

Гладков М.А.

магистрант

Нижевартовский государственный университет

Россия, г. Нижевартовск

Слинкин А.С.

магистрант

Нижевартовский государственный университет

Россия, г. Нижевартовск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИН ТОКОВ
СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ
ОТ ПРОТЯЖЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ В СЕТЯХ С
ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ PSCAD. АНАЛИЗ ОДНОСТОРОННЕГО
МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ИСПОЛЬЗУЕМОГО В
ПРОГРАММЕ FASTVIEW**

Аннотация: Данная статья посвящена моделированию электрической в программном комплексе PSCAD, и анализу методики определения места короткого замыкания.

В статье описан алгоритм моделирования сети и рассмотрен расчет токов короткого замыкания в различных точках сети.

На основании записанных COMTRADE – файлов дана оценка методу определения места повреждения на основании одностороннего замера используемого в программе FastView.

Ключевые слова: PSCAD, симметричные короткие замыкания, моделирование, воздушная линия, не симметричные короткие замыкания, определение места повреждения, FastView.

Annotation: *This article is devoted to the design of an electric power system for modeling it in the PSCAD software package, as well as for its further analysis. The dependences of the values of short-circuit currents on the length of the overhead power line are considered. A section of the power system has been modeled using the PSCAD software environment. In the course of the study, the sequence of actions for modeling a section of the power system in PSCAD was analyzed. After the simulation, damage was simulated in various sections of the line length and the resulting results were analyzed. Further, based on the recorded COMTRADE files, an assessment is given of the method for determining the location of damage based on one-sided measurement used in the FastView program.*

Keywords: *PSCAD, symmetrical short circuits, modeling, overhead line, asymmetrical short circuits, fault location, FastView.*

Программный комплекс PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) представляет собой удобный и многофункциональный графический интерфейс, позволяющий пользователю схематично моделировать сеть из представленных в библиотеке разнообразных элементов электроэнергетической сети, выполнять моделирование, анализировать результаты, строить графики и управлять данными.[1]

Библиотека PSCAD содержит порядка 300 компонентов, которые разделяются на группы: пассивные элементы, источники электроэнергии, выключатели, элементы силовой электроники, трансформаторы, электрические машины, ЛЭП и кабели, различные измерители, элементы релейной защиты, экспорт и импорт данных, логические функции, элементы создания сценариев поведения модели, фильтры.

С помощью библиотеки построение модели осуществляется максимально наглядно. Она оформляется в графическом виде как привычная электрическая схема. Характеристики и свойства каждого элемента модели задаются в виде табличных данных.

При создании системы можно использовать как стандартные модели блоков, представленные в PSCAD, так и создавать собственные модели. [2]

Моделирование электроэнергетической системы

На рисунке 1 представлена модель электрической сети, сформированная в программном комплексе.

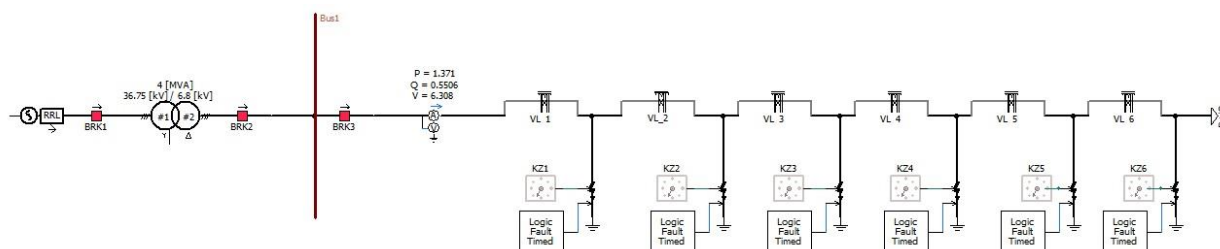


Рисунок 1. Исследуемая модель электрической сети

Воздушная линия электропередачи, напряжением 6 кВ получает питание от подстанции на которой установлен трансформатор марки ТРДНС 40000/35-6(10) У1 с паспортными данными, приведенными в таблице 1.

таблица 1.

