

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ЗАМКНУТОЙ НА ЗЕМЛЮ ФАЗОЙ

Ощепков В.А.¹, Грунин В.К.¹, Харламов В.В.²

¹ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск, Россия (644050, Омск, просп. Мира, д.11), e-mail: energoowa@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», Омск, Россия (644046, Омск, просп. К. Маркса, д.35).

В статье изложен принцип определения отходящей линии электропередачи напряжением 6 кВ с замкнутой на землю фазой, основанный на частотной зависимости сопротивления нулевой последовательности. Основной принцип вышеназванного метода заключается в подстройке частоты источника сигнала на резонанс напряжений. Принцип частотного метода рассмотрен на примере подстанции 35/6 кВ с двумя отходящими линиями. Проведено математическое моделирование режима замыкания фазы на землю с учетом воздействия высокочастотных сигналов на рабочие токи линии электропередачи. Дана оценка высокочастотных токов датчиков, установленных на отходящих линиях. Показано, что при частотном методе определения отходящей линии с замкнутой на землю фазой, необходимо иметь высокочастотный источник с переменной частотой, которая автоматически должна подстраиваться на резонанс напряжений.

Ключевые слова: отходящая линия электропередачи, высокочастотный индуктор, индукционный датчик.

FREQUENCY METHOD FOR DETERMINING THE EXHAUST LINE ELECTROPURE-VILLAS WITH A CLOSED LAND PHASE

Oshcepkov V.A.¹, Grunin V.K.¹, Kharlamov V.V.²

¹Omsk State Technical University (644050, Omsk, prospect Mira, 11), e-mail: energoowa@mail.ru

²Omsk State University of Means of Communication, Omsk, Russia (644046, Omsk, prospect K. Marx, 35).

The article describes the principle of determining the outgoing lines 6 kV from the closed to the ground phase, based on the frequency dependence of resistance zero sequence. The basic principle of the above method is the tuning frequency of the source signal at the resonance voltage. The principle of frequency method considered by the example substation 35/6 kV with two feeders. Mathematical modeling of mode circuit of a phase to earth taking into account the impact of high-frequency signals at the operating currents of the transmission line. The estimation of high-frequency current sensors installed on the outgoing lines. It is shown that the method of determining the frequency feeder with a grounded phase, it is necessary to have a high-frequency source with a variable frequency, which should automatically adapt to the resonance of voltage.

Keywords: outgoing transmission line, a high-frequency inductor, the induction sensor.

Электрические сети, напряжение которых 6–35 кВ, работают в режиме изолированной или компенсированной нейтрали. Такой режим работы нейтрали имеет как положительные, так и отрицательные свойства [2, 5]. Наиболее распространенными повреждениями в этих сетях являются однофазные замыкания на землю. Они составляют 70–80 % всех повреждений на линии. При этом стоит заметить, что общая протяженность распределительных сетей 6–35 кВ составляет более 1,5 млн км – т.е. почти 45 % от общей протяженности линий электропередач 0,4–110 кВ. Однофазные замыкания на землю в рассматриваемых сетях не сопровождаются появлением больших токов и не искажают треугольник междуфазных напряжений. При этом Правилами технической эксплуатации допускается работа сети с замкнувшейся на землю фазой до устранения повреждения. Такой режим является аварийным и нередко служит причиной развития повреждения с отключением оборудования. Длительные одно-

фазные замыкания создают, кроме того, электроопасные ситуации, при которых возможно поражение обслуживающего персонала и населения напряжениями прикосновения и шага. Поэтому вопрос диагностики и своевременного отключения однофазных ЗНЗ является особенно актуальным [1, 3, 4, 6].

Одним из существенных недостатков режима изолированной нейтрали 6-35 кВ является сложность определения отходящей линии с замкнутой на землю фазой и координаты места повреждения. Это связано с тем, что при замыкании на землю токи в фазах изменяются незначительно и чувствительность современных защит не позволяет селективно отключить поврежденную линию. Поэтому, несмотря на значительное число публикаций на эту тему, проблема определения отходящей линии с замкнутой на землю фазой на практике определяется методом последовательного отключения линий [1, 2, 4, 6].

