

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.315.1: 621.3.088

Оценка погрешности расчетов при определении местоположения повреждений на воздушных линиях с заземленной нейтралью

В.Э. Левчук^{1,2}, Е.А. Заикина², А.А. Иванов²

¹ Филиал ПАО «Россети» — Ростовское ПМЭС, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Представлены результаты исследования влияния искажений параметров измеренных токов и напряжений на погрешность оценки местоположения повреждения на воздушной линии. В качестве исходных данных была использована существующая воздушная линия напряжением 220 кВ, а параметры были сняты с осциллограммы при однофазном коротком замыкании на данной линии. Расчет местоположения повреждения выполняется в программном комплексе «АРМ СРЗА». В результате исследования было выявлено, что искажения тока и напряжения оказывают значительное влияние на величину погрешности оценки: она может как уменьшаться, так и увеличиваться в зависимости от характера искажений исходных величин тока и напряжения. Также было предложено дальнейшее развитие данного исследования.

Ключевые слова: воздушная линия, линия электропередачи, повреждение воздушной линии, определение места повреждения, погрешность

Для цитирования. Левчук В.Э., Заикина Е.А., Иванов А.А. Оценка погрешности расчетов при определении местоположения повреждений на воздушных линиях с заземленной нейтралью. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):39–43.

Estimating the Errors in Calculations of Fault Locations in the Overhead Transmission Lines with a Grounded Neutral

Vladimir E. Levchuk^{1,2}, Ekaterina A. Zaikina², Andrey A. Ivanov²

¹ Branch of PJSC “Rosseti”, Rostov Enterprise of Main Electric Networks, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of a study investigating the effect of distortions in the measured values of current and voltage on the errors in calculations of fault locations in the overhead transmission lines. Data of the existing 220 kV overhead line was used as the source data, and the parameters were taken from its single-phase short circuit oscillogram. The fault location was calculated using the ARM SRZA (APM CP3A) software package. The study revealed the significant effect the current and voltage measurement distortions have on the magnitude of calculation error: it can both decrease or increase depending on the nature of distortions in the current and voltage source values. Further research on this topic was also proposed.

Keywords: Overhead Transmission Line, transmission line, overhead line fault, determining fault location, error

For Citation. Levchuk VE, Zaikina EA, Ivanov AA. Estimating the Calculation Errors when Determining Fault Locations in the Overhead Transmission Lines with a Grounded Neutral. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):39–43.

Введение. Определение места повреждения (ОМП) на воздушных и кабельных линиях электропередачи (ВЛЭП и КЛЭП) в настоящее время является одной из основных задач организаций, занимающихся эксплуатацией электрических сетей. Эта задача представляет собой стандартный элемент на пересечении таких направлений электроэнергетики, как «релейная защита» и «диагностика» [1].

Необходимость решения данной проблемы была поднята еще в 30-х годах XX века [2] вскоре после публикации материалов, подчеркивающих значимость развития защиты электрических сетей [3]. Это подчеркивает важность не только выявления фактов повреждения линий, но и определения их местоположения. В [4] дистанционный принцип рассматривается применительно к обеим задачам.

Сегодня в сфере определения места повреждений (ОМП) накоплено множество различных подходов, однако именно метод ПАР стал центральным для воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). В данной работе авторы, продолжая исследования погрешностей результатов расчета ОМП, начатые Ю.С. Беляковым и В. А. Ефимовым [5, 6], проводят анализ влияния искажения части исходных данных для расчета предположительного места повреждения ВЛЭП на конечную величину погрешности ОМП. Исследование частично повторяет работу В.А. Ефимова [6], но для численного эксперимента используется существующая ВЛ 220 кВ Т-15 – Амвросиевка, находящаяся в эксплуатации филиала ПАО «Россети» (РПМЭС в Ростовской области). Цель исследования заключается в выявлении влияния искажения исходных данных на конечную величину отклонения расчетного места повреждения от действительного как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Основная часть

Численный эксперимент в «АРМ СРЗА». Расчёт ОМП выполняется в программном комплексе «АРМ СРЗА», разработанный производственным кооперативом «БРИЗ», на базе актуальной схемы сети Ростовской области с использованием программного блока «диспетчерское ОМП».

Анализ производится на примере однофазного короткого замыкания (так как такой вид замыкания наиболее распространён в сетях с заземлённой нейтралью [7]), возникшего на «ВЛ 220 кВ Т-15 – Амвросиевка». Расчет выполняется по токам и напряжением нулевой последовательности со стороны подстанции (ПС) с высшим напряжением 220 кВ «Т-15», т. е. расчет является односторонним. Параметры линии и измеренных токов и напряжений на стороне ПС 220 кВ Т-15 представлены в таблице 1.

