

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАБЛЮДАЕМОГО ПРОЦЕССА

Кочетов И. Д., ООО «Релематика», г. Чебоксары, Россия.
E-mail: ivankochetov171298@mail.ru.

Лямец Ю. Я., ООО «Релематика», г. Чебоксары, Россия.
E-mail: yu.ya.liamets@gmail.com.

Макашкин Ф. А., ООО «Релематика», г. Чебоксары,
Россия, E-mail: fedya_makashkin@bk.ru

***Аннотация:** в релейной защите широко известна практика разделения наблюдаемого процесса на предшествующий и текущий режимы. Производный от них чисто аварийный режим наряду с текущим несёт в себе информацию о повреждении наблюдаемого энергообъекта. Было обнаружено, что текущий и чисто аварийный режимы в свою очередь могут быть разделены на две составляющие: нормальную (или экстремальную) и локальную. Различный подход в определении первого компонента обусловлен различной природой активизирующих их моделей: нормальная составляющая определяется моделью неповреждённого объекта, в то время как экстремальная – моделью его повреждённого состояния. Определяемая с их помощью локальная составляющая наблюдаемого процесса представляет особую информационную ценность для алгоритмов релейной защиты, поскольку непосредственно связана с местом повреждения. Соотношения же локальных составляющих позволяют построить унифицированный алгоритм для оценки места повреждения, так как обнаруживают сильную зависимость от места замыкания и независимость от внешней по отношению к наблюдаемому объекту части энергосистемы.*

***Ключевые слова:** нормальный и экстремальный режимы, локальные составляющие, определение места повреждения.*

Введение

С развитием средств связи появляется возможность применять методы определения места повреждения (ОМП) линии электропередачи на основе наблюдаемых с двух сторон токов и напряжений. Одним из таких методов является ОМП на основе локальных составляющих наблюдаемого процесса. Так называемый локальный режим, будучи частью текущего или чисто аварийного режимов, концентрирует в себе информацию

о повреждении наблюдаемого энергообъекта, а различные соотношения локальных составляющих наблюдаемых величин проявляют свойства, которые позволяют применять их в различных задачах РЗА, в частности в задаче определения места повреждения.

Информационный компонент локальных составляющих при повреждении энергообъекта

Пусть имеется некоторый энергообъект, наблюдаемый с двух сторон, наблюдателю доступны комплексы токов и напряжений $\underline{I}_s, \underline{U}_s$ и $\underline{I}_r, \underline{U}_r$. Предположим, что в данном объекте произошло повреждение в некотором неизвестном месте x_r , в котором действует неизвестный источник тока КЗ (рис. 1а) или ЭДС (рис. 1е). Таким образом, модель текущего или чисто аварийного режима содержит три источника: по одному от каждого места наблюдения, а также источник тока КЗ или ЭДС. Воспользовавшись принципом наложения, обнаружим двухкомпонентную структуру, первая из которых активируется источниками наблюдаемых величин токов или напряжений (рис. 1б, г, ж, и), а вторая – источником в месте повреждения (рис. 1в, д, з, к) [1]. Особую информационную ценность несёт в себе вторая структура, получившая название локальной составляющей наблюдаемого процесса и концентрирующая в себе информацию о месте повреждения энергообъекта. Её ценность заключается ещё и в том, что она не зависит от внешних связей объекта, величины тока КЗ, а определяется только структурой и параметрами наблюдаемого объекта. Последнее свойство позволяет для объекта любой конфигурации построить априорную характеристику зависимости соотношения локальных составляющих от места повреждения.

Рассмотрим модели локального режима по рис. 1в, з, эквивалентные друг другу. В этом случае модель локального режима активируется источником тока или ЭДС, выходы которой зашунтированы в местах наблюдения. Полученные таким образом локальные токи обнаруживают любопытное свойство: их соотношение в виде

$$\underline{K} = \frac{\underline{I}_{-s \text{ ЛК}} - \underline{I}_{-r \text{ ЛК}}}{\underline{I}_{-s \text{ ЛК}} + \underline{I}_{-r \text{ ЛК}}} \quad (1)$$

для однородной линии представляет собой простейшую линейную зависимость от места повреждения

$$k = 1 - 2x_f^*,$$

где x_f^* – координата места повреждения в о.е.

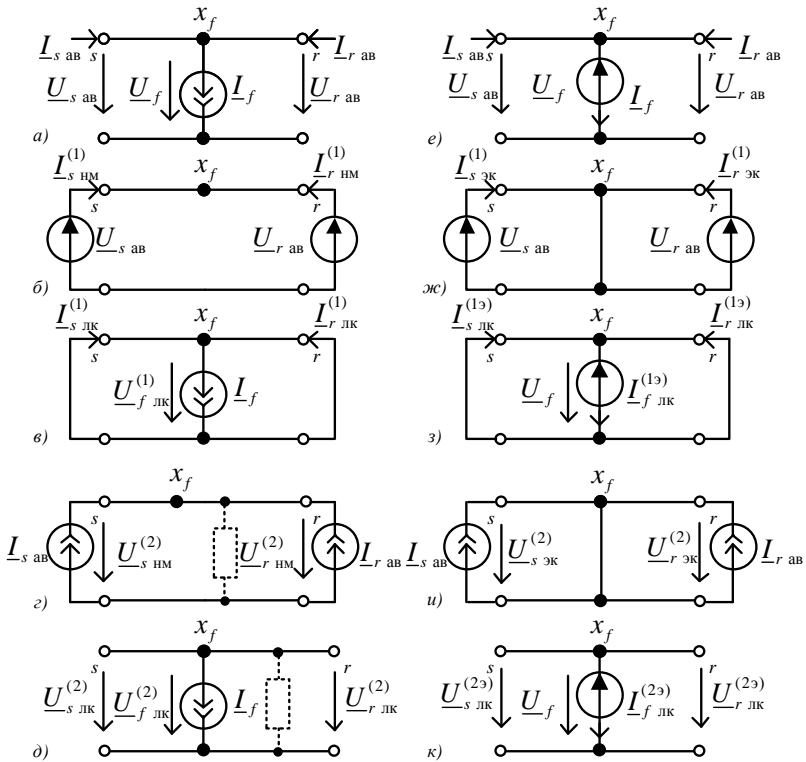


Рис. 1. Наблюдаемый чисто аварийный режим и его составляющие: а, е – варианты аварийного режима с источником тока и ЭДС в месте повреждения, б, г, ж, и – варианты нормального или экстремального режимов, в, д, з, к – варианты локального режима.

