр термосифонный; 7 – скоба для подъёма домкратом; 8 – кран вентильный для слива масла; 9 – вентилятор; 10 – каток; 11 – полубандажи стяжки ярма; 12 – вертикальная стяжная шпилька остова; 13 – ярмовая балка; 14 – устройство переключения ответвлений обмотки ВН; 15 – бандажи стяжки стержня; 16 – пластина с проушиной для подъёма активной части; 17 – расширитель; 18 – маслоуказатель; 19 – предохранительная труба

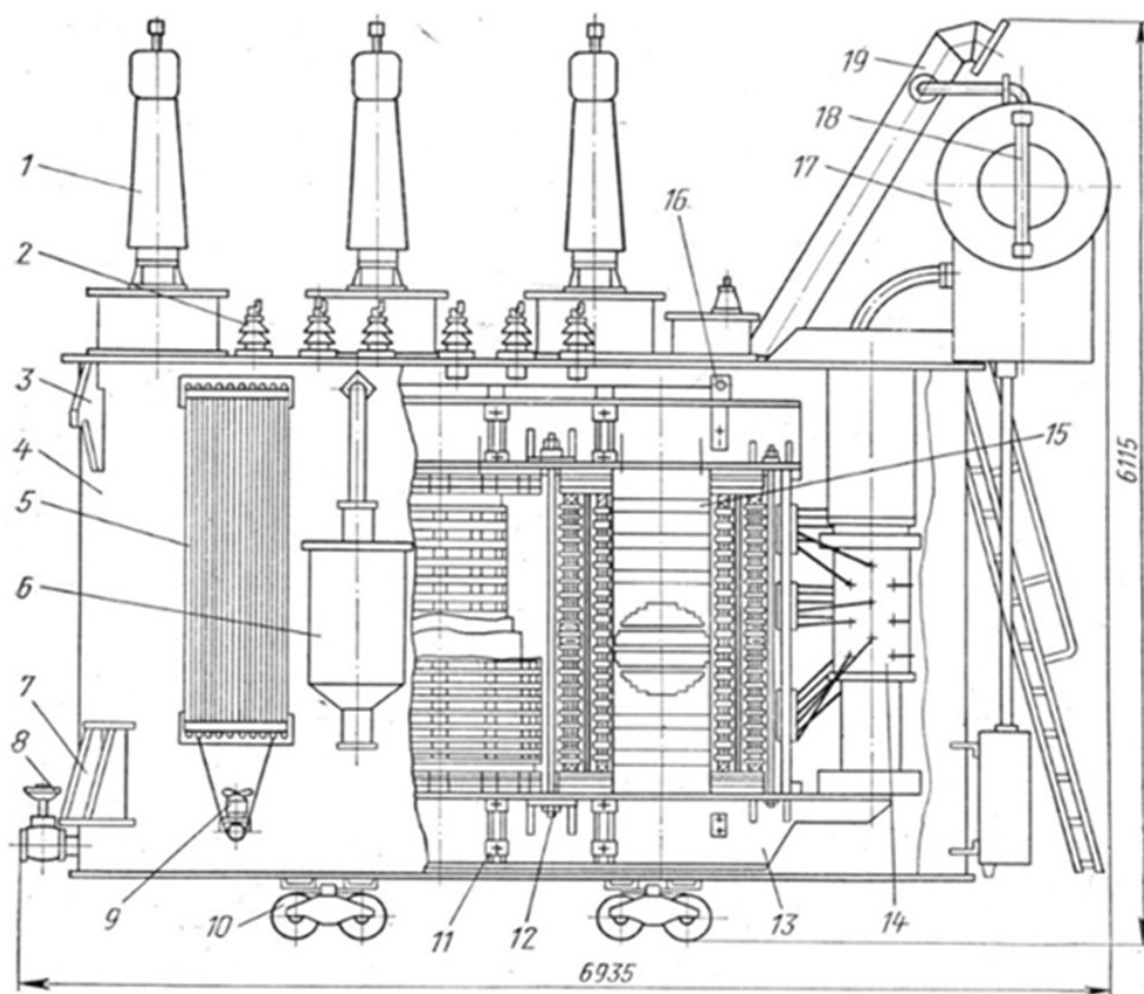


Рисунок 3 - Конструкция трехфазного двухобмоточного трансформатора ТРДН – 40 000/110 с расщепленной обмоткой НН и регулированием напряжения на ВН под нагрузкой

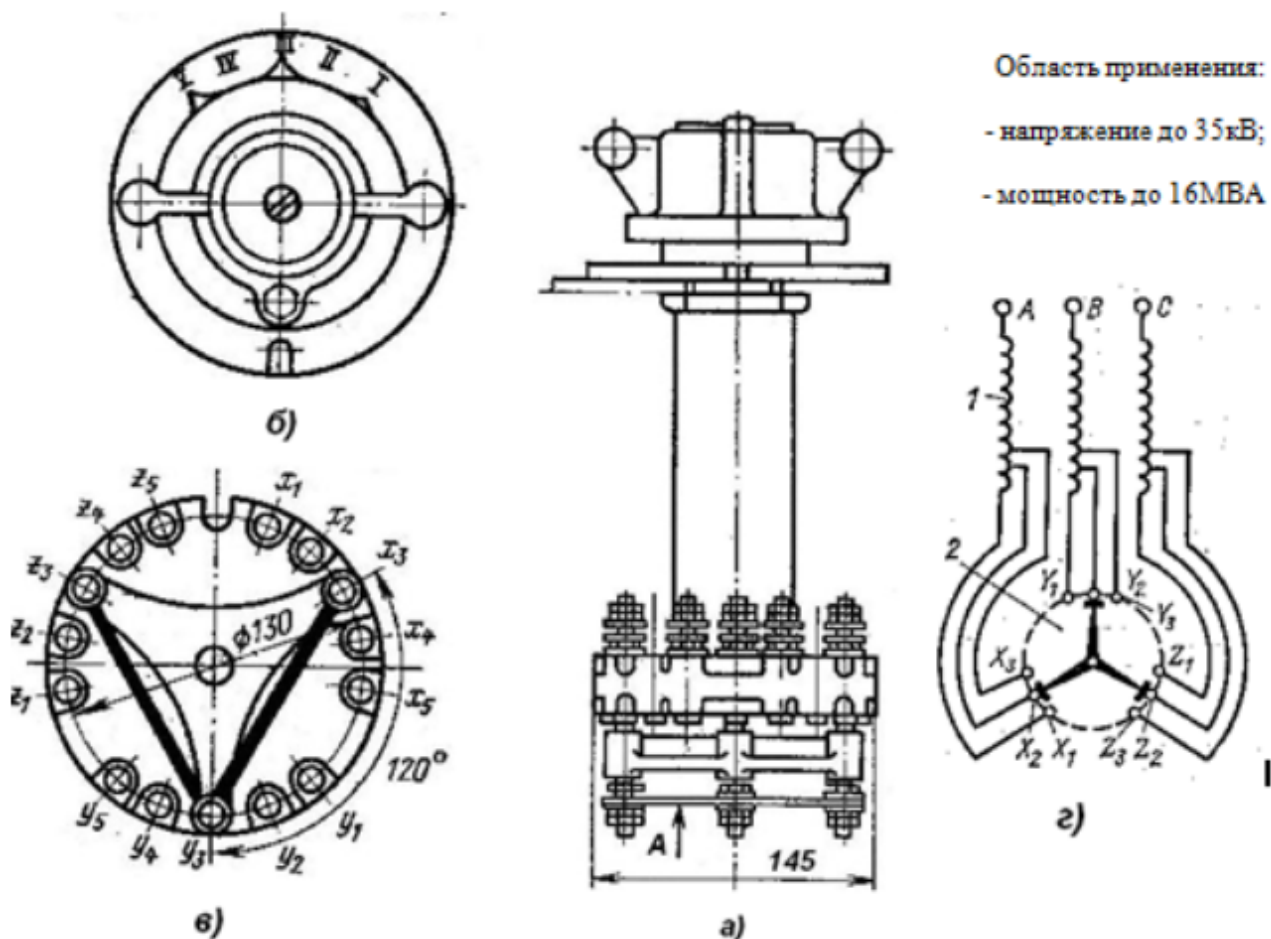
Таблица 3 - Паспортные данные трансформатора ТРДН – 40000/110

Мощность S _{ном} , МВА	Пределы регулирования $\pm n \cdot \Delta U_k$, %	Каталожные данные U _{ном} , кВ		Напряжение короткого замыкания U _к , %	Потери в меди ΔP_k , кВт	Потери в стали ΔP_x , кВт
		ВН	НН			
40	$\pm 9 \cdot 1.78$	115		6.3/6.3 6.3/10.5 10.5/10.5	10.5	175
Ток холостого хода I _{хх} , %		Расчётные данные				
		R, Ом		X, Ом	ΔQ_x , кВАр	
0.7		1.44		34.8	260	

1. Регулирование напряжения трансформаторов

В трансформаторах применяются два способа регулирования напряжения:

- Без возбуждения (переключение производится при отключенном трансформаторе – трансформаторы до 35кВ) (рисунок 4) с диапазоном, показанном в таблице 4.



