

УДК 621.315

## Защита импульсных устройств определения мест повреждения ЛЭП от имитирующих помех

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

**Предлагается алгоритм компенсации влияния имитирующих помех для импульсных устройств определения мест повреждения ЛЭП. Проводится оценка эффективности алгоритма защиты от имитирующих помех.**

*Ключевые слова:* помехозащищенность, рефлектометр, защита от имитирующих помех.

## Protecting Impulse Devices of Power Lines Fault Location from Simulation Noise

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

**The authors describe the algorithm of influence compensation of simulation noise for impulse devices of power lines fault location. The authors assess the effectiveness of protection algorithm from simulation noise.**

*Keywords:* noise immunity, reflectometer, protection from simulation noise.

Импульсные устройства (рефлектометры) определения мест повреждения (ОМП) ЛЭП широко применяются как в магистральных [1, 2], так и в распределительных сетях [3]. При этом велико влияние различного рода помех, «маскирующих» полезный сигнал [1, 2]. В большинстве случаев негативное влияние помех оказывает на воздушные линии (ВЛ).

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].

Воздействие сторонних радиоэлектронных средств (РЭС) на устройства ОМП ЛЭП активного зондирования 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.

При защите от имитирующих помех предполагается применение более сложных алгоритмов. Кроме того, на качество защиты от помех существенно влияет характер 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.

Иногда средствам ОМП ЛЭП активного зондирования сложными сигналами приходится функционировать в условиях мощного интенсивного влияния сторонних РЭС (рис. 1), генерирующих имитирующие помехи.

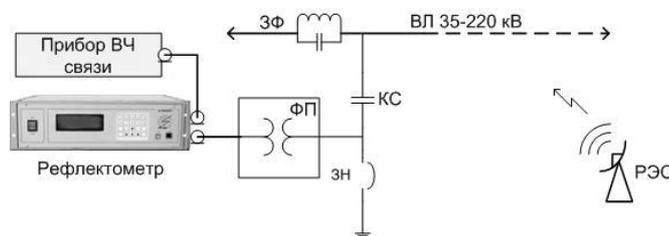


Рис. 1. Пример ситуации, способствующей возникновению имитирующих помех

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, создаваемой РЭС военного назначения, расположенными в непосредственной близости от ЛЭП. Частотная область основных составляющих зондирующего сигнала РЭС на несколько порядков отстроена от области частот функционирования АЛИМП. Тем не менее интенсивность наводимых на ЛЭП помех оказалась достаточно высокой.

Основными признаками определения имитирующих импульсных помех в целях защиты от них являлись:

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

Асинхронность работы РЭС и АЛИМП приводит к тому, что на шкале дальности рефлектограммы проявления помехи при каждом зондировании будут возникать на различных участках. Поэтому наблюдается хаотическое перемещение имитирующего 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 полученных рефлектограмм показывает, что отмеченные временные различия могут быть использованы для целей защиты от помех.

