

Петербургские авторы продолжают знакомить с концепцией, позволяющей повысить эффективность направленных защит от ОЗЗ. В статье [1] обсуждалось влияние переходного сопротивления $R_{зам}$ в месте ОЗЗ на режимные параметры нулевой последовательности и на условия работы направленных защит. Рассматривалась работа пусковых органов защит, анализирующих направление и величину активной мощности нулевой последовательности.

В новой публикации речь идет об особенностях работы направленных защит в переходных режимах ОЗЗ, в частности в режимах неустойчивых и дуговых ОЗЗ с нелинейным и изменяющимся во времени $R_{зам}$.

НАПРАВЛЕННЫЕ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМАХ НЕУСТОЙЧИВЫХ И ДУГОВЫХ ОЗЗ

Вопросы совершенствования работы

Действие направленных защит в режимах неустойчивых и дуговых однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) с нелинейным и нестабильным во времени переходным сопротивлением $R_{зам}$ можно усовершенствовать, если в качестве пусковых органов направленных защит использовать мгновенную мощность и энергию нулевой последовательности (НП).

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ПОТОКОВ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

При ОЗЗ с нелинейным и нестабильным во времени $R_{зам}$ невозможно выделить мощность НП по формулам, в которых используется комплексное представление токов и напряжений на основной частоте. В этих условиях, как показал анализ полученных авторами многочисленных цифровых осциллограмм режимов дуговых ОЗЗ, необходимую информацию для идентификации аварийной цепи удастся получить по результатам расчета, соответствующей обработки и сравнения в централизованных защитах мгновенной мощности НП присоединений, являющейся произведением тока $3i_0(t)$ и напряжения $u_0(t)$, измеряемых трансформатором ТТНП:

$$3s_0(t) = 3i_0(t) \cdot u_0(t). \quad (1)$$

Мощность $3s_0(t)$ при кратковременных самоустраниющихся пробоях изоляции имеет импульсный и знакопеременный характер, а в случаях устойчивого ОЗЗ в этой мощности доминирует частота 100 Гц. Применяя к сигналам мгновенной мощности НП присоединений известные алгоритмы усреднения на последовательно чередующихся или скользящих окнах $T_{ур}$, можно выделить среднюю мощность, которая является исследуемым нами сигналом активной мощности НП присоединения $3p_0(t) = 3s_{0,ур}(t)$. Величину $T_{ур}$ целесообразно выбирать кратной периоду $T = 0,01$ с, соответствующему частоте 100 Гц.

Отрицательный знак усредненной мощности $3p_{0,ав}(t)$ аварийного присоединения противоположен знаку мощности $3p_{0,неав}(t)$ неаварийных присоединений, к тому же последние имеют несравненно меньшую величину. Эти особенности позволяют организовать работу централизованных защит НП для установления места повреждения без использования присущих индивидуальным защитам проблемных понятий об уставках их срабатывания. Далее показано, что на начальных этапах кратковременных пробоев изоляции с последующим ее восстановлением определение аварийного фидера возможно и при сопоставлении неусредненных пиковых значений мгновенной мощности $3s_0(t)$.

Изучение осциллограмм начальных стадий однофазных повреждений изоляции привело к идее использовать в качестве сигналов защит сигналов энергии НП, переданных по присоединениям и являющихся интегралами мгновенной

мощности $3s_0(t)$ за интервал времени от момента запуска защиты до принятого момента $T_{защ}$ ее срабатывания (завершения сопоставления и анализа централизованной защитой энергии отдельных присоединений):

$$3w_{p_0}(T_{защ}) = \int_0^{T_{защ}} 3s_0(t) \cdot dt. \quad (2)$$

В аварийном присоединении сигнал (2) имеет большой отрицательный тренд роста в отличие от положительных и небольших трендов у неаварийных присоединений. При выполнении операции интегрирования в сигналах энергии дополнительно хорошо подавляются знакопеременные составляющие, присутствующие в мгновенной мощности $3s_0(t)$.

Интегрирование по (2) легко реализуется в темпе процесса в современных цифровых терминалах релейных защит как алгоритм накопительного суммирования i -х порций энергии $3s_{0i} \cdot \Delta t_{изм}$, переданных на фиксированном интервале измерения переменных $\Delta t_{изм}$:

$$3w_{p_0}(T_{защ}) \cong \sum_1^{n_i} 3s_{0i} \cdot \Delta t_{изм}, \quad (3)$$

где $n_i = T_{защ} / \Delta t_{изм}$ – номер измерения с момента запуска защиты.

В [1] было показано, что для повышения чувствительности и селективности направленных защит желательно учитывать потери в переходном сопротивлении замыкания на землю. Для этого при расчете по (1) мгновенной мощности НП аварийного присоединения необходимо заменить напряжение $u_0(t)$ на ЭДС $e_{0\Gamma}(t) = -u_{ав,иск}(t)$, равную с противоположным знаком напряжению аварийной фазы в исходном доаварийном режиме. Эту ЭДС, согласно сделанному в [1] пояснению, также можно представить в виде $e_{0\Gamma}(t) = u_0(t) - u_{ав,фаза}(t)$ с доступными для измерения в режиме ОЗЗ напряжениями $u_0(t)$ и $u_{ав,фаза}(t)$.

