

ОДНОСТОРОННЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ С ЭФФЕКТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Довгалиук О.Н., Сапрыка А.В.
Харьковская национальная академия городского хозяйства
elcity@ksame.kharkov.ua

The problem of one-sided determination of airlines fault places in networks with effectively earthed neutral was highlighted for cases of monophasе, twophase and threephase short circuits in the paper.

Введение. В процессе эксплуатации электрических сетей неизбежно возникают повреждения линий электропередачи. Величина ущерба, имеющая место при этом, во многом зависит от времени восстановления линий, основную часть которого занимает определения места повреждения (ОМП). Несмотря на многочисленные методики ОМП [1] в сетях с эффективно заземленной нейтралью, где наибольшее распространение получили методы основанные на измерениях параметров аварийного режима (ПАР), проблема ОМП стоит особенно остро. Так, по данным эксплуатационной практики, в этих сетях вероятности ОМП с погрешностями находящимися в доверительных интервалах $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 15\%$ равны 0,5, 0,8 и 0,92 [2]. При этом следует подчеркнуть, что данные цифры, в основном, справедливы для двухсторонних методов ОМП по ПАР, являющиеся наиболее точными. Для односторонних методов они намного выше. Главными причинами этого являются низкая надежность ОМП при двухсторонних измерениях и неизвестное переходное сопротивление в месте повреждения при односторонних.

Задача исследований. Учитывая значительные капитальные вложения, необходимые для повышения надежности и реализации двухсторонних методов ОМП, актуальной задачей является повышение точности односторонних методов ОМП. С этой целью рассмотрим ОМП воздушных линий (ВЛ) при односторонних замерах ПАР с помощью цифровых регистраторов (ЦР).

Изложение основного материала. Схема замещения сети при повреждении ВЛ в случае однофазного короткого замыкания (КЗ) через переходное сопротивление, представленная сосредоточенными параметрами и активным значением переходного сопротивления $R_{п}$ [3], показана на рис.1.

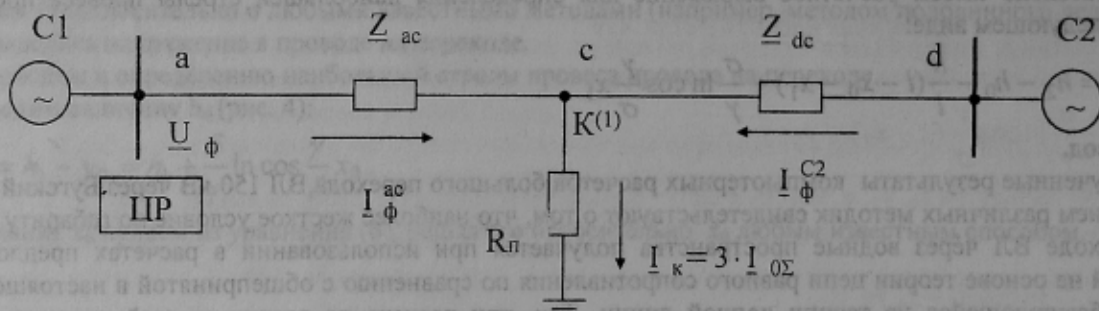


Рис.1. Схема замещения сети в случае однофазного КЗ

Согласно данной схеме замещения, выражение для ОМП, не зависящее от $R_{п}$, имеет следующий вид [4]:

$$L_{к1} = \frac{\operatorname{Re}(\underline{U}_{\phi}) - \operatorname{Im}(\underline{U}_{\phi}) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_R}{\operatorname{Re}(\underline{I}_{\Sigma}) - \operatorname{Im}(\underline{I}_{\Sigma}) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_R} \cdot \frac{1}{x_{уд}^{ac}}, \quad (1)$$

где

$$\operatorname{ctg} \varphi_R = \frac{\operatorname{Re}(\underline{I}_K)}{\operatorname{Im}(\underline{I}_K)} = \frac{\operatorname{Re}(\underline{I}_0^{1ac}) + \operatorname{Re}(\underline{I}_0^{C2})}{\operatorname{Im}(\underline{I}_0^{1ac}) + \operatorname{Im}(\underline{I}_0^{C2})}; \quad (2)$$

$$\operatorname{Re}(\underline{I}_{\Sigma}) = \operatorname{Re}(\underline{I}_0^{1ac}) \cdot K_R - \operatorname{Im}(\underline{I}_0^{1ac}) \cdot K_X + \operatorname{Re}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}) \cdot K_{R1} - \operatorname{Im}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}); \quad \operatorname{Re}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}) = \operatorname{Re}(\underline{I}_{\phi}^{1ac}) - \operatorname{Re}(3 \cdot \underline{I}_0^{1ac});$$

