

Гильманов Руслан Рустемович

студент

ФГБОУ ВО «Казанский государственный

энергетический университет»

г. Казань, Республика Татарстан

DOI 10.21661/r-559983

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ПРИ НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ НА ОТВЕТВЛЕНИЯХ С МАЛОМОЩНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

***Аннотация:** в статье рассматриваются различные способы решения проблемы распознавания токов коротких замыканий (КЗ) при различных ненормальных режимах работы на ответвлениях с маломощными трансформаторами. Будут рассмотрены следующие варианты решения данной проблемы: способ повышения чувствительности дистанционных защит (ДЗ) линий к двухфазным коротким замыканиям; работоспособность защиты дальнего резервирования трансформаторов при условии продольно-поперечной несимметрии; выполнение ступени ДЗ с использованием информации о токах с концов питания линии ответвления.*

***Ключевые слова:** линия с ответвлениями, короткие замыкания, дальнее резервирование, междуфазные короткие замыкания, маломощные трансформаторы.*

***Актуальность:** защиты дальнего резервирования широко используются в распределительных сетях, характеризующихся значительным количеством подстанций по упрощенным схемам, с использованием изоляторов и коротких замыканий в качестве коммутационных устройств. Если по какой-либо причине на ответвленной подстанции произойдет неупорядоченное короткое замыкание, система удаленной защиты дальнего резервирования (ЗДР) отключит линию электропередач, предотвращая полное выгорание и взрыв трансформатора.*

К настоящему времени на линиях электропередач (ЛЭП) 110–220 кВ во время действия междуфазных коротких замыканий (КЗ) со стороны низшего напряжения (НН) ответвления с маломощными трансформаторами как правило

используется резервная ступень токовой или дистанционной защиты (ДЗ), которая подключена к измерительным трансформаторам тока (ТТ) и напряжения (ТН) на конце линии. Но современные решения выполнения данных защит не удовлетворяли требованиям чувствительности к коротким замыканиям на ответвлениях с маломощными трансформаторами.

Кроме этого, режимы множественной продольно-поперечной несимметрии (ППН), с последующими разрывами фазных проводов воздушных линий (ВЛ) и возникающим при этом замыканием на землю в сети с резистивно-заземленной или изолированной нейтралью или током КЗ в сети с эффективно-заземленной нейтралью.

Токи короткого замыкания, протекающие в магистральных линиях электропередач, в случае коротких замыканий на стороне низкого напряжения ответвительных подстанций, сравнимы или даже меньше, чем значения нормальных токов нагрузки линии. Эти обстоятельства отражают необходимость улучшения существующих резервных защит для улучшения надежности электроснабжения потребителей.

Доцент кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина Колесов Лев Михайлович и инженер ООО «ВиВа Энерго» Можжухина Виктория Владимировна разработали алгоритм функционирования дистанционной защиты с применением волоконно-оптического канала связи (ВОЛС), для обеспечения повышения чувствительности ДЗ к токам КЗ на стороне низшего напряжения трансформаторного ответвления. Орган сопротивления с дополнительной ступенью дистанционной защиты выполнен на основе виртуального реле сопротивления (РС), включаемого на сумму токов двух концов питающей линии и напряжений на самом месте ответвления. Чтобы получить нужное напряжение на участке ответвления применяется напряжение на шинах, компенсированное при помощи падения напряжения от тока на сопротивлении участка линии до ответвления.

Замер измерительного органа сопротивления (ИОС) для защиты ДЗ1 по схеме рисунка 1 определяется следующим выражением.

$$Z_{\text{зам}} = \frac{\dot{U}_1 - i_1 Z_{\text{Л1}}}{i_1 + i_2}, \quad (1)$$

где \dot{U}_1 – напряжение на шинах подстанции в месте установки защиты; $Z_{\text{Л1}}$ – сопротивление участка линии до ответвления; i_1 и i_2 – ток через защиту и ток противоположного конца линии.

Используемый исполнительный орган сопротивления включается на фазные величины, при этом обеспечивая равенство замеров сопротивления при трехфазных и двухфазных коротких замыканиях на стороне низшего напряжения ответвления трансформатора Y/Δ .