В результате в аварийном фидере будут рассчитываться мгновенная мощность $3s_{0,ав\Gamma}(t)$ и энергия $3w_{p_{0\Gamma}}(T_{защ})$ с учетом потерь в $R_{зам}$:

$$3s_{0,ав\Gamma}(t) = 3i_{0,ав}(t) \cdot e_{0\Gamma}(t),$$

$$3w_{p_{0,ав\Gamma}}(T_{защ}) = \int_0^{T_{защ}} 3s_{0,ав\Gamma}(t) \cdot dt. \quad (4)$$

Далее с использованием осциллограмм режимов ОЗЗ демонстрируются отличительные признаки аварийных и неаварийных присоединений, подтверждающие изложенную выше и в [1] концепцию работы направленных защит с рабочими сигналами «мощность НП» и «энергия НП».

Леонид Кучумов, к.т.н.
Антон Кузнецов, к.т.н.
Денис Червочков
ЗАО «НПФ «ЭНЕРГОСОЮЗ»,
г. Санкт-Петербург

ПРИМЕРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НП В РЕЖИМЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОЗЗ В СЕТИ 10 кВ

Вначале приведем примеры расчета обсуждавшихся выше сигналов защит $3s_0(t)$, $3p_0(t)$ и $3w_{p_0}(T_{заш})$, выполненного по результатам проведенных опытов металлического ОЗЗ в сети 10 кВ, когда потери в переходном сопротивлении отсутствовали, а мгновенная мощность после затухания свободных составляющих представляла собой сигналы частоты 100 Гц. Замыкание фазы А на землю длительностью 0,6 с осуществилось на РП, удаленной от центра питания на расстояние 6,4 км. Воспроизводились режимы изолированной и резистивно заземленной нейтрали.

Изолированная нейтраль

В случае изолированной нейтрали в месте ОЗЗ (на РП) был зафиксирован ток $I_{ОЗЗ} = 128$ А. На рис. 1 показаны снятые на головной подстанции осциллограммы фазных напряжений, а также токов НП аварийного присоединения (в нем измерено действующее значение тока $3I_{0ав} = 64$ А) и одного из двух имеющихся идентичных неаварийных присоединений с собственным током каждого из них $3I_{0неав} = 32$ А. Фазировки токов отвечают их направлениям в сторону нагрузки. Отметим также, что данная сеть работает с обратным чередованием фаз.

Ток $3i_{0ав}(t)$ отстает по фазе от напряжения $u_0(t)$ на угол, несколько больший 90° , что означает наличие потребления из сети реактивной мощности НП индуктивного характера и генерации в сеть активной мощности НП. Токи неаварийных присоединений $3i_{0неав}(t)$ опережают напряжение $u_0(t)$ на угол немного меньший 90° , и это соответствует емкостно-активной нагрузке сопротивления изоляции этих присоединений. На осциллограммах видны затухающие на протяжении периода промышленной частоты свободные составляющие токов и напряжений.

Временные зависимости обсуждаемых в статье мощностей и энергий НП представлены на рис. 2 и рис. 3. Рассчитанные по (1) мгновенные мощности $3s_0(t)$ аварийного и неаварийных фидеров после затухания переходного процесса имеют вид синусоиды частоты 100 Гц с небольшими средними составляющими, соответствующими активной мощности сигналов НП. Оценки мощности НП для аварийного фидера в установленном режиме ОЗЗ дали значения $3S_{0ав} = 3P_{0ав} + j3Q_{0ав} = = 3U_0I_0 \cos\varphi_0 + j3U_0I_0 \sin\varphi_0 \cong -9$ кВт + j380 квар.

В двух идентичных по параметрам неаварийных присоединениях в установленном режиме фиксируется мощность $3S_{0неав} \cong 4,5$ кВт – 190 квар, причем знаки активной и реактивной мощности противоположны знакам активной и реактивной мощности в аварийном фидере.

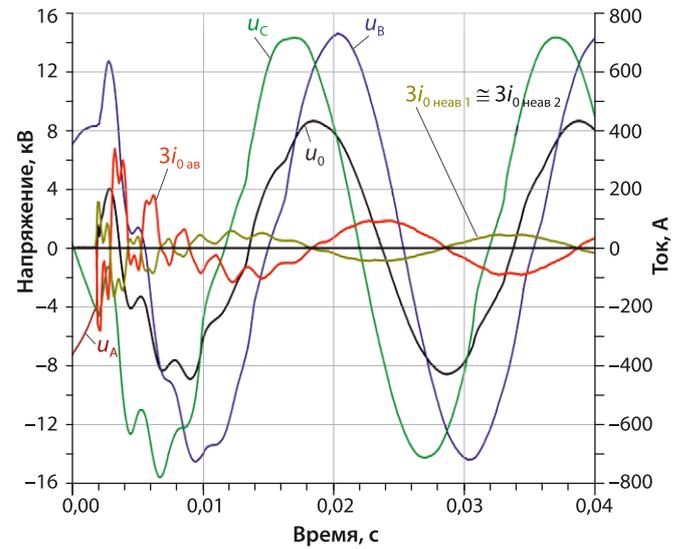
Такие же активные составляющие мощности НП аварийного и неаварийных присоединений можно выделить и без вычисления комплексов токов и напряжений как средние значения соответствующих сигналов мгновенной мощности. На рис. 2 усредненная мощность аварийного $3p_{0ав\text{ ср}}(t)$ и неаварийного $3p_{0неав\text{ ср}}(t)$ фидеров, рассчитанная при окнах усреднения $T_{уср} = 0,01$ с, скользящих с шагом оцифровки осциллограмм $\Delta t_{изм} = 100$ мкс, показана прерывистыми линиями.