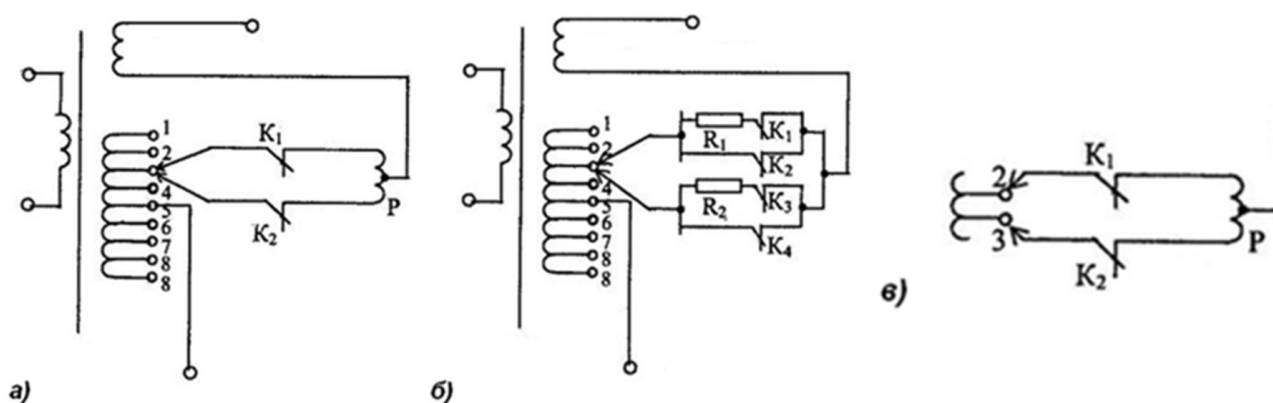
а – главный вид; б – вид сверху; в – вид снизу; г – схема обмотки

Рисунок 4 - Регулирование напряжения трансформатора без возбуждения в нулевой точке при токе до 50А класса напряжения до 35кВ

Таблица 4 - Диапазон регулирования напряжения на трансформаторах

Номер ответвления	Ответвление первичной обмотки трансформатора, %	Напряжение ответвления, кВ	Округленное значение диапазона регулирования, %
1	+5	10,5 (6,3)	0,25
2	+2,5	10,25 (6,15)	2,70
3	0	10 (6)	5,26
4	-2,5	9,75 (5,85)	7,96
5	-5	9,5 (5,7)	10,80

- С возбуждением (РПН – без отключения трансформаторы 35кВ и выше) (рисунок 5) с диапазоном, показанном в таблице 6.



а – с токоограничивающим реактором; б– с токоограничивающими активными сопротивлениями; в – переключателя в промежуточном положении. К – контактор, R – резистор, Р – реактор

Рисунок 5 - Принципиальные схемы обмоток трансформатора с РПН

Таблица 5 - Диапазоны регулирования на трансформаторах с РПН

Высшее напряжение обмоток трансформатора, кВ	Число обмоток трансформатора	Пределы регулирования, %	Диапазон регулирования, %	Примечание
35	2	$\pm 6 \times 1,5$ $\pm 9 \times 1,78$ $\pm 8 \times 1,5$	18 32 24	Преимущественно В отдельных случаях При мощности $\geq 10 \text{ MVA}$
35	3	$\pm 8 \times 1,5$	24	
110	2	$\pm 9 \times 1,78$ $\pm 10 \times 1,5$ $\pm 8 \times 1,5$	32 30 24	Преимущественно При мощности 2,5 MVA При мощности 2,5 MVA
110	3	$\pm 9 \times 1,78$	32	
220	2	$\pm 8 \times 1,5$	24	
220	3	$\pm 12 \times 1$ $\pm 8 \times 1,5$ $\pm 6 \times 2$	24 24 24	Автотрансформаторы

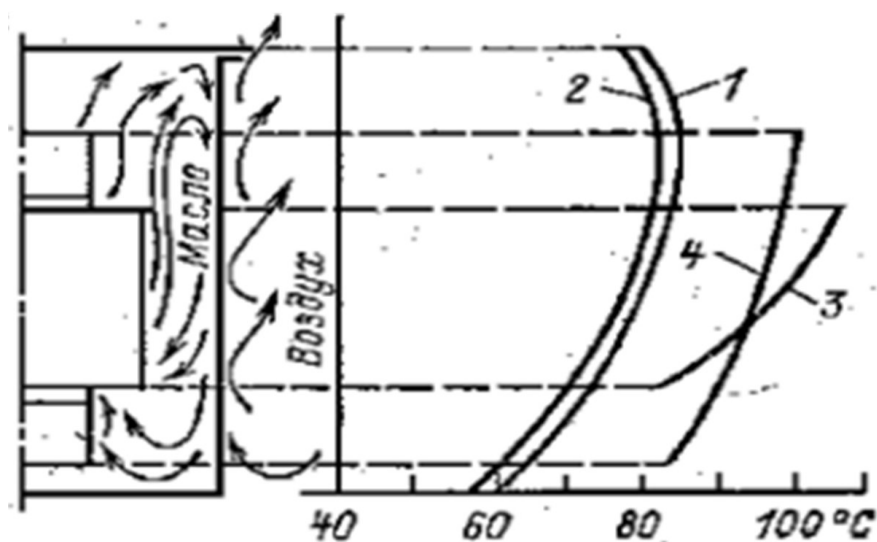
2. Перегрузки трансформаторов

Допустимые систематические нагрузки трансформатора больше его номинальной мощности и возможны за счет неравномерности нагрузки в течение суток. При недогрузке износ изоляции мал, а во время перегрузки значительно увеличивается.

Аварийная перегрузка разрешается в аварийных случаях, например при выходе из строя параллельно включенного трансформатора. Допустимая аварийная перегрузка определяется предельно допустимыми температурами обмотки и температурой масла в верхних слоях. Значение допустимой аварийной перегрузки определяется в зависимости от коэффициента начальной нагрузки, температуры охлаждающей среды во время возникновения аварийной перегрузки и длительности перегрузки. Изменение температуры в зависимости от разных факторов приведены графически на рисунках 6, 7.

Таблица 6 - Предельные значения параметров для силовых трансформаторов

Параметр	Трансформаторы мощность, МВА		
	До 2,5	От 2,5 до 100	Свыше 100
При систематических перегрузках:			
Ток, отн. ед.	1,5	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки, °С	140	140	120
Температура масла в верхних слоях, °С	105	105	105
При продолжительных аварийных перегрузках:			
Ток, отн. ед.	1,8	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки, °С	150	140	130
Температура масла в верхних слоях, °С	115	115	115
При кратковременных аварийных перегрузках:			
Ток, отн. ед.	2,0	1,8	1,5
Температура наиболее нагретой точки, °С	–	160	160
Температура масла в верхних слоях, °С	–	115	115



1 – температура масла; 2 – температура стенок бака; 3 – температура обмотки;
4 – температура магнитопровода.