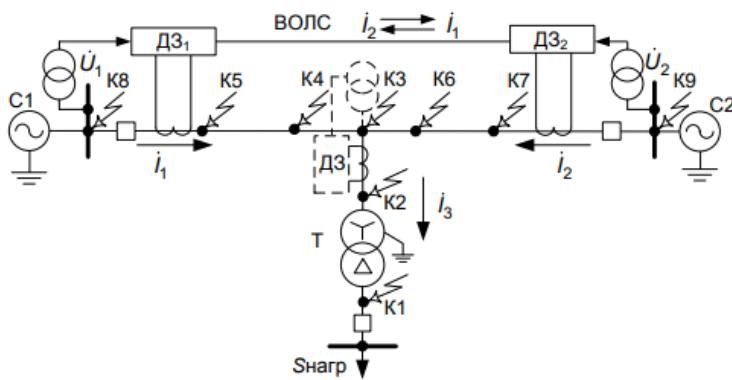


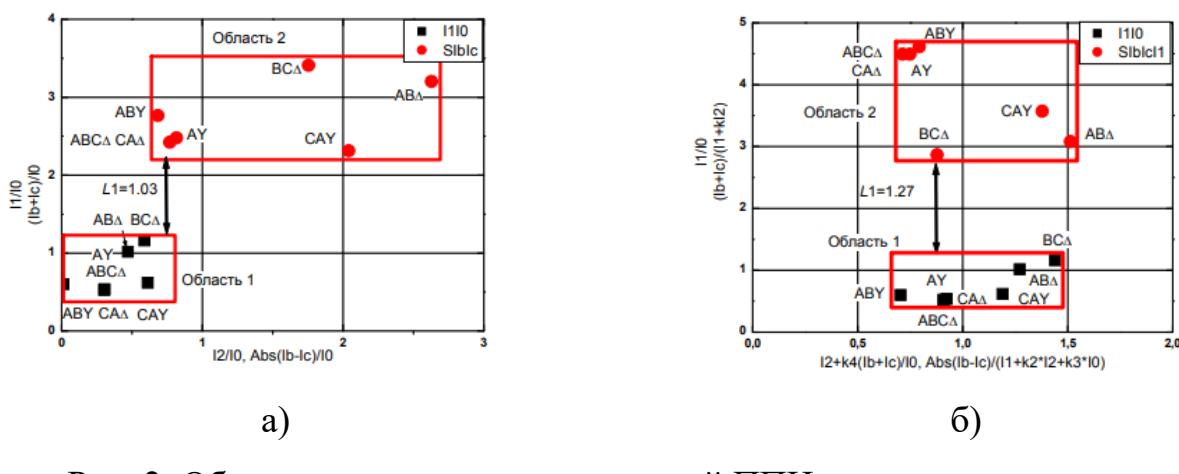
Рис. 1. Схема исполнительного органа сопротивления, включаемого на сумму токов двух концов питающей линии и напряжений на месте ответвления

Аспирантом Южно-Российского государственного технического университета Нагай Иваном Владимировичем были рассмотрены режимы множественной продольно-поперечной несимметрии (ППН), с последующими разрывами фазных проводов ВЛ и возникающим при этом замыканием на землю в сети с резистивно-заземленной или изолированной нейтралью или током КЗ в сети с эффективно-заземленной нейтралью.

Как следствие был сделан вывод, что в своем большинстве релейная защита (РЗ) дальнего резервирования воздушных линий с проходными или ответвительными подстанциями, а в частности и защиты ближнего резервирования не удовлетворяют требованиям чувствительности к рассмотренным режимам.

В следствие было предложено следующее решение задачи исследования.

Для исследуемой защиты пусковыми органами применяются органы тока симметричных составляющих: нулевой и обратной последовательностей с током срабатывания $I_{*cp} \geq k_3 k_{otc} I_{*nom}$, при его значении $I_{*cp} \leq (0,05 \div 0,1) I_{*sum}$, где I_{*sum} – максимальный ток нагрузки питающей линии, в таком случае применение измерительных органов приращения фазных токов или токов симметричных составляющих. Для наибольшего эффекта можно использовать измерительные органы относительного замера (рис. 2, а) токов симметричных составляющих (I_1/I_0 и I_2/I_0) и суммы и разности модулей фазных токов $((I_B + I_C)/|(I_B - I_C)|)$, где I_B, I_C – токи двух фаз с наибольшими величинами (в случае обрыва фазы А данными фазами являются фазы В и С); базовым током в этом случае принимается номинальный ток трансформатора. В то же время среднеквадратичное расстояние между областями токов симметричных составляющих и фазных токов превышает величину номинального тока защищаемого трансформатора, что помогает распознать режимы множественной продольно-поперечной несимметрии и обычных токов КЗ. При построении пусковых измерительных органов относительного замера следует учитывать максимальное удаление областей 1 и 2 при единовременным уменьшении их площадей. Этого можно достичь благодаря коррекции входных сигналов (рис. 2, б).