Построенные на рис. 3 и определенные по (2) или (3) сигналы энергии для аварийного присоединения $3w_{p_0ав}(T_{заш})$ в режиме ОЗЗ имеют отрицательный тренд, а средние значения энергии неаварийных присоединений $3w_{p_0неав}(T_{заш})$ – положительный (или близкий к нулю). В сигналах энергии видно присутствие пульсаций частоты 100 Гц, которые практически отсутствуют в подвергшихся процедуре усреднения сигналах $3w_{p_0\text{ ср}}(T_{заш})$. В начальные моменты ОЗЗ в присоединениях заметно увеличение активной мощности НП под влиянием свободных составляющих переходного процесса.

В сетях с изолированной нейтралью по знаку и величине преобладающей в данном случае реактивной мощности НП можно точно определить поврежденные и неповрежденные присоединения. Различия значений реактивной мощности и соответственно различия по фазам векторов \dot{U}_0 и \dot{I}_0 давно успешно используются в направленных защитах типа ЗЗН и ЗЗП-1М, устанавливаемых в таких сетях. Но в связи с тенденцией отказа от эксплуатации сетей с изолированной нейтралью совершенствование подобных защит малоперспективно (об этом упоминалось в [1]).

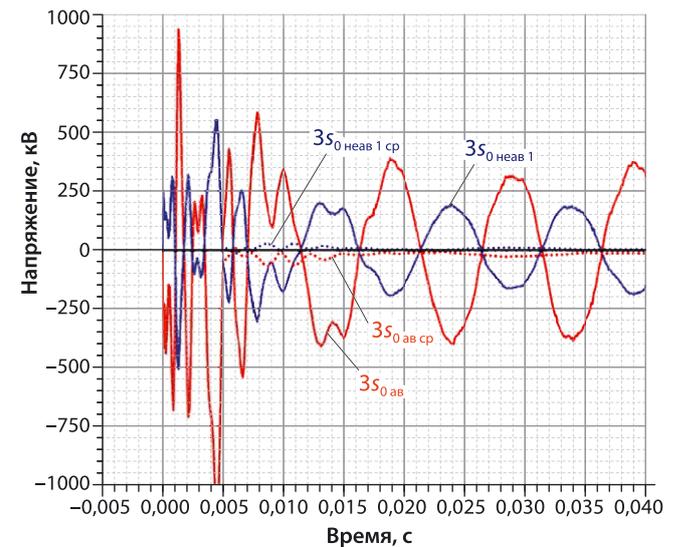
Напряжения и токи в режиме металлического ОЗЗ, зафиксированные на головной подстанции при изолированной нейтрали сети

Рис. 1 •



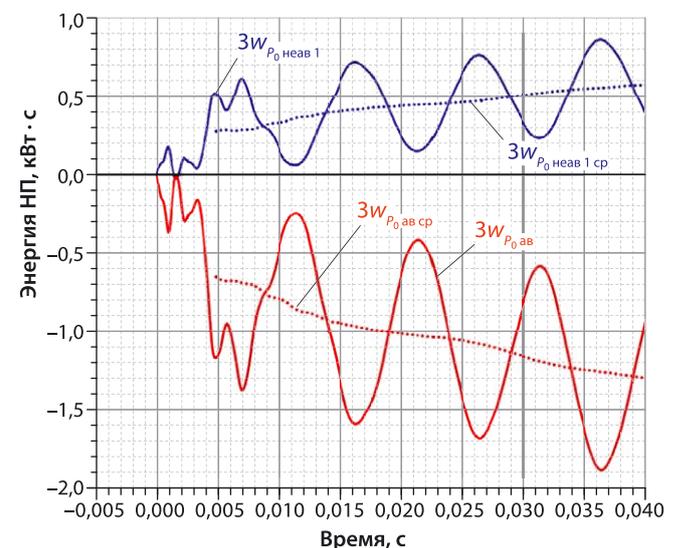
Мгновенная мощность НП в аварийном и неаварийных присоединениях и ее усредненные значения в режиме ОЗЗ, зафиксированном на рис. 1

Рис. 2 •

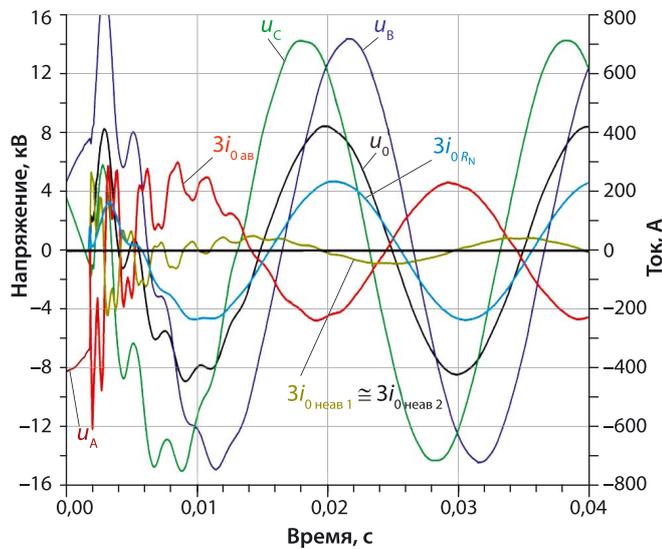


Энергия НП в аварийном и неаварийных присоединениях в режиме ОЗЗ, зафиксированном на рис. 1

