



ОБЪЕДИНЕННАЯ **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ** КОМПАНИЯ

«Особенности технических решений и расчета параметров срабатывания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики сети 20 кВ с резистивным заземлением нейтрали»

Авторы: Д.Д. Гладышева, Н.В. Никольский, В.А. Чех



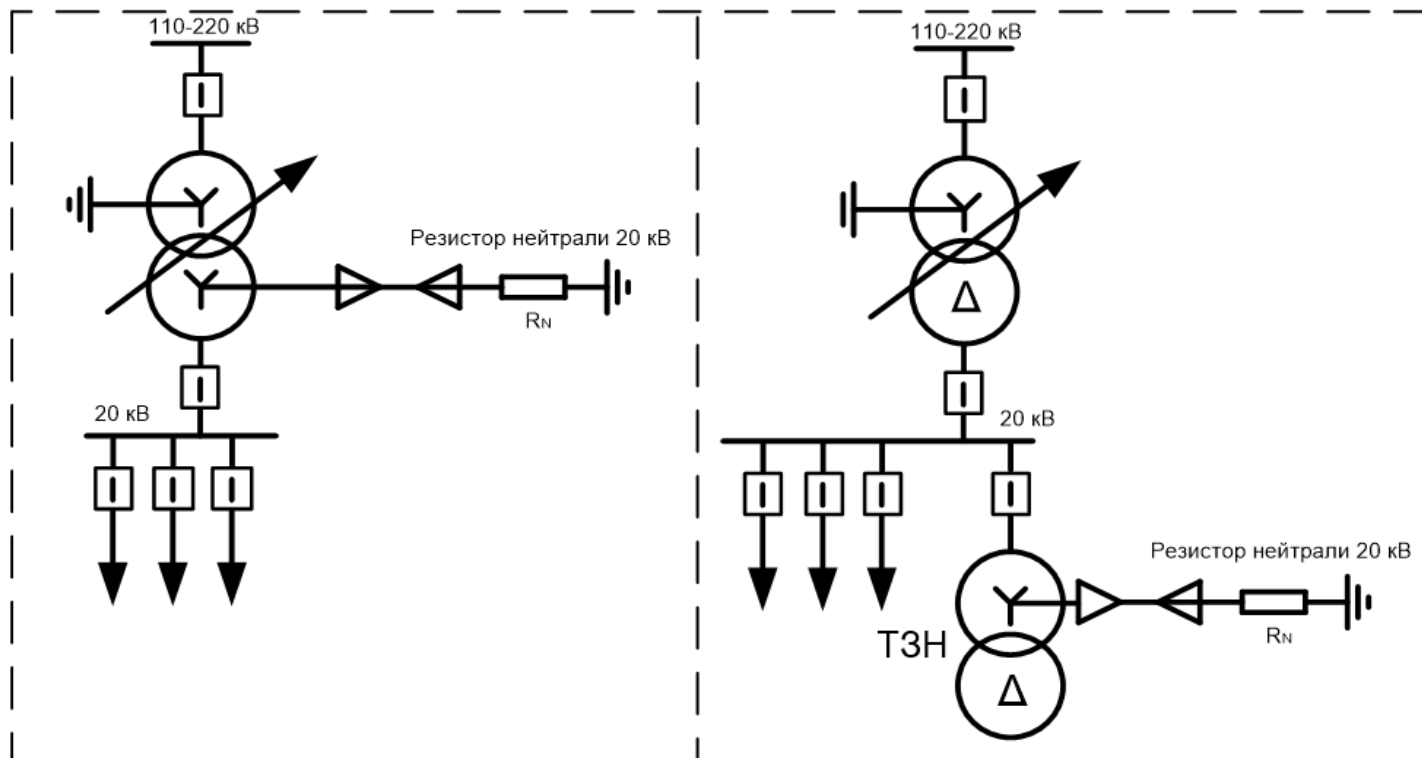
Доклад посвящен особенностям технических решений и расчета параметров срабатывания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики (РЗА) в сетях 20 кВ с резистивным заземлением нейтрали.

В докладе рассмотрены следующие темы:

1. Методики выбора параметров срабатывания защит от междуфазных КЗ с независимой выдержкой времени – МТЗ, защиты от однофазных замыканий на землю с независимой выдержкой времени – ТЗНП, дифференциальной защиты линии и логической защиты шин, применяемые персоналом управления релейной защиты и автоматики АО «ОЭК».
2. Отсутствие нормативно-технической документации, содержащей всесторонний анализ выбора параметров срабатывания.
3. Совместная работа МТЗ и ТЗНП с разными выдержками времени.
4. Емкостные токи и их влияние на срабатывание защит.
5. Проблемы выбора уставок срабатывания дифференциальной защиты линии.

Резистивное заземление нейтрали сети 20 кВ выполняется двумя способами:

- 1) Путём включения резистора в нейтраль обмотки низкого напряжения силового трансформатора;
- 2) С помощью специального трансформатора заземления нейтрали (ТЗН) где резистор подключается к обмотке высокого напряжения.



В сетях АО «ОЭК» применяется низкоомное заземление нейтрали путем подключения резистора сопротивлением 12 Ом в нейтраль обмотки низкого напряжения силового трансформатора. Как правильно, низкоомный резистор выбирается таким образом, чтобы ток однофазного замыкания в кабельных сетях не превышал 1000 А.

- отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и многоместных повреждений в сети;
- исключение феррорезонансных процессов и повреждений трансформаторов напряжения;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании;
- практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное;
- простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.
- увеличение тока в месте повреждения;
- необходимость в отключении однофазных замыканий;

Вывод: отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях и возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали. Именно эти преимущества способствовали широкому распространению такого режима заземления нейтрали в разных странах.



