

Общество ограниченной ответственности
Научно-производственное предприятие
«Э К Р А»

УДК 621.316

УТВЕРЖДЕНО

Технический директор

А.М. Наумов

2014 г.



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ УСТАВОК
РЕЗЕРВНЫХ ЗАЩИТ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ
НАПРЯЖЕНИЕМ 220-500 КВ НА БАЗЕ ШКАФОВ
СЕРИЙ ШЭ2607, ШЭ2710

Чебоксары 2014

Общие положения.

Внедрение микропроцессорных устройств РЗА, которые отличаются бóльшим техническим совершенством и бóльшими возможностями по сравнению с традиционными устройствами, требует несколько иного подхода к расчету параметров настройки защит.

В данной работе будут предложены рекомендации по выбору параметров срабатывания (настройки) резервных защит понижающих автотрансформаторов (АТ) с высшим напряжением 220-500 кВ, выполненных на базе микропроцессорных устройств ООО НПП «ЭКРА».

Микропроцессорные шкафы типа ШЭ2607 071(072), ШЭ2710 572, в состав которых входит комплект резервных защит АТ, устанавливаются на стороне высокого (ВН) и среднего (СН) напряжения АТ. Каждый комплект включает в себя следующие защиты: пять ступеней дистанционной защиты (ДЗ) от междуфазных замыканий, токовую отсечку (ТО), максимальную токовую защиту (МТЗ) и шесть ступеней токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТЗНП).

При выполнении расчетов резервных защит АТ принимаются следующие допущения.

1. Расчет токов короткого замыкания (КЗ) для выборов параметров срабатывания и проверки чувствительности защит должен производиться с учетом изменения сопротивлений автотрансформатора при регулировании напряжения под нагрузкой (РПН). При этом минимальное и максимальное значение сопротивлений автотрансформатора и соответствующие им коэффициенты трансформации должны приниматься с учетом реально используемых положений переключателя устройства РПН.

2. Все расчеты токов КЗ выполняются для начального момента времени, при этом учитывается только периодическая составляющая тока.

3. Расчет параметров срабатывания защит следует вести в первичных величинах и при одном и том же напряжении, а именно, напряжении той стороны АТ, на которой установлена рассматриваемая защита.

4. Приведенные ниже рекомендации даны как для непосредственного использования результатов расчета токов КЗ, выполненных с помощью программ ПК «БРИЗ» г. Новосибирск «ТКЗ-3000», «АРМ СРЗА», так и для работы с модулем «Релейная защита» программы «АРМ СРЗА», где расчеты токов КЗ и условия выбора параметров защит объединены в соответствующих шаблонах заданий на расчет.

РАЗДЕЛ 1.

Дистанционная защита, установленная на стороне ВН (СН) автотрансформатора.

Дистанционная защита от многофазных КЗ для АТ напряжением 220/110 кВ, 500/220 кВ или 500/110 кВ содержит:

- Пять направленных реле сопротивления (РС), включенных на разности фазных токов $(I_A - I_B)$, $(I_B - I_C)$, $(I_C - I_A)$ и соответствующие междуфазные напряжения \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} .

– Ненаправленное РС дополнительной ступени.

– Блокировку при качаниях (БК).

– Блокировку при неисправностях в цепях переменного напряжения (БНН).

Характеристики срабатывания РС ступеней ДЗ имеют форму четырехугольников и являются направленными: I и II ступеней – в сторону защищаемого АТ; III, IV и V ступеней – в сторону шин напряжения своей стороны.

Выбор первичных уставок срабатывания ДЗ базируется на методике, изложенной в действующих Руководящих указаниях [1], соответствующей литературе и концепции разработчика защит [8].

Расчет дистанционной защиты, в общем случае, сводится к определению:

- а) сопротивлений и характеристик срабатывания РС, выдержек времени и чувствительности отдельных ступеней защиты;
- б) параметров срабатывания и чувствительности устройства БК;
- в) определения логики работы.

1.1 Рекомендации по расчету первичных уставок I и II ступеней ДЗ.

Назначение I и II ступеней ДЗ – осуществлять функцию ближнего резервирования основных защит АТ и резервирования шин смежного напряжения АТ, этим объясняется их направленность в сторону защищаемого АТ.

Согласно РУ [1] при направленности ступеней защиты в сторону шин смежного напряжения СН (ВН), ее токовые цепи должны подключаться к трансформаторам тока (ТТ) на стороне ВН (СН) АТ так, чтобы последний входил в зону действия ступеней. Из-за такого включения ток в рассматриваемой ступени при КЗ за АТ будет зависеть от положения РПН, что необходимо учитывать при выборе параметров срабатывания ступеней. Иногда это может приводить к снижению чувствительности защиты.

Цепи напряжения ДЗ подключаются к той же стороне АТ, что и ТТ. Такое включение является целесообразным и соответствует РУ [1].

1.1.1. Первичное сопротивление срабатывания **I ступени ДЗ**, установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается по условиям:

а) отстройки от шин СН (ВН) АТ соответственно по выражению:

$$Z_{сз I}^{ВН(СН)} \leq \frac{Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}}{1 + \beta + \delta} = 0.87 (Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}); \quad (1.1)$$

(Здесь и в дальнейшем все входящие в выражения сопротивления должны быть приведены к одной и той же ступени напряжения);

б) отстройки от шин низшего напряжения (НН) АТ по выражению:

$$\begin{aligned} Z_{сз I}^{ВН(СН)} &\leq \left\{ \frac{Z_{АТ ВН(СН)}}{1 + \beta + \delta} + \frac{Z_{АТ НН}}{(1 + \beta + \delta) K_{ТОК1}} \right\} d = \\ &= 0.87 \left(Z_{АТ ВН(СН)} + \frac{Z_{АТ НН}}{K_{ТОК1}} \right); \end{aligned} \quad (1.2)$$

где $Z_{АТ ВН}$, $Z_{АТ СН}$ и $Z_{АТ НН}$ - минимально возможное (с учетом регулирования) сопротивление обмоток соответственно высшего, среднего и низшего напряжений защищаемого АТ;

$K_{ТОК1}$ - коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в месте установки защиты к току в рассматриваемом участке для случаев металлических коротких замыканий в расчетном режиме работы сети и защищаемого АТ. Причем расчетным будет считаться такой реально возможный режим, которому соответствует наибольший коэффициент токораспределения, например, отключение смежной стороны СН (ВН) АТ;

β - погрешность трансформаторов напряжения (ТН) с учетом падения напряжения в их цепях и цепях релейной аппаратуры в сторону увеличения защищаемой зоны, принимается равной **0.05**;

δ - погрешность, вызванная неточностью расчета первичных электрических величин, и необходимый запас, принимается равной **0.1**;

$$d = \frac{\sin \varphi_{\text{замера защиты}}}{\sin \varphi_{\text{м.ч.}}} - \text{коэффициент, учитывающий отличие угла за-}$$

мера сопротивления $Z_{\text{замера}}$ в месте установки защиты от угла максимальной чувствительности реле сопротивления $\varphi_{\text{м.ч.}}$ вследствие расхождения углов ЭДС питающих систем и различия углов сопротивления рассматриваемых элементов сети, в данном случае АТ.

В ряде случаев, когда указанные расхождения углов невелики (в первую очередь на напряжении 110-220 кВ), в расчетных выражениях значение d мо-

жет быть принято равным **1.0** со ссылкой на Указания института «Энергосетьпроект» [9].

Сопротивлением срабатывания I ступени ДЗ считается наименьшее значение из сопротивлений, рассчитанных по выражениям (1.1) и (1.2). Как правило, оно соответствует условию (1.1).

1.1.2. Первичное сопротивление срабатывания **II ступени ДЗ**, установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается по следующим условиям:

а) согласования с наиболее чувствительными ступенями ДЗ линий, отходящих от шин смежного напряжения СН (ВН) АТ по выражению:

$$Z_{сз II}^{ВН(СН)} \leq \left\{ \frac{Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}}{1 + \beta + \delta} + \frac{1 - \alpha}{1 + \beta + \delta} \times \frac{Z_{сз Л}^{СН(ВН)}}{K_{ТОК2}} \right\} d =$$

$$= 0.87(Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}) + 0.78 \frac{Z_{сз Л}^{СН(ВН)}}{K_{ТОК2}}; \quad (1.3)$$

б) отстройки от шин смежного напряжения автотрансформатора другой ступени трансформации этой же подстанции по выражению:

$$Z_{сз II}^{ВН(СН)} \leq \left\{ \frac{Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}}{1 + \beta + \delta} + \frac{1}{1 + \beta + \delta} \times \frac{Z_T}{K_{ТОК3}} \right\} d =$$

$$= 0.87(Z_{АТ ВН} + Z_{АТ СН}) + 0.87 \frac{Z_T}{K_{ТОК3}}; \quad (1.4)$$

в) согласования с максимальной токовой защитой (МТЗ) НН защищаемого АТ по выражению:

$$Z_{сз II}^{ВН(СН)} \leq 0.87 \left(\frac{U_{с мин м/ф}}{2 \times 1.1 \times I_{с.з.МТЗ} \times K_{ТОК4}} - Z_{с мин} \right); \quad (1.5)$$

где: Z_T – минимально возможное (с учетом регулирования) сопротивление обмоток автотрансформатора другой ступени напряжения;

$Z_{сз Л}^{СН(ВН)}$ - первичное сопротивление срабатывания наиболее чувствительной ступени ДЗ линии смежного напряжения СН (ВН) АТ;

$K_{ТОК2}$, $K_{ТОК3}$, $K_{ТОК4}$ – коэффициенты токораспределения, равные отношению первичного тока в месте установки защиты к току в рассматриваемом участке для случаев металлических коротких замыканий в расчетном режиме работы сети, подстанции и защищаемого АТ. Причем расчетным будет считаться такой реально возможный режим, которому соответствует наибольший коэффициент токораспределения;

α – погрешность трансформаторов тока и релейной аппаратуры в сторону уменьшения защищаемой зоны, принимается равной **0.1**;

$U_{с\ мин\ м/ф}$ - минимальное значение междуфазного напряжения НН АТ;

$I_{с.з.МТЗ}$ - ток срабатывания МТЗ НН защищаемого АТ;

$Z_{с\ мин}$ – максимально возможное первичное сопротивление системы до места установки ДЗ АТ (соответствует минимальному режиму работы сети).

Если МТЗ НН имеет пуск по напряжению, то согласование ДЗ АТ должно выполняться отдельно с токовым органом и органом напряжения МТЗ НН. Подробно это условие согласования описано в РУ [3] и Шабаром М.А. [4].

Сопротивлением срабатывания **II ступени ДЗ** считается наименьшее значение из сопротивлений, полученных по расчетным условиям (1.3) ÷ (1.5), которое, в свою очередь, требуется проверить по условию отстройки от нагрузки.

г) в качестве дополнительной меры по повышению селективности - отстройка от коротких замыканий на шинах объекта, отделённого от шин СН (ВН) рассматриваемой ПС двумя параллельными линиями (Руководящие указания, вып.7)

$$Z_{сз\ II}^{ВН(СН)} \leq 0.87(Z_{АТ\ ВН} + Z_{АТ\ СН}) + 0.43 \frac{Z_{л}}{K_{ток}}$$

II ступень ДЗ должна быть отстроена от вектора сопротивления нагрузки в месте установки защиты в расчетных нагрузочных режимах.

При этом рассматриваются режимы, обеспечивающие большие углы нагрузки $\varphi_{нагр}$ при малых значениях сопротивления нагрузки $Z_{нагр\ расч}$. Условие отстройки от нагрузки ДЗ АТ выполняется, если выполняется условие:

$$Z_{сз\ II}^{ВН(СН)} \leq \frac{Z_{нагр\ расч} \times e^{j\varphi_{нагр}}}{K_{отс} \times K_{в}} ; \quad (1.6)$$

где: $K_{отс}$ - коэффициент отстройки, который учитывает погрешности реле, измерительных трансформаторов тока и напряжения, параметров нагрузочного режима, принятого в качестве расчетного, и необходимый запас, принимается равным **1.15-1.2**;

$K_{в}$ – коэффициент возврата РС, принимается равным **1.05**;

$e^{j\varphi_{нагр}}$ - фаза вектора нагрузки;

$Z_{нагр\ расч}$ – модуль вектора сопротивления нагрузки, значение которого может быть определен по выражению:

$$Z_{нагр\ расч} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3} \times I_{раб\ макс}} ; \quad (1.7)$$

где U_{\min} - минимальное значение первичного напряжения в месте установки защиты в расчетном нагрузочном режиме;

$I_{\text{раб макс}}$ - максимальное значение первичного рабочего тока через АТ в расчетном нагрузочном режиме.

Фаза вектора нагрузки определяется фазой тока, а именно: $\varphi_{\text{нагр}} = \arctan \frac{Q}{P}$,

где: P и Q - значения величин активной и реактивной мощности в нагрузочном режиме соответственно.

В общем случае, необходимые для расчета уставок РЗ параметры нагрузочного режима, - это либо перетоки мощности $P + jQ$, либо $I_{\text{нагр}}$ и соответствующий угол $\varphi_{\text{нагр}}$. Эту информацию, на практике, можно запрашивать в службе электрических режимов энергосистемы.

Отстройку ступеней ДЗ от вектора нагрузки рекомендуется выполнять графически, пользуясь уже построенной характеристикой РС.

Для отстройки от нагрузочного режима разработчиком защит предусмотрен вырез части характеристики РС в области вектора нагрузки.

Но нельзя забывать, что одновременно это может ограничить рабочую область срабатывания РС. Поэтому в некоторых случаях при выборе характеристики срабатывания РС требуются определенные компромиссные решения.

1.2 Рекомендации по расчету первичных уставок III, IV и V ступени ДЗ.

III, IV и V ступени ДЗ предназначены для обеспечения дальнего резервирования в сети высшего (среднего) напряжения АТ, а так же согласования защит смежных линий (присоединений) с защитами АТ.

Направленность ступеней – в сеть своей стороны АТ. Подключение токовых цепей и цепей напряжения ДЗ к той стороне ВН (СН) АТ, куда направлена защита, обеспечивает её максимальную чувствительность во внешней сети.

1.2.1. Первичное сопротивление срабатывания **III ступени ДЗ**, установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается по условиям:

а) согласования с первыми ступенями ДЗ линий, отходящих от шин своей стороны ВН (СН) АТ по выражению:

$$Z_{\text{сз III}}^{\text{ВН(СН)}} \leq \frac{1-\alpha}{1+\beta+\delta} \times \frac{Z_{\text{сз I ст Л}}^{\text{ВН(СН)}}}{K_{\text{ток5}}} d = 0.78 \frac{Z_{\text{сз I ст Л}}^{\text{ВН(СН)}}}{K_{\text{ток5}}}; \quad (1.8)$$

б) отстройки от шин смежного напряжения автотрансформатора другой ступени трансформации этой же подстанции по выражению:

$$Z_{сз III}^{ВН(СН)} \leq \frac{1}{1+\beta+\delta} \times \frac{Z_T}{K_{ток6}} d = 0.87 \frac{Z_T}{K_{ток6}}; \quad (1.9)$$

в) согласования с первыми ступенями защит линий, выполненных с помощью токовой отсечки (ТО), по выражению:

$$Z_{сз III}^{ВН(СН)} \leq \frac{1}{1+\beta+\delta} \times \frac{Z_{расч}}{K_{ток7}} d = 0.87 \frac{Z_{расч}}{K_{ток7}}; \quad (1.10)$$

где: $Z_{сз I ст Л}^{ВН(СН)}$ – первичное сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ линий, отходящих от шин своего напряжения ВН (СН) АТ;

Z_T – минимально возможное (с учетом регулирования) сопротивление обмоток автотрансформатора другой ступени напряжения;

$K_{ток5}$, $K_{ток6}$, $K_{ток7}$ – коэффициенты токораспределения, равные отношению первичного тока в месте установки защиты к току в рассматриваемом участке для случаев металлических коротких замыканий в расчетном режиме работы сети, подстанции и защищаемого АТ.

Причем расчетным будет считаться такой реально возможный режим, которому соответствует наибольший коэффициент токораспределения;

Z_T – минимально возможное (с учетом регулирования) сопротивление обмоток автотрансформатора другой ступени напряжения;

$Z_{расч}$ – сопротивление зоны, надежно (с коэффициентом надежности $K_H = 1.1$) охватываемой ТО, с которой производится согласование в расчетных условиях при металлическом КЗ.

Согласование ДЗ с токовой отсечкой предыдущих линий подробно рассматривается в РУ [3], кроме того, данное согласование может быть выполнено и по условию (1.5), рассмотренному выше. Выполняется при отсутствии на линии ДЗ.

г) в качестве дополнительной меры по повышению селективности – отстройка от коротких замыканий на шинах объекта Б, отделённого от шин ВН (СН) рассматриваемой ПС А двумя параллельными линиями

$$Z_{сз II}^{ВН(СН)} \leq 0.43 \frac{Z_L}{K_{ток}}$$

Сопротивлением срабатывания III ступени ДЗ считается наименьшее значение из сопротивлений, полученных по расчетным условиям (1.8) ÷ (1.10).

1.2.2. Первичное сопротивление срабатывания **IV ступени ДЗ**, установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается по условиям:

а) согласования со II ступенями ДЗ линий, отходящих от шин своей стороны ВН (СН) АТ – выполняется по выражению (1.8);

б) отстройки от шин смежного напряжения автотрансформатора другой степени трансформации этой же подстанции выполняется по выражению (1.9);

в) отстройки от вектора сопротивления нагрузки в месте установки защиты в расчетных нагрузочных режимах выполняется по выражениям (1.6), (1.7) и в соответствии с рекомендациями (1.1.2);

г) согласования с токовыми защитами от многофазных КЗ отходящих линий, при отсутствии на них ДЗ по выражениям (1.5) и (1.10), хотя, как показывает практика, это условие не является определяющим.

Сопротивлением срабатывания IV степени ДЗ считается наименьшее значение из сопротивлений, полученных по расчетным условиям а) ÷ г).

1.2.3. Первичное сопротивление срабатывания V степени ДЗ, установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается, исходя из следующих условий:

а) согласования со III степенями ДЗ линий, отходящих от шин своей стороны ВН (СН) АТ – выполняется по выражению (1.8);

б) отстройки от шин смежного напряжения автотрансформатора другой степени трансформации этой же подстанции выполняется по выражению (1.9);

в) отстройки от вектора сопротивления нагрузки в месте установки защиты в расчетных нагрузочных режимах выполняется по выражениям (1.6), (1.7) и в соответствии с рекомендациями (1.1.2);

г) согласования с токовыми защитами от многофазных КЗ отходящих линий, при отсутствии на них ДЗ по выражениям (1.5) и (1.10).

Если определяющим для выбора уставки V степени ДЗ оказалось условие б), но защита при этом не удовлетворяет требованиям чувствительности, то выполняется согласование с ДЗ автотрансформатора другой степени напряжения этой же подстанции по выражению:

$$Z_{сз V}^{ВН(СН)} \leq \left\{ \frac{1}{1+\beta+\delta} \times \frac{Z_T}{K_{ТОК8}} + \frac{1-\alpha}{1+\beta+\delta} \times \frac{Z_{сз T}^{ДЗ}}{K_{ТОК9}} \right\} d =$$

$$= 0.87 \frac{Z_T}{K_{ТОК8}} + 0.78 \frac{Z_{сз T}^{ДЗ}}{K_{ТОК9}}; \quad (1.11)$$

где $Z_{с.з.Т}^{ДЗ}$ – первичное сопротивление срабатывания ДЗ, направленной в сеть СН (ВН) автотрансформатора другой ступени напряжения;

Z_T – то же, что и в (1.9);

$K_{ток8}$, $K_{ток9}$ – коэффициенты токораспределения, равные отношению первичного тока в месте установки защиты к току в рассматриваемом участке для случаев металлических коротких замыканий в расчетном режиме работы сети, подстанции и защищаемого АТ. Причем расчетным будет считаться такой реально возможный режим, которому соответствует наибольший коэффициент токораспределения;

Сопротивлением срабатывания V ступени ДЗ будет считаться наименьшее значение из сопротивлений, полученных по расчетным условиям а) ÷ г) и выражению (1.11).

1.3 Определение чувствительности РС дистанционной защиты.

Пригодность выбранных сопротивлений срабатывания ДЗ рассматриваемого АТ определяется по чувствительности каждой ступени в защищаемой зоне. Согласно ПУЭ [11] чувствительность РС в конце зоны резервирования должна быть не менее 1.2. Сотрудники НИИ «Энергосетьпроект» внесли уточнение этого коэффициента для РС с многоугольными характеристиками. Для таких характеристик рекомендуется увеличение чувствительности до 1.3.

Наиболее точно чувствительность ДЗ можно оценить графически по характеристикам срабатывания, что будет рассмотрено позднее в подразделе 1.5.

При оценке чувствительности важно правильно выбрать расчетный режим работы сети, подстанции и рассматриваемого АТ.

Расчетным режимом для определения чувствительности следует считать такой режим, при котором ток, протекающий через защиту минимальный, но с учетом реальных условий эксплуатации. Так, если на подстанции есть параллельно работающие АТ, то чувствительность проверяется в режиме, когда все АТ находятся в рабочем состоянии, конечно, если этот режим имеет практическое применение.

Важно также учесть регулирование защищаемого АТ таким образом, чтобы его сопротивление имело максимально возможное значение, но в тоже время, соответствовало действительности.

Рекомендуется проверять чувствительность защиты также и в режимах опробования АТ с подачей напряжения со стороны обмоток высшего и среднего напряжений.

1.3.1. **I ступень** ДЗ ВН (СН) АТ защищает только некоторую часть обмоток АТ, что следует из расчетных условий выбора $Z_{сз I}^{ВН(СН)}$.

1.3.2. Чувствительность **II ступени** ДЗ ВН (СН) АТ, учитывая ее основное назначение – обеспечивать ближнее резервирование основных защит АТ, в первую очередь, проверяется при двухфазном металлическом КЗ на стороне низшего напряжения АТ. Но здесь нужно учитывать, что при несимметричных (двухфазных) К.З. на стороне НН АТ, замеры реле сопротивлений, включенных на междуфазные величины токов и напряжений, искажаются за счет углового сдвига векторов токов и напряжений прямой и обратной последовательностей при переходе через обмотку, соединенную в «треугольник». Это приводит к снижению чувствительности защиты. Но, учитывая мобильность характеристик срабатывания РС, уставки можно скорректировать, работая с графическим изображением.

Следует также отметить, что выбрать $Z_{сз II}^{ВН(СН)}$ чувствительной к КЗ на стороне НН АТ и одновременно обеспечить селективность в прилегающей сети, задача, не всегда легко выполняемая. Особенно, когда речь идет о II ступени ДЗ, установленной на ВН АТ. Это связано, в первую очередь, с собственными параметрами АТ ($Z_{В-Н}$ значительно превышает $Z_{С-Н}$), а во-вторых, с наличием мощной электрической сети. В некоторых случаях, как показывает практика, для того, чтобы зарезервировать обмотку НН АТ даже в режиме одностороннего питания (выключатель стороны СН-отключен), приходится идти на отступления от селективности при согласованиях в прилегающей сети, конечно, если это не приводит к тяжелым последствиям в энергосистеме.

Для обеспечения чувствительности и исключения неселективности практикуется также согласование ступени не с I, а со II ст. ДЗ линии, отходящей от шин СН (ВН) рассматриваемой подстанции. Увеличение выдержки времени компенсируется вводом оперативного ускорения при выводе из работы соответствующих ДЗТ или ДЗШ. Указанное может применяться также при согласовании II ступени ДЗ ВЛ на стороне СН (ВН) с рассматриваемой I ступенью ДЗ ВН (СН) АТ в целях обеспечения требуемой чувствительности II ступени ДЗ ВЛ.

Возможность и целесообразность каждого отступления от селективного действия защит, заранее предусмотренного, должна подтверждаться специальным решением, утвержденным техническим руководителем предприятия.

Чувствительность **II ступени** ДЗ ВН (СН) может быть также проверена при каскадном отключении в конце зоны резервирования в прилегающей сети смежного напряжения СН (ВН).

1.3.3. Чувствительность **III, IV, V ступеней** ДЗ ВН (СН) АТ должна проверяться при междуфазных КЗ в прилегающей сети своего напряжения – в зоне дальнего резервирования.

Чувствительность **III** ступени ДЗ ВН (СН) проверяется при двухфазном КЗ вблизи шин своего напряжения ВН (СН) через переходное сопротивление дуги. Методика определения сопротивления дуги подробно описана в действующих руководящих указаниях [2], [3], [5], а также в современной литературе по цифровым защитам, в частности в [6].

Чувствительность **IV** и **V** ступеней ДЗ ВН (СН) проверяется при каскадном отключении междуфазного КЗ в конце зоны резервирования у шин противоположных подстанций (станций) для случаев металлического КЗ и КЗ через переходное сопротивление дуги.

Определение чувствительности рекомендуется **выполнять графически** после построения **характеристик срабатывания РС** ступеней защит ДЗ.

1.4 Характеристики срабатывания РС ДЗ АТ и определяющие их факторы.

Характеристика срабатывания РС каждой ступени ДЗ АТ изначально – ненаправленная, имеет форму параллелограмма с определенными координатами по оси X и R на комплексной плоскости, и некоторым углом наклона к оси R . Далее, с учетом общих требований, предъявляемых к характеристикам срабатывания, РС приобретают вид, представленный на рисунке 1.

Факторы, которые определяют форму характеристик ступеней РС подробнее можно рассмотреть на примере I и II ступеней ДЗ АТ, обратившись к рисунку 1.

А) Ограничение характеристик сверху определяется сопротивлениями срабатывания ступеней $Z_{сз I}^{ВН(СН)}$ и $Z_{сз II}^{ВН(СН)}$, полученными из расчетных условий (1.1) ÷ (1.7), а также углами наклона φ_1 и φ_3 .

Б) Ограничение справа выбирается с целью охвата дуговых повреждений $R_{дуги}$ на расстоянии $R_{с.з}$ (активной составляющей сопротивления срабатывания ступени ДЗ) от начала координат. Сопротивление дуги нелинейно, и с приближением места КЗ к источнику питания значение $R_{дуги}$ падает. Поэтому правая сторона характеристики имеет наклон к оси R (угол φ_1), учитывающий меньшие возможные значения $R_{дуги}$ при близких дуговых замыканиях.

Для II ступени ДЗ АТ значение $R_{с.з}$ определяется, дополнительно к первому условию, ещё и необходимостью обеспечить чувствительность при повреждениях на стороне НН с учетом углового сдвига вектора замера при переходе через силовой «треугольник». Условие отстройки от вектора нагрузки также может влиять на $R_{с.з.}$, если вырез характеристики РС применять нецелесообразно.

Значение угла φ_1 определяется, исходя из собственных параметров АТ (I ступень ДЗ), или параметров прилегающей сети (II ступень ДЗ).

В) Ограничение области действия слева определяется возможными погрешностями РС в статических и динамических режимах, а также требованием необходимого быстродействия. Существенное расширение области слева (угол φ_3) согласно [6] нежелательно, из-за возрастающей подверженности РС влиянию качаний и излишних срабатываний в переходных режимах внешних КЗ.

Г) Нижняя сторона характеристики находится в IV квадранте комплексной плоскости и выбирается таким образом, чтобы обеспечить надёжное срабатывание при близких повреждениях через переходное сопротивление, когда сопротивление замера РС располагается вблизи активной оси (угол φ_2).

Д) На конфигурацию характеристики РС ДЗ оказывает влияние и отстройка от нагрузочных режимов с помощью выреза области вектора нагрузки.

1.4.1. Рекомендуемые значения углов наклона характеристики срабатывания.

φ_1 . Для I ступени ДЗ значение угла φ_1 , учитывая, что индуктивное сопротивление АТ значительно превышает активное, можно принять равным $80^\circ \div 90^\circ$.

Для II ступени ДЗ значение угла φ_1 определяется одновременно и параметрами АТ, и параметрами сети смежного напряжения. Поэтому угол φ_1 может принимать значения $75^\circ \div 90^\circ$ для напряжения 110÷500 кВ соответственно.