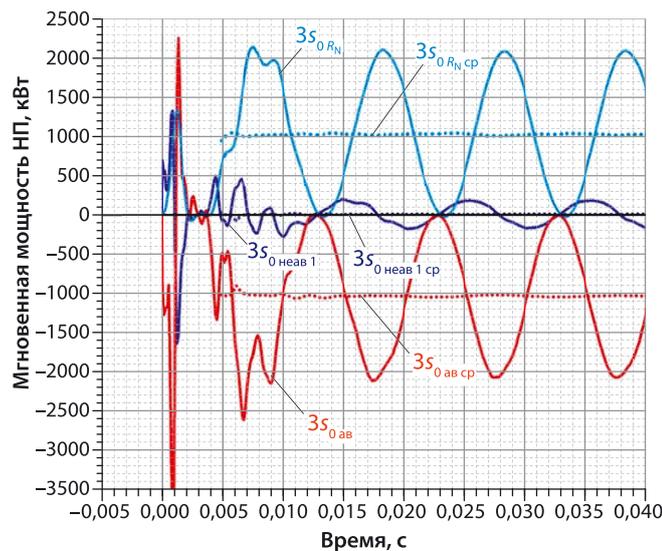
Рис. 3 •



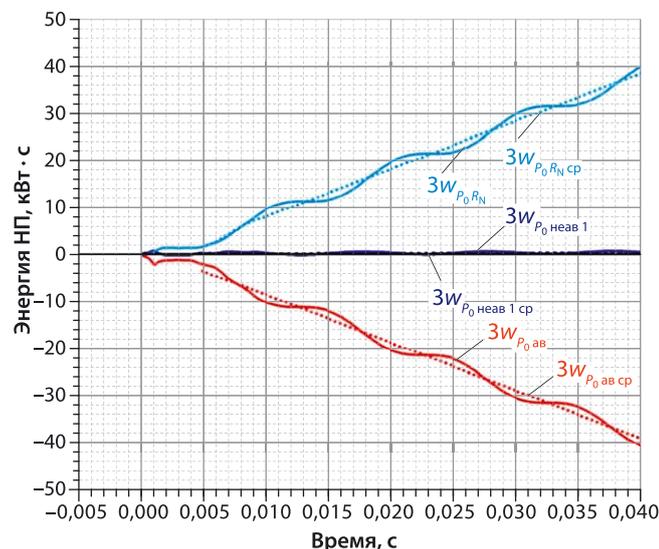
• **Рис. 4.** Напряжения и токи в режиме металлического ОЗЗ, зафиксированные на головной подстанции при резистивно заземленной нейтрали сети



• **Рис. 5.** Мгновенная мощность НП в аварийном и неаварийных присоединениях и ее усредненные значения в режиме ОЗЗ, зафиксированном на рис. 4



• **Рис. 6.** Энергия НП аварийного и неаварийных присоединений в режиме ОЗЗ, зафиксированном на рис. 4



► **Резистивно заземленная нейтраль**

Резистивно заземленная нейтраль в обсуждаемой сети 10 кВ является штатным решением. Для надежной работы простых токовых защит к нейтрали подключаются один или два резистора с сопротивлением $R_N = 29,8 \text{ Ом}$, которые увеличивают токи металлического ОЗЗ до значений соответственно 200 и 350 А. Опыты металлического ОЗЗ осуществлялись при включении в нейтраль одного резистора. Записанные на головной подстанции осциллограммы и рассчитанные с их использованием мощность и энергия НП представлены на рис. 4–6 (они оформлены по тем же правилам, что и рис. 1–3).

Согласно рис. 4 ток $3i_{0ав}(t)$ при принятом направлении токов НП присоединений в сторону земли находится практически в противофазе с напряжением $u_0(t)$. И это означает существование в аварийном присоединении активного потока мощности НП $3P_{0ав}$. Обработка результатов измерений дала значение комплексной мощности $3S_{0ав}^* = 3P_{0ав} + j3Q_{0ав} \approx -1050 \text{ кВт} + j80 \text{ квар}$. Многократный рост при наличии R_N имеющей отрицательный знак мощности $3P_{0ав}$ по сравнению с мощностью $3P_{0неав}$ неаварийных присоединений (они такие же, как при изолированной нейтрали сети) создает избыточно комфортные условия работы направленной защиты с сигналами «активная мощность НП». Мощность $3P_{0ав}$ выделяется в резисторе, выбранном в данной сети из условия его обесточивания при ликвидации защитой режима ОЗЗ в течение 5 с. Активно-индуктивный ток НП в фидере с заземляющим трансформатором и резистором в его нейтрали на рис. 4 обозначен как $3i_{0RN}$.

В данном примере, казалось бы, можно на порядок и более увеличить сопротивление резистора R_N с сохранением надежной работы защиты по ваттметровым сигналам. Но выбор столь низкоомного резистора, как было выше сказано, продиктован и условиями возникновения при его наличии гарантированно устойчивого режима ОЗЗ для работы простых токовых защит НП.

ВЫДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НП ПРИ НЕУСТОЙЧИВЫХ И ДУГОВЫХ ОЗЗ В СЕТИ 6 кВ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Следующие примеры иллюстрируют возможность организации селективной работы направленных защит с пусковыми сигналами «мощность НП» и «энергия НП» в распределительной сети 6 кВ, которая имеет 60 радиально отходящих от центра питания присоединений при суммарном емкостном токе ОЗЗ $I_{ОЗЗ} \approx 500 \text{ А}$. Этот ток компенсируется четырьмя дугогасящими реакторами ДГР, один из которых имеет автоматическое регулирование. Нескомпенсированной остается активная составляющая тока ОЗЗ с измеренной величиной около 55 А. Несмотря на столь большую остаточную величину активного тока ОЗЗ в большинстве случаев замыкания на землю начинаются с появления чередующихся режимов так называемых клевков, когда ток ОЗЗ прерывается через несколько миллисекунд и происходит самовосстановление изоляции до очередного пробоя, который наступает через 0,08–0,16 с.