Рисунок 6 – Изменение температуры по высоте трансформатора

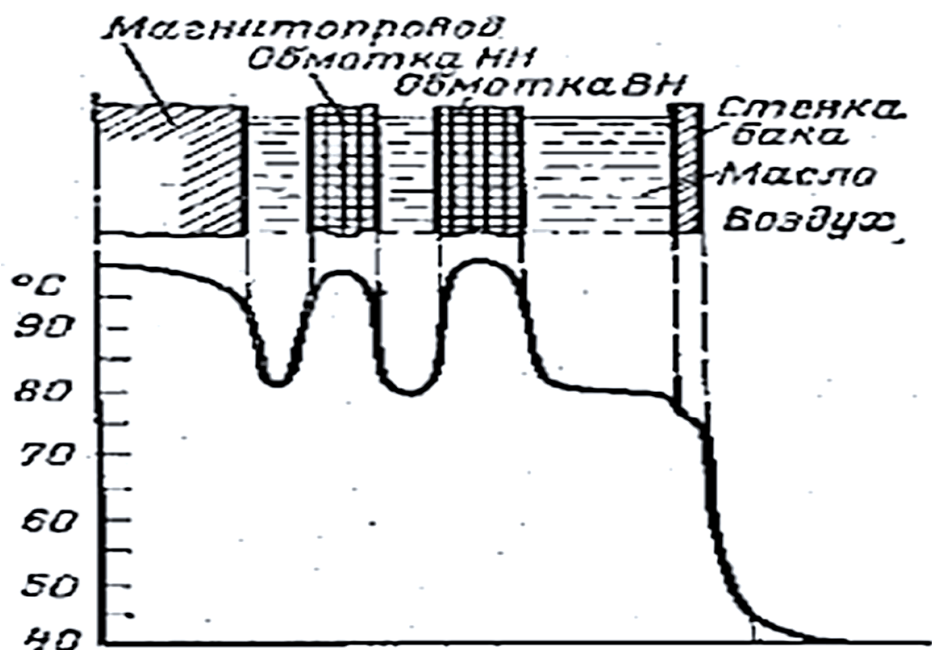


Рисунок 7 – распределение температуры масляного трансформатора с естественным охлаждением

Таблица 7 - Допустимая продолжительность перегрузок трансформатора

Коэффициент нагрузки	Допустимая продолжительность, мин		
	По ГОСТ 11677-75	По ГОСТ 401-41 для установки	
		открытой	закрытой
1,30	1,20	120	60
1,45	80	—	—
1,60	45	30	15
1,75	20	15	8
2,0	10	1,5	4
3,0	1,5	1,5	1

3. Системы охлаждения трансформаторов

Нагрев трансформатора можно проанализировать на основе уравнения теплового баланса.

$$\Delta P \cdot dt = C \cdot d\theta + A \cdot \theta \cdot dt,$$

где $\Delta P \cdot dt$ - энергия, выделяемая в проводнике или аппарате; $A \cdot \theta \cdot dt$ - энергия, отдаваемая трансформатором в окружающую среду (А-теплоотдача).

Отдача тепловой энергии от трансформатора осуществляется от поверхности (m^2), а потери энергии в трансформаторах растут в большей степени. В частности, в стали они пропорциональны третьей степени (m^3). Поэтому с ростом мощности трансформаторов системы охлаждения усложняются.

Раздаточные материалы по теме 7

- 1. Главной схемой** называют порядок между основным электрооборудования (генераторов, трансформаторов) между собой и отходящими линиями. Существует большое разнообразие главных схем, но и можно разбить на две группы: схемы, имеющие поперечные связи (шины) (рис. 1а), и блочные (рис. 1б), в которых связь генераторами между собой осуществляется на шинах высокого напряжения станции.

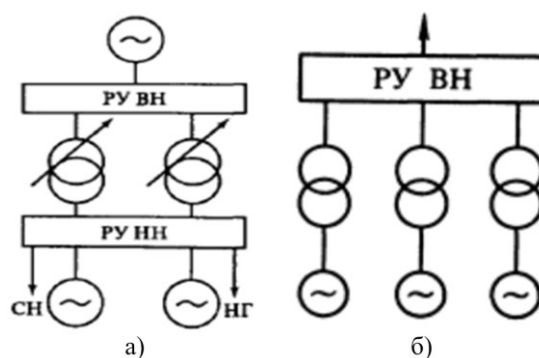


Рисунок 1 – Главная схема с поперечной (а) и блочной (б) связями

2. Виды главных схем.

Область применения одиночной системы шин (рисунок 2): распределительное устройство (РУ) подстанций; ГРУ - распределительное устройство генераторного напряжения ТЭЦ; РУ собственных нужд электростанций.

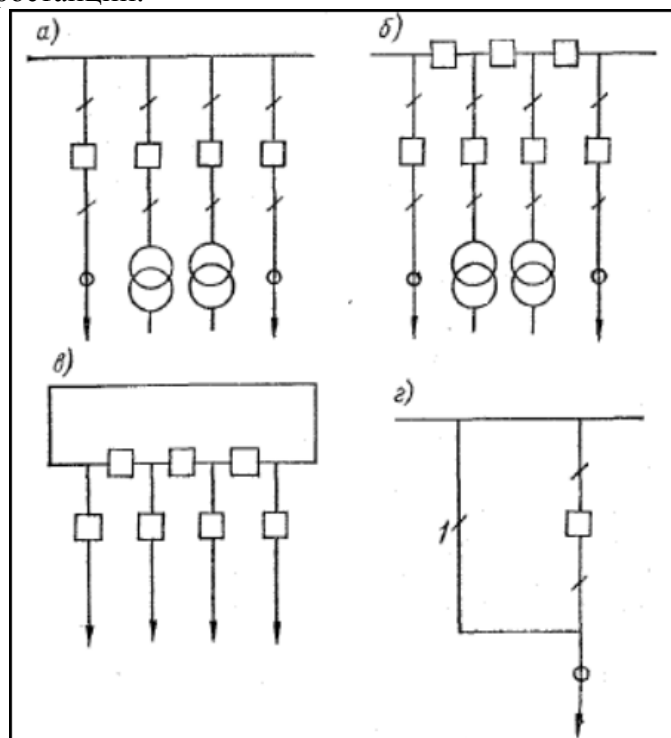


Рисунок 2 – Одиночная система шин: а – несекционированная, б – секционированная, в – кольцевая, г – с обходным разъединителем

Схемы мостиков (рисунок 3) широко используются на районных подстанциях Калининградской области.

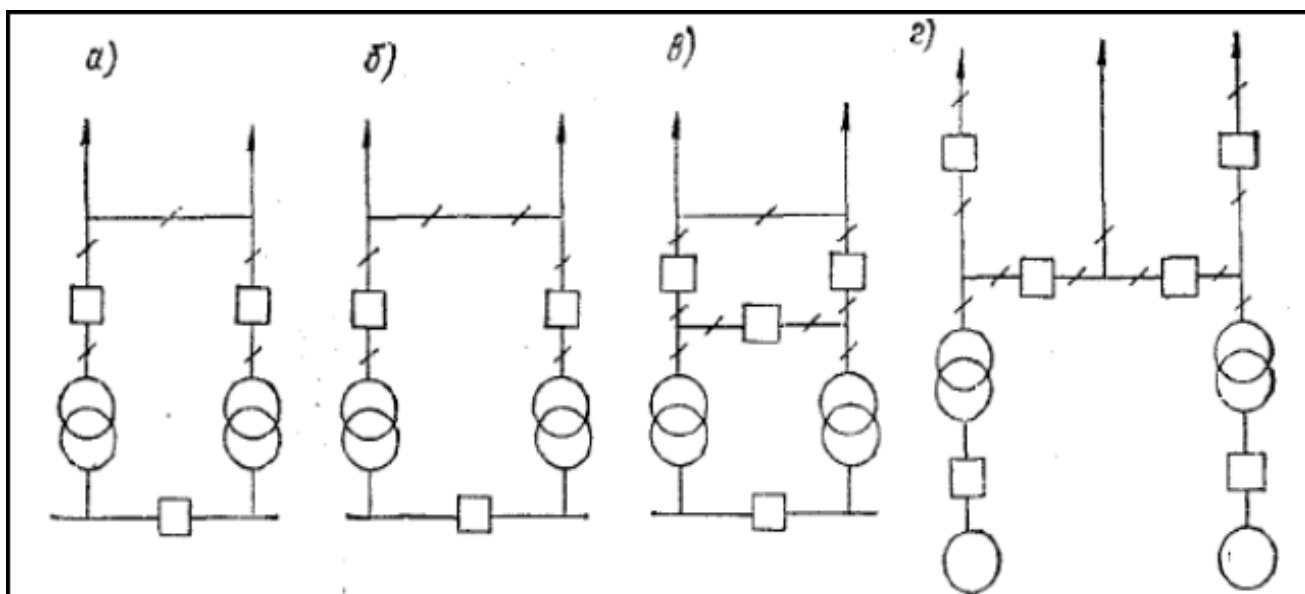


Рисунок 3 – Схемы мостиков: а - простого, б - с двумя выключателями в перемычке, в - с тремя выключателями, г – двойного.

Схемы многоугольников (рисунок 4) используются на электростанциях большой мощности (в основном за рубежом, по этой схеме до войны была выполнена главная схема ПС Центральная).

