

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

Лопатин Е.И. Мельников А.Ю.

ПРОИЗВОДСТВО И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Методичное указание по выполнению курсового проекта

**Рязань
2020**

УДК 621.002(075.8)
ББК 34.5Я73

Е.И. Лопатин, А.Ю. Мельников

**«Производство и диспетчеризация электроэнергии»:
методические указания / Е.И. Лопатин., А.Ю. Мельников
Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского
политехнического университета, 2020. – 42 с.**

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения специальностей 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

***Печатается по решению методического совета Рязанского
института (филиала) Московского политехнического университета.***

УДК
621.002(075.8)
ББК 34.5Я73

© Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2020

Содержание

Введение

Общие сведения

Объем и содержание курсовой работы

Выбор принципиальной схемы.

Технико-экономический расчёт

Расчет электрических нагрузок подстанции

Выбор трансформаторов (автотрансформаторов)

Расчет потерь энергии

Расчет приведенных затрат

Расчёт токов короткого замыкания

Выбор электрооборудования

Выбор реактор

Выбор выключателей

Выбор жестких шин

Выбор измерительных трансформаторов

Расчёт заземления подстанции

Приложения

Список используемой литературы

Введение

Важнейшие задачи, решаемые энергетиками и энергостроителями, состоят в непрерывном увеличении объемов производства, в сокращении сроков строительства новых энергетических объектов и реконструкции старых, уменьшение удельных капиталовложений, в сокращении удельных расходов топлива, повышении производительности труда. Современная энергетика характеризуется нарастающей централизацией производства и распределения электроэнергии.

В перспективе энергетики стоит задача всемирного развития и использования возобновляемых источников энергии, солнечной, геотермальной, ветровой, приливной и др.

Энергетической программой предусматривается дальнейшее развитие энергосберегающей политики.

Методические указания к курсовой работе «Производство и диспетчеризация электроэнергии»

1. Общие сведения

Для выполнения данной курсовой работы необходимо изучить материал по дисциплине. Требуется знать:

- Главные схемы станций, подстанций

- Конструктивную часть подстанций

- Основы технико-экономических расчетов электрооборудования подстанций

- Основное электрооборудование ПС

- Выбор основного электрооборудования, проверка на воздействие токов короткого замыкания

- Выбор ошиновки ПС

- Способы расчета токов короткого замыкания в относительных и именованных единицах, преобразования расчетных схем

- Выбор измерительных трансформаторов

- Расчет заземляющих устройств подстанций

Предложенные темы включают расчеты по узловым подстанциям систем разного напряжения. В данных указаниях приведена общепринятая методика расчета. Применение новых более совершенных методик, новых технических и научных данных приветствуется. В данном случае необходимы ссылки на используемый материал и литературу.

Задания к курсовой работе

Выполнить расчеты электрической части подстанции. Выбрать необходимое оборудование подстанций, рассчитать токи короткого замыкания, наметив предварительно необходимые точки КЗ, проверить выбранное оборудование на устойчивость к воздействию токов короткого замыкания. Выполнить расчет заземляющего устройства.

Варианты курсовой работы принимать по таблицам №1, №2. По таблице №1 принять исходные данные в соответствии с последним номером шифра зачетной книжки, по таблице №2 принять дополнительные данные к заданию – длину линий. Номер линии обозначается по порядку записи напряжения подстанции – L_1 , L_2 , L_3 . Вариант таблицы №2 соответствует предпоследней цифре шифра зачетной книжки.

Например: последние цифры 43, по табл.№1 принимается вариант 3, а по таблице №2 вариант 4. Объем работы 20-25 листов формата А4. Общие разделы и темы, составляющие курсовую работу в разделе 2 - содержание курсовой работы.

2.Содержание курсовой работы

Введение

1. Техничко-экономический расчёт
2. Расчет электрических нагрузок подстанции
 - 2.1 Выбор трансформаторов (автотрансформаторов)
 - 2.2 Расчет потерь энергии
 - 2.3 Расчет приведенных затрат
3. Расчёт токов короткого замыкания
4. Выбор электрооборудования
 - 4.1 Выбор реактора
 - 4.2 Выбор выключателей
 - 4.3 Выбор жестких шин
 - 4.4 Выбор измерительных трансформаторов
5. Расчёт заземления подстанции
6. Список используемой литературы

Таблица №1 Исходные данные к расчету

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии L,км	60	74	49	57	61	45	52	42	87	92
Длина линии L,км	90	89	28	18	112	37	64	74	53	51
Длина линии L,км	4,5	5,4	7,3	10	2,8	1,5	2,5	20	5	5,3

Таблица №2. Исходные данные к расчету

№ вар	Подстанции U, кВ	Напря жени я U, кВ	Номер, число линий L - n	Мощ- ность линии, P _л , МВт	P _{max} , МВт	P _{min} , МВт	Cos φ	Мощ ность КЗ S _{кз} , МВ А
1	2	3	4	5	9	6	7	8
1	220/110/35/ 10	110 35 10	L ₁ - 10 L ₂ - 25 L ₃ - 10	2,5 4 1,6	25 100 16	15 86 12	0,87 0,86 0,88	10500
2	220/110/35/ 10	110 35 10	L ₁ - 3 L ₂ - 6 L ₃ - 6	17 5,0 1,5	51 30 9	45 28 8	0,89 0,89 0,90	10000
3	220/110/35/ 10	110 35 10	L ₁ - 6 L ₂ - 7 L ₃ - 7	12 6 2,5	72 42 17,5	62 36 14,5	0 0,91 0,89	19600
4	220/110/10	110 10	L ₁ - 11 L ₂ - 10	6 7	66 70	55 65	0,87 0,91	12400
5	500/330/10	330 10	L ₁ - 8 L ₂ - 10	15 2,5	120 25	100 20	0,9 0,85	9200
6	220/110/10	110 10	L ₁ - 4 L ₂ - 8	30 2	120 16	110 14	0,86 0,88	9000
7	500/330/10	330 10	L ₁ - 8 L ₂ - 10	14 2,5	112 25	90 20	0,91 0,9	18000
8	220/110/10	110 10	L ₁ - 4 L ₂ - 6	8 12	32 72	25 65	0,87 0,89	10000
9	220/110/35/ 10	110 35 10	L ₁ - 6 L ₂ - 4 L ₃ - 5	19 5 2,5	114 20 12,5	82 14 9,,5	0,89 0,9 0,91	13500
10	330/220/35/ 10	220 35 10	L ₁ - 4 L ₂ - 4 L ₂ - 6	18 3,2 4,5	72 12,8 27	48 12 19	0,88 0,91 0,9	8600

3. Методические указания к расчету

3. Выбор принципиальной схемы подстанции.

Составление возможных вариантов принципиальной схемы подстанции выполняется на основании следующих данных:

- Назначение подстанций в энергосистеме
- Перетоки мощностей через подстанцию
- Наличие одного или двух распределительных устройств повышенных напряжений подстанций

Принципиальная схема подстанции определяет выполнение трансформаторных и автотрансформаторных связей между распределительными устройствами, и выбор её базируется на технико-экономических расчетах. Для подстанций с двумя или тремя напряжениями принципиальная схема определяется практически однозначно.

Проектирование их сводится к выбору числа, типа и номинальной мощности необходимых трансформаторов (автотрансформаторов).

Энергия, поступающая из сети высшего напряжения (ВН), может быть распределена как на одном низшем напряжении (НН) 6-10 кВ, так и на двух напряжениях: среднем (СН) 35 кВ и более и низшем (НН) 6-10 кВ. в зависимости от количества РУ устанавливают двухобмоточные трансформаторы (рис.1), или трехобмоточные (рис.1), или автотрансформаторы (рис.1) в зависимости от режима нейтрали сети среднего напряжения.

Установка одного трансформатора возможна только на подстанции, питающей неответственные потребители (потребители третьей категории). Для электроснабжения потребителей первой и второй категории по условию надёжности, как правило, устанавливают два трансформатора. Установка большего количества трансформаторов допускается только при соответствующих технико-экономических обоснованиях.

В некоторых случаях, если мощность сети СН резко отличается (составляя не более 15%) от мощности сети НН, более экономичным может оказаться применение 4 двухобмоточных трансформаторов вместо 2 трехобмоточных (рис.2).

Трехобмоточные трансформаторы устанавливают, если $U_{\text{сн}} = 35 \text{ кВ}$, при более высоком $U_{\text{сн}}$ устанавливают автотрансформаторы.

3.1 Технико-экономический расчёт подстанции.

3.1.1 Расчёт нагрузок.

По исходным данным, принимаемым в соответствии с вариантом, рассчитываются мощности подстанции по напряжениям. Описанная методика выполнена для подстанции на 4 напряжения. В случае подстанции на 3 напряжения выпадает одно из средних напряжений и обозначается как $U_{сн}$.