В ходе проводимого численного эксперимента сначала производилось искажение фазной величины измеренного напряжения с шагом $5x \pm 0,1$ кВ. В соответствии с искажением пересчитывалось напряжение нулевой последовательности. После чего расчет ОМП выполнялся в блоке «диспетчерское ОМП» по искаженному напряжению нулевой последовательности и без учета тока нулевой последовательности. Результаты представлены на рис. 1.

Далее определялась погрешность для каждого расчетного места повреждения, полученного по результатам искажения, согласно формуле (1). Данные результаты представлены на рис. 2.

$$\delta l = \frac{|L_{кз} - L_n|}{L} \cdot 100 \% \quad (1)$$

где L_n — предположительное расстояние до места повреждения полученное по результатам расчета (в данном случае в ПК «АРМ СРЗА») в км.

Таблица 1

Исходные данные

Полная длина ВЛЭП	L, км	65,3
Расстояние до места повреждения со стороны «ПС 220 кВ Т-15»	$L_{кз}$, км	34,5
Поврежденная фаза	–	ф. В
Напряжение в поврежденной фазе (фазное напряжение)	U_B , кВ	$80,95 \times e^{-j123,8}$
Ток в поврежденной фазе	I_B , кА	$3,498 \times e^{-j14,75}$
Напряжение нулевой последовательности	$3U_0$, кВ	$42,127 \times e^{j64,785}$
Ток нулевой последовательности	$3I_0$, кА	$3,452 \times e^{-j13,674}$

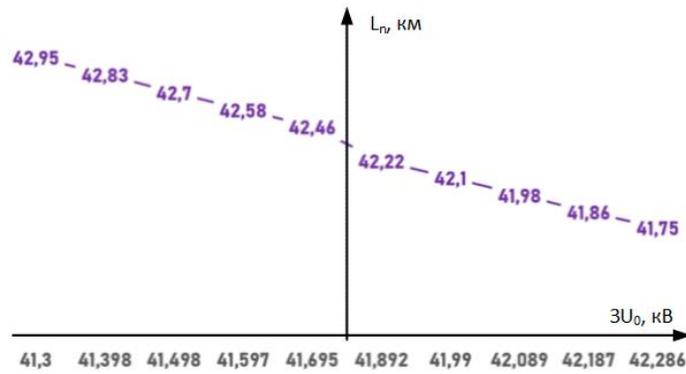


Рис. 1. График полученной зависимости расчетного расстояния до повреждения L_n от искаженного напряжения нулевой последовательности $3U_0$

Аналогично производилось искажение фазной величины измеренного тока с шагом $5x \pm 0,1$ кА. В соответствии с искажением пересчитывался ток нулевой последовательности. После чего расчет ОМП выполнялся в блоке «диспетчерское ОМП» по искаженному току нулевой последовательности и без учета напряжения нулевой последовательности. Результаты представлены на рис. 3.

Результаты оценки погрешности, выполненные по формуле (1), представлены на рис. 4.

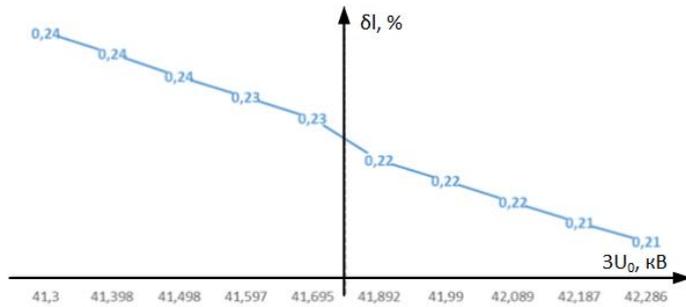


Рис. 2. График полученной зависимости расчетной величины погрешности δI от искаженного напряжения нулевой последовательности $3U_0$

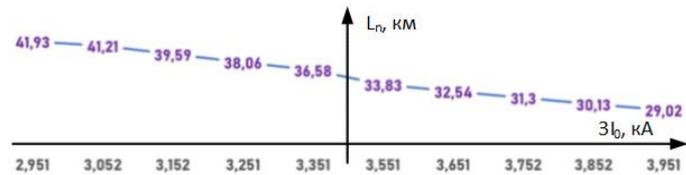


Рис. 3. График полученной зависимости расчетного расстояния до повреждения L_n от искаженного напряжения нулевой последовательности $3I_0$

