

Тодарев В.В., к.т.н., доцент
 Евминов Л.И., к.т.н., доцент
 Погуляев М.Н., к.т.н., доцент
 Селиверстов Г.И., к.т.н., доцент
 Учреждение образования Гомельский ГТУ
 им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИКАТОРОВ LINETROLL В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 6-10 кВ С МАЛЫМИ ТОКАМИ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Введение

Наиболее часто встречающимся видом повреждений линий электропередач в распределительных сетях 6-10кВ являются однофазные замыкания на землю – по различным источникам, примерно, 60 – 80 % от общего числа [1-3]. Такие повреждения характеризуются малыми токами замыкания, сохранением симметрии линейных напряжений и, как следствие, возможностью продолжения питания потребителей. Вместе с тем однофазные замыкания на землю требуют скорейшей ликвидации, поскольку возможно появление более тяжелых последствий, таких как:

- образование дуговых перенапряжений;
- пробой изоляции;
- междуфазные короткие замыкания.

Также замкнутый на землю линейный провод представляет серьезную опасность для людей и животных.

Разветвленность распределительных сетей 6-10 кВ, сложный рельеф местности по трассам линий электропередач затрудняют поиск места повреждений. По последним данным этот процесс занимает две трети времени на ликвидацию повреждений. Сократить время поиска помогают датчики-индикаторы повреждений, установленные в узловых точках линий.

В настоящей работе рассматриваются вопросы адаптации датчиков типа Linetroll, характеризующихся хорошим соотношением цена-качество, в распределительные сети 6-10 кВ Гомельского региона.

Датчики-индикаторы типа LinetRoll предназначены для индикации однофазных замыканий на землю и междуфазных коротких замыканий в распределительных сетях при различных ступенях напряжения и вида заземления нейтрали.

Датчики реагируют на изменение электромагнитного поля в линиях электропередач в аварийных режимах. Для датчиков типа Linetroll 110Ем зависимость минимального тока запуска и тока уставки срабатывания от тока нагрузки в линейных проводах представлена в таблице 1.

Таблица 1

Минимальные токи активации и уставок срабатывания датчика в зависимости от тока нагрузки

di/dt , А/мс	Максимальный ток нагрузки, А	Минимальный ток запуска, А
6	75	3
12	75	3
25	300	16
60	300	16
120	1000	50

Выполненный с помощью системы математического моделирования Simulink программного пакета Matlab расчет токов однофазного замыкания на землю в линиях 6кВ п/ст “Юг-Сосновка” показал величину 1,2 А, что значительно меньше тока минимальной уставки срабатывания.

Очевидно, требуются определенные технические решения для возможной адаптации датчиков Linetroll к сетям с током замыкания на землю до 3 А.

Напрашивающийся путь увеличения магнитного поля в датчике за счет использования катушки индуктивности, не может быть реализован, поскольку одновременно увеличивается магнитное поле в исходном режиме, что ведет к пропорциональному изменению необходимой скорости увеличения тока и магнитного поля в аварийном режиме.

Другим направлением адаптации может быть искусственное увеличение тока однофазного замыкания на землю в сети при установке датчиков в пределах, ограниченных ПУЭ.

Рассматривались следующие варианты:

– увеличение тока замыкания на землю за счет дополнительной емкостной проводимости между линейными проводами и землей.

– увеличение тока замыкания на землю за счет резистивного заземления нейтрали.

Для экспериментальной проверки принятых технических решений, помимо математической модели, была создана физическая модель линий 6кВ п/ст “Юг-Сосновка”. Результаты экспериментов приведены в таблицах 2,3, а векторные диаграммы токов и напряжений в линиях – на рисунках 1,2.

Таблица 2

Результаты исследований макета воздушной линии 6 кВ при металлическом замыкании на землю фазы "А" и емкостном токе замыкания на землю 10 А

$U_{AB},$ В	U_{BC} В	U_{CA} В	U_{AN} В	U_{BN} В	U_{CN} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_K А	I_{AK} А	I_{BK} А	I_{CK} А
6,3	6,3	6,3	0	6,3	6,3	3,8	4,2	4	10	9,5	7,5	3,1

На диаграмме (рис.1) обозначены: I_{AH}, I_{BH}, I_{CH} – линейные токи нагрузки, I_{AK}, I_{BK}, I_{CK} – линейные емкостные токи замыкания, $I_{AKH}, I_{BKH}, I_{CKH}$ – суммарные токи в линейных проводах.

