

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ВЛ 6 – 35 кВ

Ефремов И.А. (Новосибирская государственная академия водного транспорта)

Ильиных М.В. (ООО «ПНП Болид», Новосибирск)

Михель А.А. (ОАО «Газпром», Москва)

На предыдущей конференции был опубликован доклад, посвященный разработке экспериментальных и расчетных методов определения места повреждения при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в сетях средних классов напряжения [1]. Той же теме посвящена статья [2]. Ниже приводятся результаты дальнейших исследований в продолжение и развитие этой темы.

Принципиально новые возможности с точки зрения повышения эффективности защит от ОЗЗ появляются при резистивном заземлении нейтрали сети, которое в последние годы всё чаще используется в энергосистемах. Наличие в нейтрали сети заземляющего резистора приводит к снижению уровня перенапряжений, практически исключает возникновение феррорезонанса, а также даёт возможность построения селективной защиты от замыканий на землю, так как появляется устойчивый признак – активный ток, протекающий через повреждённое присоединение при ОЗЗ.

После выявления повреждённого присоединения возникает задача определения места повреждения. Если для кабельных сетей существуют методы и средства, позволяющие удовлетворительно решать эту задачу, то поиск места однофазного замыкания на землю на воздушных ЛЭП может представлять серьёзную проблему. При большом переходном сопротивлении в месте ОЗЗ использование большинства известных дистанционных методов на воздушных ЛЭП невозможно, а применение топографических методов в некоторых случаях связано с чрезвычайно большими затратами времени. В первую очередь это относится, например, к таким специфическим ЛЭП, как линии электрохимзащиты, расположенным, как правило, в труднодоступной местности вдоль газо- и нефтепроводов. Длина таких ЛЭП напряжением 10 кВ иногда достигает 100-150 км и поиск места однофазного замыкания на них может длиться несколько суток.

Эффективных методов и средств, позволяющих определить расстояние от питающей подстанции до места ОЗЗ на таких ЛЭП, в настоящее время не существует. Поиск места ОЗЗ на отключённой воздушной ЛЭП может потребовать весьма больших трудозатрат и продолжительного времени. Поиск места повреждения на включённой под напряжение воздушной вдольтрассовой ЛЭП с помощью существующих приборов также может потребовать нескольких дней работы. Всё это время повреждённая ЛЭП и гальванически связанные с ней устройства и механизмы работают в режиме ОЗЗ, т.е. напряжения на неповреждённых фазах могут существенно превышать номинальные. Это приводит к ускоренному старению изоляции, высокой вероятности перехода однофазного замыканий на землю в витковое, междуфазное или многоместное повреждение. Чаще всего в режиме длительного ОЗЗ второе повреждение происходит в высоковольтных двигателях (например, двигателях приводов компрессоров на КС с электрическим приводом).

Для разработки дистанционного метода отыскания места повреждения ВЛ были проведены экспериментальные исследования на компрессорной станции КС-7 «Демьянская», схема которой приведена в [1], а также расчетное моделирование применительно к исследуемой схеме.

Целью опытов являлась регистрация сигналов (фазных напряжений и токов, напряжения и тока нулевой последовательности, тока в цепи заземляющего резистора) при ОЗЗ ВЛ 10 кВ электрохимзащиты. В процессе эксперимента создавались искусственные однофазные

замыкания на землю (металлические, дуговые в различных пунктах воздушной линии) и проводилось осциллографирование необходимых сигналов.

Для определения расстояния до места замыкания на землю необходимо выделить общие параметры процесса замыкания, как металлического, так и дугового, наиболее информативные и дающие достаточно точные зависимости выбранного параметра от расстояния до места ОЗЗ $f(L_{33})$.

Таковыми параметрами являются (см. рисунок 1):