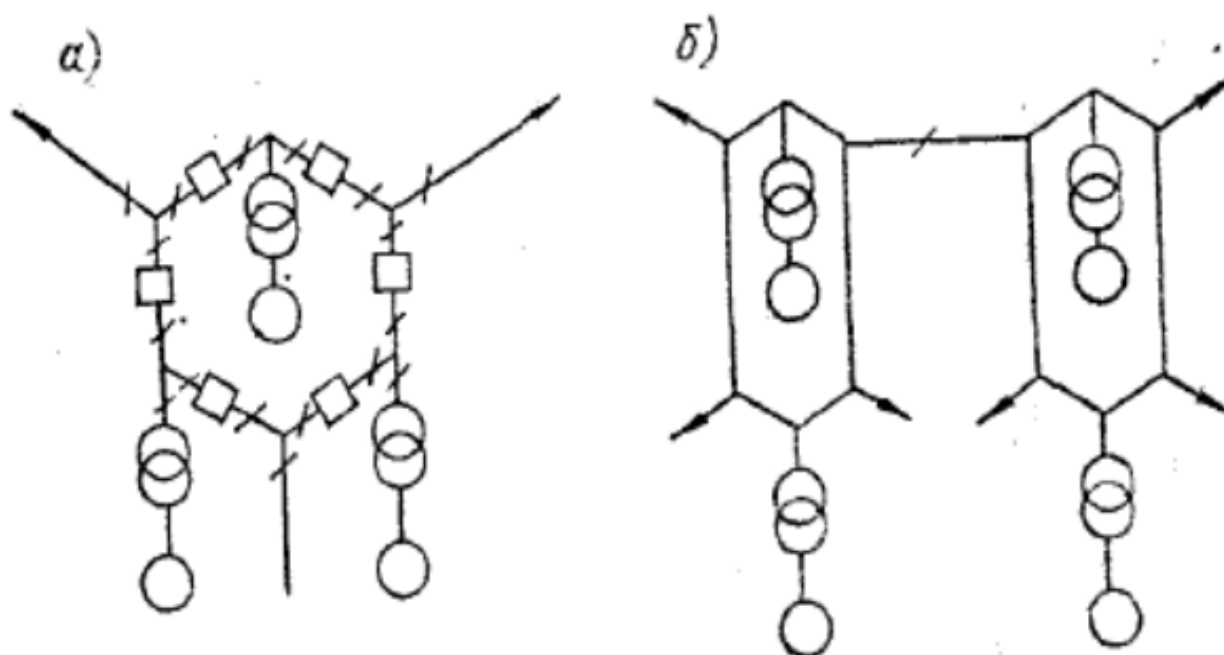


Рисунок 4 - Схемы многоугольников: а) простой; б) связанный

Схема треугольник и квадрат (рисунок 5).

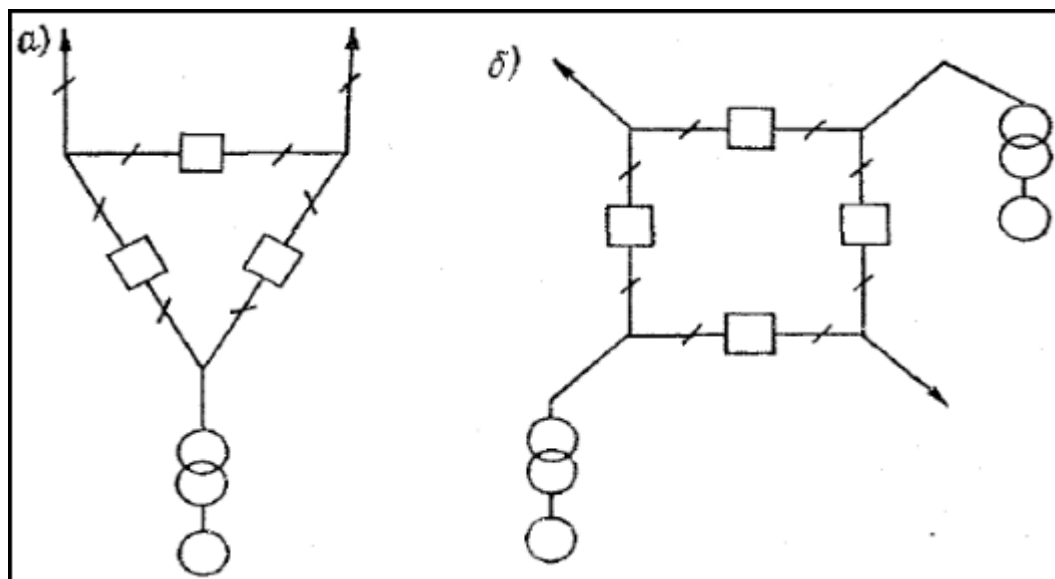


Рисунок 5 - Схемы: а) треугольника; б) квадрата

Одна рабочая с обходной системой шин используется на подстанциях и электростанциях средней мощности (рисунок 6а).

Две рабочие системы шин (рисунок 6б). Надежная схема, кроме одного недостатка. При выводе в ремонт линейного выключателя потребитель не получает питание.

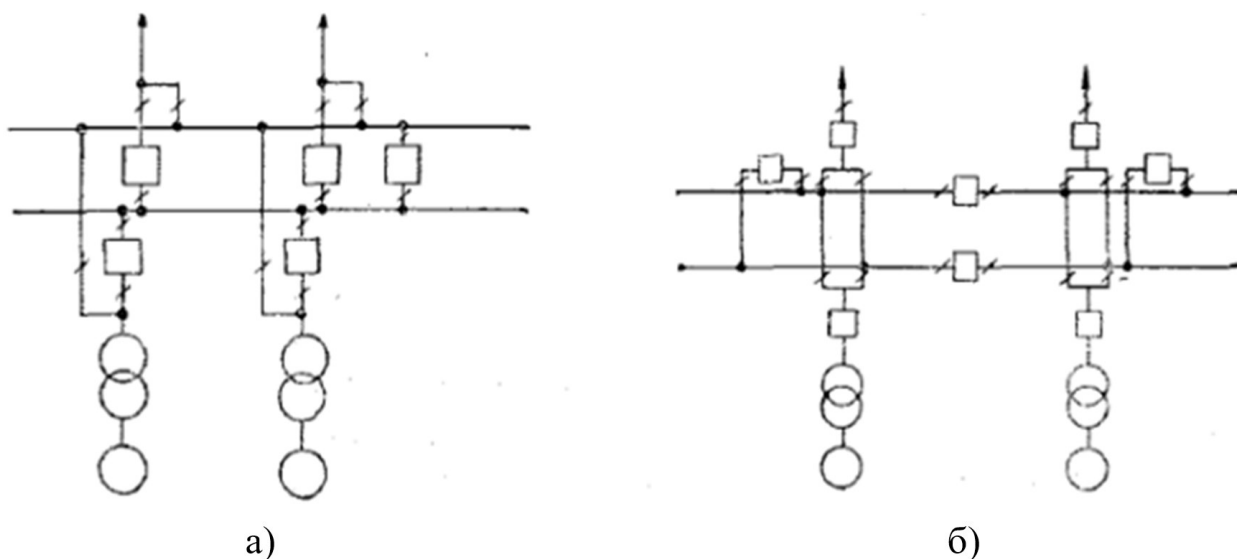


Рисунок 6 – Схема: а - одиночная система шин с обходной шиной, б - двойная система шин.

Две рабочие системы шин с обходной (рисунок 7).

