

## РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗА ИСКАЖЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА И НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Попов С. В.<sup>1</sup>, Гапон Д. А.<sup>2</sup>, Черемисин Н. М.<sup>3</sup>, Мирошник А. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

<sup>2</sup>Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт",

<sup>3</sup>Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

*Приведен сравнительный анализ применения математического аппарата Фурье и вейвлет преобразований по определению типа искажений несинусоидальных режимов распределительных сетей 0,38/0,22 кВ. Сформулированы требования к вейвлет-фильтрам и выбран вейвлет из семейства Paul, который наиболее соответствует требованиям для решения поставленной задачи. Выполнен тестовый анализ моделей сигналов, имеющих место в распределительных сетях 0,38/0,22 кВ и содержащих различные виды искажений, с помощью указанных преобразований. Результаты анализа показали преимущества вейвлет-анализа перед Фурье-анализом, за счет локализуемости вейвлетов как во временной, так и в частотной области.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время общепризнанно, что электрическая энергия является товаром. Как и для многих других товаров для электрической энергии существует понятие качества. Качество электрической энергии, как товара, нормируется ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения" [1].

Для большинства товаров существует система взаимоотношений производителя и потребителя в части качества товара. В случае несоответствия качества товара стандартам либо договорным условиям потребитель имеет право на возмещение ущерба в определенной форме. В настоящее время задача создания системы взаимоотношений производителя и потребителя электрической энергии в части ее качества в полной мере не решена. Основная сложность построения системы взаимоотношений в части качества электрической энергии (КЭ) заключается в том, что электрическая энергия – уникальный товар, не похожий на другие. Качество других товаров зависит только от их производителей (поставщиков), но специфика процесса производства и потребления электрической энергии обуславливает зависимость ее качества как от поставщика (энергоснабжающая организация), так и от потребителя. Еще одним фактором, который также усложняет оценку влияния участников системы электроснабжения (СЭС) на КЭ, является возможность подключения к одной точке общего присоединения нескольких потребителей. Качество электрической энергии для всех потребителей будет одинаковым, но влияние каждого потребителя и энергоснабжающей организации (ЭСО) на это качество может быть различным. Решению этих задач посвящено множество работ как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Можно сделать вывод, что разработка математических моделей и методов для оценки влияния участников системы электроснабжения на качество электроэнергии является крайне актуальной задачей.

Как известно, низкое качество электрической энергии оказывает существенное влияние на технико-экономические характеристики элементов сети и

электроприемников. При ухудшении качества напряжения происходит снижение эксплуатационной надёжности электродвигателей, возникает ряд отрицательных электромагнитных явлений в сетях, увеличиваются дополнительные потери электрической энергии. Несинусоидальность напряжения влечет за собой ускоренное старение изоляции электрических машин, трансформаторов, кабелей, ухудшение коэффициента мощности коммунально-бытовых потребителей, ухудшение или нарушение работы устройств автоматики, телемеханики, компьютерной техники и других устройств с элементами электроники.

Так в СЭС значительное внимание уделяется обнаружению и классификации искажений напряжения и тока промышленной частоты. Наиболее распространенный метод их обнаружения основан на поточном сравнении смежных периодов синусоидального сигнала. Недостатком такого подхода является учет большого количества информации, что требует надежного и достаточно быстрого механизма обработки данных. В связи с этим, целесообразно перейти к математическим моделям для идентификации искажений формы синусоидальных кривых напряжения и тока в распределительных сетях, а также в разработке методики и программного обеспечения для обнаружения типов искажений и их источников.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Многочисленные исследования, посвященные анализу режимов работы электрических сетей напряжением 0,38/0,22 кВ [2-3] показали, что в сетях с коммунально-бытовой нагрузкой имеет место значительная несинусоидальность напряжения, что обусловлено использованием импульсных блоков питания коммунально-бытовыми потребителями. Потребители с нелинейными вольтамперными характеристиками потребляют из сети несинусоидальные токи при подведении к их зажимам синусоидального напряжения. Токи высших гармоник, проходя по элементам сети, создают падения напряжения в сопротивлениях этих элементов и, накладываясь на основную синусоиду напряжения, приводят к искажениям формы кривой напряжения в узлах электрической сети.

**Цель статьи.** Провести сравнительный анализ средств Фурье и вейвлет-анализа с целью определения типа и распознавания образа искажений несинусоидальных режимов распределительных сетей 0,38/0,22 кВ.