3.1.1.1 Полные мощности подстанции по ступеням напряжения

$$S_{м}^{CH1} = \frac{P_{м}}{\cos \varphi}, \text{ МВА}$$

$$S_{м}^{CH2} = \frac{P_{м}}{\cos \varphi}, \text{ МВ А}$$

$$S_{м}^{HH} = \frac{P_{м}}{\cos \varphi}, \text{ МВ А}$$

где $P_{м}$ - максимальная активная мощность на данной ступени напряжения, МВт.

Полная мощность на стороне высшего напряжения

$$S_{м}^{BH} = S_{м}^{CH1} + S_{м}^{CH2} + S_{м}^{HH}, \text{ МВ А.}$$

3.1.1.2 Реактивные мощности подстанции

$$Q_{м}^{CH1} = \sqrt{(S_{м}^{CH1})^2 - (P_{м}^{CH1})^2}, \text{ Мвар.}$$

$$Q_{м}^{CH2} = \sqrt{(S_{м}^{CH2})^2 - (P_{м}^{CH2})^2}, \text{ Мвар.}$$

$$Q_{м}^{HH} = \sqrt{(S_{м}^{HH})^2 - (P_{м}^{HH})^2}, \text{ Мвар.}$$

3.1.1.3 По данным вычисленных мощностей строят графики нагрузок для всех напряжений подстанций. Общий вид графиков приведен на Рис.1.см. приложения

Для каждой ступени напряжения принимается расчетный максимум равный $P_{м}$, МВт, исходя из которого, суточная продолжительность потребления мощности распределяется пропорционально графику. По расчетным графикам рассчитывается годовая энергия потребления.

3.1.1.4 Энергия зимних суток.

$$W_{3C}^{CH1} = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5, \text{ МВт час}$$

$$W_{3C}^{CH2} = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5, \text{ МВт час.}$$

$$W_{3C}^{HH} = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5, \text{ МВт час}$$

3.1.1.5 Энергия летних суток.

$$W_{ЛС}^{CH1} = P_6 t_6 + P_7 t_7 + P_8 t_8 + P_9 t_9 + P_{10} t_{10}, \text{ МВт час}$$

$$W_{ЛС}^{CH2} = P_6 t_6 + P_7 t_7 + P_8 t_8 + P_9 t_9 + P_{10} t_{10}, \text{ МВт час}$$

$$W_{ЛС}^{HH} = P_6 t_6 + P_7 t_7 + P_8 t_8 + P_9 t_9 + P_{10} t_{10}, \text{ МВт час}$$

3.1.1.6 Электрическая энергия потреблённая за год по каждому графику

$$W_{ГОД} = W_{3C} N_3 + W_{ЛС} N_{Л}, \text{ МВт час}$$

$$W_{ГОД}^{CH1} = W_{3C}^{CH1} + W_{ЛС}^{CH1}, \text{ МВт час}$$

$$W_{ГОД}^{CH2} = W_{3C}^{CH2} + W_{ЛС}^{CH2}, \text{ МВт час}$$

$$W_{ГОД}^{HH} = W_{3C}^{HH} + W_{ЛС}^{HH}, \text{ МВт час}$$

3.1.1.7 Время максимума потребления нагрузки

$$T_M = \frac{W_{ГОД}}{P_M}, \text{ час}$$

$$T_{M, CH1} = \frac{W_{Г, CH1}}{P_{M, CH1}}, \text{ час}$$

$$T_{M, CH2} = \frac{W_{Г, CH2}}{P_{M, CH2}}, \text{ час}$$

$$T_{M, HH} = \frac{W_{ГОД}^{HH}}{P_M^{HH}}, \text{ час}$$

$$T_{M,BH} = \frac{P_{M,CH1} T_{M,CH1} + P_{M,CH2} T_{M,CH2} + P_{M,HH} T_{M,HH}}{P_{M,CH1} + P_{M,CH2} + P_{M,HH}}, \text{ час}$$

3.1.1.8 Время максимальных потерь энергии -τ рассчитывается, за год на каждом напряжении. Годовая продолжительность времени потерь принимается календарная T=8760 часов

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 8760, \text{ час}$$

для каждого напряжения свое время максимальных потерь

$$\tau_{CH1} = \left(0,124 + \frac{T_M^{CH1}}{10000} \right)^2 8760, \text{ час}$$

$$\tau_{CH2} = \left(0,124 + \frac{T_M^{CH2}}{10000} \right)^2 8760, \text{ час}$$

$$\tau_{HH} = \left(0,124 + \frac{T_M^{HH}}{10000} \right)^2 8760, \text{ час}$$

3.1.2 Выбор трансформатора (автотрансформатора АТ).

Мощность трансформатора определяется его нагрузкой и определяется как

$$S_{H.TP.} \geq (0,7 - 0,65) S_M$$

для каждой ступени напряжения с учетом установки двух трансформаторов. Выбранный трансформатор (автотрансформатор) проверяют на аварийные перегрузки при выходе одного трансформатора (автотрансформатора) из работы. Коэффициент аварийной перегрузки определяется по формуле

$$k_{п.ав} = \frac{S_{max}}{S_{ном.т}}$$

Где S_{max} - максимальная мощность по графику нагрузки на стороне ВН

$S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора (АТ).

Выбранный трансформатор (АТ) должен удовлетворять условию

$$k_{п.ав} < k_{доп.}$$

Проверка трансформатора (АТ) на систематические перегрузки производится при отключении одного из трансформаторов (АТ) на плановый ремонт во время **летнего периода**. Вопрос о допустимости систематических перегрузок может быть решен с учетом графиков нагрузочной способности

трансформаторов, приведенных в ГОСТ, при этом необходимы следующие параметры:

- Система охлаждения (М, Д, ДЦ и Ц)
- Постоянная времени нагрева (τ)
- Эквивалентная температура окружающей среды (θ)
- Коэффициент начальной нагрузки эквивалентного графика ($S_i < S_{ном}$):

Намечается два варианта схем подстанции, выполняется их технико-экономический расчет, на основании которого выбирается один из расчетных вариантов. При выборе схем электрических соединений РУ всех напряжений нет необходимости подходить к разработке конструкции каждого РУ. Проектными организациями разработаны типовые конструкции РУ. Окончательное решение по конструкции РУ применяют на основании технико-экономического решения ряда эскизно-проработанных вариантов компоновок : РУ должны удовлетворять ряду требований согласно ПУЭ. Основные требования: надежность, экономичность, удобство и безопасность обслуживания, пожаробезопасность. В курсовой работе необходимо сравнить 2-3 варианта электрических схем РУ. Следует учитывать ряд утвердившихся в практике положений, а также некоторые рекомендации:

- Для РУ 35 кВ не применяют схемы с обходной системой шин.
- Для РУ 110 кВ и выше схемы с одной и двумя системами сборных шин рекомендуется применять только с обходной системой шин.
- В схеме с двумя системами сборных шин секционируют одну систему шин при числе присоединений 12-16: обе системы шин- при числе присоединений более 16. При наличии секционирования в схеме с обходной системой шин функции обходного и шиносоединительного выключателя совмещают в одном выключателе.
- Схемы многоугольников рекомендуется применять при одинаковом количестве трансформаторов и линий.
- Подключение линий к РУ повышенного напряжения желательно выполнять не более чем двумя выключателями, а подключение трансформаторов- не более чем четырьмя.

Параметры выбираемых трансформаторов оформляются в таблицу №2. Предполагаемые варианты схем подстанций приведены на Рис.2.

3.1.3 Расчёт потерь электроэнергии для двух вариантов

3.1.3.1 Расчет потерь мощности ΔP_K в автотрансформаторах по обмоткам

$$\Delta P_{K,B} = 0,5 \left(P_{B-C} + \frac{P_{K(B-H)}}{K_{ВЫГ}^2} - \frac{P_{K(C-H)}}{K_{ВЫГ}^2} \right) \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{K,C} = 0,5 \left(P_{K(B-C)} + \frac{P_{K(C-H)}}{K_{ВЫГ}^2} - \frac{P_{K(B-H)}}{K_{ВЫГ}^2} \right) \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{K,H} = 0,5 \left(\frac{P_{K(B-H)}}{K_{ВЫГ}^2} - \frac{P_{K(C-H)}}{K_{ВЫГ}^2} - P_{K(B-C)} \right) \text{ кВт}$$

где

$$K_{ВЫГ} = \frac{U_B - U_C}{U_B} = \frac{S_{ТИП}}{S_{НОМ}} - \text{коэффициент выгоды или коэффициент типовой}$$

мощности

Если номинальная мощность обмотки низкого напряжения $S_{НОМ,НН} \neq k_{ВЫГ} S_{НОМ}$,

то вместо $K_{ВЫГ}$ подставить

$$\frac{S_{НОМ,НН}}{S_{НОМ}}$$

3.1.3.2 Расчет потерь мощности для трехобмоточных трансформаторов.

