Из результатов расчетов, представленных в таблице 3, следует, что изменение различных параметров фидера 35 кВ не оказывает значительного влияния на точность ОМП, которая находится в диапазоне от 0,022% до 4,6%. Исключением является лишь режимы двухфазных коротких замыканий при уменьшении длины линии 35 кВ с 40 до 10 км. То есть при малой длине линии относительные критерии увеличиваются. В данном случае погрешность ОМП составляет 16,65-17,34%.

Таким образом, рассмотренный двухсторонний метод ОМП показал высокую эффективность и может быть применен при любых параметрах фидера 35 кВ, питающегося от трехобмоточного трансформатора.

1. Аржанников, Е. А. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи / Е. А. Аржанников, А. М. Чухин. - М. : НТФ «Энергопресс», 1998. - 87 с.
2. Шалыт, Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. М. : Энергоиздат, 1982. - 312 с.
3. Арцишевский, Я. Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я. Л. Арцишевский. М. : Высшая школа, 1989. - 87 с.
4. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП». Руководство по эксплуатации. Москва: 2012. — 64 с.
5. Попов, Н.М. Повышение надежности электроснабжения сельского хозяйства путем совершенствования релейных защит от аварийных режимов в сетях 0,38...35 кВ [Текст]: Автореф. дис. докт. техн. наук / Н.М. Попов. – Санкт-Петербург, 2006. – 36 с.
6. Баранов, А.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения несимметричных аварийных режимов электрических сетей класса 10 кВ [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук / А.А. Баранов // М: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – 28 с.
7. Климов, Н.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения аварийных несимметричных режимов электрических сетей 35 кВ [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук / Н.А. Климов // М: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. – 22 с.
8. Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по эмпирическим критериям [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – №4(52). – с. 135-140.
9. Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по критериям в конце линии [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Актуальные вопросы развития науки и технологий : сборник статей международной научной конференции молодых учёных.— Караваево : Костромская ГСХА, 2019.-с.343-346.
10. Захаров, В.С. Влияние параметров фидера 35 кВ на аппроксимирующие функции критериев определения места повреждения [Текст] / В.С. Захаров // Рецензируемый научный журнал «Тенденции развития науки и образования». Февраль 2020 г. №58, Часть 3.-79-83.
11. Захаров, В.С. Влияние параметров фидера 35 кВ на определение места повреждения при одностороннем замере в начале линии [Текст] / В.С. Захаров // Рецензируемый научный журнал «Тенденции развития науки и образования». Февраль 2020 г. №58, Часть 3.- 84-88.
12. Мельников, Н.А. Матричный метод анализа электрических сетей [Текст] / Н.А. Мельников. – М.: Энергия, 1972.
13. Лосев, С. Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем: научное издание [Текст] / С. Б. Лосев, А. Б. Чернин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.
14. Гусейнов, А.М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах [Текст] / А.М. Гусейнов // Электричество. – 1989. – №3.
15. Бернас, С. Математические модели элементов электроэнергетических систем [Текст] : Пер. с польск. / С. Бернас, З. Цек. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.: ил.
16. Заварыгин, В.М. Численные методы [Текст]. / В. М. Заварыгин. - М: Просвещение, 1991. – 250 с.

Солдатов В.А., Захаров В.С.

Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором при двухстороннем замере напряжений и токов

*ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА»
(Россия, Кострома)*

doi: 10.18411/lj-09-2020-23

idsp: ljjournal-09-2020-23

Аннотация

Данная статья посвящена определению места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по эмпирическим критериям при

двухстороннем замере напряжений и токов. Предложенные эмпирические критерии показывают высокую эффективность определения места повреждения при измерении напряжений и токов в начале и в конце линии одновременно.

Ключевые слова: двухсторонний замер, определение места повреждения, эмпирические критерии, сеть 35 кВ, трехобмоточный питающий трансформатор

Abstract

This article is devoted to the determination of the fault location in a 35 kV network with a three-winding supply transformer according to empirical criteria for two-way voltage and current measurement. The proposed empirical measures for high assessment of the fault location when measuring voltages and currents at the beginning and end of the line simultaneously.