Значение угла φ_1 для III, IV и V ступеней ДЗ определяется только параметрами сети напряжения своей стороны и принимается равным $65^\circ \div 85^\circ$ для напряжения 110÷500 кВ соответственно.

φ_2 . Значение угла φ_2 определяется повреждениями через переходное сопротивление дуги вблизи установки защиты и принимается одинаковым для всех ступеней защиты. Рекомендуемое значение - минус $10^\circ \div 15^\circ$.

φ_3 . Оптимальное значение угла φ_3 , как показывает практика, 115° - 125° для всех ступеней защиты.

Отсчет углов φ_1 , φ_2 и φ_3 производится от оси R в сторону положительного направления вращения векторов, т.е. против часовой стрелки.

1.4.2. Координаты характеристики срабатывания.

Определив первичную уставку срабатывания ступеней ДЗ $Z_{сз I \div V}^{BH(CH)}$ по условиям (1.11) ÷ (1.11) при чисто металлических КЗ, далее следует определить координаты характеристики срабатывания по $X_{сз I \div V}^{BH(CH)}$ и $R_{сз I \div V}^{BH(CH)}$ с учетом возможного переходного сопротивления в месте КЗ:

$$X_{сз I \div V}^{BH(CH)} = Z_{сз I \div V}^{BH(CH)} \cdot \sin \varphi_1 - \text{проекция вектора } Z \text{ на ось } jx,$$

$R_{сз II \div V}^{BH(CH)} = (Z_{сз II \div V}^{BH(CH)} \cdot \cos \varphi_1 + R_{дуги} \cdot K_p)$ – проекция вектора \dot{Z} на ось R плюс значение сопротивления дуги с учетом коэффициента K_p ;

где: $R_{дуги}$ – переходное сопротивление дуги в месте КЗ,

K_p – отношение суммарного тока в месте КЗ (через $R_{дуги}$) к току в месте установки защиты.

Коэффициент K_p – величина, в общем случае, комплексная, и значение его определяется соотношением между сопротивлениями питающих систем, модулями и фазами эквивалентных ЭДС, а также местом КЗ. Вследствие этого векторы замеров РС защиты могут располагаться в различных квадрантах комплексной плоскости \dot{Z} , что также может служить обоснованием характеристик РС ДЗ.

Расчеты режимов КЗ с учетом переходного сопротивления дуги актуальны для построения характеристик РС II ÷ V ступеней ДЗ АТ, поскольку их защищаемая зона охватывает прилегающую сеть. Что же касается I ступени ДЗ, то её зона ограничивается пределами АТ и защищает лишь небольшую часть обмоток. Поведение электрической дуги при внутренних повреждениях в силовых трансформаторах проанализировано в [7]. В результате сделан вывод, что влияние дуги в обмотках на величину и форму тока КЗ следует учитывать только для трансформаторов малой мощности.

Поэтому активную составляющую первой ступени ДЗ можно определить, как проекцию вектора полного сопротивления на ось R, равную $Z_{сз I}^{BH(CH)} \cdot \cos \varphi_1$, плюс некоторый запас.

Как показывает практика, значение сопротивления срабатывания по R, принимаемое равным $R_{сз I}^{BH(CH)} = 0.5 \cdot Z_{сз I}^{BH(CH)}$, является оптимальным, и для единообразия может приниматься для все остальных ступеней ДЗ, конечно, если это не противоречит другим условиям, рассмотренным выше.

Для удобства дальнейших рассуждений можно ввести следующие обозначения: $X_{сз I \div V}^{BH(CH)} = X_{уст\ перв}$ и $R_{сз I \div V}^{BH(CH)} = R_{уст\ перв}$.

Срабатывание РС каждой ступени защиты возможно только после выполнения условий срабатывания ненаправленного РС (как базового) согласно уравнениям:

$$|X_{зам}| < |X_{уст}| \quad \text{и} \quad |R_{зам} - X_{зам} \cdot \text{ctg } \varphi_1| < |R_{уст}|, \quad (1.12)$$

где: $X_{зам}$ – индуктивная составляющая замеряемого защитой сопротивления при КЗ в защищаемой зоне [Ом];

$R_{зам}$ – активная составляющая замеряемого защитой сопротивления при КЗ в защищаемой зоне [Ом];

φ_1 – угол наклона характеристики;

$X_{уст}$ и $R_{уст}$ соответствуют первичным уставкам $X_{уст\ перв}$ и $R_{уст\ перв}$.

1.5 Определение чувствительности РС ДЗ по характеристикам срабатывания.

Наиболее точно чувствительность ДЗ можно определить по графическим характеристикам срабатывания РС. Рекомендуется следующий порядок:

1) Выполняется построение характеристики РС на комплексной плоскости по координатам $X_{уст\ перв}$, $R_{уст\ перв}$ и углам наклона $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

2) На характеристику срабатывания наносятся вектора замеров дистанционной защитой при КЗ в защищаемой зоне (для случаев металлического КЗ и, при необходимости, КЗ через переходное сопротивление дуги) -

$$\dot{Z}_{зам} = Z_{зам} \cdot e^{j\varphi_{зам}},$$

где $Z_{зам}$ - модуль вектора замера полного сопротивления,

$\varphi_{зам}$ - угол вектора замера.

3) Опускается перпендикуляр из конца вектора замера $\dot{Z}_{зам}$ на ближайшую сторону характеристики, и определяется чувствительность по Z , как:

$$K_{чZ} = \frac{Z_{зам} + d}{Z_{зам}}, \quad (1.13)$$

где d - наикратчайшее расстояние от конца вектора $\dot{Z}_{зам}$ до характеристики.

4) Перпендикуляр, опущенный из конца вектора $\dot{Z}_{зам}$ на ось jX , определяет

$$X_{зам}. \quad \text{Отсюда:} \quad K_{чX} = \frac{X_{уст\ перв}}{X_{зам}} = \frac{X_{уст\ перв}}{Z_{зам} \cdot \sin \varphi_{зам}}, \quad (1.14)$$

5) Чувствительность по R в соответствии с уравнением срабатывания РС (1.12), определяется по выражению:

$$K_{чR} = \frac{|R_{уст\ перв}|}{|R_{зам} - X_{зам} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_1|}, \quad (1.15)$$

где: $R_{зам} = Z_{зам} \cdot \cos \varphi_{зам}$ - проекция вектора $Z_{зам} \cdot e^{j\varphi_{зам}}$ на ось R .

1.6 Определение чувствительности ДЗ по току точной работы.

Для правильной работы ДЗ, обеспечения ею селективности и чувствительности необходимо, чтобы ток в ней был не менее минимального тока точ-

ной работы, т.е. должна быть проверена чувствительность каждой ступени ДЗ по току точной работы при КЗ между тремя фазами в расчетной точке:

$$K_{ч\ tr} = \frac{I_{к\ мин}^{(3)}}{I_{тр} \times K_{тт}}, \quad (1.16)$$

где: $I_{тр}$ - минимальный ток точной работы ДЗ (принимается в соответствии с [8] не более $0.1 \cdot I_{ном}$),

$K_{тт}$ – коэффициент трансформации ТТ, к которым подключаются цепи ДЗ,

$I_{к\ мин}^{(3)}$ – первичный ток в месте установки защиты при КЗ между тремя фазами в расчетной точке в расчетном режиме. Расчетным считается такой режим работы сети, подстанции и рассматриваемого АТ, в котором через защиту протекает минимально возможный ток.

Чувствительность каждой ступени проверяется в конце защищаемой ею зоны при металлическом КЗ и с учетом переходного сопротивления дуги.

В соответствии с [11] минимальное значение $K_{ч\ tr} = 1.3$ при КЗ в основной зоне срабатывания (здесь - это зона ближнего резервирования), $K_{ч\ tr} = 1.1$ при КЗ в зоне дальнего резервирования.

1.7 Расчет вторичных уставок срабатывания РС ступеней ДЗ.

$$X_{уст\ I \div V}^{ВН(СН)} = \frac{X_{сз\ I \div V}^{ВН(СН)} \cdot K_{тт}}{K_{тн}}, \quad R_{уст\ I \div V}^{ВН(СН)} = \frac{R_{сз\ I \div V}^{ВН(СН)} \cdot K_{тт}}{K_{тн}},$$

где: $K_{тт}$, $K_{тн}$ – коэффициенты трансформации ТТ и ТН, к которым подключены цепи защиты.

1.8 Выбор времени срабатывания ступеней ДЗ ВН (СН) АТ.

Время срабатывания быстродействующей **I ступени ДЗ** должно быть согласовано с временем действия основной дифференциальной защиты АТ.

Согласно руководствам по эксплуатации [10] время срабатывания цифровой дифференциальной защиты (ДЗТ) АТ составляет не более 0.03 секунды.

Принимая степень селективности (Δt) при согласовании микропроцессорных защит $0.15 \div 0.2$ с, время срабатывания **I ступени ДЗ** составляет:

$$t_{с.з.}^I = 0.2 \div 0.3 \text{ с.}$$

I ступень ДЗ действует на отключение АТ со всех сторон с запретом АПВ и запуском УРОВ.

Первая выдержка времени **II ступени ДЗ** выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания защит всех присоединений, с которыми производится согласование по току или сопротивлению (рассмотрено выше):

$$t_{1с.з.}^{II} = t_{с.з.макс} + \Delta t, \quad (1.17)$$

где Δt – ступень селективности, основываясь на рекомендациях [4], принимается равной:

0.15÷0.2 с – при согласовании с микропроцессорными защитами;

0.3÷0.5 с – при согласовании с защитами, выполненными на микроэлектронной или электромеханической базе.

Согласно рекомендациям РУ [1] и ПУЭ [11] дистанционная защита, как резервная защита АТ, для обеспечения селективности, повышения эффективности и чувствительности дальнего резервирования, должна действовать:

с первой выдержкой времени на деление шин (отключение ШСВ или СВ) того напряжения, в сторону которого она направлена;

со второй выдержкой времени – на отключение выключателя той стороны АТ, куда направлена рассматриваемая ступень защиты, с выдержкой времени, на ступень селективности большей, чем на деление шин;

с третьей выдержкой времени - на отключение АТ со всех сторон с выдержкой времени, на ступень селективности большей, чем на отключение выключателя одной из сторон АТ.

Учитывая вышесказанное, **II ступень ДЗ АТ ВН (СН)** должна действовать с тремя выдержками времени, а именно:

$t_{1с.з.}^{II}$ - действует на отключение ШСВ (СВ) стороны смежного напряжения СН (ВН) АТ и выбирается в соответствии с выражением (1.17);

$t_{2с.з.}^{II} = t_{1с.з.}^{II} + \Delta t$ - действует на отключение выключателя смежной стороны СН (ВН) АТ;

$t_{3с.з.}^{II} = t_{2с.з.}^{II} + \Delta t$ – действует на отключение АТ со всех сторон.

Разработчиком для **II ступени ДЗ** предусматривается «логическое ускорение» при повреждениях в АТ.

Цепь ускорения **II ступени ДЗ** рассчитываемой стороны АТ вводится при срабатывании РС **II ступени ДЗ** смежной стороны или отключенном выключателе смежной стороны АТ, а также при отсутствии сигнала срабатывания РС **III ступени ДЗ**.

В результате **II ступень ДЗ** действует на отключение АТ со всех сторон с временем срабатывания, соответствующим времени действия **I ступени ДЗ**

(DT20), согласно функциональной схеме логической части ДЗ терминала БЭ2704 [8].

Каждая из ступеней, предназначенных для дальнего резервирования, т.е. **III, IV и V ступени ДЗ**, направлены в сеть своей стороны АТ и действуют со своей выдержкой последовательно на:

- деление систем шин (секций шин) напряжения своей стороны;
- отключение выключателя своей стороны АТ с выдержкой времени, на ступень селективности Δt большей, чем на деление шин;
- отключение АТ со всех сторон с выдержкой времени на ступень селективности Δt большей, чем на отключение выключателя своей стороны.

Рекомендуемое значение ступени селективности Δt соответствует (1.17)

Первая выдержка времени **III ступени ДЗ** выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания I ступеней ДЗ линий прилегающей сети ВН (СН) АТ:

$$t_{1с.з.}^{III} = t_{с.з.}^{I Л} + t_{УРОВ} + \Delta t, \quad (1.18)$$

где: $t_{УРОВ}$ – выдержка времени УРОВ линий, рекомендуется принимать:
 $t_{УРОВ} = 0.4 \div 0.5$ с – для защит, выполненных на электромеханике и микроэлектронике (для ВЛ 500 кВ $t_{УРОВ} = 0.25$ с);
 $t_{УРОВ} = 0.2 \div 0.3$ с – для микропроцессорных защит;
 Δt – принимается в соответствии с (1.17).

Первая выдержка времени **IV и V ступеней ДЗ** выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания II и III ступеней защит линий и всех остальных присоединений прилегающей сети ВН (СН) АТ, с которыми производится согласование по сопротивлению или току:

$$t_{1с.з.}^{IV,V} = t_{с.з.}^{II,III Л} + \Delta t, \quad (1.19)$$

Δt – принимается в соответствии с (1.17).

1.9 Расчет устройства блокировки при качаниях ДЗ ВН (СН) АТ.

Пусковой орган устройства блокировки при качаниях (**БК**) выполнен с использованием принципа реагирования на скорость изменения во времени векторов токов прямой и обратной последовательности.

Уставка по приращению тока обратной последовательности (**DI₂**) обеспечивает работу защиты при несимметричных КЗ.

Для повышения чувствительности к симметричным, а также к некоторым видам несимметричных КЗ, которые сопровождаются незначительным изменением тока обратной последовательности, предусмотрен дополнительный канал, реагирующий на приращение тока прямой последовательности (DI_1).

Пусковой орган устройства БК имеет два органа - **чувствительный и грубый**.

Грубый орган предусмотрен для обеспечения повторного пуска ДЗ, если на момент возникновения КЗ в зоне защита уже выведена после срабатывания чувствительного органа при коммутациях нагрузки, либо при внешних КЗ.

Чувствительный орган БК по принципу действия отстроен от небаланса по току обратной последовательности при номинальном токе, а также от качаний в нормальном режиме.

Поэтому расчет устройства БК сводится к проверке его чувствительности при уставке, выбранной из возможного диапазона. Диапазоны уставок грубого и чувствительного органов приведены в [8], причем уставки грубого органа должны превышать уставки чувствительного в 2-3 раза.

Учитывая высокую чувствительность DI_2 , в целях снижения числа ложных пусков БК следует избегать выбора минимальных уставок диапазона.

Проверка чувствительности устройства БК (чувствительного и грубого органов) выполняется по выражениям:

$$K_{ч I2} = \frac{I_{2к мин}}{I_{2уст} \times K_{тт}} \quad \text{и} \quad K_{ч I1} = \frac{I_{1к мин}}{I_{1уст} \times K_{тт}}, \quad (1.20)$$

где: $I_{2к мин}$ и $I_{1к мин}$ – минимальные токи прямой и обратной последовательности в месте установки защиты при КЗ в расчетной точке и расчетном режиме для случаев металлического КЗ и через переходное сопротивление дуги;

$I_{2уст}$, $I_{1уст}$ - принятые уставки пускового органа БК по приращению DI_2 и DI_1 ; $K_{тт}$ – коэффициент трансформации ТТ.

Чувствительность грубого органа целесообразно проверять в основной зоне (зоне ближнего резервирования), нормируемая чувствительность согласно ПУЭ [11] – $K_{ч} \geq 1.5$. Для чувствительного органа расчетные точки КЗ находятся в зоне дальнего резервирования, нормируемая чувствительность по [11] – $K_{ч} \geq 1.2$.

Рекомендуемые уставки устройства БК, разрешающие действие ДЗ, принимаются на основании опыта эксплуатации блокировок типа КРБ-126.

Время ввода быстродействующих (I и III) ступеней от чувствительного и грубого органа устройства БК - **0.4 с**.

Время ввода медленнодействующих (II, IV, V) ступеней от устройства БК, оно же является и временем вывода быстродействующих ступеней – **8.0÷9.0с**.

1.10. Рекомендации по заданию логики работы ДЗ.

1.10.1 рекомендуется предусматривать «подхват» III ступени ДЗ от дополнительной ненаправленной IV ступени, т.к. это решает сразу две задачи: во-первых, удлиняет время действия защиты «по памяти» при симметричных КЗ вблизи места установки защиты. Во-вторых, дает возможность предотвратить преждевременный возврат быстродействующей ступени при КЗ через переходное сопротивление дуги.

1.10.2 контроль действия III ступени ДЗ должен выполняться от сигнала БКб, разрешающего ввод в работу быстродействующих ступеней, если в данной сети возможны качания. Если качаний нет, то можно разрешить работу III ступени ДЗ в течение времени ввода медленнодействующих ступеней – от сигнала БКм.

1.10.3 ускоренный возврат устройства БК в режиме АПВ (при отключении выключателей) может быть предусмотрен, если нет опасности срабатывания быстродействующих ступеней защиты от развившихся качаний.

1.10.4 при исчезновении всех фазных напряжений или срабатывании блокировки неисправности цепей напряжения (БНН), ступени ДЗ, направленные в АТ, могут быть заблокированы. Для этого необходимо в логике предусмотреть «Вывод I и II ступеней ДЗ при неисправностях в цепях напряжения». Если ДЗ на стороне СН, лучше выводить все ступени ДЗ во избежание возможности ложной работы от нагрузки.

1.10.5 логика предусматривает возможность работы ДЗ с ускорениями. Вопрос о необходимости использования ускорений – оперативного (ОУ), или автоматического (АУ), решается индивидуально после выбора параметров срабатывания ДЗ.

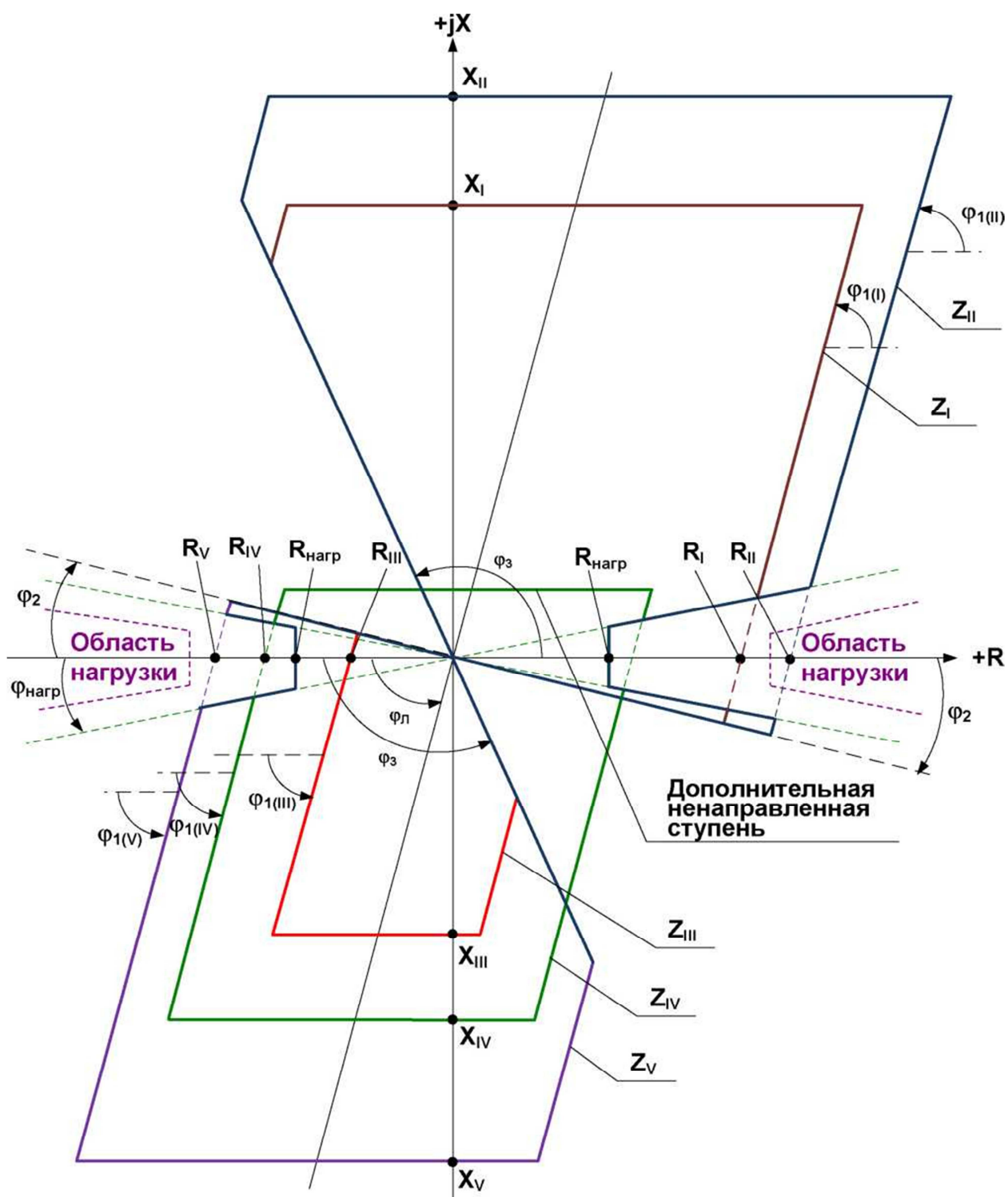


рисунок 1.

РАЗДЕЛ 2.

Междуфазная токовая отсечка, установленная на стороне ВН (СН) автотрансформатора.

Междуфазная токовая отсечка (МФТО) применяется в целях ближнего резервирования основных защит АТ, и подобно I ступени ДЗ, защищает только часть обмоток АТ. Тем не менее, её использование может быть полезным, учитывая быстрдействие, простоту и надежность.

МФТО состоит из трёх реле максимального тока (РТ), которые **включаются на разность фазных токов** I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} . Междуфазное включение РТ МФТО позволяет не отстраивать защиту от токов нулевой последовательности при внешних замыканиях на землю.

2.1. Первичный ток срабатывания междуфазной токовой отсечки (МФТО), установленной на стороне ВН (СН) АТ, выбирается, исходя из следующих условий:

- а) отстройки от шин смежного напряжения СН (ВН) АТ соответственно,
 - б) отстройки от шин напряжения своей стороны ВН (СН) АТ, т.е. «за спиной»,
 - в) отстройки от шин низшего напряжения (НН) АТ
- выполняется по выражению:

$$I_{сз МФТО}^{ВН(СН)} \geq K_H \times I_{к м/ф}^{(3)} ; \quad (2.1)$$

- г) отстройки от уравнильных токов при качаниях в энергосистеме по выражению

$$I_{сз МФТО}^{ВН(СН)} \geq \sqrt{3} \times K_H \times I_{кач макс} ; \quad (2.2)$$

- д) отстройки от броска тока намагничивания (БТН) при включении под напряжение ненагруженного АТ по выражению

$$I_{сз МФТО}^{ВН(СН)} \geq \sqrt{3} \times K_{БТН} \times I_{ном АТ} ; \quad (2.3)$$

где: K_H – коэффициент надежности, принимаемый равным **1.2**;

$I_{к м/ф}^{(3)}$ – максимальное значение междуфазного первичного тока в месте установки защиты при 3-х фазном КЗ в расчетной точке в расчетном режиме.

Расчетным считается такой режим, который обеспечивает наибольший реально возможный ток через рассматриваемую защиту;

$I_{кач макс}$ – максимальный уравнильный ток через АТ в режиме качаний, запрашивается в службе электрических режимов энергосистемы;

$I_{\text{ном АТ}}$ – паспортное значение номинального тока соответствующей стороны АТ;

$\sqrt{3}$ – коэффициент, учитывающий включение защиты на разность фазных токов;

$K_{\text{БТН}}$ – коэффициент надежности, значение которого зависит от времени срабатывания токовой отсечки.

В соответствии с [4] для МФТО с временем срабатывания ≥ 0.1 с. $K_{\text{БТН}} = 3 \div 4$.

Наибольшее значение тока, полученного из рассмотренных выше условий, определяет первичную уставку срабатывания МФТО – $I_{\text{с.з.МФТО}}$.

2.2 Вторичная уставка МФТО определяется как:
$$I_{\text{с.р.МФТО}} = \frac{I_{\text{с.з.МФТО}}}{K_{\text{ТТ}}}$$

2.3 Выбор времени срабатывания МФТО.

Выдержка времени срабатывания токовой отсечки по согласованию с временем действия основной дифференциальной защиты АТ подобно I ступени ДЗ принимается равной $t_{\text{с.з.}}^{\text{МФТО}} = 0.2 \div 0.3$ с и действует на отключение АТ со всех сторон с запретом АПВ и пуском УРОВ.

Время $0.2 \div 0.3$ с отстроено от времени переходных процессов КЗ.

2.4 Чувствительность МФТО.

Чувствительность токовой отсечки АТ проверяется при междуфазном КЗ в месте установки защиты, то есть на вводах ВН (СН) АТ соответственно, в расчетном режиме. Расчетный режим в данном случае – это реально возможный режим работы сети, подстанции и АТ, который обеспечивает минимальный ток через защиту.

Если в расчетном режиме не удастся обеспечить чувствительность МФТО, то следует перейти к расчету коэффициента чувствительности защиты в нормальном режиме.

$$K_{\text{ч МФТО}}^{(2)} = K_{\text{ч МФТО}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{к фазн}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.МФТО}}} \geq 1.2, \quad (2.4)$$

где: $K_{\text{ч МФТО}}^{(2)}$, $K_{\text{ч МФТО}}^{(3)}$ – коэффициенты чувствительности токовой отсечки при двухфазном и трехфазном КЗ в месте установки защиты соответственно;

$\sqrt{3} I_{\text{к фазн}}^{(3)}$ – первичное значение междуфазного первичного тока в месте установки защиты при 2-х или 3-х фазном КЗ в расчетной точке в расчетном режиме.

РАЗДЕЛ 3.

Максимальная токовая защита, установленная на стороне ВН (СН) автотрансформатора.

Максимальная токовая защита (МТЗ) АТ, содержит при реле максимального тока, которые включены на фазные токи и комбинированный пусковой орган напряжения.

Назначение МТЗ АТ в соответствии с концепцией разработчика защит [8], резервирование работы основных защит АТ и действия на отключение при внешних многофазных КЗ. Но, как показывает практика, применение МТЗ для целей дальнего резервирования менее эффективно, чем, для той же цели - дистанционных защит АТ.

С другой стороны, в случае неисправности в цепях напряжения и блокировки по этой причине I и II ступеней ДЗ, направленных в сторону АТ, МТЗ (при неиспользовании пуска по напряжению), как простейшая ненаправленная токовая защита, может служить в качестве резервной как для основных, так и для направленных резервных защит АТ.

В связи с этим предлагается приоритет отдать функции МТЗ резервировать защиты АТ, и в связи с этим, стремиться, при выборе уставок, выполнить ее без пуска по напряжению и с одной выдержкой времени - на отключение АТ со всех сторон.

3.1 Первичный ток срабатывания максимальной токовой защиты, установленной на стороне ВН (СН) АТ, определяется, исходя из следующих условий:

а) отстройки от максимального рабочего тока нагрузки в месте установки защиты с учетом самозапуска двигательной нагрузки по выражению

$$I_{сз МТЗ}^{ВН(СН)} \geq \frac{K_{Н1} \times K_{зап}}{K_{в}} I_{раб макс}, \quad (3.1)$$

где: $K_{Н1}$ – коэффициент надежности срабатывания защиты, равный **1.2**;

$K_{зап}$ - коэффициент, учитывающий увеличение тока в условиях самозапуска заторможенных двигателей нагрузки (определяется расчетом);

$K_{в}$ - коэффициент возврата, для реле максимального тока на основании [8], принимается равным **0.9**;

$I_{раб макс}$ - первичное значение максимального рабочего тока в месте установки защиты.

б) согласования с максимальной токовой защитой на стороне НН (МТЗ НН) АТ по выражению:

$$I_{сз\text{ МТЗ}}^{\text{ВН(СН)}} \geq K_{\text{Н2}} \times K_{\text{ТОК } 10} \times I_{сз}^{\text{МТЗ НН}}, \quad (3.2)$$

где: $K_{\text{Н2}}$ – коэффициент надежности согласования, принимается равным **1.1**;
 $K_{\text{ТОК } 10}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в защите, с которой производится согласование, при 3-х фазном КЗ в расчетной точке и расчетном режиме;
 $I_{сз}^{\text{МТЗ НН}}$ – первичный ток срабатывания МТЗ НН АТ.

