

Кобазев В.П., Ткаченко А.А.

Донецкий государственный технический университет

c12@elf.dgtu.donetsk.ua

In the paper the problems of architecturing the address monitoring of an injured site of the TL 0,38 kV, grounded on superposition on a web of a symmetric system of currents at nonindustrial frequency are considered. The radiants of a current control are erected at the end of each branch of the line. The radiant is powered up between a web phases and ground. The monitoring of a symmetry of currents at nonindustrial frequency is carried out at the beginning of the line through a current transformer of nonindustrial frequency.

Одним из источников электротравматизма людей и сельскохозяйственных животных являются воздушные линии напряжением 0,38 кВ. Они, как правило, расположены на территории поселков, сельских населенных пунктов и одноэтажной застройки городов. Их открытое расположение при неблагоприятных внешних воздействиях приводит к обрыву и падению проводов на землю, заборы, крыши домов и т.п. В большинстве случаев ток короткого замыкания мал, поэтому существующие защиты линий 0,38 кВ не срабатывают, что приводит к сохранению напряжения на поврежденном проводе в течение длительного времени. Однако несмотря на имеющиеся разработки, проблема создания защиты ВЛ 0,38 кВ, отвечающей требованиям условий эксплуатации, полностью не решена. Этим и определена актуальность создания новых, более эффективных устройств.

Для повышения чувствительности таких защит предлагается метод основанный на наложении на линию тока непромышленной частоты. Функциональная схема устройства, основанного на предлагаемом методе, приведено на рис.1.

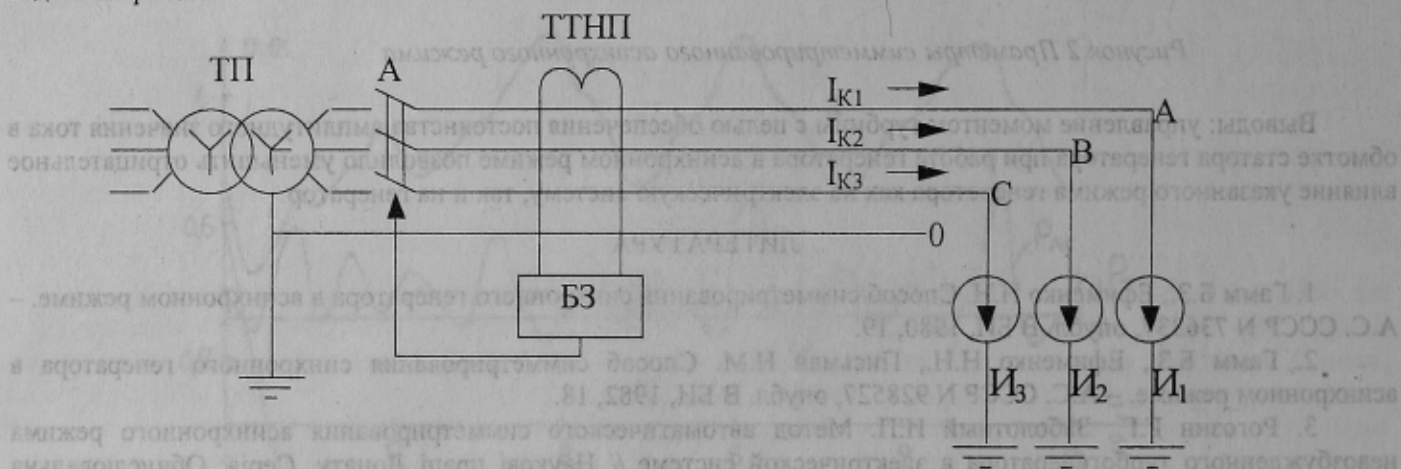


Рисунок 1 – Контроль обрыва провода при помощи симметричной системы контрольных токов

Суть метода заключается в следующем. В конце защищаемой линии устанавливаются три источника I_1 , I_2 , I_3 оперативного переменного тока одинаковой частоты, отличной от частоты сети. Каждый источник присоединяется между соответствующей фазой сети и землей. Благодаря этому образуются три замкнутых контура по цепи: источник - провод линии - обмотка трансформатора -заземление нейтрали - заземление источника. Источник должен обладать следующими свойствами: генерировать одинаковые по величине токи; сдвиг по фазе тока источника по отношению к двум другим должен соответствовать $+120$ эл. град на частоте контроля; каждый источник тока должен получать питание от соответствующей фазы сети. В подстанции на каждой отходящей линии устанавливается трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), охватывающий своим магнитопроводом все 4 провода линии. Охват ТТНП всех проводов линии позволяет снизить до минимума воздействие на защиту несимметрии нагрузки по фазам линии. Трансформатор ТТНП подключен к входу блока защиты БЗ, состоящего из селективного усилителя для выделения и усиления сигнала на оперативной частоте, порогового элемента и реле. Контакты выходного реле воздействуют на независимый расцепитель автоматического выключателя воздушной линии А.