Описание частотного метода определения отходящей линии электропередачи с замкнутой на землю фазой

В статье рассматривается частотный метод определения отходящей линии электропередачи с замкнутой на землю фазой. Принцип частотного метода рассмотрим на примере подстанции 35/6 кВ с двумя отходящими линиями рис. 1.

Высокочастотное напряжение подается на индуктор ИС, а с датчиков Д1 и Д2 снимаются токи. Ток в датчике Д2, который установлен на отходящей линии с замкнутой на землю фазой, будет существенно больше тока датчика Д1. Теоретически высокочастотный ток в отходящей линии без замыкания фазы на землю равен нулю.

Схема замещения для высокочастотного сигнала при замкнутой на землю фазой «А» во второй отходящей линии Ф2 имеет следующий вид.

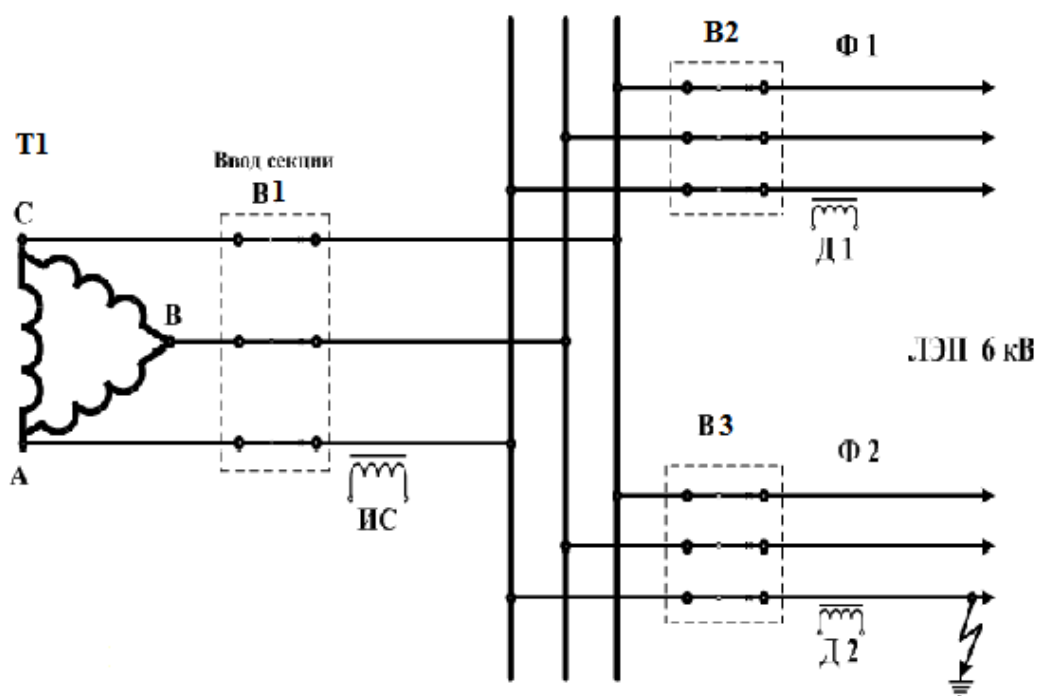


Рисунок 1 – Расположение источника и датчиков высокочастотных сигналов:

ИС – индукционный источник высокочастотных сигналов; Д1, Д2 – индукционные датчики отходящих линий электропередачи; Т1 - вторичная обмотка силового трансформатора; В1, В2, В3 – вакуумные выключатели; Φ1, Φ2 – отходящие линии электропередачи

Схема замещения для узла нагрузки, изображенной на рис. 1, при замкнутой на землю фазой «С» во второй отходящей линии Φ2 приведена на рис.2.

В связи с тем, что индуктивное сопротивление $X_{кз} = \omega * L_{кз}$ для высоких частот имеет достаточно большое значение, создать высокочастотные токи в линиях электропередачи, на которые реагируют датчики, достаточно проблематично. Поэтому на индуктор подается синусоидальный сигнал, переменной частоты. При определенной частоте в схеме возникает резонанс напряжений и ток достигает максимального значения, величина которого ограничена активными сопротивлениями $R_{кз}$.