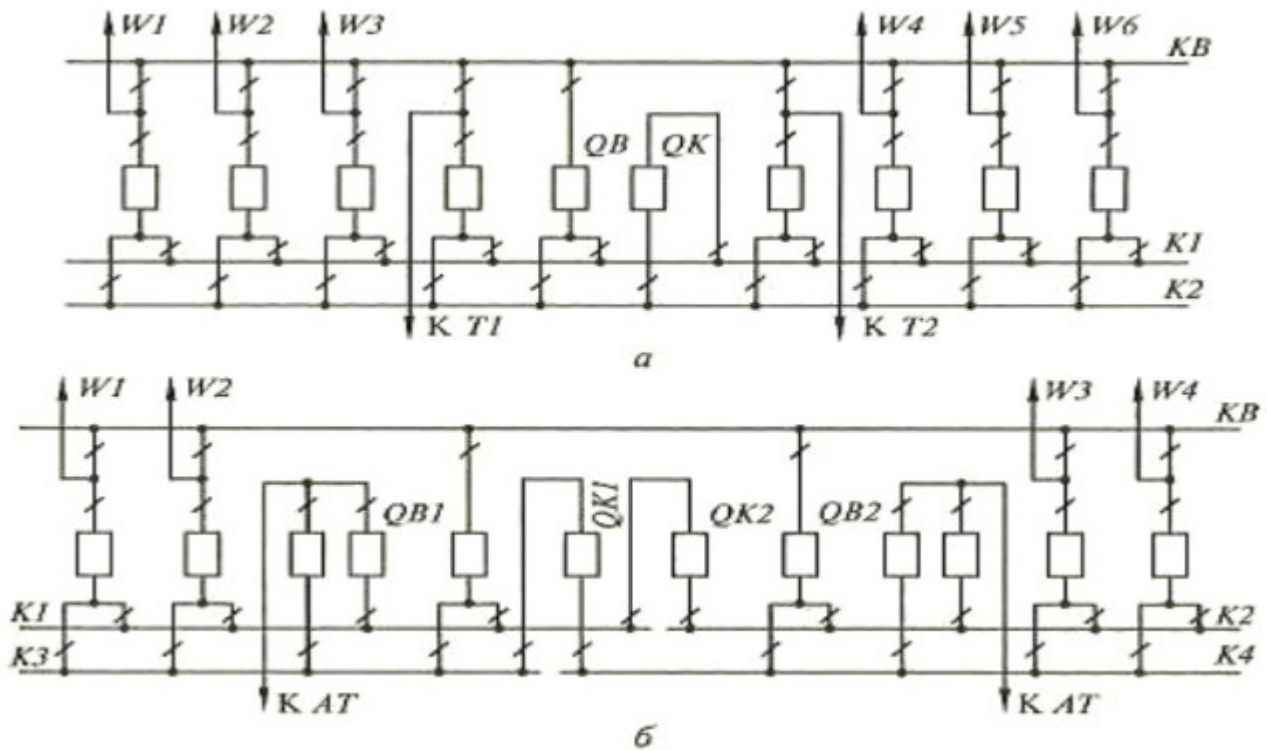


Рисунок 7 - Схема с двумя рабочими и обходной системами шин: *а* – рабочие системы шин не секционированы; *б* – рабочие системы секционированы.

Полуторная схема и 4/3 (рисунок 8).

