

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Имени А.Р.БЕРУНИ**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра: «Электрические станции, сети и системы»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:

«РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА»

Выполнила: Юн В.Р гр.73М-12ЭЭ

Принял: И.Х.Сиддиқов

Ташкент-2014 год

Введение

1. ЗАДАЧИ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задачей курсового проекта является разработка релейной защиты и автоматики всех присоединений сети, схема которой приводится в задании на проектирование, выдаваемом каждому студенту индивидуально. Внесение изменений в задание не допускается. В объем работы входит:

1.1. Расчет токов короткого замыкания в объеме, необходимом для выбора защит.

1.2. Выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения, необходимых для выполнения релейной защиты и автоматики.

1.3. Выбор принципов релейной защиты и автоматики и расчет уставок для всех элементов защищаемой схемы.

1.4. Разработка полных принципиальных схем устройств релейной защиты и автоматики присоединений выполняется по указанию руководителя курсового проектирования.

Работа оформляется в виде пояснительной записки, содержащей все расчеты и обоснования принятых решений, а также выполненных в карандаше на ватмане чертежей формата А1:

- карты уставок устройств релейной защиты и автоматики для заданной схемы сети - лист № I;

- полных трехлинейных схем заданных устройств защиты и автоматики (в совмещенном или развернутом виде) со спецификацией оборудования - лист № 2.

В приложении № I приведены условные обозначения для карты уставок, а в приложении № 2 - пример расчета уставок релейной защиты и автоматики.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К УСТРОЙСТВАМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Основным назначением устройств релейной защиты является выявление в сети короткого замыкания и автоматическое отключение поврежденного элемента от остальной неповрежденной части сети воздействием на соответствующий выключатель. Кроме того, при возникновении ненормальных режимов работы сети (перегрузки, замыкания на землю в сети с малыми токами замыкания на землю и др.) задачей релейной защиты является сигнализация о возникшей неисправности.

Надежность работы электрических сетей может быть значительно повышена применением устройств автоматического повторного включения (АПВ) линий, шин и устройств автоматического ввода резерва (АВР).

Ко всем устройствам релейной защиты предъявляются требования:

- **селективности** (избирательности), что подразумевает способность защиты правильно определять место повреждения и отключать ближайший к месту повреждения выключатель;
- **быстродействия**, т.е. отключения поврежденного участка с минимально возможным временем;
- **чувствительности**, т.е. способности защиты реагировать на возникшее короткое замыкание в зоне её действия;
- **надежности**.

Перечисленные требования должны быть положены в основу выбора принципов, расчета и выполнения схем защиты.

3. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

Расчет токов короткого замыкания (т.к.з.) выполняется для определения величин т.к.з., необходимых для расчета токов срабатывания и проверки чувствительности защит, причем в первом случае необходимы максимальные, а во втором - минимальные значения токов, протекающих через защищаемый элемент.

Расчет т.к.з. начинается с определения расчетных точек к.з. и режимов работы сети, при которых необходимо определять значения т.к.з.

В большинстве случаев расчетные точки к.з. принимаются на шинах всех подстанций.

Расчетные режимы намечаются, исходя из необходимости определения максимальных и минимальных значений токов к.з., протекающих через защищаемый элемент, и поэтому не всегда совпадают с максимальными и минимальными режимами работы сети. Так, например, если в схеме имеется участок с двумя (или более) параллельными элементами (линии, трансформаторы и др.), то максимальным режимом будет считаться режим их параллельной работы, а с точки зрения протекания максимального тока через каждый защищаемый элемент - работа только одного элемента, при определении расчетных режимов необходимо также учитывать работу АВР.

Задачей расчета является определение периодической составляющей т.к.з. для начального момента возникновения к.з. (для $t = 0$) при трехполлюсном металлическом коротком замыкании.

Расчет может производиться либо в относительных, либо в именованных единицах в соответствии с методикой, излагаемой в курсе "Электромагнитные переходные процессы".

Величина тока при двухполлюсном к.з. определяется умножением соответствующего значения тока при трехполлюсном к.з. на коэффициент, равный $\frac{\sqrt{3}}{2}$.

Значения токов к.з. должны быть приведены к напряжению места установки рассматриваемой защиты независимо от напряжения места к.з. Результаты расчета сводятся в таблицу.

Таблица 3.1.

Токи к.з. к.з.	Расчётная точка	k_1	k_2	k_3 и т.д.
Максимальный				
Минимальный				

4. ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока принимается, как правило, в соответствии со шкалой номинальных токов, ближайшим большим к рабочему току данного элемента сети, причем для линий электропередачи это будет длительно допустимый по условиям нагрева ток ($I_{д.д.}$), а для силовых трансформаторов - их номинальный ток. Исключением из этого правила является случай выбора коэффициента трансформации трансформаторов тока для дифференциальной защиты трансформатора.

Коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения принимаются по каталогу в соответствии с напряжением места установки трансформатора.

Выбор коэффициентов трансформации производится только для тех элементов сети, где устанавливаются устройства защиты и автоматики.

5. ВЫБОР ПРИНЦИПОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ И РАСЧЁТ ИХ УСТАВОК.

Устройства релейной защиты и автоматики выбираются в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и Руководящими указаниями по релейной защите.

В настоящем курсовом проекте выполняется релейная защита и автоматика радиальных сетей, состоящих из линий и трансформаторных подстанций с односторонним питанием. Ниже излагается методика выбора устройств релейной защиты и автоматики и расчета их уставок для отдельных элементов рассматриваемой сети.

5.1. Одиночные линии.

Основной защитой одиночных линий, согласно ПУЭ, служит ступенчатая токовая защита, состоящая из комбинации токовых отсечек без выдержки и с выдержкой времени и максимальной токовой защиты.

Рассмотрим методику расчета на примере линии, приведенной на рис. 5.1.

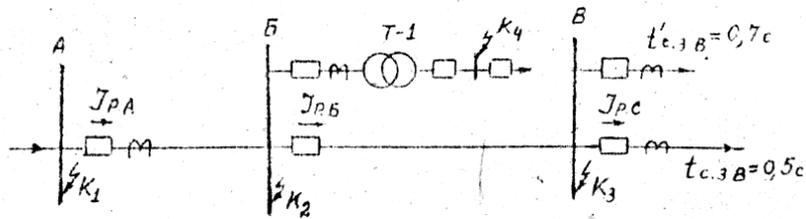


Рис. 5.1

Устройства релейной защиты устанавливаются около выключателей со стороны питания.

5.1.1. Защита линии на подстанции «Б».

Для защиты магистральной линии на подстанции Б (считая уставки защит на подстанции "В" заданными) применим токовую отсечку без выдержки времени и максимальную токовую защиту (МТЗ).

5.1.1.1. Токовая отсечка (первая степень защиты).

Первичный ток срабатывания токовой отсечки без выдержки времени определяется по выражению:

$$I_{C.з.Б.} = K_H * I_{K.з.Макс}^{(3)},$$

(5.1)

где $K_H = 1,3 \dots 1,5$;

$I_{K.з.Макс}^{(3)}$ - максимальный ток к.з., протекающий через место установки, при трехполюсном к.з. в конце защищаемой линии (точка K_3).

Чувствительность токовой отсечки согласно ПУЭ определяется длиной защищаемой зоны при протекании через место установки защиты минимального тока к.з., которая должна быть не менее 25% длины участка - линии $l_{Б-В}$. Для определения чувствительности строится график $I_{K.Мин}^{(2)} = f(l)$, для чего дополнительно определяется в минимальном режиме величина тока к.з. в 2-3 точках участка линии Б-В (рис. 5.2).

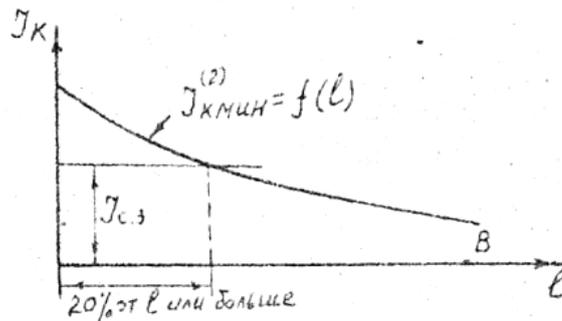


Рис. 5.2

Для упрощения расчета можно допустить определение чувствительности отсечки аналитически по выражению:

$$K_{\eta} = \frac{I_{K_2.Мин}^{(2)}}{I_{C.з.}} \geq 2, \quad (5.2)$$

где $I_{K_2.Мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока к.з., протекающего через место установки защиты при двухполюсном к.з. (т.е. при к.з. на шинах подстанции Б). $t_{C.з.} \cong 0$.

Примечание: Если чувствительность отсечки без выдержки времени недостаточна или зона действия её окажется малой, то целесообразно установить отсечку с выдержкой времени (вторая степень защиты).

Расчет токовой отсечки с выдержкой времени приведен ниже.

Вторичный ток срабатывания отсечки, (ток срабатывания токовых реле) определяется по выражению:

$$I_{C.P.} = K_{CX} \frac{I_{C.З.}}{n_T}, \quad (5.3)$$

где $I_{C.З.}$ - первичный ток срабатывания отсечки;

n_T - коэффициент трансформации трансформаторов тока на подстанции А;

K_{CX} - коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к вторичному току трансформаторов тока. Для схемы соединения трансформаторов тока и реле в полную и неполную звезду $K_{CX} = 1$, для схемы соединения трансформаторов тока и реле на разность токов ("восьмерка") $K_{CX} = \sqrt{3}$.

Обычно для сетей с малыми токами замыкания на землю применяется схема соединения трансформаторов тока и реле в неполную звезду.

По вычисленному значению $I_{C.P.}$ по каталогу принимается тип токового реле. Если же для максимальной токовой защиты принято реле РТ-80, то для выполнения отсечки используются мгновенные контакты этого реле.

5.1.1.2. Максимальная токовая защита (третья ступень).

Первичный ток срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ) вычисляется по формуле:

$$I_{C.З.} = \frac{K_H * K_{Сам}}{K_B} I_{РБМакс}, \quad (5.4)$$

где K_H - коэффициент надёжности (запаса), равен 1,2...1,4;

$K_{Сам}$ - коэффициент самозапуска, равен $1 \div 3$ (при отсутствии точных данных по сети принимается равным $1,5 \div 2$);

K_B - коэффициент возврата, принимается по каталогу для принятого типа реле;

$I_{РБМакс}$ - максимальное значение рабочего тока, протекающего по линии Б-В с учетом возможных эксплуатационных перегрузок, для линий $I_{РМакс} = I_{од}$.

Определяется чувствительность защиты по выражению

$$K_{\psi} = \frac{I_{К.З.Мин}^{(2)}}{I_{C.З.}} \geq 1,5, \quad (5.5)$$

где $I_{К.З.Мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока к.з., протекающего через место установки защиты при двухполюсном к.з. при к.з. в конце основной зоны защиты (на шинах подстанции В точка К₃).

Если чувствительность защиты будет недостаточна (т.е. $K_{\psi} < 1,5$), то за $I_{РБМакс}$ можно принимать суммарный ток нагрузки ($\sum I_{НОМ}$) трансформаторов, питающихся по данной линии, и в пояснительной записке указывать об ограничении величины допускаемого тока по линии из-за уставок защиты.

Определить чувствительность защиты на подстанции Б для работы в зоне резервирования (при к.з. за шинами подстанции В) в данном случае не представляется возможным из-за отсутствия данных по линиям за подстанцией В.

Вторичный ток срабатывания МТЗ определяется также как и для токовой отсечки, и выбирается токовое реле.