Паспортные данные трансформатора

Тип	SH, кВА	U _{ВН} , кВ	U _{НН} , кВ	ΔP _{XX} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	U _к , % (В-Н)	I _{XX} , %
ТРДНС 40000/35- 6(10) У1	40000	35	6,3	36	170	11,5%	0,20%

С целью исследования зависимости величин токов симметричных и несимметричных коротких замыканий от протяженности воздушной линии в сетях с изолированной нейтралью она разбита на шесть участков. Общая длина линии составляет 24 км.

Воздушная линия имеет следующие характеристики:

- Активное удельное сопротивление ($R_{уд}$) линии выбрана согласно паспортным данным АС-95/16 и составляет 0,33 Ом/км. (Рис. 2,3);
- Индуктивное удельное сопротивление ($X_{уд}$) определено в программной среде PSCAD с учетом геометрической особенностью выбранной опоры воздушной линии и составляет 0,342 Ом/км. (Рис.4).

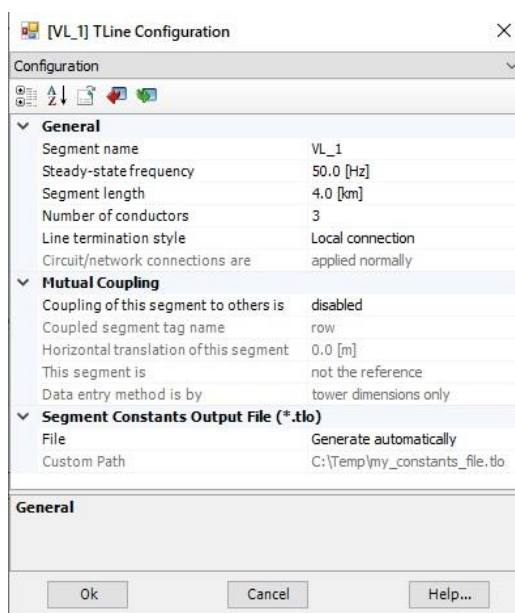


Рисунок 2. Конфигурация линии. Общие настройки

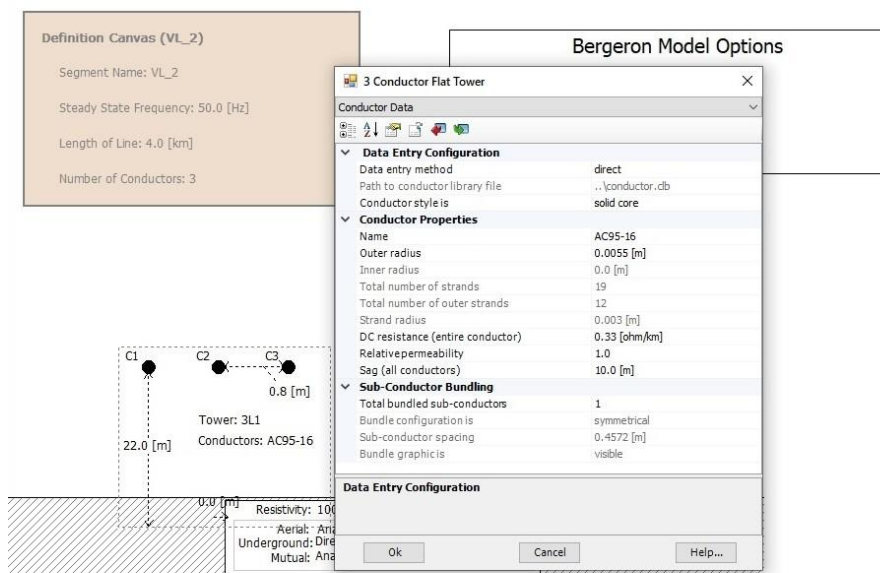


Рисунок 3. Конфигурация линии. Параметры геометрии опоры.

```

SEQUENCE TRANSFORM MATRIX:
0.577350269E+00,0.00000000E+00 0.577350269E+00,0.00000000E+00 0.577350269E+00,0.00000000E+00
0.577350269E+00,0.00000000E+00 -.288675135E+00,-.50000000E+00 -.288675135E+00,0.50000000E+00
0.577350269E+00,0.00000000E+00 -.288675135E+00,0.50000000E+00 -.288675135E+00,-.50000000E+00

SEQUENCE IMPEDANCE MATRIX (Zsq) [ohms/m]:
0.474288133E-03,0.164864671E-02 0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.00000000E+00,0.00000000E+00
0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.330218673E-03,0.342759137E-03 0.00000000E+00,0.00000000E+00
0.108420217E-18,0.00000000E+00 -.210064171E-18,0.00000000E+00 0.330218673E-03,0.342759137E-03

SEQUENCE ADMITTANCE MATRIX (Ysq) [mhos/m]:
0.100000000E-10,0.113063595E-08 0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.00000000E+00,0.00000000E+00
0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.10000000E-10,0.335445011E-08 0.00000000E+00,0.00000000E+00
0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.00000000E+00,0.00000000E+00 0.10000000E-10,0.335445011E-08