**Основные материалы исследования.** Как было сказано выше, количественные показатели качества энергии непрерывно изменяются. Кроме того каждый бытовой прибор вносит свою долю в искажение синусоиды тока и напряжения. То есть можно говорить о том, что каждый прибор имеет свой электрический образ искаженного сигнала, который присущ именно ему. Поэтому, кроме решения задачи выбора средств обеспечения требуемого качества энергии, приходится также решать и задачи выбора надежного метода регистрации отклонений этих показателей.

Традиционно, идентификация искажений была основана на визуальном наблюдении колебаний во временной области. Эта операция требовала много времени, что накладывало ограничение на ее практическое применение, особенно когда было необходимо проанализировать большое количество информации. Дополнительные осложнения возникают, когда несколько видов искажений происходит в одно время. В этом случае важным вопросом является наличие надежного пути классификации различных видов искажений.

Известно, что важнейшим средством анализа стационарных непрерывных сигналов является преобразование Фурье непрерывного времени (CNFT). При этом сигнал раскладывается в базис синусов и косинусов различных частот. Количество этих функций – бесконечно большое [2]. Коэффициенты преобразования находятся путем вычисления скалярного произведения сигнала с комплексными экспонентами:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx, \quad (1)$$

где  $f(x)$  – означает сигнал;

$F(\omega)$  – функция преобразования Фурье.

С практической точки зрения CNFT имеет ряд недостатков. Так, для получения преобразования на одной частоте требуется вся временная информация, а это означает, что должно быть известно будущее поведение сигнала. Также на практике не все сигналы стационарны. Пик в сигнале во временной области распространится по всей частотной области такого преобразования. Для преодоления этих недостатков CNFT вводится кратковременное или оконное преобразование Фурье (SNFT):

$$STFT_f(\omega, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-i\omega x} w(x-b) dx, \quad (2)$$

в котором применяется операция умножения сигнала на окно перед применением преобразования Фурье. Окном  $w(x-b)$  является локальная функция, которая сдвигается вдоль временной оси для вычисления преобразования в нескольких позициях  $b$ . Преобразова-

ние становится зависимым от времени, и в результате получается частотно-временное описание сигнала. В качестве окна выбирается функция Гаусса, и в этом случае обратное преобразование тоже будет выполняться с использованием оконной функции Гаусса. Также используются и другие окна, в зависимости от конкретного приложения. Недостаток SNFT состоит в том, что при его вычислении используется фиксированное окно, которое не может быть адаптировано к локальным свойствам сигнала.

Таким образом, с позиции точного представления преобразованием Фурье произвольных сигналов и функций можно отметить ряд его недостатков:

- преобразование Фурье даже для одной заданной частоты требует знания сигнала не только в прошлом, но и в будущем, что является теоретической абстракцией;

- в условиях практически неизбежного ограничения числа гармоник или спектра колебаний точное восстановление сигнала после прямого и обратного преобразований Фурье теоретически (и тем более практически) невозможно, в частности из-за появления эффекта Гиббса;

- базисной функцией при разложении в ряд Фурье является гармоническое (синусоидальное) колебание, которое математически определено в интервале времени от  $-\infty$  до  $+\infty$  и имеет неизменные во времени параметры;

- численное интегрирование во временной области от  $-\infty$  до  $+\infty$  при прямом преобразовании Фурье (ППФ) и в частотной области от 0 до  $+\infty$  при обратном преобразовании Фурье (ОПФ) встречает большие вычислительные трудности;

- отдельные особенности сигнала (например, разрывы или пики) вызывают незначительные изменения частотного образа сигнала на всем интервале частот от  $-\infty$  до  $+\infty$ , которые «размазываются» вдоль всей частотной оси, что делает их обнаружение по спектру практически невозможным;

- единственным приспособлением к представлению быстрых изменений сигналов, таких как пики или перепады, является резкое увеличение числа гармоник, которые оказывают влияние на форму сигнала и за пределами локальных особенностей сигнала;

- по составу высших составляющих спектра практически невозможно оценить местоположение особенностей на временной зависимости сигнала и их характер;

- для нестационарных сигналов (а именно такими являются осциллограммы электрических сигналов в сетях 0,38/0,22 кВ) трудности прямого и обратного преобразования Фурье (и, соответственно, быстрого преобразования Фурье (БПФ)) многократно возрастают.

Из изложенного выше следует, что на практике имеют место нестационарные сигналы, для которых с помощью Фурье-преобразования по составу высших составляющих спектра практически невозможно оценить местоположение особенностей на временной зависимости сигнала и их характер. Поэтому для нестационарных сигналов (а именно такими являются осциллограммы электрических сигналов в сетях 0,38/0,22 кВ) трудности прямого и обратного преоб-

разования Фурье (и, соответственно, быстрого преобразования Фурье) многократно возрастают. В связи с этим для анализа нестационарных электрических сигналов предлагается использовать вейвлет анализ.