Модели же локального режима по рис. 1д, к имеют иные свойства: они также активируется источником тока или ЭДС, однако выходы моделей оказываются оборванными. Стоит отметить, что модель по рис. 1д оказывается чувствительной к различным видам погрешностей в задании источника тока, поэтому целесообразно применять её в случае наличия поперечных элементов. Данного недостатка лишена эквивалентная модель по рис. 1к. Аналогичное соотношение локальных напряжений

$$\underline{H} = \frac{\underline{U}_{s\text{ лк}} - \underline{U}_{r\text{ лк}}}{\underline{U}_{s\text{ лк}} + \underline{U}_{r\text{ лк}}} \quad (2)$$

для каждого места повреждения оказывается равным нулю. Данное свойство может быть использовано в процедуре оценки координаты места повреждения отличным от замера (1) способом.

Локальные составляющие как часть наблюдаемого процесса

Определение локальной составляющей наблюдаемого процесса по текущим или аварийным токам и напряжениям связано с нахождением нормальных или экстремальных составляющих [2]. В то время как нормальные токи или напряжения могут быть получены путём воздействия на пассивную модель неповреждённого объекта, именуемую нормальной моделью, текущих или аварийных составляющих напряжений или токов (рис. 1в, г), экстремальные составляющие возникают в пассивной модели предположительно повреждённого объекта путём воздействия всё тех же текущих или аварийных составляющих наблюдаемых величин (рис. 1ж, и). Отличие данных моделей заключается в различном представлении источника в месте повреждения в модели текущего или чисто аварийного режима: для нормальных составляющих это источник тока КЗ, который отключается от модели по принципу наложения, а для экстремальных – источник ЭДС, который закорачивается в модели соответствующего режима. В то же время сами локальные составляющие, полученные различными способами, не имеют принципиальных различий

$$\underline{I}_{\text{лк}} = \underline{I}_{\text{лк}}^{\circ} = \underline{I}_{\text{ав}} - \underline{I}_{\text{нм}} = \underline{I}_{\text{ав}} - \underline{I}_{\text{эк}},$$

$$\underline{U}_{\text{лк}} = \underline{U}_{\text{лк}}^{\circ} = \underline{U}_{\text{ав}} - \underline{U}_{\text{нм}} = \underline{U}_{\text{ав}} - \underline{U}_{\text{эк}}$$

и определяются как разность между текущими или чисто аварийными составляющими и их нормальными или экстремальными компонентами.

Оценка координаты места повреждения может производиться двумя различными способами. Первый вариант заключается в определении локальных составляющих токов по моделям рис. 1б, в и соотношения (1), по которому координата места повреждения находится путём сопоставления замера (1) с заранее заданной априорной характеристикой. Второй же вариант заключается в нахождении экстремальных составляющих напряжений по модели экстремального режима (рис. 1и), в которой место предполагаемого повреждения варьируется по всей длине наблюдаемого объекта. Для каждого предполагаемого места повреждения рассчитываются экстремальные и локальные составляющие наблюдаемых напряжений, после чего строится замер (2), который при попадании в истинное место повреждения обращается в нуль. Последний вариант оценки координаты места повреждения может быть использован для проверки корректности ОМП по первому варианту, поскольку модель экстремального режима содержит закоротку (рис. 1и), нивелирующую влияние возможных поперечных элементов модели, вносящих дополнительную погрешность в ОМП.

Заключение

Локальная составляющая, будучи частью наблюдаемого процесса, концентрирует в себе информацию о месте повреждения энергообъекта и не зависит ни от внешних связей объекта, ни от величины тока КЗ, а определяется только его структурой и параметрами. Данные особенности позволяют применять локальные составляющие в различных задачах РЗА, таких как ОМП линии электропередачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лямец Ю.Я., Белянин А.А.* Составляющие токов короткого замыкания в наблюдаемой электрической сети. *Электротехника*, 2016. № 10. С. 40-44.

2. *Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я., Макашкин Ф.А.* Унификация моделей и характеристик поврежденной электропередачи при двухстороннем наблюдении. *Изв. РАН. Энергетика*, 2020. № 4. С. 55-65.

Авторы:

Кочетов Иван Дмитриевич, ООО «Релематика»/ЧГУ им. И.Н. Ульянова, инженер-исследователь, e-mail ivankochetov171298@mail.ru.

Лямец Юрий Яковлевич, ООО «Релематика»/ЧГУ им. И.Н. Ульянова, председатель НТС, окончил в 1962 г. энергетический факультет Новочеркасского политехнического института (НПИ). В 1994 г. защитил во ВНИИЭ докторскую диссертацию на тему «Адаптивные реле: теория и приложение к задачам релейной защиты и автоматики электрических систем», e-mail yu.ya.liamets@gmail.com.

Макашкин Федор Анатольевич, ООО «Релематика»/ЧГУ им. И.Н. Ульянова, инженер-исследователь, e-mail fedyu_makashkin@bk.ru.