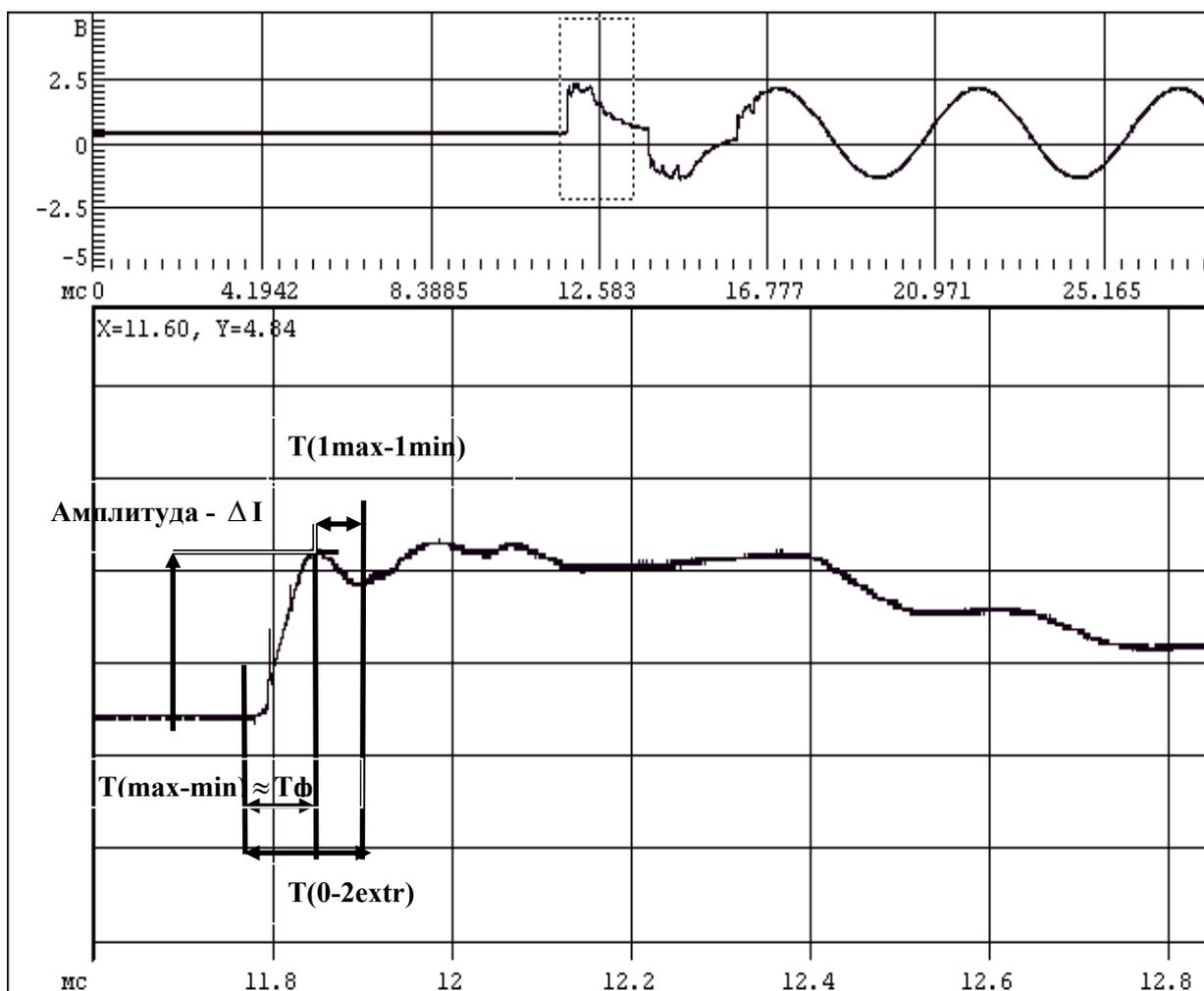


Рисунок 1. Параметры тока через резистор при металлическом замыкании фазы В с переходной составляющей, точка замыкания – 0 км

$T\Phi$ - длительность фронта волны тока или напряжения; $T\Phi = 1,25 \cdot T(t_{0,9} \dots t_{0,1})$,

где $T(t_{0,9} \dots t_{0,1})$ - промежуток времени между моментами, соответствующими 0.9 от первого максимального значения сигнала и 0.1 от того же максимального значения.

$T(0 - 2extr)$ - время от начала переходного процесса до достижения переходной кривой второго экстремума колебательного процесса.

$T(1max - 1min)$ - время от прохождения переходной кривой своего первого максимального значения до прохождения второго экстремума в колебательном процессе.

$T(1min - 2max)$ - время от прохождения переходной кривой своего второго экстремального значения до прохождения третьего экстремума.

$T(1\max - 2\max)$ - время от прохождения переходной кривой своего первого максимального значения до прохождения третьего экстремума.

$T(\min - \max) \approx T\phi$ - время пропорциональное длительности фронта, определяемое по переходной кривой от начала переходного процесса до достижения переходной кривой первого максимального значения.