Известно [4–7], что представление с помощью вейвлетов доказало свое преимущество перед Фурье-преобразованием в задачах анализа нестационарных сигналов благодаря локализуемости как во временной, так и в частотной области. Ключевая идея заключается в том, чтобы декомпозировать осциллограмму напряжения на составляющие, которые представляют собой его сглаженную и подробную версии. А затем, используя их, выявить и выделить различные типы отклонений показателей качества электроэнергии. Характеристики различных искажений сигнала содержатся в коэффициентах их вейвлет-разложений. Проблема заключается в том, как использовать эти коэффициенты, чтобы выделить и категоризировать различные виды искажений. Наиболее целесообразной является методика идентификации искажений на математических моделях типовых искажений электрических сигналов, которые имеют место в распределительных сетях 0,38/0,22 кВ, а затем разработать методику определения адресности источников высших гармоник. Таким образом, ставится задача распознавания образа искаженного сигнала с целью идентификации устройства, которое портит синусоиду тока и напряжения, а также адресности самого устройства. Анализ литературных данных [9] показывает, что наиболее приемлемым способом для распознавания образов являются нейронные сети.

Поэтому с учетом современных достижений цифровой обработки сигналов целесообразно разработать комплексный подход для анализа и идентификации искажений в распределительных сетях 0,38/0,22 кВ, который заключается в объединении теории вейвлетов и теории нейронных сетей для автоматического распознавания искажений электрических сигналов.

Одним из инструментов вейвлет анализа в такого рода задачах являются вейвлет-фильтры. На сегодняшний день существует множество вейвлет-фильтров для обработки сигналов [4, 7], каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Сформулируем основные требования к вейвлет-фильтрам:

- наиболее точное выделение высокочастотных составляющих сигнала и основной гармоники;
- минимальное количество уровней декомпозиции;
- наименьшая длина фильтра.

На основании вышесказанного был проведен анализ и сравнение фильтров с целью выявления наиболее подходящего для решения данной задачи.

В соответствии с первым критерием, необходимо подобрать такой вейвлет, который позволит наиболее точно восстановить сигнал после прямого и обратного вейвлет-преобразования. Данное предположение основано на том, что если сигнал точно восстанавливается после обратного преобразования, следовательно, прямое преобразование осуществляется без значительных потерь особенностей сигнала.

В качестве тестовой, используется модель сигнала, содержащего высокочастотные искажения на всем

протяжении. Характеристики сигнала следующие:

- длительность сигнала – 0,1 с;
- частота дискретизации – 10000 Гц;
- частота основной гармоники – 50 Гц;
- количество периодов основной частоты – 10;
- уровень высокочастотных искажений – неизменен на всем протяжении сигнала.

Фильтруя исходный сигнал  $S$  с помощью различных вейвлет-функций, будем находить для него среднеквадратичное отклонение  $\delta$  от синусоидальной функции  $F$ , содержащей лишь основную гармонику ( $f_1 = 50$  Гц) соответствующего сигнала

$$\delta = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_W - F)^2}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество отсчетов исследуемого сигнала;

$S_W$  – сигнал, полученный в результате фильтрации тестового сигнала, длительностью  $p$  отсчетов;

$F$  – сигнал, представляющий собой функцию синуса и соответствующий основной гармонике исследуемого тестового сигнала, длительностью  $p$  отсчетов.

Точность выделения высокочастотных составляющих трудноформализуемая задача, поэтому в этом случае будем полагаться на анализ литературных данных и результаты эмпирических наблюдений.

Второй критерий представляет собой минимальное количество уровней декомпозиции исследуемого сигнала, при котором достигается наиболее точное представление основной гармоники в его коэффициентах аппроксимации.

Третий критерий – длина вейвлет-фильтра также очень важен, так как от этого зависит скорость вычисления вейвлет-преобразования, что является очень актуальным при непрерывном анализе.

Очень важно найти компромисс – фильтр с наименьшей длиной и количеством уровней декомпозиции при небольшом значении  $\delta$ . На сегодняшний день не существует четких правил для выбора того или иного вейвлета. Поэтому правильность выбора вейвлета зависит от ряда критериев, характеризующих ту или иную задачу. При выборе типа вейвлета необходимо учитывать такие критерии, как ортогональность и неортогональность, форма, ширина, а также комплексная действительная вейвлет функция.