В нормальном режиме работы линии, когда все три фазных провода исправны, сумма контрольных токов (рис.2,а) равна

$$\dot{I}_{K1} + \dot{I}_{K2} + \dot{I}_{K3} = 0.$$

При обрыве одного из проводов, например провода фазы А (рис.2,б), ток I_{K1} становится равным нулю. При этом сумма токов равна

$$\dot{I}_{\Sigma} = \dot{I}_{K2} + \dot{I}_{K3} = -\dot{I}_{K1}.$$

Ток I_{Σ} индуцирует во вторичной обмотке ТТНП сигнал, который усиливается селективным усилителем и при достижении уровня срабатывания порогового элемента вызывает срабатывание выходного реле БЗ и отключение поврежденной линии.

При обрыве двух проводов, например фаз А и В (рис.2,в) отсутствуют токи I_{K1} и I_{K2} , а суммарный ток будет равен I_{K3} . Под воздействием этого тока защита срабатывает и отключает поврежденную линию.

При отсутствии обрыва фазного провода все три оперативных тока сдвинуты на ± 120 эл.град, поэтому на выходе ТТНП нет сигнала на частоте контроля.

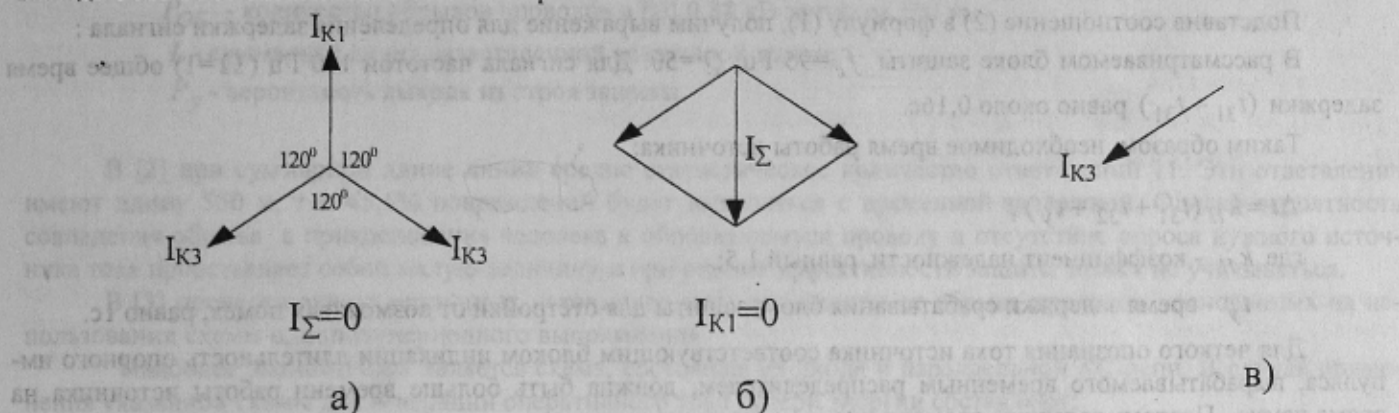


Рисунок 2 - Векторные диаграммы контрольных токов:

а) провода исправны; б) обрыв одного провода; в) обрыв двух проводов

Таким образом, при обрыве одного или двух проводов токи источников, подключенных к ним, становятся равными нулю. При этом сумма токов на частоте контроля уже не равна нулю, а равна току источника. ТТНП выделяет этот сигнал, который усиливается и вызывает срабатывание выходного реле и отключение поврежденной линии. Следовательно предлагаемая защита имеет одинаковую чувствительность как к обрыву одного, так и к обрыву двух фазных проводов.

