

ВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА РЗА: СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ УСТАВОК

А.Н. ПОДШИВАЛИН, Г.Н. ИСМУКОВ

Россия, г. Чебоксары,

ООО «Релематика»,

e-mail: ismukov_gn@relematika.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Волновое определение места повреждения, волновая защита, чувствительность, селективность, статистические методы.

ВВЕДЕНИЕ

Волновые методы релейной защиты (РЗА) и определения места повреждения (ОМП) оперируют свободными составляющими переходного процесса при повреждении электрической сети. Методы предполагают измерение характеристик и моментов прихода электромагнитных волн [1, 2, 3]. Сигналы электрической сети содержат шумы, которые затрудняют выделение этих полезных информационных составляющих. В классической РЗА и в ОМП проблема шумов в достаточной мере решается при частотной фильтрации и выделении ортогональных составляющих – фильтры имеют широкие окна и хорошо согласованы с полезным гармоническим сигналом. Эти методы неприменимы для выделения волны повреждения на фоне шумов: фронт имеет негармонический характер, модель волны зависит от структуры электрической сети, измерения выполняются в широком частотном спектре, куда попадают частичные разряды, коронирование элементов сети, высокочастотная связь по линии электропередачи (ЛЭП), шумы от силовых полупроводниковых элементов, радиолокационные сигналы и другие. Целями данной работы являются исследование шумов и выработка требований к выбору уставок волновых защит.

МОДЕЛЬ СИГНАЛА

Рассмотрим следующую модель электроэнергетического сигнала $u(t)$:

$$u(t) = \sum u_{\Pi}(t) + \sum u_{C}(t) + u_{\text{ш}}(t),$$

где $\sum u_{\Pi}(t)$ – сумма принужденных периодических сигналов энергосистемы;

$\sum u_{C}(t)$ – сумма свободных составляющих переходных процессов энергосистемы, на которые должна реагировать волновая РЗА;

$u_{\text{ш}}(t)$ – шумовые компоненты.

Компоненты $\sum u_{\Pi}(t)$ и $u_{\text{ш}}(t)$ могут рассматриваться как помехи, поскольку не содержат электромагнитную волну повреждения. Компоненты $\sum u_{\Pi}(t)$ достаточно хорошо изучены в классической РЗА, существует множество фильтров для их подавления [4]. Однако некоторая их часть $\sum u'_{\Pi}(t)$ может остаться в сигнале.

АДАПТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОРГАНА К ШУМУ

Удобно представить шум в следующем виде:

$$u_{\text{ш}}(t) = \sum u_{\text{шш}}(t) + u_{\text{ншш}}(t),$$

где $\sum u_{\text{шш}}(t)$ – сумма детерминированных (периодических) квазистационарных компонент шума;

$u_{\text{ншш}}(t)$ – непериодическая компонента шума.

Компоненты $\sum u_{\text{шш}}(t)$ могут быть связаны, например, с работой высокочастотной аппаратуры связи, полупроводниковой электроники и должны учитываться при

проектировании сигнальных фильтров в устройстве РЗА. Но некоторая часть этих компонент $\sum u'_{\text{шш}}(t)$ также может остаться в сигнале после фильтрации.

Функция $u_{\text{шш}}(t)$ неизвестна, а потому эта компонента не может быть удалена из сигнала с помощью фильтра. Дискретизированную во времени величину $u_{\text{шш}}(k)$ будем рассматривать как последовательность случайной величины X и применим статистический подход для ее описания. Случайная величина X обладает законом распределения вероятностей на заданном интервале наблюдения. Если функция распределения F_X известна, то возможна оценка вероятности p нахождения X в интервале от A до B :

$$P(A \leq X \leq B) = F_X(B) - F_X(A) = p,$$

где P – функция вероятности.

Пусть компонентам $\sum u'_{\text{ш}}(k)$ и $\sum u'_{\text{шш}}(k)$ соответствуют последовательности случайных величин Y и Z с функциями распределения F_Y и F_Z соответственно. Тогда суммарный шум после фильтрации имеет следующую функцию распределения:

$$F_V = F_X * F_Y * F_Z, \quad (1)$$

где F_V – функция распределения случайной величины $V = X + Y + Z$.

* – операция свертки.

Измерительные органы (ИО) волновой РЗА должны быть отстроены от суммарного шума по уровню, либо должна применяться логическая отстройка. В любом случае требуется оценка поведения ИО в условиях шума в нормальном режиме. Рассмотрим ИО максимального действия, выявляющий приход волны повреждения:

$$|v| \geq v_{\text{уст}}, \quad (2)$$

где v – входная величина ИО;

$v_{\text{уст}}$ – величина уставки.

Величина $v_{\text{уст}}$ должна отстраиваться от суммарного шума V в нормальном режиме, несрабатывание в нормальном режиме определяется вероятностью $1 - p$, где:

$$p = P(|V| < v_{\text{уст}}) = F_V(v_{\text{уст}}) - F_V(-v_{\text{уст}}). \quad (3)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА

Устройством волнового ОМП ТОВ 300 ЛОК 550 в сети 10 кВ были записаны несколько осциллограмм с частотой дискретизации 1 МГц в нормальном режиме и при повреждении ЛЭП. На рис. 1а приведен фрагмент осциллограммы. До 180 мс наблюдался нормальный режим, затем – повреждение ЛЭП. Примененные в устройстве фильтры подавили большую часть компонент $\sum u_{\text{ш}}(t)$ и $\sum u_{\text{шш}}(t)$ и исключили смещение нуля. На рис. 1б показаны графики плотности распределения рабочей величины и, для сравнения, нормального распределения с тем же параметром σ .