$$\operatorname{Im}(\underline{I}_{\Sigma}) = \operatorname{Re}(\underline{I}_0^{1ac}) \cdot K_X + \operatorname{Im}(\underline{I}_0^{1ac}) \cdot K_R + \operatorname{Re}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}) + \operatorname{Im}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}) \cdot K_{R1}; \quad \operatorname{Im}(\Delta \underline{I}_{\phi}^{1ac}) = \operatorname{Im}(\underline{I}_{\phi}^{1ac}) - \operatorname{Im}(3 \cdot \underline{I}_0^{1ac});$$

$$K_R = \frac{2 \cdot r_1^{ac} + r_0^{ac}}{x_1^{ac}}; \quad K_X = 2 + \frac{x_0^{ac}}{x_1^{ac}}; \quad K_{R1} = \frac{r_1^{ac}}{x_1^{ac}}.$$

При односторонних замерах, ОМП по выражению (1) дает точный результат только в случае совпадения фаз токов нулевой последовательности от систем С1 (I_0^{1ac}) и С2 (I_0^{C2}) (2), что бывает очень редко. Принимая во внимание тот факт, что в сетях одной ступени напряжений токи КЗ близки по фазам, можно сделать допущение, что неучет тока I_0^{C2} :

$$\operatorname{ctg} \varphi_R \approx \frac{\operatorname{Re}(I_0^{1ac})}{\operatorname{Im}(I_0^{1ac})}, \quad (3)$$

не внесет существенной погрешности в ОМП. С учетом принятого допущения выражение (1) полностью определено при замере с одной стороны.

Наличие ответвлений и магнитосвязанных линий, также сказывается на точности ОМП. Их учет зависит от наличия информации о токах нулевой последовательности магнитосвязанных линий и нагрузках ответвлений [4].

При повреждении ВЛ в случае двухфазного КЗ, выражения для ОМП имеет вид [5]:

$$L_{K2} = \frac{[\operatorname{Re}(U_B) - \operatorname{Re}(U_C)] + [\operatorname{Im}(U_B) - \operatorname{Im}(U_C)] \cdot \operatorname{tg} \varphi_{A2}}{[\operatorname{Re}(I_B) - \operatorname{Re}(I_C)] \cdot (K_R + \operatorname{tg} \varphi_{A2}) + [\operatorname{Im}(I_B) - \operatorname{Im}(I_C)] \cdot (K_R \cdot \operatorname{tg} \varphi_{A2} - 1)} \cdot \frac{1}{x_{уд}}, \quad (4)$$

где

$$\operatorname{tg} \varphi_{A2} = \frac{\operatorname{Im}(I_{A2}) + \operatorname{Im}(I_{A2}^{C2})}{\operatorname{Re}(I_{A2}) + \operatorname{Re}(I_{A2}^{C2})}, \quad (5)$$

U_B, U_C, I_B, I_C - напряжения и токи поврежденных фаз.

При повреждении ВЛ в случае трехфазного КЗ [5]:

$$L_{K3} = \frac{\operatorname{Re}(U_\phi) - \operatorname{Im}(U_\phi) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_K}{\operatorname{Re}(I_\phi) \cdot (K_R - \operatorname{ctg} \varphi_K) - \operatorname{Im}(I_\phi) \cdot (1 + K_R \cdot \operatorname{ctg} \varphi_K)} \cdot \frac{1}{x_{уд}}, \quad (6)$$

где

$$\operatorname{ctg} \varphi_K = \frac{\operatorname{Re}(I_\phi) + \operatorname{Re}(I_\phi^{C2})}{\operatorname{Im}(I_\phi) + \operatorname{Im}(I_\phi^{C2})}. \quad (7)$$

Аналогично однофазному КЗ, выражения (4) и (6) полностью определены при замерах с одной стороны в допущении равенства фаз токов КЗ с двух сторон поврежденной линии.

Таким образом, ОМП согласно (1), (4) и (6) исключает зависимость от $R_{л}$, но вносит погрешность, обусловленную допущением равенства фаз токов КЗ с двух сторон поврежденной линии. Учитывая, что распределение токов КЗ относительно места повреждения зависит от параметров эквивалентных систем, примыкающих к поврежденной линии, которые характеризуются определенной стабильностью, а измерения ПАР производится с помощью ЦР, появляется возможность определения ПАР противоположного конца линии по результатам односторонних замеров [6].