Keywords: double-sided measurement, fault location, empirical criteria, 35 kV network, three-winding supply transformer

В настоящее время задача определения места повреждения (ОМП) в электрических сетях 6-10-35 кВ является важной и актуальной [1-3]. Существующие дистанционные методы и приборы ОМП, например, прибор «Сириус-2-ОМП», эффективны только в высоковольтных сетях 110 кВ и выше, так как длины линий и отключающие мощности в этих сетях достаточно велики [4].

Длины линий и отключающие мощности электрических сетей 6-10-35 кВ намного меньше, и купить дорогостоящие приборы трудно. Поэтому для них необходимо разрабатывать свои дистанционные методы и приборы ОМП.

Методика поиска места повреждения описана в работах [5-7]. Эффективность эмпирических критериев ОМП описана в [8-9]. Эмпирические критерии представляют собой формулы, индивидуальные для каждого вида аварийного режима (АР). Данные критерии разработаны для трех случаев использования напряжений и токов: в начале линии («по началу»), в конце линии («по концу»), а также в начале и в конце линии одновременно («по началу и концу»).

Исследования проводились для фидера 35 кВ, питающегося от трехобмоточного трансформатора. Схема данного фидера представлена на рисунке 1. Представленный фидер содержит питающий трехобмоточный трансформатор, участки линий 10 кВ и 35 кВ, блоки несимметрии в линиях 10 кВ и 35 кВ, потребительские трансформаторы, нагрузки в конце линий 10 кВ и 35 кВ.

Рисунок 1 – Фидера 10 кВ и 35 кВ

В таблице 1 представлены формулы эмпирических критериев при использовании напряжений и токов в начале и в конце линии для поврежденной фазы А. Аналогичные критерии были получены для поврежденных фаз В и С. Третий критерий («по началу и концу») равен произведению соответствующих значений критериев «по началу» и критериев «по концу». Для двухфазных и трехфазного коротких замыканий критерии «по концу» не были получены, так как перемещение точки АР вдоль длины линии практически не оказывает влияния на значения токов и напряжений

в конце линии. Поэтому для двухфазных и трехфазного коротких замыканий критерий «по началу и концу» равен критерию «по началу».

Использование критериев «по началу» или «по концу» является односторонним замером. А использование критериев и «по началу» и «по концу» одновременно является двухсторонним замером.

Таблица 1.

Формулы для эмпирических критериев при использовании напряжений и токов в начале и в конце линии для поврежденной фазы А

Вид АР	Эмпирические критерии «по началу»	Эмпирические критерии «по концу»	Эмпирические критерии «по началу и концу»
Замыкание на землю фазы А	$K_{H_{A-0}} = \frac{U_a}{U_b \cdot U_c}$	$K_{K_{A-0}} = \frac{1}{U_a}$	$K_{HK_{A-0}} = K_{H_{A-0}} \cdot K_{K_{A-0}}$
Двухфазное короткое замыкание фаз А и В	$K_{H_{AB}} = \frac{U_a \cdot U_b}{I_a \cdot I_b}$	-	$K_{HK_{AB}} = K_{H_{AB}}$
Трехфазное короткое замыкание фаз А, В и С	$K_{H_{ABC}} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$	-	$K_{HK_{ABC}} = K_{H_{ABC}}$
Двойное замыкание на землю фаз А и В	$K_{H_{A-0+B-0}} = \frac{U_a \cdot U_b}{I_a \cdot I_b}$	$K_{K_{A-0+B-0}} = \frac{1}{U_a \cdot U_b}$	$K_{HK_{A-0+B-0}} = K_{H_{A-0+B-0}} \cdot K_{K_{A-0+B-0}}$
Обрыв фазы А	$K_{H_{обрА}} = \frac{U_b \cdot U_c \cdot I_a}{U_a}$	$K_{K_{обрА}} = U_a \cdot U_b \cdot U_c$	$K_{HK_{обрА}} = K_{H_{обрА}} \cdot K_{K_{обрА}}$
Замыкание на землю фазы А с последующим обрывом фазы А	$K_{H_{A-0+обрА}} = \frac{U_a}{I_a}$	$K_{K_{A-0+обрА}} = \frac{1}{U_a \cdot I_a}$	$K_{HK_{A-0+обрА}} = K_{H_{A-0+обрА}} \cdot K_{K_{A-0+обрА}}$
Обрыв фазы А с последующим замыканием на землю фазы А	$K_{H_{обрА+А-0}} = U_a \cdot I_a$	$K_{K_{обрА+А-0}} = \frac{U_b \cdot I_a}{U_a \cdot U_c}$	$K_{HK_{обрА+А-0}} = K_{H_{обрА+А-0}} \cdot K_{K_{обрА+А-0}}$