Уставка по току для МТЗ вводного выключателя (ВВ) производится исходя из учета схемы участка сети: силовое оборудование на подстанции (количество трансформаторов и схема РУ НН) и значений минимального тока КЗ на НН. Параметры срабатывания защит на вводных выключателях выбираются:

1) По обеспечению нормативной чувствительности защит:
$$I_{с.з.МАКС} = \frac{I_{КЗ.мин}}{K_{\chi}^{(2)}}$$

2) Исходя из номинальной мощности силовых трансформаторов и количества схем распределительных устройств:

С учетом перегрузки трансформатора 100%:
$$I_{нагр} = I_{ном.Т} \cdot 2,0 \quad I_{нг.секц} = \frac{I_{нагр}}{n}$$

3) Отстройка от максимальной нагрузки секций при включенных СВ 20 кВ:

$$I_{с.з.ВВ} = K_{отс} \cdot I_{нг\Sigma} = K_{отс} \cdot n' \cdot I_{нг.сек}$$

Коэффициент отстройки равный 1,3 – эмпирический коэффициент, выбранный на основе опыта эксплуатации сети 20 кВ в Московском региона.



4) Отстройка от токов самозапуска нагрузки: $I_{с.з.ВВ} = K_{отс} \cdot n \cdot I_{нг.сек}$

Коэффициент отстройки равный 2,3 – эмпирический коэффициент, выбранный на основе опыта эксплуатации сети 20 кВ в Московском региона.

5) Отстройка по ступенчатому принципу от МТЗ СВ: $I_{с.з.ВВ} = K_{отс} \cdot I_{с.з.СВ}$

Время срабатывания МТЗ ВВ 20 кВ выбирается по ступенчатому принципу по условию согласования с МТЗ СВ 20 кВ:

$$t_{с.з.ВВ} = t_{с.з.СВ} + \Delta t$$

где Δt - степень селективности, выбирается по выражению: $\Delta t = t_{откл} + t_{возвр} + t_{погр} + t_{зап}$

где $t_{откл}$ – полное время отключения вакуумного выключателя (0,05-0,07 с);

$t_{возвр}$ – время возврата защиты (принимается равным 0,05 с);

$t_{погр}$ – погрешность времени согласования срабатывания защит (не превышает 0,025 с);

$t_{зап}$ – время запаса, учитывающее неточность регулировки выдержки времени и разброс во времени отключения выключателей, принимается равным 0,1 с.

Для микропроцессорных защит сетей 20 кВ ОЭК принята степень селективности, равная 0,3 с.



Уставка по току для МТЗ секционного выключателя (СВ) производится исходя из следующих условий:

1) Отстройка от нагрузки секций 20 кВ: $I_{с.з.СВ} = K_{отс} \cdot n \cdot I_{нг.сек}$

коэффициент отстройки равный 1,7 – эмпирический коэффициент выбранные на основе опыта эксплуатации сети 20 кВ в Московском региона.

2) Согласование по току с МТЗ фидеров 20 кВ: $I_{с.з.СВ} = K_{отс} \cdot I_{с.з.ф}$

Время срабатывания МТЗ СВ 20 кВ выбирается по ступенчатому принципу по условию согласования с МТЗ фидеров 20 кВ:

$$t_{с.з.СВ} = t_{с.з.ф} + \Delta t$$



Уставка по току $I_{с.з.}$ микропроцессорного устройства МТЗ каждого присоединения выбирается из условий отстройки:

1) от максимального рабочего тока $I_{\text{раб макс}}$ присоединения (КЛ, секции шин, трансформаторного ввода) сети 20 кВ:

$$I_{с.з.ф} = \frac{k_H}{k_B} I_{\text{раб.макс}},$$

где коэффициент надежности $k_H = 1,2$ и коэффициент возврата $k_B = 0,95$;

2) от тока самозапуска электродвигателей после восстановления напряжения:

$$I_{с.з.ф} = \frac{k_H k_{\text{сам}}}{k_B} I_{\text{раб.макс}},$$

где коэффициент самозапуска электродвигателей $k_{\text{сам}}$.

Коэффициент самозапуска $k_{\text{сам}}$ для МТЗ присоединений находится в пределах от 1 до 4. Точное значение определяется расчетом или задается, например, равным 1,3 - 1,5 для бытовой нагрузки и 2,9 - при неизвестном характере нагрузки.

Коэффициент самозапуска $k_{\text{сам}}$ для для расчета тока срабатывания МТЗ секции шин и трансформаторного ввода целесообразно принимать равным 1,2-1,3 $k_{\text{сам}}$, используемого для расчета тока срабатывания МТЗ КЛ 20 кВ.



Ток срабатывания защиты резистора рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{с.з.рез.}} \leq \frac{I_{\text{КЗ МИН}}^{(1)}}{K_{\text{ч}}}$$

где $I_{\text{КЗ МИН}}^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ со стороны 20 кВ с учетом влияния РПН,
 $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, равный 2.