Если потери K_3 даны для пары обмоток ВН-СН, тогда потери отдельных обмоток равны

$$P_{K,B} = P_{K,C} = P_{K,H} = 0,5 P_{K,B-C}$$

если, потери K_3 приведены для каждой пары, тогда потери отдельных обмоток равны

$$P_{K,B} = 0,5 (P_{K,B-C} + P_{K,B-H} - P_{K,C-H}), \text{ кВт}$$

$$P_{K,C} = 0,5 (P_{K,B-C} + P_{K,C-H} - P_{K,B-H}), \text{ кВт}$$

$$P_{K,H} = 0,5 (P_{K,B-H} + P_{K,C-H} - P_{K,B-C}), \text{ кВт}$$

3.1.3.3 Мощности обмоток автотрансформатора при работе под нагрузкой по вариантам.

$$S_M = \sqrt{(P_M^{HH} + P_M^{CH2})^2 + (Q_M^{HH} + Q_M^{CH2})^2}, \text{ МВА.}$$

3.1.3.4 Потери энергии в автотрансформаторах по каждому варианту - $\Delta W_{I \text{ ВАР}}, \Delta W_{II \text{ ВАР}}$.

$$\Delta W_{AT} = N * \left[P_X T + P_{K,B} \left(\frac{S_{M,B}}{S_{НОМ}} \right)^2 \tau_B + P_{K,C} \left(\frac{S_{M,C}}{S_{НОМ}} \right)^2 \tau_C + P_{K,H} \left(\frac{S_{M,H}}{S_{НОМ}} \right)^2 \tau_H \right],$$

МВт час

N - количество трансформаторов на ПС.

3.1.3.5 Потери энергии в двухобмоточных трансформаторах

$$\Delta W_{TP} = N * \left(\Delta P_X T + \Delta P_K \left(\frac{S_M}{S_{HTP}} \right)^2 \tau \right), \text{ МВт час}$$

где T = 8760 час

3.1.4 Приведенные затраты

3.1.4.1 Стоимость потерь электроэнергии вычисляется для двух вариантов по выражению

$$C_{II} = C_{TP} + C_{ATP} = \beta * (\Delta W_{TP} + \Delta W_{ATP})$$

где $C_{ATP} = \beta * \Delta W_{ATP}$ - стоимость потерь энергии в автотрансформаторах

$\beta = 2,89$ тенге/кВт час – стоимость потерь электроэнергии

$C_{TP} = \beta * \Delta W_{TP}$ - стоимость потерь энергии в трансформаторах

3.1.4.2 Капитальные затраты на основное оборудование ПС вычисляются, в соответствии с укрупненными показателями стоимости по [3]. Для сравнения капитальных затрат вариантов удобнее заполнить таблицу №3.

Примечание: цены перевести в тенге, увеличивая заданную стоимость в 100 раз.

Таблица №3. Затраты по вариантам

Наименование оборудования	Стоимость единицы оборудования Тыс.тенге	Первый вариант.		Второй вариант.	
		Кол-во	Общая стоимость Тыс.тенге	Кол-во	Общая стоимость Тыс.тенге
АТ1,АТ2					
Т1,Т2					
Т3,Т4					
Ячейка ОРУ-110					
Ячейка ОРУ-35					
$K_{\Sigma \text{ сн}}$	-	-		-	
$K_{\Sigma \text{ вн}}$	-	-		-	
$K_{\Sigma \text{ общ}}$	-	-		-	

3.1.4.3 Стоимость отчислений на амортизацию ремонт и обслуживание

$$C_A = \frac{\rho_A + \rho_O}{100} K$$

где

$\rho_A = 9,4\%$ - норма амортизационных отчислений от капитальных затрат,

$\rho_O = 9,4\%$ - для ОРУ-110кВ и ниже – норма отчислений на обслуживание

$\rho_O = 8,4\%$ - для ОРУ-220кВ и выше - норма отчислений на обслуживание

K- сумма полученных капитальных затрат из таблицы №3 по вариантам.

3.1.4.4 Приведённые затраты вычисляются по формуле

$$Z = \rho_H K + C_A + C_{\Pi}$$

где $\rho_H = 0,125$ - нормативный коэффициент экономической эффективности

Вывод: Для дальнейшего расчёта выбирается вариант с наименьшими затратами.

3.2 Расчёт токов короткого замыкания.

Порядок расчета

Для выбранного варианта составляется расчетная схема. По расчетной схеме составляется схема замещения. Все элементы схемы замещения заменяются индуктивными сопротивлениями. Сопротивления выражаются в относительных или именованных единицах в зависимости от метода расчета тока КЗ.

3.2.1 Задаться базисными величинами

$S_B = 10000 \text{ MVA}$ - базисная мощность,

$U_B = U_{CP}$ - базисное напряжение, принимается равным среднему номинальному напряжению ступени КЗ. Это может быть U_{B1}, U_{B2}

$U_{\text{СТАН}} = 6; 10; 35; 110; 220; 300 \text{ кВ}$

$U_{\text{СРЕД}} = 6,5 ; 10,5 ; 37 ; 115 ; 230 ; 330 \text{ кВ.}$

$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} * U_{CP}} \text{ кА}$ - базисный ток ступени КЗ – I_{B1}, I_{B2} , и т.д.

3.2.2 Перевести сопротивления в относительные или именованные единицы, для высокого напряжения рекомендуется расчет в относительных единицах. Перевод можно выполнить по формулам в таблице П-2 (приложения)

3.2.2 Произвести преобразования в схеме, определить результирующее сопротивление для каждой из намеченных точек КЗ.

3.2.3 Определить начальное значение периодической составляющей тока КЗ

$$I_{\text{ПО}} = \frac{I_B}{x_{PE3}}, \text{ кА}$$

3.2.4 Определить значение мгновенного амплитудного значения ударного тока $i_y = \sqrt{2} k_y I_{\text{ПО}}$, кА где k_y из табл.П-1

3.2.5 Действующее значение ударного тока

$$I_y = I_{\text{ПО}} (1 + \sqrt{k_y^2 - 1}), \text{ кА}$$

3.3 Выбор оборудования

3.3.1 Выбор реактора

Если значение тока короткого замыкания больше значения тока отключения, предполагаемого выключателя в цепи устанавливается реактор, для ограничения тока КЗ. Расчет можно выполнить в относительных и именованных единицах.

3.3.1.1 Требуемое значение сопротивления цепи с установкой реактора

$$x_{ТРЕБ} = \frac{U_B}{\sqrt{3}I_{ОТК}}, \text{ Ом}$$

3.3.1.2 Расчетное сопротивление цепи без реактора

$$x_{КЗ} = \frac{U_B}{\sqrt{3}I_{ПО}}, \text{ Ом}$$

3.3.1.3 Расчетное сопротивление, приходящееся на реактор

$$x'_P = x_{ТРЕБ} - x_{КЗ}$$

3.3.1.4 Рабочий ток ступени напряжения КЗ

$$I_{РАБ} = \frac{n_{ЛЭП} P_{Л} 10^3}{\sqrt{3}U \cos \varphi}$$

3.3.1.5. Максимальный рабочий ток ступени напряжения КЗ

$$I_{РАБМАХ} = \frac{n}{n-1} I_{РАБ}, \text{ А}$$

3.3.1.6 Выбор реактора по условиям:

$$U_{РНОМ} \geq U_{УСТ}$$

$$I_{РНОМ} \geq I_{РАБМАХ}$$

$$x_{РНОМ} \geq x'_P$$

Выбор данных реактора по [3]

3.3.1.7 Сопротивление цепи КЗ сопротивлением выбранного реактора

$$X_K = \frac{U_{CP} * K_3}{\sqrt{3}I_{gi}}$$

3.3.1.8 Выбор высоковольтных выключателей

Выбор выключателей производится по:

- 1 Роду установки
- 2 По допустимому току
- 3 по напряжению

Далее производится проверка к устойчивости к токам КЗ

а)динамическая стойкость

б)термическая стойкость

Выбор рекомендуется оформлять в виде таблицы

Таблица №4 Условия выбора в/в выключателя.

Условия выбора выключателя	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя
$U_{уст} < U_{НОМ}$	$U_{уст}, kВ$	$U_{НОМ}, kВ$
$I_{PM} < I_{НОМ}$	I_{PM}, A	$I_{НОМ}, A$
$I_{шт} < I_{НОМ.ОТК}$	$I_{шт}, kA$	$I_{ОТК}, A$
$i_a = \sqrt{2} I_{ОТК} \frac{\beta\%}{100}, kA$	$i_a = \sqrt{2} I_{ОТК} \frac{\beta\%}{100}, kA$	$i_a = \sqrt{2} I_{ОТК} \frac{\beta\%}{100}, kA$
$i_{уд} \leq i_{дин}$	i_y, kA	$i_{дин}, kA$
$I_{по} < I_{дин}$	$I_{по}, kA$	$I_{дин}, kA$
$B_K < I_{ТЕР}^2 t_{ТЕР}$	B_K, kA^2c	$I_{ТЕР}^2 * t_{ТЕР}, kA^2C$

Выбор выключателей производится для всех напряжений подстанций

Выбор жестких шин.