В таблице 1 представлены фазные напряжения и токи $U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c$ фаз А, В и С. K_H – эмпирические критерии «по началу», K_K – эмпирические критерии «по концу», K_{HK} – эмпирические критерии «по началу и концу». Напряжения и токи рассчитывались методом фазных координат [10-13]. Расчетные данные критериев были получены для пяти точек вдоль длины линии 35 кВ. Место повреждения определялось при помощи интерполяционных полиномов на основе матрицы Вандермонда [14].

В таблице 2 приведены значения критериев «по началу», «по концу» и «по началу и концу» для всех видов повреждений в сети 35 кВ. Значения критериев рассчитаны при длине линии 40 км.

Таблица 2.

Погрешности ОМП для всех видов повреждений в сети 35 кВ

Вид АР		Погрешность ОМП, %		
		Критерии «по началу»	Критерии «по концу»	Критерии «по началу и концу»
Однофазные замыкания на землю	Фаза А	5.035	0.043	0.022
	Фаза В	5.033	0.043	0.022
	Фаза С	5.080	0.043	0.022

Короткие замыкания	Фазы А-В	4.460	-	4.460
	Фазы В-С	4.560	-	4.560
	Фазы А-С	4.543	-	4.543
	Фазы А-В-С	1.670	-	1.670
Обрывы	Фаза А	3.975	4.325	2.093
	Фаза В	4.013	4.278	2.095
	Фаза С	3.993	4.283	2.093
Замыкания на землю с последующими обрывами	Фаза А	4.713	1.710	0.763
	Фаза В	4.730	1.803	0.803
	Фаза С	4.735	1.785	0.798
Обрывы с последующими замыканиям	Фаза А	4.913	0.180	0.088
	Фаза В	4.905	0.530	0.268
	Фаза С	4.928	0.453	0.230
Двойные замыкания на землю	Фазы А-В	2.515	2.510	2.763
	Фазы В-С	2.515	1.953	1.953
	Фазы А-С	2.515	2.395	3.600

Из таблицы 2 видно, что погрешности ОМП составляют:

- «по началу» от 1,67% до 5,08%;
- «по концу» от 0,043% до 4,325%;
- «по началу и концу» от 0,022% до 4,56%.

Данные погрешности получены при принятой максимальной погрешности измерений $\pm 5\%$. Если принять погрешность измерений согласно классам точности: $\pm 2\%$, $\pm 0,5\%$ и $\pm 0,2\%$, то погрешности ОМП уменьшатся соответственно.

Таким образом, проведенные расчеты и анализ показали высокую эффективность предложенного метода ОМП при использовании эмпирических критериев в начале и в конце линии одновременно.

