

УДК 621.314

Гребченко Н.В.¹, Полковниченко Д.В.², Сидоренко А.А.³, Мендусь В.В.⁴

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ

Предложен способ повышения точности определения расстояния до точки локального дефекта изоляции за счет использования новых датчиков тока и напряжения.

Благодаря раннему выявлению дефектов изоляции в узлах с двигательной нагрузкой, обеспечивается предотвращение возникновения повреждений.

Основным недостатком существующих методов контроля состояния изоляции [1 – 5] является то, что эти методы невозможно применять в рабочих режимах, а также то, что они позволяют выявлять только замыкания на землю или дефекты с малым переходным сопротивлением.

Итерационный метод определения параметров дефектов изоляции в рабочих режимах [6], основанный на сравнении расчетного и действительного векторов тока нулевой последовательности $3\dot{I}_0$, обеспечивает приемлемую погрешность только при точном определении вектора $3\dot{I}_0$. В способе используется определение положения вектора $3\dot{I}_0$ по отношению к вектору линейного напряжения. При этом широко применяемые в настоящее время трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП) не могут применяться из-за значительной погрешности как по амплитуде, так и по фазе.

С подобной проблемой сталкиваются многие разработчики. Например, в работе [5] предложен способ коррекции погрешностей ТТНП, используемый в защите от замыканий на землю. Приведенные результаты показывают, что коррекция погрешностей ТТНП по 1-11 гармоникам с использованием этого способа позволяет снизить токовые погрешности с -22,5 % до -3,8 %, а угловые с 14,36 до 1,7 электрических градусов. По данным авторов, этот способ требует значительных вычислительных затрат и качественно может выполняться только на 32-х разрядных микропроцессорах с плавающей точкой. Однако, время, необходимое для коррекции, может достигать нескольких минут, что не всегда приемлемо при определении расстояния до точки дефекта изоляции.

Также существуют средства для выявления замыканий на землю, основанные на регистрации изменения гармонического состава или на контроле превышения заданной уставки отдельными гармониками тока однофазного замыкания на землю (например, устройство микропроцессорной защиты линий 6-35 кВ «Сириус», прибор селекции однофазных замыканий АСЗ-4М и другие). Так как особенности спектрального состава тока однофазного замыкания не имеют прямой и однозначной связи с амплитудой тока замыкания, то данная группа способов рассматривается как «индикаторная», решающая задачу обнаружения однофазного замыкания, но не контроля состояния изоляции [7].

В рассматриваемых средствах для определения вектора $3\dot{I}_0$ могут применяться и другие способы. Например, достаточно просто может быть реализован широко известный фильтр, состоящий из трех электромагнитных трансформаторов тока (ТТ). Однако, он не позволяет обеспечить требуемую точность из-за относительно низкого класса точности таких ТТ (не выше 0,2). Использование в этом фильтре в качестве фазных датчиков тока катушки Роговского, имеющей высокую линейность, также неприемлемо, т.к. ее класс точности не выше 0,3.

¹Донецкий национальный технический университет, д-р техн. наук, проф.

²Донецкий национальный технический университет, доц.

³Донецкий национальный технический университет, аспирант

⁴Донецкий национальный технический университет, магистр

В связи с этим, была поставлена задача совершенствования итерационного метода [6] за счет разработки новых путей повышения точности измерения вектора $3\dot{I}_0$.

На основании предварительного анализа технических характеристик современных средств микроэлектроники для повышения точности измерения токов и напряжений предложено использовать сверхпрецизионные резисторы и модули гальванической развязки. Основу датчиков тока составляют шунты, а датчиков напряжения – резисторные делители. В каждом из них используются модули гальванической развязки (рис. 1). Лучшие современные резисторы имеют точность порядка 0,02 %. В качестве варианта гальванической развязки возможно использование элементов гальванической изоляции сигналов фирмы Dataforth [8]. Погрешность измерения у различных модулей составляет 0,03 %, 0,05 % и 0,1 %.

