

УДК 621.315

Защита от имитирующих помех импульсных устройств определения мест повреждения ЛЭП

А.Л. Куликов, д-р техн. наук, А.А. Петрухин, канд. техн. наук, А.С. Свечников, инж.

Предлагается алгоритм компенсации имитирующих помех для устройств определения мест повреждения линии электропередач, основанных на активном зондировании. Излагается методика оценки эффективности защиты от помех, а также приводятся результаты расчетов и натурных испытаний. Разработанный алгоритм применим для существующих и перспективных импульсных устройств определения мест повреждения ЛЭП.

Ключевые слова: определение мест повреждения ЛЭП, электромагнитная совместимость, защита от имитирующих помех рефлектометров.

Protecting Impulse Devices of the ETL Fault Location from Simulating Interference

A.L. Kulikov, Doctor of Engineering, A.A. Petrukhin, Candidate of Engineering, A.S. Svechnikov, Engineer

The algorithm of simulating interference compensation for the power line fault location device based on active probing is proposed. The method of estimating the effectiveness of the protection from interference is presented, as well as the calculation results of the field tests are discussed. The developed algorithm is applicable for existing and prospective impulse ETL fault location devices.

Keywords: fault location transmission line, electromagnetic compatibility, protection reflectometer from simulating interference.

Импульсные устройства (рефлектометры) определения мест повреждения (ОМП) ЛЭП находят широкое применение как в магистральных [1, 2], так и в распределительных сетях [3]. Их применение сопряжено с действием различного рода помех, «маскирующих» полезный сигнал [1, 2]. В большинстве случаев негативное влияние помех оказывается на воздушные линии (ВЛ) и вызвано следующими основными источниками:

- коронированием высоковольтных ВЛ (помехи практически со сплошной спектральной плотностью мощности – типа «белый шум»);
- совокупностью высокочастотных (ВЧ) каналов на подстанции и ближайших элементов электроэнергетической системы (ЭЭС) (сосредоточенные по частоте помехи от ВЧ-каналов и дополнительно «белый шум» этих каналов);
- коммутациями в ЭЭС (помехи от дуги, короткого замыкания скоротечны по времени и приближаются по своей структуре к «белому шуму»).

Отрицательное действие указанных помех оценивается как случайное аддитивное [1] и не связано с характером зондирующих сигналов рефлектометров. Компенсация помех обеспечивается, как правило, частотной фильтрацией либо реализацией мероприятий по электромагнитной совместимости.

Следует заметить, что помехозащищенность импульсных средств ОМП ЛЭП во многом зависит от структуры зондирующих сигналов и применяемых средств их обработки. Так, использование сложных импульсных зондирующих сигналов имеет неоспоримые преимущества, по сравнению с простыми, с точки зрения помехозащищенности [2, 4].

Наряду с рассмотренным имеет место воздействие сторонних радиозлектронных средств (РЭС) на устройства ОМП ЛЭП активного зондирования. При этом влияние РЭС на процесс ОМП ЛЭП может приводить к ситуациям, когда мешающие сигналы искажают результаты зондирования, имитируя повреждения ЛЭП. Помехи такого рода относятся к имитирующим [4] и снижают соответствующие эксплуатационные свойства устройств ОМП.

Защита от имитирующих помех предполагает применение более сложных алгоритмов и существенно зависит от характера используемых зондирующих сигналов. Во-первых, сложные широкополосные сигналы сложнее «подделать», поэтому использующие их средства ОМП ЛЭП имеют большую устойчивость (лучше защищены). Во-вторых, обладая определенными энергетическими преимуществами [4], сложные сигналы обеспечивают лучшее соотношение «сигнал/помеха+шум» в результате согласованной фильтрации.

Однако средства ОМП ЛЭП активного зондирования сложными сигналами иногда располагаются в условиях мощного интенсивного влияния сторонних РЭС (рис. 1), генерирующих имитирующие помехи.