В подобных режимах трудно реализовать селективную и надежную работу действующих на отключение простых токовых защит даже на тупиковых присоединениях потребителей, которые в данном случае удалены на расстояние 3 км и более от центра питания. Токовые защиты срабатывают только при наступлении устойчивого непрерывного замыкания, которое обычно возникает с большими задержками во времени.

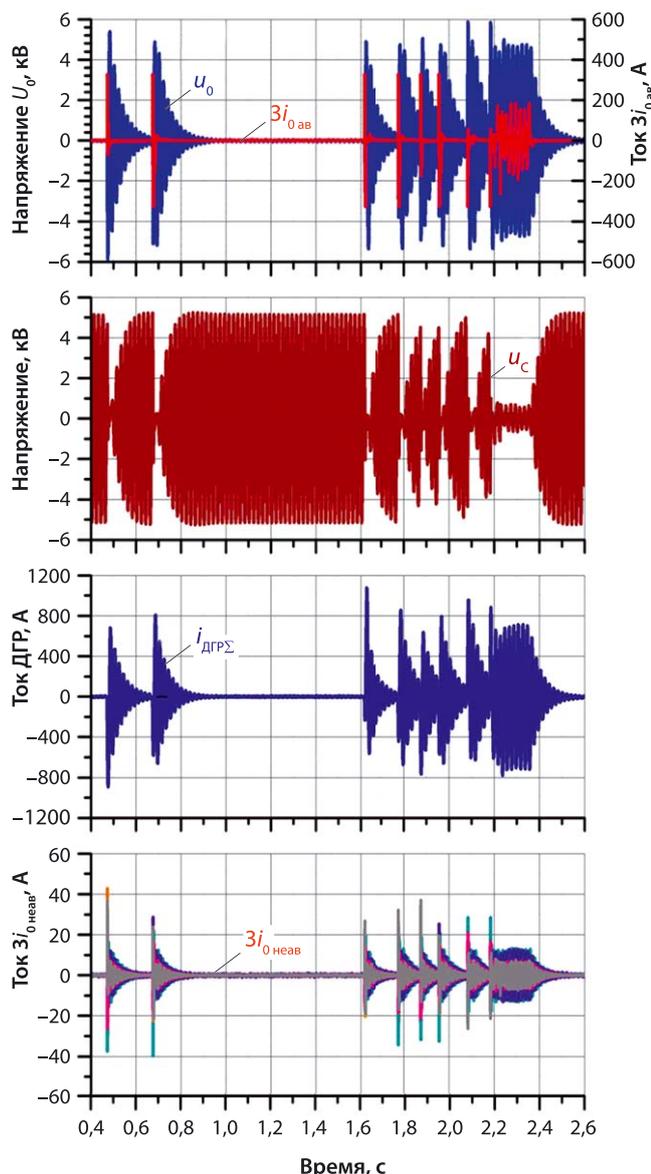
Невозможность организации надежной селективной работы защит при ОЗЗ вынуждает прибегать к продолжительному поиску поврежденных линий путем их последовательного отключения-включения, что часто заканчивается возникновением множественных замыканий с переходом первичного повреждения в двухфазные и трехфазные КЗ. Реализация в этой сети селективной работы повсеместно действующих на отключение защит от ОЗЗ признана настоящей необходимостью.

Одним из возможных, но спорных путей решения этой задачи является установка в нейтрали параллельно с ДГР относительно низкоомных резисторов с целью создания при возникновении уже первичного замыкания на землю устойчивого протекания повышенных токов, достаточных для работы простых токовых защит.

Другое решение состоит в организации работы направленных защит с пусковыми ваттметрическими сигналами НП, которые в данной сети имеют весомые значения.

Напряжения и токи на двухсекундном интервале времени существования однофазных пробоев изоляции

Рис. 7 •



Далее обсуждаются параметры сигналов таких защит при ориентации на осциллограммы, полученные с помощью специально размещенных в головном распределительном устройстве регистраторов аварийных событий для всеобъемлющего мониторинга фазных напряжений, токов ДГР и токов $Z i_0$ во всех 60 магистральных КЛ, идущих к РП потребителей. Для исключения ошибок при определении аварийного фидера в регистраторах была тщательно выверена фазировка токовых цепей НП.

Для дальнейшего обсуждения выбрана осциллограмма, иллюстрирующая длящийся 2 секунды процесс повреждения изоляции при исходном режиме с практически 100-процентной компенсацией емкостного тока ОЗЗ. Процесс завершился непрерывным горением дуги в месте однофазного замыкания и отключением на РП тупикового аварийного присоединения. На рис. 7 показано, как при этом изменялось напряжение u_0 , напряжение аварийной фазы С, токи аварийного $Z i_{0ав}$ и неаварийных $Z i_{0неав}$ присоединений, суммарный ток $i_{ДГР\Sigma}$ четырех ДГР.