```

Рисунок 4. Расчётная матрица сопротивлений в PSCAD

Для записи осциллограмм токов короткого замыкания используется элемент COMTRADE

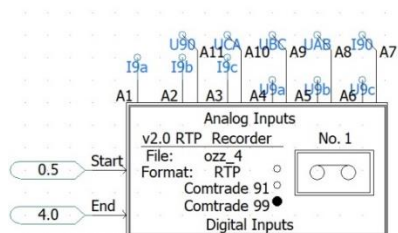


Рисунок 5. Элемент COMTRADE.

Данный элемент позволяет произвести запись осциллограмм в формате «Comtrade».

Для последующего анализа полученных результатов необходимо выставить параметры COMTRADE/RTP Recorder.

Модель сети с установленными параметрами и заданным алгоритмом моделирования коротких замыканий приведена на рисунке 6.

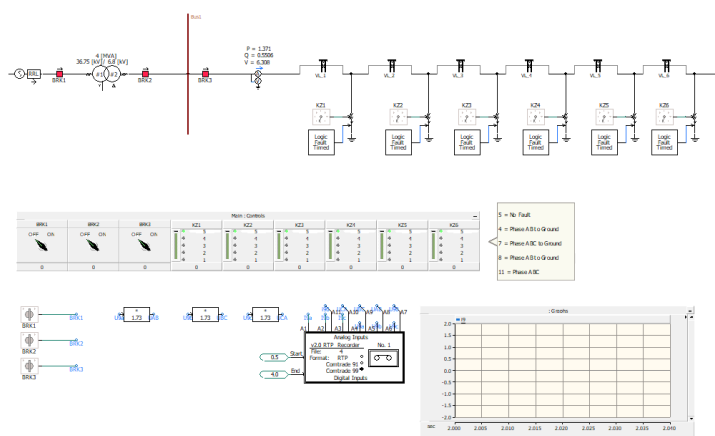


Рисунок 6. Завершенная модель электрической сети в программной среде PSCAD

С целью определения зависимостей величин токов К.З. от протяженности линии, симитированы К.З. на 6-ти участках отходящей воздушной линии. Результаты представлены на рисунках 7-10.