в) согласования с максимальной токовой защитой тех присоединений (в прилегающей сети ВН и СН АТ), которые не имеют ДЗ от междуфазных КЗ по выражению (3.2).

г) согласования с наиболее чувствительными ступенями ДЗ от междуфазных КЗ, присоединений (линий, АТ другой ступени напряжения), отходящих от шин своего и от шин смежного напряжений АТ, по выражению:

$$I_{сз\text{ МТЗ}}^{\text{ВН(СН)}} \geq \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН(СН)}}}{\sqrt{3} \left(\frac{Z_{\Sigma 3}}{K_{\text{ТОК}}} + \frac{Z_{сз\text{ прис}}}{K_{\text{ТОК } 11}} + Z_{\text{В-С}}^{\text{АТ}} \right)}, \quad (3.3)$$

где: $U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН(СН)}}$ – номинальное линейное напряжение в месте установки МТЗ;
 $Z_{\Sigma 3}$ – результирующее сопротивление до места установки рассматриваемой защиты при КЗ на присоединении, с которым производится согласование;
 $Z_{сз\text{ прис}}$ – первичное сопротивление срабатывания ДЗ присоединения, с которым производится согласование;
 $Z_{\text{В-С}}^{\text{АТ}}$ – суммарное сопротивление обмоток высшего и среднего напряжения защищаемого АТ; $Z_{\text{В-С}}^{\text{АТ}} = 0$ – при согласовании с защитами присоединений, отходящих от шин напряжения своей стороны АТ;
 $K_{\text{ТОК } 11}$, $K_{\text{ТОК}}$ – коэффициенты токораспределения, равные отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в присоединении, с защитой которого производится согласование ($K_{\text{ТОК } 11}$), и к току в сопротивлении $Z_{\Sigma 3}$ ($K_{\text{ТОК}}$) в расчетном режиме.

д) согласования с последними наиболее чувствительными ступенями токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП) присоединений прилегающей сети ВН и СН АТ по выражению:

$$I_{сз\text{ МТЗ}}^{\text{ВН(СН)}} \geq K_{\text{Н2}} \times I_{\text{к фазн}}^{(1),(1.1)}, \quad (3.4)$$

где: $I_{\text{к фазн}}^{(1),(1.1)}$ – первичное значение фазного тока в месте установки защиты (МТЗ) при КЗ на землю (одно или двухфазном) в такой точке прилегающей се-

ти, где защита (ТЗНП), с которой производится согласование, находится на грани срабатывания.

При выборе первичной уставки срабатывания МТЗ АТ целесообразно в качестве расчетного режима рассматривать нормальный режим работы АТ и прилегающей сети.

Наибольшее значение, полученное по (3.1)÷(3.4), определяет первичную уставку МТЗ АТ - $I_{с.з.МТЗ}$.

3.2 Вторичная уставка МТЗ определяется как: $I_{с.р.МТЗ} = \frac{I_{с.з.МТЗ}}{K_{ТТ}}$.

3.3 Чувствительность МТЗ проверяется при КЗ между двумя фазами в зоне ближнего резервирования, то есть на стороне ВН, СН и НН АТ по выражению:

$$K_{ч\text{ МТЗ}}^{(2)} = \frac{I_{\text{К}}^{(2)}}{I_{с.з.МТЗ}} = \frac{K_{сх} \cdot I_{\text{К}}^{(3)}}{I_{с.з.МТЗ}}, \quad (3.5)$$

где: $I_{\text{К}}^{(2)}$, $I_{\text{К}}^{(3)}$ – первичное значение тока в месте установки защиты при металлическом 2-х и 3-х фазном КЗ соответственно в расчетной точке в расчетном режиме;

$K_{сх}$ - коэффициент схемы:

$K_{сх} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ - при 2-х фазном КЗ на стороне ВН и СН АТ;

$K_{сх} = 1$ - при 2-х фазном КЗ на стороне НН АТ.

Рекомендуется проверку чувствительности МТЗ при повреждениях в АТ выполнять в нормальном режиме и режимах опробования АТ.

Будет целесообразным также проверить чувствительность защиты в прилегающей сети – зоне дальнего резервирования в нормальном режиме.

Нормируемый коэффициент чувствительности в соответствии с ПУЭ [11] - $K_{ч\text{ МТЗ}} \geq 1.2 \div 1.5$ для зон дальнего и ближнего резервирования соответственно.

Если уставка срабатывания МТЗ АТ $I_{с.з.МТЗ}$ не отвечает требованиям чувствительности, а определяющим расчетным условием оказалась отстройка от максимального тока нагрузки - (3.1), вводится комбинированный пуск по напряжению, и выполняется повторный расчет защиты по условию (3.1) при $K_{зап} = 1.0$.

Методика расчета уставок срабатывания комбинированного пускового органа напряжения является традиционной и изложена в РУ [1].

3.4 Выбор времени срабатывания МТЗ АТ.

Выдержка времени МТЗ выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания защит всех присоединений, с которыми производится согласование по расчетным выражениям (3.2) ÷ (3.5), как

$$t_{с.з.}^{МТЗ} = t_{с.з.макс} + \Delta t, \quad (3.6)$$

где $t_{с.з.макс}$ - наибольшее время срабатывания защит всех присоединений, с которыми производится согласование;

Δt – степень селективности, которая принимается равной:

0.3÷0.5с – при согласовании с защитами, выполненными на микроэлектронной или электромеханической базе.

0.15÷0.2с – при согласовании с микропроцессорными защитами, учитывая рекомендации [4].

МТЗ, как ненаправленная защита, выполняется с одной выдержкой времени и действует на отключение АТ со всех сторон с запретом АПВ и запуском УРОВ.

РАЗДЕЛ 4.

Ступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю, установленная на стороне ВН (СН) АТ.

Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТЗНП) АТ содержит шесть ступеней,- первые две, из которых, предназначены для резервирования основных защит АТ и шин смежного напряжения, а четыре других,- для дальнего резервирования в сети высшего (ВН) или среднего (СН) напряжений АТ, а также согласования защит линий в прилегающей сети соответствующего напряжения с защитами АТ.

Для обеспечения **направленности ступеней ТЗНП** используются два реле направления мощности:

- разрешающее (прямой направленности) - M_0 разр, которое срабатывает при КЗ в АТ или на смежной стороне и
- блокирующее (обратной направленности) - M_0 бл, которое срабатывает при КЗ на шинах своей стороны и в прилегающей сети.

Токовые реле ТЗНП реагируют на ток нулевой последовательности, который рассчитывается по фазным токам, а реле направления мощности – на величины векторов тока и напряжения нулевой последовательности, а также угол сдвига между ними.

Расчет параметров настройки ТЗНП состоит из нескольких этапов:

- а) расчет уставок по току срабатывания всех ступеней;
- б) выбор уставок по току и напряжению срабатывания реле направления мощности нулевой последовательности M_0 разр и M_0 бл;
- в) выбор выдержек времени ступеней;
- г) определения логики работы.

4.1 Расчет первичного тока срабатывания I и II ступеней ТЗНП, на стороне ВН (СН) АТ.

I и II ступени ТЗНП направлены в АТ, а также в сеть смежного напряжения, и служат для ближнего резервирования основных защит АТ и сборных шин (ошиновки) смежного напряжения при выводе ДЗШ (ДЗОШ).

4.1.1 Первичный ток срабатывания **I ступени защиты** выбирается по условиям отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты:

- а) при КЗ на землю (одно- и двухфазном) на стороне смежного напряжения СН (ВН) АТ по выражению:

$$I_{0с.з.}^I \geq K_{отс} \times 3I_{0к}, \quad (4.1)$$

где: $K_{отс}$ - коэффициент отстройки, равный **1.2**;

$3I_{0к}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ.

Расчетным для отстройки по (4.1) является режим работы сети, подстанции и защищаемого АТ (положение регулятора напряжения), при котором ток в месте установки рассматриваемой защиты будет наибольшим.

б) в неполнофазном режиме, возникающем в цикле ОАПВ на смежных линиях, а также в длительном неполнофазном режиме на линиях (если для них предусмотрен такой режим работы) по выражению:

$$I_{0с.з.}^I \geq K_{отс1} \times 3I_{0неп}, \quad (4.2)$$

где: $K_{отс1}$ - коэффициент отстройки, равный **1.3**;

$3I_{0неп}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты в неполнофазном режиме, возникающем в цикле ОАПВ, либо в длительно неполнофазном режиме.

4.1.2 Поскольку I ступень защиты является быстродействующей, выбранный по условиям (4.1) и (4.2) ток срабатывания, согласно указаниям [1] и [9], следует дополнительно проверять по условию отстройки от броска тока намагничивания при включении АТ под напряжение. Методика этого расчета изложена в РУ [13] (Разд. Г, и 1а приложения V).

Причём, данное условие следует учитывать, если время рассчитываемой I ступени защиты меньше разновременности включения фаз выключателя.

4.1.3 Первичный ток срабатывания **II ступени защиты** выбирается, исходя из следующих условий:

а) согласования с быстродействующими ступенями защит от замыканий на землю (ТЗНП и ДЗ от КЗ на землю) линий, отходящих от шин смежного СН (ВН) напряжения АТ по выражениям:

$$I_{0с.з.}^{II} \geq K_{отс2} \times K_{ток1} \times I_{0с.з.л}^I, \quad (4.3)$$

$$I_{0с.з.}^{II} \geq K_{отс2} \times 3I_{0к}, \quad (4.4)$$

где: $K_{отс2}$ - коэффициент отстройки, равный **1.1**;

$K_{\text{ток } 1}$ - коэффициент токораспределения для токов нулевой последовательности, равный отношению тока в месте установки защиты к току в смежной линии, с защитой которой производится согласование;

$I_{0 \text{ с.з.л}}^I$ - ток срабатывания I ступени ТЗНП смежной линии, с защитой которой производится согласование;

$3I_{0\text{к}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты при КЗ в конце зоны действия I ступени ДЗ от КЗ на землю, с которой производится согласование.

Расчетным для согласования по (4.3) и (4.4) является режим работы сети, подстанции и защищаемого АТ (положение регулятора напряжения), при котором ток в месте установки рассматриваемой защиты будет наибольшим.

б) отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю за автотрансформатором другой ступени напряжения этой же подстанции по выражению (4.1),

где $3I_{0\text{к}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты при КЗ на землю за автотрансформатором другой ступени напряжения этой же подстанции.

При необеспечении чувствительности возможно согласование с РЗА АТ другой ступени трансформации этой же подстанции.

в) отстройки в неполнофазном режиме, возникающем в цикле ОАПВ на смежных линиях, а также в длительном неполнофазном режиме на линиях (если для них предусмотрен такой режим работы) по выражению (4.2).

Если выбранный по рассмотренным выше условиям ток срабатывания II ступени защиты АТ не удовлетворяет требованиям чувствительности, то согласование по (4.3) следует выполнять со II ступенями ТЗНП смежных линий.

4.2 Расчет первичного тока срабатывания III, IV, V, VI ступеней ТЗНП на стороне ВН (СН) АТ.

III, IV, V, VI ступени ТЗНП выполняются направленными в сеть своего напряжения и предназначаются:

а) для дальнего резервирования отключения замыканий на землю в сети ВН (СН) АТ и ближнего резервирования сборных шин (ошиновки) напряжения своей стороны при выводе ДЗШ (ДЗОШ).

б) для согласования защит линий в прилегающей сети с защитами АТ.

4.2.1 Первичный ток срабатывания **III, IV, V, VI ступеней защиты** выбирается, исходя из следующих условий:

а) согласования по чувствительности соответственно с первой, второй, третьей, четвертой ступенями защит от замыканий на землю линий прилегающей сети своего напряжения ВН (СН) по (4.3) и (4.4).

В целях повышения чувствительности защит от замыканий на землю линий предыдущих участков сети может оказаться целесообразным согласовать III, IV ступени защиты АТ не с первой, второй, а соответственно со второй, и третьей ступенями защит предыдущих линий.

б) отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю за автотрансформатором другой ступени напряжения этой же подстанции по выражению (4.1),

где $3I_{0к}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты при КЗ на землю за автотрансформатором другой ступени напряжения этой же подстанции.

в) согласования с первой, второй и т.д. ступенями защиты от замыканий на землю автотрансформатора другой ступени напряжения этой же подстанции (вместо предыдущего условия), если это необходимо для повышения чувствительности рассматриваемой защиты.

Согласование можно выполнить по выражению:

$$I_{0\text{с.з.}}^{II} \geq K_{\text{отс}2} \times K_{\text{ток}2} \times I_{0\text{с.з.АТ}}^{I,II}, \quad (4.5)$$

где: $K_{\text{ток}2}$ - коэффициент токораспределения для токов нулевой последовательности, равный отношению тока в месте установки защиты к току через ТЗНП автотрансформатора другой ступени напряжения, с защитой которого производится согласование;

$I_{0\text{с.з.АТ}}^{I,II}$ - ток срабатывания первой, второй и т.д. ступеней ТЗНП автотрансформатора другой ступени напряжения, с защитой которого производится согласование;

Расчетным для согласования является режим работы сети, подстанции и защищаемого АТ (положение регулятора напряжения), при котором ток в месте установки рассматриваемой защиты будет наибольшим.

г) отстройки в цикле ОАПВ и длительном неполнофазном режиме на смежных линиях по (4.2), если ступень защиты АТ не отстроена от цикла ОАПВ по времени.

4.2.2 Выбранный по рассмотренным выше условиям ток срабатывания IV ступени ТЗНП АТ проверяется по условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока (ТТ) в соответствии с 4.2.3:

а) при КЗ между тремя фазами на стороне НН рассматриваемого АТ и за автотрансформаторами (трансформаторами) данной и противоположных подстанций, если IV ступень ТЗНП АТ не согласована по времени с защитами от многофазных КЗ, установленными на сторонах НН указанных автотрансформаторов (трансформаторов);

б) при качаниях и асинхронном ходе, если выдержка времени рассматриваемой IV ступени не превышает длительности периода качаний. Период качаний при отсутствии других данных может быть принят 2 с.

4.2.3 Первичный ток срабатывания V и VI ступени защиты дополнительно к условиям, изложенным в 4.2.1, выбирается по условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе ТТ:

а) при КЗ между тремя фазами на стороне НН рассматриваемого АТ и за автотрансформаторами (трансформаторами) данной и противоположных подстанций по выражению:

$$I_{0\text{с.з.}}^{V,VI} \geq K_{\text{отсз}} \times I_{0\text{нб } 1}, \quad (4.6)$$

где: $K_{\text{отсз}}$ - коэффициент отстройки, принимаемый равным **1.25**;

$I_{0\text{нб } 1}$ - ток небаланса в нулевом проводе ТТ в установившемся режиме при рассматриваемых внешних КЗ между тремя фазами.

б) в послеаварийном нагрузочном режиме по выражению:

$$I_{0\text{с.з.}}^{V,VI} \geq \frac{K_{\text{отсз}}}{K_{\text{в}}} (I_{0\text{нб } 2} + 3I_{0\text{ н.р.}}), \quad (4.7)$$

где: $K_{\text{отсз}}$ - коэффициент отстройки, то же, что и в (4.6);

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата реле, равный **0.9**;

$I_{0\text{нб } 2}$ - ток небаланса в нулевом проводе ТТ в послеаварийном нагрузочном режиме;

$3I_{0\text{ н.р.}}$ - утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе (например, при работе АТ или ВЛ двумя фазами).

Ток небаланса $I_{0\text{нб } 1}$ и $I_{0\text{нб } 2}$ приближенно может быть определен в соответствии с РУ [13] по выражению:

$$I_{0\text{нб}} \sim K_{\text{нб}} \times I_{\text{расч}}, \quad (4.8)$$

где: $K_{\text{нб}}$ - коэффициент небаланса, принимаемый равным **0.05÷0.1**;

$I_{расч}$ – ток в месте установки защиты при рассматриваемом внешнем трёхфазном КЗ [см. (4.6)], при качаниях или асинхронном ходе [см. (4.7)] в послеаварийном нагрузочном режиме.

4.3 Определение чувствительности по току ступеней ТЗНП.

Чувствительность по току всех ступеней защиты определяется по выражению:

$$K_{ч} = \frac{3I_{0 \text{ защ мин}}}{I_{0 \text{ с.з.}}}, \quad (4.9)$$

где: $I_{0 \text{ с.з.}}$ – первичный ток срабатывания рассматриваемой ступени защиты;

$3I_{0 \text{ защ мин}}$ - утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты при металлическом однофазном КЗ в расчетной точке в режиме, обеспечивающем наименьшее значение этого тока.

Причем, рекомендуется рассматривать, только реально возможные режимы работы сети, подстанции и защищаемого АТ.

Расчетные точки КЗ для проверки чувствительности ТЗНП АТ.

Чувствительность **I ступени** проверяется в месте установки защиты, то есть на вводах ВН (СН) АТ, **II ступени** - на шинах (ошиновке) смежного напряжения СН (ВН) АТ. Ступени, направленные в сеть своего напряжения, **IV, V и VI** - проверяются в зоне дальнего резервирования - в конце отходящих линий в режиме каскадного отключения КЗ у противоположных шин или при замыкании на землю за автотрансформатором другой ступени напряжения этой же подстанции.

Расчетной точкой для определения чувствительности **III ступени** защиты являются шины (ошиновка) своей стороны АТ.

В соответствии с [11] требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности: для **I и III ступеней** защиты - порядка **1.3**, для **II ступени** - **1.5**, для **IV, V и VI ступеней** – не менее **1.2**.

Однако окончательно пригодность выбранного тока срабатывания ступеней защиты ВН (СН) АТ оценивается по чувствительности согласуемых с ними защит от замыканий на землю присоединений прилегающей сети.

4.4 Вторичный ток срабатывания ступеней ТЗНП определяется как:

$$I_{с.р.ТЗНП} = \frac{I_{с.з.ТЗНП}}{K_{ТТ}}, \quad (4.10)$$

где: $I_{с.з.ТЗНП}$ - первичный ток срабатывания ступеней ТЗНП;

$K_{ТТ}$ - коэффициент трансформации ТТ, к которым подключаются цепи ТЗНП.

4.5 Выбор времени срабатывания ступеней ТЗНП ВН (СН) АТ.

Выдержка времени срабатывания быстродействующей **I ступени ТЗНП** выбирается по согласованию с уставкой по времени основной (дифференциальной) защиты АТ, и по аналогии с I ступенью ДЗ, составляет:

$t_{с.з.}^I = 0.2 \div 0.3$ с на отключение АТ со всех сторон с запретом АПВ и запуском УРОВ.

Согласно рекомендациям РУ [1] и ПУЭ [11], все ступени резервной ТЗНП АТ, для обеспечения селективности, повышения эффективности и чувствительности дальнего резервирования, должны действовать последовательно: **с первой выдержкой времени** на деление шин (отключение ШСВ или СВ) того напряжения, в сторону которого она направлена (при схеме РУ «четырёхугольник» действие на деление не требуется);

со второй выдержкой времени – на отключение выключателя той стороны АТ, куда направлена рассматриваемая ступень защиты, с выдержкой времени, на ступень селективности большей, чем на деление шин;

с третьей выдержкой времени - на отключение АТ со всех сторон с выдержкой времени, на ступень селективности большей, чем на отключение выключателя одной из сторон АТ.

Учитывая вышесказанное, **II ступень ТЗНП АТ ВН (СН)** имеет три выдержки времени, а именно:

$t_{1с.з.}^{II}$ - с действием на отключение ШСВ (СВ) стороны смежного напряжения СН (ВН) АТ, выбирается в соответствии с выражением (4.11);

$t_{2с.з.}^{II} = t_{1с.з.}^{II} + \Delta t$ – с действием на отключение выключателей смежной стороны СН (ВН) АТ;

$t_{3с.з.}^{II} = t_{2с.з.}^{II} + \Delta t$ – с действием на отключение АТ со всех сторон.

Первая выдержка времени срабатывания II ступени ТЗНП определяется по согласованию с первыми ступенями защит от замыканий на землю линий смежного напряжения:

$$t_{1с.з.}^{II} = t_{с.з.}^{I Л} + t_{УРОВ} + \Delta t, \quad (4.11)$$

где: $t_{с.з.}^{I Л}$ - наибольшая из выдержек времени срабатывания I ступеней защит от замыканий на землю линий смежного напряжения, с которыми ведется согласование;

$t_{УРОВ}$ – выдержка времени УРОВ линий, рекомендуется принимать:

$t_{УРОВ} = 0.4 \div 0.5$ с – для защит, выполненных на электромеханике и микроэлектронике;

$t_{\text{УРОВ}} = 0.2 \div 0.3 \text{ с}$ – для микропроцессорных защит;

Δt – принимается в соответствии с (1.17).

Выдержка времени УРОВ, в данном случае, учитывается по причине согласования с быстродействующими ступенями отходящих линий, что соответствует указаниям [13].

Разработчиком защит предусматривается «логическое ускорение»

II ступени ТЗНП при повреждениях в АТ.

Цепь ускорения II ступени ТЗНП рассчитываемой стороны АТ вводится при срабатывании РТ II ступени ТЗНП смежной стороны или отключенном выключателе смежной стороны АТ, а также при отсутствии сигнала срабатывания реле направления мощности нулевой последовательности обратной направленности ($M_{0 \text{ бл}}$).

В результате **II ступень ТЗНП** действует на отключение АТ со всех сторон с временем срабатывания, соответствующим времени действия I ступени ТЗНП (DT21), согласно функциональной схеме логической части ТЗНП терминала БЭ2704 [8].

Каждая из ступеней, предназначенных для дальнего резервирования, т.е. **III, IV, V и VI ступени ТЗНП**, направлены в сеть своей стороны АТ и действуют со своей выдержкой последовательно на:

- разделение систем шин (секций шин) напряжения своей стороны (если это целесообразно);
- отключение выключателя своей стороны АТ с выдержкой времени, на ступень селективности Δt большей, чем на деление шин;
- отключение АТ со всех сторон с выдержкой времени на ступень селективности Δt большей, чем на отключение выключателя своей стороны.

Рекомендуемое значение ступени селективности Δt соответствует (1.17)

Первая выдержка времени III ступени ТЗНП выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания I ступеней защит от замыканий на землю линий прилегающей сети **своей стороны ВН (СН) АТ** с учетом выдержки времени УРОВ по (4.11).

Первая выдержка времени IV, V и VI ступеней ТЗНП выбирается по условию согласования с наибольшим временем срабатывания II, III и IV ступеней защит линий и всех остальных присоединений прилегающей сети ВН (СН) АТ, с которыми производится согласование:

$$t_{1\text{с.з.}}^{IV,V,VI} = t_{\text{с.з.}}^{II,III,IV} \text{ Л} + \Delta t, \quad (4.12)$$

Δt – принимается в соответствии с (1.17).

4.6 Выбор параметров срабатывания реле направления мощности ТЗНП ВН (СН) АТ.

Направленность **I и II ступеней ТЗНП** контролирует реле направления мощности нулевой последовательности **прямой направленности** - M_0 разр (разрешающее).

Направленность **III, IV, V и VI ступеней ТЗНП** контролирует реле направления мощности нулевой последовательности **обратной направленности** - M_0 бл (блокирующее).

4.6.1 Первичный ток срабатывания реле направления мощности ТЗНП прямой и обратной направленности (разрешающего и блокирующего) выбирается по условию отстройки от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме по выражению:

$$I_{0с.з.}^{РНМ} \geq \frac{K_{отсз}}{K_B} (I_{0нбз} + 3I_{0н.р.}), \quad (4.13)$$

где: $K_{отсз}$, K_B , $3I_{0н.р.}$ - коэффициент отстройки, коэффициент возврата и утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе; принимаются в соответствии с (4.7);

$I_{0нбз} = K_{нб} \times I_{нагр макс}$ – первичный ток небаланса в нулевом проводе в рассматриваемом режиме;

$I_{нагр макс}$ – максимальный нагрузочный ток;

$K_{нб}$ - коэффициент небаланса, принимается равным **0.05**.

Отстройка от тока небаланса при качаниях не производится, учитывая, что быстродействующие ступени защиты отстроены от этого режима по току, а более чувствительные - по времени, в связи с тем, что выдержки времени срабатывания этих ступеней превышают период качаний.

После определения расчетного значения тока срабатывания реле направления мощности M_0 разр и M_0 бл как: $I_{0с.р.РНМ} = \frac{I_{0с.з.РНМ}}{K_{ТТ}}$, выбирается ближайшее большее значение из диапазона уставок.

4.6.2 Первичное напряжение срабатывания реле направления мощности ТЗНП прямой и обратной направленности (разрешающего и блокирующего) выбирается по условию отстройки от напряжения небаланса в нормальном нагрузочном режиме по выражению:

$$U_{0\text{с.з.}}^{\text{РНМ}} \geq \frac{K_{\text{отсз}}}{K_{\text{в}}} (U_{0\text{нб}} + 3U_{0\text{н.р.}}), \quad (4.14)$$

где: $K_{\text{отсз}}$, $K_{\text{в}}$ - коэффициенты отстройки и возврата реле принимаются в соответствии с (4.7);

$3U_{0\text{н.р.}}$ - утроенное напряжение нулевой последовательности, обусловленное несимметрией в системе;

$U_{0\text{нб}}$ - первичное напряжение небаланса на реле в рассматриваемом режиме, в условиях эксплуатации определяется экспериментальным путём.

При отсутствии экспериментальных данных для практических расчетов можно, в соответствии с рекомендациями [14], принимать $U_{0\text{нб}}$ порядка **0,6 ÷ 2,0 В** (вторичных) в зависимости от типа ТН.

После определения вторичной уставки по напряжению реле направления мощности $M_{0\text{разр}}$ и $M_{0\text{бл}}$, как: $U_{0\text{с.р.РНМ}} = \frac{U_{0\text{с.з.РНМ}}}{K_{\text{ТН}}}$, выбирается ближайшее большее значение из диапазона уставок.

4.6.3 Уставки реле направления мощности нулевой последовательности по углу максимальной чувствительности:

250° - для реле прямой направленности - разрешающего $M_{0\text{разр}}$;

70° - для реле обратной направленности – блокирующего $M_{0\text{бл}}$.

4.6.3 **Определение чувствительности реле направления мощности (разрешающего и блокирующего).**

После определения уставок реле направления мощности определяется чувствительность $M_{0\text{разр}}$ и $M_{0\text{бл}}$ отдельно по току и напряжению по выражениям:

$$K_{\text{чТ}}^{\text{РНМ}} = \frac{3I_{0\text{з мин}}}{I_{0\text{с.р.РНМ}} \cdot K_{\text{ТТ}}} \quad (4.15), \quad K_{\text{чН}}^{\text{РНМ}} = \frac{3U_{0\text{з мин}}}{U_{0\text{с.р.РНМ}} \cdot K_{\text{ТН}}} \quad (4.16),$$

где: $K_{\text{ТТ}}$, $K_{\text{ТН}}$ - коэффициенты трансформации соответственно ТТ и ТН;

$I_{0\text{с.р.РНМ}}$, $U_{0\text{с.р.РНМ}}$ - ток и напряжение срабатывания реле направления мощности;

$3I_{03 \text{ мин}}$, $3U_{03 \text{ мин}}$ - минимальное значение утроенного тока или напряжения нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазном КЗ в расчетной точке и в расчетном режиме.

В качестве расчетного принимается реально возможный режим, при котором имеет место минимальное значение тока или напряжения соответственно.

Что касается расчетной точки КЗ, то **разрешающее реле мощности** стороны ВН (СН) проверяется по чувствительности при КЗ на шинах смежного напряжения СН (ВН) АТ. Нормируемый коэффициент чувствительности по току и напряжению в соответствии с [11] - не менее **1.5**.

Чувствительность **блокирующего реле мощности** следует проверять в зоне дальнего резервирования – в прилегающей сети напряжения своей стороны ВН (СН) АТ в точке, где ток равен току срабатывания наиболее чувствительной ступени ТЗНП. Нормируемый коэффициент чувствительности по току и напряжению при повреждениях в конце зоны резервирования в соответствии с [11] – не мене **1.2**.