Вначале было 7 характерных для компенсированных сетей клевков – кратковременных пробоев изоляции, завершившихся ее самовосстановлением. При этом, несмотря на существование значительных по величине выбросов токов $Z i_{0ав}$, в аварийном присоединении токовая защита НП не работала в связи с крайне малым действующим значением этого тока. В конце

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА
ЭНЕРГОСОЮЗ

Разрабатывает и внедряет:

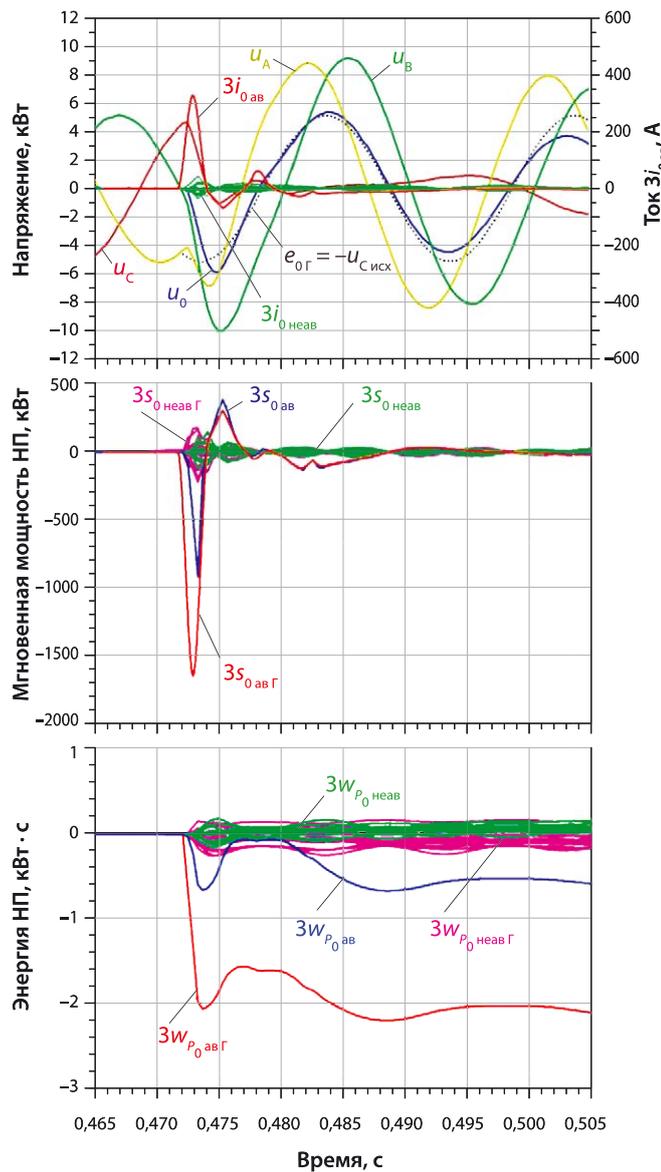
- ▶ Автоматизированные системы управления электротехническим оборудованием станций и подстанций всех классов напряжения.
- ▶ Полномасштабные системы диспетчеризации электроснабжения промышленных предприятий.



Оборудование НПФ «ЭНЕРГОСОЮЗ» под торговой маркой «НЕВА» эксплуатируется более чем на 500 энергообъектах в большинстве регионов России и стран СНГ.

194354, Россия, Санкт-Петербург
ул. Есенина, д. 5 «Б»
Тел./факс: (812) 320-0099, 591-6245
E-mail: mail@energsoyuz.spb.ru
www.energsoyuz.spb.ru

• Рис. 8. Режимные параметры при первом пробое изоляции (клевке)



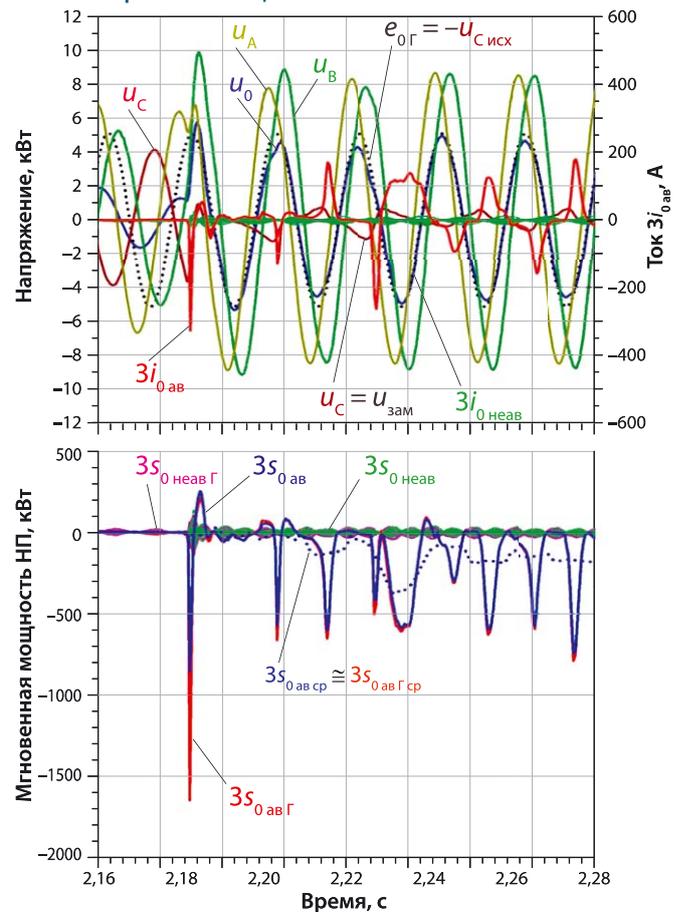
► процесса при $t \approx 2,2$ с возникло устойчивое дуговое замыкание с преимущественно активным действующим током около 70 А, под воздействием которого и произошло отключение аварийного присоединения.

