

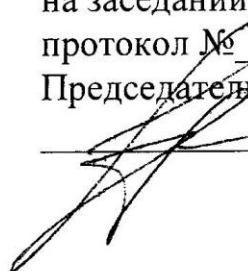
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Петрозаводский филиал ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии
протокол № В от 16.06.2017г.
Председатель цикловой комиссии:

 (Аблаев В.В.)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

 А.В. Калько
«16» 06 2017г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта по теме
«Проектирование тяговой подстанции переменного тока»

по МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание
электрических подстанций

Специальность: 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Разработчик: Аблаев В.В.

2017 г

Пояснительная записка

Курсовое проектирование является одним из основных видов учебных занятий и формой текущего контроля знаний и умений студентов. В процессе курсового проектирования студенты опираются на знания, полученные по таким профессиональным модулям, как ПМ.01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей, углубляют усвоенные знания, формируют навыки работы со справочной, нормативной и правовой документацией, навыки информационного поиска, самостоятельной работы, развивают творческую инициативу и ответственность.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен

уметь:

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;
- контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе;

знать:

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок;
- виды работ и технологию обслуживания трансформаторов и преобразователей;
- виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств;
- эксплуатационно – технические основы линий электропередачи, виды и технологии работ по их обслуживанию;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения.

иметь практический опыт:

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- модернизации схем электрических устройств подстанций;
- технического обслуживания трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обслуживания оборудования распределительных устройств электроустановок;
- эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате написания курсового проекта происходит поэтапное формирование элементов общих и профессиональных компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес .

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 8. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности .

ПК 1.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей

ПК 1.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии

ПК 1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем

ПК 1.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию

Все решения, принимаемые студентами, должны быть обоснованы соответствующими расчетами.

В процессе выполнения курсового проекта должны быть рассмотрены следующие вопросы:

Введение.

1 Схема главных электрических соединений тяговой подстанции переменного тока и её описание.

2 Расчет мощности тяговой подстанции.

2.1 Определение мощности тяговой нагрузки.

2.2 Вычисление максимальных активных мощностей нетяговых потребителей.

2.3 Вычисление максимальных реактивных мощностей нетяговых потребителей.

2.4 Определение максимальной полной мощности нетяговых потребителей с учетом потерь в электрических сетях и трансформаторах.

2.5 Определение мощности нетяговых потребителей, питающихся от линии ДПР-25 кВ.

2.6 Вычисление необходимых мощностей на шинах РУ-27,5 кВ.

2.7 Определение необходимой мощности первичных обмоток тяговых трансформаторов.

2.8 Выбор количества, мощности и типа тяговых трансформаторов.

2.9 Расчет мощности на шинах первичного напряжения тяговой подстанции.

3 Расчет токов короткого замыкания для характерных точек тяговой подстанции.

4 Расчет максимальных рабочих токов на сборных шинах и по присоединениям РУ-10кВ.

5 Выбор и проверка токоведущих частей и аппаратов РУ-10кВ:

5.1 Сборных шин и изоляторов;

5.2 Выключателей;

5.3 Разъединителей;

5.4 Трансформаторов тока;

5.5 Трансформаторов напряжения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ.

В этом разделе отражается роль электроэнергии в жизни современного общества; преимущества электроэнергии по сравнению с другими видами энергии; начало электрификации железных дорог страны; преимущества электрификации железных дорог на переменном токе по сравнению с электрификацией на постоянном токе; применение электрификации на железнодорожном транспорте.

1. Составление однолинейной схемы электрических соединений тяговой подстанции (формат А1). Описание однолинейной схемы электрических соединений тяговой подстанции.

В этой главе производится разработка однолинейной схемы, которая должна отвечать требованиям потребителей в отношении надежности электроснабжения.

Схема должна быть наглядной и простой, обеспечивать надежность в эксплуатации, допускать безопасное обслуживание и бесперебойное электроснабжение.

В каждом РУ, которые связаны между собой через понижающий трансформатор, указывается все его силовое оборудование и все соединения между РУ в той последовательности, которая обеспечивает его надежную работу в эксплуатации.

2. Расчет мощности тяговой подстанции.

2.1 Определение мощности тяговой нагрузки.

Для определения тяговой нагрузки необходимо знать номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции распределительного устройства, питающего тяговую сеть, знать рабочие токи наиболее загруженной фазы и наименее загруженной фазы.

$$S_{\text{тяг}} = U_{\text{ш}} \cdot (2 \cdot I'_{\text{э}} + 0,65 \cdot I''_{\text{э}}) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{к.у}} \cdot K_{\text{м}},$$

где

$U_{\text{ш}}$ - напряжение на шинах, равное 27,5 кВ;

$I'_{\text{э}}$ - эффективный ток наиболее загруженной фазы питания тяги, А;

$I''_{\text{э}}$ - эффективный ток наименее загруженной фазы питания тяги, А;

$K_{\text{нр}}$ – коэффициент неравномерности нагрузки фаз тягового трансформатора, принимаемый равным 0,9;

$K_{к.у}$ – коэффициент компенсирующего устройства, учитывающий снижение требуемой на тягу мощности при работе компенсирующего устройства, принимаемый равным 0,93;

K_m – коэффициент влияния на износ изоляции обмоток трансформатора из-за неравномерности движения поездов в течение суток, принимаемый равным: 1,45 – для двухпутных участков, 1,25 – для однопутных участков.

2.2 Вычисление максимальных активных мощностей нетяговых потребителей.