4.7 Рекомендации по заданию логики работы ТЗНП.

4.7.1 вопрос о необходимости автоматического вывода направленности ТЗНП при срабатывании защиты, а также при отключении выключателя должен решаться в индивидуальном порядке в соответствии с рекомендациями [15];

4.7.2 вывод направленности ступеней ТЗНП или их блокировка при неисправностях в цепях напряжения может решаться в каждом конкретном случае по-разному. Но как показывает практика, ступени, направленные в АТ, целесообразно блокировать при потере цепей напряжения, а ступени, направленные в шины, оставлять в работе, оценив предварительно степень их возможной неселективности при повреждениях «за спиной» у защиты (это необходимо для исключения ложной работы взаимного ускорения вторых ступеней РЗА АТ;

4.6.3 есть возможность не вводить направление I ступени ТЗНП. Для этого необходимо расчетным путем проверить отстройку от КЗ «за спиной» у защиты с учетом всех возможных режимов работы сети, подстанции и АТ;

4.6.4 логика предусматривает возможность работы ТЗНП с ускорениями. Вывод автоматического ускорения (АУ) должен быть дополнительно обоснован. Ввод ОУ резервных защит АТ выполняется в следующих случаях:

- вывод ДЗТ АТ (для 2ст. ТЗНП);
- вывод ДЗШ своей ступени трансформации АТ (для 3 – 4ст. ТЗНП).

Литература.

1. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты: руководящие указания по релейной защите, выпуск 13Б.
2. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ: руководящие указания по релейной защите, выпуск 11.
3. Дистанционная защита линий 35-330 кВ: руководящие указания по релейной защите, выпуск 11.
4. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Монография, С-Петербург, 2008.
5. Высокочастотная блокировка дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит линий 110-220 кВ: руководящие указания по релейной защите, выпуск 10.
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита, М.: Энергоатомиздат, 2007.
7. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов, М: Энергоатомиздат, 1989.
8. Шкаф резервной защиты автотрансформатора 220/110 кВ типа ШЭ2607 072 (ШЭ2607 072072), (версия 072_200). Руководство по эксплуатации, ООО НПП «ЭКРА». Шкаф резервной защиты автотрансформатора 330-500 кВ типа ШЭ2710 572 (версия 572_200). Руководство по эксплуатации, ООО НПП «ЭКРА».
9. Разработка указаний по расчетам уставок комплекса микроэлектронных шкафов защиты автотрансформаторов 500(300)-750 кВ типов ШЭ2106...ШЭ2109: отчет института «Энергосетьпроект», М.: 1997.
10. Комплекс основных защит автотрансформатора с высшим напряжением 330 кВ и выше, шкаф типа ШЭ2710 542. Руководство по эксплуатации, ООО НПП «ЭКРА». Шкаф защиты автотрансформатора типа ШЭ2607 042. Руководство по эксплуатации, ООО НПП «ЭКРА».
11. Правила устройств электроустановок.- 7-ое изд.- М.:2002.

- 12.** Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА подстанционного оборудования производства ООО НПП «ЭКРА». СТО 56947007-29.120.70.032 – 2009г.
- 13.** Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ. Расчеты: руководящие указания по релейной защите, выпуск 12.
- 14.** Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ, том1: отчет института «Энергосетьпроект», М.: 1985.
- 15.** Удрис А.П. Панель релейной защиты типа ЭПЗ-1636 для ВЛ 110-220 кВ в 2-х частях. Библиотечка электротехника, выпуск 5(17), М.: НТФ Энергопрогресс, Энергетик, 2000.
- 16.** Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем, М.: Энергия, 1976.
- 17.** Аржанников Е.А., Аржанникова А.Е. Выбор параметров срабатывания микропроцессорных защит трансформаторов и линий. Уч. пособие. Иваново, 2007.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

В Приложении приведен пример выбора параметров срабатывания резервных защит автотрансформатора **2АТ 250 МВА 220/110 кВ ПС Елецкая** на базе шкафов типа ШЭ2607 072 (версия 072_200) ООО НПП «ЭКРА», установленных на стороне ВН и СН АТ.

Первичная схема ПС Елецкая 220 кВ представляет собой две секции шин, не связанных секционным выключателем. СВ-220 кВ на момент расчета был демонтирован.

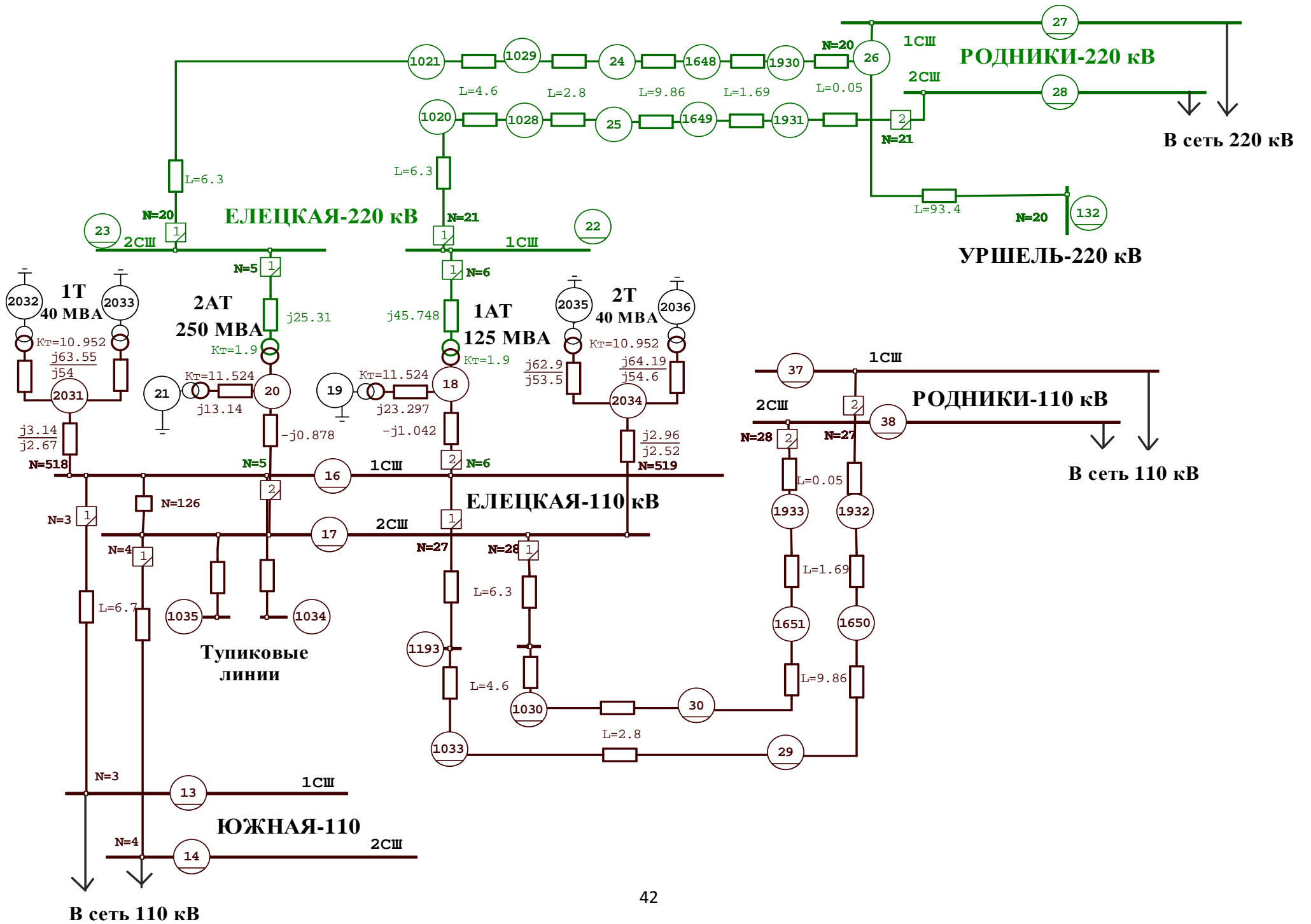
Присоединения 1 секции шин 220 кВ: 1АТ 125 МВА и ВЛ-220 кВ Елецкая-Родники, присоединения 2 секции шин 220 кВ: 2АТ 250 МВА и ВЛ-220 кВ Елецкая-Родники-Уршель.

Первичная схема ПС Елецкая 110 кВ представляет собой две системы шин, объединенных шиносоединительным выключателем (ШСВ).

Присоединения 110 кВ: ВЛ-110 кВ Елецкая-Родники 1,2ц.; ВЛ-110 кВ Елецкая-Южная 1,2ц.; 1АТ,2АТ, 1Т,2Т, тупиковые линии.

Расчет выполнен по программе АРМ СРЗА ПК БРИЗ г. Новосибирск по сетевым моделям: «ЗИМА», которая соответствует максимальному режиму работы энергосистемы (все оборудование включено), и «ЛЕТО», соответствующая режиму «летнего минимума».

Расчетная схема замещения из АРМ СРЗА приведена ниже.



**250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ сторона 220 кВ
ШЭ2607 072(версия 072_200) ООО НПП «ЭКРА»**

**Включение ШЭ2607 072 по току-на встроенные в АТ ТТ-220 кВ, $K_{ТТ} = 1000/1$.
по напряжению - на ТН-220 кВ, $K_{ТН} = 220000/100$**

Междуфазная токовая отсечка.

Включение МФТО - на разность фазных токов I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} .

Защита 51

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от КЗ на шинах 110 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	5065	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЗИМА	IAB=4220 -87
	УСТ	5535	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	ЭЛ 6 отключ.1АТ ПС Елецкая	IAB=4612 -88
	УСТ	4710	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЛЕТО	IAB=3925 -87
ОТСТРОЙКА от КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	5795	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	IAB=4829 92
	УСТ	5618	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	ЭЛ 6 отключ.1АТ ПС Елецкая	IAB=4682 -27
	УСТ	4871	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО	IAB=4060 92
<p>Принято: $I_{с3} = 6000$ А (перв), $t_{с3} = 0.2$ с - на отключение всего АТ</p> <p align="center">$\frac{6000}{1000/1} = 6.0$ А (втор)</p>						
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на вводах 220 кВ 2АТ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	6000	1.61	ВИД-КЗ ВС,АВС 23-20,0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	ICA=9696 12 Ip=9696 12
	КСХ РТ	1.00				
	УСТ	6000	1.75	ВИД-КЗ ВС,АВС 23-20,0.000	СЕТЬ: ЗИМА	ICA=10525 13 Ip=10525 13
	КСХ РТ	1.00				

ПРИМЕЧАНИЕ. Токовая отсечка (МФТО) отстроена от шин НН 2АТ, от броска тока намагничивания при включении 2АТ под напряжение и от тока качаний в сети. Условия не показаны в расчете, т.к. не оказались определяющими.

Максимальная токовая защита.

МТЗ применяется для резервирования основной и резервных защит АТ.
 Исполнение защиты: 3-х фазное 3-х релейное,
 пуск по напряжению - не используется для повышения надежности ре-
 зервных функций защиты.

Защита 51

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от тока нагрузки	УСТ	1256		ЈномАТ=628А- для создания расчетного за- паса	КН=1.20 КВРТ=0.90 КСАМ=1.50ЈН=628	
	УСТ	1197		Ј нагр АТ= 349А задано СЭР	КН=1.20 КВРТ=0.90 КСАМ=1.43ЈН=628	
СОГЛАСОВАНИЕ (23-20)- с 4 СТУПЕНЬЮ ХУ=88.6 *) RY=45.0 T=5/5.5 с TT% 8 ФМЧ 80 ф2 -15 ф3 115 Дистанционная защита 51 ШЭ2607 072 стороны 220 кВ (23-20)- 2АТ250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	1129	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 23 Z1д=0.00+j22.82 Z0д=0.00+j22.82	СЕТЬ: ЗИМА	IA=1026 -94 ZAB(Б)=82.05 98
	УСТ	1059	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 23 Z1д=0.00+j21.54 Z0д=0.00+j21.54	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=963 -94 ZAB(Б)=82.19 98
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ ХУ=31.0 **) RY=17.0 T=2.5/3.0/3.5 TT% 8 ФМЧ 65 ф2 -15 ф3 115 Дистанционная защита ШЭ2607 072 стороны 110 кВ защита 52 ШЭ_АТ (17-20)- 2АТ 250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	972	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 17 Z1д=0.00+j6.27 Z0д=0.00+j6.27	СЕТЬ: ЗИМА	IA=883 -93 ZCA(Б)=27.33 96
	УСТ	939	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 17 Z1д=0.00+j7.12 Z0д=0.00+j7.12	СЕТЬ: ЛЕТО	IC=854 28 ZAB(Б)=27.74 96

СОГЛАСОВАНИЕ (23-20)- со 2 СТУПЕНЬЮ 900 Т=1.00 защита 201 ТЭМП (23-1021) ВЛ-220 КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	701	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 26 Z1д=0.129+j0.579 Z0д=0.35+j1.74	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=637 -81 3I0(Б)=901 -82 3U0(Б)=40.28 - 172
	УСТ	885	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 26 Z1д=0.23+j1.02 Z0д=0.62+j3.06	СЕТЬ: ЗИМА	IA=804 -81 3I0(Б)=900 -81 3U0(Б)=40.03 - 172
СОГЛАСОВАНИЕ (23-20)- с 3 СТУПЕНЬЮ 1500 Т=2.50 защита 31 ТЭМП (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- КУЖНАЯ 1,2	УСТ	683	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.17+j2.84 Z0д=2.67+j8.89	СЕТЬ: ЗИМА	IA=621 102 3I0(Б)=1500 -71 3U0(Б)=10.19 - 165
	УСТ	750	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.11+j2.70 Z0д=2.54+j8.47	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=682 101 3I0(Б)=1500 -72 3U0(Б)=10.20 - 165
СОГЛАСОВАНИЕ (23-20)- со 2 СТУПЕНЬЮ 1700 Т=1.50 защита 281 ТЭМП (17-1194) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	УСТ	622	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1651-30,0.027	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=565 107 3I0(Б)=1700 -77 3U0(Б)=6.47 - 167
	УСТ	624	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1651-30,0.000		IA=567 107 3I0(Б)=1591 -77 3U0(Б)=6.27 - 167
	УСТ	655	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 38-1933,0.000		IA=596 107 3I0(Б)=664 -71 3U0(Б)=4.66 - 164
	УСТ	528	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1933-1651,0.952	СЕТЬ: ЗИМА	IA=480 108 3I0(Б)=1700 -76 3U0(Б)=6.68 - 166
	УСТ	535	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1933-1651,0.000		IA=486 110 3I0(Б)=782 -71 3U0(Б)=5.17 - 163
	УСТ	535	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 38-1933,0.000		IA=487 110 3I0(Б)=746 -70 3U0(Б)=5.11 - 163
	УСТ	535	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 38-1933,0.000		IA=487 110 3I0(Б)=746 -70 3U0(Б)=5.11 - 163

Принято: $I_{сз} = 1200$ А (перв), $t_{сз} = 5.5$ с - на отключение всего АТ

$$\frac{1200}{1000/1} = 1.2 \text{ А (втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на шинах НН 2АТ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	1200	0.33	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IC=390 -9 (формула) Ip=390 -9
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 21		
	РТ	АВС				
	УСТ	1200	1.25	ВИД-КЗ ВС		
КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 21	После отключения В-110 2АТ		
	УСТ	1200	1.25	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IC=1504 2 (формула) Ip=1504 2
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 21		
	РТ	АВС		Опробование 2АТ со стороны 220 кВ	ОТКЛ 20-17	IC=1490 2 (формула) Ip=1490 2
	УСТ	1200	1.24		СЕТЬ: ЛЕТО	
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на шинах 110 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	1200	1.76	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IB=2112 -178 Ip=2112 -178
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 17		
	РТ	АВС			СЕТЬ: ЛЕТО	IB=1964 -178 Ip=1964 -178
	УСТ	1200	1.64	ВИД-КЗ ВС		
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 17		IC=2032 -179 Ip=2032 -179
	РТ	АВС				
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	1200	1.69	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IC=2416 -179 Ip=2416 -179
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 23		
	РТ	АВС				
	УСТКС	1200	2.01	ВИД-КЗ ВС		
	Х	1.00		УЗЕЛ-КЗ 23		
	РТ	АВС				

ПРИМЕЧАНИЯ.

1.*)и**) Согласование выполнялось с наиболее чувствительными резервными ступенями ДЗ 110 и 220 кВ, направленными в сеть своего напряжения. В данном конкретном случае это оказалось возможным, поскольку эти условия не стали определяющими при выборе уставки МТЗ.

Если следовать «Рекомендациям» (См. выше), то правильнее проводить согласование с наиболее чувствительными ступенями ДЗ присоединений 110 и 220 кВ. Такое согласование не приводит к дополнительному заглублению уставки МТЗ.

2. МТЗ отстроена за трансформаторами 1Т,2Т ПС Елецкая и согласована с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.

Дистанционная защита

1 ступень - направлена в АТ.

Защита 51

Ктт=1000/1 Ктн=2200

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от шин 110 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	ХУ	18.8	0.85	ВИД-КЗ АВС		ZСА=22.14 90 Графика
	РУ	9.70		УЗЕЛ-КЗ 17		
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	125				

Принято: $Z_{сз} = 19.0 \text{ Ом}$, $t_{сз} = 0.2 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

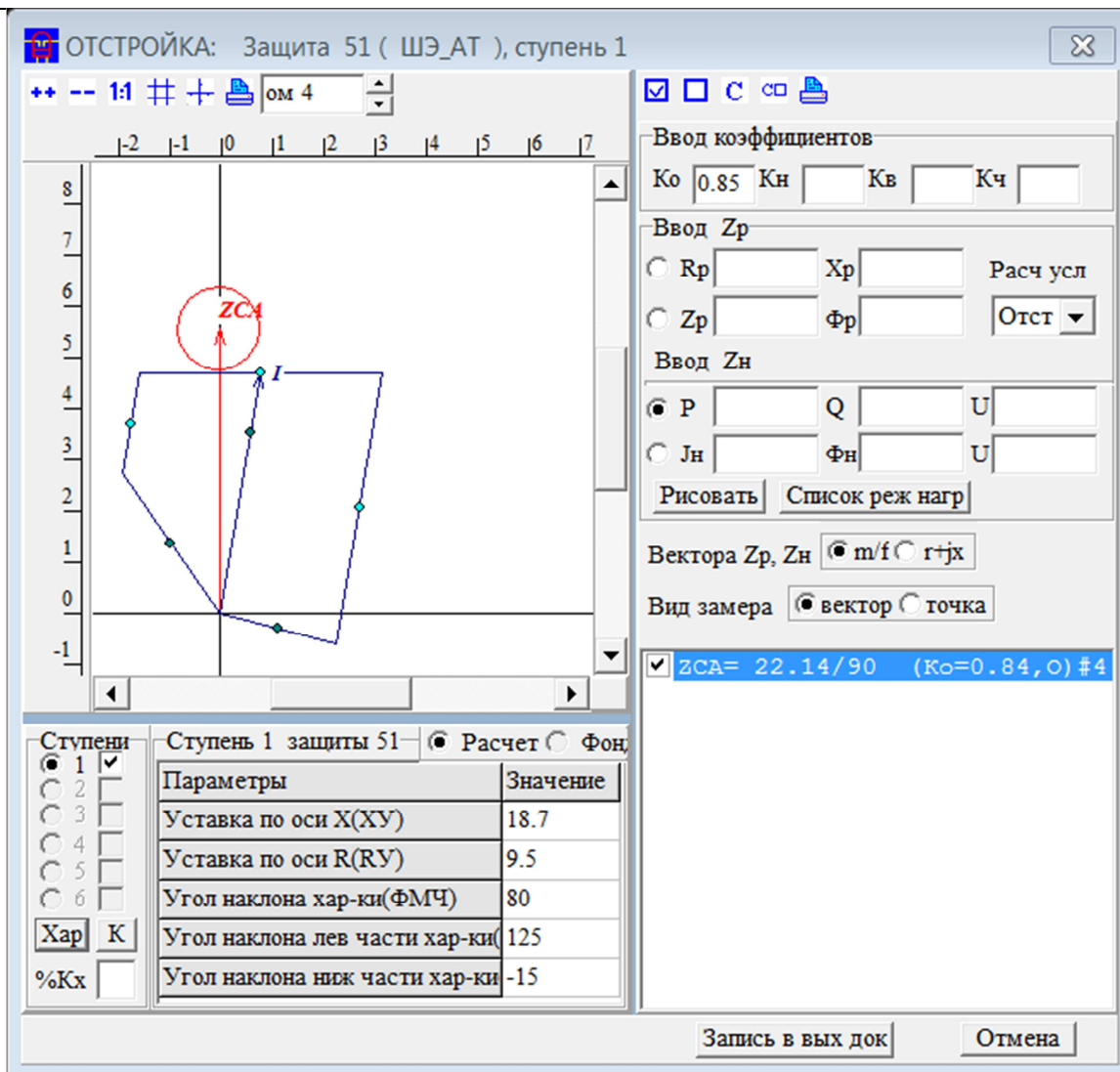
$$Z_{вт} = \frac{Z_{сз} \times K_{тт}}{K_{тн}} = \frac{19.0 \times 1000 / 1}{2200} = 8.63 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{сз} = Z_{сз} \times \sin \varphi_1 = 19.0 \times 0.985 = 18.7 \text{ Ом (перв.) } X_{сз} = 8.5 \text{ Ом (втор.)}$$

$$R_{сз} = 0.5 \times Z_{сз} = 0.5 \times 19.0 = 9.5 \text{ Ом (перв.) } R_{сз} = 4.32 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 80^\circ$, $\varphi_2 = -15^\circ$, $\varphi_3 = 125^\circ$



Дистанционная защита
2 ступень - направлена в АТ

Защита 51

Ктт=1000/1 Ктн=2200

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ ХУ=9.06 РУ=5.0 Т=2.0с ТТ% 0 ФМЧ 65 Ф2 -15 Ф3 115 защита 31 ШЭ2607 011021 (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	ХУ	59.9	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Зкз<Зсз - расчет уст-ки по Кт=1.271 Зр=71.80 80	СЕТЬ: ЛЕТО Согласование только по вре- мени -	ZAB=35.47 83
	РУ	30.9				ZAB(Б)=2.85 68
	ФМЧ	80				ZCA=68.42 78
	Ф2	-15				ZAB(Б)=9.75 69
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ ХУ=9.06 РУ=5.0 Т=2.0с ТТ% 0 ФМЧ 65 Ф2 -15 Ф3 115 защита 31 ШЭ2607 011021 (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	Ф3	125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=0.74+j1.81 Z0д=1.70+j5.67	СЕТЬ: ЗИМА Согласование только по вре- мени -	ZAB=35.77 83
	ХУ	60.8				ZAB(Б)=2.85 68
	РУ	31.3				ZCA=69.41 78
	ФМЧ	80				ZAB(Б)=9.76 68
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 33.0 Т=2.0с ТТ% 0 ФМЧ 65 защита 271 ЭПЗ-1636 (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	Ф2	-15	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Зкз<Зсз - расчет уст-ки по Кт=1.317 Зр=191.58 80	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=74.48 72
	Ф3	125				ZBC(Б)=10.78 68
	ХУ	159.9				ZCA=179.86 63
	РУ	82.5				ZBC(Б)=32.98 62
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 33.0 Т=2.0с ТТ% 0 ФМЧ 65 защита 271 ЭПЗ-1636 (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	ФМЧ	80	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.90+j2.15 Z0д=2.17+j6.66	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC(Б)=10.78 68
	Ф2	-15				ZCA=179.86 63
	Ф3	125				ZBC(Б)=32.98 62
	ХУ	133.6				ZBC(Б)=32.98 62
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 33.0 Т=2.0с ТТ% 0 ФМЧ 65 защита 271 ЭПЗ-1636 (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	РУ	68.9	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.90+j2.15 Z0д=2.17+j6.66	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC(Б)=10.78 68
	ФМЧ	80				ZCA=179.86 63
	Ф2	-15				ZBC(Б)=32.98 62
	Ф3	125				ZBC(Б)=32.98 62

	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	126.0 65.0 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Kт=1.002 Zр=150.92 80	ЭЛ 6 21 СЕТЬ: ЛЕТО Отключены 1АТ 220/110 ПС Елецкая и ВЛ-220 Родники-	ZAB=61.83 74 ZAB(B)=10.78 68
	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	107.6 55.5 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.83+j1.97 Z0д=1.99+j6.11	Елецкая	ZCA=141.86 65 ZAB(B)=33.01 63
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ XУ=6.89 RУ=4.90 T=0.5/1.0 с ТТ% 0 ФМЧ 80 Ф2 -15 Ф3 125 защита 61 стороны 220кВ ШЭ2607 (22-18)- 1АТ 125 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	244.5 126.0 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 22 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Kт=5.568 Zр=292.87 80	СЕТЬ: ЛЕТО	ZAB=253.91 113 ZAB(B)=0.000 0
	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	243.7 125.6 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 22 Z1д=0.00+j1.32 Z0д=0.00+j1.32		ZCA=290.12 115 ZAB(B)=7.01 100
Отстройка от тока нагрузки	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	123.0 63.4 80 -15 125	1.26	Јном АТ =628А - для создания расчетного запаса Јнагр АТ = 349 А- данные от службы электрических режимов	КН=1.20 КВРТ=1.05 ЈН=628 УМИН=205 ФН=55	ZН=188.47 55

Принято : $Z_{сз} = 109 \text{ Ом}, t_{сз} = 2.5/3.0/3.5\text{с}$

t_1 - 2.5 с – на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

t_2 - 3.0 с – на отключение ввода 110 кВ 2АТ

t_3 - 3.5 с - на отключение всего АТ

$Z_{сз} = 109 \text{ Ом}, t_{сз} = 0.2 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

t - 0.2 с - вводится логическое ускорение при срабатывании 2 ступени ДЗ смежной стороны (110 кВ) или отключенном выключателе АТ смежной стороны, и отсутствии сигнала срабатывания 3 ступени ДЗ (220 кВ).

$$Z_{вт} = \frac{Z_{сз} \times K_{тг}}{K_{тн}} = \frac{109 \times 1000 / 1}{2200} = 49.54 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{сз} = Z_{сз} \times \sin \varphi_1 = 109.0 \times 0.985 = 107.4 \text{ Ом (перв.) } X_{сз} = 48.8 \text{ Ом (втор.)}$$

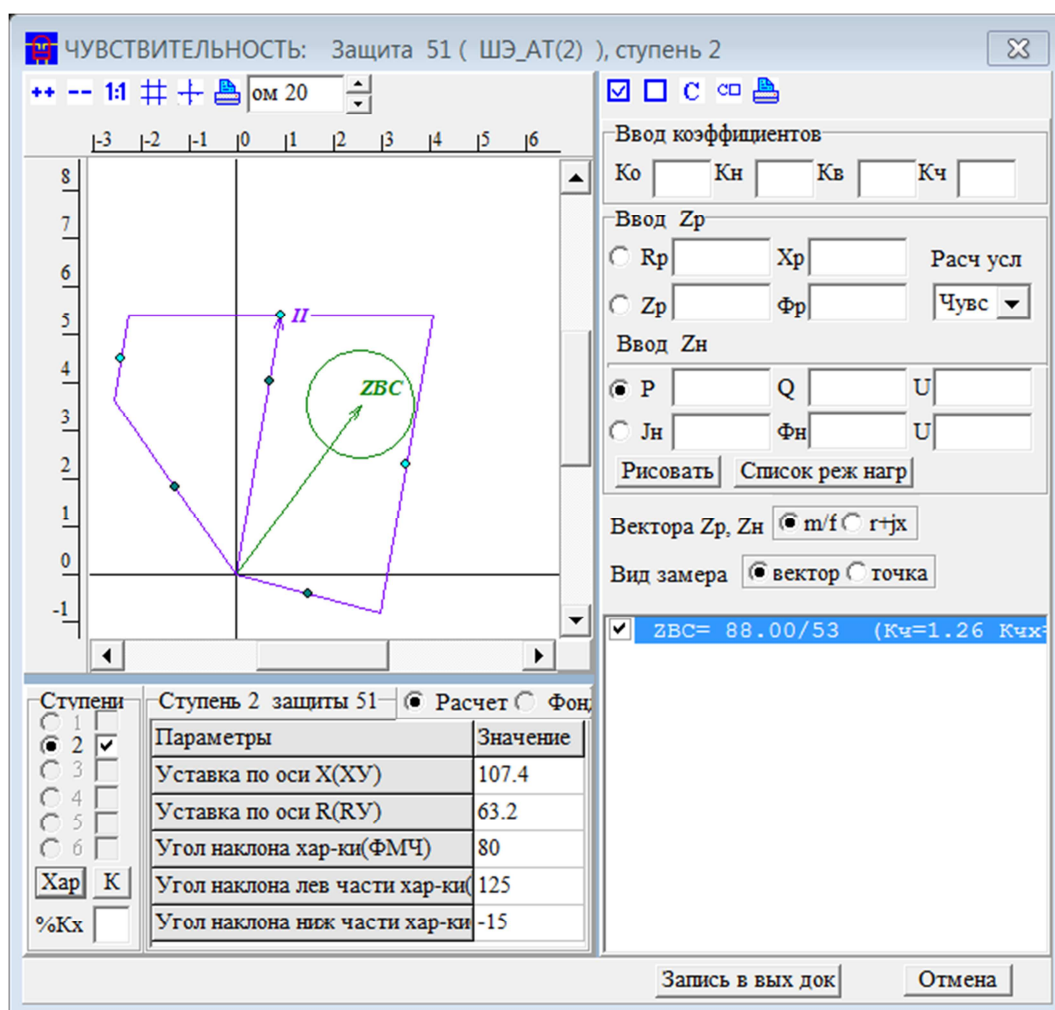
$$R_{сз} = 0.58 \times Z_{сз} = 0.58 \times 109.0 = 63.2 \text{ Ом (перв.) } R_{сз} = 28.7 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 80^\circ, \varphi_2 = -15^\circ, \varphi_3 = 125^\circ$

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

на стороне НН АТ обеспечивается только в режиме опробования АТ со стороны 220 кВ (или отключенном выключателе 110 кВ):

ЧУВСТВИТЕЛЬН на стороне НН 2АТ (до реакто- ра)	XУ	107.4	1.52	ВИД-КЗ ВС	ОТКЛ 20-17 Опробование АТ со стороны 220 кВ	ZBC=88.00 53 (формула) IB=1291 -178 Графика
	RY	63.2	1.58	УЗЕЛ-КЗ 21		
	ФМЧ	80	КЧzр=			
	Ф2	-15	1.26			
	Ф3	125				
	XBT	48.8				
	RBT	28.7				
УТР	0.10	12.91				



ПРИМЕЧАНИЯ: 2 зона ДЗ отстроена за трансформаторами 1Т,2Т ПС Елецкая и согласована с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.

