

Аналитический метод определения места короткого замыкания в линиях электропередач

Вавилов Егор Дмитриевич

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
Студент*

Афанасьев Александр Петрович

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
Кандидат технических наук, доцент*

Аннотация

В статье рассматривается аналитический подход к задаче определения местоположения короткого замыкания на воздушных линиях электропередачи (ЛЭП) с двусторонним питанием. Аналитический анализ системы выполнен на основании законов Кирхгофа. Практическим результатом является быстрый расчет местоположения точки короткого замыкания.

Ключевые слова: Определение места повреждения, ЛЭП, закон Кирхгофа, короткое замыкание

Analytical method for determining the location of short circuits in power lines

Vavilov Yegor Dmitrievich

*Sholom Aleichem Priamurskiy State University
Student*

Afanasiev Alexander Petrovich

*Sholom Aleichem Priamurskiy State University
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

Abstract

The article considers the analytical approach to the problem of short-circuit location on overhead power lines (hereinafter referred to as overhead lines) with two-way power supply. The analytical analysis of the system is performed on the basis of Kirchhoff's laws. The practical result is a quick calculation of the location of the short-circuit point.

Keywords: Determining the location of the damage, transmission line, Kirchhoff's law, short-circuit

Аварийные режимы работы энергосетей, вызванные короткими замыканиями, являются, к сожалению, неотъемлемой частью работы энергосистем. Так как полностью этот вид аварий исключить невозможно, то

необходимы мероприятия для уменьшения технологических и экономических издержек связанных с функционированием системы электроснабжения в данных режимах.

Определение мест повреждения ЛЭП является первостепенной задачей при возникновении аварий обусловленных короткими замыканиями.

В теории, описывающей состояние энергетических систем, короткое замыкание является переходным процессом от нормального режима работы к аварийному, чаще всего к неустойчивому режиму, характеризуемому несимметрией динамических параметров работы системы [1].

В работе рассмотрен аналитический подход к определению местоположения короткого замыкания на воздушных линиях электропередачи с двусторонним питанием.

С целью упрощения анализа опускаем учет влияния взаимной индукции между фазами ЛЭП, и предполагаем, что источники тока идеальные, таким образом, считаем, что ток подпитки в месте короткого замыкания не изменяется, т. е. аварийный режим не влияет на работу источников питания.

Рассматриваемая фаза линии электропередач, работающая в номинальном (неаварийном) режиме, представлена на рисунке 1.

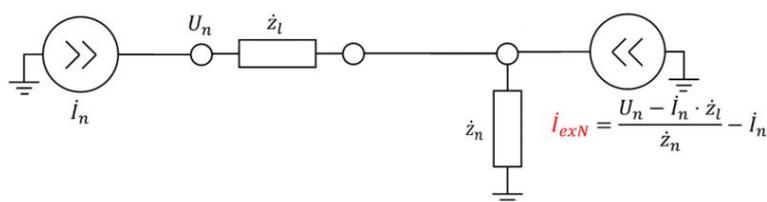


Рис. 1 Схема фазы при работе в рабочем (номинальном) режиме

Источники питания, расположенные по концам рассматриваемого участка представлены в виде источников тока.

При возникновении короткого замыкания в месте аварии, возникает дополнительный шунт на землю имеющий сопротивление r_{kz} , разделяющий линию электропередачи на два участка (до места возникновения аварии и после).

Рассматриваемая фаза электропередачи при работе в аварийном режиме представлена на рисунке 2.

Согласно принципу наложения по аварийному участку протекают обменный ток I_{ex} , обусловленный работой источников тока, и ток короткого замыкания I_{kz} , протекающий через шунт r_{kz} .

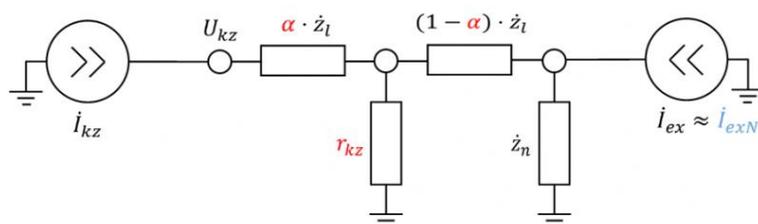


Рис. 2 Схема фазы при работе в аварийном режиме

Практически, токи I_{ex} , I_{kz} , и напряжение U_{kz} поврежденной фазы определяются по показаниям приборов фиксирующих возникновение аварийной ситуации. Полное сопротивление линии электропередач – z_l и активное сопротивление шунта (фаза-земля) – r_n , также являются известными.

Неизвестными величинами являются напряжения по концам электропередачи и коэффициент α относительно местоположение точки возникновения короткого замыкания.