Время срабатывания защиты выбирается исходя из допустимой продолжительности протекания тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) через резистор:

$$t_{\text{с.з.рез.}} = t_{\text{кр}} - \Delta t$$



Ток срабатывания выбирается по условиям:

1) Согласование с защитой резистора:
$$I_{с.з.ВВ} \leq \frac{I_{сз\text{ рез.}}}{K_{отс}}$$

2) Отстройка от максимального суммарного емкостного тока НП в месте установки защиты от секций шин, получающих питание от рассматриваемого защищаемого ввода с учетом ремонтных схем и связей через СВ. Для отстройки выбирается наибольший емкостной ток, который рассчитывается по формуле: $I_{\Sigma c} = \Sigma I_{ci}$

где I_{ci} – максимальное значение продолжительного суммарного емкостного тока НП всех присоединений i -ой секции шин, получающей питание от рассматриваемого защищаемого ввода, А.

3) Отстройка от суммарного тока небаланса при внешнем максимальном токе КЗ:

$$I_{с.з.ВВ} = K_H (K_{бр} I_{с.з.ф} + I_{нб\text{ макс}})$$

$$I_{нб\text{ макс}} = K_{нб} I_{расч}$$

где $K_H = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности; $I_{нб}$ – ток небаланса фильтра токов нулевой последовательности; $K_{бр} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент броска емкостного тока; $I_{с.з.ф}$ – максимальный емкостной ток присоединения, определяемый с учетом применяемых средств компенсации емкостных токов.



Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к трехтрансформаторным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса: $I_{\text{нб макс}} = K_{\text{нб}} I_{\text{кз макс}}$,

где $K_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимаемый равным 0,1; $I_{\text{кз}}$ – максимальное значение тока, проходящего в месте установки защиты при внешнем междуфазном (двухфазном или трехфазном) КЗ.

Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к кабельным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса при междуфазном КЗ принимается на уровне, не превышающем 10 А.

Время срабатывания выбирается путем отстройки от ТЗНП резистора:

$$t_{\text{с.з.ВВ}} = t_{\text{с.з.рез}} - \Delta t$$



Ток срабатывания выбирается по условиям:

1) Согласование с защитой ВВ:
$$I_{\text{сз СВ}} \leq \frac{I_{\text{сз ВВ}}}{K_{\text{отс}}}$$

2) Отстройка от максимального суммарного емкостного тока НП в месте установки защиты от секций шин. Для отстройки выбирается наибольший емкостной ток через рассматриваемый СВ, который рассчитывается по формуле:
$$I_{\Sigma c} = \Sigma I_{ci},$$

где I_{ci} – максимальное значение продолжительного суммарного емкостного тока НП всех присоединений i -ой секции шин, проходящий через рассматриваемый СВ, А.

3) Отстройка от суммарного тока небаланса при внешнем максимальном токе КЗ:

$$I_{\text{с.з.СВ}} = K_{\text{н}} (K_{\text{бр}} I_{\text{с.з.ф}} + I_{\text{нб макс}})$$

$$I_{\text{нб макс}} = K_{\text{нб}} I_{\text{расч}}$$

где $K_{\text{н}} = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности; $I_{\text{нб}}$ – ток небаланса фильтра токов нулевой последовательности; $K_{\text{бр}} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент броска емкостного тока; $I_{\text{с фид}}$ – максимальный емкостной ток присоединения, определяемый с учетом применяемых средств компенсации емкостных токов.



Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к трехтрансформаторным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса:

$$I_{\text{нб макс}} = K_{\text{нб}} I_{\text{кз макс}}$$

где $K_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимаемый равным 0,1; $I_{\text{кз}}$ – максимальное значение тока, проходящего в месте установки защиты при внешнем междуфазном (двухфазном или трехфазном) КЗ. Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к кабельным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса при междуфазном КЗ принимается на уровне, не превышающем 10 А.

Время срабатывания выбирается путем отстройки от ТЗНП ВВ:

$$t_{\text{с.з.СВ}} = t_{\text{с.з.ВВ}} - \Delta t$$



1) Ток срабатывания выбирается по условию согласования с защитой СВ: $I_{сз\phi} \leq \frac{I_{сз\text{ СВ}}}{K_{отс}}$

2) Отстройка от суммарного тока небаланса при внешнем максимальном токе КЗ:

$$I_{с.з.ф} = K_n (K_{бр} I_{с.з.ф} + I_{нб\text{ макс}}),$$

$$I_{нб\text{ макс}} = K_{нб} I_{расч},$$

где $K_n = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности; $I_{нб}$ – ток небаланса фильтра токов нулевой последовательности; $K_{бр} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент броска емкостного тока; $I_{с\text{ фид}}$ – максимальный емкостной ток присоединения, определяемый с учетом применяемых средств компенсации емкостных токов.

Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к трехтрансформаторным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса: $I_{нб\text{ макс}} = K_{нб} I_{кз\text{ макс}},$

где $K_{нб}$ – коэффициент небаланса, принимаемый равным 0,1; $I_{кз}$ – максимальное значение тока, проходящего в месте установки защиты при внешнем междуфазном (двухфазном или трехфазном) КЗ.

Для защиты от ОЗЗ, подключаемой к кабельным фильтрам токов нулевой последовательности, ток небаланса при междуфазном КЗ принимается на уровне, не превышающем 10 А.



3) Отстройка от максимального суммарного емкостного тока НП в месте установки защиты по формуле:

$$I_{\Sigma c} = \Sigma I_{ci},$$

где I_{ci} – максимальное значение продолжительного суммарного емкостного тока НП всех присоединений i -ой секции шин, А.