Анализ получившихся результатов

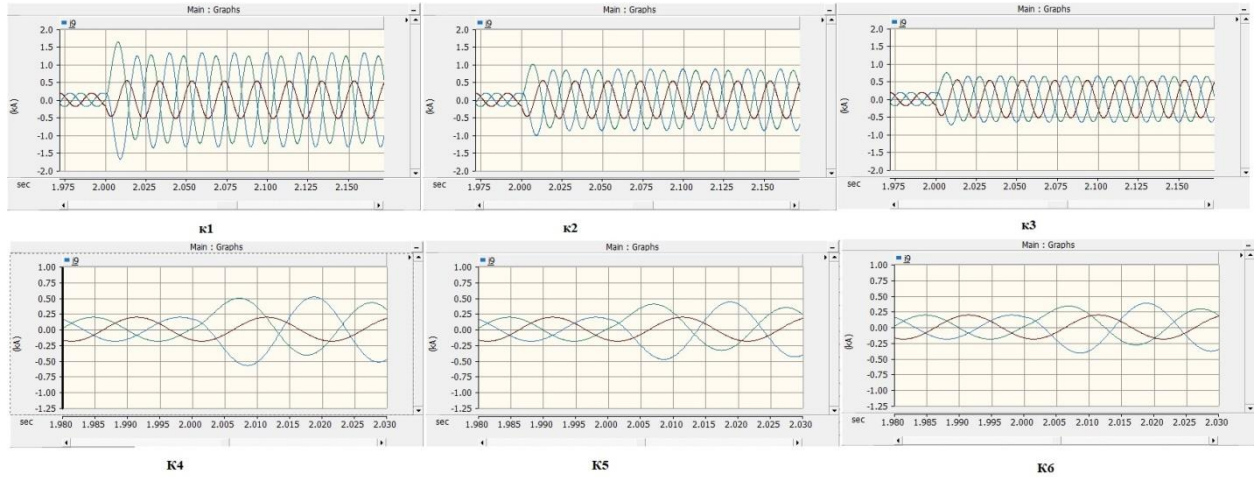


Рисунок 7. Зависимость амплитуды тока двухфазного К.З. от протяженности линии

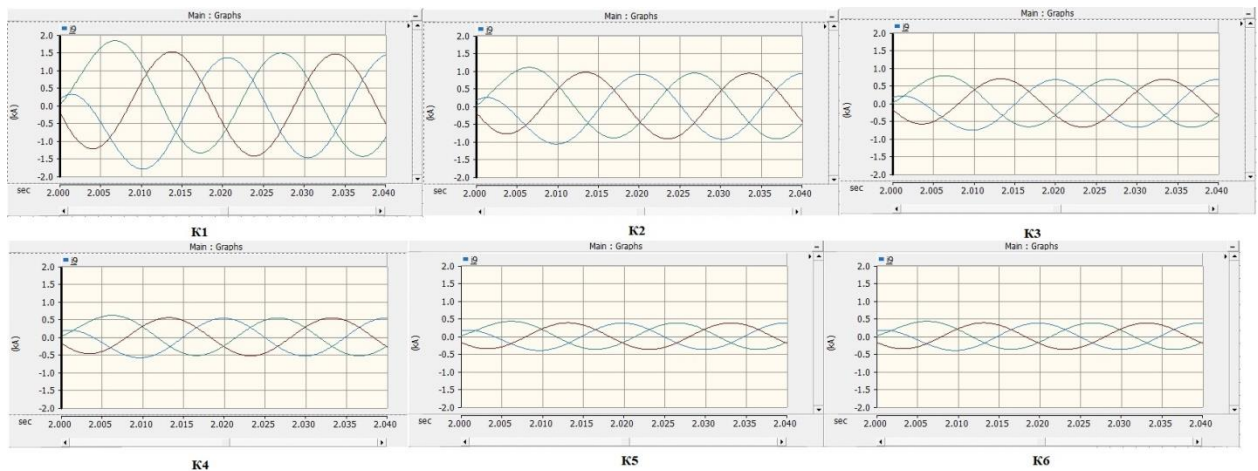


Рисунок 8. Зависимость амплитуды тока трехфазного К.З. от протяженности линии

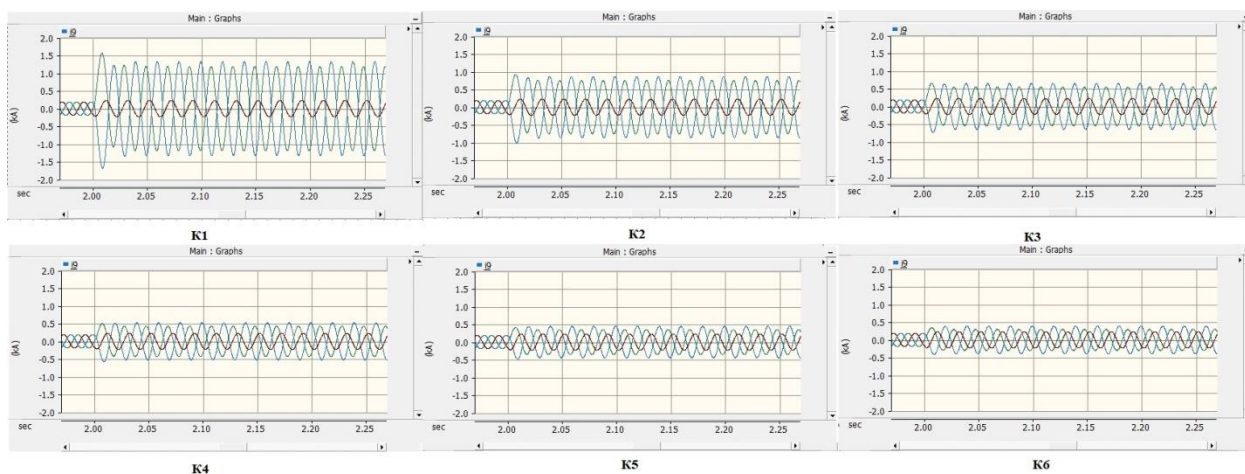


Рисунок 9. Зависимость амплитуды тока двухфазного К.З. на землю от протяженности линии