Согласно ПУЭ§ 1,3,28 жёсткие шины в пределах РУ всех напряжений выбираются по условию нагрева (по допустимому току)При этом учитывается не только нормальные, но и послеаварийные режимы. В закрытых РУ 6-10кВ ошиновка и сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах 3000 А применяются одно –и двух полосные шины Условия выбора

$$I_{\max} < I_{\text{доп}}$$

Проверка по допустимому току

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{70 - \lambda_0}{45}}$$

Где $I_{\text{доп.ном}}$ допустимый ток по таблице при температуре воздуха 25°C λ_0 действительная температура воздуха.

Механический расчет однополосных шин.

Наибольшее удельное усилие при токе КЗ

$$j = \sqrt{3} * 10^{-7} * \frac{i_y}{a}$$

Так как расстояние между фазами значительно больше периметра шин $a \gg 2(b+h)$, то коэффициент формы $K_f = 1$

Изгибающий момент

$$M = \frac{\int i^2}{10} \text{ НМ}$$

Где i – длина пролета между опорными изоляторами шинной конструкции М

Напряжение в материале шины

$$G_{\text{расч}} = \frac{M}{W} \text{ МПа}$$

W- Моменты сопротивления шин см. приложения табл. П-3

Шины механически прочны если

$$G_{\text{расч}} < G_{\text{доп}}$$

Механический расчет двухполосных шин

Если каждая фаза выполняется из двух полос, то возникает усилие между полосами и между фазами. Усилие между полосами не должно приводить к их соприкосновению. Для того чтобы уменьшить это усилие, в пролете между полосами устанавливают прокладки. Пролет между прокладками i_n выбирается таким образом, чтобы электродинамические силы, возникающие при КЗ, не вызывали соприкосновения полос.

$$i_n \leq 0,216 \sqrt{\frac{a_n}{i_y}} * \sqrt[4]{\frac{EJ_{\text{п}}}{K_{\text{ф}}}}$$

где a_n - расстояние между осями полос, см $a = a_n = 2b$

$$J_n = \frac{hb^3}{12} \text{ см}^4 \quad \text{момент инерции полосы}$$

K_f - Коэффициент формы определяется из литературы (3) рис.4.5

E- Модуль упругости материала шин см. приложения табл. П-4

$$i_n \leq 0,133 * 10^{-2} * \sqrt[4]{\frac{EJ_{\text{п}}}{m_{\text{п}}}}$$

m_p - масса полосы

в расчет принимается меньшая из двух величин.

Сила взаимодействия между полосами в пакете из двух полос

$$\int_n = 2 \cdot 10^{-7} K_\phi \left(\frac{i_y}{2} \right)^2 * \frac{1}{2b} = \frac{K_\phi}{4} * \frac{i^2}{b} * 10^{-7}$$

Напряжение в материале шин от взаимодействия полос

$$G_p = \frac{\int_p i_n^2}{12W_p} \text{ МПа}$$

W_p -момент сопротивления одной полосы, CM^3

i_p - расстояние между прокладками

Напряжение в материале шин от взаимодействия фаз

$$G_\phi = \sqrt{3} * 10^{-8} * \frac{i^2}{aW_\phi} * i_y^2 \text{ МПа}$$

i -длина пролета между изоляторами М

W_ϕ -момент сопротивления пакета шин см.табл. П-3

Шины механически прочны если

$$G_\phi + G_p < G_{\text{доп}}$$

3.3.1.9 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Объем измерений для каждого присоединения устанавливается согласно ПУЭ.

Трансформаторы тока выбирают:

По напряжению установки

$$U_{\text{уст}} < U_{\text{ном}}$$

По току

$$I_{\text{ном}} < I_{1\text{ном}} \quad I_{\text{max}} < I_{1\text{ном}}$$

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей

По конструкции и классу точности

По вторичной нагрузке

$$Z_2 < Z_{2\text{ном}}$$

Где Z_2 - вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2\text{ном}}$ - номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности. Составить таблицу вторичной нагрузки

Таблица №5 Нагрузка вторичных цепей ТТ

Наименование прибора	тип	Нагрузка по фазам		
		А	Б	С

Итого

Установка контрольно-измерительных приборов см.т 4,1 литература(3)

Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}$$

Сопротивление приборов определяется по выражению

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}$$

Сопротивление контактов принимают 0,05 ом при 2-3 приборах. Сопротивление соединительных проводов зависит от длины и сечения. Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности необходимо

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{нн}}^{\text{нн}}$$

Тогда

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{нн}}^{\text{нн}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}$$

Зная сопротивление проводов можно определить сечение

$$q = \frac{\rho * l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}}$$

ρ -удельное сопротивление материала провода (0,0175 медь и 0,0283 алюминий). Провода с медными жилами применяются во вторичных цепях основного и вспомогательного оборудования на подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше в остальных случаях во вторичных цепях применяются провода с алюминиевыми жилами.

Длину соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец)можно принять для различных присоединений приблизительно равной, М

Таблица №6 Расчетные длины проводов вторичных цепей ТТ до приборов.

Наименования	Длина в метрах
Линии 6-10 кВ к потребителям	4-6
Цепи РУ 35кВ	60-75
110кВ	75-100
220кВ	100-150
330-500кВ	150-175

По условию прочности сечение не должно быть меньше 4мм^2 для алюминиевых жил и $2,5\text{мм}^2$ для медных.

Производится проверка по электродинамической устойчивости и термической.

Выбор трансформаторов напряжения.

Трансформаторы напряжения выбираются;

По напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

По конструкции и схеме соединения обмоток

По классу точности

По вторичной нагрузке

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$$

$S_{\text{ном}}$ -номинальная мощность в выбранном классе точности. Для однофазных трансформаторов, соединенных в звезду, следует взять суммарную мощность всех трех фаз, а для соединенных по схеме открытого треугольника удвоенную мощность одного трансформатора.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cos \varphi \right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \sin \varphi \right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}$$

Таблица №7 Вторичная нагрузка ТН

Наименование прибора	тип	S одной обмотки ВА	Число обмоток	Cos φ	Sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P Вт	Q Вар

Итого

Если вторичная нагрузка превышает номинальную мощность в выбранном классе точности, то устанавливают второй трансформатор и часть нагрузки присоединяют к нему. Сечение проводов по условиям механической прочности принимают $1,5\text{мм}^2$ для меди $2,5\text{мм}^2$ для алюминия.

Расчет заземляющих устройств.

Согласно ПУЭ заземляющие устройства электроустановок сети с эффективно заземленной нейтралью выполнено с учётом сопротивления ($R_3 \leq 0,5 \text{ Ом}$) или допустимым напряжением прикосновения.

Расчет по допустимому сопротивлению приводит к неоправданному перерасходу проводникового материала и трудозатрат при сооружении заземляющего устройства.

Опыт эксплуатации РУ-110 кВ и выше позволяет перейти к нормированию и напряжению прикосновения, а не величины сопротивления заземления ($R_3 \leq 0,5 \text{ Ом}$).

Сложный заземлитель заменён расчетной квадратной моделью при условии равенства площадей, общей длиной горизонтальных проводников, глубины их заложения, числа и длины вертикальных заземлителей и глубины их заложения.