Примечание: Прежде чем выбирать типы реле и уставки защиты по времени необходимо решить вопросы:

- какой принять оперативный ток на рассматриваемой подстанции - постоянный, переменный с применением блоков питания или переменный непосредственно;

- какая применяется защита - прямого действия с реле тока типа РТМ и РТВ, или косвенного действия с реле типа РТ - 40 или РТ - 80?

При этом следует иметь в виду, что:

- реле РТМ и РТВ применяются только при наличии механических приводов выключателей, обычно на подстанциях небольшой мощности, реле РТВ имеют ограниченно зависимую от тока характеристику выдержки времени;
- реле РТ-80, также имеющие ограниченно зависимую от тока характеристику выдержки времени, целесообразно применять тогда, когда в сети уже есть защита с аналогичными характеристиками.

После решения всех этих вопросов и принятия типов токовых реле определяется выдержка времени МТЗ:

- для защиты с независимой от тока характеристикой выдержки времени (токовые реле типа РТ-40) время срабатывания защиты определяется по выражению $t_{C.З.Б.} = t_{C.З.В.Макс} + \Delta t$,

где $t_{C.З.В.Макс}$ - максимальное значение выдержки времени у МТЗ присоединенной на подстанции В, Δt - ступень выдержки времени, равная (0,3...0,6)с, обычно для радиальных сетей принимается равной 0,5с.

По выбранной выдержке времени с учетом принятого оперативного тока и его напряжения по каталогу выбирается тип реле времени:

- для защиты с зависимой от тока характеристикой выдержки времени определяется выдержка времени в точке согласования (точка стыка конца зоны действия защиты на подстанции Б и начала зоны действия защиты с $t_{C.З.В.Макс}$ на подстанции В (шины подстанции В) по выражению:

$$t_{согласовБ} = t_{C.З.В.Макс} + \Delta t \text{ (рис.5.3).}$$

Затем строится характеристика срабатывания защиты по типовой характеристике для данного типа реле следующим образом: определяется в данной точке (шины подстанции В)

отношение ($I_p = \frac{I_{К.З.Макс}}{n_T}$) при к.з. на шинах подстанции В, откладывается эта величина на

типовых характеристиках (рис.5.4). По значению находится нужная характеристика, которая затем пересчитывается применительно к данной сети.

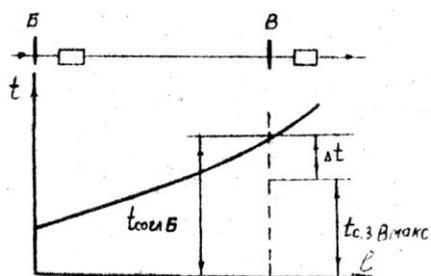


Рис. 5.3

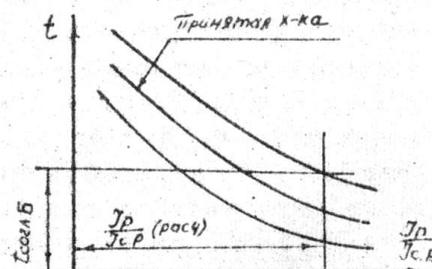


Рис. 5.4

Согласование защит смежных участков выполняется графически. Если же $I_p / I_{C.P.} > 5$, то графическое согласование защит проводить не следует, ограничиваясь только определением $t_{Cогл.Б}$, так как в этом случае защита работает в независимой от тока части характеристики.

5.1.2. Защита линии на подстанции "А".

Для защиты магистральной линии на подстанции А также применим ступенчатую токовую защиту.

5.1.2.1. Токовая отсечка (первая ступень).

Определение первичного тока срабатывания токовой отсечки без выдержки времени на подстанции А и проверка ее чувствительности выполняются аналогично рассмотренному ранее, т.е.

$$I_{A.C.З.} = K_H * I_{К.З.Макс}^{(3)} \quad \text{и} \quad K_{\text{ч}} = \frac{I_{К1Мин}^{(2)}}{I_{C.З.}} \geq 2.$$

Если чувствительность токовой отсечки без выдержки времени оказывается недостаточной или ее зона действия мала, то устанавливается токовая отсечка с выдержкой времени (вторая степень защиты) в данном случае с $t = 0,5с$.

5.1.2.2. Токовая отсечка с выдержкой времени (вторая степень).

Ток срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени определяется:
-если на трансформаторе Т-1 для защиты от внутренних повреждений также установлена токовая отсечка ($S_{TP} < 6300$ кВА) без выдержки времени с током срабатывания равным $I_{TP.C.3.}$, то ток срабатывания токовой отсечки на линии, отходящей от подстанции А, отстраивается от большего из двух значений тока срабатывания отсечки на линии $I_{Б.C.3.}$ или трансформатора $I_{TP.C.3.}$ по формуле

$$I_{A.C.3.} = K_H * I_{Б.C.3.} (I_{TP.C.3.}), \quad (5.6)$$

где $K_H = 1,1$;

-если на трансформаторе Т-1 установлена дифференциальная защита ($S_{TP} \geq 6300$ кВА), то ток срабатывания токовой отсечки, установленной на линии на подстанции А, отстраивается от большего из двух значений тока срабатывания отсечки на линии на подстанции Б ($I_{Б.C.3.}$) или максимального значения тока к.з. при к.з. за трансформатором ($I_{KЧ}^{(3)}$) по формуле

$$I_{A.C.3.} = K_H * I_{Б.C.3.} (I_{KЧ}^{(3)}), \quad (5.7)$$

где $K_H = 1,1$.

Чувствительность токовой отсечки с выдержкой времени не проверяется.

В ряде случаев следует рассмотреть вопрос о применении неселективной токовой отсечки с исправлением ее неселективности работой устройства АПВ. Вопрос о применении неселективной отсечки следует решать в зависимости от необходимости обеспечить быстроедействие, категории потребителя и т.д.

Ток срабатывания токовой неселективной отсечки рассчитывается так же, как и отсечки с выдержкой времени.

5.1.2.3. Максимальная токовая защита (третья степень).

Ток срабатывания МТЗ линии на подстанции А, выдержка времени и чувствительность защиты в основной зоне определяются так, как это было рассмотрено ранее.

Кроме того, определяется чувствительность защиты и в зоне резервирования по формуле:

$$K_{чрез} = \frac{I_{K.3.Мин}^{(2)}}{I_{C.3.}} \geq 2, \quad (5.8)$$

где $I_{K.3.Мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока двухполюсного к.з., протекающего через место установки защиты при к.з. на границе зоны резервирования, т.е. на шинах подстанции В (или за трансформатором в точке K_4).

5.2. Силовые трансформаторы.

В соответствии с ПУЭ на двухобмоточных трансформаторах устанавливаются:

5.2.1. Для защиты от многофазных к.з. в обмотках и на выводах трансформаторов:

- одиночно работающих, мощностью 6300 кВА и выше, или параллельно работающих от 4000 кВА и выше - продольная дифференциальная защита, выполняемая токовыми реле, отстроенными от бросков тока намагничивания (дифференциальная отсечка) в случаях, когда такая защита удовлетворяет требованиям чувствительности ($K_4 > 2$), или, в случае недостаточной чувствительности, токовыми реле, включенными в дифференциальную цепь через промежуточные насыщающиеся трансформаторы тока (дифференциальная защита с реле РНТ-565);
- при меньших мощностях, когда не предусмотрена дифференциальная защита, - токовая отсечка без выдержки времени, устанавливаемая со стороны питания и охватывающая часть обмотки трансформатора;

- при мощности трансформатора меньше 1600 кВА при напряжении до 35 кВ и времени действия максимальной токовой защиты меньше 1с допускается не устанавливать токовую отсечку.

5.2.2. Для защиты от сверхтоков в обмотках, обусловленных внешними к.з., и резервирования действия защиты от внутренних повреждений на трансформаторах с односторонним питанием - максимальная токовая защита без пуска или с пуском минимального напряжения (при достаточной чувствительности без пуска напряжения), устанавливаемая со стороны питания. Защиты, выполненные согласно п.п. 1 и 2, должны действовать на отключение обеих выключателей трансформатора.

5.2.3. Для защиты от токов в обмотках, обусловленных перегрузкой - токовая защита, выполняемая с одним токовым реле с действием на сигнал с выдержкой времени.

5.2.4. Для защиты от витковых замыканий в обмотках и понижения уровня масла для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более - газовая защита, действующая на сигнал при слабом газообразовании и понижении уровня масла, и на отключение при интенсивном газообразовании. Допускается выполнять газовую защиту с действием на отдельный сигнал и при интенсивном газообразовании при наличии на трансформаторе дифференциальной защиты или токовой отсечки, а также на трансформаторах, не имеющих выключателей со стороны питания.

5.2.5. Для сигнализации о повышении температуры масла ставится термосигнализатор с действием на сигнал.

5.2.6. Продольная дифференциальная защита.

Расчет дифференциальной защиты начинается с подбора коэффициентов трансформации трансформаторов тока, учитывая и схему соединения обмоток силового трансформатора. У понижающих двухобмоточных трансформаторов в основном применяется схема соединения обмоток Y/Δ -11. В этом случае необходимо соединять трансформаторы тока со стороны "звезды" силового трансформатора в "треугольник", а со стороны "треугольника" - в "звезду" с той же группой 11 для устранения углового сдвига вторичных токов в дифференциальной цепи.

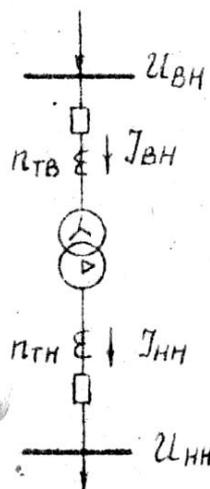


Рис. 5.9

Коэффициент трансформации трансформатора тока со стороны "треугольника" силового трансформатора принимается по номинальному току силового трансформатора на стороне "треугольника": $I_{НОМ.Т.Т} \geq I_{НОМ.Н.Н.}$,

где $I_{НОМ.Н.Н.}$ - номинальный ток силового трансформатора на стороне "треугольника", равный

$$I_{НОМ.Н.Н.} = \frac{S_{НОМ.ТР-РА}}{\sqrt{3}U_{Н.Н.}}, \quad (5.26)$$

$I_{НОМ.Т.Т.}$ - номинальный первичный ток трансформатора тока, установленного со стороны "треугольника" силового трансформатора, принимаемый по каталогу ближайший больший к $I_{НОМ.Н.Н.}$.

Коэффициент трансформации трансформатора тока со стороны "звезды" силового трансформатора с учетом того, что вторичные обмотки трансформаторов тока соединены в "треугольник", принимается по номинальному току силового трансформатора на стороне "звезды"

$$I_{НОМ.Т.Т.В.Н.} \geq I_{НОМ.В.Н.} \sqrt{3}, \quad (5.27)$$

где $I_{НОМ.В.Н.}$ - номинальный ток силового трансформатора на стороне звезды, равный

$$I_{НОМ.В.Н.} = \frac{S_{НОМ.Тр-РА}}{\sqrt{3}U_{В.Н.}}, \quad (5.28)$$

$I_{НОМ.Т.Т.В.Н.}$ - номинальный первичный ток трансформатора тока, установленного на стороне "звезды" силового трансформатора, принимаемый по каталогу ближайшим большим к $I_{НОМ.В.Н.}$.