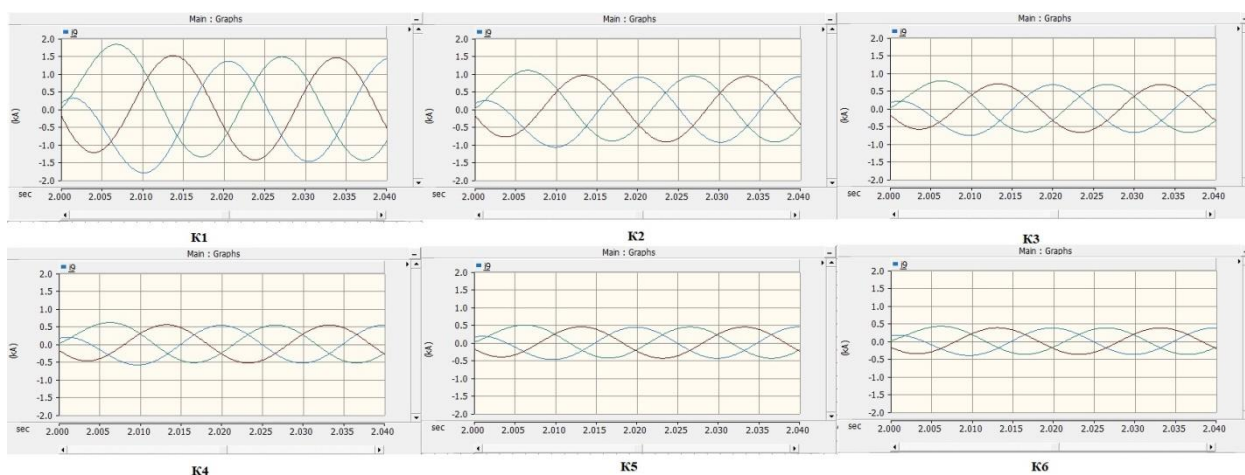


Рисунок 10. Зависимость амплитуды тока трехфазного К.З. на землю от протяженности линии

Для задачи определения места повреждения (ОМП) необходимо определить полное сопротивление участка линии до места повреждения:

$$l = \frac{Z_{\text{полн}}}{Z_{\text{уд}}}. [3]$$

Анализ одностороннего метода определения повреждений используемого в программе FastView.

Определение места повреждения по параметрам аварийного режима реализуется на дистанционном принципе. Расчет расстояния до места повреждения производится согласно следующему выражению:

$$U' = I' \times Z_{y\delta} \times l_{кз} + (I' - I'') \times R_{пер}$$

Необходимо избавиться от второго слагаемого, для этого поделим все выражение на ток $I_{пол}$, совпадающий по направлению с током через переходное сопротивление.

$$\frac{U'}{I_{пол}} = \frac{I' \times Z_{y\delta} \times l_{кз}}{I_{пол}} + \frac{(I' - I'') \times R}{I_{пол}}$$

Исходя из того, что дуга имеет лишь активное сопротивление и токи

$I_{пол}$ и $(I' - I'')$ со направлены можно сделать вывод, что мнимая часть второго слагаемого выражения равна нулю, тогда:

$$I_m \left[\frac{U'}{I_{пол}} \right] = I_m \left[\frac{I' \times Z_{y\delta} \times l_{кз}}{I_{пол}} \right] + I_m \left[\frac{(I' - I'') \times R}{I_{пол}} \right] = I_m \left[\frac{I' \times Z_{y\delta} \times l_{кз}}{I_{пол}} \right]$$

Отсюда расстояние до места повреждения:

$$l_{кз} = \frac{I_m [U' \div I_{пол}]}{I_m [I' \times Z_{y\delta} \div I_{пол}]}$$

Для однофазных коротких замыканий формула приобретает вид:

$$l_{кз} = \frac{I_m [U_{\phi} \div I_{пол}]}{I_m [(I_{\phi} + k I_0) \times Z_{1y\delta} \div I_0]}$$

Для многофазных коротких замыканий:

$$l_{кз} = \frac{I_m [(U_b - U_c) \div (I_b - I_c)]}{I_m (Z_{1y\delta})}$$

где U_{ϕ} , U_b , U_c – напряжения поврежденных фаз; I_{ϕ} , I_b , I_c – токи поврежденных фаз.