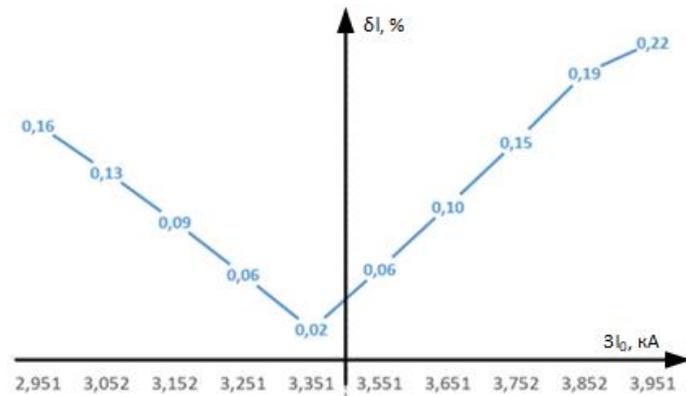


Рис. 4. График полученной зависимости расчетной величины погрешности δI от искаженного напряжения нулевой последовательности $3I_0$

Анализ полученных результатов. Согласно полученным графикам, наблюдается линейная зависимость между получаемым расстоянием и искаженными током или напряжением. При этом увеличение значения напряжения нулевой последовательности смещает расчетную точку повреждения в сторону наблюдаемой стороны (стороны, с которой были измерены токи и напряжения). И наоборот, при снижении величины напряжения нулевой последовательности точка смещается в противоположную сторону (рис. 1). Аналогичная ситуация наблюдается и при искажении тока (рис. 3).

Результаты на рис. 2 и 4 показывают, как повышение, так и снижение точности результатов при искажении. При этом стоит отметить, что расчет ОМП по напряжению является менее точным, и, следовательно, погрешность в этом случае несколько выше, чем при расчете по току. Это позволяет предположить, что формирование определенных искажений исходных данных при расчете ОМП может привести к получению результата с более низкой величиной погрешности, чем в условиях отсутствия данных искажений.

Продолжение анализа величины погрешности расчета ОМП включает в себя проведение следующих экспериментов: оценку величины погрешности при искажении угла между напряжением и током поврежденной фазы; искажение сопротивления самой линии; совмещение искажений нескольких величин одновременно. Повторение этих экспериментов с использованием моделей ВЛЭП на базе программы MATLAB Simulink или её аналогов также планируется. Для дальнейшего исследования была сформирована предварительная модель ВЛЭП (рис. 5) [8].

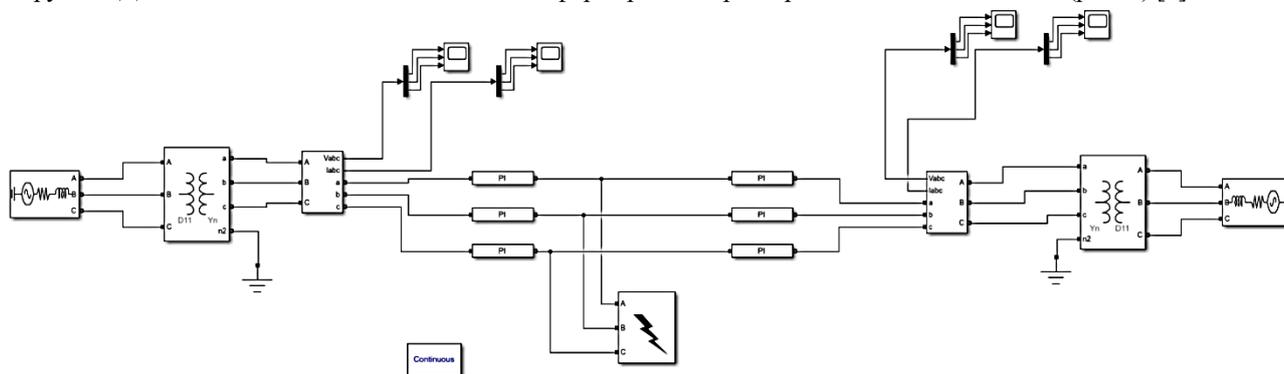


Рис. 5. Модель ВЛЭП на базе программы MATLAB Simulink

В данной модели двухстороннее питание линии осуществляется за счет блоков Three-Phase Source 1 и 2, которые представляют собой трёхфазные источники напряжения. Через окно задания параметров можно задать значения действующего линейного напряжения, частоту, соединение фаз источника, а также собственные активное и индуктивное сопротивления и другие характеристики.