Для определения наибольшей полной мощности потребителей необходимо рассчитать их активные и реактивные мощности и суммарные активные и реактивные мощности для часа наибольшей суммарной нагрузки.

$$P_{\max} = P_{\text{уст}} \cdot K_c,$$

где

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность нетягового потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса, учитывающий одновременность включения, загрузку и КПД оборудования.

$$\sum_1^n P_{\max} = P_{\max 1} + P_{\max 2} + P_{\max 3};$$

На основании вычисленных максимальных активных мощностей потребителей и типовых суточных графиков строим суточные графики активных нагрузок потребителей и график суммарной активной нагрузки потребителей, по которому определяем суммарную максимальную расчетную активную мощность.

Для построения суточных графиков перевод процентов типовых суточных графиков активных нагрузок потребителей в киловатты для каждого часа производим по формуле:

$$P_t = P_{\max} \cdot \frac{P_t}{100}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 1.

Таблица 1 - Нагрузки потребителей для каждого часа суток.

Часы	Активная нагрузка потребителей, % и кВт						
	Потребитель №1		Потребитель №2		Потребитель №3		Суммарная активная нагрузка
	%	кВт	%	кВт	%	кВт	кВт
0(24) - 23							

$$\sum_1^n P_{\text{макс.расч.}} =$$

2.3 Вычисление максимальных реактивных мощностей нетяговых потребителей.

Реактивная мощность отдельного потребителя определяется по формуле:

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \cdot \text{tg}\varphi,$$

где

$\text{tg}\varphi$ – тангенс угла, определяемый по заданному $\cos\varphi$ по формуле

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi}$$

Суммарная реактивная мощность всех потребителей:

$$\sum Q_{\text{макс}} = Q_{\text{макс1}} + Q_{\text{макс2}} + Q_{\text{макс}} ;$$

Коэффициент разновременности максимумов нагрузок определяется по формуле:

$$K_{\text{р.м.}} = \frac{\sum_1^n P_{\text{макс.расч.}}}{\sum_1^n P_{\text{макс.}}}$$

$\sum_1^n P_{\text{макс.расч.}}$ - суммарная максимальная расчетная активная мощность, определяемая по графику суммарной активной нагрузки потребителей, кВт;

$\sum_1^n P_{\text{макс.}}$ - сумма максимальных активных мощностей потребителей, кВт.

2.4 Определение максимальной полной мощности нетяговых потребителей с учетом потерь в электрических сетях и трансформаторах.

Рассчитанные значения суммарной активной и реактивной мощностей позволяет определить полную мощность потребителей на шинах вторичного напряжения подстанции.

$$S_{\text{макс.н.п}} = K_{\text{р.м.}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{пер}}}{100} \right) \cdot \sqrt{(\sum P_{\text{макс}})^2 + (\sum Q_{\text{макс}})^2},$$

где

$P_{\text{пост}}$ – постоянные потери в стали трансформаторов, принимаемые равными 1- 2%;

$P_{\text{пер}}$ – переменные потери в сетях и обмотках трансформаторов, принимаемые равными 5-8%;

2.5 Определение мощности нетяговых потребителей, питающихся от линии ДПР-25 кВ.

Значение установленной мощности, потребляемой линейными нетяговыми потребителями по линии ДПР, коэффициента спроса, учитывающего одновременность включения, загрузку и КПД оборудования позволяет определить мощность нетяговых потребителей, питающихся по линии ДПР-25 кВ.

$$S_{\text{ДПР}} = \frac{P_{\text{уст.}} \cdot K_c}{\cos \varphi},$$

где

$P_{\text{уст.}}$ – установленная мощность потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса, учитывающий одновременность включения, загрузку и КПД оборудования.

2.6 Вычисление необходимых мощностей на шинах РУ-27,5 кВ.

Рассчитанная мощность линейных нетяговых потребителей, получающих питание по линии ДПР-25 кВ, и также мощность тяговой нагрузки позволяет вычислить мощность на шинах ОРУ-27,5 кВ.

$$S_{ш27,5} = S_{тяг} + S_{ДПР} ,$$

$S_{тяг}$ – мощность тяговой нагрузки, кВ.А;

$S_{ДПР}$ – мощность нетяговых потребителей, питающихся от шин 27,5 кВ по линии ДПР-25 кВ.

2.7 Определение необходимой мощности первичных обмоток тяговых трансформаторов.

Рассчитанная мощность потребителей, получающих от шин ОРУ-27,5 кВ и ЗРУ-10 кВ позволяет определить необходимую мощность первичных обмоток тяговых трансформаторов.

$$S_{расч.} = (S_{ш.27,5} + S_{ш.10}) \cdot K_p ,$$

где

$S_{ш.27,5}$ – максимальная мощность на шинах ОРУ-27,5 кВ;

$S_{ш.10}$ – максимальная мощность на шинах РУ-10 кВ, от которого получают питание нетяговые потребители с учетом мощности трансформатор собственных нужд:

$$S_{ш.10} = S_{макс.Н.П.} + S_{ТСН} .$$

K_p – коэффициент разновременности максимумов нагрузок вторичных обмоток трехобмоточного тягового трансформатора, принимаемого равным 0,95-0,98.

2.8 Выбор количества, мощности и типа тяговых трансформаторов.

Число главных понижающих трансформаторов на тяговых подстанциях определяется категорией потребителей и, как правило, их устанавливается два (количество может быть задано) с учетом надежного электроснабжения при аварийном отключении одного из трансформаторов.

В нормальном режиме могут находиться один или два трансформатора, в зависимости от величины нагрузки. При этом «Правило устройства электроустановок» допускают аварийную перегрузку на 40 % во время максимума общей суточной нагрузки продолжительностью не более шести часов в сутки в течении не более пяти суток.