После определения коэффициентов трансформации трансформаторов тока, равных

$$n_{Т.В.} = \frac{I_{НОМ.Т.Т.В.Н.}}{5} \quad \text{и} \quad n_{Т.Н.} = \frac{I_{НОМ.Т.Т.Н.Н.}}{5}, \quad (5.29)$$

определяются вторичные токи, текущие в плечах дифференциальной защиты со стороны "звезды" силового трансформатора

$$I_{В.В.Н.} = \frac{\sqrt{3}I_{НОМ.В.Н.}}{n_{Т.В.}},$$

и со стороны "треугольника"

$$I_{В.Н.Н.} = \frac{I_{НОМ.Н.Н.}}{n_{Т.Н.}}.$$

Как известно, дифференциальная защита выполняется по трем схемам:

- без выравнивания вторичных токов и с отстройкой от броска апериодического тока намагничивания по величине - дифференциальная отсечка;
- с выравниванием вторичных токов и с отстройкой от броска апериодического тока намагничивания с помощью быстронасыщающихся промежуточных трансформаторов тока – защита с реле РНТ-560;
- с выравниванием вторичных токов и с отстройкой от броска апериодического тока намагничивания с помощью быстродействующих промежуточных трансформаторов тока с магнитным торможением - защита с реле ДЗТ.

Расчет дифференциальной защиты трансформатора целесообразно начинать с дифференциальной отсечки и в случае ее недостаточной чувствительности переходить к расчёту более сложных защит с РНТ.

5.2.7. Расчет дифференциальной токовой отсечки.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбирается из двух условий:

- 1) отстройки от броска апериодического тока намагничивания $I_{С.З.} = (3...5)I_{НОМ.Тр.}$,
где $I_{НОМ.Тр.}$ - номинальный ток силового трансформатора со стороны питания;
 - 2) отстройки от максимального тока небаланса $I_{С.З.} = K_H I_{Н.Б.Макс}$,
- где $K_H = 1,3$;

$$I_{Н.Б.Макс} = I_{Н.Б.Т.Т.Макс} + I_{Н.Б.Рез.Макс} + I_{Н.Б.Комп.Макс};$$

$$I_{Н.Б.Т.Т.Макс} = K_\alpha K_{одн} f_i I_{К.З.Вн.Макс}^{(2)}$$

где $K_{одн}$ - коэффициент, учитывающий неоднотипность трансформаторов тока в схеме дифзащиты, $K_0 = 0,5...1$ (обычно для дифзащиты силовых трансформаторов принимается $K_0=1$);

f_i - погрешность трансформаторов тока, принимается равной 0,1;

$K_\alpha = 1...2$;

$I_{К.З.Вн.Макс}^{(2)}$ - максимальное значение тока трёхфазного к.з. при к.з. на выводах силового трансформатора со стороны, противоположной питанию

$$I_{Н.Б.Рег.Макс} = \frac{\Delta N\%}{100} I_{К.З.Вн.Макс}^{(3)}, \quad (5.30)$$

здесь $\Delta N\%$ - максимальное значение изменения коэффициента трансформации силового трансформатора при регулировании.

У трансформаторов без регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой обычно $\Delta N\% = \pm 5\%$, с регулированием под нагрузкой $\Delta N\% = (10...18)\%$;

$$I_{Н.Б.Комп.Макс} = \frac{I_{В.Вн} - I_{В.Нн}}{I_{В.Нн}} I_{К.З.Вн.Макс}^{(3)}, \quad (5.31)$$

где $I_{В.Вн}$ и $I_{В.Нн}$ - вторичные токи в плечах дифференциальной защиты.

Принимается большее из двух значений тока срабатывания защиты.

Чувствительность защиты определяется по формуле

$$K_\chi = \frac{I_{К.З.Вн.Мин}^{(2)}}{I_{С.З.}} \geq 2, \quad (5.32)$$

где $I_{К.З.Вн.Мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока двухполюсного к.з., протекающего через защиту при к.з. на стороне трансформатора противоположной питанию.

Определяется вторичный ток срабатывания защиты

$$I_{CP} = K_{CX} \frac{I_{С.З.}}{n_T},$$

и по нему выбирается токовое реле. Если $K_4 < 2$, то применяется дифференциальная токовая защита с реле типа РНТ-565.

5.2.8. Расчёт дифференциальной токовой защиты с реле типа РНТ-565.

Как уже указывалось, реле типа РНТ-565 имеет быстро насыщающийся трансформатор тока, служащий для отстройки от броска апериодической составляющей тока намагничивания, и устройство для выравнивания вторичных токов плеч дифзащиты, состоящее из уравнительных обмоток W_{vp1} и W_{vp2} (см. схему реле), имеющих отпайки для подбора необходимого числа витков. Обмотки W_{K1} и W_{K2} служат для улучшения отстройки реле от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов.

Дифференциальная обмотка также имеет отпайки и служит для настройки реле на заданный ток срабатывания.

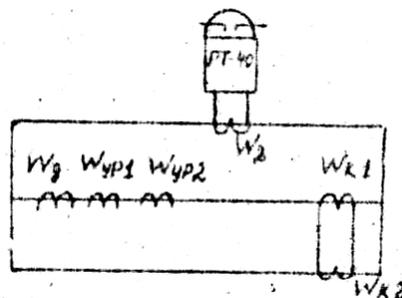


Рис. 5.10. Реле РНТ-565

Ток срабатывания дифференциальной защиты выбирается из двух условий.

- 1) Отстройки от броска апериодического тока намагничивания $I_{C.З.} = K_H I_{Ном.Тр-ра}$, где $I_{Ном.Тр-ра}$ - номинальный ток силового трансформатора со стороны питания, $K_H = 1,1 \dots 1,5$.

- 2) Отстройки от максимального тока небаланса.

$$I_{C.З.} = K_H I_{НБ.Макс}, \text{ где } K_H = 1,3;$$

$$I_{Н.Б.Макс} = I_{Н.Б.Т.Т.} + I_{Н.Б.Рез.} = \left(0,1 + \frac{\Delta N\%}{100}\right) I_{К.З.Вн.Макс}^{(3)}, \quad (5.33)$$

считая $K_{одн} = 1$, $f_i = 0,1$, $i_{Н.Б.Комп}$ не учитываем, считая в первом приближении выравнивание вторичных токов полным.

Принимается большее из двух значений тока срабатывания защиты. Чувствительность защиты определяется по выражению:

$$K_{ч} = \frac{I_{К.З.Вн.Мин}^{(2)}}{I_{C.З.}} \geq 2, \quad (5.34)$$

т.е. аналогично дифференциальной отсечке.

Обычно у защиты двухобмоточных трансформаторов с односторонним питанием коэффициент чувствительности бывает ≥ 2 .

Выбор числа витков обмоток реле РНТ – 565.

Выбор числа витков обмоток реле РНТ-565 производится по разному, в зависимости от принятой схемы включения реле РНТ-565.

- а) Включение реле с использованием дифференциальной W_0 и одной из уравнивательных обмоток $W_{уп1}$ ($W_{уп2}$).

Определяется число витков дифференциальной обмотки

$$W_0 = \frac{F_{C.P.}}{I_{C.P.}}, \quad (5.35)$$

где $F_{C.P.}$ - ампервитки срабатывания реле, для реле РНТ-565, $F_{C.P.} = 100$ ав;

$$I_{C.P.} = K_{CX} \frac{I_{C.З.}}{n_T}, \quad (5.36)$$

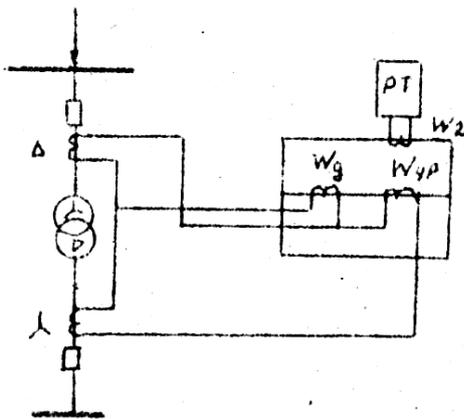


Рис.5.11

Принимается ближайшее меньшее число целых витков W_0^I и определяется действительный ток срабатывания защиты и её чувствительность:

$$I'_{C.P.} = \frac{F_{C.P.}}{W_0^I}; \quad I'_{C.З.} = \frac{I'_{C.P.} n_T}{K_{CX}} \text{ и } K_{ч} = \frac{I_{К.З.Вн.Мин}^{(2)}}{I'_{C.З.}}, \quad (5.37)$$

Определяется число витков уравнивающей обмотки, необходимое для выравнивания вторичных токов из условия (уравнивающую обмотку целесообразно включать на стороне трансформаторов тока, соединенных в звезду):

$$W'_0(I_{B.B.H.} - I_{B.H.H.}) = W_{yp} I_{B.H.H.},$$

откуда

$$W_{yp} = W'_0 \frac{I_{B.B.H.} - I_{B.H.H.}}{I_{B.H.H.}}.$$

Принимается ближайшее целое число витков уравнивающей обмотки W_{yp}^I и определяется нескомпенсированное значение тока в дифференциальной обмотке:

$$W'_0(I_{B.B.H.} - I_{B.H.H.}) - W_{yp} I_{B.H.H.} = W'_0 I_{B.Неском.},$$

откуда

$$I_{B.Неском.} = I_{B.B.H.} - (1 - \frac{W_{yp}'}{W'_0} I_{B.H.H.})/.$$

После этого производится проверка защиты по условию:

$$I'_{C.з.} \geq (0,1 + \frac{\Delta N\%}{100} + \frac{I_{B.Неском.}}{I_{B.B.H.}}) I_{K.з.В.Н.Макс}^{(3)} \quad (5.38)$$

Если это условие выполнено, то расчет защиты на этом оканчивается, если же $I'_{C.з.}$ оказывается меньше значения правой стороны неравенства, то за $I_{C.з.}$ принимается это значение и расчёт повторяется вновь.

б) Включение реле с использованием двух уравнивающих обмоток W_{yp1} и W_{yp2} .

Определяется число витков уравнивающих обмоток:

1. Определяется вторичный ток срабатывания защиты на стороне того напряжения силового трансформатора, где значение вторичного тока в плече дифзащиты больше (это плечо называется «основным»).

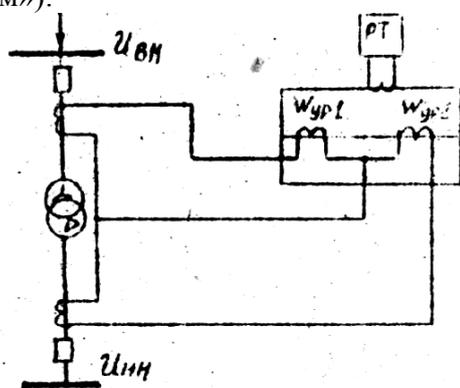


Рис. 5.12

Предположим, что $I_{B.B.H.} > I_{B.H.H.}$, тогда плечо дифзащиты на стороне высшего напряжения силового трансформатора назовем «основным» и определим для него вторичный ток срабатывания защиты:

$$I_{C.P.} = K_{CX} \frac{I_{C.з.}}{n_T}, \quad (5.39)$$

Определяем число витков обмотки РНТ, включённых на стороне в.н. силового трансформатора:

$$W_{Ocn.} = W_{yp1} = \frac{F_{C.P.}}{I_{C.P.}}, \quad (5.40)$$

Принимаем ближайшее меньшее число витков W_{yp}^I и определяем действительный ток срабатывания и чувствительность защиты:

$$I'_{C.P.} = \frac{F_{C.P.}}{W'_{yp1}}, \quad I'_{C.3.} = \frac{I'_{C.P.} \cdot n_T}{K_{CX}}, \quad K'_q = \frac{I_{K.3.Вн.Мин}^{(2)}}{I'_{C.3.}} \geq 2, \quad (5.41)$$

Определяем число витков обмотки РНТ на "неосновной" стороне силового трансформатора из

$$W'_{yp1} I_{B.B.H.} = W'_{yp2} I_{B.H.H.}, \quad (5.42)$$

принимая ближайшее целое число витков W'_{yp2} и определяем |нескомпенсированное значение тока в реле, для чего подсчитываем ампервитки в одной и другой обмотках реле:

$$W'_{yp1} I_{B.B.H.} - W'_{yp2} I_{B.H.H.}, \quad (5.43)$$

и из большего значения вычитаем меньшее (например, $W'_{yp1} I_{B.B.H.} > W'_{yp2} I_{B.H.H.}$)

$$W'_{yp1} I_{B.B.H.} - W'_{yp2} I_{B.H.H.} = W'_{yp1} I_{B.Неском.}, \quad (5.44)$$

откуда:

$$I_{B.Неском.} = I_{B.B.H.} - \frac{W'_{yp2}}{W'_{yp1}} I_{B.H.H.}, \quad (5.45)$$

После этого проводится проверка защиты по условию:

$$I'_{C.3.} \geq K_H \left(0,1 + \frac{\Delta N\%}{100} + \frac{I_{B.Неском.}}{I_{B.B.H.}} \right) I_{K.3.В.Н.Макс}^{(3)}, \quad (5.46)$$

Если это условие выполнено, то расчет защиты на этом заканчивается, если же $I'_{C.3.}$ оказывается меньше значения правой стороны неравенства, то за $I_{C.3.}$ принимается это значение и расчёт повторяется вновь.