Систему уравнений на основе первого закона Кирхгофа, токов в точке, в которой возникло короткое замыкание можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{U_{kz}-U_1}{\alpha \cdot z_l} = I_{kz} \\ \frac{U_{kz}-U_1}{\alpha \cdot z_l} + \frac{0-U_1}{r_{kz}} + \frac{U_2-U_1}{(1-\alpha) \cdot z_l} = 0 \\ \frac{U_1-U_2}{(1-\alpha) \cdot z_l} + \frac{0-U_2}{r_n} + I_{ex} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Приведем символическое решение системы (1) с помощью пакета Live Script из программного комплекса Matlab компании Mathworks [2].

```
% Инициализация символических переменных
syms Ukz a U1 Zl U2 Rkz Zn lkz lex
% Система уравнений для токов в точке короткого замыкания
eq1 = (Ukz - U1)/(a*Zl) == lkz;
eq2 = (Ukz - U1)/(a*Zl) - U1/Rkz + (U2-U1)/((1-a)*Zl) == 0;
eq3 = (U2-U1)/((1-a)*Zl) - U2/Zn + lex == 0;
% Выражаем U1 из eq1
U1_1 = solve(eq1,U1);
% Выражаем U2 из eq2
U2_2 = solve(eq2,U2);
% Выражаем U2 из eq3
U2_3 = solve(eq3,U2);
% Подставляем U1 в выражения для U2_2 и U2_3
U2_2 = subs(U2_2,U1,U1_1); U2_3 = subs(U2_3,U1,U1_1);
% Записываем формальное равенство U2_2 и U2_3 в новое уравнение
eqn = U2_3 - U2_2 == 0;
% Определяем a и Rkz из eqn
a = solve(eqn,a)
```

Результат символического расчета представлен соотношением (2).

$$\alpha = \left(\frac{1}{\frac{U_{kz} + I_{kz}Z_l - I_{kz}Z_n + \sigma}{2I_{kz}Z_l}}, \frac{1}{\frac{U_{kz} + I_{kz}Z_l - I_{kz}Z_n - \sigma}{2I_{kz}Z_l}} \right), \quad (2)$$

где $\sigma = \sqrt{I_{kz}^2(Z_l^2 - 2Z_lZ_n + 4R_{kz}Z_l + Z_n^2 - 4R_{kz}Z_n) - 2I_{kz}U_{kz}(Z_l + Z_n - 2R_{kz}) + 4I_{ex}I_{kz}R_{kz}Z_n + U_{kz}^2}$.

В случае «металлического» короткого замыкания R_{kz} можно принять равным нулю.

Зная место повреждения ЛЭП, можно выполнить оценку сопротивления короткого замыкания.

```
Rkz = solve(eqn,Rkz, 'ReturnConditions',true)
```

$$R_{kz} = \frac{Z_l \cdot \alpha \cdot (U_{kz} - I_{kz}Z_l \alpha) - Z_l \alpha^2 (U_{kz} - I_{kz} \alpha)}{I_{kz}Z_l \alpha - U_{kz} \alpha + \frac{\alpha \cdot (Z_n \cdot (U_{kz} - I_{kz}Z_l \alpha) - I_{ex}Z_l Z_n (1 - \alpha))}{Z_n - Z_l (1 - \alpha)}} \quad (3)$$

Для оценки корректности полученного решения воспользуемся данными, которые приводятся в руководящих указаниях [1].

Сравнение результатов, полученных на основании предлагаемого решения и представленных в методических указаниях показывают, относительно большую погрешность определения местоположения короткого замыкания в предлагаемом подходе, 0,6 % к 0,1%. Что для линии ЛЭП длиной в 100 км, соответствует неопределенности в 600 метров для предлагаемого подхода и 100 метров для метода, описанного в [1]. Тем не менее, предлагаемый подход не требует учета (знания) сопротивлений нулевой и обратной последовательностей, а также величины взаимной индукции фаз ЛЭП, что значительно упрощает оценку местоположения точки повреждения. Таким образом, предлагаемый метод может служить в качестве первоначальной оценки для поиска места повреждения, а также позволяет приблизительно указать место повреждения при неполноте исходной информации о параметрах ЛЭП.

Библиографический список

1. Методические указания по определению мест повреждения воздушных линий 110 кВ и выше с помощью фиксирующих приборов URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294817/4294817858.htm/> (дата обращения: 01.04.2021).
2. Symbolic Math Toolbox // MathWorks URL: <https://www.mathworks.com/products/symbolic.html> (дата обращения: 02.04.2021).
3. Суворин А.Ю. Определение места короткого замыкания по двустороннему измерению параметров аварийного режима на линии 110 кВ // материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. URL: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/2441/1/elibrary_28976940_75864083.pdf

f (дата обращения: 02.04.2021).

4. Генин В.С., Гондуров С.А., Кознов В.В., Евсеев А.Н. Определение места повреждения при коротких замыканиях в распределительных сетях // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции. 2015. Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2015. С. 385-389