Как правило, на подстанциях оба трансформатора находятся в работе. Мощность их целесообразно принять такой, чтобы при отключении одного

из них электроснабжение обеспечивалось оставшимися в работе трансформатором с учетом допустимой перегрузки.

Мощность главных понижающих трансформаторов рекомендуется определять исходя из условий аварийного режима, кВА:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{расч.}}}{1,4 \cdot (n - 1)},$$

где

1,4 – коэффициент допустимой перегрузки трансформаторов с масляным охлаждением;

n – количество установленных трансформаторов; исходя из требований резервирования и учитывая, что от тяговой подстанции питаются потребители I и II категории, устанавливаем два трансформатора, n=2 из которых один рабочий, а другой резервный;.

Таблица 2 - Параметры трехфазного трехобмоточного тягового трансформатора.

Тип трансформатора	Номинальное напряжение, кВ			Схема и группа соединения обмоток	Напряжение КЗ, %		
	ВН	СН	НН		ВН-СН	ВН-НН	СН-НН

Таблица 3 – Технические данные трансформаторов понизительных трехфазных трехобмоточных.

Тип трансформатора	Ном. мощность тр-ра, кВА	Номинальное напряжение, кВ			Схема и группа соединения обмоток	Напряжение КЗ, %		
		ВН	СН	НН		ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
ТДТНЖ-16000/110	16 000	115	27,5	11,0	Y/Δ/Δ – 11 – 11	10,5	17,5	6,5
ТДТНЖ-25000/110	25 000	115	27,5	11,0	Y/Δ/Δ – 11 – 11	10,5	17,5	6,5

ТДТНЖ-40000/110	40 000	115	27,5	11,0	Y/Δ/Δ — 11 — 11	10,5	17,5	6,5
ТДТНЖ-16000/220	16 000	230	27,5	11,0	Y/Δ/Δ — 11 — 11	12,5	22	9,5
ТДТНЖ-25000/220	25 000	230	27,5	11,0	Y/Δ/Δ — 11 — 11	12,5	22	9,5
ТДТНЖ-40000/220	40 000	230	27,5	11,0	Y/Δ/Δ — 11 — 11	12,5	22	9,5

2.9 Расчет мощности на шинах первичного напряжения тяговой подстанции.

Полная мощность электрической подстанции зависит от схемы нешнего электроснабжения, определяющей ее тип (транзитная, на отпайках, тупиковая, опорная), и от количества и мощности главных понижающих трансформаторов.

Мощность тяговой подстанции, кВА:

- для опорной и транзитной тяговой подстанции:

$$S_{ТПС} = (n_T \cdot S_{ном.т.} + \sum S_{транз}) \cdot K_p,$$

- для промежуточной отпаечной и тупиковой подстанции:

$$S_{ТПС} = n_T \cdot S_{ном.т.}$$

где

n_T – количество тяговых трансформаторов;

$S_{ном.т.}$ – номинальная мощность тягового трансформатора, МВ·А;

$\sum S_{транз}$ – сумма мощностей тяговых подстанций, питающихся транзитной электроэнергией через шины проектируемой тяговой подстанции, количество которых определяется по схеме питания, а мощность их трансформаторов принимается равной мощности трансформаторов на проектируемой тяговой подстанции, т.е.:

$$\sum_1^n N \cdot n_T \cdot S_{ном.т.};$$

K'_p – коэффициент одновременности максимумов нагрузок проектируемой и питающихся от нее соседних тяговых подстанций, принимаемый равным 0,6-

0,8;

3. Расчет токов короткого замыкания для характерных точек тяговой подстанции.

Для вычисления токов КЗ по заданной схеме питания необходимо составить расчетную схему цепи КЗ, которая представляет упрощенную однолинейную электрическую схему с указанием тех элементов цепи КЗ, которые влияют на величину токов КЗ.

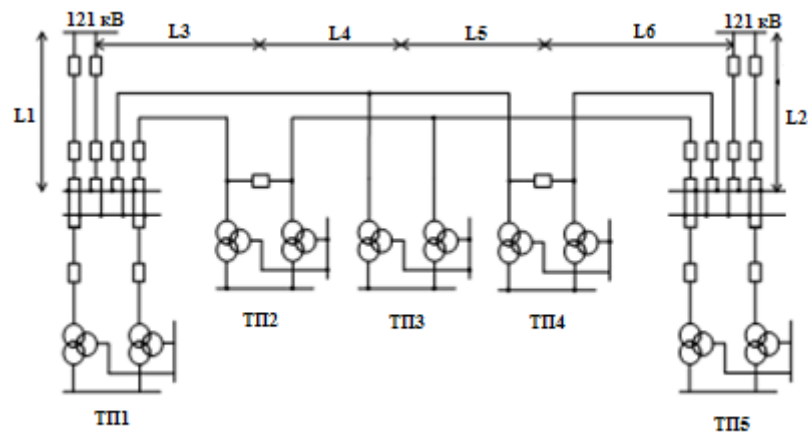


Рис. 1 Расчетная схема для определения параметров короткого замыкания в максимальном режиме.

По расчетной схеме составляют электрическую схему замещения одной фазы. При этом все элементы расчетной схемы заменяют соответствующими относительными сопротивлениями, каждое из которых обозначается дробью. В числителе проставляется порядковый номер, сохраняемый до конца расчета, а знаменателе – значения относительного базисного сопротивления.

Каждый трехобмоточный трансформатор заменяются тремя сопротивлениями, соединенными в звезду, а системы и ЛЭП- одним сопротивлением.

В связи с тем, что мощность генераторов электрических станций неизвестна, расчет выполняют аналитическим методом, используя принятое при вычислении относительных сопротивлений значение базисной мощности. При расчетах удобнее всего взять $S_b = 100 \text{ МВА}$.