В расчетах многослойный грунт представлен двухслойным, верхней толщиной h с удельным сопротивлением ρ , нижним удельным сопротивлением ρ_2

Напряжение на заземлителе

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{K_{\text{п}}}$$

$K_{\text{п}}$ -коэффициент напряжения прикосновения

$$K_n = \frac{M\beta}{\left(\frac{I_B L_{\Gamma}}{a\sqrt{S}} \right)^{0.45}}$$

I_B -длина вертикального заземлителя

L_{Γ} -длина горизонтальных заземлителей

a -расстояние между вертикальными заземлителями

S -площадь заземляющего устройства

M -параметр, зависящий от ρ_1/ρ_2 см табл. П-6

Общая длина горизонтальных заземлителей

$$L_{\Gamma} = \left(\sqrt{S} * \frac{\sqrt{S}}{a} + 1 \right) * 2$$

В-коэффициент определяемый по сопротивлению тела человека

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{с}}}$$

В расчетах применяются $R_{\text{ч}}=1000 \text{ Ом}$ $R_{\text{с}}=1,5\rho_{\text{в.с}}$

Сопротивление заземляющего устройства

$$R_{\text{з.доп}} \leq \frac{U_3}{I_3}$$

I_3 -ток, стекающий с заземлителя проектируемого заземляющего устройства при однофазном КЗ

$$I_{\text{нз}}^{\text{с}} = I_{\text{нз}}^{\text{с}} * 0,657$$

Общее сопротивление естественных заземлителей

$$R_{\text{е}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{каб}}} + \frac{1}{R_{\text{ф}}} + \frac{1}{R_{\text{с.т.о}}}}$$

$R_{\text{каб}}$ -сопротивление растеканию тока кабелей

$R_{\text{ф}}$ -сопротивление растеканию тока фундаментов

$R_{\text{с.т.о}}$ -сопротивление растеканию тока системы трос-опоры

Если $R_{\text{е}} < R_{\text{з.доп}}$ то сооружается только сетка из горизонтальных полос,
если $R_{\text{е}} > R_{\text{з.доп}}$ то необходимо сооружение искусственного заземлителя,

Определяют общее сопротивление сложного заземлителя

$$R_{\text{з}} = A * \frac{\rho_{\text{э}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{э}}}{L_{\text{Г}} + L_{\text{В}}}$$

Где

$$A = \left(0,444 - 0,84 * \frac{i_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}} \right) \text{ при } 0 \leq \frac{i_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1$$

$$A = \left(0,385 - 0,25 * \frac{i_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}} \right) \text{ при } 0,1 \leq \frac{i_{\text{в}} + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5$$

$R_{\text{э}}$ -эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом*м

$L_{\text{в}}$ -общая длина вертикальных заземлителей

$$L_{\text{в}} = I_{\text{в}} * n_{\text{в}}$$

Количество вертикальных заземлителей

$$n_{\text{в}} = \frac{\sqrt{S} * 4}{\frac{a}{i_{\text{в}}} * i_{\text{в}}}$$

Полученное значение $R_{\text{з}}$ должно быть меньше $R_{\text{з.доп}}$ $R_{\text{и}}$

Удельное сопротивление грунтов см. приложения табл.П-5

Если сопротивление заземлителя превышает требуемые значения, то необходимо увеличение площади S длины L числа вертикальных заземлителей n и их длины. Всё это приводит к дополнительным расходам. Эффективной мерой уменьшения опасности прикосновения является подсыпка гравия или щебня слоем 0,1-0,2м у рабочих мест. Удельное сопротивление верхнего слоя при этом резко возрастает (5000-10000 Ом*м), что снижает ток проходящий через человека, так как возрастает сопротивление растеканию тока со ступней $R_{\text{с}}$. В расчете соответственно уменьшается коэффициент β и увеличивается допустимое сопротивление заземляющего устройства.

ПРИЛОЖЕНИЯ

5. Графическое оформление.

Рисунок 2-Возможные принципиальные схемы подстанций:

- А) С двумя двухобмоточными трансформаторами
- Б) С двумя трехобмоточными трансформаторами
- В) С двумя автотрансформаторами
- Г) С четырьмя двухобмоточными трансформаторами

Главная схема электрических соединений выполняется на листе форматом А2. она включает в себя:

- Основное первичное оборудование – трансформаторы, синхронные компенсаторы, линии, питающие нагрузку и связи с системой, реактор.
- Выключатели
- Разъединители
- Заземляющие ножи разъединителей
- Разрядники
- Измерительные трансформаторы
- Измерительные приборы.

В целях упрощения чертежа рекомендуется подробно, с указанием всех измерительных трансформаторов, измерительных приборов, показать по одному присоединению для групп однотипных присоединений. Надписи, касающиеся типов и параметров оборудования, рекомендуется выполнять в виде спецификации, по краю листа.

Заземляющие разъединители – стационарное заземляющее устройство, который должен иметь каждый участок электрической схемы, который может быть обесточен для ремонта.

Защита от перенапряжений осуществляется разрядниками, которые устанавливаются:

- На линейных выводах 330-750 кВ.
- На выводах всех обмоток автотрансформаторов и трёхобмоточных трансформаторов.
- На выводах ВН двухобмоточных трансформаторов.
- На сборных шинах 35 кВ и выше.
- На сборных шинах 3-10 кВ, если к ним подключены воздушные линии.

Все разрядники, кроме разрядников сборных шин, подключаются без разъединителей.

Измерительные трансформаторы.

Трансформаторы тока, предназначены для подключения измерительных приборов, устанавливаются в соответствующих присоединениях в двух или трех фазах.

Трансформаторы напряжения (ТН) со схемой Δ/Δ устанавливаются на линиях 35 кВ на сборках групповых реакторов 6-10 кВ.

ТН со схемой $Y/Y/\Delta$ устанавливаются на сборных шинах, секциях рабочей системы шин РУ напряжением 3 кВ и выше, на линиях 110 кВ и выше при схемах «многоугольник» «3/2», «4/3» (за разъединителями линий), на НН автотрансформатора, на обходной системе шин.



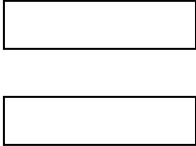
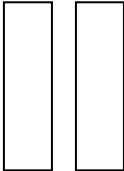
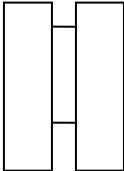
Таблица П-1 Значения постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ и ударного коэффициента

Элементы или части энергосистемы	$T_a, \text{с}$	k_y
Система связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ. Воздушными линиями напряжением, кВ		
35	0,02	1,608
110-150	0,02-0,03	1,608-1,717
220-330	0,03-0,04	1,717-1,78
500-750	0,06-0,08	1,85-1,895
Система связанная со сборными шинами 6-10 кВ, где рассматривается КЗ, через трансформаторы мощностью, МВа.		
В единицах		
80 и выше	0,06-0,15	1,85-1,935
32-80	0,05-0,1	1,82-1,904
5,6-32	0,02-0,05	1,6-1,82
Ветви, защищенные реактором с номинальным током, А		
1000 и выше	0,23	1,956
630 и ниже	0,1	1,904
Распределительные сети напряжением 6-10кВ	0,01	1,369

Таблица П-2 Приведенные значения сопротивлений

Элемент электроустановки	Исходный параметр	Именованные единицы	Относительные единицы
Генератор	x_{d*HOM} S_{HOM}	$x = x_{d*HOM} \frac{U_B^2}{S_{HOM}}$	$x_* = x_{d*HOM} \frac{S_B}{S_{HOM}}$
	$x_{d* \% HOM}$ S_{HOM}	$x = \frac{x_{d \%}}{100} \frac{U_B^2}{S_{HOM}}$	$x_* = \frac{x_{d \%}}{100} \frac{S_B}{S_{HOM}}$
Энергосистема	S_K	$x = \frac{U_B^2}{S_K}$	$x_* = \frac{S_B}{S_K}$
	$I_{HOM,OTK}$	$x = \frac{U_B^2}{\sqrt{3} * I_{HOM,OTK} U_{CP}}$	$x_* = \frac{S_B}{\sqrt{3} * I_{HOM,OTK} U_{CP}}$
	$x_{*C(HOM)}$ S_{HOM}	$x = x_{*C(HOM)} \frac{U_B^2}{S_{HOM}}$	$x_* = x_{*C(HOM)} \frac{S_B}{S_{HOM}}$
Трансформатор	$x_T \%$ S_{HOM}	$x = \frac{x_T \%}{100} \frac{U_B^2}{S_{HOM}}$	$x_* = \frac{x_T \%}{100} \frac{S_B}{S_{HOM}}$
Реактор	x_P	$x = x_P \frac{U_B^2}{U_{CP}^2}$	$x_* = x_P \frac{S_B}{U_{CP}^2}$
Линии электропередачи	$x_{yД}$ L	$x = x_{yД} L \frac{U_B^2}{U_{CP}^2}$	$x_* = x_{yД} L \frac{S_B}{U_{CP}^2}$

Таблица П-3 Моменты сопротивления и инерции

Расположение шин	Момент инерции	Момент сопротивления
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^2}{3}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^2}{3}$
	$0.72b^3h$	$1.44b^2h$

.где b- высота шины .h- ширина шины. а - расстояние между фазами.