Справочник по опорам

Редактировать Добавить Удалить Печать Сохранить Выход

Список опор

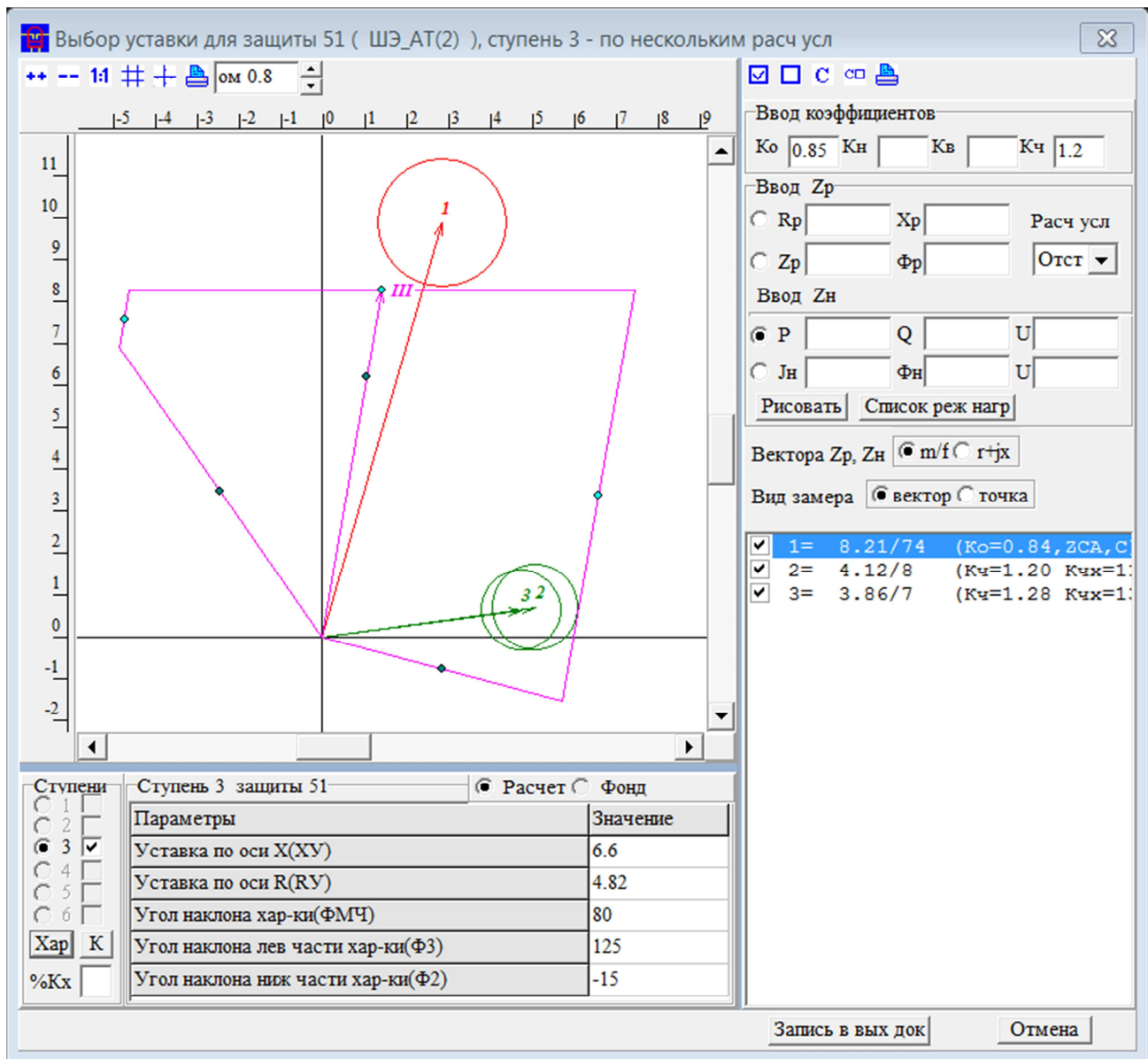
- УС110-3
- ПС110-9
- ПС110-10
- ПС110-11
- ПЛБ110
- ПД110-1
- ПД110-5
- ПДС110-1
- ПБ110-8-тест
- ПБ110-15
- П-4М
- ПБД220-2**
- Рюмка
- П-8М
- П2
- 2ПС110 АО-2
- 2ПС110 АО-3
- 2ПС110П-7Р
- КП 110-4
- ПБ 110-4
- П-220-2

Наборы

Все ОК

437172

ЧУВСТВИТЕЛЬН в начале ВЛ- 220 кВ Родники- Елецкая- Уршель	XУ	6.60	13.32	ВИД-КЗ ВС(2.2 0) 23-1021,0.000	СЕТЬ: ЗИМА	ZBC=3.86 7 IB=2376 -173 Графика Вектор 3
	РУ	4.82	1.29			
	ФМЧ	80	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.28			
	Ф3	125				
	ХВТ	3.00				
	РВТ	2.19				
	JTP	0.10	23.76			
	XУ	6.60	11.96	ВИД-КЗ ВС(2.2 0) 23-1021,0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=4.12 8 IB=2001 -174 Графика Вектор 2
	РУ	4.82	1.21			
	ФМЧ	80	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.20			
	Ф3	125				
	ХВТ	3.00				
	РВТ	2.19				
	JTP	0.10	20.01			



**Дистанционная защита
 4 ступень-направлена в сеть 220 кВ**

Защита 51	Ктт=1000/1		Ктн=2200		Ветвь -23-20	
Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 60.0 T=1/1.5 ТТ% 8 ФМЧ 80 защита 201 ЭПЗ-1636 (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	XU	45.9	0.85	ВИД-КЗ ABC	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=10.85 74
	RY	23.7		УЗ-КЗ_X 26		ZBC(B)=10.85 74
	ФМЧ	80		Защ Б работает		
	Ф2	-15		Zкз<Zсз - расчет		
	Ф3	125		уст-ки по Кт=1.000 Zp=55.02 80		
	XU	44.7	0.85	ВИД-КЗ ABC		ZCA=54.82 75
	RY	23.0		УЗ-КЗ_X 26		ZBC(B)=54.82 75
	ФМЧ	80		Z1д=0.41+j1.85		
	Ф2	-15		Z0д=1.13+j5.55		
	Ф3	125				

	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	44.4 22.9 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 26 Z1д=0.28+j1.25 Z0д=0.76+j3.74	СЕТЬ: ЗИМА	ZCA=54.75 74 ZAB(B)=54.75 74
ЧУВСТВИТЕЛЬН в шин ПС Ур- шель на ВЛ-220 кВ Родники- Елецкая- Уршель	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ РВТ УТР	44.0 22.5 80 -15 125 20.0 10.2 0.10	0.93 10.35 KЧзр= 0.93 13.51	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 132 Предварительно!	ОТКЛ 26-27 СЕТЬ: ЗИМА Отключен В-220 на ПС Родники	ZAB=48.58 77 Ip=1351 -81
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 120.0 T=4.5с ТТ% 8 ФМЧ 80 защита 201 ЭПЗ-1636 (23-1021) ВЛ-220кВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ УРШЕЛЬ	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	91.9 47.4 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 26 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Kт=1.000 Zр=110.04 80	СЕТЬ: ЛЕТО	ZAB=10.85 74 ZAB(B)=10.85 74
	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	88.8 45.8 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 26 Z1д=0.61+j2.77 Z0д=1.69+j8.30		ZCA=109.50 74 ZAB(B)=109.50 74
	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	91.9 47.4 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 26 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки поKт=1.00 Zр=110.04 80	СЕТЬ: ЗИМА	ZAB=10.85 74 ZAB(B)=10.85 74
	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	89.3 46.0 80 -15 125	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 26 Z1д=0.91+j4.08 Z0д=2.49+j12.25		ZCA=109.63 75 ZAB(B)=109.63 75

Принято : $Z_{сз} = 90 \text{ Ом}, t_{сз} = 5.0/5.5\text{с}$

$t_1 - 5.0 \text{ с}$ – на отключение В-220 кВ 2АТ

$t_2 - 5.5 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

$$Z_{вт} = \frac{Z_{сз} \times K_{тт}}{K_{тн}} = \frac{90.0 \times 1000 / 1}{2200} = 40.90 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{сз} = Z_{сз} \times \sin \varphi_1 = 90.0 \times 0.985 = 88.6 \text{ Ом (перв.) } X_{сз} = 40.3 \text{ Ом (втор.)}$$

$$R_{сз} = 0.5 \times Z_{сз} = 0.5 \times 90.0 = 45.0 \text{ Ом (перв.) } R_{сз} = 20.5 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 80^\circ, \varphi_2 = -15^\circ, \varphi_3 = 125^\circ$

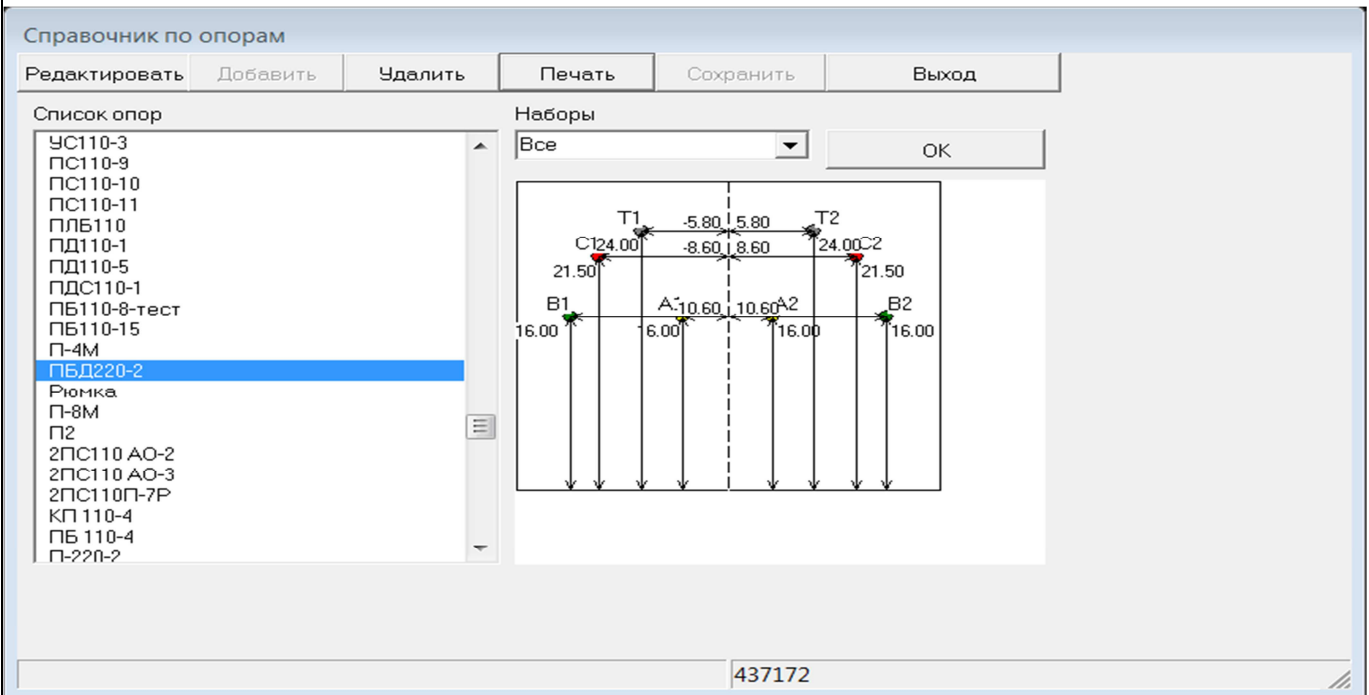
Определение переходного сопротивления дуги - R_d .

Расчет выполнен на основании методики, изложенной в РУ (выпуск 10) и с помощью РМ СРЗА.
ВЛ-220 кВ Родники-Елецкая-Уршель

Каскад у шин ПС Уршель на ВЛ-220 Родники-Елецкая-Уршель при отключенном
 линейном В-220 ПС Родники

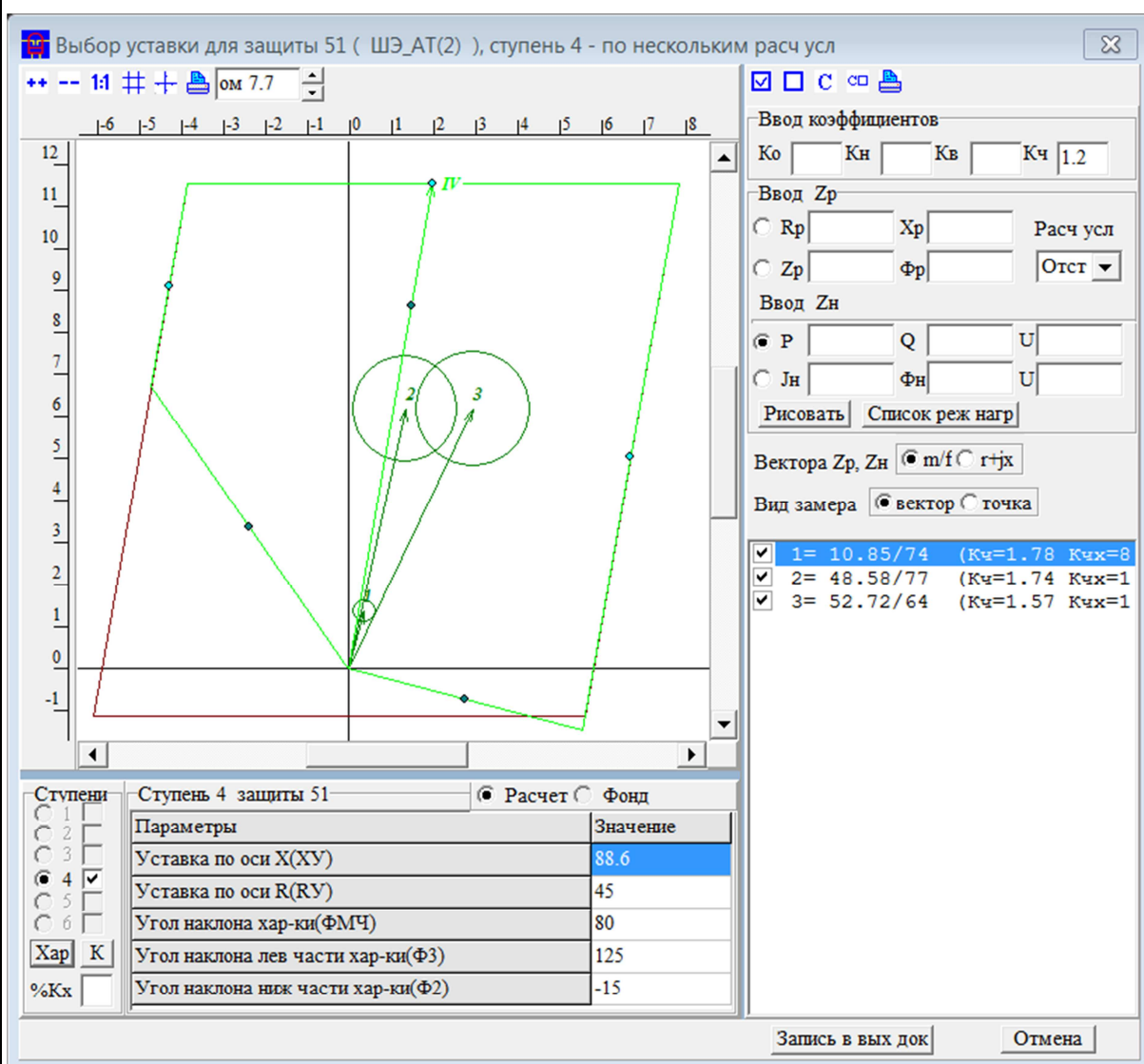
ЗАДАНИЕ Рдуги СЕТЬ-ЛЕТО $IK(3)=1514$
 ФОРМУЛА $\#LD=N*LM\Phi$ $\#ID=1.73*IK$ ЗНАЧЕНИЕ $LM\Phi=7.85$
 ЗНАЧЕНИЕ $N=4$ ФОРМУЛА $R_{ПЕР}=(1050*LD)/ID$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
 $R_{ПЕР} \quad 12.51/0.000$ - на фазу
 (К расчету 2-х фазного КЗ принято, $R_d=25$ Ом)



ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин ПС Родни- ки на ВЛ-220 кВ Родники- Елецкая- Уршель	XУ	88.6	8.51	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 26-27	ZAB=10.85 74
	РУ	45.0	36.66	УЗЕЛ-КЗ 26	СЕТЬ: ЗИМА	Ip=2435 -83
	ФМЧ	80	КЧзр=			Графика
	Ф2	-15	1.78			Вектор1
	Ф3	125				
	ХВТ	40.3				
	РВТ	20.5				
	УТР	0.10	24.35			
	XУ	88.6	8.51	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 26-27	ZAB=10.85 74
	РУ	45.0	36.66	УЗЕЛ-КЗ 26	СЕТЬ: ЛЕТО	Ip=2275 -83
	ФМЧ	80	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.78			
	Ф3	125				
	ХВТ	40.3				
	РВТ	20.5				
	УТР	0.10	22.75			

ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин 220 кВ ПС Уршель после отключе- ния В-220 ПС Родники	XУ	88.6	1.87	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 26-27	ZCA=48.58 77
	RY	45.0	20.71	УЗЕЛ-КЗ 132	ОТКЛ 132-1077 134-140	Ip=1312 39 Графика Вектор 2
	ФМЧ	80	КЧзр=		СЕТЬ: ЛЕТО	
	Ф2	-15	1.74			
	Ф3	125				
	XBT	40.3				
	RBT	20.5				
	JTP	0.10	13.12			
	XУ	88.6	1.87	ВИД-КЗ ВС(25.0 0)	ОТКЛ 26-27	ZBC=52.72 64
	RY	45.0	3.07	УЗЕЛ-КЗ 132	ОТКЛ 132-1077 134-140	IB=1272 -163 Графика Вектор 3
	ФМЧ	80	КЧзр=		То же через переходное Рдуги	
	Ф2	-15	1.57			
	Ф3	125				
	XBT	40.3				
	RBT	20.5				
	JTP	0.10	12.72			



ПРИМЕЧАНИЕ. Из-за достаточной чувствительности 4ступени ДЗ в зоне дальнего резервирования 5 ступень ДЗ - можно не использовать.

Расчет устройства блокировки при качаниях (БК).

Пусковой орган **БК** выполнен от **чувствительного** и **грубого** реле, контролирующих скорость изменения во времени векторов тока обратной DI_2 и прямой DI_1 последовательностей.

Реле **БК** по принципу действия отстроены от небаланса по току обратной последовательности при номинальном токе. Поэтому единственное условие выбора уставок – это обеспечение чувствительности к 2-х и 2-х фазным КЗ на землю в основной зоне и в зоне резервирования.

$$DI_{2\text{чув}} \leq \frac{I_{2\text{к}}^{(2)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{757}{1.2 \times 1000/1} = 0.63 \text{ А},$$

$$DI_{2\text{груб}} \leq \frac{I_{2\text{к}}^{(2)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{1117}{1.5 \times 1000/1} = 0.75 \text{ А};$$

где: $I_{2\text{к}}^{(2)} = 757$ А - 2-х фазное КЗ в зоне резервирования – в каскаде у шин ПС Уршель на ВЛ-220 Родники-Елецкая-Уршель после отключения В-220 ПС Родники, **СЕТЬ: ЛЕТО**.

$I_{2\text{к}}^{(2)} = 1117$ А – 2-х фазное КЗ в основной зоне – на шинах 110 кВ ПС Елецкая **СЕТЬ: ЛЕТО**

Принято: $DI_{2\text{чув}} = 0.1 \text{ А (втор.)}$ $DI_{2\text{груб}} = 0.3 \text{ А (втор.)}$

$$DI_{1\text{чув}} \leq \frac{I_{1\text{к}}^{(1.1)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{981}{1.2 \times 1000/1} = 0.817 \text{ А},$$

$$DI_{1\text{груб}} \leq \frac{I_{1\text{к}}^{(1.1)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{1631}{1.5 \times 1000/1} = 1.087 \text{ А};$$

где: $I_{1\text{к}}^{(1.1)} = 981$ А - 2-х фазное КЗ на землю в зоне резервирования – в каскаде у шин ПС Уршель на ВЛ-220 Родники-Елецкая-Уршель после отключения В-220 ПС Родники, **СЕТЬ: ЛЕТО**.

$I_{1\text{к}}^{(1.1)} = 1631$ А – 2-х фазное КЗ на землю в основной зоне – на шинах 110 кВ ПС Елецкая, **СЕТЬ: ЛЕТО**.

Принято: $DI_{1\text{чув}} = 0.2 \text{ А втор.}$ $DI_{1\text{груб}} = 0.6 \text{ А втор.}$

Время ввода быстродействующих ступеней – 0.4 с

Время ввода медленнодействующих ступеней – 8.0 с

Направленная защита от замыканий на землю

1 ступень-направлена в АТ

Включение ШЭ2607 072: - на встроенные в АТ ТТ-220 кВ, $K_{ТТ} = 1000/1$,
по цепям напряжения - на ТН-220 кВ, $K_{ТН} = 2200/\sqrt{3}$.

Защита 51

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от шин 110 кВ ПС Елецкая	УСТ	1836	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=1412 -80 3U0=76.58 180
	УСТ	2107	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=1621 99 3U0=87.90 -1
	УСТ	2104	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=1619 -80 3U0=87.50 -180
	УСТ	2268	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=1745 99 3U0=94.31 -1
	УСТ	2960	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=2277 -80 3U0=72.52 179
	УСТ	3196	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=2459 98 3U0=78.31 -3

Принято: 3200 А(перв) $t_{сз} = 0.2$ с – на отключение всего АТ

$$i_{ВТ} = \frac{3200}{1000/1} = 3.2 \text{ А(втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН К КЗ на вво-дах 220кВ 2АТ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	3200	1.58	ВИД-КЗ А0 23-20,0.000	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=5051 -78 3U0=157.33 -178
	УСТ	3200	1.46	ВИД-КЗ АВ0 23-20,0.000		3I0=4658 -139 3U0=145.08 121
	УСТ	3200	1.48	ВИД-КЗ А0 23-20,0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=4731 -78 3U0=147.79 -178
	УСТ	3200	1.41	ВИД-КЗ АВ0 23-20,0.000		3I0=4524 -139 3U0=141.32 121

Направленная защита от замыканий на землю

2 ступень-направлена в АТ

Защита 51

Ветвь 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 10000 Т=0.03 защита 31 ТЗНП (16-13)	УСТ	1055	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕРР 3/16 16-13,0.462 (Лотн_лин=0.462)	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=959 -75 3U0=51.96 -175 3I0(В)=9999 -79 3U0(В)=35.73 -173

ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	1601	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.413 (Lотн_лин=0.413)	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая Согл только по t - на ВЛ – ТУ+ВЧ	3I0=1456 -77 3U0=46.43 -178 3I0(Б)=9998 -79 3U0(Б)=38.31 - 173
СОГЛАСОВАНИЕ со 2 СТУПЕНЬЮ 7000 Т=1.00 защита 31 ТЗНП (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	1318	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.661 (Lотн_лин=0.661)	ЭЛ 6 21 СЕТЬ: ЗИМА Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=1199 -76 3U0=38.29 -176 3I0(Б)=6999 -78 3U0(Б)=31.57 - 172
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 5500 Т=0.1с защита 271 ТЗНП (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	УСТ	451	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 27/16 29-1033,0.737	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=410 -75 3U0=21.59 -171 3I0(Б)=5500 -76 3U0(Б)=14.99 - 170
	УСТ	450	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 27/16 1033-1032,0.137		3I0=409 -75 3U0=21.64 -171 3I0(Б)=5500 -76 3U0(Б)=15.01 - 169
	УСТ	915	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 27/16 1033-1193,0.353	ЭЛ 21 6 3 4 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая, ВЛ-110 кВ Елецкая- Южная 1,2	3I0=832 -75 3U0=28.37 -173 3I0(Б)=5500 -77 3U0(Б)=22.83 - 170

Принято: 1100 А (перв) $t_{с3} = 0.5/1/1.5с$ –

t_1 - 0.5с – на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

t_2 - 1.0с – на отключение ввода 110 кВ 2АТ

t_3 - 1.5с - на отключение всего АТ

1100 А, $t_{с3} = 0.2с$ – на отключение всего АТ

t - 0.2с - вводится логическое ускорение при срабатывании 2 ступени ТЗНП смежной стороны(110 кВ) или отключенном выключателе АТ смежной стороны, и отсутствии сигнала срабатывания РНМП обратной направленности.

$$i_{вТ} = \frac{1100}{1000/1} = 1.1 \text{ А(втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН на шинах 110 кВ ПС Елецкая	УСТ	1100	1.47	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=1619 -80 3U0=87.50 -180
	УСТ	1100	1.59	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=1745 -141 3U0=94.31 119
	УСТ	1100	1.28	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=1412 -80 3U0=76.58 180
	УСТ	1100	1.47	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=1621 -141 3U0=87.90 119
	УСТ	1100	1.18	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	ЭЛ 22 Отключ 5АТ 500/220 кВ ПС	3I0=1302 -80 3U0=74.85 -180
	УСТ	1100	1.38	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17	Родники	3I0=1518 -141 3U0=87.26 119

Реле направления мощности РНМП прямой направленности.