Относительные сопротивления системы определяются как:

$$X_{*бб} = \frac{S_{б}}{S_{к.с.1}}$$

$$X_{*бб} = \frac{S_{б}}{S_{к.с.2}}$$

Относительные сопротивления линий:

$$X_{*б} = X_{0.1} \cdot \frac{S_{б}}{U_{cp}^2} =$$

Расчётные значения напряжений короткого замыкания обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2:

$$U_{к.в.} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.в-н} - U_{к.с-н}) ;$$

$$U_{к.с.} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.с-н} - U_{к.в-н}) ;$$

$$U_{к.н.} = 0,5(U_{к.в-н} + U_{к.с-н} - U_{к.в-с}) ;$$

Относительные сопротивления обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2:

$$X_{*б} = \frac{U_{к.в.}}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{ном.Т}} ;$$

$$X_{*б} = \frac{U_{к.с.}}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{ном.Т}} ;$$

$$X_{*б} = \frac{U_{к.н.}}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{ном.Т}} ;$$

Преобразование схемы выполняется в направлении от источника питания к месту короткого замыкания, используя правила последовательного и параллельного сложения сопротивлений, преобразования звезды в треугольник и обратно. Постепенно преобразовывая схему замещения, приводят к простому виду так, чтобы источники питания были связаны с точкой короткого замыкания одним результирующим сопротивлением. При этом сначала определяют сопротивление до точки К1, а затем до точки К2 и К3.

Зная суммарные сопротивления до точек короткого замыкания вычисляют:

- базисный ток:

$$I_{б1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{cp}}$$

- ток короткого замыкания:

$$I_{к1} = \frac{I_{б1}}{X_{*бк1}}$$

- ударный ток:

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1}$$

- мощность короткого замыкания в заданных точках подстанции:

$$S_{кз1} = \frac{S_{\sigma}}{X_{*бк1}}$$

- тепловой импульс тока короткого замыкания:

$$W_{к2} = I_{к2}^2 \cdot (t_{откл} + T_a),$$

где

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с; принимаем $T_a = 0,05$ с;

$t_{откл}$ – полное время отключения КЗ, состоящее из трех составляющих:

$$t_{откл} = t_{в.р.з} + t_{с.р} + t_{с.в},$$

где

$t_{в.р.з}$ – время выдержки срабатывания релейной защиты, с;

$t_{с.р}$ – собственное время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{с.в}$ – собственное время срабатывания релейной защиты выключателя с приводом, с.

4. Расчет максимальных рабочих токов на сборных шинах и по присоединениям РУ.

Токоведущие части и электрическое оборудование подстанций выбирают по условию их длительной работы при номинальной и повышенной нагрузке, не превышающей максимальной рабочей. Для этих целей необходимо рассчитать максимальные рабочие токи сборных шин и присоединений к ним. Эти значения токов необходимы для определения допустимых токов токоведущих частей и номинальных токов электрического оборудования подстанций.

Максимальные рабочие токи на вводах рассчитываются по формуле:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{нр}} \cdot S_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}},$$

где

$K_{пр}$ —коэффициент перспективы развития подстанций и потребителей, равный 1,3;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение на вводах, сборных шин подстанции и потребителей;

Максимальные рабочие токи на сборных шинах РУ :

$$I_{раб.макс} = \frac{K_{р.н.} \cdot K_{п.р.} \cdot S_{макс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$

где

$K_{р.н.}$ —коэффициент распределения нагрузки на шинах РУ, принимаемый 0,5 – 0,7.

Максимальные рабочие токи на питающих линиях потребителей:

$$I_{раб.макс} = \frac{K_{п.р.} \cdot P_{макс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi},$$

где

$K_{п.р}$ —коэффициент перспективы развития подстанции и потребителей равный 1.3;

$U_{ном}$.— номинальное напряжение в линии.

5. Выбор и проверка токоведущих частей и аппаратов РУ-10 кВ.

К токоведущим частям электрических подстанций относятся сборные шины распределительных устройств, присоединенная к ним ошиновка, соединяющая электрические аппараты друг с другом согласно однолинейной схемы, а также вводы и питающие линии.

Сборные шины РУ и все присоединения к ним напряжением 10 кВ выполняются жесткими алюминиевыми шинами прямоугольного сечения.

Материал шин должен удовлетворять ряду требований: обеспечивать необходимую электрическую проводимость, механическую прочность, быть устойчивыми к химическим воздействиям окружающей среды, иметь небольшую массу и стоимость.

5.1 Выбор сборных шин и изоляторов:

Выбор сборных шин РУ-10 кВ по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб.макс.}}$$

где

$I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток нагрузки шин (А);

$I_{\text{раб.макс}}$ – максимальный рабочий ток шин (А).

Таблица 4- Допустимые токи на неизолированные провода

Размер шины, мм ²	Допустимый ток при одной полосе на фазу, А	Допустимый ток при двух полосах на фазу, А	Допустимый ток при трех полосах на фазу, А
15x3	165	-	-
20x3	215	-	-
40x4	480	-	-
40x5	540	-	-
50x5	665	-	-
50x6	740	-	-
60x6	870	1350	1720
80x6	1150	1630	2100
100x6	1425	1935	2500
60x8	1025	1680	2180
80x8	1320	2040	2620
100x8	1625	2390	3050
120x8	1900	2650	3380
60x10	1155	2010	2650
80x10	1480	2410	3100
100x10	1820	2860	3650
120x10	2070	3200	4100

Проверка сборных шин на термическую стойкость по условию:

$$q_{\text{выбр}} \geq q_{\text{мин}}$$

где

$q_{\text{выбр}}$ – выбранное сечение шин, мм²;

$q_{\text{мин}}$ – минимальное сечение шин, мм²;

Рассчитываем минимальное сечение $q_{\text{мин}}$ по формуле:

$$q_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_k}}{c},$$

где

C – коэффициент, учитывающий соотношение максимально допустимой температуры токоведущей части и температуры при нормальном режиме работы;

$C = 0,171 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для медных шин;

$C = 0,088 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для алюминиевых шин;

$C = 0,06 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для стальных шин;

Проверка сборных шин на электродинамическую стойкость по условию:

$$\delta_{\text{доп}} \geq \delta_{\text{расч}}$$

где

$\delta_{\text{доп}}$ – допустимое механическое напряжение в материале шин, МПа.