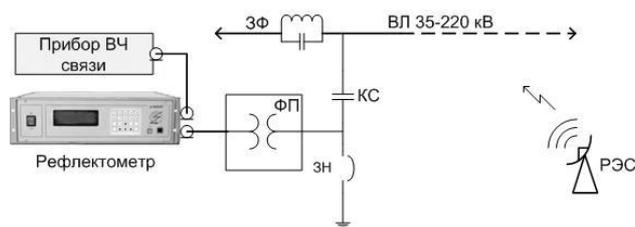


Рис. 1. Пример ситуации, способствующей возникновению имитирующих помех

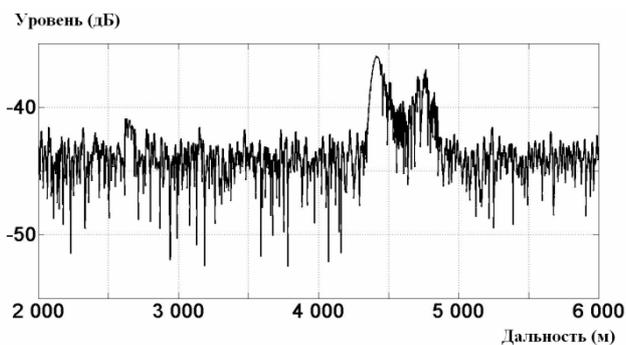
Так, в процессе опытной эксплуатации автоматического локационного искателя мест повреждения (АЛИМП) на ВЛ 220 кВ «НиГЭС – Семёнов» Нижегородской энергосистемы персонал столкнулся с ложными срабатываниями искателя из-за воздействия искусственной импульсной помехи РЭС военного назначения, расположенного в непосредственной близости от ЛЭП. Хотя область частот основных составляющих зондирующего сигнала РЭС на несколько порядков отстроена от области частот функционирования АЛИМП, интенсивность наводимых на ЛЭП помех оказалась достаточно высокой.

В качестве признаков, составляющих основу методов защиты от имитирующих импульсных помех, выбраны:

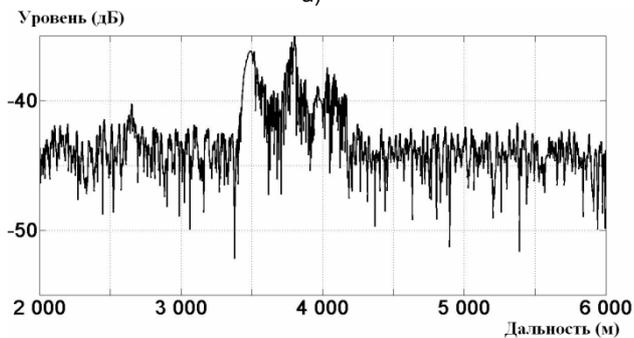
- последовательное накопление результатов зондирования с последующим усреднением рефлектограмм для повышения отношения «сигнал/помеха+шум»;
- временные различия при излучении АЛИМП и РЭС военного назначения.

Поскольку импульсная имитирующая помеха не синхронизирована с зондирующим сигналом, то на шкале дальности рефлектограммы проявления помехи при каждом зондировании будут возникать на различных участках, что эквивалентно хаотическому перемещению имитируемого повреждения вдоль ЛЭП. Этот процесс иллюстрирует рис. 2, на котором изображены реализации рефлектограмм ВЛ 220 кВ «НиГЭС – Семёнов», искаженные помехой (рис. 2,а,б) и рефлектограмма без имитирующих помех (рис. 2,в). Анализ рефлектограмм показывает, что отмеченные ранее временные различия могут быть использованы для целей защиты от помех.

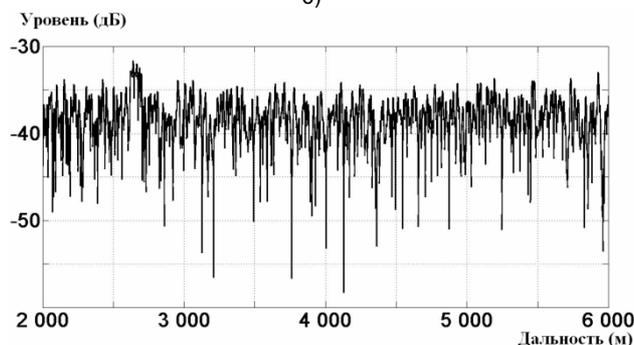
На рис. 3 приведен результат усреднения рефлектограмм при последовательном (пачечном) зондировании указанной ЛЭП. Очевидно, что процедура накопления также позволяет компенсировать нежелательное воздействие стороннего излучения.