Время срабатывания выбирается путем отстройки от ТЗНП СВ: $t_{с.з.ол} = t_{с.з.св} - \Delta t$,

Коэффициент чувствительности для защит определяется по формуле: $K_{\text{ч}} = \frac{I_{033}}{I_{с.з}} \geq 1,5$

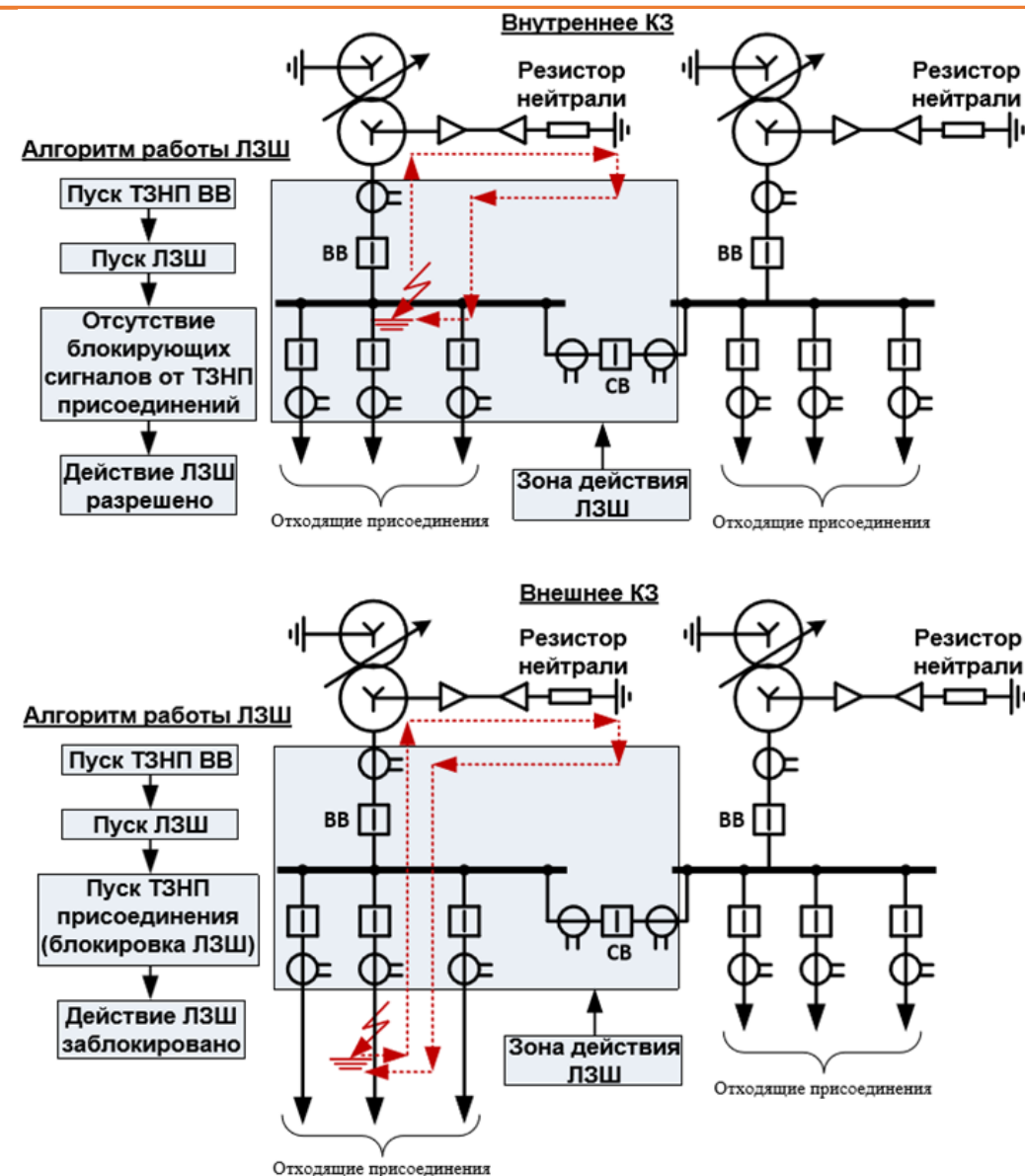
где I_{033} - ток, определяемый сопротивлением резистора для заземления нейтрали.



Основная задача ЛЗШ – это сокращение времени отключения КЗ на шинах, поскольку простые защиты (МТЗ, ТЗНП) не могут выполнить селективное отключение КЗ на шинах без выдержки времени, что приводит к увеличению повреждения оборудования в распределительном устройстве.

ЛЗШ работает, только в том случае, когда КЗ происходит на шинах и через защиту ВВ или СВ протекает ток повреждения, при этом отсутствуют блокирующие сигналы от пусковых органов защит присоединений, отходящих от данных шин. Если же повреждение происходит на отходящей линии, то выдается блокирующий сигнал на срабатывание ЛЗШ ВВ и СВ.

Логическая защита шин





Токи срабатывания ступени логической защиты шин присоединений принимаются одинаковыми с токами срабатывания МТЗ этих присоединений.

Ток срабатывания ступени МТЗ, используемой для ЛЗШ:
$$I_{с.з.ЛЗШ} = \frac{k_n \cdot (k_{самз} I_{раб.макс})}{k_B}$$

где $k_n = 1,1$ - коэффициент запаса; $k_{самз}$ - коэффициент отстройки от самозапуска электродвигателей; $k_B = 0,95$ - коэффициент возврата защиты; $I_{нагр}$ - максимальный ток нагрузки секции шин, без учета пускового тока двигателей.