Амплитуда первого экстремума переходного процесса ΔU (ΔI)- амплитуда «скачка» напряжения (тока) в поврежденной фазе при ОЗЗ.

Крутизна фронта переходной кривой определяется коэффициентом крутизны, например, для напряжения поврежденной фазы K_ϕ :

$$K_\phi = \frac{0,8\Delta U}{T(t_{0,9} \dots t_{0,1})}. \quad (1)$$

В ходе экспериментов определялся разброс параметров переходных кривых тока через резистор и напряжения поврежденной фазы:

$$\pm\Delta, \% = \frac{|T_{i\max(\min)} - T_{icp}|}{T_{icp}} \times 100\%, \quad (2)$$

где T_i – рассматриваемый параметр, T_{icp} – среднее значение параметра.

Разброс значений параметра позволяет судить о его стабильности в данной точке замыкания на землю и возможности точного замера. Чем меньше разброс параметра в каждой из точек замыкания, тем стабильнее его зависимость от длины линии при данных условиях работы сети (параметры, конфигурация). Минимальная погрешность при определении места ОЗЗ будет определяться системой условий:

1) $\Delta = f(L_{зз}) \rightarrow \min$ в каждой точке;

2) $T_{cp} = f(L_{зз})$ имеет наибольшую «крутизну» (угол наклона характеристики) по длине линии, где $L_{зз}$ - расстояние до места замыкания по длине ВЛ.

Обработка полученных в ходе эксперимента осциллограмм показала, что ни крутизна первого фронта кривой тока или напряжения, ни крутизна второго фронта (от второго экстремума до третьего экстремума: от $1\min$ до $2\max$) не могут быть использованы в качестве параметров, несущих достоверную информацию о месте замыкания ВЛ ввиду наличия больших разбросов значений этих параметров при ОЗЗ в одной и той же точке ЛЭП, вызванных, вероятно, зависимостью этих параметров от мгновенного значения напряжения в момент замыкания и рядом других факторов. В то же время преимущества других временных параметров осциллограмм ($T\Phi$, $T(0 - 2extr)$, $T(1\max - 1\min)$, $T(1\min - 2\max)$, $T(1\max - 2\max)$) заключается не только в меньшем разбросе значений для одной точки, но и в отсутствии зависимости этих параметров от фазы, в которой происходит ОЗЗ (А, В, или С).

Как видно из таблицы 1 и рисунка 2, наименьший разброс параметров и наибольший наклон характеристики по длине ВЛ (в совокупности) при металлическом ОЗЗ дают такие параметры как $T(0 - 2extr)$ и $T\Phi$.

При дуговых ОЗЗ приемлемые результаты разбросов параметров дают все три параметра (таблица 2.). Наилучший результат дают параметры $T\Phi$ и $T(0 - 2extr)$. Этот факт указывает на возможность системного применения определяемых параметров (по крайней мере, в тех точках замыкания, где есть возможность выделить эти параметры) с целью повышения точности определения расстояния до места замыкания (уменьшения «зоны обхода»).

Таблица 1

Результаты обработки осциллограмм тока через резистор I_R при металлических замыканиях

L _{зз} , км	ТФ, мс		T(0-2extr), мс		T(1max-1min), мс	
	среднее	±Δ _т ,%	среднее	±Δ _т ,%	среднее	±Δ _т ,%
0	0.186	-	0.458	-	0.186	-
14	0.296	6.3	0.67	1.72	0.276	1.39
28	0.832	-	2.02	-	0.947	-
44	1.043	7.2	2.39	7.46	1.226	12.2
52	1.255	4.4	2.90	6.54	1.430	4.97
57	1.11	5.3	-	-	-	-

Таблица 2

Результаты обработки осциллограмм тока через резистор I_R при дуговых замыканиях

L _{зз} , км	ТФ, мс		T(0-2extr), мс		T(1max-1min), мс	
	среднее	±Δ _т ,%	среднее	±Δ _т ,%	среднее	±Δ _т ,%
0	0.204	1.4	0.468	1.2	0.193	2.3
14	0.30	8.2	0.682	5.4	0.283	7.2
28	0.823	-	2.090	-	0.952	-
44	0.938	2.5	2.444	0.8	1.308	1.4
52	1.027	1.7	2.658	1.3	1.394	5.9
57	1.12	6.9	-	-	-	-

