

Матяшов Денис Михайлович
Ростовский военный институт Ракетных войск.
E-mail: matyashov.denis@gmail.com.
344038, Ростов-на-Дону, пр. Нагибина, 24/50.
Тел.: 8-904-3413407.

Matyashov Denis Mikhailovich
Rostov Military Institute.
E-mail: matyashov.denis@gmail.com.
24/50, Nagibina, 344038, Rostov-na-Donu, Russia
Phone: 8-904-3413407.

УДК 621. 375

Н.К. Полуянович

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ**

Рассматривается метод и алгоритм определения расстояния до места локального дефекта изоляции и сопротивления этого дефекта без отключения оборудования по изменению параметров рабочего режима электрооборудования.

Дефект; повреждение изоляции; релейная защита; алгоритм.

N.K. Poluyanovich

**THE DEVELOPMENT OF THE DISTRIBUTIVE NET RELAY
PROTECTION ALGORITHM ON THE BASE OF THE MATHEMATICAL
MODEL**

The paper represents the method and algorithm of the distance definition to the local isolation defect and resistance of the defect without switching off the equipment for the parameters variation of the electric equipment operation mode.

Defect; isolation damage; relay protection; algorithm.

Надежность работы распределительных сетей в инфраструктуре передачи и распределения электроэнергии определяет бесперебойность поставки электроэнергии потребителю. Распространенным видом повреждения в распределительных сетях являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), которые заканчиваются пробоем изоляции в ее ослабленных местах. Состояние изоляции электроустановок осуществляется путем оценки значения напряжения и (или) тока нулевой последовательности (ТНП). При таком методе контроля (асимметры, трансформаторы ТНП) позволяют обнаружить повреждения изоляции на завершающих стадиях их развития, например, глубоких несиммет-

ричных снижений сопротивления изоляции фаз, вплоть до глухого замыкания на землю (рис. 1,а). Этот метод не позволяет своевременно выявить дефекты на их начальных стадиях, а также определить электроустановку, имеющую повреждение изоляции [1].

Внедрение эксплуатационного мониторинга, технической диагностики и прогнозирования остаточного ресурса энергетического оборудования повысит надежность функционирования электрических систем. Большинство повреждений возникает вследствие развития локальных или распределенных дефектов изоляции кабелей и обмоток электродвигателей.

Таким образом разработка алгоритма определения расстояния до места локального дефекта изоляции и сопротивления этого дефекта без отключения оборудования по изменению параметров рабочего режима электрооборудования является актуальной задачей. Это достигается за счет определения амплитуды ТНП и угла между вектором этого тока и вектором напряжения двух фаз. При этом производится сравнение данных, получаемых экспериментальным путем, со значениями, получаемыми на математической модели сети в процессе расчета при пошаговом изменении места предполагаемого повреждения изоляции и изменения на каждом шаге величины сопротивления в месте дефекта изоляции от нуля до максимально допустимого.

Схема замещения присоединения нагрузки в сети с изолированной нейтралью, рис.1,а составляется со следующими допущениями:

- ◆ продольные и поперечные сопротивления (Z) разных фаз равны;
- ◆ емкости (X_C) фаз на землю и контролируемого присоединения учитываются в начале присоединения;
- ◆ локальный дефект моделируется активным сопротивлением $R_{ДЕФ}$ на расстоянии $l_{оэф}$ от начала присоединения;
- ◆ активные проводимости изоляции фаз на землю не учитываются.

Наибольшее влияние на точность определения зависимости ТНП от расстояния оказывает учет емкости присоединения в качестве сосредоточенной на выводах присоединения, а вернее отсутствие учета изменения двух частей присоединения (до и после точки дефекта) при перемещении точки дефекта изоляции. Емкость присоединения значительно меньше суммарной емкости сети, поэтому этим влиянием можно пренебречь. Используются следующие обозначения, рис.1,б, где:

I_{1c}, I_{2c}, I_{3c} – токи через поперечные проводимости фаз сети на землю;

I_1, I_2, I_3 – токи через продольные проводимости фаз нагрузки присоединения;

I_0 – ТНП, который проходит через место дефекта изоляции.