1. Ток срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии:

$$I_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \times \frac{I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}}{K_{\text{тТ}}} = \frac{1.25}{0.9} \times \frac{0.05 \times 628 + 0.05 \times 628}{1000/1} = 0.087 \text{ А (втор)}$$

Принято: $I_{0\text{ср}} = 0.1 \text{ А (втор)}$

2. Напряжение срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного напряжения небаланса в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии в системе:

$$U_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \times (U_{0\text{нб}} + 3U_{0\text{н.р}}) = \frac{1.25}{0.9} \times (2.0 + 0) = 2.78 \text{ В (втор)},$$

где $U_{0\text{нб}} = (1.5 - 2.0) \text{ В}$ - рекомендуемое значение НИИ «Энергосетьпроект» Москва. 1985 г.

Принято: $U_{0\text{ср}} = 3.0 \text{ В (втор)}$

Чувствительность реле направления мощности прямой направленности при КЗ на шинах 110 кВ ПС Елецкая

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ КтТ=1000/1 Ктн=2200/1.73	ICP	0.10	13.91	ВИД-КЗ А0	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=1412 -80
	UCP	3.0	19.77	УЗЕЛ-КЗ 17		3U0=76.58 180
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ICP	0.10	15.96	ВИД-КЗ АВ0		3I0=1621 -141
	UCP	3.0	22.69	УЗЕЛ-КЗ 17		3U0=87.90 119
		ФМЧ	250			
		ZK	0.0			
		ICP	0.10	10.94	ВИД-КЗ А0(0 1)	3I0=1110 -82
		UCP	3.0	15.54	УЗЕЛ-КЗ 17	3U0=60.21 178
		ФМЧ	250			
		ZK	0.0			

Направленная защита от замыканий на землю
3 ступень-направлена в сеть 220 кВ.

Защита 51

Ветвь- 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины	
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 2500 T=0.10 защита 201 ТЗНП (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	2750	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 20/23 1648-24,0.798	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=2500 -85 3U0=100.04 -176 3I0(Б)=2500 -85 3U0(Б)=100.04 - 176	
	<p>Принято: 2750 А (перв) $t_{сз} = 0.5/1.0с-$</p> <p>$t_1 - 0.5с$ – на отключение В-220 кВ 2АТ</p> <p>$t_2 - 1.0с$ – на отключение всего АТ</p> $i_{ВТ} = \frac{2750}{1000/1} = 2.75 \text{ А(втор)}$						
	ЧУВСТВИТЕЛЬН к КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	2750	1.43	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=3925 -87 3U0=157.33 -178
		УСТ	2750	1.32	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=3620 -148 3U0=145.08 121
УСТ		2750	1.34	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=3673 -87 3U0=147.79 -178	
УСТ		2750	1.28	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=3513 -148 3U0=141.32 121	

Направленная защита от замыканий на землю
4 ступень-направлена в сеть 220 кВ.

Защита 51

Ветвь- 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 900 T=1.00 защита 201 ТЗНП (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	990	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 20/23 26-132,0.016	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=900 -82 3U0=40.23 -172 3I0(Б)=900 -82 3U0(Б)=40.23 - 172

Принято: 1000 А (перв) $t_{сз} = 1.5/2.0с-$

$t_1 - 1.5 с -$ на отключение В-220 кВ 2АТ

$t_2 - 2.0 с -$ на отключение всего АТ

$$i_{вТ} = \frac{1000}{1000/1} = 1.0 \text{ А(втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин 220 кВ ПС Родники на ВЛ-220 Родники- Елецкая- Уршель	УСТ	1000	3.09	ВИД-КЗ А0 27-26 УЗК=К	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=3091 -83 3U0=94.19 -174
	УСТ	1000	2.84	ВИД-КЗ АВ0 27-26 УЗК=К		3I0=2836 -144 3U0=86.44 125
	УСТ	1000	2.83	ВИД-КЗ А0 27-26 УЗК=К	ЭЛ 518 519 3 4 Отключены ВЛ-110 кВ	3I0=2829 -83 3U0=103.87 -174
	УСТ	1000	2.62	ВИД-КЗ АВ0 27-26 УЗК=К	Елецкая- Южная1,2,Т1,Т2 ПС Елецкая	3I0=2617 -145 3U0=96.07 125

**Направленная защита от замыканий на землю
5 ступень-направлена в сеть 220 кВ.**

Защита 51

Ветвь- 23-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 300 Т=2.00 защита 201 ТЗНП (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	330	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 27 Защ В работает Iкз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=1.00	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=1033 -83 3U0=46.18 -173 3I0(Б)=1033 -83 3U0(Б)=46.18 - 173
	УСТ	330	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 27 Z1д=2.13+j9.61 Z0д=5.87+j28.82		3I0=300 -78 3U0=13.41 -168 3I0(Б)=300 -78 3U0(Б)=13.41 - 168

Принято: 330 А (перв) $t_{сз} = 3.0/3.5с-$

$t_1 - 3.0 с -$ на отключение В-220 кВ 2АТ

$t_2 - 3.5 с -$ на отключение всего АТ

$$i_{вТ} = \frac{330}{1000/1} = 0.33 \text{ А (втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин 220 кВ ПС УРШЕЛЬ	УСТ	330	0.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 132	ОТКЛ 134-132 132-1077	3I0=100 -77 3U0=4.49 -167
	УСТ	330	0.23	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 132	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=75 -137 3U0=3.35 133
	УСТ	330	3.55	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 132	ОТКЛ 134-132 132-1077 26-27 После отключ.	3I0=1173 -81 3U0=35.75 -172
	УСТ	330	2.90	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 132	В-220 кВ ПС Родники	3I0=957 -141 3U0=29.17 128

Реле направления мощности РНМП обратной направленности.

1. Ток срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии:

$$I_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \times \frac{I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}}{K_{\text{тт}}} = \frac{1.25}{0.9} \times \frac{0.05 \times 628 + 0.05 \times 628}{1000/1} = 0.087 \text{ А (втор)}$$

Принято: $I_{0\text{ср}} = 0.1 \text{ А втор}$

2. Напряжение срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного напряжения небаланса в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии в системе:

$$U_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \times (U_{0\text{нб}} + 3U_{0\text{н.р}}) = \frac{1.25}{0.9} \times (2.0 + 0) = 2.78 \text{ В(втор)},$$

где $U_{0\text{нб}} = (1.5-2.0) \text{ В}$ - рекомендуемое значение НИИ «Энергосетьпроект» Москва. 1985 г.

Принято: $U_{0\text{ср}} = 3.0 \text{ В(втор)}$

Чувствительность реле направления мощности обратной направленности в зоне резервирования - в каскаде у шин 220 кВ ПС Уршель.

ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ Ктт=1000/1 Ктн=2200/1.73	ICP	0.10	-0.95	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 132-1077 134-132 СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=100 -77	
	UCP	3.0	-1.11	УЗЕЛ-КЗ 132		3U0=4.49 -167	
	ФМЧ	70					
	ZK	0.0					
	ICP	0.10	-0.71	ВИД-КЗ ВС0			3I0=75 103
	UCP	3.0	-0.83	УЗЕЛ-КЗ 132			3U0=3.35 13
	ФМЧ	70					
	ZK	0.0					
	ICP	0.10	-11.1	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 132-1077 134-132 26-27 После отключе- ния В-220 кВ ПС	3I0=1173 -81	
	UCP	3.0	-8.84	УЗЕЛ-КЗ 132		3U0=35.75 -172	
	ФМЧ	70					
	ZK	0.0					
ICP	0.10	-9.03	ВИД-КЗ ВС0	Родники	3I0=957 99		
UCP	3.0	-7.21	УЗЕЛ-КЗ 132		3U0=29.17 8		
ФМЧ	70						
ZK	0.0						
ICP	0.10	-3.14	ВИД-КЗ А0(0 290)	ОТКЛ 132-1077 134-132 26-27	3I0=332 -87		
UCP	3.0	-2.51	УЗЕЛ-КЗ 132		3U0=10.13 -178		
ФМЧ	70						
ZK	0.0						

ПРИМЕЧАНИЕ. 6 ступень ТЗНП - не используется, т.к. обеспечить чувствительность у ПС Уршель до отключения В-220 на ПС Родники не представляется возможным, - ток КЗ при этом очень мал - 100 А (перв) - реле мощности не обеспечит чувствительность защиты.

2 АТ 250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ сторона 110 кВ
ШЭ2607 072(версия 072_200) ООО НПП «ЭКРА»

Включение ШЭ2607 072 по току-на встроенные в АТ ТТ-110 кВ, $K_{ТТ} = 2000/1$.
по напряжению - на ТН-110 кВ, $K_{ТН} = 110000/100$

Междуфазная токовая отсечка.

Включение МФТО - на разность фазных токов I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} .

Защита 52

Ветвь 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС Елецкая	УСТ	11009	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	IAB=9174 -88
	УСТ	10675	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	ЭЛ 6- отключ. 1АТ ПС Елецкая	IAB=8896 -87
	УСТ	9257	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО-	IAB=7714 -88
ОТСТРОЙКА от КЗ на шинах 110 кВ ПС Елецкая	УСТ	9623	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЗИМА	IAB=8019 93
	УСТ	10517	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	ЭЛ 6 отключ.1АТ ПС Елецкая	IAB=8764 92
	УСТ	8948	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЛЕТО	IBC=7456 -27
ОТСТРОЙКА от КЗ на стороне НН 2АТ ПС Елецкая	УСТ	7665	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 21	СЕТЬ: ЗИМА	IBC=6388 154
<p>Принято: $I_{сз} = 11400$ А (перв), $t_{сз} = 0.2$ с - на отключение всего АТ</p> <p>$\frac{114000}{2000/1} = 3.8$ А (втор)</p>						
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на вводах 110 кВ 2АТ	УСТ	11400	2.14	ВИД-КЗ ВС, АВС 17-20, 0.000	СЕТЬ: ЗИМА	IBC=24357 -169 Ip=24357 -169
	КСХ	1.00				
	РТ					
	УСТ	11400	1.7	ВИД-КЗ ВС, АВС 17-20, 0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	IBC=19365 -169 Ip=19365 -169
	КСХ	1.00				
	РТ					

Максимальная токовая защита.

**МТЗ применяется для резервирования основной и резервных защит АТ.
Исполнение защиты: 3-х фазное 3-х релейное,
пуск по напряжению - не используется для повышения надежности ре-
зервных функций защиты.**

Защита 52

Ветвь 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ ХУ=31.0 *) RУ=17.0 T=2.5/3/3.5 с ТТ% 8 ФМЧ 65 Ф2 -15 Ф3 115 защита 52 ШЭ2607 072 2АТ сторона 110 кВ (17-20)- АТ-2 250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	1846	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 17 Z1д=0.00+j6.27 Z0д=0.00+j6.27	СЕТЬ: ЗИМА	IA=1678 87 ZCA(Б)=27.33 96
	УСТ	1784	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 17 Z1д=0.00+j7.12 Z0д=0.00+j7.12	СЕТЬ: ЛЕТО	IB=1622 148 ZAB(Б)=27.74 96
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ ХУ=29.5 **) RУ=15.0 T=5/5.5 с ТТ% 8 ФМЧ 80 Ф2 15 Ф3 165 защита 52 ШЭ2607 072 2АТ сторона 110 кВ (17-20) АТ-2 250 МВА ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	2100	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 23 Z1д=0.00+j20.03 Z0д=0.00+j20.03	СЕТЬ: ЛЕТО	IC=1909 26 ZAB(Б)=27.24 96 -- IA=1909 -94 IA(Б)=1909 -94
	УСТ	2243	1.10	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 23 Z1д=0.00+j21.28 Z0д=0.00+j21.28	СЕТЬ: ЗИМА	IA=2039 -94 ZAB(Б)=27.25 96 --- IA=2039 -94 IA(Б)=2039 -94
СОГЛАСОВАНИЕ со 2 СТУПЕНЬЮ 900 А T=1.0с защита 201 ТЗНП (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	1075	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 26 Z1д=0.129+j0.579 Z0д=0.35+j1.74	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=977 -81 3I0(Б)=901 -82 3U0(Б)=40.28 - 172
	УСТ	1428	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 26 Z1д=0.23+j1.02 Z0д=0.62+j3.06	СЕТЬ: ЗИМА	IA=1298 -81 3I0(Б)=900 -81 3U0(Б)=40.03 - 172
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 1500 T=2.50 защита 31 ТЗНП	УСТ	1743	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.11+j2.70 Z0д=2.54+j8.47	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=1585 102 3I0(Б)=1500 -72 3U0(Б)=10.20 - 165

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
(16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	1615	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.17+j2.84 Z0д=2.67+j8.89	СЕТЬ: ЗИМА	IA=1468 102 3I0(Б)=1500 -71 3U0(Б)=10.19 - 165
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 1700 Т=1.50 защита 281 ТЗНП (17-1194) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- 1,2	УСТ	1380	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1651-30,0.027	СЕТЬ: ЛЕТО	IA=1254 -74 3I0(Б)=1700 -77 3U0(Б)=6.47 - 167
	УСТ	1385	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 38-1933,0.000		IA=1259 -73 3I0(Б)=664 -71 3U0(Б)=4.66 - 164
	УСТ	1208	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1933-1651,0.952	СЕТЬ: ЗИМА	IA=1098 -72 3I0(Б)=1700 -76 3U0(Б)=6.68 - 166
ОТСТРОЙКА от тока нагрузки	УСТ	2384		Јном АТ=1192 А- для расчетного запаса Јнагр АТ=633А- данные СЭР	КН=1.20 КВРТ=0.90 КСАМ=1.5 ЈН=1192 А	
<p>Принято: $I_{сз} = 2400$ А (перв), $t_{сз} = 5.5$ с - на отключение всего АТ</p> $\frac{2400}{2000/1} = 1.2 \text{ А (втор)}$						
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	2400	1.91	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IC=4591 1
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 23		Ip=4591 1
	РТ	АВС				
	УСТ	2400	1.61	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЛЕТО	IC=3861 1
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 23		Ip=3861 1
	РТ	АВС				
	УСТ	2400	1.49	ВИД-КЗ ВС	ЭЛ 3 27	IC=3573 2
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 23	Откл. ВЛ-110кВ	Ip=3573 2
	РТ	АВС			Елецкая-Южная- 1ц, Родники - Елецкая 1ц	
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на шинах 110 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	2400	1.56	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЛЕТО	IB=3732 2
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 17		Ip=3732 2
	РТ	АВС				
	УСТ	2400	1.67	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЗИМА	IB=4013 2
	КСХ	1.00		УЗЕЛ-КЗ 17		Ip=4013 2
	РТ	АВС				

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИТЕЛЬН при КЗ на шинах НН 2АТ ПС ЕЛЕЦКАЯ Опробование 2АТ со стороны 110 кВ	УСТ	2400	1.54	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21		ИС=3688 4 (формула) I _p =3688 4
	КСХ	1.00				
	РТ	АВС				
	УСТ	2400	1.43	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21	СЕТЬ: ЛЕТО	ИС=3430 5 (формула) I _p =3430 5
	КСХ	1.00				
	РТ	АВС				
	УСТ	2400	1.21	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21	ОТКЛ 16-17 Откл. ШСВ-110кВ ПС Елецкая	ИС=2892 8 (формула) I _p =2892 8
КСХ	1.00					
РТ	АВС					
УСТ	2400	0.29	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 3000 РЕАКТОР-НН 2АТ	ПОДК 21-3000 ТИП=0 R1=0 X1=0.45	ИС=702 2 (формула) I _p =702 2	
КСХ	1.00					
РТ	АВС					
УСТ	2400	1.81	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21	ОТКЛ 23-20 СЕТЬ: ЗИМА	ИС=4338 3 (формула) I _p =4338 3	
КСХ	1.00					
РТ	АВС					
УСТ	2400	1.72	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21	ОТКЛ 23-20 СЕТЬ: ЛЕТО	ИС=4138 3 (формула) I _p =4138 3	
КСХ	1.00					
РТ	АВС					
УСТ	2400	1.59	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 21	ОТКЛ 16-17 ОТКЛ 23-20 Откл. ШСВ-110кВ ПС Елецкая	ИС=3807 5 (формула) I _p =3807 5	
КСХ	1.00					
РТ	АВС					

ПРИМЕЧАНИЯ.

1.*) и **) Согласование выполнялось с наиболее чувствительными резервными ступенями ДЗ стороны 110кВ, направленными в сеть 110 и 220 кВ. В данном конкретном случае это оказалось возможным, поскольку эти условия не стали определяющими при выборе уставки МТЗ.

Если следовать «Рекомендациям» (См. выше), то правильнее проводить согласование с наиболее чувствительными ступенями ДЗ присоединений 110 и 220 кВ. Такое согласование не приводит к дополнительному заглублению уставки МТЗ.

2). МТЗ отстроена за трансформаторами 1Т, 2Т ПС Елецкая, согласована с МТЗ НН 2АТ и с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.

Дистанционная защита 1 ступень-направлена в АТ

Включение ШЭ2607 072: по току - на встроенные в АТ ТТ-110 кВ, $K_{ТТ} = 2000/1$, по напряжению - на ТН-110 кВ 2Ш, $K_{ТН} = 110000/100$.

Защита 52	K _{ТТ} =2000/1		K _{ТН} =1100		Ветвь	17-20
Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	ХУ	5.21	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 23		ZСА=6.13 90 Графика
	РУ	2.69				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	125				

Принято: $Z_{c3} = 5.3 \text{ Ом}$, $t_{c3} = 0.2 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

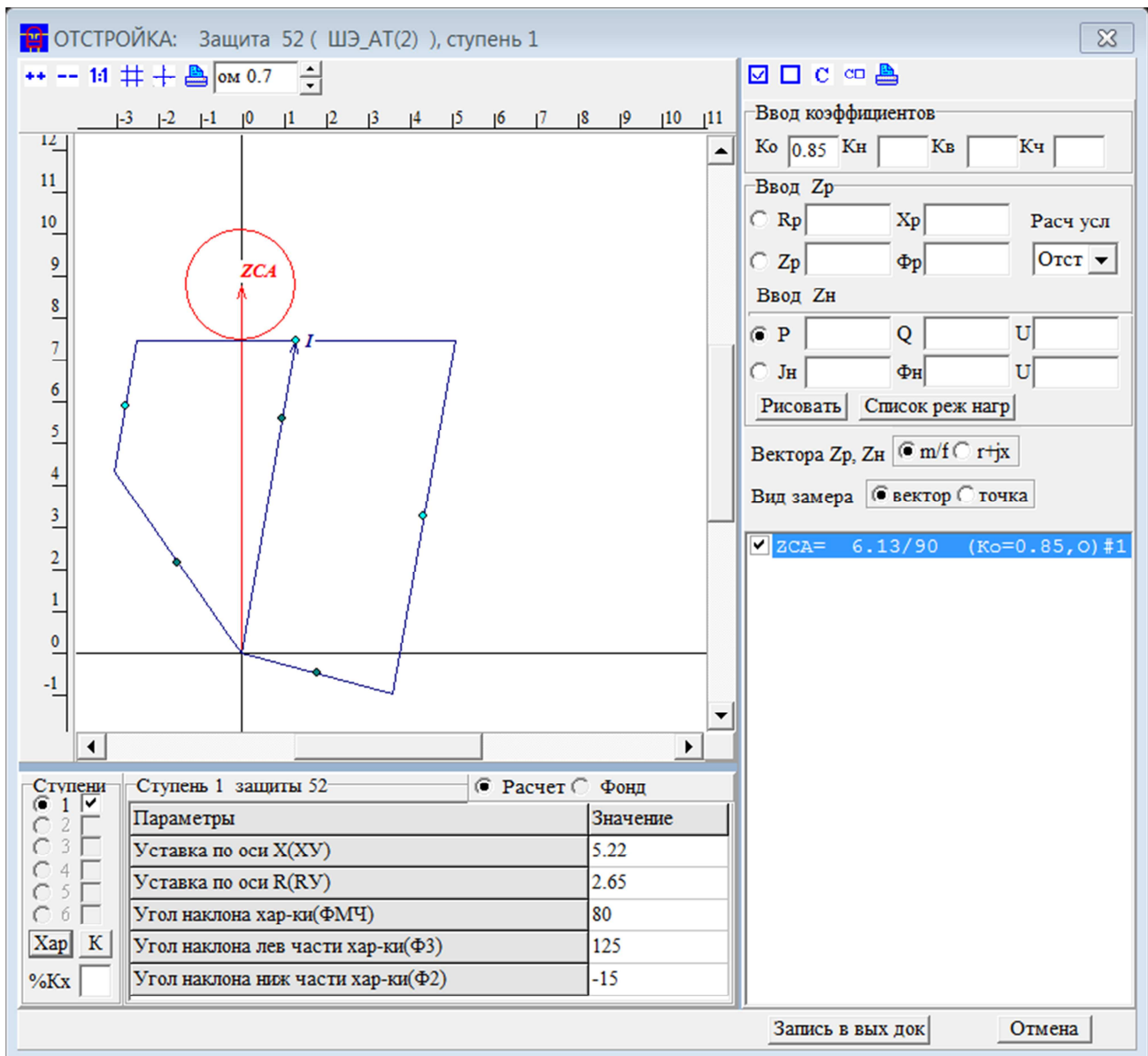
$$Z_{вТ} = \frac{Z_{c3} \times K_{тТ}}{K_{тН}} = \frac{5.3 \times 2000 / 1}{1100} = 9.63 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{c3} = Z_{c3} \times \sin \varphi_1 = 5.3 \times 0.985 = 5.22 \text{ Ом (перв.) } X_{c3} = 9.49 \text{ Ом (втор.)}$$

$$R_{c3} = 0.5 \times Z_{c3} = 0.5 \times 5.3 = 2.65 \text{ Ом (перв.) } R_{c3} = 4.82 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 80^\circ$, $\varphi_2 = -15^\circ$, $\varphi_3 = 125^\circ$



Дистанционная защита
2 ступень - направлена в АТ

Защита 52Ктт=2000/1

Ктн=1100

Ветвь 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины	
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 120.0 T=4.50 ТТ% 8 ФМЧ 80 защита 201 ЭПЗ-1636 (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	XУ	29.4	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 27 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Кт=1.053 Zр=35.16 80	СЕТЬ: ЛЕТО (Летний мини- мум)	ZAB=9.06 85 ZAB(Б)=10.85 74	
	РУ	15.1					
	ФМЧ	80					
	Ф2	-15					
		Ф3	125				
		XУ	29.8	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 27 Z1д=0.61+j2.77 Z0д=1.69+j8.30		ZCA=36.27 77 ZAB(Б)=109.50 74
	РУ	15.4					
	ФМЧ	80					
	Ф2	-15					
		Ф3	125				
		XУ	29.4	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 27 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Кт=1.053 Zр=35.16 80	СЕТЬ: ЗИМА (Максимальный режим)	ZAB=9.06 85 ZAB(Б)=10.85 74
	РУ	15.1					
ФМЧ	80						
Ф2	-15						
	Ф3	125					
	XУ	30.0	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗ-КЗ_X 27 Z1д=0.91+j4.08 Z0д=2.49+j12.25		ZCA=36.32 77 ZAB(Б)=109.63 75	
РУ	15.5						
ФМЧ	80						
Ф2	-15						
	Ф3	125					
ОТСТРОЙКА от тока нагруз- ки	XУ	32.9	1.26	В действитель- ности- перетока в сеть 220 кВ - нет	КН=1.20 КВРТ=1.05 JH=1193UMIN=104 ФН=55	ZH=50.33 55	
	РУ	16.9					
	ФМЧ	80					
	Ф2	-15					
	Ф3	125					

Принято: $Z_{сз} = 30 \text{ Ом}, t_{сз} = 5.0/5.5 \text{ с}$

t_1 - 5.0 с – на отключение В-220 кВ 2АТ

t_2 - 5.5с - на отключение всего АТ

$Z_{сз} = 30 \text{ Ом}, t_{сз} = 0.2 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

t - 0.2 с- вводится логическое ускорение при срабатывании 2 ступени ДЗ смежной стороны(220 кВ) или отключенном выключателе АТ смежной стороны, и отсутствии сигнала срабатывания 3 ступени ДЗ(110 кВ).

$$Z_{вт} = \frac{Z_{сз} \times K_{тт}}{K_{тн}} = \frac{30 \times 2000/1}{1100} = 54.5 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{с3} = Z_{с3} \times \sin \varphi_1 = 30.0 \times 0.985 = 29.5 \text{ Ом (перв.) } X_{с3} = 53.7 \text{ Ом (втор.)}$$

$$R_{с3} = 0.5 \times Z_{с3} = 0.5 \times 30.0 = 15.0 \text{ Ом (перв.) } R_{с3} = 27.3 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1=80^\circ, \varphi_2=-15^\circ, \varphi_3=125^\circ$

Определение переходного сопротивления дуги $-R_d$.

Расчет выполнен на основании методики, изложенной в РУ (выпуск 10) и с помощью АРМ СРЗА.