а)



б)



в)

Рис. 2. Участок рефлектограммы ЛЭП 220 кВ «НиГЭС – Семёнов»: а, б – при наличии имитирующих помех; в – при их отсутствии

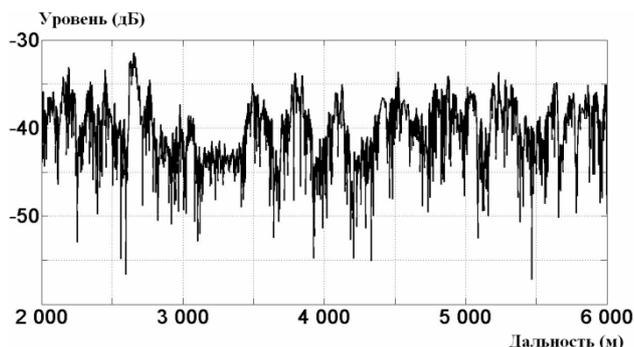


Рис. 3. Участок усредненной рефлектограммы ЛЭП 220 кВ «НиГЭС – Семёнов» по 20 реализациям

Нами был предложен алгоритм компенсации влияния имитирующих помех для устройства АЛИМП (рис. 4).

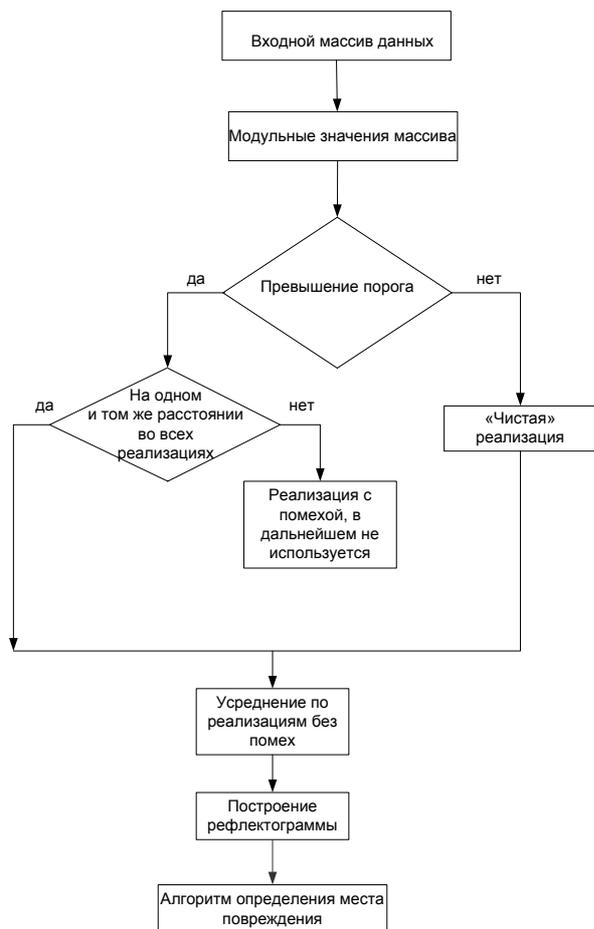


Рис. 4. Алгоритм формирования результирующей рефлектограммы с учетом компенсации имитирующих помех

Он предполагает обработку массива рефлектограмм (входной массив данных), количество которых определяет выбранное число зондирований (число импульсов в пачке). Обработке подлежат рефлектограммы, подвергнутые цифровому детектированию. В качестве фильтрующего признака для усреднения рефлектограмм без помехи выбирается временное положение имитирующих откликов. Если при сравнении реализаций рефлектограмм отклики изменяют свое положение по отношению к месту установки АЛИМП (начало рефлектограмм), то такие рефлектограммы отбраковываются. Факт обнаружения повреждения ЛЭП (имитирующей помехи) фиксируется по превышению порога (уставки).

Результаты функционирования алгоритма защиты от имитирующих помех устройства АЛИМП приведены на рис. 5, на котором представлены рефлектограммы до (а) и после (б) применения алгоритма.

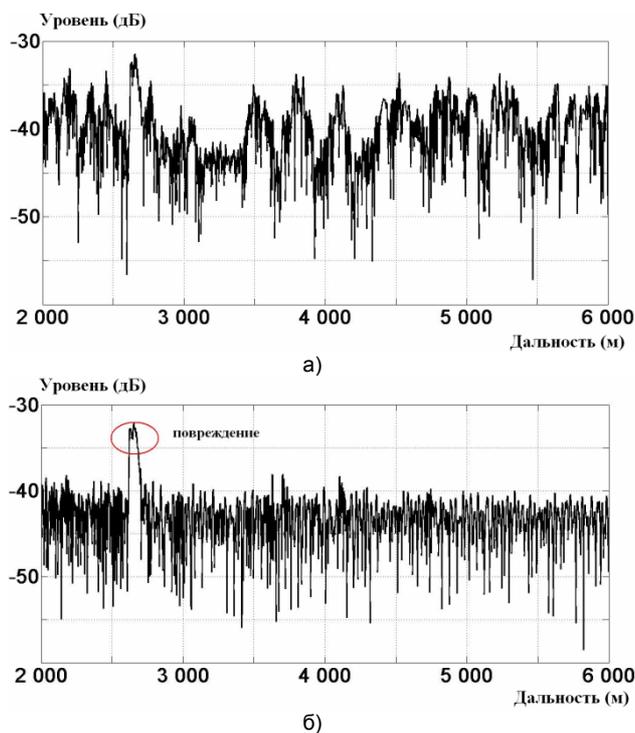


Рис. 5. Участок рефлектограммы: а – до применения алгоритма защиты от имитирующих помех; б – после его применения