Рабочий режим присоединения в случае возникновения дефекта изоляции с сопротивлением $R_{ДЕФ}$ в одной из фаз описывается системой следующих уравнений [2,3]:

$$\begin{cases} -\dot{I}_{1c} \cdot X_c + \dot{I}_1 \cdot \underline{Z} - \dot{I}_3 \cdot (1 - l_{ДЕФ}) \cdot \underline{Z} + \dot{I}_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0 \\ -\dot{I}_{2c} \cdot X_c + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z} - \dot{I}_3 \cdot (1 - l_{ДЕФ}) \cdot \underline{Z} + \dot{I}_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0 \\ -\dot{I}_{3c} \cdot X_c + \dot{I}_3 \cdot b \cdot \underline{Z} - \dot{I}_0 \cdot b \cdot \underline{Z} + \dot{I}_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0 \\ \dot{U}_{12} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z} - \dot{I}_2 \cdot \underline{Z} \\ \dot{U}_{23} = \dot{I}_2 \cdot \underline{Z} - \dot{I}_0 \cdot b \cdot \underline{Z} - \dot{I}_3 \cdot \underline{Z} \\ \dot{U}_{31} = \dot{I}_0 \cdot b \cdot \underline{Z} + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z} - \dot{I}_1 \cdot \underline{Z} \\ \dot{I}_{1c} + \dot{I}_{2c} + \dot{I}_{3c} + \dot{I}_0 = 0 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

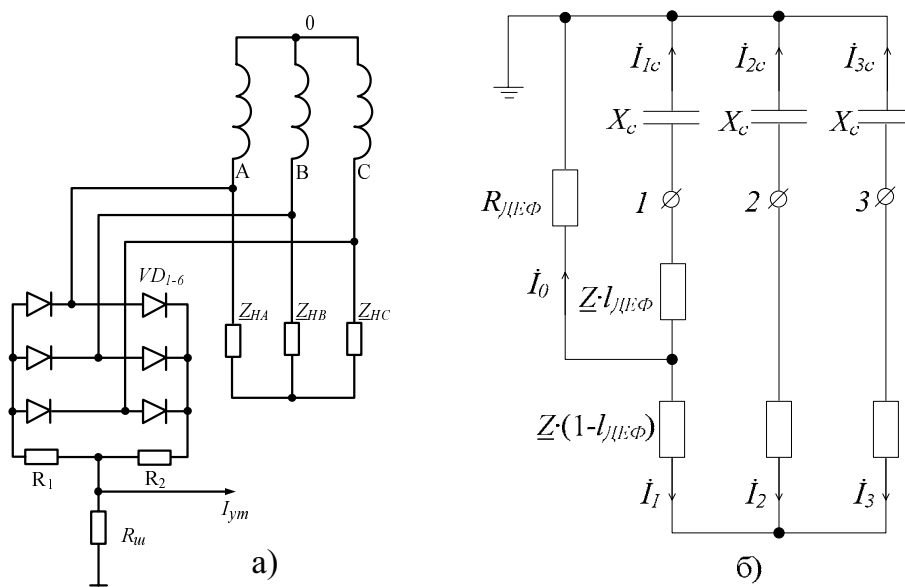


Рис. 1. а – схема измерительного преобразователя; б – схема замещения присоединения нагрузки при появлении локального дефекта изоляции

Из системы (1) видно, что вектор ТНП (амплитуда и фаза) зависит от расстояния до места дефекта $l_{деф}$ и сопротивления в месте дефекта $R_{ДЕФ}$. Необходимо учитывать реальные значения X_c , которое зависит от режима (конфигурации) сети.