Остановимся подробно на каждом из этих критериев. Поскольку будем иметь дело с несинусоидальными сигналами, которые имеют место в распределительных сетях, то в этом случае целесообразно использовать неортогональный вейвлет, так как неортогональные преобразования достаточно удобны для анализа временных рядов, имеющих гладкий непрерывный характер. В данном случае достаточно удобно воспользоваться комплексной вейвлет-функцией, поскольку она позволяет получить информацию как о амплитуде, так и о фазе, и позволяет лучше выделять колебательные процессы. В отличие от комплексной, действительная вейвлет-функция возвращает только первую компоненту и может быть использована для

выделения пиков или разрывов. При выборе ширины вейвлет-функции необходимо сделать выбор между шириной в действительном пространстве и шириной в пространстве Фурье. Узкая во временном масштабе функция будет иметь хорошее распределение по времени, но плохое распределение по частоте, в то время как «широкая» функция будет иметь плохое распределение по времени, но хорошее распределение по частоте. Кроме этого вейвлет-функция должна отражать характер функций во временном ряду. Для временных рядов с резкими скачками или переходами целесообразно выбрать «угловатую» функцию, такую как вейвлет Хаара, а для плавно изменяющегося временного ряда целесообразно выбрать гладкую функцию, например затухающий косинус. Для спектрального анализа гармонического сигнала напряжения целесообразно выбирать гладкую вейвлет-функцию. Такими являются функции Morlet, Paul, Magt (мексиканская шляпа) и другие вейвлеты основанные на производных гауссовой функции. Первые две функции являются комплексными, а остальные – действительными. Применение действительных функций для анализа синусоидального сигнала приводит к появлению положительных и отрицательных полупериодов на спектрограмме, что затрудняет ее анализ. Таким образом наиболее подходящими являются функции Morlet и Paul. Последняя является более «узкой» во временном пространстве и, как следствие, имеет несколько худшее разрешение по частоте, но лучшую локализацию во времени. В аналитической форме форма вейвлета Paul порядка  $m$  и его Фурье представление описываются выражениями:

$$\Psi(\eta) = \frac{2^m i^m m!}{\sqrt{\pi(2m)!}} (1 - i\eta)^{-(m+1)}, \quad (4)$$

$$\hat{\Psi}(s\omega) = 2^m \sqrt{m(2m-1)!} (s\omega)^m e^{-s\omega} H(\omega), \quad (5)$$

где  $H(\omega)$  – функция Хевисайда.

Таким образом, получим неортогональный вейвлет, имеющий комплексную вейвлет-функцию, узкий по ширине и имеющий форму затухающего косинуса. Учитывая вышесказанное, а также результаты визуальной оценки способности фильтров к выделению высокочастотных составляющих [5-8], наиболее подходящим для решения поставленной задачи можно признать вейвлет типа Paul.

Учитывая вышесказанное, рассмотрим конкретные примеры искажений различных видов. На рис. 1 представлена модель искажения типичного для электрических сигналов в сетях 0,38/0,22 кВ - кратковременное отключение переменного напряжения. На Фурье-спектре этого сигнала (рис. 2) видно только наличие основной гармоники с частотой 50 Гц, но при этом никакой информации об отсутствии сигнала в течение двух полупериодов нет. На (рис. 3) приведена двумерная и трехмерная вейвлет-спектрограмма этого сигнала. На вейвлет-спектрограмме сигнала незаполненная область соответствует провалу напряжения,

причем на этом отрезке значение вейвлет-коэффициентов малы или равны нулю.

U, в.о.

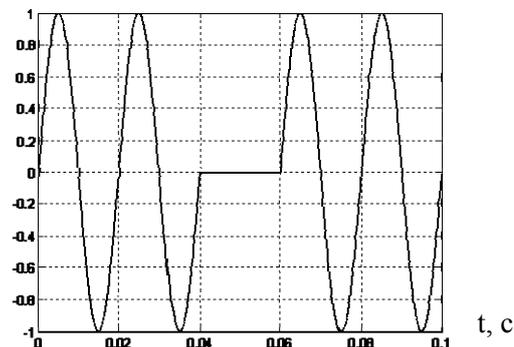


Рисунок 1 – Кратковременное отключение переменного напряжения на протяжении одного периода