Для предотвращения срабатывания ЛЗШ, когда ток поврежденного присоединения недостаточен для срабатывания МТЗ, установленной на этом присоединении, необходимо выполнить согласование тока срабатывания ЛЗШ с током срабатывания соответствующей ступени МТЗ, отходящих от шин присоединений и током срабатывания ступени МТЗ секционного выключателя.

$$I_{с.з.ЛЗШ} = \frac{k_3 \cdot (I_{с.з.МТЗ \text{ КЛ(СВ)}})}{k_{токраспр}}$$

где $k_3 = 1,2$ — коэффициент запаса; $k_{токраспр}$ — минимальное значение коэффициента токораспределения, равный отношению значения тока КЗ, протекающего через поврежденное присоединение, к значению тока КЗ, протекающего через ввод.



Коэффициент чувствительности: $K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к мин(КЗ)}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.ЛЗШ}}} \geq 1,5$

где $I_{\text{к.мин(КЗ)}}^{(2)}$ – минимальный ток двухфазного КЗ.

Ток срабатывания $I_{\text{с.з}}$ ступени защиты от ОЗЗ, используемой для ЛЗШ:

$$I_{\text{с.з.озз}} = K_{\text{н}} \cdot (K_{\text{бр}} I_{\text{с.секц}} + I_{\text{нб макс}})$$

$$I_{\text{нб макс}} = K_{\text{нб}} I_{\text{расч}}$$

где $K_{\text{н}} = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности; $I_{\text{нб}}$ – ток небаланса фильтра токов нулевой последовательности; $K_{\text{бр}} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент броска емкостного тока; $I_{\text{с секц}}$ – максимальный емкостной ток секции шин 20 кВ, определяемый с учетом применяемых средств компенсации емкостных токов.

Коэффициент чувствительности: $K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{озз}}}{I_{\text{ср.з озз}}} \geq 1,5$

где $I_{\text{озз}}$ – ток, определяемый сопротивлением резистора для заземления нейтрали.

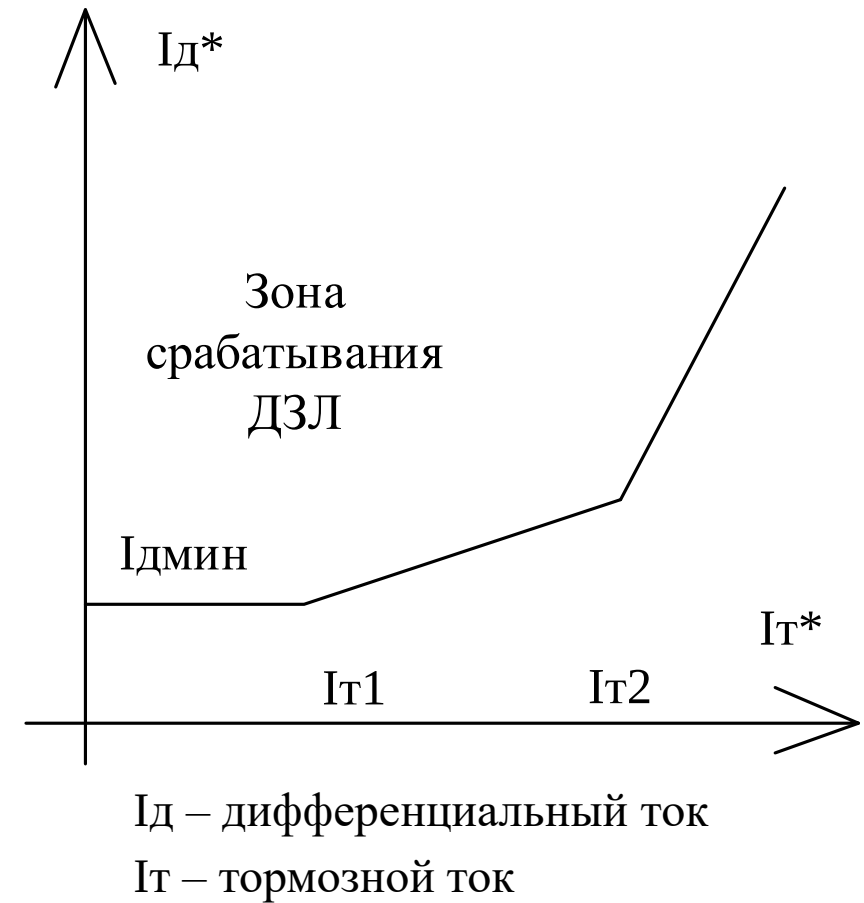
Ток срабатывания ЛЗШ при ОЗЗ ЛЗШ ОЗЗ рекомендуется также выбирать следующим образом:

$$I_{\text{ЛЗШозз}} = \frac{I_{\text{озз мин}}}{K_{\text{ч}}}$$

где $I_{\text{ОЗЗ мин}}$ – минимальный ток ОЗЗ; $k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.



Принцип действия дифференциальной защиты линии основан на определении дифференциального тока защиты, равного геометрической разности токов в плечах защиты. В нагрузочном режиме дифференциальный ток приблизительно равен нулю, при наличии внутреннего повреждения для сети с односторонним питанием ток короткого замыкания будет протекать только по одному плечу защиты и дифференциальный ток будет иметь максимальное значение, защита запустится и отключит повреждённую линию. При внешнем коротком замыкании дифференциальный ток в защите будет отличен от нуля. Вызвано данное обстоятельство наличием тока небаланса, на этот случай в большинстве современных защит используется эффект торможения – искусственного загробления защиты при больших значениях токов плеч дифференциальной защиты.





Значение тока $I_{д\ мин}$ выбираются исходя из условия отстройки от небаланса при нагрузочном режиме. Обычно параметр принимается равным порядка 40 % номинального тока. $I_{т1}$ и $I_{т2}$ характеризуют общий вид тормозной характеристики и обычно принимаются равными значениям из диапазонов 1÷2 и 4÷6 соответственно.