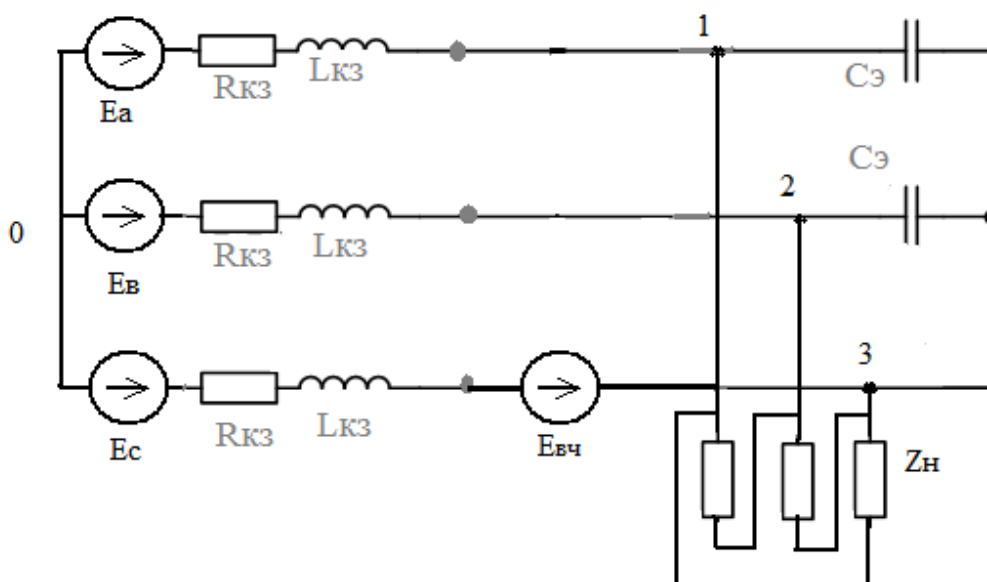


Рисунок 2 – Схема замещения при замыкании на землю фазы:

$R_{к3}$ – приведенное активное сопротивление короткого замыкания силового трансформатора;
 $L_{к3}$ – индуктивность короткого замыкания, учитывающая е.д.с., индуцируемая потоками рассеивания; $C_{з}$ – суммарная емкость отходящих линий; ИС – высокочастотный индуктор

Резонансная частота для схемы, приведенной на рисунке 2, определяется следующим образом:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot C_{з} \cdot L_{к3}}}, \quad (1)$$

где ω – резонансная угловая частота [рад/с];

$C_{з}$ – суммарная эквивалентная емкость отходящих линий электропередачи [Ф];

$L_{к3}$ – приведенная индуктивность рассеяния силового трансформатора [Гн].

Например, для силового трансформатора ТМН – 4000/35 и суммарной длине отходящих линий электропередачи 20 км резонансная частота равна 2650 Гц.

В связи с тем, что индуктор и датчики сигналов закреплены на шинах стационарно, а высокочастотное напряжение на индуктор подается автоматически, после возникновения замыкания на землю в любой отходящей линии, то время определения поврежденной линии составляет не более минуты.

Для оценки относительной величины высокочастотных токов проведено математическое моделирование режима работы схемы, приведенной на рис. 1, при металлическом замыкании фазы на землю.