При применении предложенного устройства в разветвленных линиях возникает задача отыскания не только поврежденного ответвления, но и поврежденного источника тока. Она может быть решена путем организации адресного контроля источников тока. Для этого в устройствах защиты вводится временной распределитель, соединяющий в i момент времени блок индикации i -го источника тока с пороговым элементом блока защиты. Автоматическое подключение источников к линии производится периодически через интервал времени T . Момент включения i -го источника тока сети, определяется по соотношению:

$$t_i = t_0 + \tau_i + n_j T,$$

где t_0 - время подачи напряжения на контролируемую линию;

τ_i - инерционность источника тока;

T - период опроса;

n_j - номер периода опроса.

Необходимое время работы источника тока Δt определяется условием надежного приема сигнала об обрыве блоком защиты. Исходя из того, что фильтрация сигнала осуществляется последовательно соединенными фильтром верхних частот ФВЧ и селективным усилителем (полосовой фильтр второго порядка). Для ФВЧ время нарастания выходного сигнала мало зависит от порядка и типа фильтра и составляет примерно:

$$t_{31} = \frac{1}{3f_c},$$

где f_c - частота среза фильтра.

Нормированное время задержки сигнала в селективном усилителе является безразмерной величиной и может быть определено по формуле:

$$T_{32} = t_{32} f_{рез} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(\Omega)}{d\Omega}, \quad (1)$$

где t_{32} - время задержки сигнала селективным усилителем, в с;

$\varphi(\Omega)$ - фазовая характеристика селективного усилителя;

$f_{рез}$ - частота резонанса селективного усилителя, в Гц;

Ω - нормированная частота, равная $f / f_{рез}$.

Для активного полосового фильтра второго порядка фазовая характеристика описывается выражением:

$$\varphi = \arctg \frac{Q(1 - \Omega^2)}{\Omega}, \quad (2)$$

где Q - добротность фильтра.

Подставив соотношение (2) в формулу (1), получим выражение для определения задержки сигнала :

В рассматриваемом блоке защиты $f_c = 95$ Гц, $Q = 50$. Для сигнала частотой 100 Гц ($\Omega = 1$) общее время задержки ($t_{31} + t_{31}$) равно около 0,16с.

Таким образом, необходимое время работы источника:

$$\Delta t = k_H (t_{31} + t_{32} + t_y),$$

где k_H - коэффициент надежности, равный 1,5;

t_y - время задержки срабатывания блока защиты для отстройки от возможных помех, равно 1с.

Для четкого опознавания тока источника соответствующим блоком индикации длительность опорного импульса, вырабатываемого временным распределителем, должна быть больше времени работы источника на время паузы. Поэтому задержка времени для $i+1$ источника составит:

$$\tau_{i+1} = \tau_i + (\Delta t + t_n),$$

а длительность периода опроса источников будет равна:

$$T = N(\Delta t + t_n),$$

где N - количество источников контрольного тока в ВЛ 0,38 кВ.

Работу устройства, реализующего описанный принцип [1], рассмотрим на примере воздушной линии с двумя ответвлениями.

При подаче на ВЛ 0,38 кВ с помощью автоматического выключателя напряжения одновременно получают питание на подстанции блок защиты БЗ и в контрольных точках линии блоки управления источниками тока не промышленной частоты. Блоки управления с помощью коммутаторов начинают последовательно подключать к линии источники оперативного тока. Они создают в фазных проводах ВЛ 0,38 кВ токи не промышленной частоты, равные по величине и сдвинутые относительно друг друга на 120° .

Следовательно, при исправных проводах линии во вторичной обмотке ТТНП ввиду симметрии оперативных токов сигнал на оперативной частоте отсутствует.

Неполнофазный режим питающей сети и несимметрия токов источников контролируется блоками индикации с помощью опорных импульсов, вырабатываемых временным распределителем. Эти импульсы расположены посередине импульсов, управляющих работой коммутатора соответствующего источника тока. Такое расположение импульсов исключает ложную работу защиты, обусловленную характером обрыва проводов, так как смещение сигнала об обрыве проводов в самых худших случаях не будет выходить за пределы опорного импульса.

Рассмотрим работу устройства при обрыве фазного провода на первом участке линии. При этом нарушается симметрия системы оперативных токов, генерируемой соответствующим источником тока. Поэтому при подключении первого источника к линии во вторичной обмотке ТТНП появляется сигнал на частоте контроля, который после прохождения через фильтр верхних частот, селективный усилитель, пороговый элемент преобразуется в прямоугольный импульс. Последний импульс поступает на блоки индикации. В это же время имеется опорный импульс временного распределителя только на входе первого блока индикации. В итоге первый блок индикации срабатывает, а индикатор, индицирующий его состояние, загорается. Одновременно единственный логический сигнал через логический элемент ИЛИ поступает на второй вход элемента И. Однако управляющее напряжение на отключение автоматического выключателя на выходе элемента И появляется только после опроса временным распределителем всех блоков индикации. Поврежденная линия отключается, но при этом сохраняется питание блоков индикации. Они устанавливаются в исходное состояние, после считывания информации эксплуатационным персоналом, нажатием на кнопку «Сброс».