Рассмотрим повреждение в системе С1 относительно одноцепной ВЛ. Согласно схемам замещения данного повреждения (рис.2) параметры эквивалентной системы С2 определяются следующими выражениями:

$$\underline{Z}_0^{C2} = \frac{U_0}{I_0} - Z_{0л}; \quad \underline{Z}_2^{C2} = \frac{U_2}{I_2} - Z_{2л}; \quad E^{C2} \approx \underline{U}_1 - I_1 \cdot (Z_{1л} + Z_2^{C2}). \quad (8)$$

В случае КЗ на ВЛ токи отдельных симметричных составляющих противоположного конца линии с учетом этих параметров равны:

$$I_0^{C2} = \frac{I_0 \cdot Z_{0l} - U_0}{Z_{0(L-l)} + Z_0^{C2}}; I_2^{C2} = \frac{I_2 \cdot Z_{2l} - U_2}{Z_{2(L-l)} + Z_2^{C2}}; I_1^{C2} = \frac{E^{C2} - U_1 + I_1 \cdot Z_{1l}}{Z_{1(L-l)} + Z_1^{C2}}; \quad (9)$$

где Z_l и $Z_{(L-l)}$ - сопротивления до места повреждения и от места повреждения до противоположного конца линии.

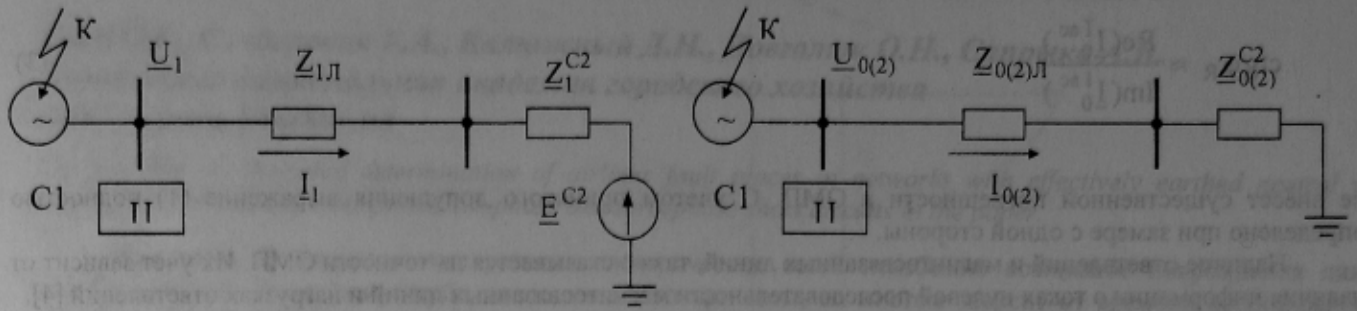


Рис.2 Схемы замещения сети при повреждении в системе C1 относительно одноцепной ВЛ

Рассмотренный способ определения ПАР противоположного конца по результатам замеров с одной стороны позволяет учесть всю неизвестную информацию присущую одностороннему ОМП и производить его в два этапа (рис.3) [7]. Во время первого этапа производится предварительный расчет расстояние до места повреждения без учета влияния системы C2 - токов КЗ противоположного конца линии. Во время второго - уточненный расчет с учетом влияния системы C2, который целесообразно проводить столько раз (n) сколько имеется записей параметров системы C2 (j). Исходные данные для реализации одностороннего ОМП в два этапа следующие: вид КЗ, особая фаза; поврежденная линия; ПАР; параметры поврежденной линии; параметры эквивалентной системы C2 относительно поврежденной линии с указанием даты и времени её состояния.