Принимаем по справочнику для алюминиевых шин $\delta_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа}$;

$\delta_{\text{расч}}$ – расчетное механическое напряжение в материале шин, МПа.

Определение усилия, действующего на шину по длине пролета:

$$F = 1.76 \cdot i_y^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot 10^{-1},$$

где

i_y – ударный ток короткого замыкания, принимаемый по расчету;

l – расстояние между соседними опорными изоляторами одной фазы;

a – Расстояние между осями шин соседних фаз.

Определение изгибающего момента:

$$M = \frac{F \cdot l}{10};$$

Определение момента сопротивления шин при расположении на ребро:

$$W_p = \frac{b^2 \cdot h}{6} \cdot 10^{-9};$$

Так как токи короткого замыкания очень велики, располагаем шины плашмя и определяем момент сопротивления шин:

$$W_{\pi} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot 10^{-9};$$

Вычисляем расчётное сопротивление в материале шин при расположении плашмя:

$$\delta_{\text{расч}} = \frac{M}{W_{\pi}} \cdot 10^{-6};$$

Выбор опорных изоляторов для крепления жестких шин РУ-10 кВ выполняется по условию:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$$

где

$U_{\text{ном}}$ –номинальное напряжение изолятора, кВ

$U_{\text{раб}}$ –рабочее напряжение шин, кВ

Таблица 5 - Технические характеристики изоляторов.

Марка изолятора	Номинальное напряжение, кВ	Разрушающая нагрузка, $F_{\text{разр}}$, Н	Масса, кг
ОФ-10-3,75	10	3680	1,5
ОФ-35-3,75	35	3680	7,1
ШФ-20-13	20	13000	3,5
ОФ-10-7,5	10	7358	2,1
ИОР-10-3,75	10	3680	2,87
ИОР-10-7,5	10	7358	4,47

Проверка выбранных изоляторов на динамическую стойкость производится по условию:

$$F_{\text{расч}} \leq 0,6 \cdot F_{\text{разр}}$$

где

$F_{\text{расч}}$ – наибольшая расчетная нагрузка, действующая на изолятор при коротком замыкании, определяемая по формуле:

$$F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-1}$$

5.2 Выбор и проверка выключателей.

Высоковольтные выключатели служат для включения и отключения высоковольтных цепей во всех режимах работы электроустановок (нормальном, ненормальном, аварийном).

К выключателям предъявляются следующие требования:

- надежность в работе и безопасность обслуживания;
- минимальное время отключения;
- малые габариты и масса.

Выбор выключателей следует производить по важнейшим параметрам в зависимости от места установки (наружная и внутренняя) и условий работы по напряжению и току, так, чтобы выполнялись условия:

$$U_{ном} \geq U_{раб}$$

$$I_{ном} \geq I_{раб. макс}$$

В одном РУ рекомендуется устанавливать однотипные выключатели, что значительно облегчает их эксплуатацию, текущий и капитальный ремонты.

Проверка выключателей на электродинамическую стойкость.

Условие проверки:

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{ где}$$

$i_{пр.с}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА (см. каталог);

i_y – ударный ток;

Проверка выключателей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$$

Проверка выключателей по отключающей способности.

Условие проверки:

$$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{к}}, \text{ где}$$

$I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя (см. каталог);

$I_{\text{к}}$ – ток короткого замыкания.

Некоторые типы выключателей, рекомендуемых к применению на тяговых подстанциях, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Электрические характеристики выключателей

Марка выключателя	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{н}}$, А	$I_{\text{н.откл}}$, кА	$i_{\text{пр.с}}$, кА	$I_{\text{т}}$, кА	$t_{\text{т}}$, с	$t_{\text{св}}$, с	Тип привода
ВВ/TEL-10-630-12,5У2	10	630	12,5	32	12,5	3	0,015	Встроенный электромагнитный
ВВ/TEL-10-1000-20 У2	10	1000	20	52	20	3	0,015	Встроенный электромагнитный
ВВ/TEL-10-1600-20 У2	10	1600	20	20	81	3	0,015	Встроенный электромагнитный
ВР-10-630-12,5	10	630	12,5	32	12,5	3	0,042	Моторно-пружинный
ВР-10-1000-16	10	1000	16	41	16	3	0,042	Моторно-пружинный
ВР-10-1250-20	10	1250	20	52	20	3	0,042	Моторно-пружинный
ВРС-10-4000-40	10	4000	40	102	40	3	0,05	Моторно-пружинный
ВВЭ-10-630-20У3	10	630	20	52	20	3	0,055	Встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-1000-20У3	10	1000	20	52	20	3	0,055	Встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-630-31,5У3	10	630	31,5	80	31,5	3	0,055	Встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-2000-31,5 У3	10	2000	31,5	80	31,5	3	0,055	Встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-3150-31,5У3	10	3150	31,5	80	31,5	3	0,055	Встроенный электромагнитный
ВБУЭ-10-1000-20У2	10	1000	20	52	20	3	0,03	Встроенный электромагнитный
ВБУЭ-10-1600-20У2	10	1600	20	52	20	3	0,03	Встроенный электромагнитный

Выбор и проверку выключателей целесообразно свести в таблицу 7. В столбцах, против каждого типа выключателя пишется дробь, в числителе которой проставляются номинальные параметры выключателя, которые

должны быть больше или равны знаменателям дробей, соответствующих расчетным параметрам рабочего и аварийного режимов.