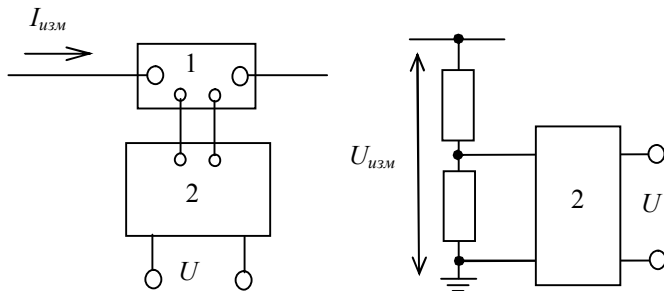


Рис. 1 – Схемы измерения токов и напряжений:
1 – шунт; 2 – гальваническая изоляция

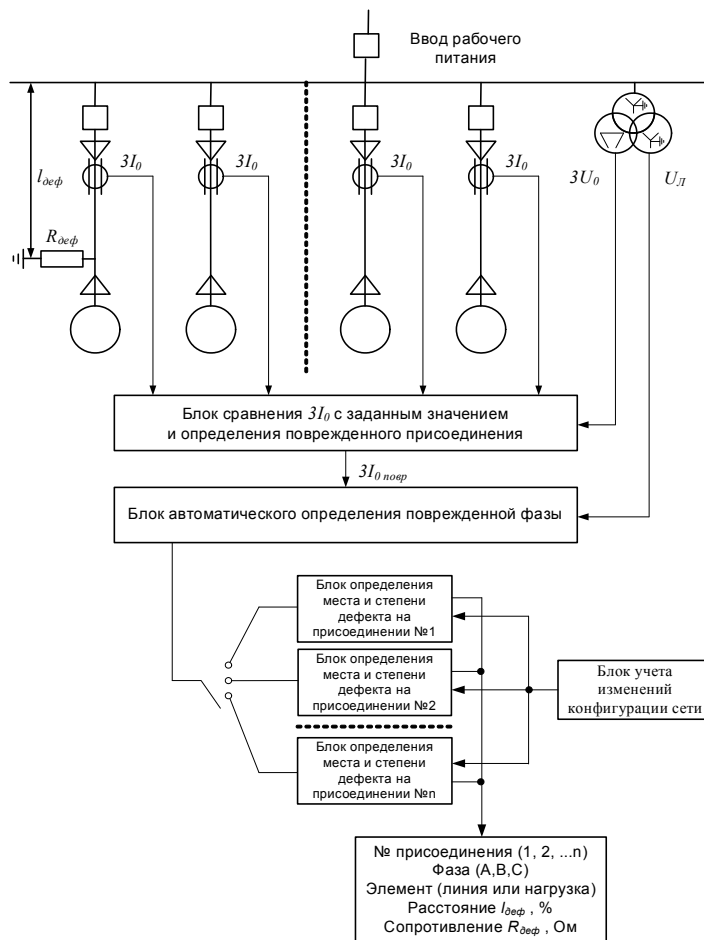


Рис. 2 – Система контроля изоляции

Итерационный метод определения параметров дефектов изоляции в рабочих режимах [6] основан на сравнении расчетного и действительного векторов тока нулевой последовательности $3\dot{I}_0$. В результате преобразования системы уравнений текущего состояния получено выражение для вектора $3\dot{I}_0$ присоединения

$$\dot{I}_0 = \frac{(1-l_{\text{деф}})(\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC})}{jX_c + l_{\text{деф}}(3-2l_{\text{деф}})\cdot \underline{Z} + 3R_{\text{деф}}}, \quad (1)$$

где \underline{Z} – продольное сопротивление фазы присоединения; $R_{\text{деф}}$ – сопротивление в месте дефекта; $l_{\text{деф}}$ – расстояние от начала фидера до места дефекта изоляции; $\dot{U}_{CA}, \dot{U}_{BC}$ – векторы междуфазных напряжений; X_c – емкостное сопротивление фазы всей сети.

Один из вариантов алгоритма работы системы контроля изоляции, основанный на использовании полученной зависимости (1) применительно к системе шин 6 – 10 кВ, приведен на рис.2.