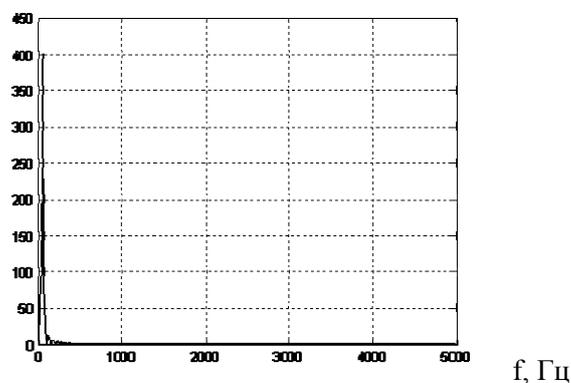


Рисунок 2 – Фурье-спектр сигнала

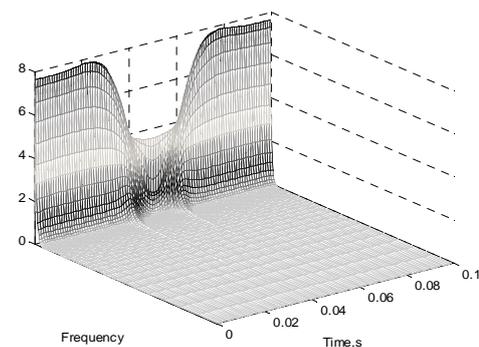
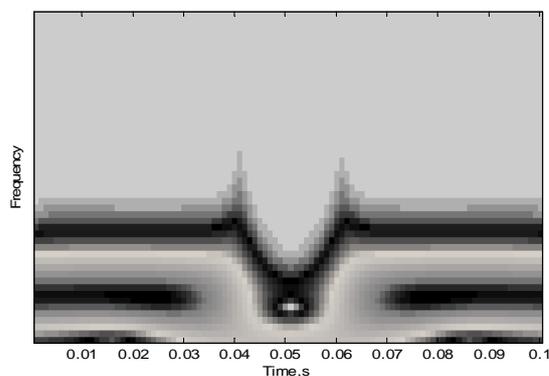


Рисунок 3 – Двумерная и трехмерная вейвлет-спектрограмма сигнала

На рис. 4 изображен другой вид искажения – временное отклонение амплитуды переменного напряжения от заданного значения. В нашем случае – пятидесятипроцентное снижение амплитуды на протяжении одного периода. Фурье-спектр этой кривой аналогичен изображенному на рис. 2. На рис. 6 представлена вейвлет-спектрограмма сигнала, где четко видно снижение уровня сигнала и его расположение на временной оси и длительность.

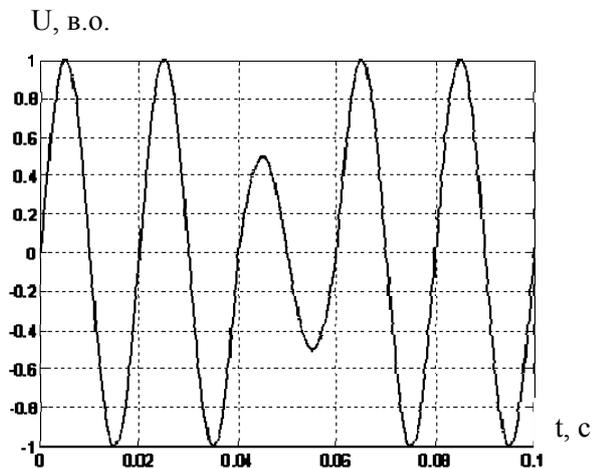


Рисунок 4 – Пятидесятипроцентное снижение амплитуды на протяжении одного периода

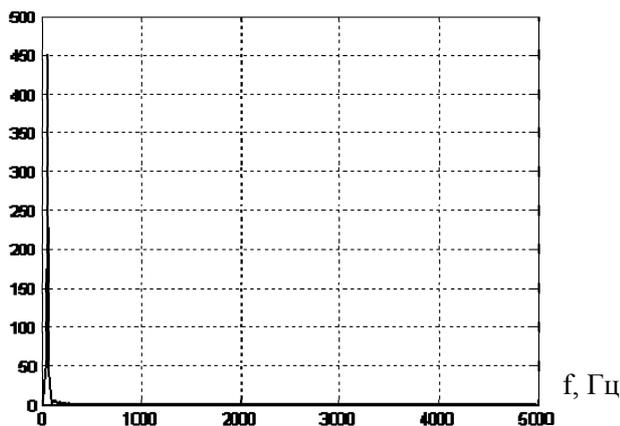


Рисунок 5 – Фурье-спектр сигнала

Как видно с рисунков все виды искажений напряжения могут быть идентифицированы с помощью вейвлет-анализа. То есть, вейвлет-преобразование позволяет выделить и определить с высокой точностью различные искажения напряжения.