Таблица 7 – Выбор выключателей.

Наименование РУ	Наименование аппарата	Наименование присоединения	Тип аппарата	Тип привода	Соотношение каталожных и расчетных данных				
					$\frac{U_{ном}}{U_{раб}}$ кВ	$\frac{I_{ном}}{I_{раб}}$ А	$\frac{I_{ном.откл}}{I_{к}}$ кА	$\frac{i_{пр.с}}{i_{у}}$ кА	$\frac{I_{т}^2 \cdot t_{т}}{B_{к}} \cdot c$ кА ² ·с

5.3 Выбор и проверка разъединителей.

Разъединители предназначены для включения и отключения под напряжением участков электрической цепи при отсутствии токов нагрузки, отключения при определенных условиях зарядных токов ВЛ и КЛ.

Условие выбора разъединителей в зависимости от условий работы по напряжению и току:

$$U_{ном} \geq U_{раб}$$

$$I_{ном} \geq I_{раб.макс}$$

Проверка разъединителей на электродинамическую стойкость.

Условие проверки:

$$i_{пр.с} \geq i_{у}, \text{ где}$$

$i_{пр.с}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА (см. каталог);

$i_{у}$ – ударный ток;

Проверка разъединителей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$$

Таблица 8 – электрические характеристики разъединителей.

Марка разъединителя	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{Н}}$, А	$i_{\text{пр.с}}$, кА	I_T , кА	t_T , с
РВЗ-10-400	10	400	40	16	4
РВЗ-10-630	10	630	50	20	4
РВЗ-10-1000	10	1000	80	31,5	4
РВРЗ-10-2000	10	2000	85	31,5	4
РВК-10-3000	10	3000	200	60	4
РДЗ-35-400	35	400	31,5	12,5	3
РДЗ-35-1000	35	1000	40	16	3
РДЗ-35-2000	35	2000	80	31,5	3
РДЗ-110-1000	110	1000	63	25	3
РДЗ-110-2000	110	2000	80	31,5	3
РДЗ-220-1000	220	1000	63	25	3
РДЗ-220-2000	220	2000	80	31,5	3

Выбор и проверку разъединителей целесообразно свести в таблицу 9. В столбцах, против каждого типа разъединителя пишется дробь, в числителе которой проставляются номинальные параметры разъединителя, которые должны быть больше или равны знаменателям дробей, соответствующих расчетным параметрам рабочего и аварийного режимов.

Таблица 9 – Выбор и проверка разъединителей

Наименование РУ	Наименование аппарата	Наименование присоединения	Тип аппарата	Соотношение каталожных и расчетных данных			
				$\frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{раб}}}$ кВ	$\frac{I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{раб}}}$ А	$\frac{i_{\text{пр.с}}}{i_y}$ кА	$\frac{I_T^2 \cdot t_T}{B_K}$ кА ² ·с

--	--	--	--	--	--	--	--

5.4 Выбор и проверка трансформаторов тока.

Измерительные трансформаторы тока применяются в электроустановках переменного тока для питания токовых обмоток измерительных приборов и реле защиты, расширения пределов измерения приборов, изоляции их и реле от высокого первичного напряжения.

При номинальном первичном токе по вторичной обмотке протекает номинальный вторичный ток равный 5 А (1 А), что позволяет унифицировать конструкции измерительных приборов, а шкалы приборов градуировать в соответствии с измеряемым первичным током.

Таблица 10 – Условия выбора трансформатора тока.

Наименование аппарата	Характеристика условий выбора и проверки	Формула
Трансформатор тока	По конструктивному выполнению и месту установки (наружная или внутренняя)	-
	По номинальному напряжению	$U_{ном} \geq U_{раб}$
	По номинальному току	$I_{1ном} \geq I_{раб.макс}$
	На электродинамическую стойкость по ударному току КЗ	$\sqrt{2}I_{1ном} \cdot K_{дин} \geq i_y$
	На термическую стойкость	$(I_{1ном} \cdot K_{тер})^2 \cdot t_T \geq B_k$
	По классу точности	-
	По нагрузке вторичных цепей	$Z_{2ном} \geq Z_{2расч}$

В таблице 10 приняты следующие обозначения:

$U_{ном}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение на шинах подстанции, кВ;

$I_{ном}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, А; (его значение должно быть как можно ближе к значению $I_{раб.макс}$, так как

недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешности измерения);

$I_{\text{раб.макс}}$ – максимальный рабочий ток присоединения, на которому устанавливаются трансформаторы тока, А;

i_y – ударный ток КЗ, по расчету, кА;

B_k – тепловой импульс тока КЗ, по расчету, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$K_{\text{дин}}$ – коэффициент динамической стойкости, по каталогу;

t_T – время протекания тока термической стойкости, с;

$K_{\text{тер}}$ – коэффициент термической стойкости по каталогу в месте установки трансформатора тока по расчету, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$Z_{2\text{ном}}$ – номинальная нагрузка проверяемой обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности по каталогу, Ом;

$Z_{2\text{расч}}$ – вторичная расчетная нагрузка, присоединенная к проверяемой обмотке трансформатора тока по расчету, Ом;

Выбор и проверку трансформаторов тока целесообразно свести в таблицу 11. В столбцах, против каждого типа трансформатора тока пишется дробь, в числителе которой проставляются номинальные параметры трансформатора, которые должны быть больше или равны знаменателям дробей, соответствующих расчетным параметрам рабочего и аварийного режимов.