Первый и последующий пробой изоляции происходили при напряжениях на фазе около 4,1–5 кВ. Фиксируемые величины действующего значения суммарного тока ДТР ($i_{ДТР\Sigma} \approx 500$ А) свидетельствуют о большой величине емкостной составляющей тока ОЗЗ в данной сети. Токи неаварийных присоединений $3i_{0\text{ неав}}$ имеют на порядок меньшие амплитуды по сравнению с током аварийного присоединения (вследствие их большого количества на осциллограмме выделяются огибающие только наибольших по величине токов).

Процессы при первом клевке с увеличенной разверткой во времени, а также с расчетом мощности и энергии НП аварийного и неаварийных присоединений представлены на рис. 8. Пробой изоляции произошел на подъеме напряжения $u_c(t)$ вблизи его максимума. При этом появился бросок тока $3i_{0\text{ ав}}(t)$ длительностью около 7 мс с амплитудой, значительно превышающей амплитуду наиболее значимого броска тока $3i_{0\text{ неав}}$. Отсутствие крутого среза в кривой напряжения $u_c(t)$ в момент пробоя объясняется нахождением места ОЗЗ от центра питания, где проводилось осциллографирование, на расстоянии не менее 3 км.

Обращает на себя внимание и быстрое затухание свободных высокочастотных составляющих вследствие, очевидно, влияния значительной активной составляющей тока ОЗЗ в данной сети.

• Рис. 9. Режимные параметры ОЗЗ на заключительном этапе пробоя изоляции



Мгновенная мощность аварийного присоединения $3i_{0\text{ ав}}$ рассчитывалась по формуле (1), а мощность $3s_{0\text{ ав Г}}$ – по формуле (4), учитывающей потери в $R_{зам}$. Различие между ними наблюдается только в течение времени существования тока $3i_{0\text{ ав}}(t)$. Обе мощности имеют отрицательный выброс, свидетельствующий о генерации активной мощности со стороны аварийного присоединения. Выброс $3s_{0\text{ ав}} = -0,9$ МВт примерно в 2 раза меньше выброса $3s_{0\text{ ав Г}} = -1,7$ МВт.

Интегрирование мгновенной мощности для вычисления энергии, переданной в аварийном фидере за время клевка, показывает, что энергия $3w_{p_0\text{ ав Г}}$ в 4 раза больше энергии $3w_{p_0\text{ ав}}$. Столь отчетливое различие между значениями мощности и энергии в аварийном присоединении и аналогичными и малыми по величине сигналами $3s_{0\text{ неав}}(t)$ и $3w_{p_0\text{ неав}}(t)$ неаварийных присоединений позволяет правильно определить поврежденный фидер уже после первого самоустранившегося пробоя изоляции.

Режимные параметры ОЗЗ на заключительной стадии пробоя изоляции при появлении последнего клевка и переходе к устойчивому дуговому замыканию представлены на рис. 9, который оформлен аналогично рис. 8. При расчетах мощности НП аварийного фидера использовались как напряжение $u_0(t)$, так и ЭДС $e_{0Г}(t)$ (прерывистая линия на рис. 8). Видно, что имеющие отрицательный знак пиковые значения мгновенной мощности НП для аварийного фидера более чем на порядок превышают пиковые значения мощности неаварийных фидеров. На временном интервале существовавшего при $t \approx 2,183$ с последнего клевка имеем, как и на рис. 8, заметное превышение пика мощности $3s_{0\text{ ав Г}}$, рассчитанного по алгоритму с учетом потерь $\Delta P_{R_{зам}}$, над пиком мощности $3s_{0\text{ ав}}$.

В режиме непрерывного горения дуги в месте замыкания, наступившем при $t \approx 2,23$ с, указанные значения мощности НП, определенные двумя способами, становятся близкими вследствие малых значений потерь $\Delta P_{R_{зам}}$ по отношению к активным потерям от токов НП во внешней сети. Последние можно оценить по среднему значению мощности НП в аварийном фидере $3P_{0\text{ ав ср}} \approx 3P_{0\text{ ав Г ср}} \approx 160$ кВт (см. на рис. 9 прерывистую кривую $3s_{0\text{ ав ср}}(t) = 3p_{0\text{ ав}}(t)$, построенную с окном усреднения $T_{уср} = 0,01$ с).

На рис. 10 представлены обобщающие временные зависимости сигналов мощности и энергии НП на протяжении всего процесса ОЗЗ, длившегося 2 секунды. Здесь запуск расчета сигналов энергии НП присоединений предполагался с момента появления первого кратковременного пробоя изоляции. Видно, что аварийный фидер должен отчетливо определяться централизованной системой защиты, сравнивающей результаты замеров мощности и энергии уже по прошествии каждого из начальных пробоев изоляции. При этом не требуются абсолютные замеры пусковых сигналов защит и их сравнение с некими уставками срабатывания. Возможно быстрое принятие решения, что важно для устройств РЗА, действующих на отключение.

Итак, приведенные данные убедительно свидетельствуют о предпочтительности вычисления мощности и энергии присоединений по алгоритму (4), учитывающему потери в сопротивлении замыкания. В режимах первых кратковременных повреждений изоляции энергия $3W_{P0Г}$ в аварийном фидере может быть в 5 раз больше энергии $3W_{P0}$, идущей на покрытие активных потерь на составляющих нулевой последовательности во внешней по отношению к аварийному фидеру сети.