Таким образом, из приведенных рисунков видно, что вейвлет-преобразование позволяет выделить и определить с высокой точностью различные искажения напряжения в любой ситуации и кроме этого позволяет получить частотные компоненты и их положение на часовой оси одновременно. Полученные результаты позволяют на основе вейвлет-преобразования реализовать алгоритмы идентификации искажений, благодаря чему появляется возможность распознавания образов электрических сигналов с помощью нейронных сетей. Для этого необходимо выбрать структуру нейронной сети. Анализ структур

нейронных сетей [9] показывает, что для математического моделирования сложных плохо формализованных систем физической или технологической природы необходимо использование многослойных нейронных сетей. В данном случае будем использовать многослойный персептрон.

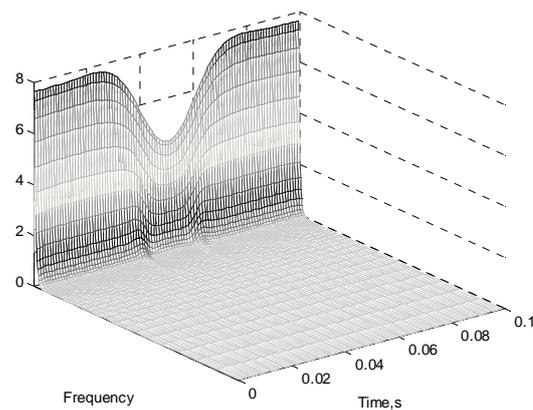
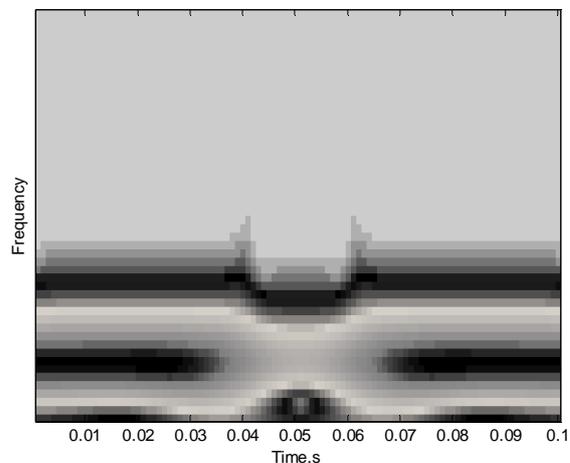


Рисунок 6 – Двумерная и трехмерная вейвлет-спектрограмма сигнала

Одним из ключевых моментов в решении данной задачи является выбор алгоритма обучения нейронной сети. Для этого необходимо создать базу данных вейвлет-образов несинусоидальных сигналов и на их основе построить алгоритм обучения нейронной сети.

После того, как нейронная сеть обучена и распознает искажение, необходимо произвести процесс классификации, таким образом, весь процесс анализа делится на выделение особенностей сигнала, распознавание образа выделенного искажения, классификация искажений.

Рассмотрим процесс распознавания формы одномерного сигнала с использованием вейвлетного нейросетевого классификатора. Основная идея вейвлетного нейронного классификатора – осуществление распознавание формы сигнала в вейвлетной области, используя искусственные нейронные сети. Рис. 4 изображает принципиальную схему вейвлетного нейронного классификатора, которая включает: фазы подготовки – вейвлет-преобразование входного сиг-

нала, обработки – исследование вейвлет-коэффициентов с помощью нейронных сетей, последующей обработки – принятия решения о типе искажения в соответствии со значениями выходов нейронных сетей. Вход классификатора – искаженный сигнал (временная область определения). Выход – вид искажения, определенный с некоторой степенью достоверности. Степень достоверности определяет степень доверия к принятому решению.

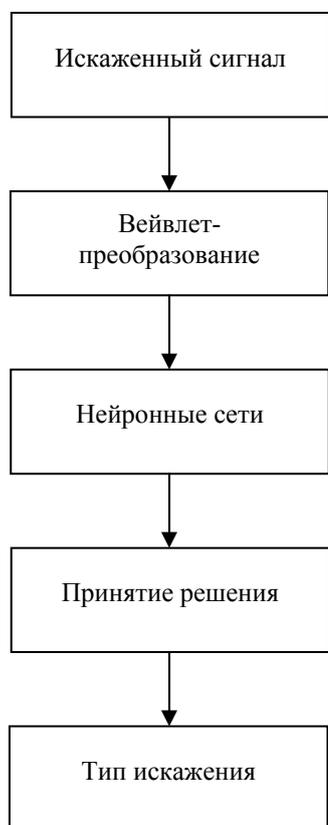


Рисунок 4 – Распознавание формы одномерного сигнала с использованием вейвлетного нейросетевого классификатора

На вход нейронной сети подается преобразованный сигнал. В этом случае форма вейвлет искажения преобразуется из временной в вейвлетную пространственно-временную до того как поступить на вход нейронной сети. Это преобразование выделяет особенности искажений одновременно в форме частотной и временной информации.