Система уравнений, описывающая режим однофазного замыкания на землю, составлена по методу узловых напряжений и имеет следующий вид.

$$\begin{aligned}
\dot{U}_1(Y_a+Y_{c3}+Y_H) - \dot{U}_2 Y_H - \dot{U}_3(Y_{c3}+Y_H) &= \dot{E}_a Y_a, \\
\dot{U}_2(Y_b+Y_{c3}+Y_H) - \dot{U}_1 Y_H - \dot{U}_3(Y_{c3}+Y_H) &= \dot{E}_b Y_b, \\
\dot{U}_3(Y_c+2Y_{c3}+Y_H) - \dot{U}_1(Y_{c3}+Y_H) - \dot{U}_2(Y_{c3}+Y_H) &= \dot{E}_c Y_c + \dot{E}_{вч} Y_c,
\end{aligned}
\tag{2}$$

где

$\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ – векторы узловых напряжений, соответствующих рис.2 точек,

$\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ – векторы эдс соответствующих фаз,

$\dot{E}_{вч}$ – вектор эдс высокочастотного генератора,

Y_a, Y_b, Y_c - проводимости ветвей соответствующих фаз,

Y_H – проводимость ветвей нагрузки,

Y_{c3} – проводимость емкостных ветвей.

На основании системы уравнений (2) были проведены исследования зависимости высокочастотного тока в поврежденной фазе от частоты сигнала. Резонансный контур (рис.2) имеет достаточно высокую добротность. Добротность в значительной степени зависит от частоты тока, индуцируемого в контуре поврежденной фазы. Это связано с потерями на вихревые токи в сердечнике и баке трансформатора, которые зависят от частоты тока, протекающего по его обмоткам

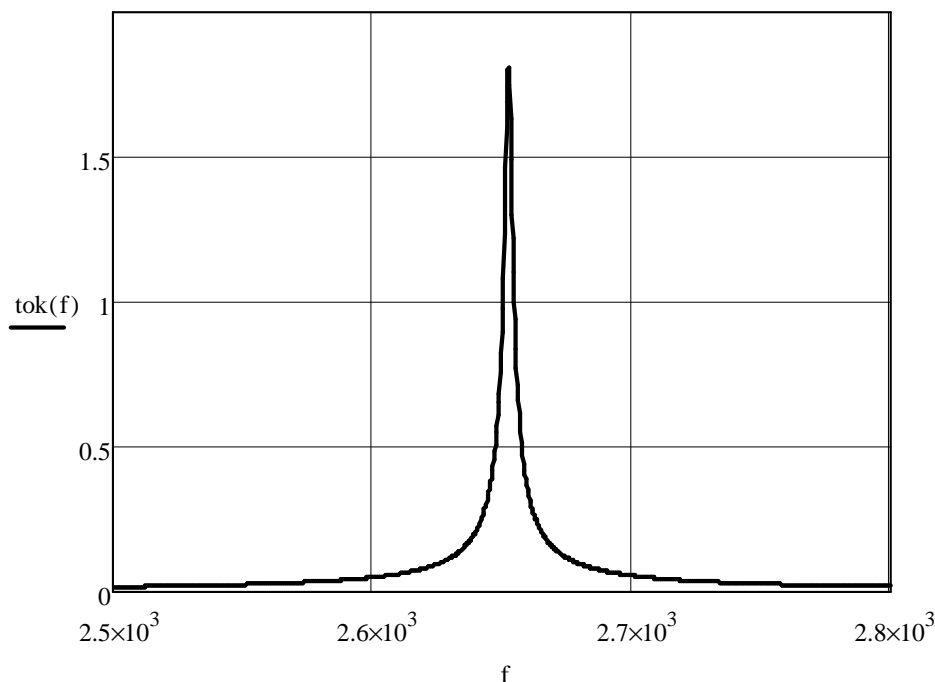


Рисунок 3 – Зависимость высокочастотного тока в поврежденной фазе от частоты

В связи с тем, что добротность контура для вышеприведенной схемы может достигать 50 единиц, то зависимость высокочастотного тока в поврежденной фазе от частоты имеет ярко выраженный максимум при частоте равной 2650 Гц. Высокая добротность контура позволят при величине высокочастотной эдс менее 1 В, которая создается в контуре повре-

жденной фазы, достигать величины тока более 1 А, что достаточно для селективного отключения поврежденной фазы.

На рисунке 4 приведены ток нагрузки и ток, создаваемый совместным воздействием напряжения промышленной частоты и высокочастотным напряжением. Нагрузка на отходящих линиях составила 650кВА.