- Аржанников, Е. А. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи / Е. А. Аржанников, А. М. Чухин. - М. : НТФ «Энергопресс», 1998. - 87 с.
- Шалыт, Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. М. : Энергоиздат, 1982. - 312 с.
- Арцишевский, Я. Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я. Л. Арцишевский. М. : Высшая школа, 1989. - 87 с.
- Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП». Руководство по эксплуатации. Москва: 2012. — 64 с.
- Попов, Н.М. Повышение надежности электроснабжения сельского хозяйства путем совершенствования релейных защит от аварийных режимов в сетях 0,38...35 кВ [Текст]: Автореф. дис. докт. техн. наук / Н.М. Попов. – Санкт-Петербург, 2006. – 36 с.
- Баранов, А.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения несимметричных аварийных режимов электрических сетей класса 10 кВ [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук / А.А. Баранов // М: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – 28 с.
- Климов, Н.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения аварийных несимметричных режимов электрических сетей 35 кВ [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук / Н.А. Климов // М: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. – 22 с.
- Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по эмпирическим критериям [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – №4(52). – с. 135-140.
- Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по критериям в конце линии [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Актуальные вопросы развития науки и технологий : сборник статей международной научной конференции молодых учёных.— Караваево : Костромская ГСХА, 2019.-с.343-346.

10. Мельников, Н.А. Матричный метод анализа электрических сетей [Текст] / Н.А. Мельников. – М.: Энергия, 1972.
11. Лосев, С. Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем: научное издание [Текст] / С. Б. Лосев, А. Б. Чернин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.
12. Гусейнов, А.М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах [Текст] / А.М. Гусейнов // Электричество. – 1989. – №3.
13. Бернас, С. Математические модели элементов электроэнергетических систем [Текст] : Пер. с польск. / С. Бернас, З. Цек. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.: ил.
14. Заварыгин, В.М. Численные методы [Текст]. / В. М. Заварыгин. - М: Просвещение, 1991. – 250 с.

Тринченко А.А., Парамонов А.П., Митрофанов И.И.

Влияние двухсветного экрана на экологические показатели котла Е-210-13,7 при сжигании каменного угля Никольского месторождения

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-09-2020-24

idsp: ljournal-09-2020-24

Аннотация

В работе представлены результаты исследований влияния двухсветного экрана на образования оксидов азота в топочной камере парового котла средней мощности. Разработаны методика, математическая модель и расчетная программа, позволяющие оценить степень снижения выбросов оксидов азота в процессе сгорания твердого топлива при установки двухсветного экрана в топку. Расчетными исследованиями подтверждено, что наличие двухсветного экрана позволяет снизить генерацию оксидов азота на величину от 10 до 12 % в сравнении с вариантом топки котла без двухсветного экрана.

Ключевые слова: паровой котел, двухсветный экран, твердое топливо, оксиды азота

Abstract

The paper presents the results of studies of the effect of a two-light screen on the formation of nitrogen oxides in the combustion chamber of a medium-power steam boiler. A methodology, a mathematical model and a computational program have been developed that allow one to assess the degree of reduction in nitrogen oxide emissions during the combustion of solid fuel when installing a two-light screen in the furnace. Computational studies have confirmed that the presence of a two-light screen makes it possible to reduce the generation of nitrogen oxides by an amount from 10 to 12 % in comparison with the option of a boiler furnace without a two-light screen.

Keywords: steam boiler, double-light screen, solid fuel, nitrogen oxides

Введение

Одной из основных проблем сжигания твердого топлива в котлах ТЭС является снижение выбросов в атмосферу вредных газообразных загрязнителей уходящих дымовых газов, к которым, наряду с оксидами серы, окисью углерода и др., относятся оксиды азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) [1, 2]. Превышение выбросов этих загрязнителей над пороговыми значениями, установленными действующими природоохранными нормативами [3], приводит к ухудшению экологической обстановки крупных городов и промышленных центров [4–6], что имеет ряд негативных последствий для человека (таких как раздражение слизистой оболочки глаз, дыхательных путей, нарушение дыхательных функций, деятельности центральной нервной системы [7] и др.), металлических конструкций, строений, окружающего природного и животного мира [8, 9]. При сооружении новых, реконструкции или расширении действующих ТЭС,