Для примера рассмотрим алгоритм распознавания сигналов следующих сигналов по их вейвлет-образам (рис. 5):

- неискаженный синусоидальный сигнал, содержащий основную гармонику 50 Гц (рис. 5, а);
- исчезновение синусоидального сигнала на протяжении одного периода (рис. 5, б);
- провал синусоидального сигнала на протяжении одного периода (рис. 5, в).

На рис. 5 показан типичный сеанс обучения сети. Каждый вейвлет-образ представляет компоненту вектора  $X$  с единичным значением. Вейвлет-образы справа представляют запомненные образы, каждый является набором величин компонент вектора  $T_j$ .

Вначале на вход заново проиницированной системы подается первый вейвлет-образ (рис. 5, а). Так как отсутствуют запомненные образы, фаза поиска заканчивается неуспешно; новый нейрон выделяется в слое распознавания, и веса  $T_j$  устанавливаются равными соответствующим компонентам входного вектора, при этом веса  $V_j$  представляют масштабированную версию входного вектора.

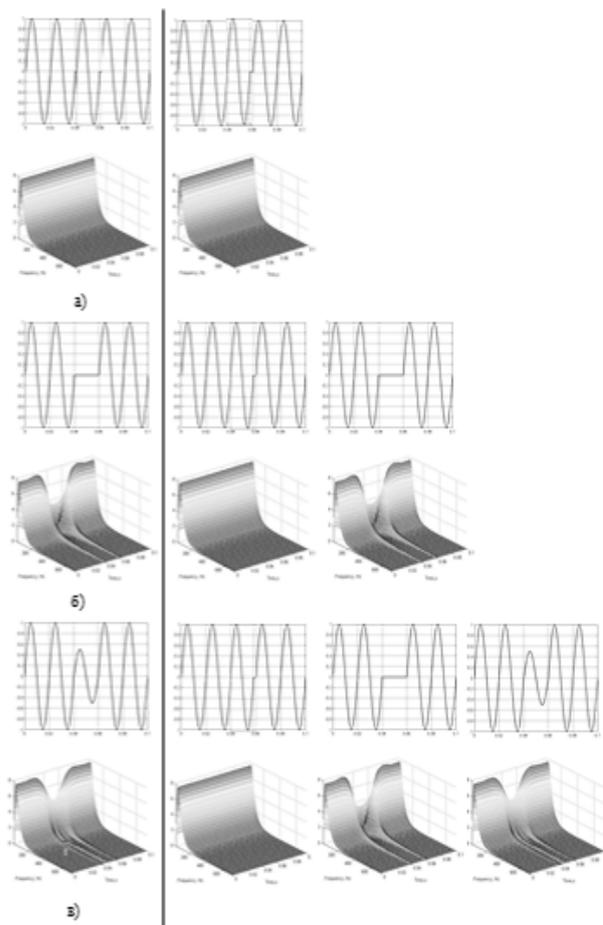


Рисунок 5 – Процесс обучения нейронной сети

Далее предъявляется второй вейвлет-образ (рис. 5, б). Он также вызывает неуспешное окончание фазы поиска и распределение нового нейрона. Аналогичный процесс повторяется для третьего вейвлет-образа (рис. 5, в). После накопления достаточного количества экземпляров вейвлет-образов можно запускать проверочные вейвлет-образы, которые имеют искажение в одной из точек координат. Например, третий вейвлет-образ с искажением в одной из точек координат (рис. 5, в) подается на вход сети. Он достаточно точно соответствует запомненному третьему вейвлет-образу (рис. 5, в), чтобы выдержать проверку на сходство, поэтому используется для обучения сети. Искажение в одной из точек координат вейвлет-образа устанавливает в 0 соответствующую компоненту вектора  $C$ , заставляя обучающий алгоритм установить этот вес запомненного образа в нуль, тем самым воспроизводя искажения в запомненном образе. Дополнительное изолированное искажение в одной из точек координат вейвлет-образа не изменяет запомненного

образа, так как не соответствует единице в запомненном образе.