5.2.9. Токовая отсечка.

Устанавливается со стороны питания силового трансформатора.

Ток срабатывания токовой отсечки определяется по выражению

$$I_{c.з.} = K_H \cdot I_{K.3.Вн.Макс}^{(3)},$$

где $K_H = 1,3 \div 1,4$; $I_{K.3.Вн.Макс}^{(3)}$ - максимальное значение тока к.з. при к.з. на стороне трансформатора, противоположной питанию.

Чувствительность защиты определяется по выражению:

$$K_q = \frac{I_{K.3.Мин}^{(2)}}{I_{c.з.}} \geq 2, \quad (5.47)$$

где $I_{K.3.Мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока к.з. на стороне питания силового трансформатора.

Вторичный ток срабатывания защиты определяется по формуле:

$$I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} \quad (5.48)$$

и по нему выбирается тип токового реле. Выдержка времени отсечки принимается $t_{c.з.} = 0$.

Если токовая отсечка не подходит по чувствительности, то ставится дифференциальная защита.

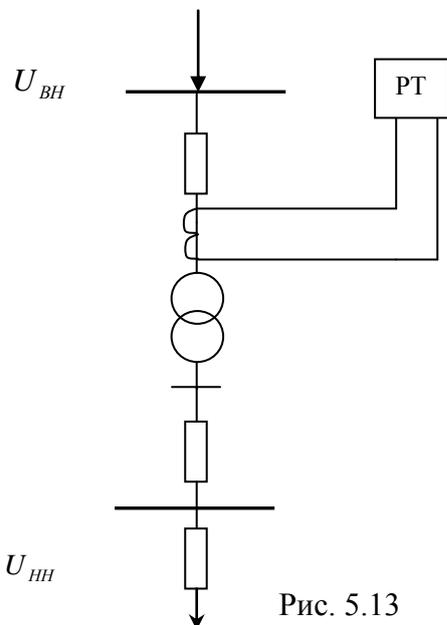


Рис. 5.13

5.2.10 Максимальная токовая защита.

Устанавливается со стороны питания силового трансформатора.

Ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H K_{сам}}{K_B} I_{раб.макс.} \quad (5.49)$$

где $K_H = 1,2 \div 1,3$; $K_B = 1,5 \div 2,0$ - принимается по каталогу для данного типа реле;

$I_{раб.макс.}$ - максимальное значение тока, протекающего через силовой трансформатор. При одном трансформаторе $I_{раб.макс.} = I_{ном.тр-ра}$ при наличии нескольких параллельно работающих трансформаторов одинаковой мощности:

$$I_{раб.макс.} = \frac{n}{n-1} I_{ном.тр-ра}, \quad (5.50)$$

где n - число параллельно работающих трансформаторов.

При наличии нескольких параллельно работающих трансформаторов различной мощности $I_{раб.макс.}$ каждого трансформатора определяется как сумма его номинального тока плюс часть тока, которая будет по нему протекать при отключении наиболее мощного из параллельно работающих трансформаторов.

При наличии АВР, работа которого вызовет наброс мощности на силовой трансформатор, за $I_{раб.макс.}$ принимается суммарный ток самого трансформатора и ток, который будет дополнительно протекать через трансформатор после срабатывания АВР.

Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\chi} = \frac{I_{к.з.вн.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (5.51)$$

где $I_{к.з.вн.мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока двухполюсного к.з. при к.з. на стороне трансформатора, противоположной питанию.

Если чувствительность защиты при нескольких параллельно работающих трансформаторах или наличии АВР оказывается недостаточной, то целесообразно выполнить пуск минимального напряжения (блокировку по напряжению). Напряжение срабатывания определяется по формуле:

$$U_{с.з.} = (0,6 \div 0,7) U_{ном}, \quad (5.52)$$

где $U_{ном}$ - напряжение стороны силового трансформатора, где подключен трансформатор напряжения. Обычно это сторона питания силового трансформатора.

Ток срабатывания защиты при этом определяется по формуле:

$$I_{c.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{ном.тр-ра} \quad (5.53)$$

Чувствительность защиты определяется по току:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{к.з.вн.мин}^{(2)}}{I_{c.з.}} \geq 1,5; \quad (5.54)$$

по напряжению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_{c.з.}}{U_{ост.макс}} \geq 1,5, \quad (5.55)$$

где $U_{ост.макс}$ - максимальное значение остаточного напряжения на шинах со стороны питания (там, где подключен трансформатор напряжения) при к.з. на противоположной стороне силового трансформатора, определяемое как:

$$U_{ост.макс} = \sqrt{3} I_{к.з.вн.макс}^{(3)} Z_{тр-ра} \quad (5.56)$$

Если чувствительность по напряжению недостаточна, то устройство пуска минимального напряжения подключается со стороны силового трансформатора, противоположной питанию. Тогда чувствительность по напряжению равна $K_{\text{ч}} = \infty$, так как $U_{ост}$ в месте к.з. равно нулю.

Вторичные уставки защиты определяются как:

$$I_{c.п.} = K_{ск} \frac{I_{c.з.}}{n_T}; \quad (5.57)$$

$$U_{c.п.} = \frac{U_{c.з.}}{n_H}$$

и по ним выбираются типы реле тока и напряжения.

Выдержка времени защиты выбирается на ступень больше максимальной выдержки времени максимальных защит отходящих присоединений

$$t_{c.з.} = t_{макс.отход} + \Delta t \quad (5.58)$$

5.2.11. Защита от перегрузок.

Устанавливается со стороны питания с одним токовым реле, включенным на ток любой фазы. Ток срабатывания защиты равен:

$$I_{c.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{ном.тр-ра}; \quad K_H = 1,05. \quad (5.59)$$

Вторичный ток срабатывания защиты равен:

$$I_{c.п.} = K_{ск} \frac{I_{c.з.}}{n_T}; \quad (5.60)$$

по нему выбирается тип токового реле. Время срабатывания защиты принимается равным $t_{c.з.} = (7 \div 9)$ секунд, и выбирается реле времени.

Примечание: Для всех защит, действующих на сигнал, необходимо применять реле времени термически устойчивое.

5.3. Устройства АПВ и АВР.

5.3.1. Устройство автоматического повторного включения (АПВ).

В соответствии с ПУЭ устройствами АПВ должны оборудоваться:

- все воздушные и кабельно-воздушные линии напряжением выше 1000 В. Отказ от применения АПВ должен быть обоснован;
- кабельные линии 35 кВ и ниже в случаях, когда линия питает несколько подстанций и отсутствует АВР;

- понижающие трансформаторы, работающие одиночно, когда их отключение приводит к обесточиванию потребителей, причем иногда разрешается работа АПВ при действии защит от внутренних повреждений.

Устройства АПВ должны выполняться с соблюдением следующих требований:

- пуск устройства АПВ должен происходить от несоответствия положения ключа управления и выключателя;
- при отключении линии вручную АПВ должно автоматически выводиться из действия;
- должна обеспечиваться однократность (или двухкратность) действия АПВ;
- после успешного действия устройство АПВ должно автоматически приходить в состояние готовности к повторному действию;
- должна обеспечиваться блокировка от многократных включений выключателя.

Обычно в распределительных сетях с односторонним питанием устройства выполняются трехфазными однократного (реже двухкратного) действия. В зависимости от типа привода и наличия оперативного постоянного тока устройства АПВ выполняются:

- при наличии механического (пружинного или грузового) привода - механические;
- при наличии постоянного оперативного тока и соленоидного привода - электрические с реле РПВ-58. Выдержка времени работы АПВ должна быть минимальной, но по условиям деионизации среды в выключателе не менее $(0,15 \div 0,2)$ сек.

5.3.2. Устройства автоматического ввода резерва (АВР).

Устройства АВР должны предусматриваться во всех случаях, когда отключение источника питания приводит к обесточиванию потребителей или их разгрузке.

Устройства АВР должны выполняться с учетом следующих требований:

- возможность действия АВР должна быть обеспечена при исчезновении напряжения на резервируемом элементе по любой причине, включая к.з. на нем;
- устройства АВР должны обеспечивать однократность действия;
- если это не требует значительного усложнения устройства, должна обеспечиваться проверка отключенного состояния выключателя рабочего элемента;
- пусковой орган защиты минимального напряжения (пуск АВР), контролирующий напряжение на шинах электроустановок, должен быть выполнен таким образом, чтобы исключалась его ложная работа при перегорании одного из предохранителей со стороны высшего или низшего напряжения трансформатора напряжения; при защите обмотки низшего напряжения автоматом, при отключении последнего действие пускового органа должно блокироваться;
- при действии устройства АВР на секционный или междушинный выключатель должно предусматриваться ускорение действия защиты этого выключателя после работы АВР или устройства специальной неселективной защиты без выдержки времени с выводом её из действия успешной работы АВР.

Напряжение срабатывания пусковых реле напряжения выбирается равным

$$U_{с.з.} = (25 \div 40)\% \text{ от } U_{ном.}$$

Выдержка времени АВР (t_{ABP}) выбирается таким образом, чтобы обеспечить недействие устройства при кратковременном исчезновении или снижении напряжения на резервируемом элементе при возникновении к.з. в сети, до отключения этих к.з., а также в случае отключения и повторного включения от АПВ основного источника питания.

При наличии на резервном источнике питания трансформатора напряжения целесообразно схему АВР выполнять с контролем напряжения на нём.