Коэффициент торможения определяется по формуле: $K_{Т1} = K_{ОТС} \cdot (K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta f_{выр})$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки для микропроцессорной техники равный 1,05÷1,1,

$K_{пер}$ – коэффициент учитывающий переходной режим, ε - относительное значение полной погрешности, $\Delta f_{выр}$ – погрешность выравнивания в относительных единицах.

Чувствительность дифференциальной защиты проверяется в минимальном режиме для зоны действия защиты. В соответствии с ПУЭ (п.3.2.21) величина коэффициента чувствительности не должна быть ниже 2,0.

$$K_{чДЗЛ} = \frac{I_{К\ мин}}{I_{сз}}$$



Несмотря на преимущества сетей 20 кВ с резистивным заземлением нейтрали и распространением данных сетей в городе Москве, до сих пор не разработаны нормативно-технические документы (НТД) с всесторонним анализом выбора параметров срабатывания. Отсутствие единых стандартов и большое разнообразие производителей устройств РЗА с собственными методическими указаниями вынуждают эксплуатирующий персонал самостоятельно подбирать методики исходя из собственного опыта, оборудования и конфигурации сети. Разные подходы к расчету могут привести к несогласованной работе защит. Рассмотренные ниже вопросы работы защит также требуют анализа и исследования, поэтому необходимо создать НТД, учитывающую все особенности работы сетей 20 кВ.

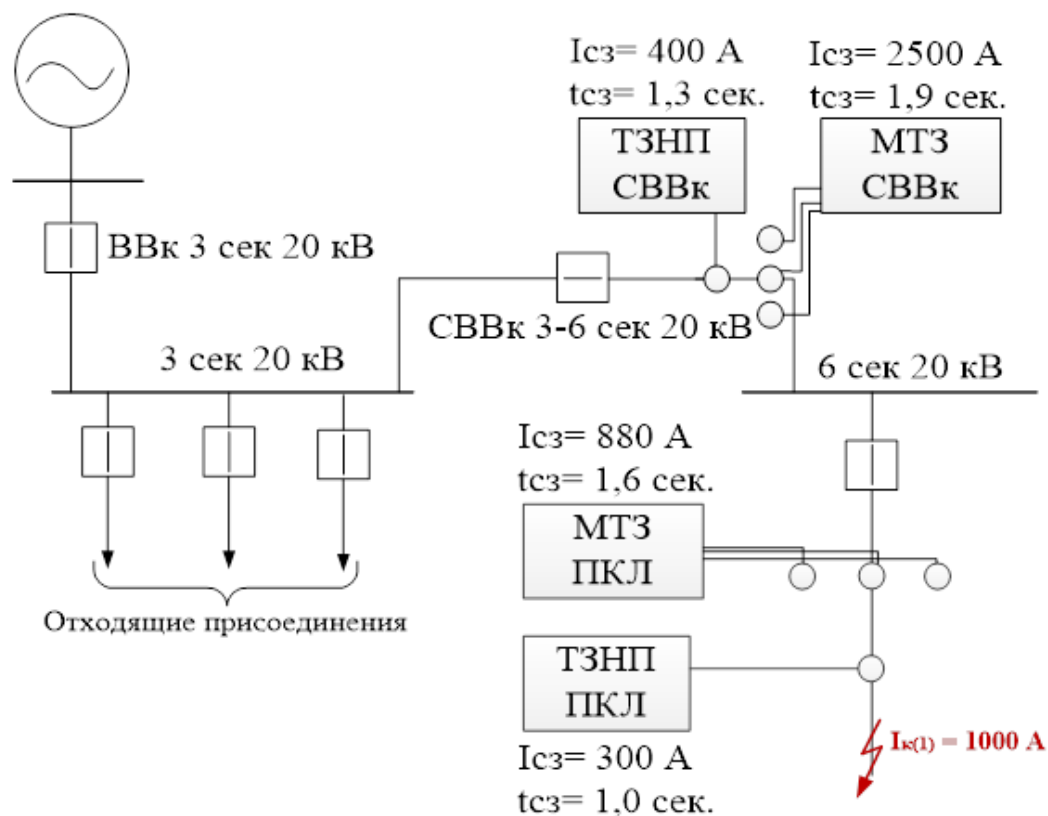


В части ступенчатых защит электрической сети 20 кВ на одних силовых присоединениях установлено две ступенчатые токовые защиты, действующие на отключение силового выключателя с разной выдержкой по времени (ОЛ: МТЗ = 1,7 сек, ТЗНП = 1,25 сек). При этом селективность действия каждой защиты (МТЗ и ТЗНП) достигается путем ступенчатого выбора уставок по времени смежных присоединений.

Данное решение сопряжено с риском неселективной работы защит одного присоединения, в случае если при междуфазном коротком замыкании в сети на одном из присоединений запустится также и ТЗНП, имеющая меньшую выдержку по времени, чем нижестоящая МТЗ. Например, при возникновении тока небалансы выше расчетной уставки ТЗНП по причине остаточной намагниченности ТТ или некачественного подключения цепей вторичной коммутации.

На практике для исключения подобного риска применяются перекрестные блокировки при пуске МТЗ на ТЗНП. Данное решение было взято из алгоритма функционирования микропроцессорного устройства SPAC 800, во внутренней логике которого также при одновременном пуске МТЗ и ТЗНП отключение происходит от МТЗ с его выдержкой по времени. Однако, это решение имеет недостатки, выявленные во время практической эксплуатации.