Таблица П-4 Механические характеристики материалов шин

материал	марка	Разрушающие напряжение $\delta_{\text{разр}}$ МПа	Допустимое напряжение $\delta_{\text{доп}}$	Модуль упругости E , Па
алюминий	АДО	60-70	40	$7 \cdot 10^{10}$
медь	МГТ	250-300	140	$10 \cdot 10^{10}$

Таблица П-5 Удельное сопротивление грунтов

грунт	Удельное сопротивление Ом*м
песок	400-1000 и более
супесок	150-400
суглинок	40-150
глина	8-70
Садовая земля	40
торф	20
чернозем	10-50
Мергель, известняк	1000-2000
Скалистый грунт	2000-4000

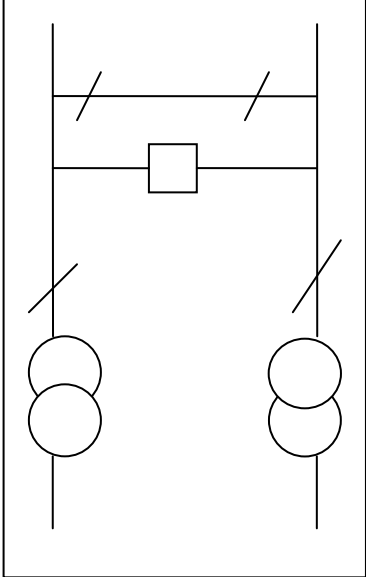
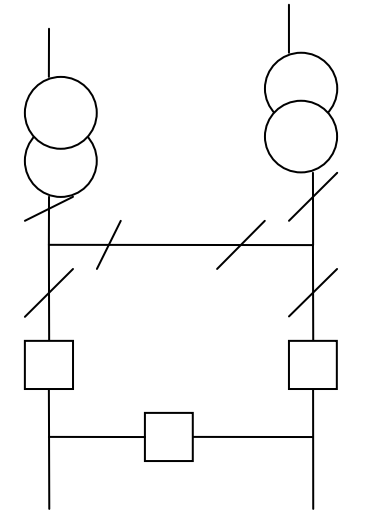
Таблица П-6 Параметр М зависящий от ρ_1/ρ_2

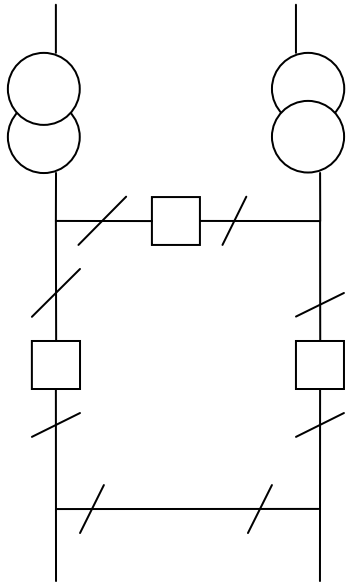
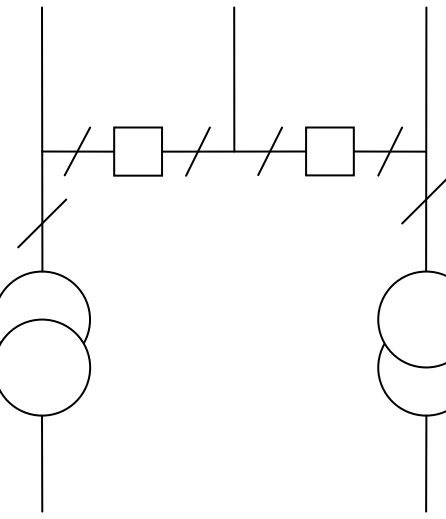
ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
М.	0,36	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82

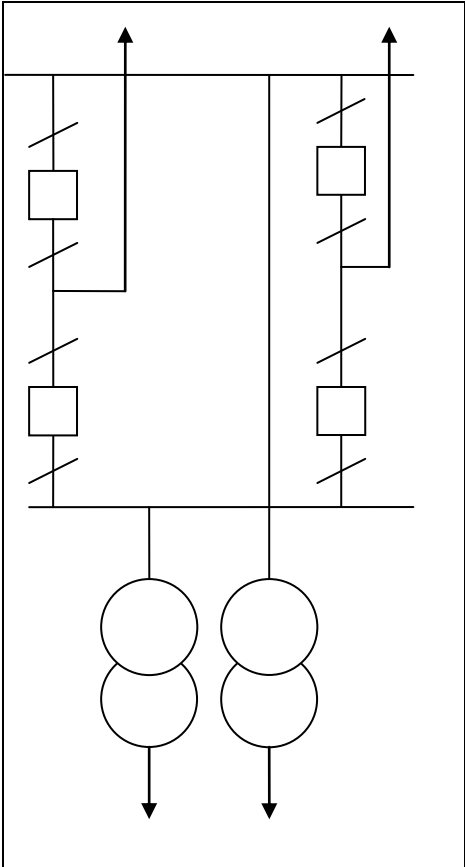
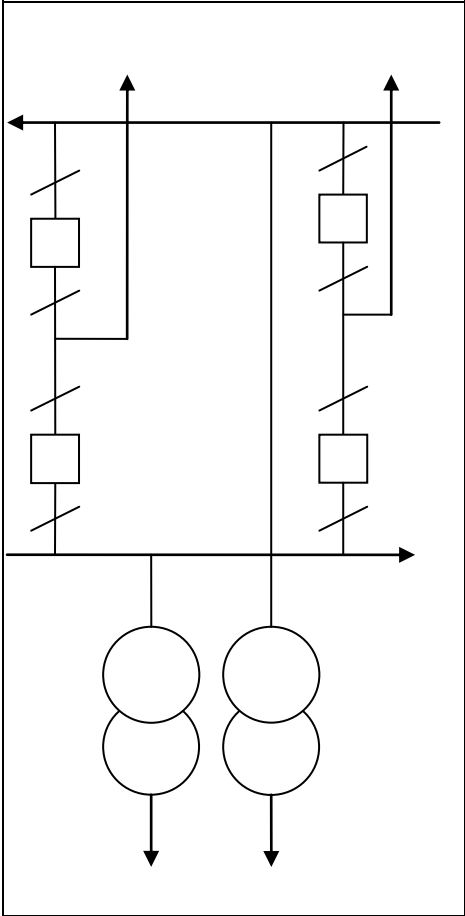
Таблица П-7 Относительное эквивалентное удельное сопротивление для сеток с вертикальными заземлителями ρ_3/ρ_2

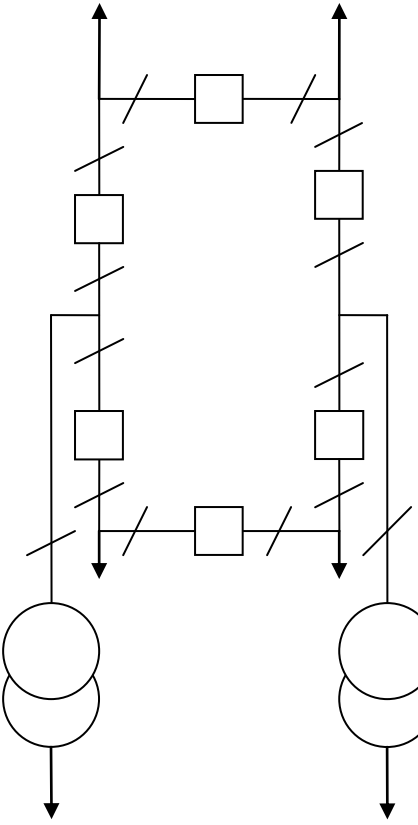
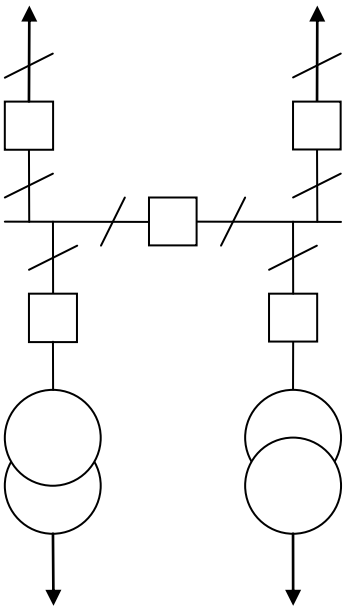
ρ_1/ρ_2	a/i_v	Относительная толщина слоя $(h_1-t)/i_v$						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
1	1-4	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1,02	1,03	1,05	1,1	1,13	1,3	1,4
	2	1,03	1,07	1,1	1,13	1,15	1,32	1,5
	4	1,05	1,17	1,13	1,15	1,2	1,38	1,6
5	1	1,05	1,1	1,15	1,22	1,35	1,86	2,4
	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,7
	4	1,33	1,41	1,5	1,65	1,83	2,6	3,5
10	1	1,1	1,2	1,28	1,38	1,62	2,5	3,7
	2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,75	5,5
	4	1,52	1,7	1,88	2,08	2,33	3,52	6,0
0,125	0,5-4	0,95	0,9	0,8	0,7	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5-4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5-4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77

Таблица П-8 Типовые схемы подстанций.

Электрические схемы РУ	Название схемы	Номинальн ое напряжени е кВ	Количество присоединен ий	Приме чание
1	2	3	4	5
	Мостик с выключателе м в перемычке и отделителем в цепях трансформат ора	35-110	4	
	Мостик с выключателя ми со стороны трансформат ора	35-110	4	

	<p>Мостик с выключателе м со стороны линии</p>	<p>35-110</p>	<p>4</p>	
	<p>Двойной мостик с отделителем в цепях трансформат ора</p>	<p>110-220</p>	<p>5-6</p>	

	Четырехуголь ник	220-750	4	ВН	
	Расширен- ный четыреуголь ник	220-330	5-6	ВН	

	Шестиуголь ник	220-330	6	ВН	
	Одна секционир ованная система сборных шин	6-35	<10	СН	

В данной таблице приведены основные типовые схемы подстанций. С остальными схемами можно ознакомиться в литературе (1) § 5.