5-вариант

1. Выбор параметров элементов электрической сети

Параметры трансформаторов и их типы сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

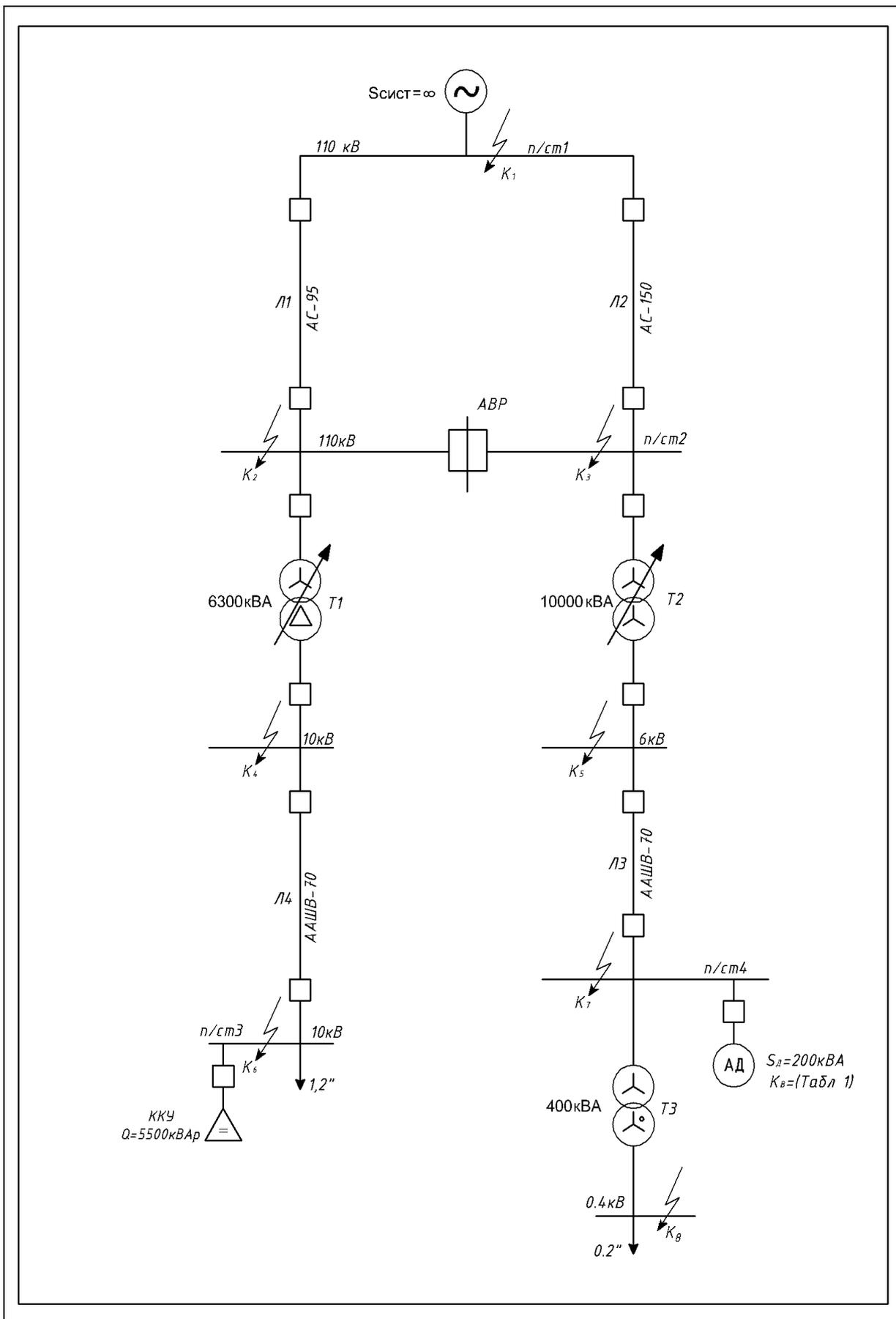
	Т-1	Т-2	Т-3,
Тип тр-ра	ТМН-6300/110	ТДН-10000/110	ТСЗ-400/10
S_H кВА	6300	10000	400
U_B кВ	115	115	6
U_H кВ	11	6,6	0,4
U_k %	10,5	10,5	5,5
$\Delta P_{к.з.}$ кВт	44	58	5,4
$\Delta P_{х.х.}$ кВт	10	14	1,3
$I_{х.х.}$ %	1	0,9	3

Параметры воздушных и кабельных линий электропередач сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Тип	АС-95	АС-150	ААШВ-70	ААШВ-70
Длина l км	25	10,5	10	0,6
$U_{ном,кВ}$	110	110	6	10
r_0 Ом/км	0,306	0,198	0,443	0,443
x_0 Ом/км	0,434	0,42	0,08	0,086
$I_{од}$ А	330	450	165	165

Тип	$U_{ном}$ кВ	P кВт	$n_{ном}$ об/мин	$\cos \varphi$	η %	$K_{П}$
ДА304-400Х-8У1	6	200	740	0,77	92,5	3,6



Расчёт токов К.З.

Составим схему замещения электрической сети и определим параметры её элементов. Принимаем базисные условия $S_{\sigma} = 100000$. За базисные напряжение принимаем средние напряжения $U_{\delta I} = 115 \text{кВ}$, $U_{\delta II} = 11 \text{кВ}$, $U_{\delta III} = 6,3 \text{кВ}$, $U_{\delta IV} = 0,4 \text{кВ}$.

Рассчитаем сопротивления элементов системы

Сопротивления трансформаторов:

Т-1:

$$U_{AT} \% = \frac{\Delta P_{K3} * 100}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{44 * 100}{6300} = 0,698$$

$$U_{PT} \% = \sqrt{U_K^2 - U_{AT}^2} = \sqrt{10,5^2 - 0,698^2} = 10,476$$

$$x = \frac{U_{PT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{10,476}{100} \cdot \frac{100000}{6300} = 1,663 \quad r = \frac{U_{AT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{0,698}{100} \cdot \frac{100000}{6300} = 0,111$$

$$Z = 0,111 + j1,663 \quad Z = /1,66/$$

Т-2:

$$U_{AT} \% = \frac{\Delta P_{K3} * 100}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{58 * 100}{10000} = 0,58$$

$$U_{PT} \% = \sqrt{U_K^2 - U_{AT}^2} = \sqrt{10,5^2 - 0,58^2} = 10,49$$

$$x = \frac{U_{PT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{10,49}{100} \cdot \frac{100000}{10000} = 1,049 \quad r = \frac{U_{AT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{0,58}{100} \cdot \frac{100000}{10000} = 0,058$$

$$Z = 0,044 + j1,049 \quad Z = /1,05/$$

Т-3:

$$U_{AT} \% = \frac{\Delta P_{K3} * 100}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{5,3 * 100}{400} = 1,325$$

$$U_{PT} \% = \sqrt{U_K^2 - U_{AT}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,325^2} = 5,21$$

$$x = \frac{U_{PT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{5,21}{100} \cdot \frac{100000}{400} = 13,025 \quad r = \frac{U_{AT} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{НОМТ-а}}} = \frac{1,325}{100} \cdot \frac{100000}{400} = 0,33125$$

$$Z = 0,33125 + j13,025 \quad Z = /13,029/$$

Сопротивления линий электропередач:

Л-1:

$$X = x_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ср.ЛЭП}}^2} = 0,434 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,082$$

$$R = r_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ср.ЛЭП}}^2} = 0,306 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,0578$$

$$Z = 0,0578 + j 0,082 \quad Z = /0,10032/$$

Л-2:

$$X = x_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ср.ЛЭП}}^2} = 0,42 \cdot 10,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,0333$$

$$R = r_0 l \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ср.ЛЭП}}^2} = 0,198 \cdot 10,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,01572$$

$$Z = 0,01572 + j0,0333 \quad Z = /0,03682/$$

Л-3:

$$X = x_0 l \frac{S_{\delta}}{U^2_{cp.лэп}} = 0,08 \cdot 10 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 2,015$$

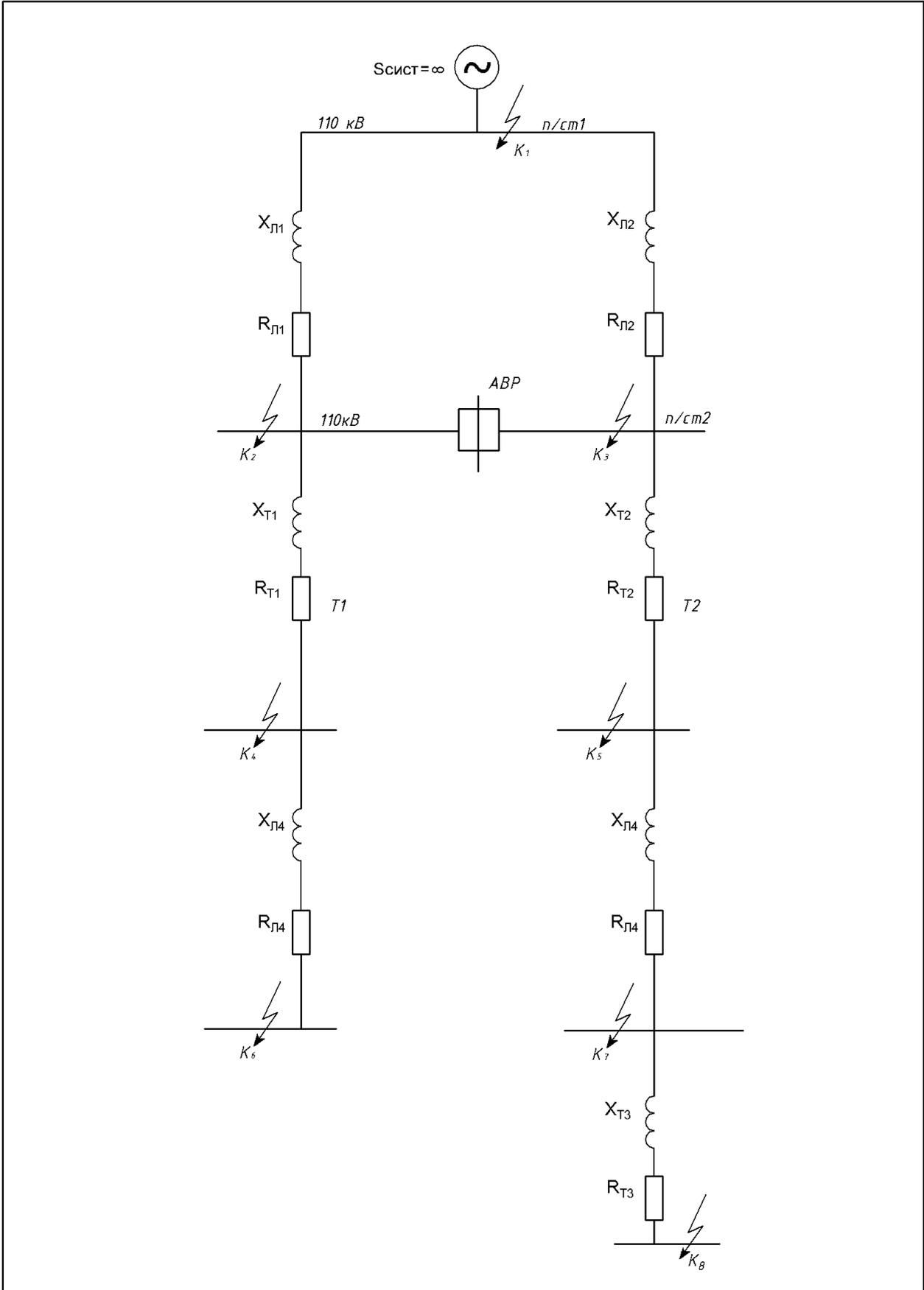
$$R = r_0 l \frac{S_{\delta}}{U^2_{cp.лэп}} = 0,443 \cdot 10 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 11,16$$

$$Z = 11,16 + j2,015 \quad Z = /11,34/$$

$$\text{Л-4: } X = x_0 l \frac{S_{\delta}}{U^2_{cp.лэп}} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{11^2} = 0,039$$

$$R = r_0 l \frac{S_{\delta}}{U^2_{cp.лэп}} = 0,443 \cdot 0,6 \cdot \frac{10}{11^2} = 0,219$$

$$Z = 0,219 + j0,039 \quad Z = /0,222/$$



Максимальный режим

$$X_{\text{сист}} = S_{\sigma} / S_{\text{к.т.ю}} = 100 / \infty = 0 \text{ и } z_0 = 0$$

К-1

$$z_{\sigma} = z_0 = 0$$

$$I_{\text{к1}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot 0 \cdot U_{\text{бI}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 0 \cdot 115 = \infty$$