Предложенная система непрерывно контролирует амплитуду токов нулевой последовательности отдельно по каждому присоединению. Превышение по одному из присоединений заданного значения расценивается как появление дефекта изоляции, в том числе может быть и замыкание на землю. По факту превышения система определяет поврежденное присоединение по

величине тока нулевой последовательности и углу между этим вектором и вектором напряжения нулевой последовательности (подобно принципу построения направленной защиты от однофазных замыканий на землю). Это позволяет не отстраивать параметры срабатывания системы от собственного емкостного тока при внешних дефектах изоляции и, таким образом, обеспечить высокую чувствительность к дефектам изоляции.

Такой метод применяется для сети с изолированной нейтралью. При других режимах нейтрали сети применяются другие методы определения поврежденного фидера, которые наиболее подходят для данного конкретного режима нейтрали, например, [9, 10].

Следующей задачей системы контроля изоляции является определение поврежденной фазы. Она определяется автоматически по углу между вектором тока нулевой последовательности и вектором линейного напряжения или путем последовательного перебора каждой из трех фаз.

Ниже приведены результаты анализа погрешностей определения вектора тока нулевой последовательности $3\dot{I}_0$ и удаленности дефекта изоляции при пофазном измерении тока с помощью предложенных датчиков.

В качестве суммарной погрешности измерения каждого фазного тока в отдельности принято значение $\pm 0,05\%$ (суммарная погрешность шунта и гальванической изоляции). При этом рассмотрены 27 возможных сочетаний погрешностей измерения трех фазных токов, когда ток каждой фазы может принимать значения I_ϕ ; $1,0005I_\phi$; $0,9995I_\phi$. Таким образом, видно, что погрешность имеет чисто активный характер, то есть приводит к изменению только амплитуды фазного тока и не изменяет его фазу. Среди этих вариантов выделены 12 сочетаний, которые дают максимальное отклонение измеренного тока от действительного, когда учитываются одновременно отрицательная погрешность одного из токов и положительная – другого.

На первом этапе анализ проводился путем перебора всех возможных сочетаний погрешностей измерения токов в трех фазах и расчета при этом погрешности определения проводимости изоляции и расстояния до места дефекта изоляции. Расчеты показали, что максимальную погрешность по модулю вектора $3\dot{I}_0$ дают два ниже приведенных варианта:

$$\dot{i}_1 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A \cdot 0,9995 + \dot{I}_B \cdot 1,0005 + \dot{I}_C \cdot 0,9995),$$

$$\dot{i}_2 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A \cdot 0,9995 + \dot{I}_B \cdot 1,0005 + \dot{I}_C \cdot 1,0005).$$

Два других варианта дают максимальную погрешность по фазе вектора $3\dot{I}_0$:

$$\dot{i}_3 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A \cdot 0,9995 + \dot{I}_B \cdot 0,9995 + \dot{I}_C \cdot 1,0005),$$

$$\dot{i}_4 = \frac{1}{3}(\dot{I}_A \cdot 1,0005 + \dot{I}_B \cdot 1,0005 + \dot{I}_C \cdot 0,9995).$$

В дальнейшем для анализа, который приведен выше, использована теория планирования эксперимента. В качестве функции цели рассматривались погрешность определения вектора тока нулевой последовательности $Y1$ и погрешность определения удаленности дефекта изоляции $Y2$. В качестве факторов $x1$ - $x3$ приняты погрешности измерения каждого из трех фазных токов. Получен полином, описывающий зависимость погрешности определения вектора $3\dot{I}_0$ от погрешности измерения фазных токов, который имеет вид:

$$Y1(x1, x2, x3) = 4,73 - 0,02 \cdot x1 + 0,116 \cdot x2 - 0,185 \cdot x3 + 0,034 \cdot x1 \cdot x2 - 4,14 \cdot x1 \cdot x3 - \\ - 1,3657 \cdot x2 \cdot x3 + 2,142 \cdot (x1^2 - \frac{10,43}{15}) - 0,13 \cdot (x2^2 - \frac{10,43}{15}) + 3,24 \cdot (x3^2 - \frac{10,43}{15}).$$

На рис. 3 приведены зависимости погрешностей определения $3\dot{I}_0$ при изменении одного фактора и фиксации двух остальных.