ВЛ-220 кВ Родники-Елецкая-Уршель

Каскад у шин ПС Уршель на ВЛ-220 Родники-Елецкая-Уршель при отключенном линейном В-220 ПС Родники

ЗАДАНИЕ - Rдуги ВЛ-220 Р-Е-У СЕТЬ-NORM ЗНАЧЕНИЕ $IK(3)=1514$

ФОРМУЛА $\#LD=N*LM\Phi$ $\#ID=1.73*IK$ ЗНАЧЕНИЕ $LM\Phi=7.85$

ЗНАЧЕНИЕ $N=4$ ФОРМУЛА $R_{ПЕР}=(1050*LD)/ID$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$R_{ПЕР} \quad 12.51/0.000$ - на фазу

(К расчету 2-х фазного КЗ, принято $R_d=25$ Ом)

Справочник по опорам

Редактировать Добавить Удалить Печать Сохранить Выход

Список опор

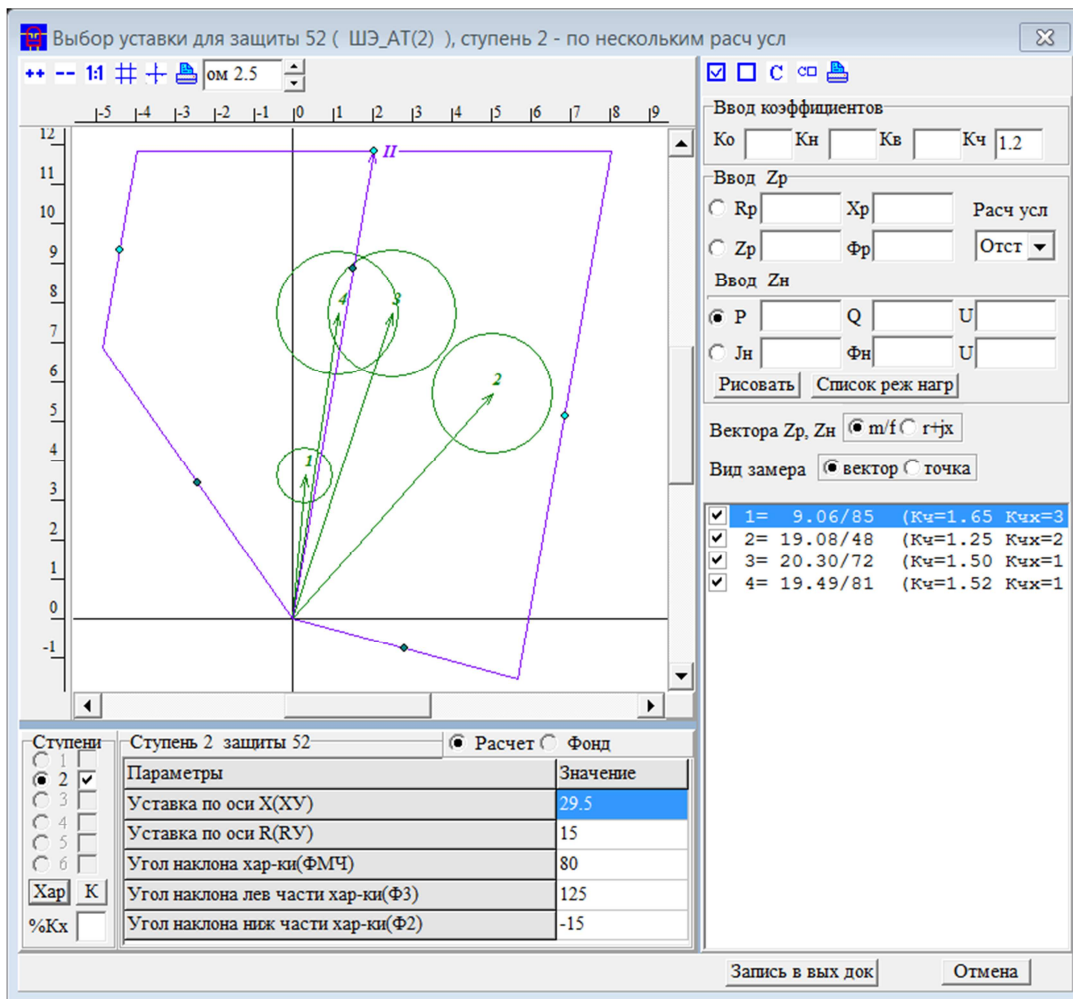
- УС110-3
- ПС110-9
- ПС110-10
- ПС110-11
- ПЛБ110
- ПД110-1
- ПД110-5
- ПДС110-1
- ПБ110-8-тест
- ПБ110-15
- П-4М
- ПБД220-2**
- Рюмка
- П-8М
- П2
- 2ПС110 АО-2
- 2ПС110 АО-3
- 2ПС110П-7Р
- КП 110-4
- ПБ 110-4
- П-220-2

Наборы

Все ОК

437172

ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин 220 кВ ПС УРШЕЛЬ	XУ	29.5	0.07	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 132-1077 140-134 СЕТЬ: ЛЕТО	ZAB=446.68 72 Ip=115 -73
	РУ	15.0	0.24	УЗЕЛ-КЗ 132		
	ФМЧ	80	KЧзр= 0.08			
	Ф2	-15				
	Ф3	125				
	XBT	53.6				
	RBT	27.3				
	УТР	0.10	0.57			
	XУ	29.5	1.53	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 26-27 ОТКЛ 132-1077 140-134 После отключе- ния В-220 ПС Родники	ZAB=19.49 81 Ip=2492 -81 Графика Вектор 4
	РУ	15.0	31.29	УЗЕЛ-КЗ 132		
	ФМЧ	80	KЧзр= 1.52			
	Ф2	-15				
	Ф3	125				
	XBT	53.6				
	RBT	27.3				
	УТР	0.10	12.46			
	XУ	29.5	1.53	ВИД-КЗ ВС(25 0)	ОТКЛ 26-27 ОТКЛ 132-1077 140-134 То же через переходное Рдуги	ZBC=20.30 72 IB=2416 -163 Графика Вектор 3
	РУ	15.0	5.03	УЗЕЛ-КЗ 132		
	ФМЧ	80	KЧзр= 1.50			
	Ф2	-15				
	Ф3	125				
	XBT	53.6				
	RBT	27.3				
	УТР	0.10	12.08			
ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин 220 кВ ПС РОДНИКИ	XУ	29.5	3.27	ВИД-КЗ АВС	ОТКЛ 26-27 СЕТЬ: ЛЕТО	ZAB=9.06 85 Ip=4322 37 Графика Вектор 1
	РУ	15.0	20.23	УЗЕЛ-КЗ 26		
	ФМЧ	80	KЧзр= 1.65			
	Ф2	-15				
	Ф3	125				
	XBT	53.6				
	RBT	27.3				
	УТР	0.10	21.61			
ЧУВСТВИТЕЛЬН на стороне НН 2АТ (до реакто- ра)	XУ	29.5	2.07	ВИД-КЗ ВС	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=19.08 48 (формула) IB=2969 -175 Графика Вектор 2
	РУ	15.0	1.47	УЗЕЛ-КЗ 21		
	ФМЧ	80	KЧзр= 1.25			
	Ф2	-15				
	Ф3	125				
	XBT	53.6				
	RBT	27.3				
	УТР	0.10	14.84			



Дистанционная защита
3 ступень - направлена в сеть 110 кВ

Защита 52	Ктт=2000/1		Ктн=1100		Ветвь -17-20	
Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ (17-20)- с 1 СТУПЕНЬЮ ХУ=2.27 RY=1.25 T=0.03 ТТ% 8 ФМЧ 65 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 -9 защита 31 ШЭ2607 011021 (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	ХУ	3.50	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,0.790 (Лотн_лин=0.790)	СЕТЬ: ЗИМА	ZCA=4.36 72 ZAB(B)=2.25 68
	RY	2.13				
	ФМЧ	65				
	Ф2	-15				
	ХУ	3.12	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,1.000 (Лотн_лин=1.000)	СЕТЬ: ЛЕТО	ZCA=3.90 72 ZAB(B)=2.85 68
RY	1.90					
ФМЧ	65					
Ф2	-15					
	ХУ	3.29	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,0.790 (Лотн_лин=0.790)	СЕТЬ: ЛЕТО	ZCA=4.11 72 ZCA(B)=2.25 68
RY	2.00					
ФМЧ	65					
Ф2	-15					
	Ф3	125				

	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	3.04 1.85 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,1.000 (Лотн_лин=1.000)		ZCA=3.82 71 ZCA(Б)=2.85 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	2.61 1.59 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,0.790 (Лотн_лин=0.790)	СЕТЬ: ЛЕТО ЭЛ 6 21	ZCA=3.23 73 ZAB(Б)=2.25 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	2.37 1.44 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 3/16 16-13,1.000 (Лотн_лин=1.000)	Отключены 1АТ 220/110 ПС Елецкая и ВЛ-220 кВ Родники- Елецкая	ZCA=2.94 73 ZAB(Б)=2.85 68 Графика вектор1
СОГЛАСОВАНИЕ (17-20)- с 1 СТУПЕНЬЮ 9.40 Т=0.10 ТТ% 8 ФМЧ 65 защита 271 ЭПЗ-1636 (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	19.4 11.8 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 29-1947,0.881	СЕТЬ: ЛЕТО	ZCA=24.53 70 ZAB(Б)=8.61 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	15.2 9.27 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 1650-29,0.339		ZCA=19.83 67 ZAB(Б)=8.61 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	11.2 6.81 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 37-1932,0.000		ZCA=14.94 64 ZAB(Б)=10.78 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	20.4 12.4 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 2024-2026,0.293		ZCA=25.78 70 ZAB(Б)=8.62 67
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	15.6 9.48 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 29-1947,0.846	ЭЛ 6 21	ZCA=19.51 71 ZCA(Б)=8.61 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	12.1 7.39 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 1650-29,0.339	Отключены 1АТ+ ВЛ-220 кВ Родники-Елецкая	ZCA=15.61 68 ZCA(Б)=8.61 68
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	8.61 5.24 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 27/16 37-1932,0.000		ZCA=11.37 65 ZCA(Б)=10.78 68

	ХУ	16.5	0.85	ВИД-КЗ АВС		ZCA=20.53 72
	РУ	10.0		ВЕРР 27/16		ZCA(Б)=8.62 67
	ФМЧ	65		2024-2026, 0.013		
	Ф2	-15				
	Ф3	125				

Принято: $Z_{сз} = 2.6 \text{ Ом}, t_{сз} = 0.5/1.0/1.5\text{с}$

$t_1 - 0.5 \text{ с}$ – на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

$t_2 - 1.0 \text{ с}$ – на отключение ввода 110 кВ 2АТ

$t_3 - 1.5 \text{ с}$ – на отключение всего АТ

$$Z_{вт} = \frac{Z_{сз} \times K_{тт}}{K_{тн}} = \frac{2.6 \times 2000 / 1}{1100} = 4.73 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{сз} = Z_{сз} \times \sin \varphi_1 = 2.6 \times 0.906 = 2.35 \text{ Ом (перв.) } X_{сз} = 4.27 \text{ Ом (втор.)}$$

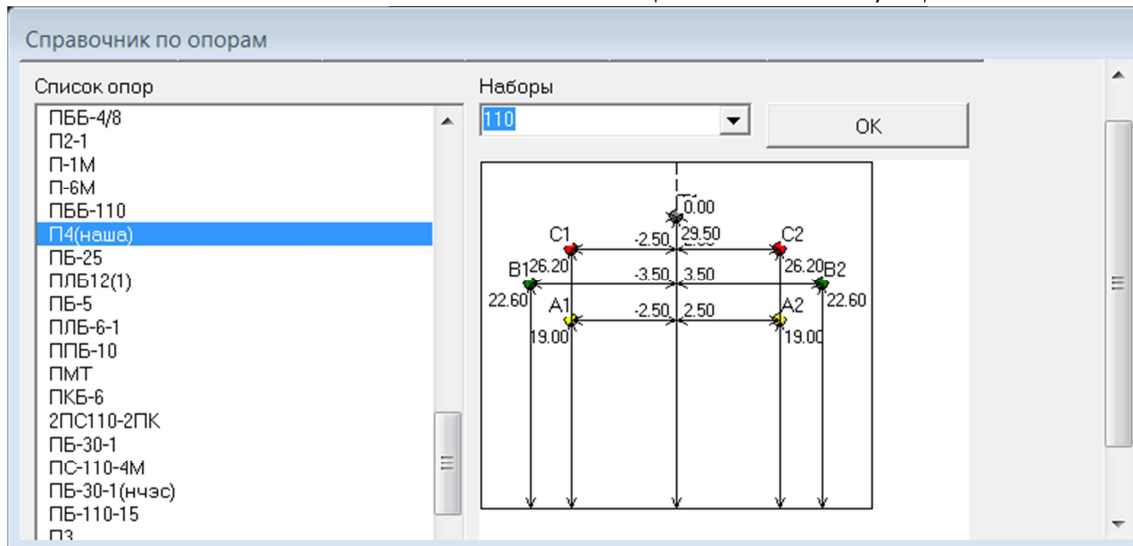
$$R_{сз} = 0.72 \times Z_{сз} = 0.72 \times 2.6 = 1.87 \text{ Ом (перв.) } R_{сз} = 3.4 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 65^\circ, \varphi_2 = -15^\circ, \varphi_3 = 125^\circ$

Определение переходного сопротивления дуги $-R_d$.

Расчет выполнен на основании методики, изложенной в РУ (выпуск 10) и с помощью АРМ СРЗА.

ВЛ-110 кВ Елецкая-Южная 1, 2ц



3-х фазное КЗ у шин ПС Елецкая на ВЛ-110 кВ Южная-Елецкая-1(2)ц

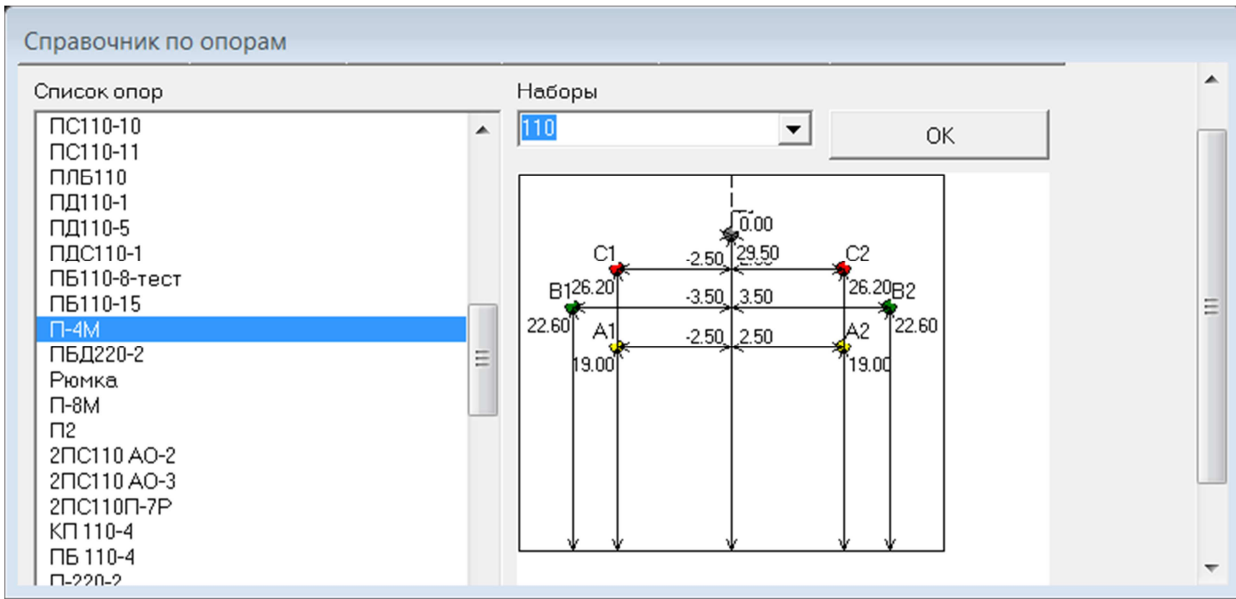
ЗАДАНИЕ-ДУГА СЕТЬ:ЛЕТО ЗНАЧЕНИЕ $\text{LM}\Phi = 3.74$ ЗНАЧЕНИЕ $N = 2$

ЗНАЧЕНИЕ $\text{IK} = 14436$ ФОРМУЛА $\#L_d = N * \text{LM}\Phi$ $\#I_d = 1.73 * \text{IK}$

ФОРМУЛА $R_{ПЕР} = (1050 * L_d) / I_d$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
 РПЕР 0.314/0.000 – на фазу
 (К расчету 2-х фазного КЗ, принято $R_d = 0.7 \text{ Ом}$)

ВЛ-110 кВ Родники-Елецкая 1,2ц



3-х фазное КЗ у шин ПС Елецкая на ВЛ-110 кВ Родники-Елецкая-1(2)ц

ЗАДАНИЕ-ДУГА СЕТЬ: ЛЕТО ЗНАЧЕНИЕ $LM\Phi=3.74$ ЗНАЧЕНИЕ $N=2$

ЗНАЧЕНИЕ $IK=14436$

ФОРМУЛА $\#LD=N*LM\Phi$ $\#ID=1.73*IK$ ФОРМУЛА $R_{ПЕР}=(1050*LD)/ID$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

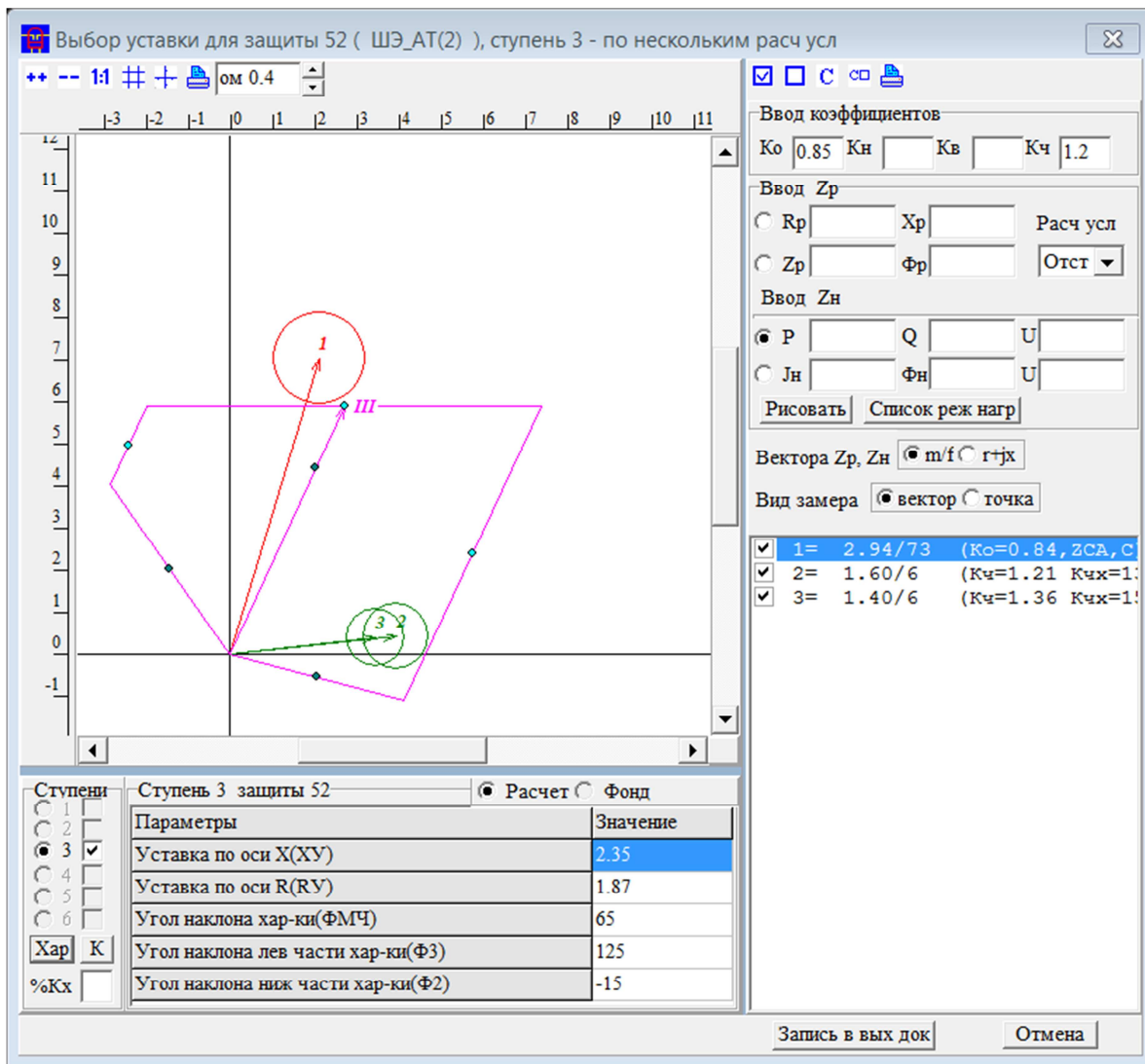
$R_{ПЕР} \quad 0.314/0.000$ - на фазу

(К расчету 2-х фазного КЗ принято $R_d=0.7$ Ом)

**Чувствительность вблизи шин 110 кВ ПС Елецкая
(через переходное сопротивление дуги):**

В начале ВЛ-110 кВ Елецкая-Южная 1,2 или Родники-Елецкая-1,2	XУ	2.35	15.61	ВИД-КЗ BC(0.7 0) 16-13,0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=1.40 6
	RY	1.87	1.42			IB=3671 -173
	ФМЧ	65	KЧзр=	Графика вектор 3		
	Ф2	-15	1.36			
	Ф3	125				
	XBT	4.27				
	RBT	3.40				
УТР	0.10	18.35				

ПРИМЕЧАНИЯ: 3 ступень ДЗ отстроена за трансформаторами 1Т,2Т ПС Елецкая и согласована с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.



**Дистанционная защита
4 степень - направлена в сеть 110 кВ**

Защита 52	Ктт=2000/1 Ктн=1100		Ветвь -17-20			
Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ ХУ=9.06 РУ=5.00 Т=2.00 ТТ% 0 ФМЧ 65 Ф2 -15 Ф3 115	ХУ	10.3	0.85	ВИД-КЗ ABC	СЕТЬ: ЗИМА	ZCA=3.90 72 ZCA(B)=2.85 68
	РУ	6.28		УЗ-КЗ_Х 13		
	ФМЧ	65		Защ Б работает		
	Ф2	-15		Zкз<Zсз - расчет		
	Ф3	125		уст-ки по		
				Кт=1.365 Zp=13.65 65		
защита 31 ШЭ2607 011021 (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- КУЖНАЯ 1,2	ХУ	10.7	0.85	ВИД-КЗ ABC	Согласование только по времени- КЗ в зоне ре- зервирования	ZCA=13.29 72 ZCA(B)=9.76 68
	РУ	6.50		УЗ-КЗ_Х 13		
	ФМЧ	65		Z1д=0.64+j1.56		
	Ф2	-15		Z0д=1.47+j4.88		
	Ф3	125				

	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	10.1 6.16 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Кт=1.338 Zр=13.38 65	СЕТЬ: ЛЕТО Согласование только по времени- КЗ в зоне резервирования	ZAB=3.82 71 ZAB(Б)=2.85 68
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	10.4 6.36 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=0.74+j1.81 Z0д=1.70+j5.67		ZCA=13.02 72 ZAB(Б)=9.75 69
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 33.0 T=2.00 ТТ% 8 ФМЧ 65 защита 271 ЭПЗ-1636 (16-1193) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	47.4 28.9 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Кт=2.073 Zр=62.73 65	СЕТЬ: ЗИМА	ZAB=22.34 61 ZAB(Б)=10.78 68
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	41.7 25.4 65 -15 125	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.85+j2.01 Z0д=2.03+j6.25		ZCA=59.80 58 ZAB(Б)=30.25 63
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	33.8 20.6 65 -15 125	0.90	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Zкз<Zсз - расчет уст-ки по Кт=1.387 Zр=41.96 65	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=14.94 64 ZBC(Б)=10.78 68
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	31.3 19.0 65 -15 125	0.90	ВИД-КЗ АВС УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.79+j1.89 Z0д=1.91+j5.85		ZCA=40.92 60 ZBC(Б)=30.27 63
ОТСТРОЙКА от нагрузки - Jном 2АТ	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	28.7 17.5 65 -15 125	1.26		КН=1.20 КВРТ=1.05 JН=1193 УМИН=104 ФН=35	ZН=50.33 35
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	31.0 17.0 65 -15 125	1.26 Котс= 1.25	JН=1193А= Jном 2АТ	КН=1.20 КВРТ=1.05 JН=113 УМИН=104 ФН=35	ZН=50.33 35 Графика
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	30.8 18.8 65 -15 125	1.26		КН=1.20 КВРТ=1.05 JН=1193УМИН=104 ФН=55	ZН=50.33 55

Принято: $Z_{c3} = 34.0 \text{ Ом}$, $t_{c3} = 2.5/3.0/3.5 \text{ с}$

t_1 - 2.5 с – на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

t_2 - 3.0 с – на отключение ввода 110 кВ 2АТ

t_3 - 3.5 с - на отключение всего АТ

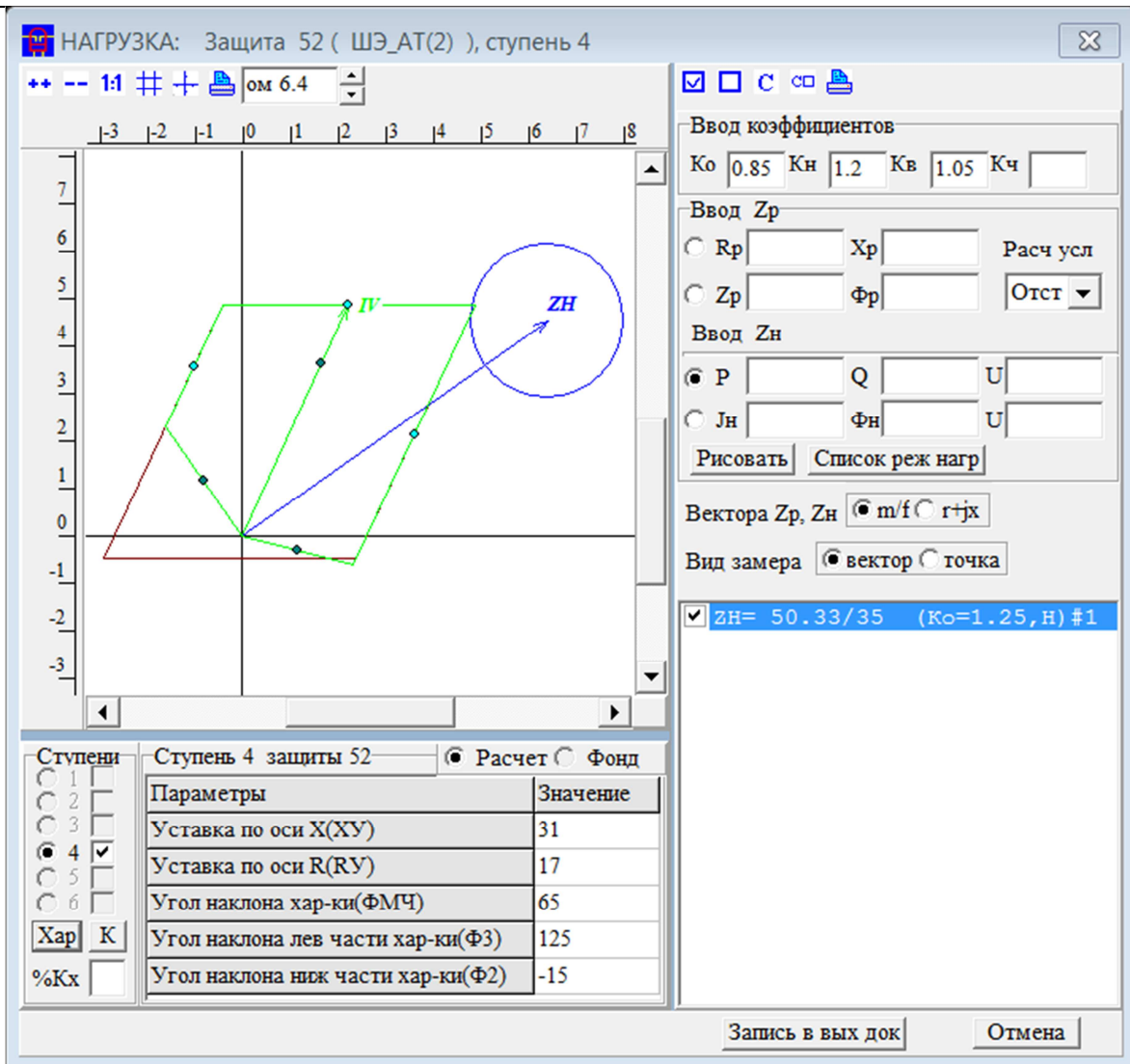
$$Z_{BT} = \frac{Z_{c3} \times K_{TT}}{K_{TH}} = \frac{34.0 \times 2000 / 1}{1100} = 61.8 \text{ Ом (втор)}$$

Характеристика реле-четырёхугольник с координатами:

$$X_{c3} = Z_{c3} \times \sin \varphi_1 = 34.0 \times 0.906 = 31 \text{ Ом (перв.) } X_{c3} = 56.4 \text{ Ом (втор.)}$$

$$R_{c3} = 0.5 \times Z_{c3} = 0.5 \times 34 = 17 \text{ Ом (перв.) } R_{c3} = 30.9 \text{ Ом (втор.)}$$

Углы наклона характеристики $\varphi_1 = 65^\circ$, $\varphi_2 = -15^\circ$, $\varphi_3 = 125^\circ$



Определение переходного сопротивления дуги - R_d .

Расчет выполнен на основании методики, изложенной в РУ (выпуск 10) и с помощью АРМ СРЗА.
 Каскад у шин ПС Южная на ВЛ-110 кВ Южная-Елецкая-1(2)ц

ЗАДАНИЕ-ДУГА СЕТЬ: ЛЕТО

ЗНАЧЕНИЕ $LM\Phi=3.74$

ЗНАЧЕНИЕ $N=4$

ЗНАЧЕНИЕ $IK=8681$

ФОРМУЛА $\#LD=N*LM\Phi$ $\#ID=1.73*IK$

ФОРМУЛА $R_{ПЕР}=(1050*LD)/ID$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

R_{ПЕР} 1.046/0.000 - на фазу

(К расчету 2-х фазного КЗ принято $R_d = 2.1$ Ом)

Каскад у шин ПС Родники на ВЛ-110 кВ Родники-Елецкая-1(2)ц
 в режиме откл. ВЛ-110 кВ Елецкая-Южная-2(1)ц.