Для определения ОМП можно использовать ранее полученными COMTRADE – файлами из PSCAD. Анализ погрешности определения места повреждения выполнен по осциллограммам двухфазного замыкания на землю.

Полученные COMTRADE – файлы загружаются в программу FastView и выполняются настройки следующих параметров:

- количество участков линии;
- протяженность каждого участка;
- номинальный ток присоединения;
- фазные токи и линейные напряжения;
- число опор на участке;
- активное и индуктивное сопротивление линии на 1 км. [4]

На рисунке 11 приведен пример задания этих параметров для одного участка сети. На рисунках 12-17 показано ОМП при различной протяженности линии.

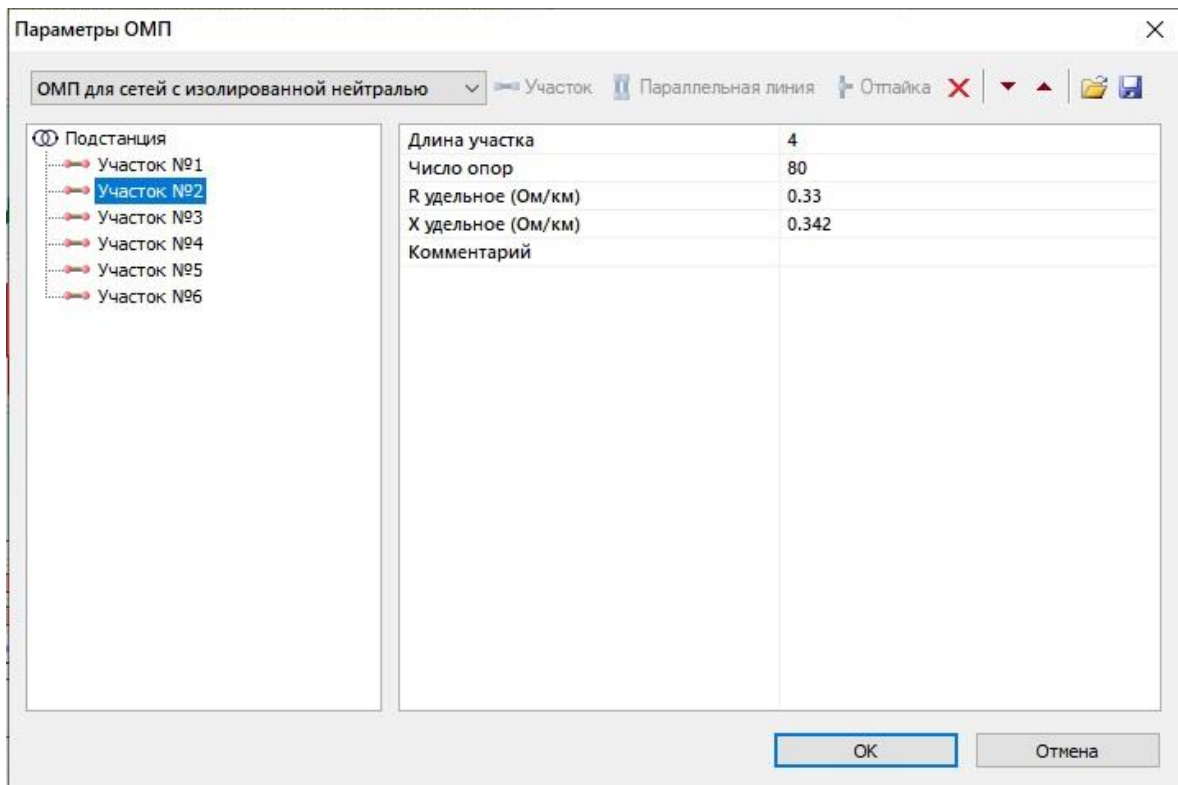


Рисунок 11. FastView параметры ОМП для сетей с изолированной нейтралью. Односторонний замер.