Как видно по рис. 1б, гистограмма распределения исследуемой последовательности симметрична (коэффициент асимметрии $1,4 \cdot 10^{-2}$), но имеет отличия от модели нормального распределения: провал вблизи M_0 и две симметричные вершины. Среди стандартных распределений отсутствуют схожие законы. Аналог может быть получен путем свертки (1) стандартных законов. Например, в данном случае подходят законы с нормальным и бета распределениями. В частности, бета распределением с параметрами $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,5$ описывается синусоидальный сигнал.

По данным предаварийного режима для сигнала на рис. 1а измерена величина $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-3}$ В. Пусть уставка (2) равна $v_{\text{уст}} = 3\sigma = 2,19 \cdot 10^{-2}$ В. При нормальном распределении это соответствовало бы вероятности несрабатывания в нормальном режиме $p = 0,9973$. Как показывает рис. 1б, из-за более сжатой формы графика вероятность несрабатывания для наблюдаемого сигнала еще выше.

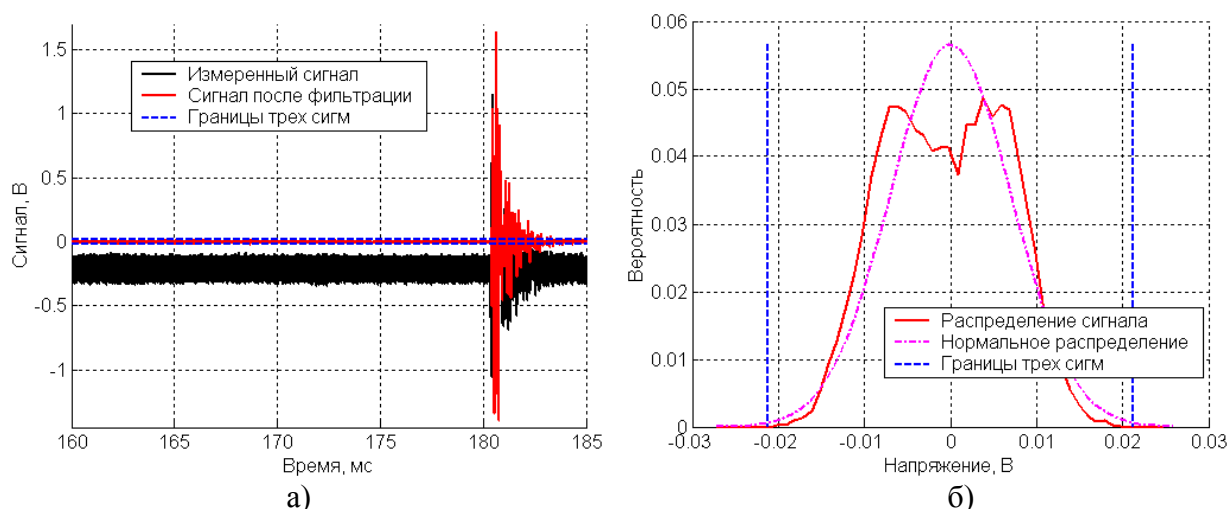


Рисунок 1. Осциллограмма (а) и плотность распределения случайной величины (б)

При приходе волны КЗ максимальное значение модуля сигнала составило 1,6 В. Пороговое значение $v_{уст}$ было превышено. Коэффициент чувствительности составил $1,6/2,2 \cdot 10^{-2} = 72,7$. В таблице 1 представлена статистика для десяти осциллограмм на объекте.

Таблица 1. Статистика срабатывания ИО при разных значениях уставки

| Параметр | Значение уставки $v_{уст}$ | | |
|---|----------------------------|---------------------|---------------|
| | 3σ , В | 6σ , В | 9σ , В |
| Вероятность $1-p$ срабатывания ИО в нормальном режиме работы энергосистемы, % | $2,7 \cdot 10^{-1}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | 0 |
| Вероятность отказа ИО при обработке первой волны повреждения, % | 0 | 0 | 0 |

По таблице видно, что величина уставки 9σ отстроена от нормального режима, обеспечивает срабатывание при всех повреждениях ЛЭП и рекомендуется к применению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлены результаты анализа видов шумов на входе волновых устройств РЗА. Выполнен статистический анализ распределения сигнала, выявлены его основные характеристики. Подтверждена гипотеза о распределении сигнала на основе осциллограмм, записанных при натуральных испытаниях. Выбран доверительный интервал, проверено фактическое попадание области значений сигнала нормального режима в границы этого интервала. Оценена чувствительность волновых измерительных органов к КЗ в наблюдаемом объекте. Показана возможность применения статистических методов для выбора уставок волновых измерительных органов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Dommel H.W., Michels J.M. High speed relaying using travelling wave transient analysis // IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. New York. 1978. P. 1-7.
2. Crossley P.A., McLaren P.G. Distance protection based on traveling waves // IEEE Trans. on PAS-102. №9. Sep. 1983. P. 2971-2983.
3. Abur A., Magnago F.H. Use of time delays between modal components in wavelet based fault location // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Vol. 22. №6. Aug. 2000. P. 397-403.
4. Антонов В.И., Лазарева Н.М., Пуляев В.И. Методы обработки цифровых сигналов энергосистем. М.: Энергопрогресс. 2000.