После преобразования системы (1) уравнений получим:

$$\dot{I}_0 = (1 - l_{ДЕФ}) (\dot{U}_{31} - \dot{U}_{23}) / [X_c + l_{ДЕФ} (3 - 2l_{ДЕФ}) \cdot \underline{Z} + 3R_{ДЕФ}]$$

Расстояние до дефекта и значение сопротивления в месте повреждения изоляции определяется алгоритмом (рис. 2) [4]:

- ♦ определяется амплитуда вектора ТНП, угла δ между вектором ТНП и вектором напряжения двух фаз;

- ◆ сравнивается амплитуда вектора ТНП с допустимым значением;
- ◆ пошагово изменяется расстояние Δl от начала присоединения до предполагаемого места локального дефекта;
- ◆ выполнение цикла пошагового изменения сопротивления ΔR в месте дефекта изоляции от нуля до максимально допустимого значения ($0 < R_{\text{деф}} < \text{max}$);
- ◆ с помощью математической модели сети определяется вектор ТНП и угол δ между этим вектором тока и вектором напряжения между двумя фазами;
- ◆ изменяется конфигурации сети;
- ◆ сравниваются амплитуды рассчитанного вектора ТНП $I_{\text{МАКС Р}}$ с измеренным вектором ТНП $I_{\text{МАКС Д}}$ и сравнения их углов δ по отношению к аналогичным векторам напряжения между фазами;
- ◆ отображение полученных значений расстояния до места локального дефекта изоляции и значение сопротивления в месте дефекта изоляции.

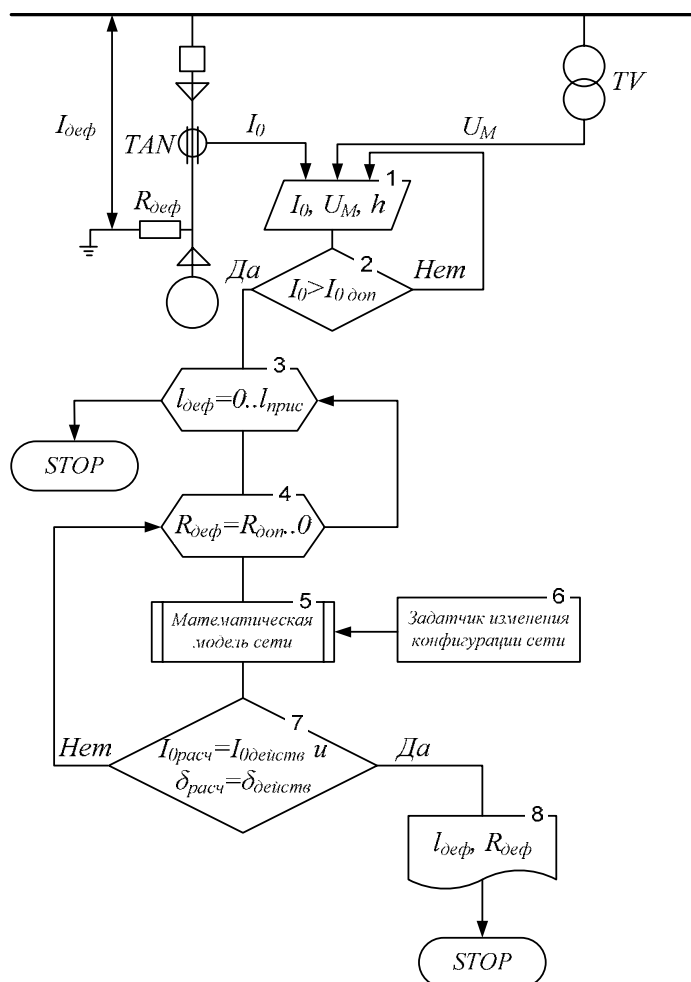


Рис. 2. Алгоритм определения места и сопротивления дефекта изоляции

Система непрерывно контролирует все присоединения, и при превышении по одному из присоединений заданного значения расценивается как появление дефекта изоляции. По факту превышения блок изменения места и величины сопротивления дефекта начинает циклический процесс задания параметров математической модели, которые соответствуют перемещению точки предполагаемого места дефекта изоляции. При этом на каждом шаге расчета выполняется цикл изменения величины предполагаемого дефекта от нуля до максимально допустимого значения. Результаты расчета вектора ТНП на каждом шаге расчета сравниваются с действительным вектором ТНП поврежденного присоединения. При совпадении действительного и расчетного векторов ТНП на индикацию подаются расчетные значения $I_{деф}$ и $R_{деф}$, которые использовались на этом шаге расчета [4].