Количество опор принято 80 штук исходя из норм ПУЭ глава 2.5 пункт 2.5.10, расстояние между опор 50 метров. [5]



Рисунок 12. ОМП на участке 4 км

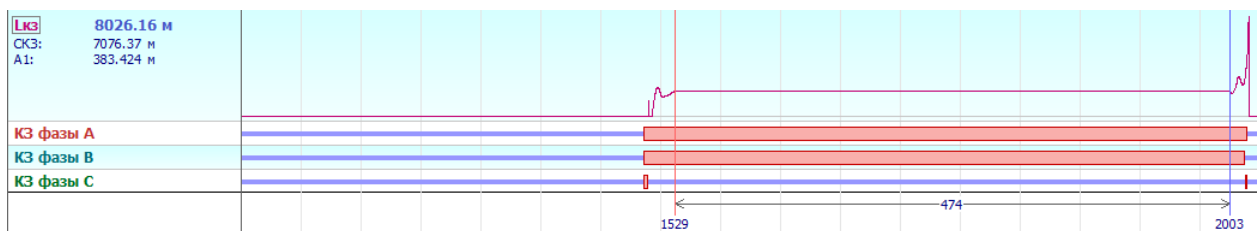


Рисунок 13. ОМП на участке 8 км

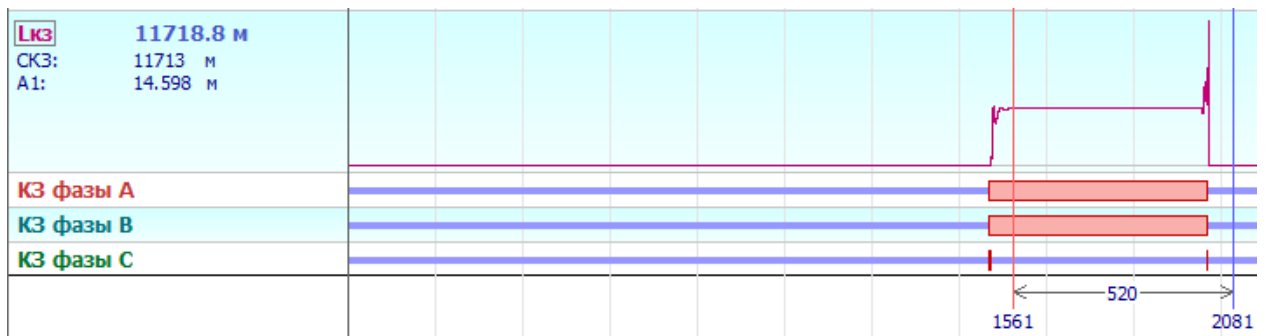


Рисунок 14. ОМП на участке 12 км

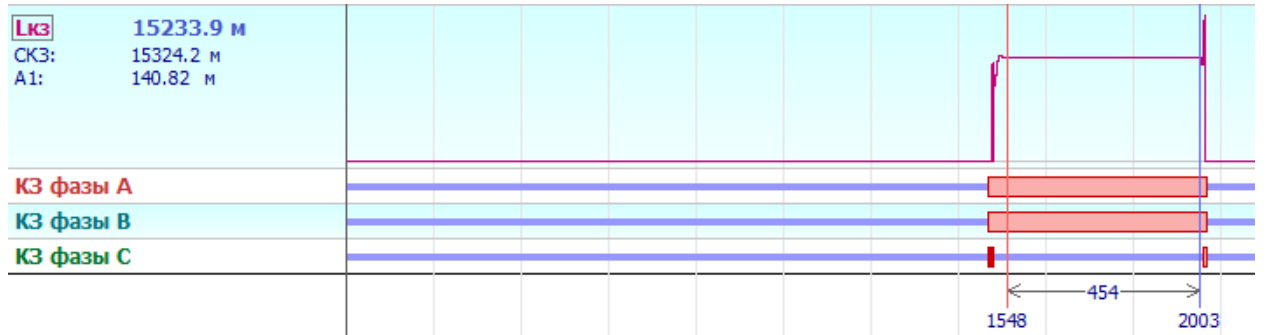


Рисунок 15. ОМП на участке 16 км

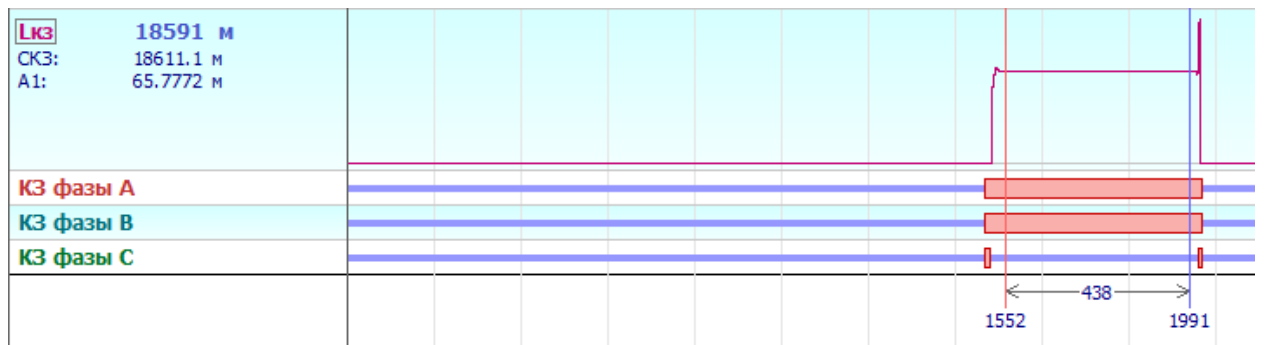


Рисунок 16. ОМП на участке 20 км

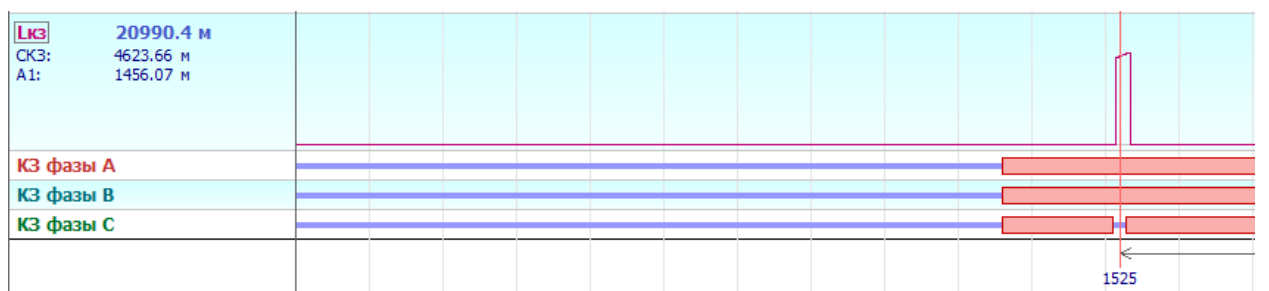


Рисунок 17. ОМП на участке 24 км

Для анализа получившихся результатов воспользуемся определением относительной погрешности.

$$\delta = \frac{|\Delta X|}{X} \times 100\%$$

Где, $|\Delta X|$ разница между фактическим местом повреждения и определенным

X фактическое место повреждения.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты анализа эффективности ОМП с односторонним замеров в сетях с изолированной нейтралью.

Фактическое место повреждения, м	ОМП, м	Погрешность, %
4000	4002,17	0,054
8000	8026,16	0,327
12000	11718,8	2,34
16000	15233,9	4,788
20000	18591	7,045
24000	20990,4	12,54

Исходя из получившихся результатов, можно сделать вывод, что ОМП с односторонним замером эффективен на участках малой протяженности. На участках средней и дальней протяженности можно дать приближенную оценку расстояния места повреждения.

Получившейся результаты погрешности приемлемы для ВЛ-6кВ протяжённостью не более 10км.

Использованные источники:

1. Материалы по PSCAD на русском языке, ЗАО «ЭнЛАБ» [Электронный ресурс]. URL: <http://ennlab.ru/rus/product/44> (дата общения: 07.09.2021)
2. А.Л. Куликов А.А. Лоскутов моделирование электроэнергетических систем и алгоритмов РЗ и А в программном комплексе PSCAD, Нижний Новгород 2021, 478 с.
3. Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи, Москва 2003, 269 с.
4. Программное обеспечение «FASTVIEW». Руководство оператора Версия 5.1.
5. Правила устройства электроустановок / 7-е изд., – М.: Моркнига, 2009. – 648 с.