Графики нагрузок СН и НН.

Варианты выбираются по первой букве фамилии: А, В, Д, Ж, И, Л, Н, П, С, У, Х, Ш, Э, Я.

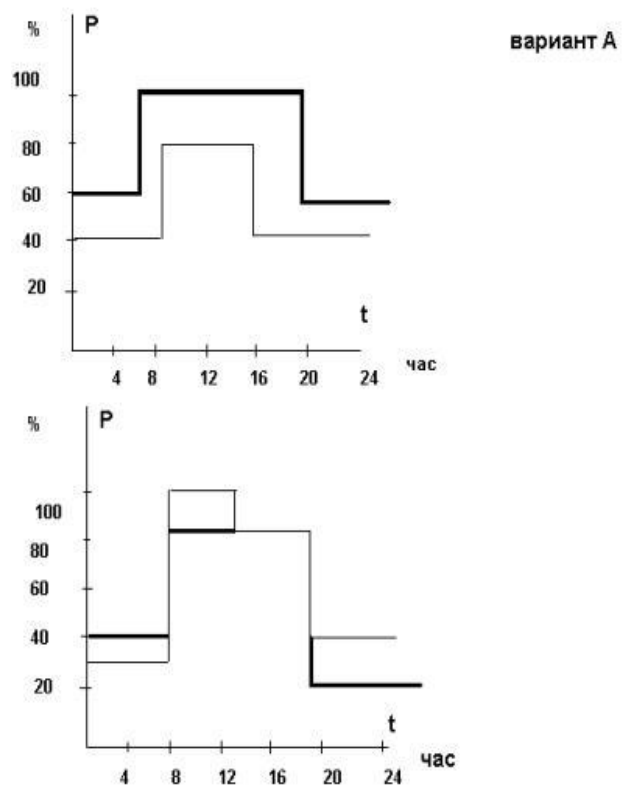
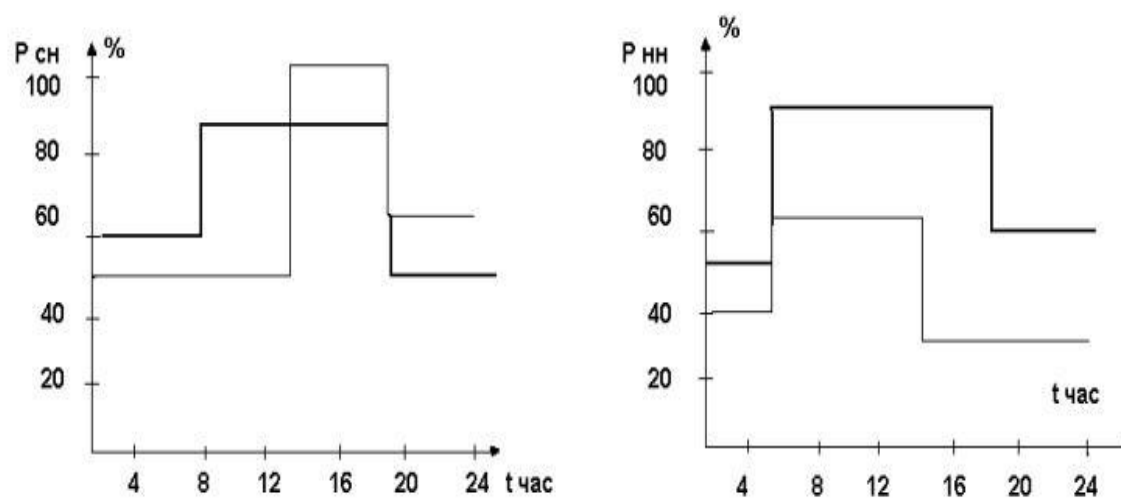


Рис.1

Графики нагрузок СН и НН.

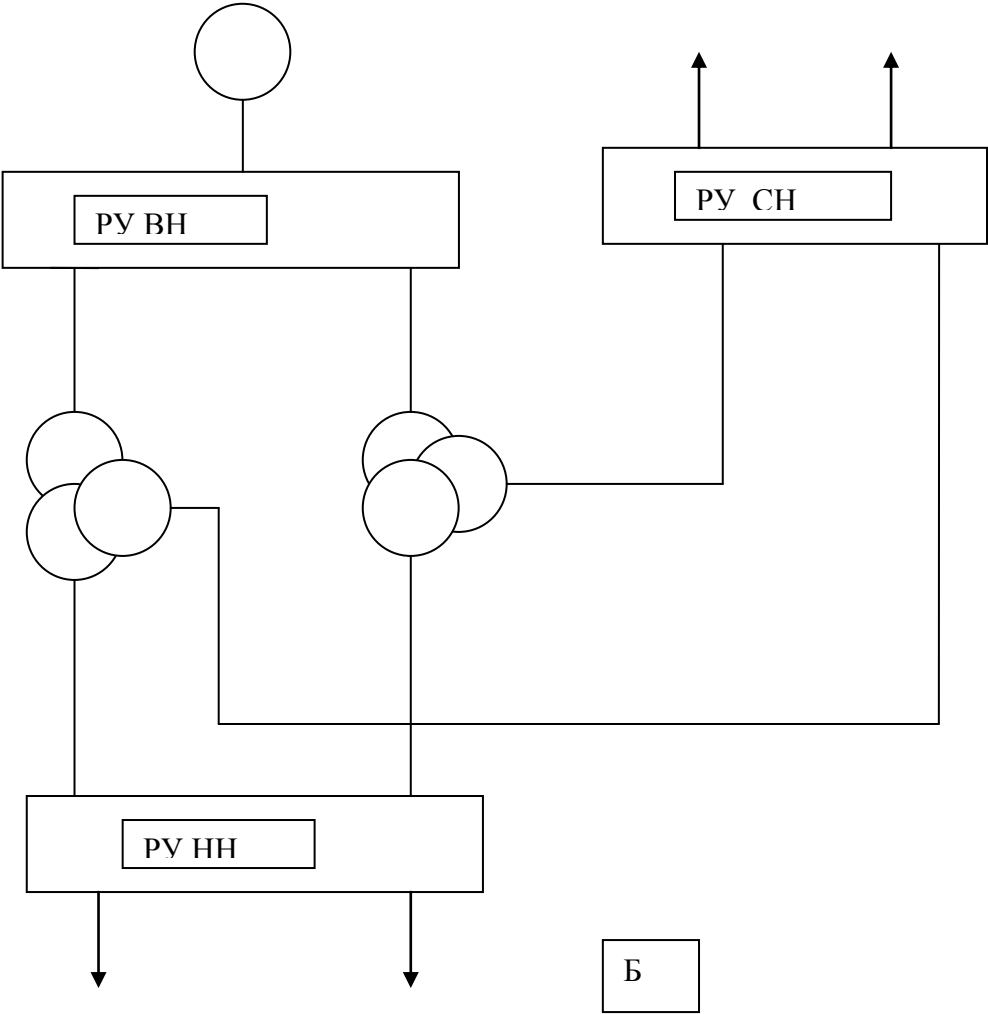
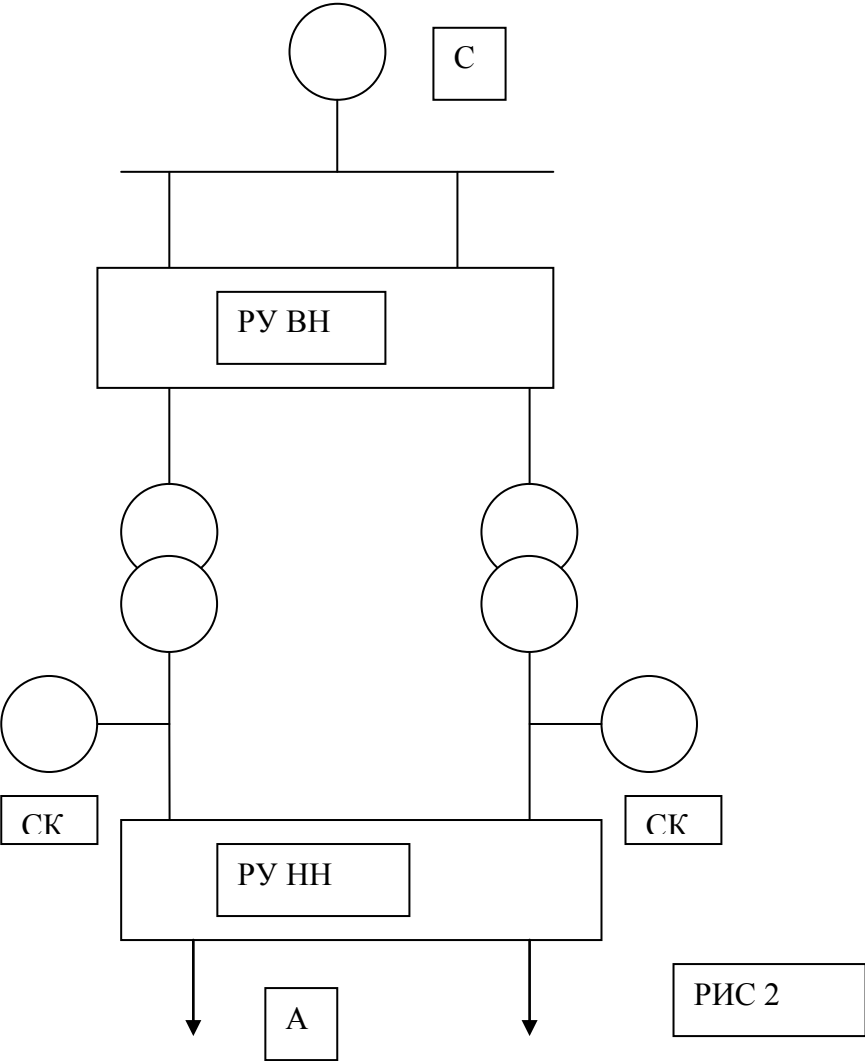
Выбираются по первой букве фамилии : Б, Г, Д, Е,З, К, М, О, Р, Т, Ф, Ц, Щ, Ю