14.07.2019 года на ПС 220 кВ Мещанская при однофазном КЗ на отходящей кабельной линии от КРУ 20 кВ произошло отключение 6 секции КРУ 20 кВ ПС 220 кВ Мещанская от ТЗНП установленной на СВ 20 кВ.



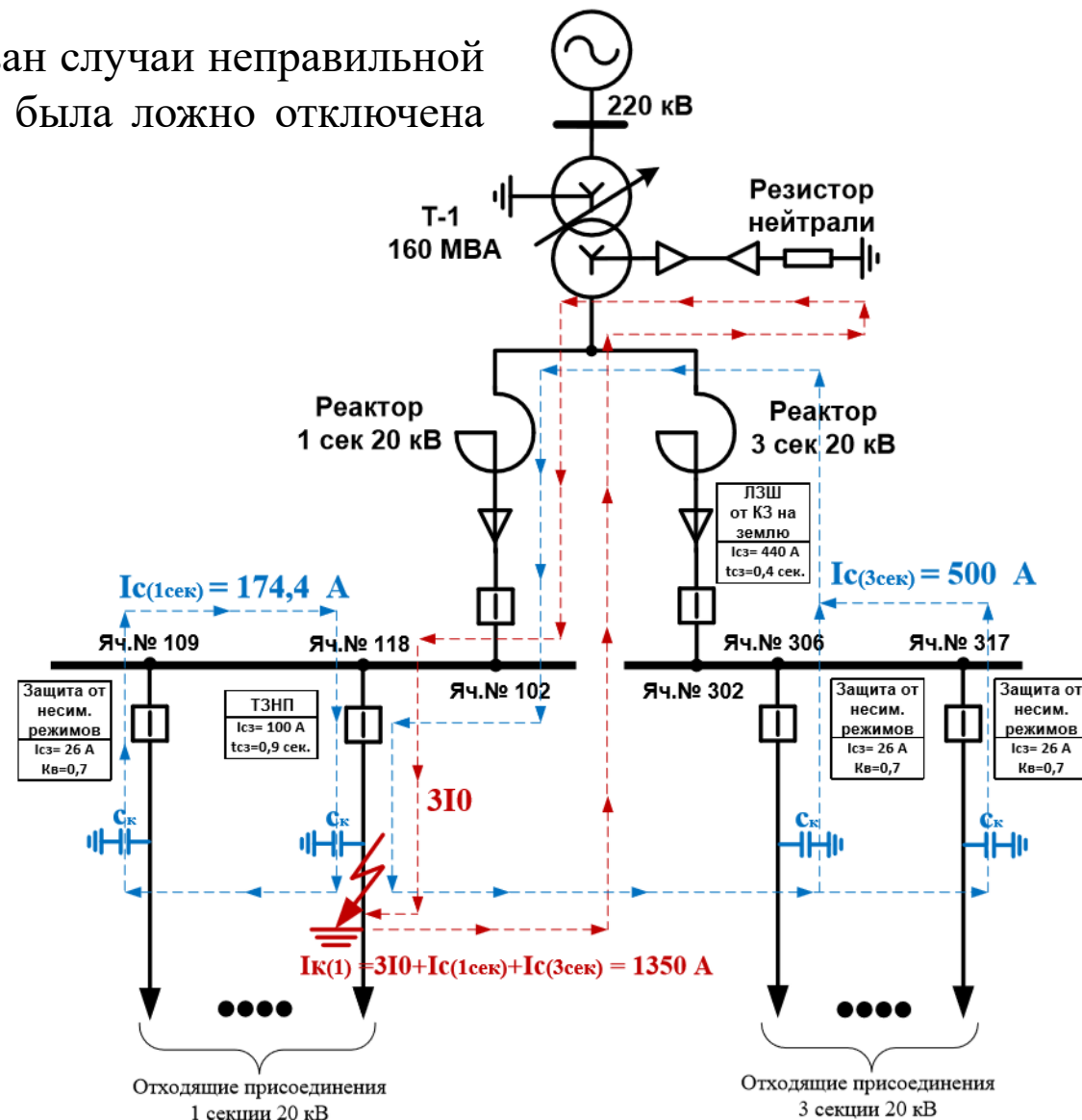
- Произошел одновременный пуск МТЗ ПКЛ и ТЗНП ПКЛ.
- На данном присоединении была предусмотрена блокировка работы ТЗНП при пуске МТЗ.
- МТЗ СВ не пустилась и не заблокировала ТЗНП, установленную на СВ (ТЗНП СВ).
- Уставка по времени МТЗ ПКЛ больше чем уставка ТЗНП СВ, поэтому ТЗНП СВ отработала раньше, в результате этого была излишне отключена 6 секция КРУ 20 кВ.

26.03.2020 на ПС 220 кВ Цимлянская был зафиксирован случай неправильной работы ЛЗШ от КЗ на землю, в результате которого была ложно отключена одна из секций КРУ 20 кВ.

На отходящей кабельной линии 20 кВ (яч. №118) произошло повреждение одной из фаз на землю в результате чего произошло отключение данного фидера от ТЗНП. Ток повреждения составил 1350 А. Уставки ТЗНП яч. 118 следующие: $I_{сз\ ТЗНП} = 100\text{ А}$, $t_{сз\ ТЗНП} = 0.9\text{ сек.}$

Одновременно с пуском защит яч. №118 пускаются защиты от несимметричных режимов отходящих присоединений 1 и 3 секции 20 кВ и ЛЗШ от замыканий на землю 3 секции 20 кВ.