Гис. 2. Области режимов множественной ТППТ для пусковых органов относительного замера токов симметричных составляющих, и суммы, и разности модулей фазных токов: а) – без коррекции входных сигналов; б) – с коррекцией входных сигналов

Профессор Инновационного евразийского университета Зайцева Наталья Михайловна, профессор Научного исследовательского Томского политехнического университета Клецель Марк Яковлевич, доктор технических наук Омского государственного технического университета Никитин Константин Иванович и аспирант Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова Таронов Константин Сергеевич при исследовании проблемы недостаточной чувствительности дистанционных защит линий значительной длины к токам коротких замыканий за маломощными трансформаторами ответвлений составили свой алгоритм исполнения измерительного органа резервных защит.

Их алгоритм действия исполнительного органа заключается в следующем:

1. Непрерывное определение разности векторов токов фаз А и В, В и С, С и А. Каждый из этих фиксируется на время $t_{\text{п}}$ (которое будет определено дальше).
2. Из разностей векторов токов фаз А, В и С:

$$\bar{I}_{\text{HAB}} = \bar{I}_{\text{HA}} - \bar{I}_{\text{HB}}, \bar{I}_{\text{HBC}} = \bar{I}_{\text{HB}} - \bar{I}_{\text{HC}}, \bar{I}_{\text{HCA}} = \bar{I}_{\text{HC}} - \bar{I}_{\text{HA}}, \quad (2)$$

3. определенные в данном моменте времени (через $t_{\text{п}}$ после предыдущего), производится вычитание соответствующих разностей векторов токов фаз А, В и С предыдущего (за время $t_{\text{п}}$) режима:

$$\bar{I}_{\text{HAB}}^{\text{ПР}} = \bar{I}_{\text{HA}}^{\text{ПР}} - \bar{I}_{\text{HB}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{ПР}} = \bar{I}_{\text{HB}}^{\text{ПР}} - \bar{I}_{\text{HC}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{HCA}}^{\text{ПР}} = \bar{I}_{\text{HC}}^{\text{ПР}} - \bar{I}_{\text{HA}}^{\text{ПР}}, \quad (3)$$

где $\bar{I}_{\text{HA}}, \bar{I}_{\text{HB}}, \bar{I}_{\text{HC}}$ и $\bar{I}_{\text{HA}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{HB}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{HC}}^{\text{ПР}}$ – вектора токов фаз А, В и С текущего и предыдущего режимов. Обозначение результатов данных вычитаний:

$$\bar{I}_{\text{AB}} = \bar{I}_{\text{HAB}} - \bar{I}_{\text{HAB}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{BC}} = \bar{I}_{\text{HBC}} - \bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{ПР}}, \bar{I}_{\text{CA}} = \bar{I}_{\text{HCA}} - \bar{I}_{\text{HCA}}^{\text{ПР}}. \quad (4)$$

4. Первый результат по пункту 2 вычитается из второго, второй-из третьего, третий – из первого. Получаем следующее выражение:

$$\bar{I}_{\text{P1}} = \bar{I}_{\text{BC}} - \bar{I}_{\text{AB}}, \bar{I}_{\text{P2}} = \bar{I}_{\text{CA}} - \bar{I}_{\text{BC}}, \bar{I}_{\text{P3}} = \bar{I}_{\text{AB}} - \bar{I}_{\text{CA}}, \quad (5)$$

5. Сравнение модулей токов $\bar{I}_{\text{P1}}, \bar{I}_{\text{P2}}, \bar{I}_{\text{P3}}$ с (уставкой) током I_{CP} срабатывания измерительного органа. Если один из них больше или равен I_{CP} , то происходит срабатывание ИО и подается сигнал в логическую часть защиты. Используя микропроцессорное исполнение сравнивать можно с частотой дискретизации в 1–2 мс. Этого времени достаточно для его осуществления, при полупроводниковом –

0,02 с. t Это помогает обеспечению высокой точности уставки по времени t_{cz} срабатывания защиты (для резервных защит линий $t_{cz} \geq 1$ с) без особых требований к точности дискретизации, потому как 2 мс составляют 0,2% от 1 с. Через время t_{π} после запуска защиты (рис.2) происходит первое сравнение с уставкой. Если КЗ произойдет за это время, тогда время ее работы будет увеличено до $t_{cz} + t_{\pi}$. Тогда t_{π} будет минимальным, при этом должны обеспечиваться все операции при использовании данного алгоритма, то есть больше частоты дискретизации и времени существования (0,01–0,03 с) вероятной помехи в цепях трансформатора тока. Для запаса можно принять $t_{\pi} = (0,05–0,1)$ с.