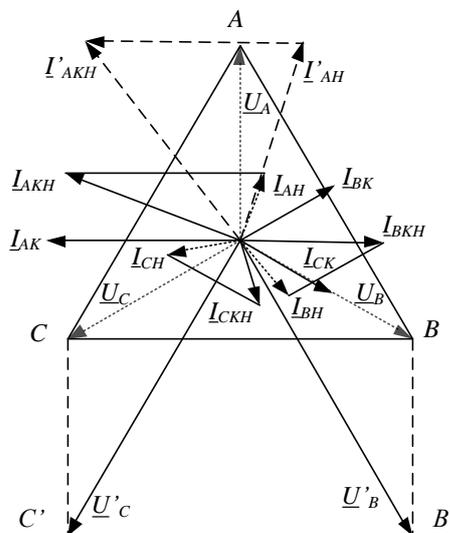


Рисунок 1. Векторная диаграмма токов и напряжений в линии для режима металлического замыкания на землю фазы «А» с током замыкания 10 А

При металлическом замыкании на землю ток в линейном проводе увеличился на 5,7 А, что меньше тока уставки на срабатывание 6 А. Индикатор не среагировал на замыкание. Как вариант, ток замыкания был увеличен до 12 А, изменение тока в аварийной фазе составило 7,7 А, что привело к срабатыванию датчика.

Таблица 3

Результаты исследований макета воздушной линии 6 кВ при металлическом замыкании на землю фазы "А" с включением дополнительного трансформатора для увеличения тока замыкания на землю

U_{AB} В	U_{BC} В	U_{CA} В	U_{AN} В	U_{BN} В	U_{CN} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_K А	I_{AK} А	I_{BK} А	I_{CK} А
6,3	6,3	6,3	0	6,3	6,3	4	4	4	10	13,6	9,2	8,9

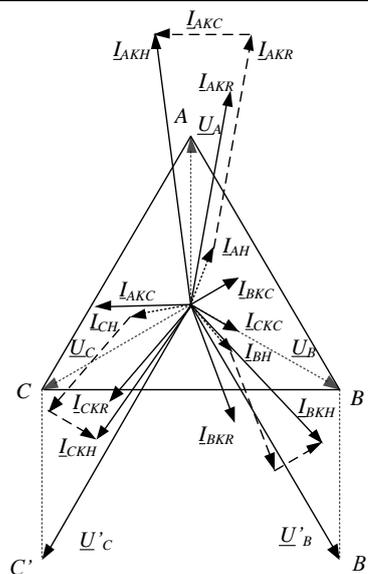


Рисунок 2. Векторная диаграмма токов и напряжений в линии для варианта режима металлического замыкания на землю фазы «А» при резистивном заземлении нейтрали

Здесь обозначены: I_{AH}, I_{BH}, I_{CH} – линейные токи нагрузки, I_{AK}, I_{BK}, I_{CK} – емкостные токи замыкания; $I_{AKR}, I_{BKR}, I_{CKR}$ – токи замыкания обусловленные резистивным заземлением нейтрали; $I_{AKH}, I_{BKH}, I_{CKH}$ – токи в в линейных проводах.

На макете линий 6 кВп/ст «Юг-Сосновка» режим резистивного заземления нейтрали реализовывался включением дополнительного трансформатора со схемой соединения обмоток Y_N/Δ и нейтралью, заземленной через резистор.

Скорость изменения тока в фазе «А» составила 9,6 А, датчик сработал.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

– прямое использование датчиков типа LinetRoll для индикации однофазного замыкания на землю в распределительных сетях 6-10 кВ ограничивается из-за малых емкостных токов замыкания, что в свою очередь объясняется малой длиной линий, характерной для распределительных сетей 6-10 кВ;

– попытка сравнительно простым и недорогим способом увеличить емкостной ток замыкания на землю до величины больше уставки срабатывания нецелесообразна, так как небольшое увеличение емкостного тока замыкания не даст желаемого скачка из-за различия в фазовом сдвиге активно-индуктивных токов нагрузки и емкостных токов замыкания, а дальнейший рост емкостных токов замыкания приводит к увеличению вероятности появления перенапряжений;

– возможным вариантом технических мероприятий для использования датчиков LinetRoll в распределительных сетях 6-10 кВ является внедрение резистивного заземления нейтрали, при котором ток однофазного замыкания на землю близок по фазе к току нагрузки и может быть минимизирован для обеспечения необходимого значения di/dt . Для резистивного заземления нейтрали целесообразно использовать дополнительный трансформатор, поскольку это также приведет к увеличению в защищаемой линии токов нулевой последовательности.

Литература

1 Калентиюнок Е.В. Определение вида однофазного напряжения в воздушных распределительных электрических схемах с изолированной нейтралью. /Калентиюнок Е.В., Мазурек Ю.А. Энергетика (изв. высш. учебн. завед. и энергет. общ. СПТ). – 2012 – №6, с.28 – 34.

2. Калентиюнок Е.В. Статический анализ повреждаемости воздушных распределительных электрических сетей/Е.В. Калентиюнок// Энергия и менеджмент. – 2011. – №4. – С. 15-17.

3. Евминов Л.И. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения./

Евминов Л.И. – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого 2003. – 300 с.

4. Маркарянц Л.М., Безик В.А., Самородский П.А. Устройства контроля сопротивления изоляции и сушки обмоток электродвигателя. Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2012. № 2 (2). С. 30-33.