В результате выполненных исследований установлено, что максимум погрешности определения $3\dot{I}_0$ имеет место при следующих комбинациях: $-0,05\%$ в фазе A , $-0,05\%$ в фазе B ,

0,05 % в фазе C и 0,05 % в фазе A, 0,05 % в фазе B, -0,05 % в фазе C. При таких значениях факторов максимум погрешности определения $3 \dot{I}_0$ составляет 11,1 % при максимальной удаленности дефекта изоляции от начала присоединения.

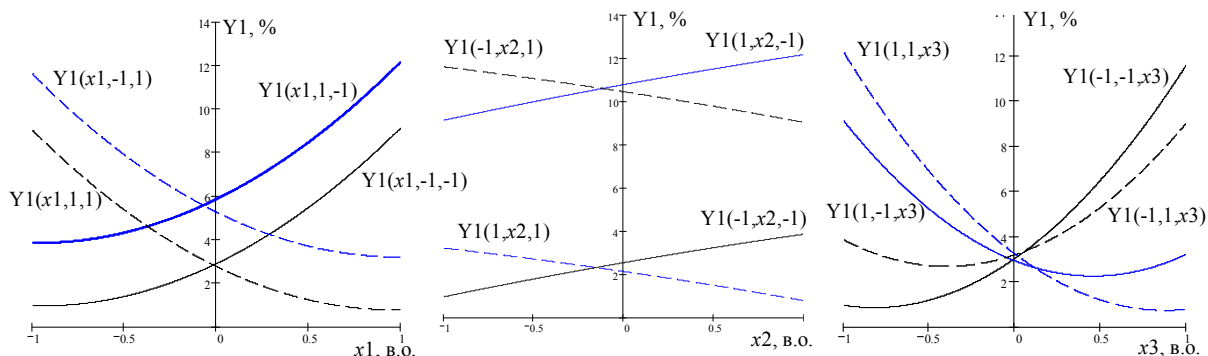


Рис. 3 – Погрешности определения вектора $3 \dot{I}_0$ при изменении одного фактора и фиксированных двух других

Полином, описывающий зависимость погрешности определения удаленности дефекта изоляции от погрешности измерения фазных токов, имеет вид

$$Y2(x1, x2, x3) = 0,196 - 0,0018 \cdot x1 - 0,0018 \cdot x2 - 0,0018 \cdot x3 + 0,0175 \cdot x1 \cdot x2 - 0,1675 \cdot x1 \cdot x3 - 0,0375 \cdot x2 \cdot x3 + 0,108 \cdot (x1^2 - \frac{10,43}{15}) - 0,0004 \cdot (x2^2 - \frac{10,43}{15}) + 0,108 \cdot (x3^2 - \frac{10,43}{15}).$$

На рис. 4 приведены зависимости погрешностей определения удаленности дефекта изоляции при изменении одного фактора и фиксации двух остальных.