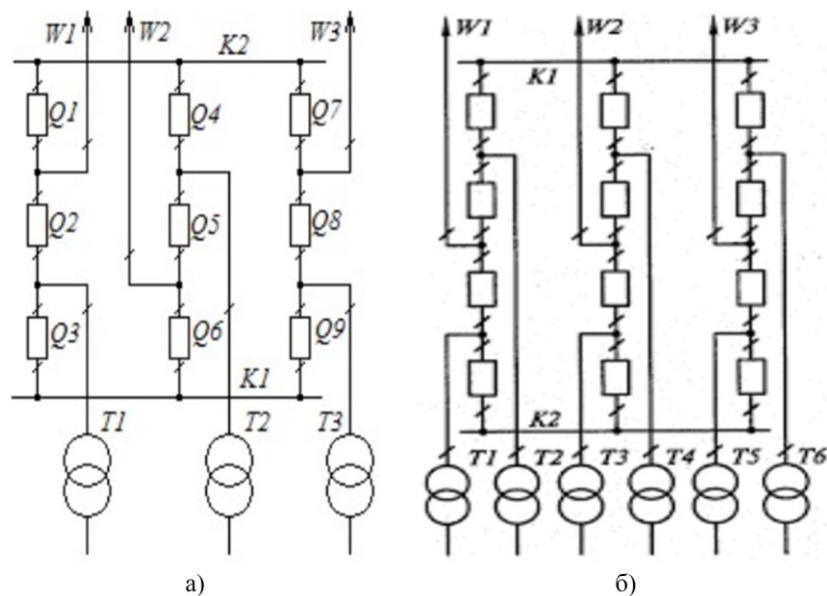


Рисунок 8 - Схемы с 3/2 и 4/3 выключателями на присоединение

3. Схемы конденсационных электростанций

Структурные схемы КЭС

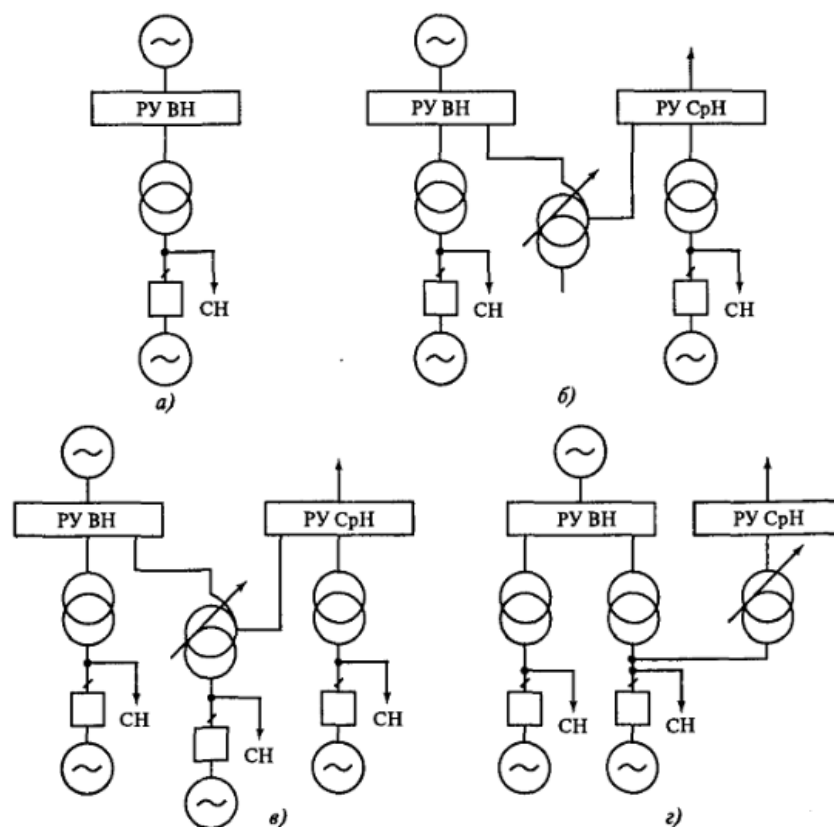


Рисунок 9 - Структурные схемы конденсационных электростанций

На рисунках 10-13 приведены различные схемы КЭС разных мощностей

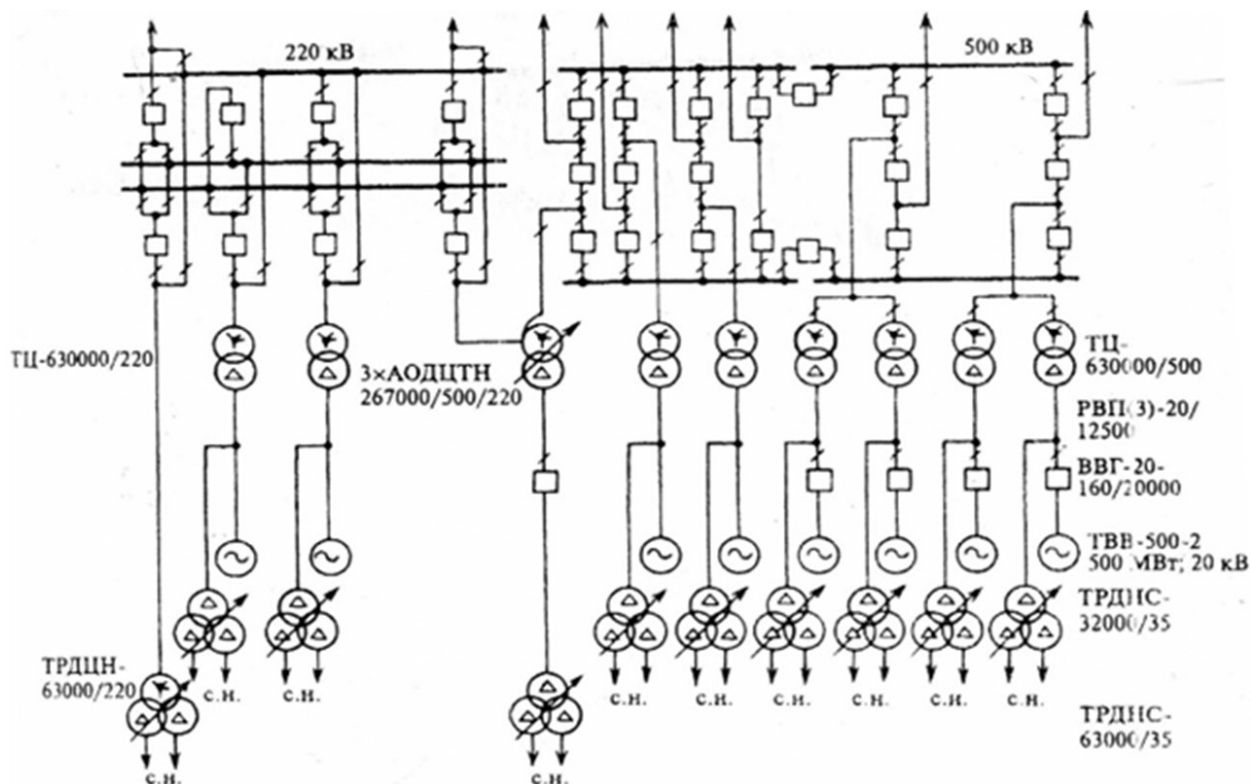


Рисунок 12 – Схема КЭС мощность 4000 (8x500) МВт

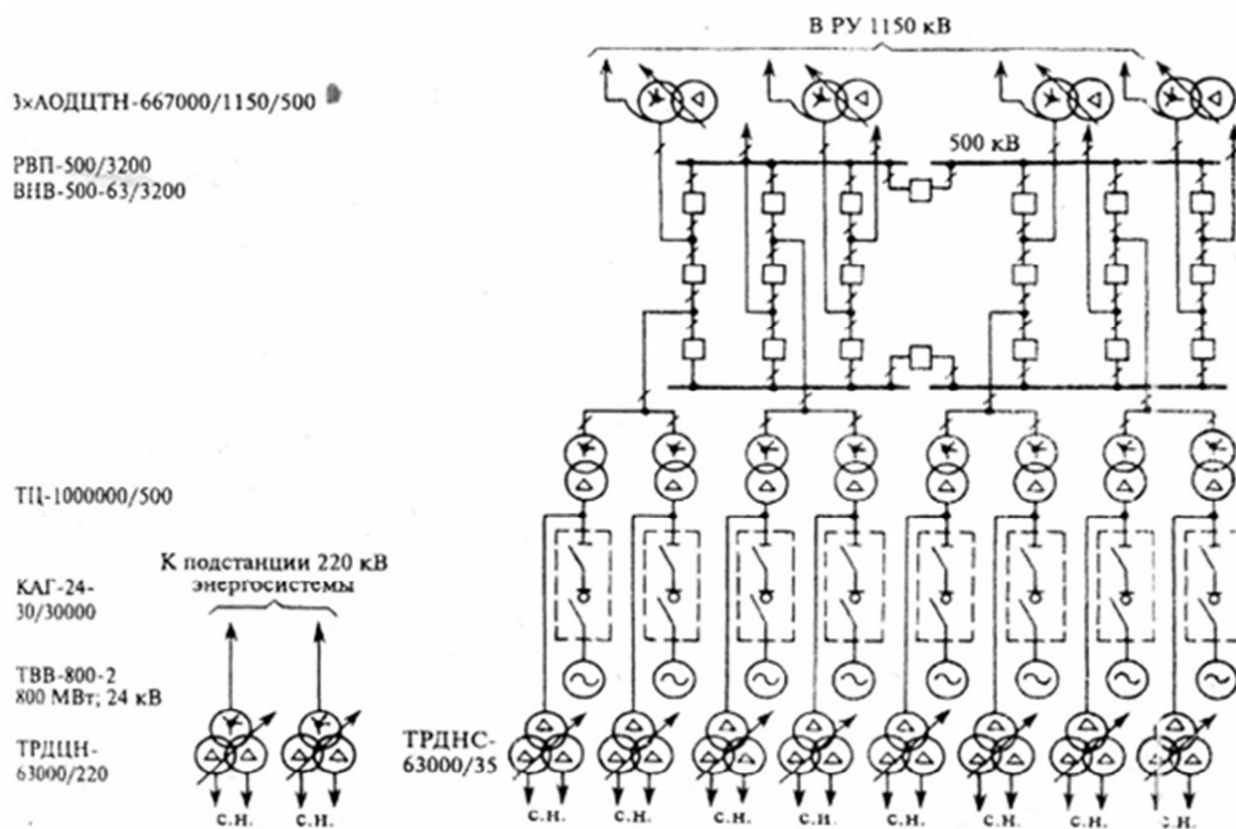


Рисунок 13 – Схема КЭС мощностью 6400 (8x800) МВт

4. Схемы гидроэлектростанций

Структурные схемы гидроэлектростанций

На рисунке 14 показаны структурные схемы электростанций с преимущественным распределением на повышенном напряжении. Все генераторы соединяются в блоки с повышающими трансформаторами. Параллельная работа блоков осуществляется на высоком напряжении, где предусматривается распределительные устройства (РУ) (рисунок 14а). Если электроэнергия выдается на высшем и среднем напряжении, то связь между РУ осуществляется автотрансформатором связи (рисунок 14б) или автотрансформатором блока (рисунок 14в).

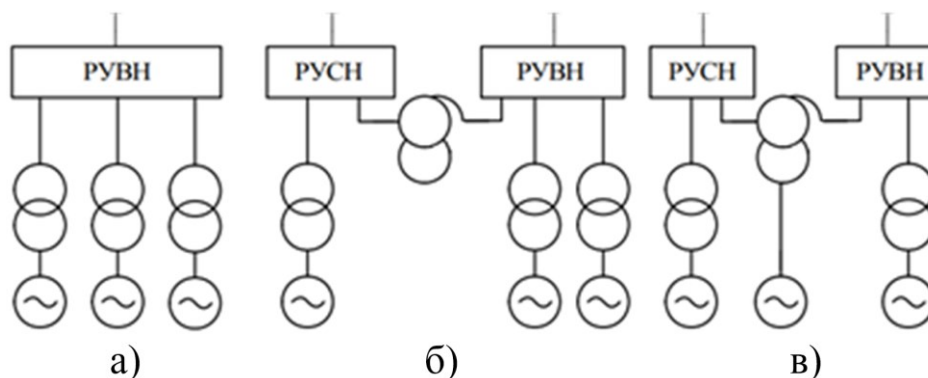


Рисунок 14 - Структурные схемы гидроэлектростанций

На рисунке 15 представлен пример схемы гидроэлектростанции

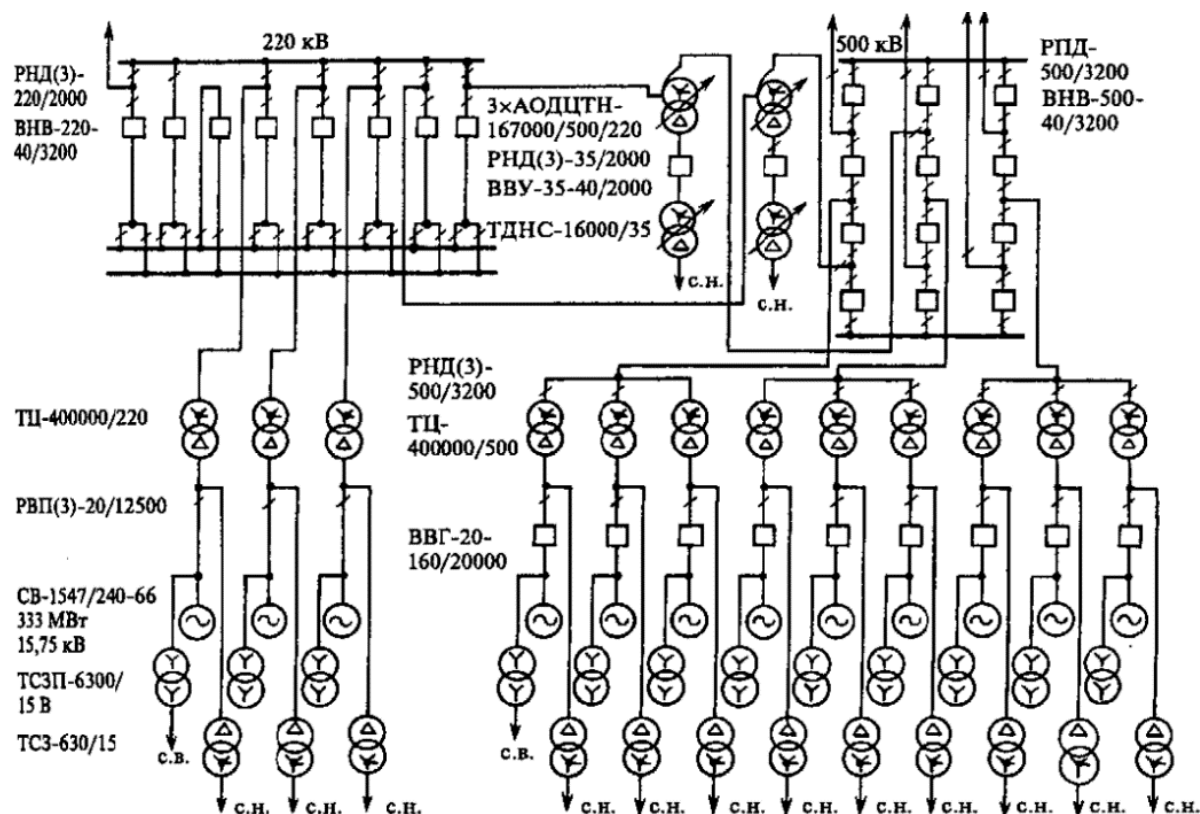


Рисунок 15 - Схема гидроэлектростанции

5. Схема атомной электростанции мощностью 4000 (4x1000) МВт с реакторами ВВЭР-1000

На рисунке 16 представлена схема атомной электростанции мощностью 4000 (4x1000) МВт с реакторами ВВЭР-1000.

