

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ УЗЛА СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Н.В. Гребченко

Донецкий национальный технический университет

Украина, ул. Артема, 58, г. Донецк, 83000

Тел +38(062) 301-03-72, E-mail: gyn@dgtu.donetsk.ua

А.А. Сидоренко

Донецкие западные электрические сети ОАО Донецкоблэнерго

Украина, Константиновская развилка, 1, г.Авдеевка, Донецкая обл.

Annotation – A method is proposed for determining the distance to the location of a single-phase fault in distribution networks.

Key words – calculation, distribution networks, single-phase fault.

ВВЕДЕНИЕ

Существенное влияние на повышение эффективности работы промышленных потребителей оказывают мероприятия по предотвращению возникновения повреждений в распределительной сети. Известно, что значительную долю повреждений можно исключить благодаря своевременному обнаружению локальных дефектов изоляции. Однако многие эффективные методы раннего обнаружения ухудшения состояния изоляции в рабочих режимах являются сложными или еще находятся в стадии разработки. При этом очень важно чтобы вместе с выявлением дефектов изоляции эти методы позволяли определять место возникновения дефекта.

Статья посвящена новому методу обнаружения локальных дефектов изоляции и определения их места возникновения. Применение метода не требует изменения рабочего режима электроустановки и использования специальных датчиков.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сокращение времени поиска возникшего дефекта изоляции требует достаточно точного определения его места возникновения. Известны методы определения расстояния до места замыкания на землю по частоте собственных колебаний при разряде фазной емкости поврежденной фазы [1] и метод, основанный на определении производной напряжения поврежденной фазы в момент замыкания на землю [2, 3]. Эти методы достаточно сложные и ориентированы на выявление только замыканий на землю, т.е. на обнаружение уже возникших повреждений изоляции, которые во многих случаях необходимо отключать без выдержки времени. В случае локального ухудшения состояния изоляции эти методы могут оказаться не работоспособными или иметь большую погрешность при определении места возникшего дефекта.

В [4] приведено описание метода, основанного на использовании частичных разрядов. Высокая точность метода требует высокой чувствительности специальных датчиков, обеспечения их помехоустойчивости, а также необходимо выполнять

ряд сложных операций при установке специальных датчиков.

В связи с изложенным, поставлена задача разработки метода, позволяющего в рабочих режимах электроустановок выявлять замыкания на землю и локальные дефекты изоляции на основании контроля традиционно используемых параметров рабочего режима.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

К локальным дефектам изоляции относятся замыкания на землю или места изоляции с пониженным сопротивлением. Распределенные дефекты изоляции также сопровождаются снижением сопротивления изоляции. Во многих случаях отличить локальный дефект изоляции от общего ухудшения состояния изоляции присоединения можно по скорости изменения тока нулевой последовательности. Общее снижение сопротивления, вызванное в основном старением изоляции, происходит постепенно в течение длительного времени: от нескольких месяцев до нескольких лет. Соответственно происходит увеличение тока нулевой последовательности.

На начальном этапе в основу разработки принципов выявления места локального дефекта изоляции были использованы следующие положения. Все возможные дефекты изоляции присоединения разделены на дефекты изоляции в кабеле присоединения и дефекты изоляции в фазах нагрузки (двигателя, трансформатора и т.д.). С учетом этого проведен анализ зависимости составляющих нулевой последовательности тока и напряжения от места возникновения дефекта изоляции. Анализ проводился с помощью математической модели узла электрической системы с двигателями [5], а также на основании зависимостей, которые получены путем несложных преобразований из [6] тока нулевой последовательности:

$$3\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_A}{R_D} + j3\omega C_{\text{собр}} \cdot \dot{U}_0$$

и напряжения нулевой последовательности

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A}{1 + j3\omega C_{\Sigma} \cdot R_D},$$

где \dot{U}_A - вектор фазного напряжения источника питания; R_D - сопротивление локального дефекта; $C_{\text{соб}}$ - собственная емкость фазы присоединения по отношению к земле; C_{Σ} - суммарная емкость фазы электрически связанной сети по отношению к земле.