ЗАДАНИЕ-ДУГА СЕТЬ:ЛЕТО ЗНАЧЕНИЕ $N=4$ ЗНАЧЕНИЕ $IK=4464$

ФОРМУЛА $\#LD=N*LM\Phi$ $\#ID=1.73*IK$ ФОРМУЛА $R_{ПЕР}=(1050*LD)/ID$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

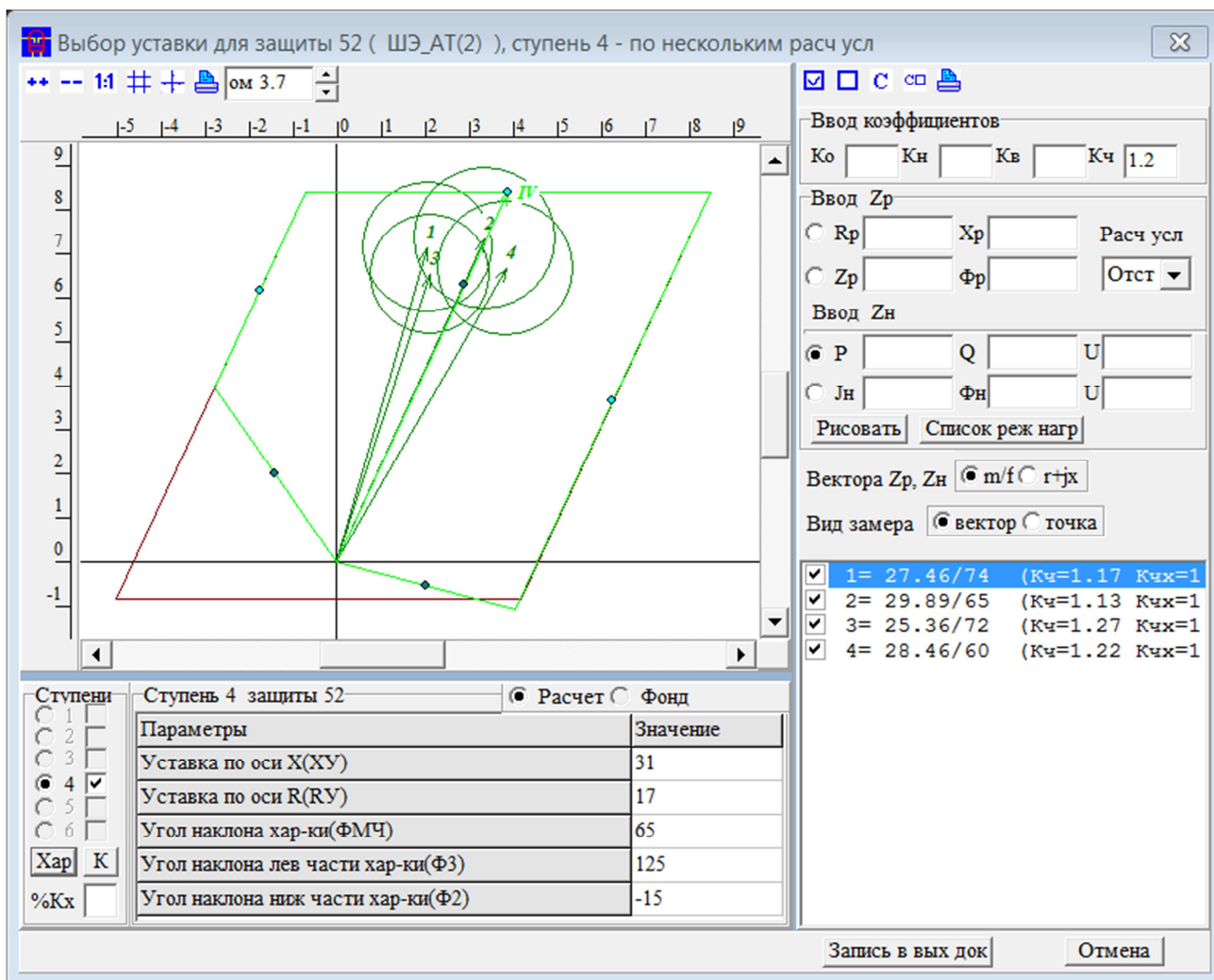
R_{ПЕР} 2.034/0.000 - на фазу

(К расчету 2-х фазного КЗ принято $R_d = 4.1$ Ом)

Чувствительность в зоне резервирования.

ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин ПС Род- ники на ВЛ-110 кВ Родники- Елецкая-1,2	XУ	31.0	0.87	ВИД-КЗ АВС 38-1933 УЗК=К	СЕТЬ: ЛЕТО	ZBC=37.57 72 Ip=1176 164			
	РУ	17.0	3.53						
	ФМЧ	65	KЧзр=						
	Ф2	-15	0.88						
	Ф3	125							
	XBT	56.4							
	RBT	30.9							
	УТР	0.10	5.88						
	XУ	31.0	1.26				ВИД-КЗ АВС 38-1933 УЗК=К	ОТКЛ 16-17 После деления шин 110 кВ ПС Елецкая	ZAB=25.64 73 Ip=1595 -78
	РУ	17.0	4.28						
ФМЧ	65	KЧзр=							
Ф2	-15	1.25							
Ф3	125								
XBT	56.4								
RBT	30.9								
УТР	0.10	7.98							
XУ	31.0	1.23	ВИД-КЗ ВС(4.1 0) 38-1933 УЗК=К	ОТКЛ 16-17 КЗ через пере- ходное сопротивление дуги	ZBC=27.92 64 IB=1518 -163				
РУ	17.0	53.15							
ФМЧ	65	KЧзр=							
Ф2	-15	1.21							
Ф3	125								
XBT	56.4								
RBT	30.9								
УТР	0.10	7.59							
XУ	31.0	1.18				ВИД-КЗ АВС 38-1933 УЗК=К	СЕТЬ: ЗИМА ОТКЛ 16-17	ZBC=27.46 74 Ip=1550 162 Графика вектор1	
РУ	17.0	3.73							
ФМЧ	65	KЧзр=							
Ф2	-15	1.17							
Ф3	125								

	XBT RBT JTP	56.4 30.9 0.10	7.75		После деления шин 110 кВ ПС Елецкая	
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ RBT JTP	31.0 17.0 65 -15 125 56.4 30.9 0.10	1.14 264.9 6 KЧзр= 1.13 7.33	ВИД-КЗ BC (4.1 0) 38-1933 УЗК=К	ОТКЛ 16-17 КЗ через переходное сопротивление дуги	ZBC=29.89 65 IB=1467 -163 Графика вектор2
ЧУВСТВИТЕЛЬН в каскаде у шин ПС Южная на ВЛ-110 кВ Южная-Елецкая-1,2	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ RBT JTP	31.0 17.0 65 -15 125 56.4 30.9 0.10	1.47 6.19 KЧзр= 1.45 7.73	ВИД-КЗ ABC 16-13 УЗК=К	СЕТЬ: ЛЕТО	ZAB=22.25 71 Ip=1546 -78
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ RBT JTP	31.0 17.0 65 -15 125 56.4 30.9 0.10	1.44 7.10 KЧзр= 1.38 7.39	ВИД-КЗ BC(2.1 0) 16-13 УЗК=К	КЗ через переходное сопротивление дуги	ZBC=24.83 60 IB=1477 -163
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ RBT JTP	31.0 17.0 65 -15 125 56.4 30.9 0.10	1.29 5.22 KЧзр= 1.27 7.41	ВИД-КЗ ABC 16-13 УЗК=К	СЕТЬ: ЗИМА	ZBC=25.36 72 Ip=1483 162 Графика вектор3
	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ RBT JTP	31.0 17.0 65 -15 125 56.4 30.9 0.10	1.26 5.97 KЧзр= 1.22 7.00	ВИД-КЗ BC (2.1 0) 16-13 УЗК=К	КЗ через переходное сопротивление дуги	ZBC=28.46 60 IB=1400 -162 Графика вектор4



ПРИМЕЧАНИЯ: 4 ступень ДЗ отстроена за трансформаторами 1Т,2Т ПС Елецкая и согласована с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.

Поскольку 4 ступень ДЗ выбрана по согласованию с самыми чувствительными ступенями ДЗ линий в прилегающей сети и чувствительна в зоне дальнего резервирования, 5 ступень ДЗ 2АТ – можно не использовать!

Расчет устройства блокировки при качаниях (БК).

Пусковой орган **БК** выполнен от чувствительного и грубого реле, контролирующего скорость изменения во времени векторов тока обратной DI_2 и прямой DI_1 последовательностей.

Реле **БК** по принципу действия отстроены от небаланса по току обратной последовательности при номинальном токе. Поэтому единственное условие выбора уставок – это обеспечение чувствительности к 2-х и 2-х фазным КЗ на землю в основной зоне и в зоне резервирования.

$$DI_{2\text{чув}} \leq \frac{I_{2\text{к}}^{(2)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{851}{1.2 \times 2000/1} = 0.35\text{А,}$$

$$DI_{2\text{груб}} \leq \frac{I_{2\text{к}}^{(2)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{1746}{1.5.0 \times 2000/1} = 0.58 \text{ А,}$$

где $I_{2\text{к}}^{(2)}=851 \text{ А}$ - 2-х фазное КЗ в зоне резервирования – в каскаде у шин ПС Родники на ВЛ-110 Родники-Елецкая-2ц после деления шин 110 кВ ПС Елецкая,

$I_{2\text{к}}^{(2)}=1746 \text{ А}$ –2-х фазное КЗ в основной зоне – на стороне НН 2АТ ПС Елецкая.

Принято: $DI_{2\text{чув}} = 0.1 \text{ А(втор.)}$ $DI_{2\text{груб}}=0.3 \text{ А(втор.)}$

$$DI_{1\text{чув}} \leq \frac{I_{1\text{к}}^{(1.1)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{1158}{1.2 \times 2000/1} = 0.482 \text{ А,}$$

$$DI_{1\text{груб}} \leq \frac{I_{1\text{к}}^{(1.1)}}{K_{\text{ч}} \times K_{\text{тт}}} = \frac{2883}{1.5 \times 2000/1} = 0.96 \text{ А,}$$

где $I_{1\text{к}}^{(1.1)}=1158 \text{ А}$ - 2-х фазное КЗ на землю в зоне резервирования – в каскаде у шин ПС Родники на ВЛ-110 Родники-Елецкая-2ц после деления шин 110 кВ ПС Елецкая,

$I_{1\text{к}}^{(1.1)}=2883 \text{ А}$ –2-х фазное КЗ на землю в основной зоне – на шинах 220 кВ ПС Елецкая.

Принято: $DI_{1\text{чув}} = 0.2 \text{ А(втор.)}$ $DI_{1\text{груб}} = 0.6 \text{ А(втор.)}$

Время ввода быстродействующих ступеней – 0.4 с

Время ввода медленнодействующих ступеней – 8.0 с

Направленная защита от замыканий на землю 1 ступень-направлена в АТ

Включение ШЭ2607 072: - на встроенные в АТ ТТ-110 кВ, $K_{\text{тт}} = 2000/1$,
по цепям напряжения - на ТН-110 кВ, $K_{\text{тн}} = 1100/\sqrt{3}$.

Защита 52

Ветвь 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	6681	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=5139 -85 3U0=35.05 -180
	УСТ	6161	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=4739 94 3U0=32.32 -1
	УСТ	6224	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=4787 -85 3U0=33.07 -180
	УСТ	5951	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=4578 94 3U0=31.62 -1
	УСТ	6294	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=4842 -83 3U0=32.92 179
	УСТ	6002	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 23	ЭЛ 6 21 Отключ 1АТ+ВЛ-220 Род- ники-Елецкая	3I0=4617 96 3U0=31.39 -2

Принято: 7000 А (перв) $t_{c3}=0.2$ с – на отключение всего АТ

$$i_{BT} = \frac{7000}{2000/1} = 3.5 \text{ А (втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН к КЗ на вво- дах 110 кВ 2АТ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	7000	2.02	ВИД-КЗ А0 17-20,0.000	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=14159 -80 3U0=60.21 -177
	УСТ	7000	2.18	ВИД-КЗ АВ0 17-20,0.000		3I0=15260 -142 3U0=64.89 122
	УСТ	7000	1.75	ВИД-КЗ А0 17-20,0.000	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=12254 -81 3U0=52.65 -177
	УСТ	7000	2.01	ВИД-КЗ АВ0 17-20,0.000		3I0=14066 -142 3U0=60.43 122

Направленная защита от замыканий на землю

2 ступень-направлена в АТ

Защита 52

Ветвь 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 2500 T=0.10 защита 201 ТЗНП (23-1021) ВЛ-220КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- УРШЕЛЬ	УСТ	3612	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 20/23 24-1029,0.018	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=3284 -84 3U0=22.18 -177 3I0(Б)=2500 -85 3U0(Б)=99.92 - 176
	УСТ	3607	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 20/23 1648-24,0.798	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=3280 -84 3U0=22.23 -177 3I0(Б)=2500 -85 3U0(Б)=100.04 - 176
	УСТ	3655	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 20/23 1648-24,0.898	ЭЛ 21 6 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=3323 -82 3U0=21.77 -179 3I0(Б)=2500 -85 3U0(Б)=99.05 - 176

Принято: 3700 А (перв) $t_{c3}=0.5/1.0$ с

t_1 - 0.5 с – на отключение В-220 кВ 2АТ

t_2 - 1.0 с – на отключение всего АТ

3700 А, $t_{c3}=0.2$ с – на отключение всего АТ

t - 0.2 с - вводится логическое ускорение при срабатывании 2ступени ТЗНП смежной стороны(220 кВ) или отключенном выключателе АТ смежной стороны, и отсутствии сигнала срабатывания РНМНП обратной направленности.

$$i_{BT} = \frac{3700}{2000/1} = 1.85 \text{ А(втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН к КЗ на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ	УСТ	3700	1.39	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=5139 -85 3U0=35.05 -180
	УСТ	3700	1.28	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=4739 -146 3U0=32.32 119
	УСТ	3700	1.29	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=4787 -85 3U0=33.07 -180
	УСТ	3700	1.24	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=4578 -146 3U0=31.62 119
	УСТ	3700	1.16	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 23	ЭЛ 518 Отключен Т1 ПС Елецкая	3I0=4288 -84 3U0=35.96 180
	УСТ	3700	1.10	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 23		3I0=4058 -145 3U0=34.02 119

Реле направления мощности РНМП прямой направленности.

1. Ток срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии:

$$I_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{В}}} \times \frac{I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}}{K_{\text{ТТ}}} = \frac{1.25}{0.9} \times \frac{0.05 \times 1193 + 0.05 \times 1193}{2000/1} = 0.06 \text{ А (втор)}$$

Принято: $I_{0\text{ср}} = 0.1 \text{ А (втор)}$

2. Напряжение срабатывания РНМП выбирается по отстройке от суммарного напряжения небаланса в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии в системе:

$$U_{0\text{ср}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{В}}} \times (U_{0\text{нб}} + 3U_{0\text{н.р}}) = \frac{1.25}{0.9} \times (2.0 + 0) = 2.78 \text{ В (втор)},$$

где $U_{0\text{нб}} = (1.5-2.0) \text{ В}$ - рекомендуемое значение НИИ «Энергосетьпроект» Москва.1985 г.

Принято: $U_{0\text{ср}} = 3.0 \text{ В (втор)}$

Чувствительность реле направления мощности прямой направленности на 2 секции шин 220 кВ ПС ЕЛЕЦКАЯ:

ЧУВСТВИТЕЛЬН РМ=ШЭ K_{ТТ}=2000/1 K_{ТН}=1100/1.73	ИСР	0.10	17.81	ВИД-КЗ А0(0 4.8) УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=3698 -87 3U0=25.54 178
	УСР	3.0	12.90			
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ИСР	0.10	17.83	ВИД-КЗ А0(0 5.9) УЗЕЛ-КЗ 23	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=3699 -87 3U0=25.23 178
	УСР	3.0	12.75			
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				

Направленная защита от замыканий на землю
3 ступень-направлена в сеть 110 кВ

Защита 52

Ветвь-17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 10000 Т=0.03 защита 31 ТЗНП (16-13) ВЛ-110 КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1.2	УСТ	5344	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.462 (Лотн_лин=0.462)	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=4858 -80 3U0=35.73 -173 3I0(Б)=9999 -79 3U0(Б)=35.73 - 173
	УСТ	6686	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.413 (Лотн_лин=0.413) согл. только по t-на ВЛ есть ВЧ и ТУ	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=6078 -80 3U0=38.31 -173 3I0(Б)=9998 -79 3U0(Б)=38.31 - 173
	УСТ	5155	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.377 (Лотн_лин=0.377)	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=4687 -81 3U0=34.50 -173 3I0(Б)=9999 -80 3U0(Б)=34.50 - 173
	УСТ	6448	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.321 (Лотн_лин=0.321) согл. только по t-на ВЛ есть ВЧ и ТУ	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=5861 -81 3U0=36.98 -174 3I0(Б)=9999 -79 3U0(Б)=36.98 - 174
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 5500 Т=0.10 защита 281 ТЗНП (17-1194) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ- 1, 2ц	УСТ	2290	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1030-1031,0.207	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=2081 -76 3U0=15.15 -168 3I0(Б)=5500 -75 3U0(Б)=15.15 - 168
	УСТ	2292	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 30-1030,0.592		3I0=2084 -77 3U0=15.14 -168 3I0(Б)=5500 -75 3U0(Б)=15.14 - 168
	УСТ	3929	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1030-1194,0.289	ЭЛ 6 21 3 4 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая, ВЛ-110 кВ Елецкая- Южная 1,2	3I0=3572 -76 3U0=22.92 -169 3I0(Б)=5500 -76 3U0(Б)=22.92 - 169

ОТСТРОЙКА от КЗ на 1 секции шин 220 кВ ПС Елецкая (В-220 кВ ПС Родники ВЛ-220 Родники-Елецкая-отключен)	УСТ	2328	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 22	ОТКЛ 28-1931 СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=1940 -90 3U0=13.44 177
	УСТ	2401	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 22		3I0=2001 90 3U0=13.87 -3
	УСТ	2382	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 22	ОТКЛ 28-1931 СЕТЬ: ЗИМА	3I0=1985 -90 3U0=13.74 177
	УСТ	2415	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 22		3I0=2012 89 3U0=13.93 -

Принято: 5500 А (перв) $t_{c3}=0.5/1/1.5$ с -

t_1 - 0.5 с - на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

t_2 - 1.0 с - на отключение ввода 110 кВ 2АТ

t_3 - 1.5 с - на отключение всего АТ

$$i_{\text{ВТ}} = \frac{5500}{2000/1} = 2.75 \text{ А (втор)}$$

ЧУВСТВИТЕЛЬН на шинах 110 кВ ПС Елецкая	УСТ	5500	1.49	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=8191 -84 3U0=60.21 -177
	УСТ	5500	1.61	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=8828 -146 3U0=64.89 122
	УСТ	5500	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=7156 -84 3U0=52.65 -177
	УСТ	5500	1.49	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=8213 -146 3U0=60.43 122
	УСТ	5500	1.23	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 17	ЭЛ 22 Отключ 5АТ 500/220 ПС Родники	3I0=6769 -84 3U0=50.64 -177
	УСТ	5500	1.43	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 17		3I0=7892 -146 3U0=59.04 122

**Направленная защита от замыканий на землю
4 ступень-направлена в сеть 110 кВ**

Защита 52

Ветвь- 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ со 2 СТУПЕНЬЮ 7000 Т=1.00 защита 31 ТЗНП	УСТ	4192	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕР 3/16 16-13, 0.624 (Лотн_лин=0.624)	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=3811 -79 3U0=28.07 -172 3I0(Б)=6999 -79 3U0(Б)=28.07 -172

(16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	4433	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 3/16 16-13,0.700 (Lотн_лин=0.700)	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=4030 -79 3U0=29.65 -171 3I0(Б)=6999 -78 3U0(Б)=29.65 - 171
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 1500 Т=2.50 защита 31 ТЗНП (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	1521	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Iкз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=0.92	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=3342 -77 3U0=24.62 -170 3I0(Б)=3624 -77 3U0(Б)=24.62 - 170
	УСТ	1521	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.17+j2.84 Z0д=2.67+j8.89		3I0=1383 -72 3U0=10.19 -165 3I0(Б)=1500 -71 3U0(Б)=10.19 - 165
	УСТ	1974	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Iкз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=1.196	СЕТЬ: ЗИМА ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=4062 -78 3U0=25.64 -171 3I0(Б)=3396 -76 3U0(Б)=25.64 - 171
	УСТ	1974	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=1.09+j2.64 Z0д=2.48+j8.27		3I0=1794 -73 3U0=11.33 -166 3I0(Б)=1500 -72 3U0(Б)=11.33 - 166
СОГЛАСОВАНИЕ со 2 СТУПЕНЬЮ 1700 Т=1.50 защита 281 ТЗНП (17-1194) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2ц	УСТ	829	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1933-1651,0.952	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=754 -76 3U0=6.68 -166 3I0(Б)=1700 -76 3U0(Б)=6.68 - 166
	УСТ	1084	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 28/17 1933-1651,0.857	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=986 -77 3U0=9.97 -169 3I0(Б)=1700 -77 3U0(Б)=9.97 - 169
<p>Принято: 2000 А (перв) $t_{сз}=3.0/3.5/4.0с -$</p> <p>$t_1 - 3.0 с - на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая$</p> <p>$t_2 - 3.5 с - на отключение ввода 110 кВ 2АТ$</p> <p>$t_3 - 4.0 с - на отключение всего АТ$</p> $i_{вТ} = \frac{2000}{2000/1} = 1.0 \text{ А (втор)}$						
ЧУВСТВИ-НОСТЬ в каскаде у шин 110 кВ ПС Южная	УСТ	2000	1.23	ВИД-КЗ А0 13-16 УЗК=К	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=2462 -76 3U0=18.11 -169
	УСТ	2000	1.15	ВИД-КЗ АВ0 13-16 УЗК=К		3I0=2303 -136 3U0=16.95 131
	УСТ	2000	1.18	ВИД-КЗ А0 13-16 УЗК=К	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=2363 -76 3U0=17.40 -169
	УСТ	2000	1.14	ВИД-КЗ АВ0 13-16 УЗК=К		3I0=2277 -136 3U0=16.77 131

Направленная защита от замыканий на землю
5 ступень-направлена в сеть 110 кВ

Защита 52

Ветвь- 17-20

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ 600 T=3.00 защита 31 ТЗНП (16-13) ВЛ-110КВ ЕЛЕЦКАЯ- ЮЖНАЯ 1,2	УСТ	609	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки поКт=0.922	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=3342 -77 3U0=24.62 -170 3I0(Б)=3624 -77 3U0(Б)=24.62 - 170
	УСТ	609	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=4.14+j10.06 Z0д=9.47+j31.51		3I0=554 -70 3U0=4.08 -163 3I0(Б)=601 -69 3U0(Б)=4.08 - 163
	УСТ	790*)	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки поКт=1.196	ЭЛ 6 21 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая	3I0=4062 -78 3U0=25.64 -171 3I0(Б)=3396 -76 3U0(Б)=25.64 - 171
	УСТ	790*)	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=3.99+j9.69 Z0д=9.12+j30.35	*)согл. только по t-допустимо для резервной ступени	3I0=718 -70 3U0=4.53 -163 3I0(Б)=600 -69 3U0(Б)=4.53 - 163
	УСТ	687	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=1.04	ЭЛ 519 Отключен 2Т ПС Елецкая	3I0=3656 -78 3U0=26.93 -171 3I0(Б)=3511 -77 3U0(Б)=26.93 - 171
	УСТ	687	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 13 Z1д=4.01+j9.75 Z0д=9.18+j30.54		3I0=625 -70 3U0=4.60 -163 3I0(Б)=600 -69 3U0(Б)=4.60
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 450 T=2.00 защита 281 ТЗНП (17-1194) ВЛ-110КВ РОДНИКИ- ЕЛЕЦКАЯ-1,2ц	УСТ	286	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки поКт=0.578	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=431 -72 3U0=5.11 -163 3I0(Б)=746 -70 3U0(Б)=5.11 - 163
	УСТ	286	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.48+j1.05 Z0д=1.06+j3.24		3I0=260 -66 3U0=3.08 -158 3I0(Б)=450 -65 3U0(Б)=3.08 - 158
	УСТ	583	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 37 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки поКт=1.177	ЭЛ 6 21 ЭЛ 518 519 Отключены 1АТ+ ВЛ-220 Родники- Елецкая,	3I0=997 -78 3U0=11.72 -171 3I0(Б)=847 -76 3U0(Б)=11.72 - 171
	УСТ	582	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 37 Z1д=0.64+j1.40 Z0д=1.41+j4.33	ВЛ-110 кВ Елецкая- Южная 1,2	3I0=530 -71 3U0=6.23 -164 3I0(Б)=450 -69 3U0(Б)=6.23- 164

Принято: 700 А (перв) $t_{сз} = 4.5/5.0/5.5с -$

$t_1 - 4.5 с -$ на отключение ШСВ-110 кВ ПС Елецкая

$t_2 - 5.0с -$ на отключение ввода 110 кВ 2АТ

$t_3 - 5.5с -$ на отключение всего АТ

$$i_{вт} = \frac{700}{2000/1} = 0.35 \text{ А (втор)}$$

ЧУВСТВИ-НОСТЬ в каскаде у шин 110 кВ ПС Родники на ВЛ-110 кВ Родники- Елецкая-2(1)	УСТ	700	1.32	ВИД-КЗ А0 38-1933 УЗК=К	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=926 -79 3U0=3.15 -153
	УСТ	700	1.18	ВИД-КЗ АВ0 38-1933 УЗК=К		3I0=824 -140 3U0=2.80 145
	УСТ	700	1.29	ВИД-КЗ А0 38-1933 УЗК=К	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=906 -79 3U0=3.11 -154
	УСТ	700	1.17	ВИД-КЗ АВ0 38-1933 УЗК=К		3I0=820 -140 3U0=2.82 145

Реле направления мощности РНМНП обратной направленности.

1. Ток срабатывания РНМНП выбирается по отстройке от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии:

$$I_{0cp} \geq \frac{K_{отс}}{K_B} \times \frac{I_{0нб} + 3I_{0н.р}}{K_{тт}} = \frac{1.25}{0.9} \times \frac{0.05 \times 1193 + 0.05 \times 1193}{2000/1} = 0.06 \text{ А (втор)}$$

Принято: $I_{0cp} = 0.1 \text{ А (втор)}$

2. Напряжение срабатывания РНМНП выбирается по отстройке от суммарного напряжения небаланса в максимальном нагрузочном режиме с учетом возможной несимметрии в системе:

$$U_{0cp} \geq \frac{K_{отс}}{K_B} \times (U_{0нб} + 3U_{0н.р}) = \frac{1.25}{0.9} \times (1.5 + 0) = 2.08 \text{ В (втор)},$$

где $U_{0нб} = (1.5-2.0) В$ - рекомендуемое значение НИИ «Энергосетьпроект» Москва.1985 г.

Принято: $U_{0cp} = 2.0 \text{ В (втор)}$

Чувствительность
реле направления мощности обратной направленности
в зоне резервирования - в каскаде у шин 110 кВ ПС Родники
на ВЛ-110 кВ Родники-Елецкая 1,2

ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ШЭ Ктт=2000/1 Ктн=1100/1.73	ICP	0.10	-3.76	ВИД-КЗ А0	СЕТЬ: ЗИМА	3I0=926 -79
	UCP	2.0	-2.01	38-1933 УЗК=К		3U0=3.15 -153
	ФМЧ	70				
	ZK	0.0				
	ICP	0.10	-2.92	ВИД-КЗ А0(0 5)		3I0=719 -83
	UCP	2.0	-1.56	38-1933 УЗК=К		3U0=2.45 -158
	ФМЧ	70				
	ZK	0.0				
	ICP	0.10	-3.68	ВИД-КЗ А0	СЕТЬ: ЛЕТО	3I0=906 -79
	UCP	2.0	-1.99	38-1933 УЗК=К		3U0=3.11 -154
	ФМЧ	70				
	ZK	0.0				
	ICP	0.10	-2.87	ВИД-КЗ А0(0 5)		3I0=708 -84
	UCP	2.0	-1.55	38-1933 УЗК=К		3U0=2.43 -158
	ФМЧ	70				
	ZK	0.0				

ПРИМЕЧАНИЯ: 3,4 и 5 ступени ТЗНП согласованы с защитами тупиковых линий, отходящих от шин 110 кВ ПС Елецкая.
6 ступень ТЗНП - не используется, т.к. в этом нет необходимости.