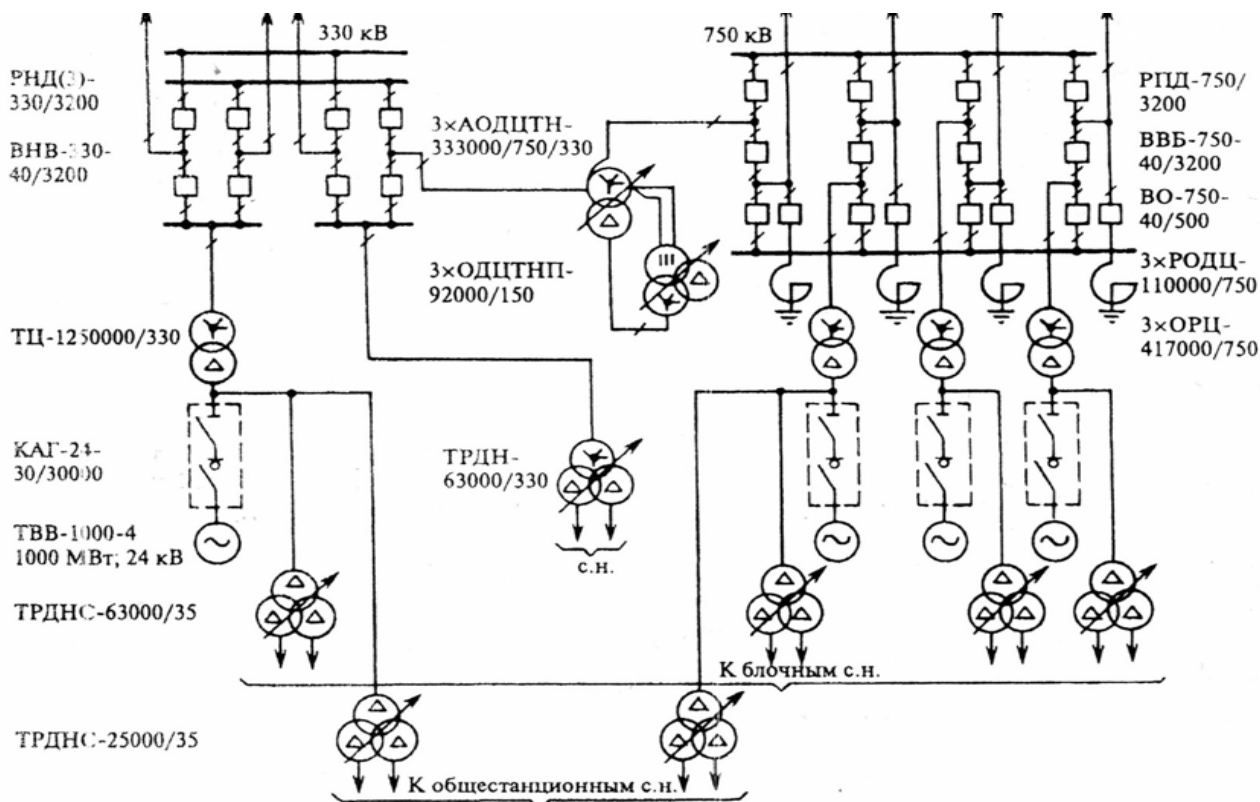


Рисунок 16 - Схема атомной электростанции мощностью 4000 МВт с реакторами ВВЭР-1000

Раздаточные материалы по теме 8

1. Требования к схемам питания собственных нужд

- Схемы рабочего и резервного питания с.н. должны обеспечивать надежную работу отдельных агрегатов и электростанции в целом;
- Схема с.н. должна быть экономичной и допускать расширение ее более мощными агрегатами, не требуя изменения схемы и электрооборудования с.н. ранее установленных агрегатов меньшей мощности;
- Источники питания и схема электрических соединений должны обеспечивать успешный самозапуск электродвигателей ответственных механизмов.

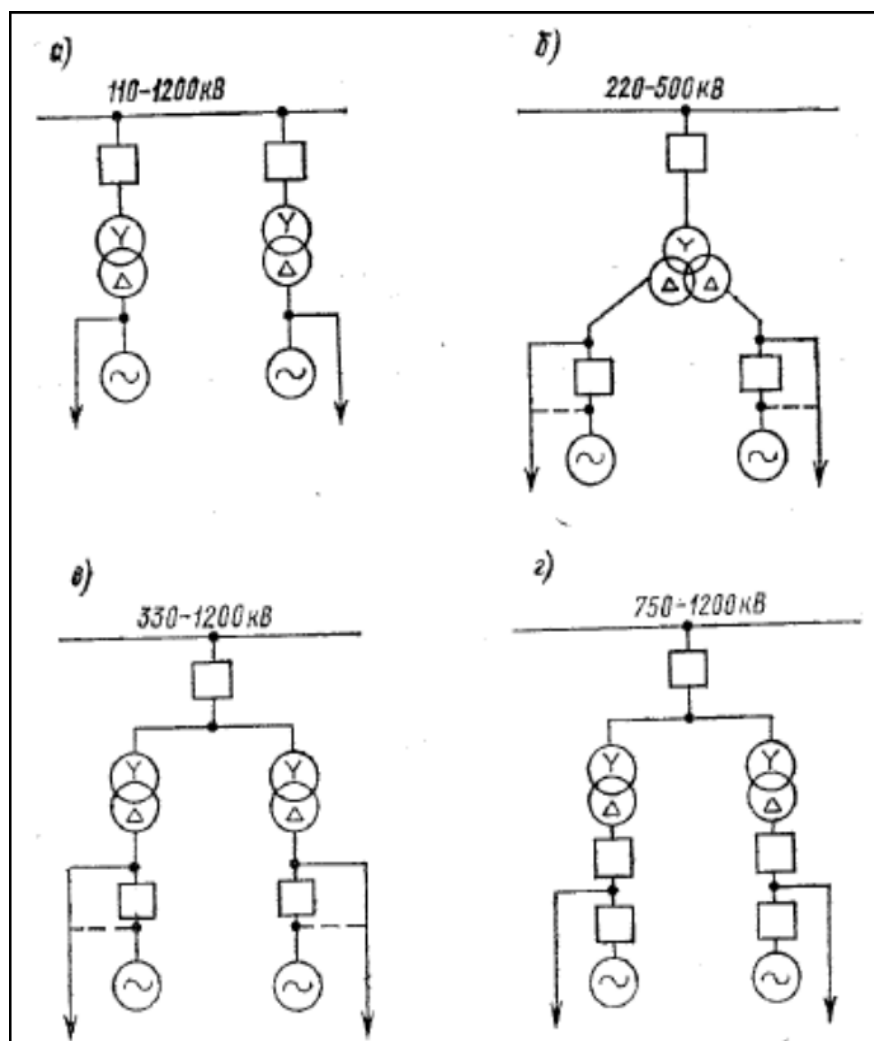


Рисунок 1 – Схемы присоединения рабочих трансформаторов с.н. блочных электростанций: а - одиночные блоки генератор-трансформатор; б - блоки, объединенные по электрической части через трансформатор с расщепленными обмотками; в и г - блоки, включенные через общий выключатель высокого напряжения.