Одновременное зажигание всех блоков индикации происходит при неполнофазном режиме в питающей сети или при повреждении всех контролируемых участков линии. Неисправность источника питания выявляется по зажиганию индикатора. Эксплуатационный персонал, получив информацию о том, какие источники передали сигнал об обрыве, по схеме конкретной линии определяет зону обрыва. Если же на предполагаемом участке линия исправна, то это свидетельствует о выходе из строя соответствующего источника тока.

Определим уровень электробезопасности ВЛ 0,38 кВ при обрыве проводов для защиты снабженной системой адресного контроля источников. Указанный показатель оценивается величиной вероятности электропоражения:

$$P_{ЭП}(t) = P_{П} P_{ОБ} L P_3,$$

где $P_{П}$ - вероятность прикосновения к оборвавшемуся проводу;

$P_{ОБ}$ - количество обрывов проводов в ВЛ 0,38 кВ за год на 100 км;

L - суммарная длина разветвленной воздушной линии;

P_3 - вероятность выхода из строя защиты.

В [2] при суммарной длине линии среднее статистическое количество ответвлений 11. Эти ответвления имеют длину 550 м, т.е. 45,5% повреждений будет выявляться с временной задержкой. Однако вероятность совпадения обрыва с прикосновением человека к оборвавшемуся проводу и отсутствие опроса нужного источника тока представляет собой малую величину и при оценке эффективности защиты может не учитываться.

В [3] проведен анализ различных источников тока для защиты от обрыва проводов, основанных на использовании схемы однополупериодного выпрямления.

Наиболее экономичной является схема, состоящая из диода и параллельной RC -цепи. В случае применения указанной схемы для генерации оперативного тока потери энергии составляют:

$$W_R = \frac{T_{Г} U^2}{2\pi R} \left[\pi - (\varphi + \psi) + \sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi + \psi) + \operatorname{tg} \varphi \sin^2 \varphi (1 - e^{-\frac{2(\pi + \varphi + \psi)}{\operatorname{tg} \varphi}}) \right],$$

где $T_{Г}$ - число часов работы линии в году;

φ - фазовый сдвиг, $\varphi = \operatorname{arctg}(\omega RC)$,

ψ - угол открывания диода

На непромышленной частоте 100 Гц ток RC -цепи с диодом наибольший, поэтому он принят в качестве оперативного тока. Рассчитывается указанный ток по следующим соотношениям:

$$A_2 = \frac{I_M}{\pi} \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cos(\varphi + \psi) - \frac{1}{6} \cos 3(\varphi + \psi) \right],$$

$$B_2 = \frac{I_M}{\pi} \left[\frac{1}{2} \sin(\varphi + \psi) - \frac{1}{6} \sin 3(\varphi + \psi) \right],$$

$$I_{100} = \sqrt{A_2^2 + B_2^2},$$

I_M - амплитуда импульсов выпрямленного тока

Вывод. Преложимый метод адресного контроля позволяет сократить длительность поиска места обрыва проводов или поврежденного источника тока, а также значительно снизить потребление электроэнергии на создание оперативного тока так, как в этом случае в работе будет находиться всегда только один источник оперативного тока.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 А. с. 1220046 (СССР). Устройство для защиты от обрывов фазных проводов в сетях напряжением 0,38 кВ // В. П. Кобазев, Р. Ш. Сагутдинов, А. И. Селивахин и др. // Бюл. изобр. - 1986. - №11, с. 228.
- 2 Акимцев Ю. И. Оптимизация регулирования напряжения и регулировочных параметров силовых трансформаторов в системах сельского электроснабжения: Автореф. дис. ... док. техн. наук. - Л.: 1974. - 42 с.
- 3 Кобазев В. П., Дьячкова И. В. Источники тока 100 Гц для защиты от обрыва проводов ВЛ 0,38 кВ. в Книге докладов седьмой Всеукраинской студенческой научной конференции "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов". - Донецк: ДонГТУ, 1997. - с. 76-77.