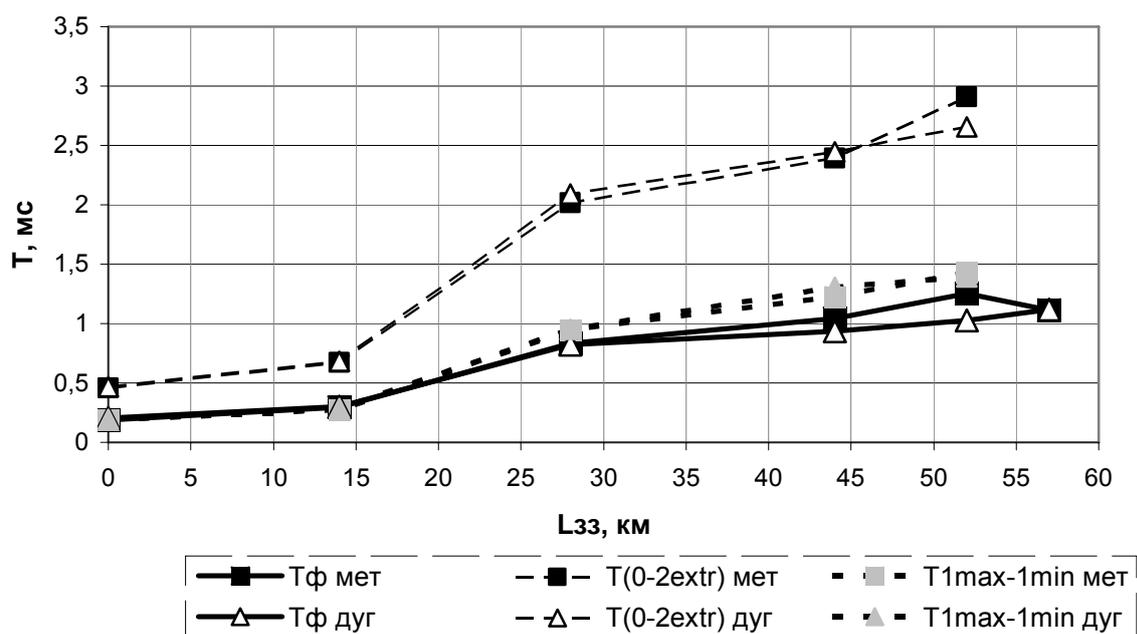


Рисунок 2. Изменение параметров переходной кривой тока через резистор по длине линии

Обработка результатов экспериментальных и расчетных исследований приводит к следующим выводам и рекомендациям:

1 Наиболее информативными параметрами являются $T\Phi$, $T(0 - 2extr)$, $T(1max - 2max)$ вследствие достаточной стабильности их значений при замыканиях на землю, происходящих в одной и той же точке трассы ВЛ.

2 Разброс параметров сигналов в одной и той же точке замыкания на землю может быть обусловлен разбросом мгновенных значений напряжения в момент замыкания, погрешностью измерительной аппаратуры (трансформаторов тока и напряжения, делителей напряжения, осциллографов и т.д.), различным сопротивлением заземления (которое может зависеть от влажности и других характеристик земли, атмосферных условий), характеристиками дуги, точностью обработки осциллограмм и т.д.

3 В некоторых экспериментах при значительном удалении места ОЗЗ от подстанции в измеряемых величинах (токе резистора, напряжении поврежденной фазы) практически отсутствовала переменная составляющая сигнала, что исключало возможность использовать все параметры, кроме $T\Phi$.

4 По результатам проведенного анализа полученных в процессе натуральных экспериментов осциллограмм, в качестве сигнала при разработке устройства, определяющего расстояние до места повреждения, и регистратора целесообразно принять переходную кривую тока через резистор.

Литература

1. Сарин Л.И., Шалин А.И., Ильиных М.В., Пичхадзе А.Б., Михель А.А. Определение места замыкания на землю на воздушных линиях 6-35 кВ. / Материалы четвертой всероссийской научно-технической конференции «Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6-35 кВ.» Новосибирск, 2006. – С.189-197.
2. Сарин Л.И., Шалин А.И., Ильиных М.В., Пичхадзе А.Б., Михель А.А. Определение места замыкания на землю на воздушных линиях 6-35 кВ. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. «Диагностика энергооборудования». Материалы XXVIII сессии всероссийского семинара «Кибернетика энергетических систем». Технические науки, приложение № 15. Новочеркасск, 2006. – С.48-51.