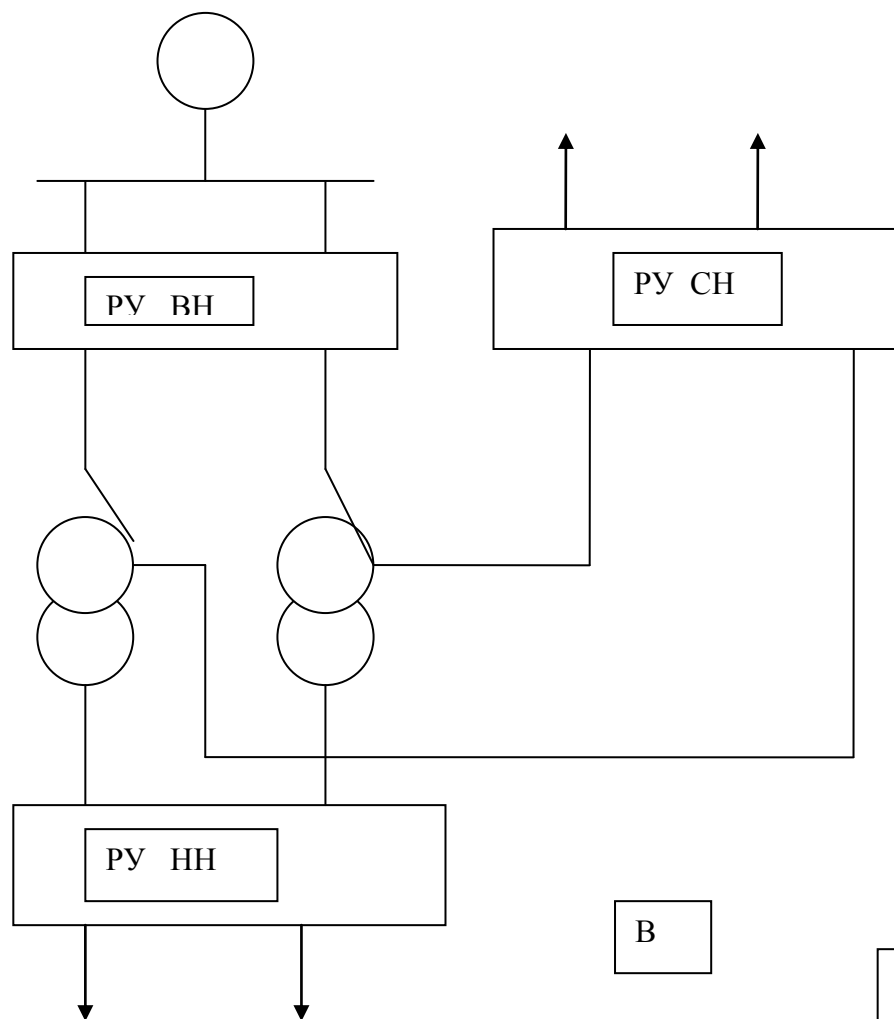


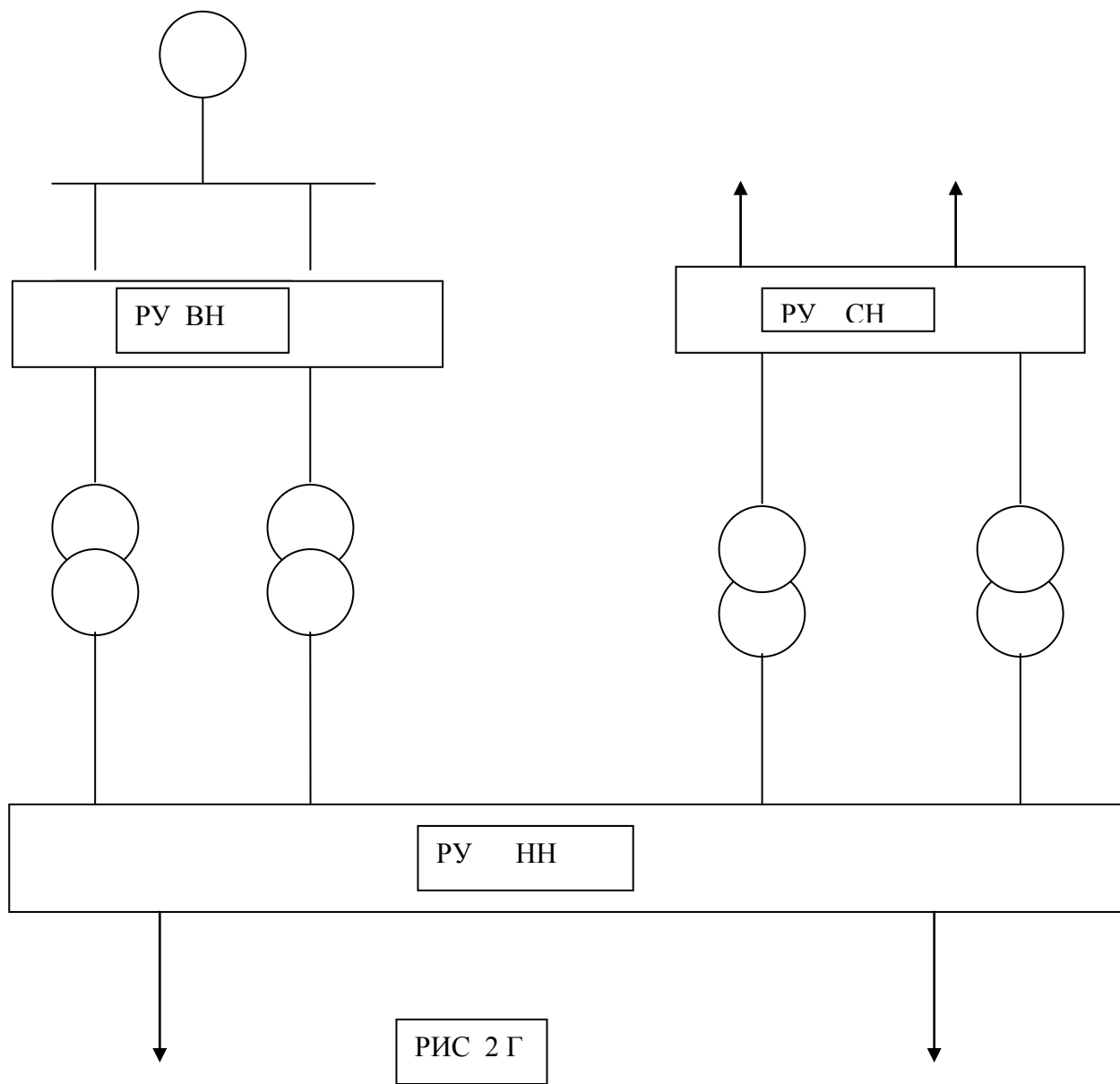
вариант Б

Рис.1

Конструктивные исполнения РУ







Список используемой литературы:

1. Л.Д. Рожкова; В.С. Козулин «Электрооборудование станций и подстанций» Москва 2017 г.
2. Б.Н. Неклепаев; И.П. Крючков «Электрическая часть электростанций и подстанций» Москва 2016 г.
3. ПУЭ (шестое издание) Санкт – Петербург ДЕАН 1999