К-2, К-3

$$z_{\sigma 2} = z_{\sigma 3} = z_c + z_{\text{л2}} = 0 + 0,01572 + j0,033 = 0,0368j$$

$$I_{\text{к2}} = I_{\text{к3}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 3} \cdot U_{\text{бI}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 0,0368 \cdot 115 = 13642,5 \text{ A}$$

К-4

$$z_{\sigma 4} = z_{\sigma 3} + z_{\text{л1}} = 0,01572 + j0,033 + 0,111 + j1,663 = 0,12672 + j1,696 = 1,7j$$

$$I_{\text{к4}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 4} \cdot U_{\text{бII}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 1,7 \cdot 11 = 3087,43 \text{ A}$$

К-5

$$z_{\sigma 5} = z_{\sigma 3} + z_{\text{л2}} = 0,01572 + j0,333 + 0,044 + j1,049 = 0,05972 + j1,0823 = 1,0839j$$

$$I_{\text{к5}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 3} \cdot U_{\text{бIII}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 1,0839 \cdot 6,3 = 8454,92 \text{ A}$$

К-6

$$z_{\sigma 6} = z_{\sigma 4} + z_{\text{л4}} = 0,12672 + j1,696 + 0,219 + j0,039 = 0,34572 + j1,735 = 1,769j$$

$$I_{\text{к6}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 6} \cdot U_{\text{бII}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 1,769 \cdot 11 = 2967 \text{ A}$$

К-7

$$z_{\sigma 7} = z_{\sigma 5} + z_{\text{л3}} = 0,05972 + j1,0823 + 11,16 + j2,015 = 11,219 + j3,0973 = 11,638j$$

$$I_{\text{к7}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 7} \cdot U_{\text{бIII}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 11,63 \cdot 6,3 = 787,9 \text{ A}$$

К-8

$$z_{\sigma 8} = z_{\sigma 7} + z_{\text{л3}} = 11,219 + j3,0973 + 0,33125 + j13,025 = 11,55 + j16,1473 = 19,85j$$

$$I_{\text{к8}} = S_{\sigma} / \sqrt{3} \cdot z_{\sigma 8} \cdot U_{\text{бIV}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 19,85 \cdot 0,4 = 7271,41 \text{ A}$$

Минимальный режим

$$X_{\text{сист}} = S_6 / S_{\text{к.т.ю}} = 100 / \infty = 0 \text{ и } z_0 = 0$$

К-1

$$z_9 = z_0 = 0$$

$$I_{\text{к1}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot 0 \cdot U_{6\text{I}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 0 \cdot 115 = \infty$$

К-2, К-3

$$z_{92} = z_{93} = z_{\text{л1}} = 0,0578 + j0,082 = /0,10032/$$

$$I_{\text{к2}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{92} \cdot U_{6\text{I}} = 100000 / \sqrt{3} \cdot 0,10032 \cdot 115 = 5004,42 \text{ A}$$

К-4

$$z_{94} = z_{92} + z_{\text{Т1}} = 0,0578 + j0,082 + 0,111 + j1,663 = 0,1688 + j1,745 = /1,792/$$

$$I_{\text{к4}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{94} \cdot U_{6\text{II}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 1,792 \cdot 11 = 2928,92 \text{ A}$$

К-5

$$z_{95} = z_{92} + z_{\text{Т2}} = 0,0578 + j0,082 + 0,044 + j1,049 = 0,1018 + j1,131 = /1,135/$$

$$I_{\text{к5}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{93} \cdot U_{6\text{III}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 1,135 \cdot 6,3 = 8074,2 \text{ A}$$

К-6

$$z_{96} = z_{94} + z_{\text{л4}} = 0,1688 + j1,745 + 0,219 + j0,039 = 0,3878 + j1,784 = /1,825/$$

$$I_{\text{к6}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{96} \cdot U_{6\text{II}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 1,825 \cdot 11 = 2875,96 \text{ A}$$

К-7

$$z_{97} = z_{95} + z_{\text{л3}} = 0,1018 + j1,131 + 11,16 + j2,015 = 11,2618 + j3,146 = /11,693/$$

$$I_{\text{к7}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{97} \cdot U_{6\text{III}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 11,693 \cdot 6,3 = 783,7 \text{ A}$$

К-8

$$z_{98} = z_{97} + z_{\text{Т3}} = 11,2618 + j3,146 + 0,33125 + j13,025 = 11,593 + j16,171 = /19,89/$$

$$I_{\text{к8}} = S_6 / \sqrt{3} \cdot z_{98} \cdot U_{6\text{IV}} = 1 \cdot 10^5 / \sqrt{3} \cdot 19,89 \cdot 0,4 = 7256,79 \text{ A}$$

Составляем таблицу токов к.з. (токи в А)

Точка К.З	Z		Z	I(3)	I(2)	U
	R(Ом)	X(Ом)	Ом	А	А	кВ
2	0,01572	0,033	0,0368	13642,5А	11814,75	110
2'	0,0578	0,082	0,10032	5004,42	4333,82	110
3	0,01572	0,033	0,0368	13642,5А	11814,75	110
3'	0,0578	0,082	0,10032	5004,42	4333,82	110
4	0,12672	1,696	1,7	3087,43	2655,19	11
4'	0,1688	1,745	1,792	2928,92	2518,87	11
5	0,05972	1,0823	1,0839	8454,92	7279,83	6,3
5'	0,1018	1,131	1,135	8074,2	6943,81	6,3
6	0,34572	1,735	1,769	2967	2551,62	11
6'	0,3878	1,784	1,825	2875,96	2473,32	11
7	11,219	3,0973	11,638	787,9	677,594	6.3
7'	11,2618	3,146	11,693	783,7	673,982	6.3
8	11,55	j16,1473	19,85	7271,41	5069,64	0.4
8'	11,593	16,171	19,89	7256,79	6240,84	0.4

Выбор трансформаторов тока.

Выбор ТТ для силовых трансформаторов осуществляется по условию

$$I_{\text{НОМТ1В}} = \frac{S_{T-1}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,63A \quad I_{\text{НОМТ1Н}} = \frac{S_{T-1}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 330,66A$$

$$I_{\text{НОМТ2В}} = \frac{S_{T2}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,2A \quad I_{\text{НОМТ2Н}} = \frac{S_{T2}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 916,43A$$

$$I_{\text{НОМТ3В}} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 38,49A \quad I_{\text{НОМТ3Н}} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 577,35A$$

По шкале номинальных первичных токов ТТ выбираем ближайшие большие значения

$I_{\text{НОМ.ПЕРВ И ВТОР.ТТ}}$

$$\begin{aligned} \text{T-1(В)} \quad 31,63A < 40A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{40}{5} = 8 \\ \text{T-1(Н)} \quad 330,66A < 400A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{400}{5} = 80 \\ \text{T-2(В)} \quad 50A < 75A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{75}{5} = 15 \\ \text{T-2(Н)} \quad 916A < 1000A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{1000}{5} = 200 \\ \text{T-3(В)} \quad 38,49A < 40A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{40}{5} = 8 \\ \text{T-3(Н)} \quad 577A < 600A \quad n_{\text{ТТ}} &= \frac{600}{5} = 120 \end{aligned}$$

Для ЛЭП и КЛ условием выбора является: $I_{н\text{ю.МТТ}} \geq I_{\text{ДЦ}}$

$$I_{\text{ДЦ.Л-1}} = 330 \text{ A} < 400 \text{ A} \quad n_{\text{ТТ}} = \frac{400}{5} = 80$$

$$I_{\text{ДЦ.Л-2}} = 450 \text{ A} < 500 \text{ A} \quad n_{\text{ТТ}} = \frac{500}{5} = 100$$

$$I_{\text{ДЦ.Л-5}} = 165 \text{ A} < 200 \text{ A} \quad n_{\text{ТТ}} = \frac{200}{5} = 40$$

Выбор устройств релейной защиты и расчет их уставок.

Расчет уставок устройств релейной защиты начинаем от конца сети.

Защита ККУ.

1. МТЗ без выдержки времени выполняется на базе реле РТ-40.

$$I_{\text{с.з.}} = K_H I_{\text{раб.макс.}} = 2 * 317,54 = 635,08, \text{ где } K_H = 2; K_B = 0,8.$$

$$I_{\text{н.}} = \frac{Q_H}{\sqrt{3}U_H} = \frac{5500}{\sqrt{3} * 10} = 317,54 \text{ A}$$

$$n_T = \frac{400}{5}, I_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{сз.}}}{n_T} = 1 * \frac{635,08}{80} = 7,9 \text{ A}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ(мин)}}^{(2)}}{I_{\text{с.р.}} * n_T} = \frac{4261,3 * 0,86}{7,9 * 80} = 5,7 > 1,5$$

2. Защита от перегруза. Выполняется на базе реле РТ-40

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_3}{K_B} I_{\text{н.м.}} = \frac{1,05}{0,8} * 317,54 = 416,77 \text{ A}$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{416,77}{80} = 5,2 \text{ A} \quad t_{\text{с.з.}} = 9 \text{ с.}$$

$$\Delta U_{\text{до}} = \frac{PR + QX}{U} = IR + jIX = 165 * 0,219 + j0,039 * 165 = 36,7 \text{ B}$$

$$\Delta U_{\text{по}} = \frac{PR + (Q - Q_{\text{KY}})}{U} = IR + j(I - I_{\text{KY}})X = 36,135 + j(165 - 317,54) * 0,039 = 36,135 \text{ B}$$

$$\Delta U_{\text{до}} - \Delta U_{\text{по}} = 36,7 - 36,135 = 0,565 \text{ B}$$

$$\Delta U\% = \frac{100\%}{10000} * 0,565 = 0,00565\%$$

Защита Л-4.

Для Л-4 напряжением 10 кВ выбираем токовую отсечку и МТЗ (двухступенчатая защита)

Исупень. Неселективная отсечка.

Выполнена на базе реле РТ-40

$$I_{\text{с.з.}} = K_3 * I_{\text{КЗ(макс)}}^{(3)} = 1,2 * 2967 = 3560,4 \text{ A}$$

ТТ соединены в неполную звезду

$$I_{\text{ср}} = K_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_T} = 1 * \frac{3560,4}{40} = 89,01 \text{ A}$$

Длина действия отсечки определяется по формуле:

$$I_{отс} = \frac{100}{Z_{Л}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{I_B}{I_{cp} n_T} - Z_{внеш} \right) = \frac{100}{0,222} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{5248,63}{89,01 * 40} - 1,0839 \right) = 82,83 \bar{A}$$

II-ступень. МТЗ

Выполнена на базе реле РТ-40 и РВ-200.

$$I_{p.макс} = I_{ДД_{Л-4}} = 165$$

$$I_{с.з.} = \frac{K_H K_{сам}}{K_B} I_{p.макс.} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 165 = 371,25 \text{ A}$$

$$I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{371,25}{40} = 9,28 \text{ A}$$

В основной зоне

$$K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{кз(мин)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{2875,96}{9,28 * 40} = 7,74 > 1,5$$

$$t_{с.з.} = t_{предш.} + \Delta t = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ c}$$

Защита Т-1.

Продольная дифференциальная токовая защита.

Определим номинальные токи трансформатора:

$$I_{н.мВН} = \frac{S_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 110} = 33,066 \text{ A}$$

$$I_{н.мНН} = \frac{S_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 364 \text{ A}$$

Силовой трансформатор имеет схему соединения Y / Δ - 11. Поэтому для компенсации углового сдвига токов в цепи дифзащиты трансформаторы тока соединяются на стороне Y трансформатора в Δ , а на стороне Δ в Y .

При выборе коэффициентов трансформации трансформаторов тока для выравнивания величины вторичных токов необходимо на стороне, где трансформаторы тока соединены в Δ учитывать $K_{cx} = \sqrt{3}$.

$$n_{T_{110}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{н.м}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 33,066}{5} = \frac{57,27}{5}$$

Принимаем ближайший стандартный трансформатор тока с $n_{T_{110}} = 75/5$.