Изменение конфигурации сети автоматически учитывается в математической модели сети путем учета и исключения параметров соответствующего элемента сети. Сдвиг фаз между векторами напряжения и ТНП практически не зависит от места и степени дефекта изоляции. Зависимость вектора ТНП с параметрами: продольное сопротивление фазы нагрузки ($Z = 2+j100$); емкости фаз сети по отношению к земле ($C = 10$ мкФ), – от расстояния до места дефекта изоляции представлена пунктирной линией (рис. 3). Вдоль этих кривых сопротивление дефекта постоянно. Значения сопротивлений взяты от 10 до 10 кОм с шагом 10 Ом. Зависимость вектора ТНП от сопротивления дефекта изоляции представлена сплошной линией. Вдоль этих кривых расстояние до места дефекта изоляции постоянно. Значения расстояний приняты в относительных единицах соответственно слева направо 0,9; 0,8 ; 0,7 ; 0,6 ; 0,5 ; 0,4 ; 0,3; 0,2 ; 0,1 ; 0,05 ; 0,01.

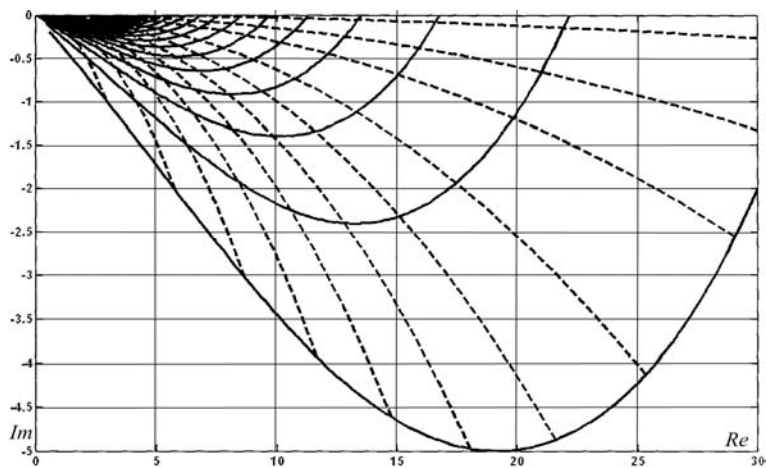


Рис. 3. Зависимость вектора тока нулевой последовательности

Вывод:

- ◆ при малых расстояниях уменьшение $R_{деф}$ приводит к увеличению активной составляющей тока, а при больших - к увеличению реактивной;

- ◆ уменьшение $R_{ДФ}$ вызывает пропорциональное увеличение амплитуды вектора ТНП, а изменение расстояния до места дефекта изоляции приводит к изменению угла между этим вектором и вектором междупазного напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качесов В.Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество. – 2005. – № 6.
2. Сидоров А.И., Хусаинова Н.А., Шестаков А.Л. Определение сопротивления изоляции по отношению к земле сетей с изолированной нейтралью 6-35кВ по режимным параметрам // Известия Челябинского Научного Центра. – 2000. – №1.
3. Лебедев Г.М., Бахтин Н.А., Брагинский В.И. Математическое моделирование локальных дефектов изоляции силовых кабелей 6-10 кВ // Электричество. – 1998. – №12.
4. Гребченко Н.В., Сидоренко А.А. Интеллектуальная система для определения места и степени локальных дефектов изоляции в сети с изолированной нейтралью // XVII научно-техническая конференции "Релейная защита и автоматика энергосистем. – М., – 2006.

Полуянович Николай Константинович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: Nik1-58@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-694.

Кафедра электротехники и мехатроники.

Poluyanovich Nikolay

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: Nik1-58@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-694.

Department of Electrical Engineering and Mechatronics.