Таблица 11- Выбор и проверка трансформаторов тока

Наименование присоединения	Тип трансформатора тока	Соотношение паспортных и расчетных данных		Номинальная вторичная нагрузка в классе точности		Коэфф-т стойкости		Проверка на стойкость	
		$\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{раб}}}$ кВ	$\frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб.макс}}}$ А					Термическая	Динамическая
				Для измерений, ВА	Для РЗ, ВА	$I_T \geq B_k$	$I_{\text{дин}} \geq i_y$		

Расчет термической и электродинамической стойкости трансформатора тока в РУ-10 кВ:

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{тер}})^2 \cdot t_T,$$

где

$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, кА;

K_T – коэффициент термической стойкости по каталогу;

t_T – время протекания тока термической стойкости по каталогу. $t_T = 1\text{с}$.

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{дин}},$$

где

$K_{\text{дин}}$ – коэффициент термической стойкости по каталогу;

Проверка трансформатора тока фазы А на соответствие данному классу точности 0,5 вторичной обмотки трансформатора тока по условию:

$$Z_{2\text{НОМ}} \geq Z_{2\text{расч}},$$

где

$Z_{2\text{НОМ}}$ – номинальная нагрузка проверяемой обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности по каталогу. Принимаем равной 0,4 Ом;

$Z_{2\text{расч}}$ – расчетная нагрузка, присоединенная к проверяемой обмотке трансформатора тока по расчету, Ом.

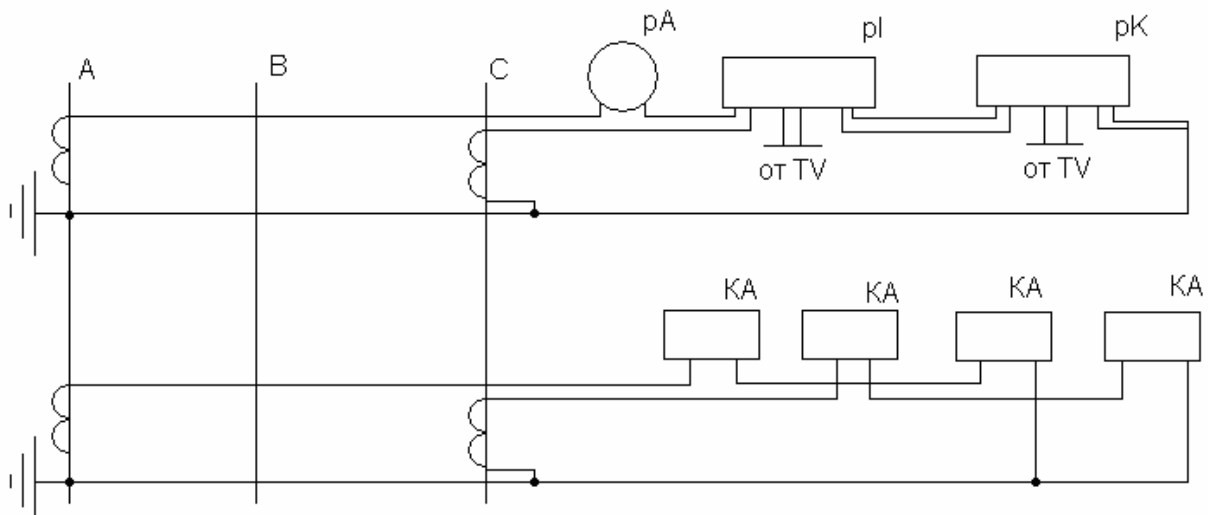


Рис. 2 Расчетная схема для проверки трансформатора тока на соответствие классу точности

Определение расчетного сопротивления вторичной обмотки трансформатора по формуле:

$$Z_{2\text{расч}} = Z_{PI} + Z_{PA} + Z_{PK} + Z_{\text{пров}} + Z_{\text{конт}},$$

где
 Z_{PI} – сопротивление счетчика активной энергии. Принимаем по справочнику 0,1 Ом;
 Z_{PA} – сопротивление амперметра. Принимаем по справочнику 0,02 Ом;
 Z_{PK} – сопротивление счетчика реактивной энергии. Принимаем по справочнику 0,1 Ом.
 $Z_{конт}$ – сопротивление переходных контактов. Принимаем по справочнику 0,1 Ом;
 $Z_{пров}$ – сопротивление соединительных проводов. Определяется по формуле:

$$Z_{пров} = \frac{L_{расч}}{\gamma_a \cdot q_{пров}},$$

где
 $L_{расч}$ – расчетная длина соединительных проводов, м;
 γ_a – удельная проводимость алюминиевых проводов. Принимаем по справочнику 32 МСм/м;
 $q_{пров}$ – сечение проводов для алюминиевых проводников. Принимаем по справочнику 4 мм².

$$L_{расч} = \sqrt{3} \cdot L,$$

где
 L – расстояние между трансформатором тока и местом установки приборов. Принимаем равным 5 м.

$$Z_{2ном} \geq Z_{2расч}$$

Таблица 12 – Электрические характеристики трансформаторов тока

Тип	Номинальный первичный ток, А	Назначение вторичных обмоток	Номинальная вторичная нагрузка в классе точности, В·А			Кратность стойкости	
			0,5	1	3;10	Термической	Электро-динамической
ТКЛН-10	10;15;20;30;40; 50; 75; 100; 150;200	Для измерительных приборов	–	–	15	50	100
		Для РЗ	–	–	15	50	100
ТПЛ-10	5-200 300 400	Для измерительных приборов	10	20	–	90 90 70	250 175 165
	5-200 300 400	Для РЗ	15	25	30	90 90 70	250 175 165
ТПЛУ-10	10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100	Для измерительных приборов	10	20	–	120	250
		Для РЗ	15	25	30	120	250
ТПОЛ-10 ТПОЛА-10	600 800 1000 1500	Для измерительных приборов	10	15	30	65 65 55 36	160 160 140 90
	600	Для РЗ	15	–	30	65	160

5.5 Выбор и проверка трансформаторов напряжения.