На стороне 10,5 кВ:

$$n_{T_{10}} = \frac{364}{5}$$

принимаем $n_{T_{10}} = 400/5$.

Токи в плечах диф.защиты с высокой и низкой стороны определим по формулам:

на стороне 110 кВ:

$$I_{B_1} = K_{cx} \frac{\sqrt{3} \cdot I_{н.рел10}}{n_{T_{110}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 33,066}{15} = 3,8 \text{ A}$$

на стороне 10 кВ:

$$I_{B_2} = K_{cx} \frac{I_{н.рел0}}{n_{T_{10}}} = 1 \cdot \frac{364}{80} = 4,55 \text{ A}$$

Дифференциальная токовая отсечка.

Ток срабатывания выбирается большим из 2-ух условий:

1. Отстройка от броска тока намагничивания

$$I_{c.з.} = K_H I_{НОМ.ТР} = 3 * 33,066 = 99,198 \text{ А}$$

2. Отстройка от максимального тока небаланса:

$$I_{НБ.ТТ} = K_a K_{одн} f_i I_{K(макс)} = 1,5 * 1 * 0,1 * 3087,43 * \frac{10}{110} = 42,1 \text{ А}$$

$$I_{НБ.РЕГ} = \frac{\Delta N\%}{100} I_{K(макс)} = \frac{7,5}{100} * 3087,43 * \frac{10}{110} = 21,05 \text{ А}$$

$$I_{НБ.КОМП} = \frac{|I_{B_1} - I_{B_2}|}{I_{B_1}} I_{K(макс)} = \frac{|3,8 - 4,55|}{3,8} * 3087,43 * \frac{10}{110} = 55,396 \text{ А}$$

По условию отстройки от тока небаланса:

$$I_{НБ} = I_{НБ.ТТ} + I_{НБ.РЕГ} + I_{НБ.КОМП} = 42,1 + 21,05 + 55,396 = 118,546 \text{ А}$$

$$\text{Тогда } I_{c.з.} = K_H I_{НБ} = 1,3 * 118,546 = 154,1098 \text{ А}$$

Принимаем большее значение, т.е.

$$I_{c.з.} = 154,1098 \text{ А}$$

$$K_{ч} = \frac{I_{K(мин)}^{(2)}}{I_{c.з.}} = 1 * \frac{5004,42 * \frac{10}{110}}{154,1098} = 2,95 > 2$$

Максимальная токовая защита (МТЗ).

$$I_{c.з.} = \frac{K_3 K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.}, \text{ где } K_H = 1,2; K_B = 0,8.$$

Тогда

$$I_{c.з.} = \frac{K_3 K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.} = \frac{1,2 * 1,5}{0,8} * 33,066 = 74,4 \text{ А}$$

$$I_{ср} = K_{сх} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = 1 * \frac{74,4}{15} = 4,96 \text{ А}$$

$$K_{ч} = k_{\sum CХ} \frac{I_{K3(мин)}^{(2)}}{I_{c.р.} * n_T} = 1 * \frac{2928,92 * \frac{10}{110}}{15 * 4,96} = 3,57 > 1,5$$

При определении времени действия МТЗ принимаем $\Delta t = 0,5 \text{ с}$, отстраиваемся от наибольшей из выдержек времени $t = 1,7 \text{ с}$, т.е. для Т-1, $t_{c.з.} = t + \Delta t = 1,7 + 0,5 = 2,2 \text{ с}$
Защиту выполняем на реле РТ-40 и РВ-200.

Защита от перегрузки.

$$I_{c.з.} = \frac{K_3}{K_B} I_{ном.} = \frac{1,05}{0,8} * 33,066 = 43,4 \text{ А}$$

$$I_{ср} = \frac{43,4}{15} = 2,89 \text{ А} \quad t_{c.з.} = 9 \text{ с}$$

Защита выполняется на базе токового реле РТ-40 и реле времени РВ-200.

Газовая защита.

В качестве газовой защиты устанавливается РГЧЗ-61.

Защита Л-1 (питание со стороны ПС 2)

Для защиты Л-1 напряжением 110 кВ выберем трёхступенчатую защиту в виде токовой отсечки, токовой отсечки с выдержкой времени и МТЗ.

I ступень. Неселективная токовая отсечка.

Выполнена на реле РТ-40.

$$I_{с.з.} = k_3 \cdot I_{K(макс)} = 1,2 \cdot 13642,5 = 16370,4 \text{ А}$$

Трансформаторы тока соединены в неполную звезду, поэтому $K_{сх} = K_{\Sigma сх} = 1$

$$I_{с.р.} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{16370,4}{80} = 204,63 \text{ А}$$

Длина действия отсечки определяется по формуле:

$$l_{отс} = \frac{100}{Z_{Л}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{I_B}{I_{ср} n_T} - Z_{ВНЕШ} \right) = \frac{100}{0,10032} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{502}{204,63 * 80} - 0 \right) = 26,47$$

II ступень. Отсечка с выдержкой времени.

$$I_{с.з.} = K_3 \cdot I_{кз.за.ТГ-1} = 1,1 \cdot 3087,43 * 10 / 110 = 308,743 \text{ А}$$

$$I_{ср} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{308,743}{80} = 3,85 \text{ А}$$

$$K_{ч} = \frac{I_{кз(мин)}^{(2)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{5004,42}{3,85 * 80} = 16,24 > 1,2$$

$$t_{с.з.} = 0,5 \text{ с}$$

III ступень. МТЗ.

$$I_{р.макс} = I_{T-1} + I_{T-2} = 50 + 32 = 82 \text{ А}$$

$$I_{с.з.} = \frac{K_H K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 82 = 184,5 \text{ А}$$

$$I_{ср} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{184,5}{80} = 2,3 \text{ А}$$

$$\text{В основной зоне защита: } K_{ч} = \frac{I_{кз(мин)}^{(2)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{5004,42}{2,3 * 80} = 27,19 > 1,5$$

$$\text{В резервируемой зоне: } K_{ч} = \frac{I_{кз(мин)}^{(2)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{2928,92 * 10 / 110}{2,3 * 80} = 2,56 > 1,2$$

Принимается реле тока типа РТ-40.

$t_{с.з.} = 2,2 + 0,5 = 2,7$ с. Принимается реле времени типа РВ-200.

Защита Т-3.

Неселективная токовая отсечка.

Выполненная на база реле РТ-40.

$$I_{с.з.} = K_3 \cdot I_{K3(макс)} = 1,3 \cdot 7271,41 \cdot \frac{0,4}{6} = 630,18 \text{ А}$$

$$I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = \sqrt{3} \cdot \frac{630,18}{8} = 136,43 \text{ А}$$

$$K_{ч} = k_{\Sigma CX} \frac{I_{КЗ(мин)}^{(2)}}{I_{c.р.} * n_T} = 2 \frac{783,7 \cdot 0,86}{136,43 * 8} = 1,23 < 2 \quad t_{c.з.} = 0 \text{ с.},$$

где $k_{\Sigma CX}$ - результирующий коэффициент схемы для ТТ, соединённых в “Δ” = 2.

Защита по чувствительности не проходит. Так как силовой трансформатор имеет небольшую мощность, то достаточно будет установить выключатели нагрузки с предохранителями.

Примем к установке выключатель нагрузки ВНПу-10/400-10У3:

$$U_H = 10 \text{ кВ}$$

$$I_H = 400 \text{ А}$$

$$I_{H.ОТКЛ} = 400 \text{ А}$$

$$I_{H.НАИБ.ОТКЛ} = 800 \text{ А}$$

Предохранитель типа ПКТ 103-10-80-20У3:

$$U_H = 10 \text{ кВ}$$

$$I_H = 80 \text{ А}$$

$$I_{H.ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$$

Газовая защита.

В качестве газовой защиты устанавливается РГЧЗ-61.

Защита асинхронного двигателя.

Для защиты двигателя применяется токовая отсечка и защита от перегруза. Определим номинальный ток двигателя.

$$I_{НОМ.ДВ} = \frac{P_{ДВ.}}{\sqrt{3} * U_H \cos \varphi * \eta} = \frac{200}{\sqrt{3} * 6 * 0,77 * 0,925} = 27,02 \text{ А}$$

Тогда коэффициент трансформации трансформатора тока: $n_T = \frac{30}{5} = 6$

МТЗ без выдержки времени

$$I_{ДВ.ПУСК} = I_{НОМ.ДВ} * K_{ПУСК} = 27,02 * 3,6 = 97,272 \text{ А}$$

Защита выполняется на базе реле РТ-80.

$$I_{c.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{ПУСК} = \frac{1,1}{0,6} * 97,272 = 178,332, \text{ где } K_H = 1,1; K_B = 0,6.$$

$$I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = \sqrt{3} * \frac{178,68}{6} = 51,48 \text{ А}$$

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ(мин)}^{(2)}}{I_{c.р.} * n_T} = \sqrt{3} \frac{678,68}{51,48 * 6} = 3,805 > 1,5$$

Защита от перегруза.

Защита от перегруза выполняется на базе реле РТ-40 и РВ-200.

$$I_{c.з.} = \frac{K_H}{k_B} I_{НОМ.ДВ} = 1 * \frac{1,05}{0,8} * 27,02 = 35,463$$

$$I_{cp} = \frac{I_{c.з.}}{n_T} = \frac{35,463}{6} = 5,91 \text{ А} \quad t_{c.з.} = 9 \text{ с}$$

Защита Л-3.

Для Л-3 напряжением 6 кВ выбираем токовую отсечку и МТЗ(двухступенчатая защита)

I ступень. Неселективная отсечка.

$$I_{с.з.} = K_3 \cdot I^{(3)}_{КЗ(макс)} = 1,3 \cdot 787,9 = 1024,27 \text{ А}$$

ТТ соединены в неполную звезду

$$I_{ср} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{1024,27}{40} = 25,606 \text{ А}$$

Длина действия отсечки определяется по формуле:

$$l_{отс} = \frac{100}{Z_{Л}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{I_B}{I_{ср} n_T} - Z_{внеш} \right) = \frac{100}{11,34} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{916,42}{25,606 * 40} - 1,18 \right) < 0$$

II ступень. МТЗ.

Выполнена на базе реле РТ-40 и РВ-200.

$$I_{р.макс} = I_{ДЦ_{Л-3}} = 165 \text{ А}$$

$$I_{с.з.} = \frac{K_H K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 165 = 371,25 \text{ А}$$

$$I_{ср} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{371,25}{40} = 9,28 \text{ А}$$

В основной зоне

$$K_q = \frac{I^{(2)}_{КЗ(мин)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{0,87 * 8074,2}{9,28 * 40} = 18,9 > 1,5$$

В резервируемой зоне:

$$K_q = \frac{I^{(2)}_{КЗ(мин)}}{I_{с.р.} * n_T} = \frac{0,87 * 783,7}{9,28 * 40} = 1,83 > 1,2$$

$$t_{с.з.} = t_{предц} + \Delta t = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ с}$$

Защита Т-2.

Продольная дифференциальная токовая защита.

Определим номинальные токи трансформатора:

$$I_{нормВН} = \frac{S_{ТР}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,48 \text{ А} \quad I_{нормНН} = \frac{S_{ТР}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 962,25 \text{ А}$$

Силовой трансформатор имеет схему соединения $Y / Y - 6$. Поэтому для компенсации углового сдвига токов в цепи дифзащиты трансформаторы тока соединяются на стороне Y трансформатора в Y , а на стороне Y в Y .