Раздаточные материалы по теме 9

Типовые схемы распределительных устройств (номера 1 – 11 (рисунок 1) соответствуют области применения, согласно таблице 1)

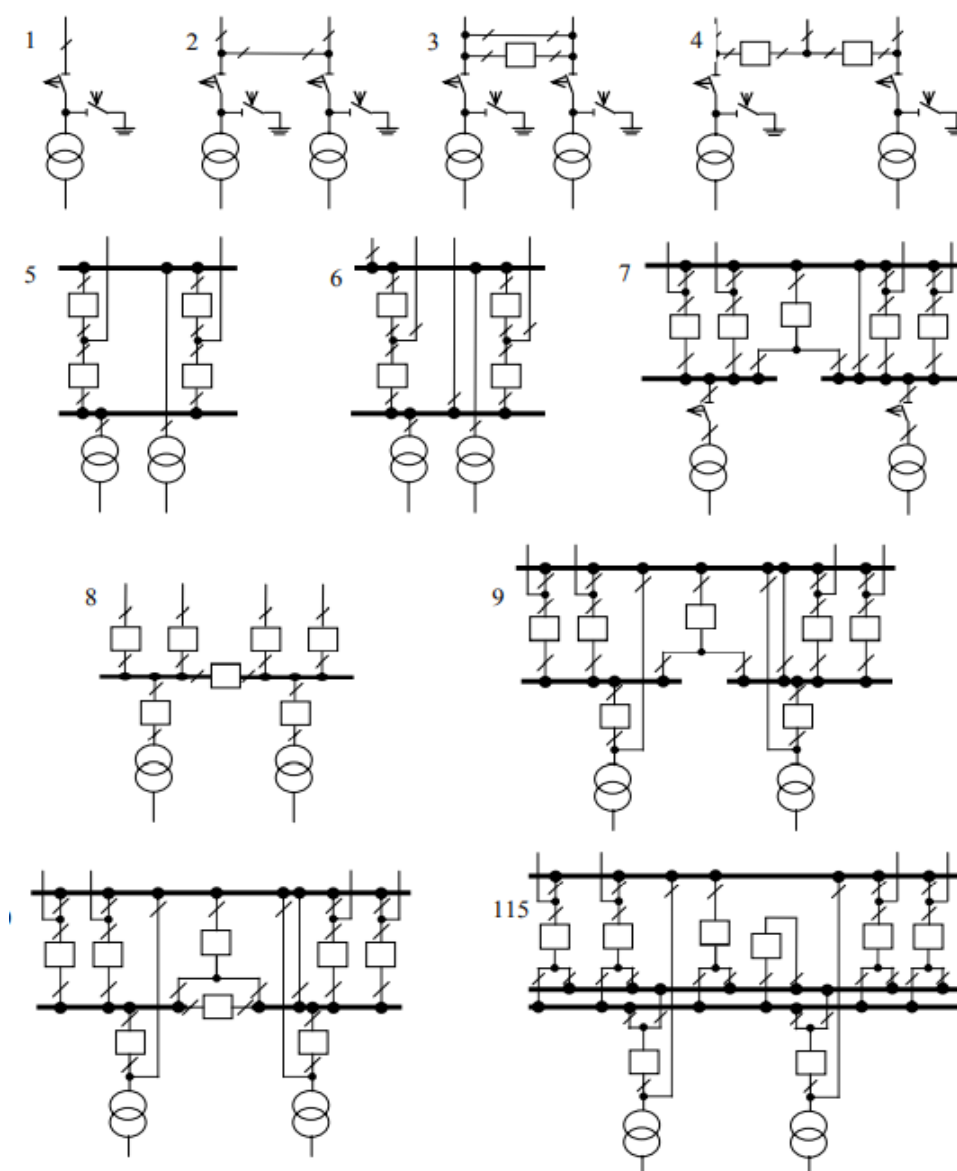


Рисунок 1 - Типовые схемы распределительных устройств

Таблица 1 – Области применения типовых схем распределительных устройств

Номер типовой схемы (рисунок 1)	Наименование схемы	Области применения схемы в сетях					
		35 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ	750 кВ
1	Блок (линия - трансформатор) с отделением	+	+	+	-	-	-
2	Два блока с отделениями и неавтоматической перемычкой со стороны линии	+	+	+	-	-	-
3	Мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепи трансформатора	+	+	+	-	-	-
4	Сдвоенный мостик с отделителями в цепях трансформатора	-	+	-	-	-	-
5	Четырёхугольник	-	-	+	+	+	+
6	Расширенный четырёхугольник	-	-	+	+	-	-
7	Одна секционированная система шин	+	-	-	-	-	-
8	Одна секционированная система шин с обходной с отделителями в цепях трансформаторов и совмещёнными секционным и обходным выключателями (до 6 присоединений)	-	+	-	-	-	-
9	Одна секционированная система шин с обходной с совмещёнными секционным и обходным выключателями (до 6 присоединений)	-	+	+	-	-	-
10	Одна секционированная система шин с обходной с отдельными секционным и обходным выключателями (от 7 до 15 присоединений)	-	+	+	-	-	-
11	Две несекционированные системы шин с обходной (от 7 до 15 присоединений)	-	+	+	-	-	-

Схемы подстанций на низшем напряжении представлены на рисунке 2.

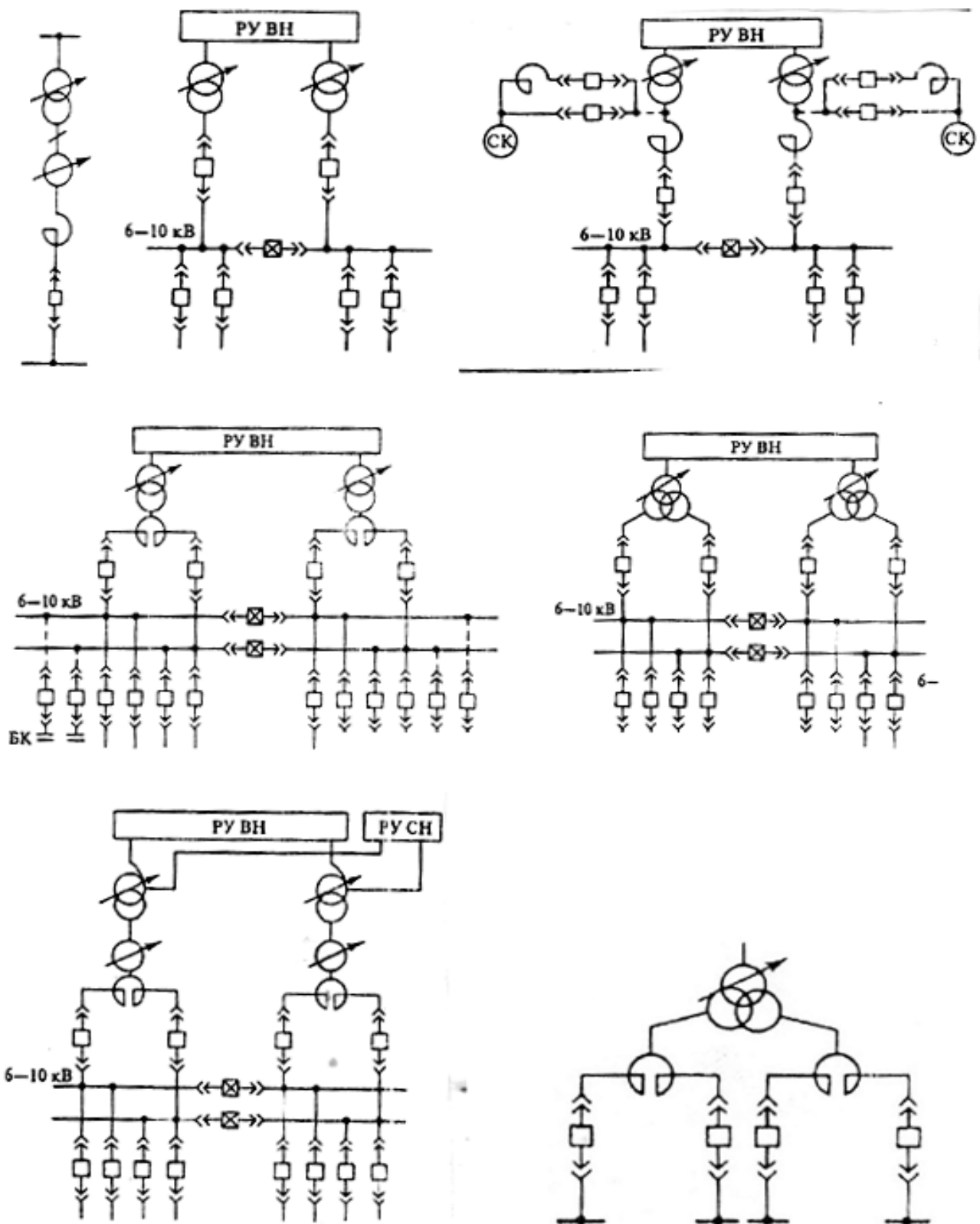


Рисунок 2 - Схемы подстанций на низшем напряжении

Локальный электронный методический материал

Валерий Феодосиевич Белей

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л 3,0. Печ. л. 2,8.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1