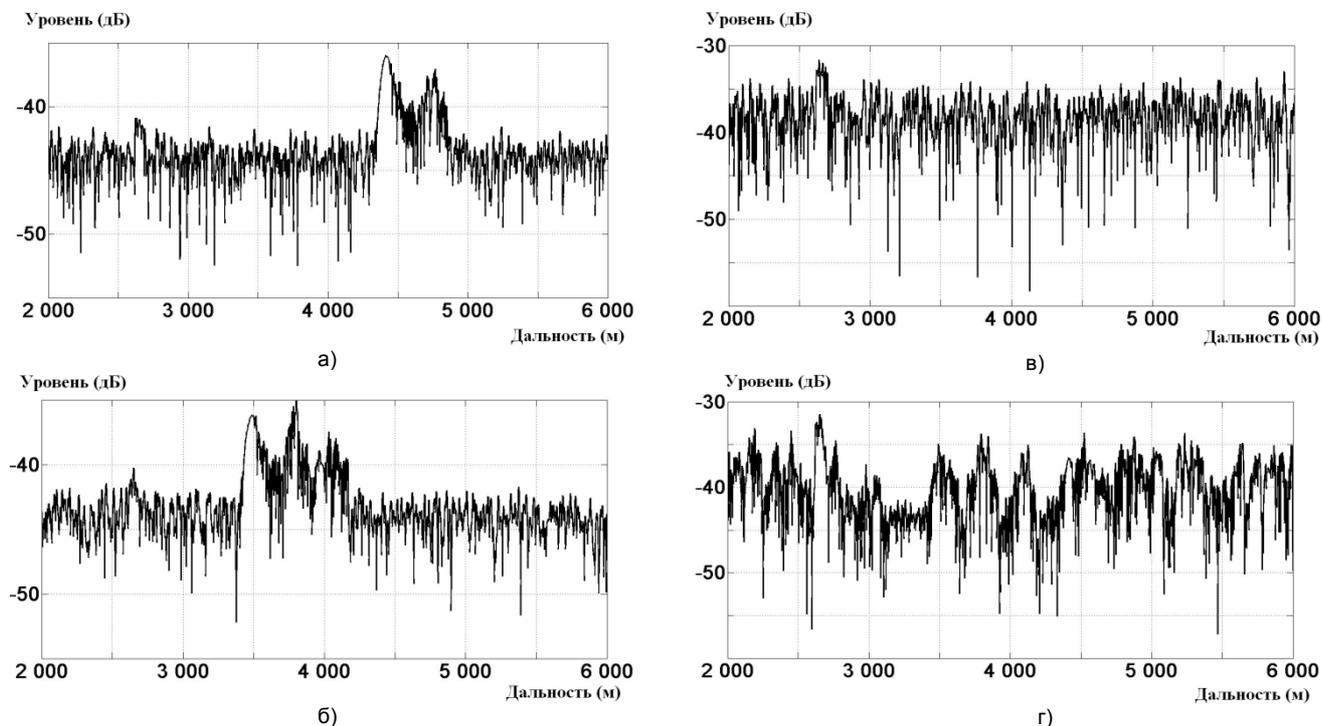


Рис. 2. Участок рефлектограммы ЛЭП 220 кВ «НиГЭС – Семёнов»: а, б – при наличии имитирующих помех; в – при отсутствии имитирующих помех; г – участок усредненной рефлектограммы по 20-ти реализациям

Нами был предложен алгоритм компенсации влияния имитирующих помех для устройства АЛИМП (рис. 3,а). 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. 3,в.

Анализ участка рефлектограммы (рис. 3,б) показывает, что реализация рефлектограммы не дает возможность выявить повреждение на фоне имитирующих помех и шумов. Однако при реализации алгоритма защиты (рис. 3,а) обеспечивается процесс ОМП ЛЭП с требуемыми показателями качества (рис. 3,в).

На рис. 2,г приведен результат усреднения рефлектограмм при последовательном (пачечном) зондировании указанной ЛЭП. Очевидно, что процедура накопления также позволяет компенсировать нежелательное воздействие стороннего излучения.

Эффективность предлагаемого алгоритма защиты от имитирующих помех была оценена с помощью критерия отношения «сигнал/шум» («сигнал/помеха+шум»), широко применяемого как в радиотехнической [4], так и в электротехнической [5] практике:

$$ОСШП = \frac{E_{отр.сигн}}{E_{\sigma}},$$

где  $E_{отр.сигн}$  – мощность отраженного сигнала;  $E_{\sigma}$  – мощность смеси помехи и шума.

Для расчетов применим следующую методику:

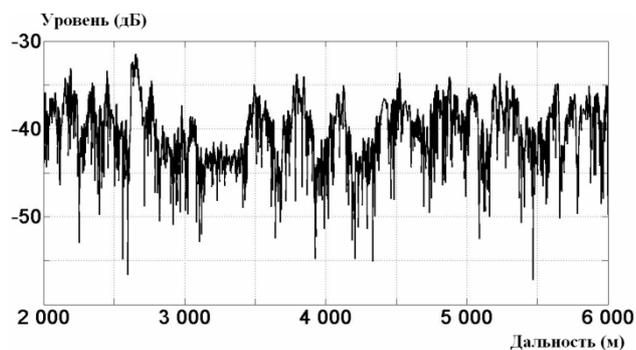
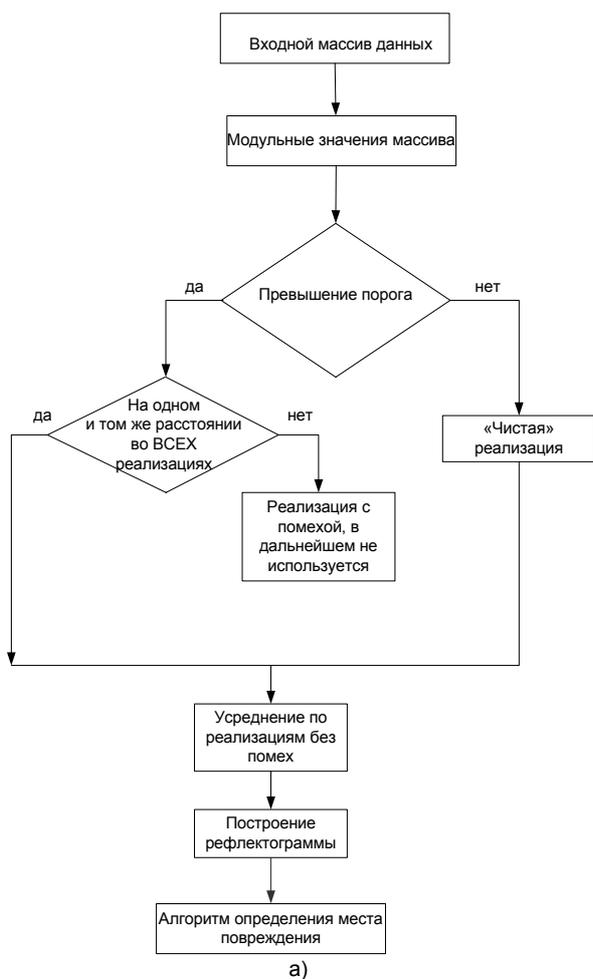
1. Рассчитываем мощность сигнала, отраженного от повреждения, для рефлектограммы после применения алгоритма защиты от имитирующих помех (рис. 4,в).

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

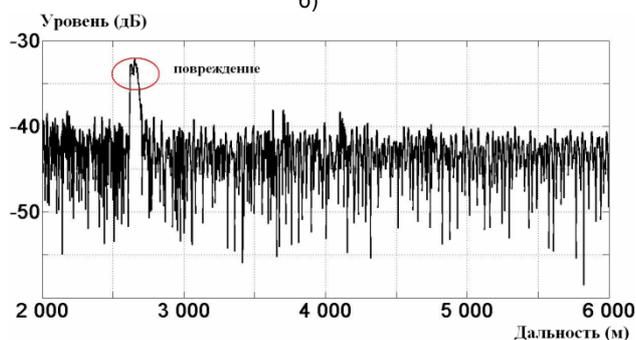
1.2. Найдем начальный отсчет сигнала в результирующей рефлектограмме. Присвоим этому значению номер  $j$ , для которого выполняется условие

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

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



б)



в)

Рис. 3. Алгоритм формирования результирующей рефлектограммы с учетом компенсации имитирующих помех (а). Участок рефлектограммы до (б) и после (в) применения алгоритма защиты от имитирующих помех

1.3. Рассчитаем мощность отраженного сигнала

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

2. Оценим мощность смеси шума и помехи:

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

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

3. Получаем результирующее выражение для ОСШП:

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

Натурные испытания устройства АЛИМП в сочетании с алгоритмом компенсации имитирующих помех, а также реализацией обработки (накопления и усреднения) рефлектограмм ВЛ 220кВ «НиГЭС – Семёнов» показали, что эффективность предлагаемого алгоритма увеличивается, о чем свидетельствует увеличение ОСШП с 7,8 до 11,5 дБ, что составляет прибли-

зительно 2,34 раза по мощности и совпадает с визуальными оценками (рис. 3,в).

Следует отметить, что предложенный алгоритм компенсации имитирующих помех является универсальным. Тем не менее полученные показатели эффективности защиты (ОСШП) существенно зависят от выбранных зондирующих сигналов и процедур обработки в приёмных трактах рефлектометров.

Таким образом, при работе ОМП ЛЭП в условиях мощного влияния сторонних РЭС, генерирующих имитирующие помехи, предложенный алгоритм защиты от такого вида помех эффективен 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: справ. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
5. Шнейерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

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

*Свечников Артём Сергеевич,*  
Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Нижегородское ПМЭС,  
инженер,  
телефон (831) 296-01-40,  
svecha88@gmail.com