Поскольку выдержка времени ЛЗШ от КЗ на землю 3 секции 20 кВ меньше ТЗНП яч. 118, то в первую очередь произошло отключение 3 секции КРУ 20 кВ, а затем поврежденного присоединения (яч. 118).





Причиной отключения секции явилось стекание емкостного тока от отходящих присоединений 3 секции 20 кВ к месту повреждения (яч. №118), поскольку от данной секции отходит значительное количество кабельных линий сечением жилы 500 мм² с изоляцией из сшитого полиэтилена.

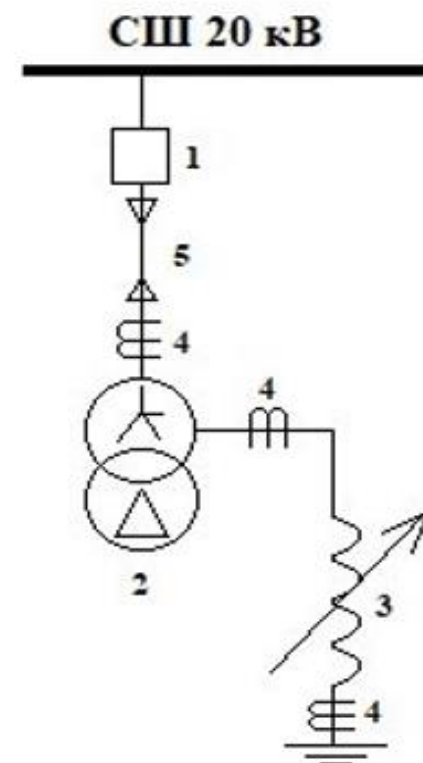
№ ячейки	Длина кабельной линии, км	Емкостной ток (на 3 фазы), А
306	9,77	42,5
307	9,705	42,217
308	9,769	42,495
309	9,752	42,42
310	9,737	42,36
311	6,876	29,911
312	13,988	60,848
313	6,876	29,911
314	10,48	45,588
315	11,015	47,915
316	5,5	23,925
317	10,733	46,689
Суммарный емкостный ток 3 секции КРУ 20 кВ:		496,77

Емкостной ток по присоединениям 3 секции КРУ 20 кВ ПС 220 кВ Цимлянская

На данный момент для компенсации возросших значений уровня емкостных токов на шинах 20 кВ ПС 220 кВ Цимлянская и обеспечения условий по электробезопасности, надежной и селективной работы принято решение провести мероприятия по установке и подключению компенсирующих устройств к секциям шин 20 кВ ПС 220 кВ Цимлянская. В плане подключение 4-х комплектов КУ к секциям шин 20 кВ, по одному КУ к каждой секции шин: 1 СШ, 2 СШ, 3 СШ, 4 СШ.

Состав компенсирующего устройства:

- нейтралезобразующий трансформатор 20/0,4 кВ (поз. 2),
- компенсирующий реактор 20 кВ, подключенный к нейтральному выводу нейтралезобразующего трансформатора по стороне ВН 20 кВ (поз. 3),
- трансформаторы тока (поз. 4),
- кабель из сшитого полиэтилена, предназначенный для подключения нейтралезобразующего трансформатора (поз. 5)





Применение ДЗЛ в сети 20 кВ с низкоомным резистивным заземлением нейтрали рассматривается в целях повышения быстродействия срабатывания устройств РЗА и снижения времени нахождения повреждения. Однако использование данной защиты имеет следующие сложности:

- 1) Токи однофазного замыкания на землю в сети 20 кВ могут быть меньше выбранной уставки ДЗЛ, что делает защиту нечувствительной.
- 2) Возникновение токов небаланса в цепях дифференциальной защиты, вызванные использованием разных типов трансформаторов тока по концам защищаемой линии и насыщением электромагнитных трансформаторов тока.
- 3) Снижение надежности работы РЗА за счет увеличения числа промежуточных каналобразующих элементов или программных ошибок в алгоритме устройства. Так, на ПС 110 кВ Грач произошло ложное срабатывание ДЗЛ КЛ 20 кВ при выполнении проверки терминала SPAC 801 в соседней ячейке, так как были перепутаны оптические волокна защит.
- 4) Большие капиталовложения на фоне более простых и надежных токовых ступенчатых защит (МТЗ и ТЗНП).



В докладе были рассмотрены особенности технических решений и расчета параметров срабатывания устройств и комплексов РЗА сети 20 кВ с резистивным заземлением нейтрали. Описаны проблемы, возникшие в ходе эксплуатации оборудования в сетях с низкоомным заземлением нейтрали, и способы их решения. Применение предложенных подходов и рекомендаций при проектировании и эксплуатации устройств РЗА в сетях 20 кВ с резистивным заземлением нейтрали способствует повышению надежности электроснабжения, снижению вероятности развития аварийных ситуаций, обеспечению безопасности персонала и сохранению оборудования.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на разработку унифицированных методов расчета уставок и более совершенных алгоритмов РЗА, учитывающих специфику работы сети.

Спасибо за внимание!

Контакты:



+7 (985) 400-25-64



GladyshevaDD@uneco.ru





1. Майоров А.В. Опыт эксплуатации и характеристики надежности электрических сетей 20 кВ мегаполиса // По материалам II Всероссийской конференции «ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 20 кВ», 2016
2. Майоров А.В. Опыт эксплуатации электрических сетей и вопросы развития их структуры // По материалам III Всероссийской конференции «ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 20 кВ», 2017
3. Титенков С.С., Пугачев А.А., Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организоваия релейной защиты от однофазных замыканий на землю //