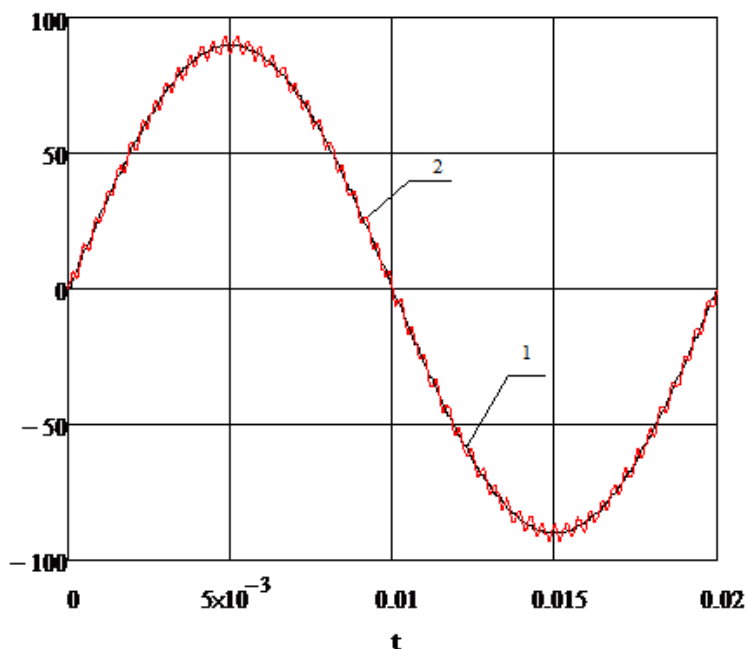


Рисунок 4 – Результаты моделирования

1 – ток нагрузки; 2 – суммарный ток в поврежденной линии

Максимальное значение высокочастотного тока в датчике Д2, который установлен на отходящей линии с замкнутой на землю фазой, достигло при резонансной частоте и составило порядка 1,9 А. В датчике Д1, который установлен на отходящей линии без замыканий на землю, высокочастотный ток не превысил 0,1 А.

На рис. 4 график под номером 1 представляет ток нагрузки промышленной частоты, а график под номером 2 - суммарный ток в поврежденной линии.

Вывод

Проведено исследование режима замыкания фазы на землю при наложении на рабочие токи высокочастотной составляющей. Показано, что в связи с высокой добротностью контура замыкания фазы на землю, достаточно создавать в этом контуре высокочастотную э.д.с. не более 1 В, чтобы получить высокочастотный ток в поврежденной фазе более 1 А. Таким образом при частотном методе определения отходящей линии с замкнутой на землю фазой, необходимо иметь высокочастотный источник с переменной частотой, которая автоматически должна подстраиваться на резонанс напряжений. При достижении резонансной частоты, токи в датчиках, установленных на поврежденной и на неповрежденной отходящих линиях,

отличаются как минимум в 2 раза. Такая разница в величинах высокочастотного тока позволит с достаточно большой вероятностью определить поврежденную отходящую линию электропередачи.

Список литературы

1. Борковский С. О., Горева Т. С., Горева Т. И. Проблема диагностики однофазных замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9 (часть 5). – с. 954-959;
2. Ванштейн Р. А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие / Коломиец Н. В., Шестакова В. В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 118 с.
3. Горюнов В. А. Исследования и разработка алгоритмов микропроцессорной защиты от однофазных замыканий на землю с учетом электромагнитной совместимости: автореферат канд. диссертации. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.
4. Качесов В. Е. Однофазные повреждения в электрических сетях среднего и высокого классов напряжения (теория, методы исследований и меры предотвращения повреждений): автореферат докт. диссертации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.
5. Лихачев Ф. А. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М: Энергия, 1971 - 152с.
6. Шабад М.А. Максимальная токовая защита. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 96 с.

Рецензент:

Горелов В.П., д.т.н., профессор, заместитель зав. кафедрой «Электроэнергетические системы и электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирская государственная академия водного транспорта», г. Новосибирск;

Сальников В.Г., д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетические системы и электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирская государственная академия водного транспорта», г. Новосибирск.