Например, следующим вейвлет-образом может быть третий вейвлет-образ (рис. 5, в) с искажениями в двух точках координат. Он не соответствует ранее запомненному образу ( $S$  меньше чем  $\rho$ ), поэтому для его запоминания выделяется новый нейрон.

Этот пример иллюстрирует важность выбора корректного значения критерия сходства. Если значение критерия слишком велико, большинство образов не будут подтверждать сходство с ранее запомненными и сеть будет выделять новый нейрон для каждого из них. Это приводит к плохому обобщению в сети, в результате даже незначительные изменения одного образа будут создавать отдельные новые категории. Количество категорий увеличивается, все доступные нейроны распределяются, и способность системы к восприятию новых данных теряется. И наоборот, если критерий сходства слишком мал, сильно различающиеся образы будут группироваться вместе, искажая запомненный образ до тех пор, пока в результате не получится очень малое сходство с одним из них.

**Вывод.** Таким образом, из проведенных исследований видно, что вейвлет-преобразование имеет ряд преимуществ перед Фурье-преобразованием при анализе несинусоидальных режимов. На основе таких критериев как неортогональность вейвлета, комплексность вейвлет-функции, узкая ширина и форма – затухающий косинус избран вейвлет типа Paul. С помощью выбранного вейвлета Paul выполнено преобразование сигнала в двумерную и трехмерную область, что позволило получить частотные компоненты и их расположение на временной оси одновременно. Причем полученные при анализе коэффициенты можно использовать при анализе параметров качества электроэнергии для выявления различных видов искажений переменного напряжения в распределительных сетях 0,38/0,22 кВ. Кроме этого полученные результаты позволят на основе вейвлет-преобразования реализовать алгоритмы идентификации искажений электроэнергетических сигналов с помощью нейронных сетей.

#### Список использованных источников

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. - М.: Госстандарт РФ, 1997. - 33 с.
2. Сапунов М. В. Вопросы качества электроэнергии / М. В. Сапунов. – Новости электротехники. – 2001. – № 4. – С. 8-10.
3. Липский А. М. Взаимосвязь показателей качества электроэнергии в сетях с резкопеременными нагрузками / А. М. Липский. – Электричество. – 1983. № 8. – С. 50-52.
4. Воробьев В. И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В. И. Воробьев, В. Г. Грибунин. – С.-Пб.: Издательство ВУС, 1999. – 204 с.
5. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – 2-е. – СПб: Питер, 2006. – 751 с.
6. W. Sweldens. The Lifting Scheme: A new

Philosophy in Biorthogonal Wavelet Constructions. In Wavelet Applications in Signal and Image Processing III. – Proc. SPIE 2569, 1995, pp. 68-79.

7. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования / А. Н. Яковлев. – Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.

8. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

9. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен – Пер. с английского Ю. А. Зуев. – М.: Мир, 1992.

#### Анотація

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗА ИСКАЖЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Попов С. В., Гапон Д. А., Черемисин М. М.,  
Мірошник О. О.

*Виконано порівняльний аналіз застосування математичного апарату Фур'є та вейвлет перетворень щодо визначення типу спотворень несинусоїдальних режимів розподільних мереж 0,38/0,22 кВ. Сформульовано вимоги до вейвлет-фільтрів та вибрано вейвлет з сімейства Paul, що найбільш відповідає вимогам для вирішення поставленої задачі. Виконано тестовий аналіз моделей сигналів, що мають місце в розподільних мережах 0,38/0,22 кВ та містять різні види спотворень, за допомогою вказаних перетворень. Результати аналізу показали переваги вейвлет-аналізу перед Фур'є-аналізом, зокрема завдяки локалізованості вейвлетів як в часовій, так і в частотній області.*

#### Abstract

### USE NEURAL NETWORK AND WAVELET ANALYSIS FOR PATTERN RECOGNITION OF THE ELECTRICAL SIGNAL DISTORTIONS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

S. Popov, D. Gapon, M. Cheremisin,  
O. Miroshnyk

*A comparative analysis of the use of the mathematical apparatus of Fourier and wavelet transforms to determine the type of distortion nonsinusoidal modes of distribution networks 0.38/0.22 kV. The requirements to the wavelet filters and wavelet is selected from the family of Paul, that best matches the requirements for the task. A test pattern analysis of signals occurring in the distribution networks 0.38/0.22 kV and contain different kinds of distortions, using these transformations. The analysis showed the benefits of wavelet analysis to Fourier analysis, in particular through Localization wavelet in the time and frequency domains.*