При выборе коэффициентов трансформации трансформаторов тока для выравнивания величины вторичных токов необходимо на стороне, где трансформаторы тока соединены в Y учитывать $K_{сх} = 1$. Тогда на стороне с напряжением 110 кВ надо принять:

$$n_{T110} = \frac{I_{норм}}{5} = \frac{52,48}{5}$$

Принимаем ближайший стандартный трансформатор тока с $n_{T37} = 75/5$.

На стороне 6 кВ:

$$n_{T_6} = \frac{962,25}{5}$$

принимаем $n_{T_6} = 1000/5$.

Токи в плечах дифзащиты с высокой и низкой стороны определим по формулам:

на стороне 110 кВ:

$$I_{B_1} = K_{cx} \frac{I_{перв10}}{n_{T_{110}}} = \frac{52,48}{15} = 3,5 \text{ А}$$

на стороне 6 кВ:

$$I_{B_2} = K_{cx} \frac{I_{перв6}}{n_{T_6}} = 1 \cdot \frac{962,25}{200} = 4,81 \text{ А}$$

Дифференциальная токовая отсечка.

Ток срабатывания выбирается большим из 2-ух условий:

1. Отстройка от броска тока намагничивания

$$I_{с.з.} = K_H I_{НОМ.ТТ} = 3 * 52,48 = 157,44 \text{ А}$$

2. Отстройка от максимального тока небаланса:

$$I_{НБ.ТТ} = K_a K_{одн} f_i I_{K(макс)} = 1,5 * 1 * 0,1 * 8464,92 * \frac{6}{110} = 69,25 \text{ А}$$

$$I_{НБ.РЕГ} = \frac{\Delta N\%}{100} I_{K(макс)} = \frac{7,5}{100} * 8464,92 * \frac{6}{110} = 34,62 \text{ А}$$

$$I_{НБ.КОМП} = \frac{|I_{B_1} - I_{B_2}|}{I_{B_1}} I_{K(макс)} = \frac{|3,5 - 4,81|}{3,5} * 8464,92 * \frac{6}{110} = 172,81 \text{ А}$$

По условию отстройки от тока небаланса:

$$I_{НБ} = I_{НБ.ТТ} + I_{НБ.РЕГ} + I_{НБ.КОМП} = 69,25 + 34,62 + 172,81 = 276,68 \text{ А}$$

$$\text{Тогда } I_{с.з.} = K_H I_{НБ} = 1,3 * 276,68 = 359,684 \text{ А}$$

Принимаем большее значение, т.е.

$$I_{с.з.} = 359,683 \text{ А}$$

$$K_{\psi} = \frac{I_{K(мин)}^{(2)}}{I_{с.з.}} = 1 * \frac{5004,42 * \frac{6}{110}}{359,683} = 0,75 < 2$$

Так как защита по чувствительности не проходит, принимается реле ДЗТ-11 с одной тормозной обмоткой, которую присоединяем к ТТ 6 кВ. В этом случае при внешних К.З., например на шинах 10кВ, селективность(несрабатывание) защиты обеспечивается торможением реле током К.З., а при К.З. в зоне защиты торможение отсутствует.

Дифференциальную защиту с торможением отстраивают от броска намагничивания при включении трансформатора под напряжением.

$$I_{с.з.} = K_H I_{НОМ.ТТ} = 1,5 * 52,48 = 78,72 \text{ А}$$

Вычисляем вторичные циркулирующие токи при номинальной нагрузке трансформатора на стороне 110 кВ:

$$I_{B_1} = K_{cx} \frac{I_{перв10}}{n_{T_{110}}} = 1 \cdot \frac{52,48}{15} = 3,5 \text{ А}$$

на стороне 6 кВ:

$$I_{B_2} = K_{cx} \frac{I_{перв6}}{n_{T_6}} = 1 \cdot \frac{962,25}{200} = 4,81 \text{ А}$$

$$\text{Сторону } 110\text{кВ принимаем за основную, тогда } I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 * \frac{78,72}{15} = 5,248 \text{ А}$$

Обе уравнивательные обмотки в реле ДЗТ-11 используем в качестве рабочих, а рабочую (дифференциальную) отключаем.

ТТ 110 кВ присоединяем к второй уравнильной обмотке, а ТТ 6 кВ присоединяем к тормозной и первой уравнильной обмотке.

Расчётное число витков основной стороны определяем по:

$$W_{ОСН.РАСЧ} = \frac{F_{cp}}{I_{cp}} = \frac{100}{5.248} = 19.05 \text{ вит.}$$

Принимаем $W_{ОСН.} = 19 \text{ вит.}$

Вычисляем число витков второй уравнильной обмотки, присоединённой к ТТ 6 кВ неосновной стороны:

$$W_{НЕОСН.РАСЧ} = \frac{W_{ОСН} * I_{B_1}}{I_{B_2}} = \frac{19 * 3.5}{4.81} = 13.82 \text{ вит.}$$

Принимаем

$$W_{НЕОСН} = 14 \text{ вит}$$

Вычислим относительную погрешность от неточного выравнивания м.д.с в реле

$$\Delta f_{ВЫР.} = (W_{НЕОСН.РАСЧ} - W_{НЕОСН}) / W_{НЕОСН.РАСЧ} = (13.82 - 14) / 13.82 = 0.013$$

Вычисляем максимальный расчётный первичный ток небаланса, приведённый к стороне 6 кВ:

$$I_{НБ.РАСЧ} = (K_a K_{одн} f_i + \frac{\Delta N\%}{100} + \Delta f_{ВЫР.}) I_{K(макс)} = (1 * 1 * 0.1 + 0.075 + 0.013) * 8464.92 = 1591.4 \text{ А}$$

$$I_{ТОРМ.10} = I_{K(макс)} = 8464.92 \text{ А}$$

Подставляем численные выражения в:

$$W_{ТОРМ.} \geq (k_H I_{НБ.РАСЧ} W_{НЕОСН.РАСЧ}) / (I_{ТОРМ} \text{tg} \alpha) = 1.5 * 1591.4 * 13.82 / 8464.92 * 0.87 = 4.47$$

Для большей надёжности примем $W_{ТОРМ.} = 5 \text{ вит.}$

Учитывая, что в принятой схеме присоединения тормозной обмотки к ТТ 6 кВ при К.З. в зоне защиты торможение реле отсутствует, вычисляем минимальный коэффициент чувствительности при 2-х фазном кз на стороне 6 кВ.

$$K_{\chi} = \frac{1.5 I_{K(мин)}^{(2)} W_{ОСН}}{n_{Т110} F_{C.P}} = \frac{1.5 * 8074.2 * \frac{6}{110} * 19}{15 * 100} = 8.36 > 2$$

Максимальная токовая защита (МТЗ).

$$I_{с.з.} = \frac{K_3 K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.}, \text{ где } K_H = 1.2; K_B = 0.8.$$

Тогда

$$I_{с.з.} = \frac{K_3 K_{сам}}{K_B} I_{р.макс.} = \frac{1.2 * 1.5}{0.8} * 52.48 = 118.08 \text{ А}$$

$$I_{cp} = K_{сх} \frac{I_{с.з.}}{n_T} = 1 * \frac{118.08}{15} = 7.87 \text{ А}$$

$$K_{\chi} = k_{\Sigma C\chi} \frac{I_{K3(мин)}^{(2)}}{I_{с.р.} * n_T} = 1 * \frac{8074.2 * \frac{6}{110}}{15 * 7.87} = 3.7 > 1.5$$

При определении времени действия МТЗ принимаем $\Delta t = 0.5 \text{ с}$, отстраиваемся от наибольшей из выдержек времени $t = 0.7 \text{ с}$, т.е. для Т-2, $t_{с.з.} = t + \Delta t = 0.7 + 0.5 = 1.2 \text{ с}$

Защиту выполняем на реле РТ-40 и РВ-200.

Защита от перегрузки.

$$I_{c.з.} = \frac{K_3}{K_B} I_{ном.} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 52,48 = 68,88 \text{ А}$$

$$I_{cp} = \frac{68,88}{15} = 4,592 \text{ А} \quad t_{c.з.} = 9 \text{ с}$$

Защита выполняется на базе токового реле РТ-40 и реле времени РВ-200.

Газовая защита.

В качестве газовой защиты устанавливается РГЧЗ-61.

Защита Л-2

Для защиты Л-2 напряжением 110 кВ выберем трёхступенчатую защиту в виде токовой отсечки, токовой отсечки с выдержкой времени и МТЗ.

I ступень. Неселективная токовая отсечка.

Выполнена на реле РТ-40

$$I_{c.з.} = k_3 \cdot I_{K(макс)} = 1,2 \cdot 13642,5 = 16370,4 \text{ А}$$

Трансформаторы тока соединены в неполную звезду, поэтому $K_{cx} = K_{\Sigma cx} = 1$

$$I_{c.p.} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{16370,4}{100} = 163,7 \text{ А}$$

Длина действия отсечки определяется по формуле:

$$l_{отс} = \frac{100}{Z_{Л}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{I_B}{I_{cp} n_T} - Z_{внеш} \right) = \frac{100}{0,03682} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{502}{163,7 * 100} - 0 \right) = 72,12$$

II ступень. Отсечка с выдержкой времени.

$$I_{c.з.} = K_3 \cdot I_{кз. TP-2} = 1,1 \cdot 8454,92 \cdot 6 / 110 = 507,29 \text{ А}$$

$$I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{507,29}{100} = 5,07 \text{ А}$$

$$K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{кз(мин)}}{I_{c.p.} * n_T} = \frac{5004,42}{5,07 * 100} = 9,8 \quad t_{c.з.} = 0,5 \text{ с}$$

III ступень. МТЗ.

Выполнена на базе реле РТ-40 и РВ-200.

$$I_{p.макс} = I_{T-1} + I_{T-2} = 50 + 32 = 82 \text{ А}$$

$$I_{c.з.} = \frac{K_H K_{сам}}{K_B} I_{p.макс.} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 82 = 184,5 \text{ А} \quad I_{cp} = K_{cx} \frac{I_{c.з.}}{n_T} = 1 \cdot \frac{184,5}{100} = 1,84 \text{ А}$$

$$\text{В основной зоне} \quad K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{кз(мин)}}{I_{c.p.} * n_T} = \frac{5004,42}{1,84 * 100} = 27,19 > 1,5$$

$$\text{В резервируемой зоне:} \quad K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{кз(мин)}}{I_{c.p.} * n_T} = \frac{8074,2 \cdot 6 / 110}{1,84 * 100} = 2,39 > 1,2$$

Принимается реле тока типа РТ-40.

$t_{c.з.} = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ с}$. Принимается реле времени типа РВ-200.

Устройства автоматики.

Устройства автоматического повторного включения (АПВ).

В соответствии с ПУЭ в данной системе устройством АПВ должны оборудоваться:

ЛЭП: Л-3, Л-4.

Трансформаторы: Т-1, Т-2, Т-3.

Выбор уставок:

$$t_{АПВ,Т1,Т2} = 0,8''$$

$$t_{АПВ,Л-3,Л-4} = 1,3''$$

$$t_{АПВ,Т3} = 1,8''$$

Устройство автоматического ввода резерва(АВР).

$$U_{СЗ.МИН} = 0,4 * U_{НОМ} = 0,4 * 110 = 44кВ$$

$$t_{АВР} > t_{С.З} + \Delta t = 2,2 + 0,6 = 2,8''$$

$$t_{АВР} = 2,9''$$

Список используемой литературы

1. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков Электрическая часть электростанций и подстанций М. 1989г

2. Релейная защита Н.В. Чернобровов М. 1998г.

3. В.А. Андреев Релейная защита и автоматика систем электроснабжения М. 1991г.

4. Ю.М. Журавлёв Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Релейная защита и автоматика СЭС» Т. 1989г.

5. А.М. Авербух Релейная защита в задачах с решениями и примерами Ленинград 1975г.