В математической модели узла электрической системы кабели и двигатели присоединений представлены комплексными продольными и сосредоточенными поперечными проводимостями. Параметры изоляции источника питания в модели не учтены. Модель позволяет выполнять расчеты рабочих режимов при возникновении замыканий на землю или дефектов изоляции различной степени. Место замыкания или дефекта задается в любой точке питающего кабеля или нагрузки [5].

Оказалось, что влияние одних и тех же факторов на составляющие нулевой последовательности при замыкании на землю в кабеле и в нагрузке - различно. Это объясняется тем, что соотношение продольных и поперечных параметров у кабелей и нагрузки значительно отличается. Наиболее характерным для присоединений нагрузки является то, что емкости фаз кабеля значительно больше емкостей фаз нагрузки этого присоединения. В то же время продольные сопротивления нагрузки значительно больше продольных сопротивлений фаз кабеля.

Такое соотношение параметров приводит к тому, что степень шунтирования емкости поврежденной фазы практически не изменяется при замыкании на землю в различных точках одной и той же фазы кабеля. В то же время перемещение точки замыкания в фазе обмотки нагрузки приводит к изменению напряжения на емкости поврежденной фазы, а, следовательно, - изменению вектора тока нулевой последовательности. Если же замыкание происходит через переходное сопротивление (дефект изоляции), то изменение места такого дефекта в кабеле или в нагрузке вызывает изменение векторов тока и напряжения нулевой последовательности. Таким образом, наибольшую трудность представляет поиск места замыкания в кабеле по изменению векторов тока и напряжения нулевой последовательности.

Дальнейший анализ зависимости параметров режима от степени и места дефекта изоляции вопреки ожиданиям показал, что для выявления места дефекта изоляции недостаточно использовать векторы тока и напряжения нулевой последовательности.

По мере удаления точки замыкания на землю от начала присоединения величина тока и напряжения нулевой последовательности снижаются. При этом угол между векторами тока и напряжения не зависит от расстояния до точки замыкания. Однако использовать значения тока и напряжения нулевой последовательности для определения расстояния до точки замыкания не представляется возможным. Это объясняется тем, что эти величины взаимосвязаны и

зависят не только от расстояния до точки дефекта, но зависят также от величины сопротивления между фазой и землей. Очевидно, что величина сопротивления в месте замыкания заранее не известна.

В результате выполненных исследований установлено, что угол δ между вектором тока нулевой последовательности и вектором междуфазного напряжения зависит от величины сопротивления в месте замыкания и практически не зависит от удаленности точки дефекта изоляции.

На рис.1 в качестве примера приведены кривые, которые образует конец вектора тока нулевой последовательности $3\dot{I}_0$ по отношению к вектору междуфазного напряжения $\dot{U}_{M\Phi}$ при изменении сопротивления дефекта R_D от нуля до ∞ . Кривые представляют собой полуокружности, проходящие через начало координат. По мере приближения места дефекта к нулевым выводам нагрузки радиус полуокружностей уменьшается.

Результаты расчетов подтвердили предположение о том, что при известной конфигурации сети величина тока нулевой последовательности и угла δ позволяет однозначно определить место локального дефекта изоляции.

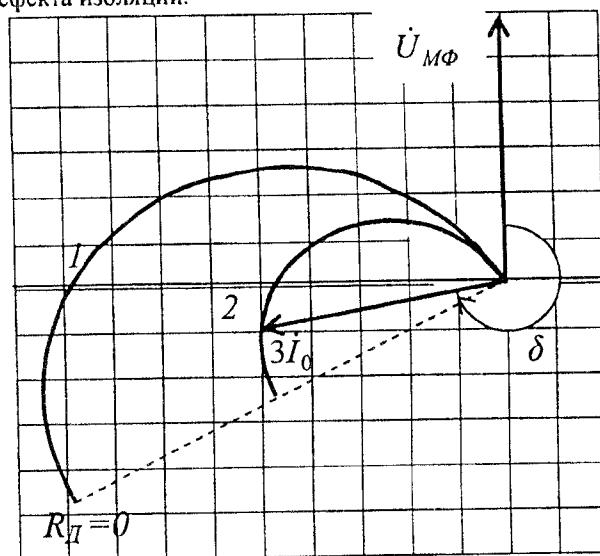


Рисунок 1. Кривые, которые описывает конец вектора тока нулевой последовательности при изменении сопротивления в месте замыкания от нуля до ∞ : 1 - дефект изоляции на выводах электродвигателя; 2 - дефект изоляции в середине обмотки электродвигателя.