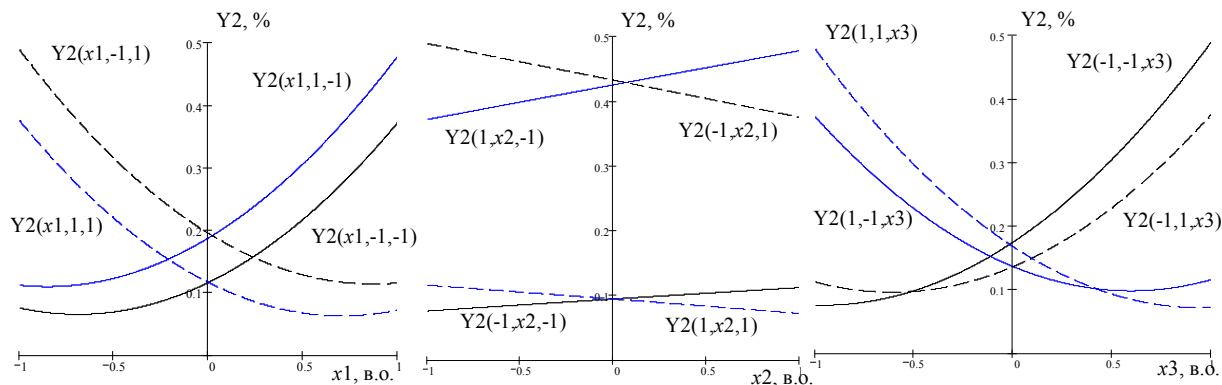


Рис.4 – Погрешности определения удаленности дефекта изоляции при изменении одного фактора и фиксированных двух других

Анализ полученных зависимостей показывает, что максимум погрешности в определении удаленности дефекта изоляции соответствует комбинациям: -0,05 % в фазе A, -0,05 % в фазе B, 0,05 % в фазе C и 0,05 % в фазе A, 0,05 % в фазе B, -0,05 % в фазе C. При указанных выше сочетаниях факторов получен максимум погрешности, который составил 0,46 % при максимальной удаленности дефекта изоляции от начала присоединения и при сопротивлении дефекта 0,1 Ом.

Выводы

1. Предложен способ совершенствования итерационного метода определения параметров дефекта изоляции. Способ позволяет повысить точность измерения вектора тока нулевой последовательности за счет использования новых датчиков тока и напряжения, состоящих из сверхпрецизионных резисторов и элементов гальванической изоляции.
2. Использование новых датчиков тока и напряжения для реализации итерационного метода позволяет повысить точность определения расстояния до точки дефекта изоляции в пределах до 0,5 %.

Перечень ссылок

1. Качесов В.Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением / В.Е. Качесов // Электричество. – 2005. – № 6. – С. 16 – 21.
2. Сидоров А.И. Определение сопротивления изоляции по отношению к земле сетей с изолированной нейтралью 6-35кВ по режимным параметрам / А.И. Сидоров, Н.А. Хусаинова, А.Л. Шестаков // Известия Челябинского Научного Центра. – 2000. – № 1. – С. 24 – 30.
3. Корогодский В.И. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 Кв / В.И. Корогодский, С.Л. Кужеков, Л.Б. Паперно – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
4. Muhr M. Entladestrommethode – Ein Prüfverfahren für kunststoffisolierte Mittelspannungskabel / M. Muhr, R. Strobl, R. Woschitz // Elektrotechn. und Informationstechn. – 1998. – № 6. – P. 321 – 326.
5. Гусенков А.В. Измерительный орган микропроцессорной защиты от однофазных замыканий на землю с функцией коррекции погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности для сетей 6 – 10 кВ / А.В. Гусенков // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сборник докладов. – Москва: ВВЦ, 16 – 19 мая 2006. – С. 39 – 45.
6. Пат. 19328 Україна, МКИ G 01 R 31/08. Спосіб визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах / М.В. Гребченко, О.А. Сидоренко. – № u200606235; Заявл. 05.06.2006; Опубл. 15.12.2006, Бюл. 12. – 5 с.
7. Пофидерный контроль изоляции. Пришло время новых технических решений / О. Глухов, Е. Иванов, Д. Мельников, П. Озолинъш // Новости электротехники. – 2007. – № 6 (48). – С. 1 – 6.
8. <http://www.dataforth.com>.
9. Олейник С.И. Защита от замыканий на землю в сетях 6 – 35 кВ с компенсированной нейтралью, реагирующая на активную составляющую / С.И. Олейник, А.А. Сафарбаков // Электрические станции. – 2002. – № 3. – С. 12 – 17.
10. Гребченко Н.В. Повышение эффективности работы защит от замыканий на землю в сети с компенсацией емкостных токов / Н.В. Гребченко, А.А. Беликов // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сборник докладов. – Москва: ВВЦ. – 16 – 19 мая 2006. – С. 153.

Рецензент: Ю.Л. Саенко
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 30.05.2008