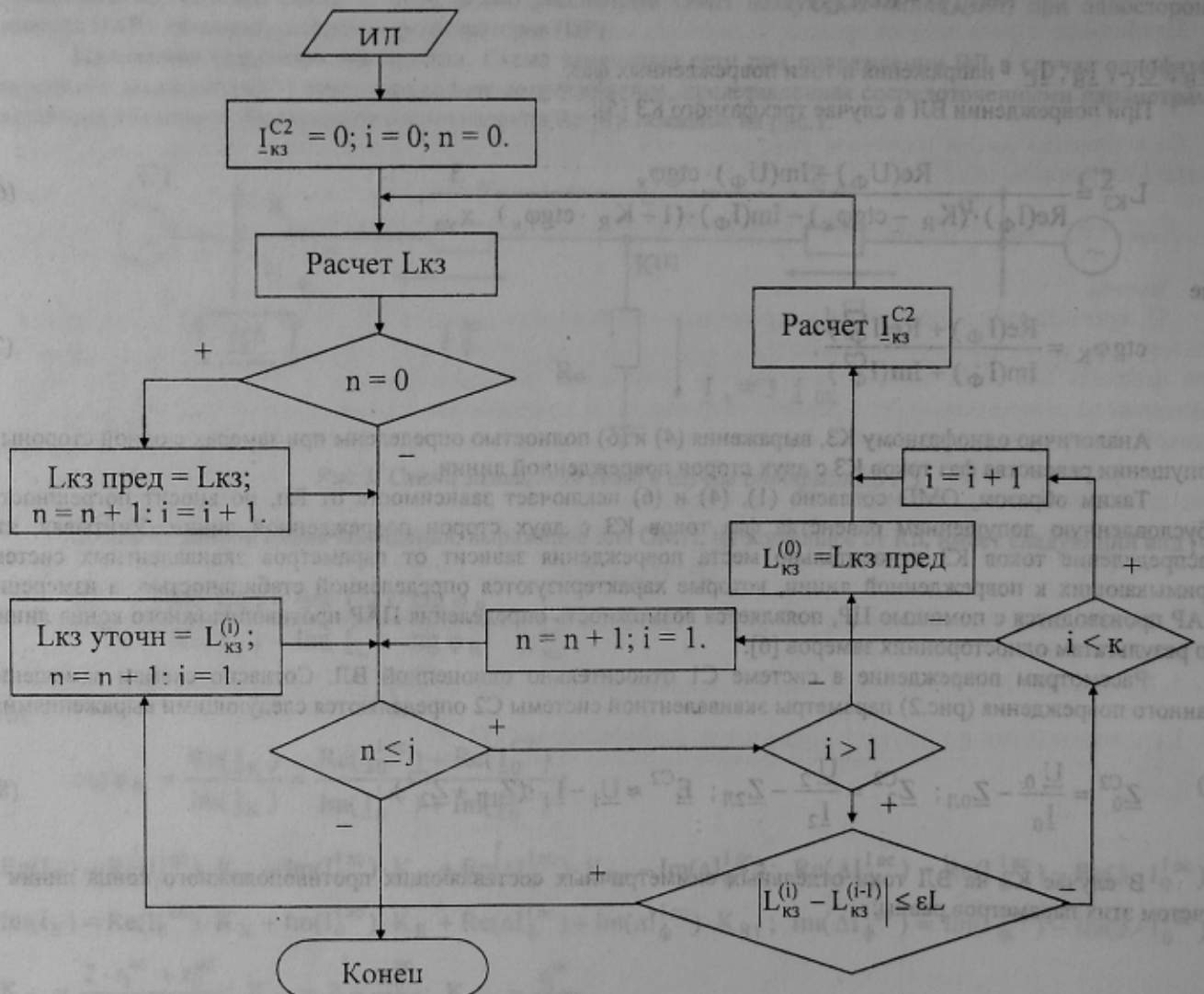


Рис.3. Блок-схема алгоритма одностороннего ОМП по ПАР в два этапа

На основе алгоритма одностороннего ОМП по ПАР в два этапа был разработан программный продукт «АНФАС», предназначенный для анализа записей повреждений ВЛ. С помощью «АНФАС» был проанализирован ряд повреждений ВЛ, зафиксированные цифровым регистратором «ФАС» [8] и программно-аппаратным комплексом «РЕКОН-06БС» в процессе их эксплуатации. Отклонения расчетных расстояний до мест повреждения рассмотренных повреждений не превысили 4%.

Выводы.

Предложены расчетные выражения для одностороннего ОМП по ПАР не зависящие от переходного сопротивления в месте повреждения и учитывающие ПАР противоположного конца линии, полученные по результатам односторонних замеров. На базе этих выражений разработана методика одностороннего ОМП по ПАР, использование которой при анализе реальных повреждений ВЛ дало отклонение расчетных расстояний до мест повреждения не превышающее 4%. Дальнейшее повышение точности одностороннего ОМП по ПАР заключается в использовании более точной и поной информации о параметрах ВЛ и состоянии элементов сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калужный Д.Н. Анализ методов определения мест повреждений воздушных линий электропередачи // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2003. - №11. - С. 57-64.
2. Айзенфельд А.И. Результаты внедрения и эксплуатации фиксирующих приборов для определения мест повреждения ВЛ 110-750 кВ // Электрические станции. - 1992. - №6. - С. 44-46.
3. Малый А.С., Шалыт Г.М., Айзенфельд А.И. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима. - М.: Энергия, 1972. - 216 с.
4. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калужный Д.Н., Светелик А.А. Расчетные выражения для определения места повреждения при однофазных коротких замыканиях в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2001. - №14. - С. 300-305.
5. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калужный Д.Н., Светелик А.А., Кольченко А.В. Расчетные выражения для определения места повреждения при многофазных коротких замыканиях в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - №3. - С. 241-246.
6. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калужный Д.Н., Светелик А.А., Кольченко А.В. Приближенный учет подпитки с противоположного конца линии при определении расстояния до места повреждения // Вісник національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - №7. Том II. - С. 178-184.
7. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калужный Д.Н., Кольченко А.В. Методика одностороннего определения места повреждения воздушных линий с двухсторонним питанием в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - №20. - С. 191-196.
8. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калужный Д.Н., Карпенко К.М. Опыт использования определителя места повреждения «АНФАС» в сетях 110 кВ // Вісник харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ. - 2003. - Вип.19. Том I. - С. 42-50.

Рекомендована до друку проф., д.т.н. Сивокобиленко В.Ф.