Метод определения локальных дефектов изоляции основан на сравнении реальных параметров режима узла сети и параметров режима, рассчитанных на математической модели этого узла при моделировании дефекта изоляции.

В качестве контролируемых параметров режима выбраны ток и напряжение нулевой

последовательности, а также угол δ между вектором тока нулевой последовательности и вектором линейного напряжения. Математическая модель составляется на основании полной схемы электрических соединений узла сети с учетом параметров изоляции всех элементов и параметров нагрузки присоединений.

Пуск алгоритма определения места локального дефекта выполняется при выявлении на каком-нибудь присоединении превышения током нулевой последовательности заданного значения или при превышении токов нулевой последовательности других присоединений. В соответствии с алгоритмом программы выполняется серия расчетов рабочего режима сети при моделировании дефекта изоляции на присоединении с повышенным значением тока нулевой последовательности. При этом варьируются с заданным шагом величина сопротивления дефекта изоляции и продольного сопротивления до места возникновения дефекта. В модели сети выполняется учет изменения конфигурации сети.

Расчет ведется до совпадения реальных и расчетных параметров режима. При совпадении значений параметров делается заключение о соответствии расчетной и реальной точки дефекта изоляции, а также о соответствии величины расчетного переходного сопротивления величине действительного сопротивления.

Точность определения места и степени дефекта при прочих равных условиях зависит от заданного шага величины сопротивления дефекта и шага продольного сопротивления присоединения нагрузки.

Работоспособность разработанного метода проверена на математической модели путем реализации его алгоритма.

Проведены предварительные лабораторные испытания метода на физической модели узла сети с изолированной нейтралью (рис.2).

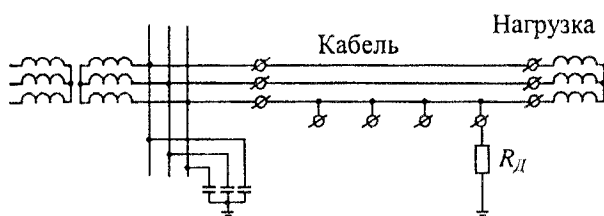


Рисунок 2. Схема физической модели узла сети с изолированной нейтралью

Для создания дефектов изоляции и замыканий на землю на одной из фаз кабеля (сечение 70 мм^2) через равные промежутки выполнены четыре отпайки. Внешняя сеть моделируется тремя конденсаторами, включенными между каждой фазой присоединения и землей. Питание присоединения осуществляется от разделительного трансформатора 0,4/0,22 В.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен метод определения места возникновения локальных дефектов изоляции, основанный на сопоставлении значений реальных параметров рабочего режима элементов сети и значений тех же параметров, которые получены в результате расчета на модели при наличии дефекта изоляции в предполагаемой точке.

2. Метод относительно прост, не требует использования специальных датчиков и отключения электрооборудования.

Точность определения места дефекта определяется точностью измерения векторов токов и напряжений.

Литература

1. Патент РФ № 2216749. Способ определения расстояния до места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях. Качесов В.Е. 2003 г., G01R31/08.

2. Качесов В.Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество. – 2005. - № 6. – С. 9-18.

3. Патент РФ № 2222026. Способ определения расстояния до места однофазного замыкания в распределительных сетях. Качесов В.Е. 2004 г., G01R31/08.

4. TE-Sensoren für Hochspannung-VPE-Kabelgarnituren / Plat Ronald, Heinrich Ralf, Werner Weissenberg и др. // ew: Das Magazin für die Energie Wirtschaft. – 2002. – 101, № 24. – С. 32-34, 36-38.

5. Гребченко Н.В. Математическое моделирование локальных и распределенных дефектов электрической изоляции в узлах электрических систем с двигателями // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика, випуск 79: Донецьк: ДонНТУ. – 2004. – С.55-62.

6. Электрическая часть станций и подстанций / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А.А. Васильева. - М.: Энергия.- 1980.- 608 с.