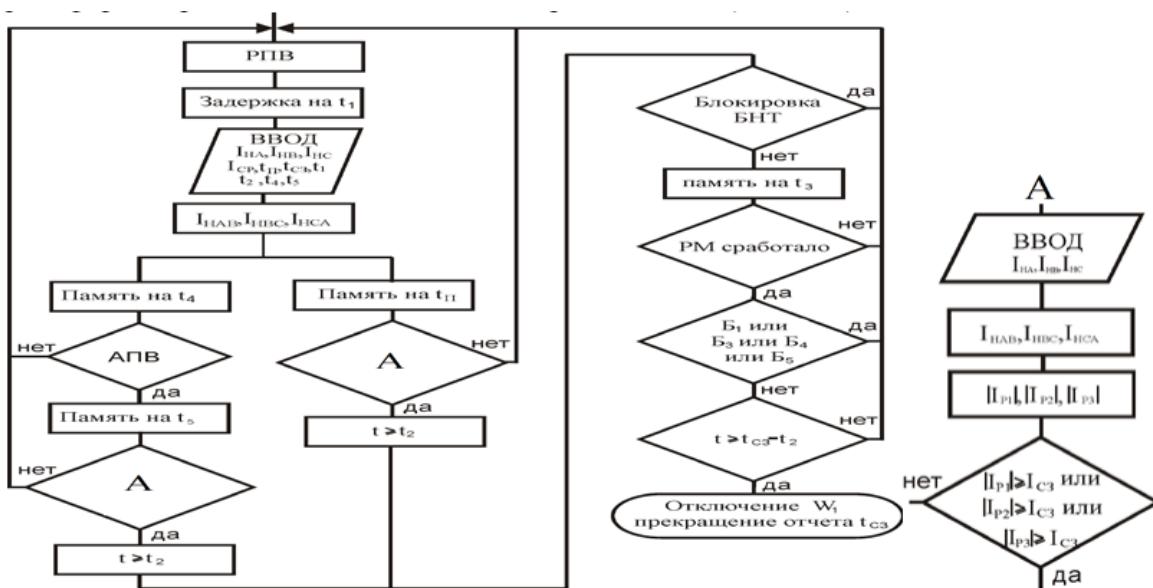


Рис. 3. Структурная схема алгоритма защиты

Выводы: Приведенные в статье разработки по способам повышения чувствительности защиты дальнего резервирования были успешно испытаны и способствовали решению следующих задач:

1. Использование волоконно-оптического канала связи в алгоритме функционирования дистанционной защиты помогает достичь высокой чувствительности к токам КЗ на стороне низкого напряжения на ответвлениях трансформатора.
2. Чтобы минимизировать объем повреждений электрооборудования и его неселективного отключения при режимах множественной продольно-

поперечной несимметрии на ВЛ с ответвительными подстанциями необходима установка специальной релейной защиты с повышенной распознаваемостью.

3. Алгоритм разработанный профессором Инновационного евразийского университета Зайцевой Наталей Михайловной, профессором Научного исследовательского Томского политехнического университета Клецель Марком Яковлевичем, доктором технических наук Омского государственного технического университета Никитиным Константином Ивановичем и аспирантом Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова Тароновым Константином Сергеевичем позволяет измерительным органам защиты (ИО), построенным на его основе, выявлять двухфазные короткие замыкания на ответвлениях с трансформаторами, где токи в линии (без токов нагрузки) будут составлять $(0,1 \div 0,2) I_{\text{РАБМАКС}}$.

Список литературы

1. Колесов Л.М. Выполнение ступени дистанционной защиты с использованием информации о токах питающих концов линии с ответвлением / Л.М. Колесов, В.В. Можжухина // Вестник ИГЭУ. – 2019. – №4. – С. 44–53. DOI 10.17588/2072-2672.2019.4.044-053. EDN ZPXTFN.
2. Зайцева Н.М. Повышение чувствительности защит линий к двухфазным кз за маломощными трансформаторами / Н.М. Зайцева, М.Я. Клецель, К.И. Никитин [и др.] // Проблемы энергетики – 2015. – №3. – С. 11–16.
3. Нагай И.В. Обеспечение функций дальнего резервирования релейной защиты трансформаторов в условиях продольно-поперечной несимметрии / И.В. Нагай // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки. – 2011. – №5. – С 19–24. EDN OIPSDB.
4. Нагай В.И. Резервирование релейной защиты и коммутационных аппаратов электрических распределительных сетей / В.И. Нагай, И.Ф. Маруда, В.В. Нагай. – Ростов н/Д – 2009. – 316 с. EDN QMKZXX.
5. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей / А.М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
6. Кузник Ю.С. Возможности дальнейшего резервирования защит трансформаторов / Ю.С. Кузник // Электрические станции. – 1994. – №10. – С. 49–53.