Отметим также, что непрерывный контроль динамики изменения энергии НП, переданной по присоединениям, позволяет персоналу получать наглядную информацию о фидерах с ослабленной изоляцией и своевременно принимать меры для вывода этих фидеров в ремонт, то есть, по существу, выполнять с использованием терминалов направленных защит опережающую диагностику состояния изоляции сети.

В рассматриваемой сети 6 кВ предполагается поэтапно реализовать предложенные технические решения по определению аварийного присоединения с соответствующим перепрограммированием имеющихся терминалов цифровых защит. Наличие центров сбора информации о токах НП, установленных на объекте для обеспечения работы реагирующих на высшие гармоники систем типа УСЗ, в определенной степени упрощает создание централизованной системы защиты с рабочими сигналами «мощность нулевой последовательности» и «энергия нулевой последовательности».

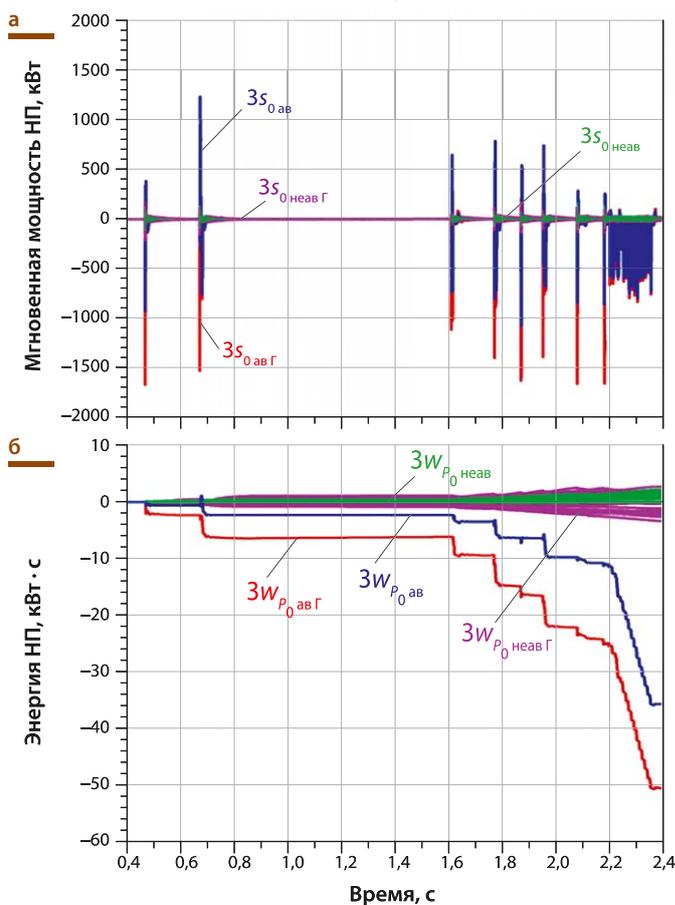
ВЫВОДЫ

Расчет мгновенной мощности и энергии НП присоединений и использование их в качестве пусковых сигналов – обоснованный и целесообразный подход к организации направленных защит от ОЗЗ.

Разработанные алгоритмы учета в сигналах мощности НП активных потерь, выделяющихся в месте замыкания, позволяют повысить селективность и чувствительность защит, особенно на начальных этапах повреждения изоляции.

Итоговая демонстрация пусковых сигналов защит «мгновенная мощность НП» (а) и «энергия НП» (б)

Рис. 10 •



Алгоритмы, разработанные для определения аварийного фидера, эффективны, что подтверждается осциллограммами режимов ОЗЗ в сетях с изолированной, резистивной и компенсированной нейтралью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучумов Л.А., Кузнецов А.А., Червочков Д.П. Переходное сопротивление в месте ОЗЗ. Влияние на режимные параметры и рабочие сигналы защит от ОЗЗ // Новости ЭлектроТехники. 2017. № 4(106). С. 24–27.



УДЗ «ПРОЭЛ-МИНИ»



Устройство дуговой защиты устанавливается в отсеке низковольтного оборудования ячейки или выносится на дверцу данного отсека.

Устройство управляет выключателем ячейки и через шины управления подает сигнал срабатывания на выключатели высших ступеней.

Напряжение питания постоянное, В	120–250
Напряжение питания переменное, В	90–264
Частота переменного напряжения питания, Гц	44–55
Рабочий диапазон температур, °С	от –40 до +60
Максимальное число ВОД	3
Число дискретных входов	2
Число дискретных выходов	3
Габариты (длина, высота, глубина), мм	156x108x64,5

Особенности:

- волоконно-оптические датчики в качестве приемника излучения;
- высокое быстродействие;
- высокая помехозащищенность;
- высокая селективность;
- одно устройство защищает одну ячейку;
- программируемый алгоритм работы;
- автоматическое тестирование целостности ВОД.

К устройству можно подключить до трех ВОД: например, ВОД из отсека выключателя, ВОД из отсека сборных шин и ВОД из отсека ввода/вывода.

В устройстве предусмотрена возможность формирования сигналов: «Запрет АПВ» или «Запрет АВР», «Неисправность», «Срабатывание» и «Отсутствие оперативного тока».

ООО «ПРОЭЛ»

Россия, Санкт-Петербург,
наб. Обводного канала, д. 118А, лит. Л
Тел./факс: (812) 331-50-33, 331-50-34
info@proel.spb.ru, www.proel.spb.ru