Трансформаторы напряжения предназначены для снижения высокого напряжения до величины 100 или $100/\sqrt{3}$ для питания измерительных приборов, счетчиков активной и реактивной энергии, устройств релейной защиты. Трансформатор напряжения работает в режиме, близком к холостому ходу, т.к. большое сопротивление подключаемых приборов одновременно изолирует цепи низкого напряжения от цепей высокого напряжения.

Условие выбора трансформатора напряжения:

$$U_{ном1} \geq U_{раб}$$

где

$U_{ном1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение на токоведущих частях, к которым подключены измерительные трансформаторы напряжения, кВ.

Некоторые типы трансформаторов напряжения, рекомендуемых к применению на тяговых подстанциях, приведены в таблице 15.

Таблица 13 - Основные параметры выбранного трансформатора.

$U_{ном}$ РУ	$U_{ном}$ первичной обмотки и трансформатора, кВ	$U_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора, кВ	$U_{ном}$ вторичной дополнительной обмотки трансформатора, кВ	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 0,5 , ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 1 , ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3 , ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3P , ВА
РУ- кВ							

Проверка измерительных трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

На соответствие классу точности проверяется трансформатор напряжения, установленный в распределительном устройстве низшего напряжения.

Условие проверки:

$$S_{ном2} \geq S_{расч2}$$

где

$S_{ном2}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения в соответствующем классе точности, ВА (чаще всего используется класс точности 0,5);

$S_{расч2}$ – мощность, потребляемая измерительными приборами и реле, подключенными к вторичной обмотке трансформатора напряжения, ВА.

Для определения $S_{расч2}$ составляется расчетная схема, на которой указываются все приборы. На основании расчетной схемы заполняется таблица 14 с мощностями приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

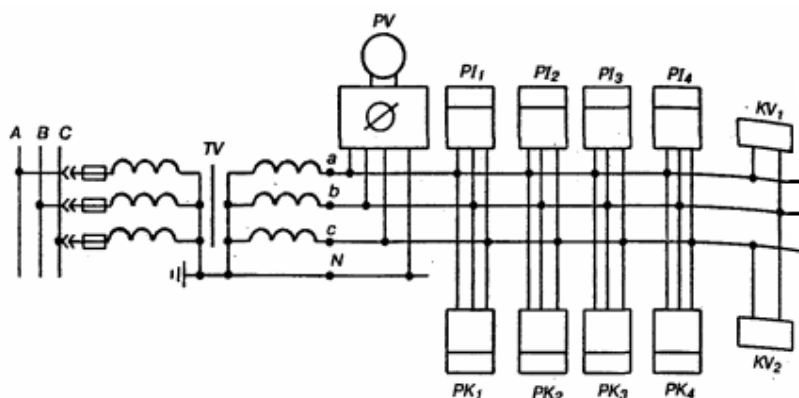


Рис.3 Расчетная схема для проверки трансформатора напряжения на

Данные измерительных приборов и реле, получающих питание от трансформаторов напряжения представлены в таблице 16.

Таблица 14 - Мощности приборов.

Наименование	Тип	Число катушек напряжения в приборе	Число приборов в	Мощность, потребляемая одной катушкой, ВА	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Суммарная потребляемая мощность	
							$\sum P_{\text{приб}}$, Вт	$\sum Q_{\text{приб}}$, вар
Итого:								

$$S_{расч2} = \sqrt{\sum P_{приб}^2 + \sum Q_{приб}^2},$$

$\sum P_{приб}$ – суммарная активная мощность приборов, Вт;

$\sum Q_{приб}$ – суммарная реактивная мощность приборов, вар.

$$S_{ном2} \geq S_{расч2}$$

Таблица 15 - Электрические характеристики трансформаторов напряжения.

Марка трансформатора	$U_{\text{ном}}$ первичной обмотки трансформатора, кВ	$U_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора, кВ	$U_{\text{ном}}$ вторичной дополнительной обмотки трансформатора, кВ	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 0.5 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 1 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3Р , ВА
ЗНОЛ-35-66 УХЛ1	35	$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	60	120	-	-
НТМИ-10-У3	10	100	$100/\sqrt{3}$	120	200	500	-
ЗНОГ-220-УХЛ1	220	$100/\sqrt{3}$	100	400	600	-	1200
НКФ-110-УХЛ1	110	$100/\sqrt{3}$	100	400	600	-	1200

Таблица 16 - Данные измерительных приборов и реле

Наименование прибора	Тип	Число катушек в приборе	Мощность, потребляемая одной катушкой, ВА	Коэффициент мощности	
				$\text{Cos}\varphi$	$\text{Sin}\varphi$
Вольтметр	Э-378	1	2	1	0
Счетчик активной энергии	СА3У-И670	2	4	0,38	0,93
Счетчик реактивной энергии	СР4У-И673	3	4	0,38	0,93
Реле напряжения	РН-50	1	1	1	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В разделе дается анализ проектирования тяговой подстанции переменного тока, целесообразного выбора оборудования распределительных устройств.