Очевидно, что реализация рефлектограммы (рис. 5,а) не позволяет выявить повреждение на фоне имитирующих помех и шумов. Напротив, реализация алгоритма защиты (рис. 4) обеспечивает процесс ОМП ЛЭП с требуемыми показателями качества.

Для оценки эффективности предлагаемого алгоритма защиты от имитирующих помех используем критерий отношения «сигнал/шум» («сигнал/помеха+шум»), широко применяемый как в радиотехнической [4], так и в электротехнической [5] практике:

$$ОШП = \frac{E_{отр.сигн.}}{E_{\sigma}}$$

где $E_{отр.сигн.}$ – мощность отраженного сигнала; E_{σ} – мощность смеси помехи и шума. Для расчетов применим следующую методику:

1. Рассчитываем мощность сигнала, отраженного от повреждения, для рефлектограммы после применения алгоритма защиты от имитирующих помех (рис. 5,б).

1.1. Длительность сигнала определим по уровню -3 дБ относительно максимума, приняв ее как совокупность n отсчетов.

1.2. Найдем начальный отсчет сигнала в результирующей рефлектограмме. Присвоим этому значению номер j , для которого выполняется условие

$$A_j^2 = \frac{1}{2} \max \{A_i^2\},$$

где A_i – мгновенные модульные значения рефлектограммы ($i = 1, \dots, N$, N – общее число отсчетов рефлектограммы).

1.3. Рассчитаем мощность отраженного сигнала:

$$E_{\text{отр.сигн.}} = \frac{1}{n} \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2.$$

2. Оцениваем мощность смеси шума и помехи:

$$E_{\sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i^2 - E_{\text{отр.сигн.}},$$

т.е. при вычислениях E_{σ} из совокупности отсчетов рефлектограмм исключены значения, соответствующие сигналу.

3. Получаем результирующее выражение для ОСШП:

$$\text{ОСШП} = \frac{N \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2}{n \sum_{i=1}^N A_i^2 - N \sum_{k=j}^{j+n} A_k^2}.$$

Результаты расчетов эффективности при натуральных испытаниях устройства АЛИМП в сочетании с алгоритмом компенсации имитирующих помех и реализацией обработки (накопления и усреднения) – рефлектограмм ВЛ 220кВ «НиГЭС – Семёнов» свидетельствуют об увеличении ОСШП с 7,8 до 11,5 дБ, что составляет приблизительно 2,34 раза по мощности и совпадает с визуальными оценками (рис. 5).

Куликов Александр Леонидович,
 Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – Нижегородское ПМЭС,
 директор, доктор технических наук,
 телефон (831) 257-85-50,
 e-mail: info@npmes.elektra.ru

Петрухин Андрей Алексеевич,
 Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – Нижегородское ПМЭС,
 главный специалист, руководитель группы, кандидат технических наук,
 телефон (831) 296-01-40,
 e-mail: petruhin@npmes.elektra.ru

Свечников Артём Сергеевич,
 Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – Нижегородское ПМЭС,
 инженер,
 телефон (831) 296-01-40,
 e-mail: sas@npmes.elektra.ru

Следует отметить, что структура и операции алгоритма компенсации имитирующих помех являются универсальными и справедливы для рефлектометров любых модификаций. Однако достижимые показатели эффективности защиты (ОСШП) существенно зависят от выбранных зондирующих сигналов, а также процедур обработки в приемных трактах рефлектометров.

Таким образом, при ОМП ЛЭП с использованием рефлектометров возможно воздействие помех, имитирующих повреждения. Предложенный алгоритм защиты от такого вида помех обладает высокой эффективностью и может быть применен в рефлектометрах различного типа.

Список литературы

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
2. Куликов А.Л. Дистанционное определение мест повреждений ЛЭП методами активного зондирования. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
3. Куликов А.Л., Мисриханов М.Ш., Петрухин А.А. Определение мест повреждений ЛЭП 6–35 кВ / под ред. В.А. Шуина. – М.: Энергоатомиздат, 2009.
4. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
5. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.