Далее устанавливаются двухобмоточные повышающие трансформаторы — Three-Phase Transformer (Two Windings). В них указывается соединение обмоток, номинальная мощность, частота, номинальные напряжения на высокой и низкой стороне, а также активные и индуктивные сопротивления обмоток. Для проведения исследования необходимо подключить осциллографы Scope. Это можно сделать с помощью трёхфазного измерителя Three-Phase V-I Measurement, к которому они присоединяются. Настройка необходимых измерений включает выбор между фазным и линейным напряжением, добавление измерения тока, возможность работы в относительных единицах и другие параметры.

Линия разделена на секции с помощью блоков Pi Section Line, что соответствует расстояниям от подстанций до места, где было обнаружено реальное повреждение. Каждый блок моделирует однофазную линию с сосредоточенными параметрами. Здесь задаются длина участка линии, частота, активные, индуктивные и емкостные удельные сопротивления линии, а также количество таких секций. Трёхфазный короткозамыкатель Three-Phase Fault имитирует короткое замыкание, замыкая фазы между собой и на землю. В данном исследовании предполагается моделирование однофазного короткого замыкания на землю для фазы В (согласно таб. 1). Необходимые данные для расчетов будут получены из блоков Scope, где можно записать осциллограммы.

Заключение. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Результаты численного эксперимента в ПК «АРМ СРЗА» позволяют предположить, что формирование определённых искажений исходных данных при расчете ОМП может привести к снижению величины погрешности, по сравнению с ситуацией, когда такие искажения отсутствуют.

2. Для продолжения исследования необходимо увеличить количество искаженных параметров и провести одновременное искажение нескольких параметров. Это позволит лучше понять погрешности, возникающие при анализе применения методов ОМП.

3. Применение смоделированного повреждения ВЛЭП с помощью специализированных программ даст возможность получить более точные результаты зависимостей между искусственными искажениями и получаемыми погрешностями. Таким образом, это является ключевой задачей в проводимых исследованиях.

Список литературы

1. Левчук В.Э., Заикина Е.А., Данилин Д.А., Парпулова А.А. Конструкция воздушной линии электропередачи напряжением 110–500 кВ и анализ повреждаемости отдельных элементов на территории Ростовской области. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(1):49–57.
2. Белотелов А.К. Из истории ОМП. *Релейная защита и автоматизация*. 2014;2(15):42.
3. Иванов В.И. *Реле и релейная защита*. Ленинград: Гос. энергет. изд-во; 1932. 275 с.
4. Аржанников Е.А. *Дистанционный принцип в релейной защите и автоматике линий при замыканиях на землю*. Москва: Энергоатомиздат; 1985. 176 с.
5. Беляков Ю.С., Побережный Л.А., Пьянков В.Я. О достоверности в определении мест повреждения воздушных линий электропередачи. *Электрические станции*. 1981;(3):62–63.
6. Ефремов В.А. Виды погрешностей ОМП и их влияние на точность. *Релейная защита и автоматизация*. 2014;(2(15)):54–58.
7. Шалыт Г.М. *Определение мест повреждения в электрических сетях*. Москва: Энергоиздат; 1982. 312 с.
8. Черных И.В. *Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink*. Санкт-Петербург: Питер; 2008. 288 с.

Об авторах:

Владимир Эдуардович Левчук, ведущий инженер службы релейной защиты и автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами Ростовского предприятия магистральных электрических сетей (344093, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Днепропетровская, 54/1) и аспирант кафедры цифровых технологий и платформ в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), vladimir.levchuk.94@mail.ru

Екатерина Александровна Заикина, студент кафедры цифровых технологий и платформ в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), zaikina.ea.03@mail.ru

Андрей Александрович Иванов, студент кафедры цифровых технологий и платформ в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), azimov35678@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Vladimir E. Levchuk, Leading Engineer of the Service for Relay Protection and Automation, and Technological Process Automated Control Systems, Rostov Enterprise of Main Electric Networks (54/1, Dnepropetrovskaya Str., Rostov-on-Don, 344093, Russian Federation), Postgraduate Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), vladimir.levchuk.94@mail.ru

Ekaterina A. Zaikina, Bachelor's Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), zaikina.ea.03@mail.ru

Andrey A. Ivanov, Bachelor's Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), azimov35678@gmail.com

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.