

Дудка Н.А., кандидат технических наук

доцент кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

Абрамова А.А.

магистрант кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

Миннегулова Д.И.

магистрант кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Аннотация: в работе представлены результаты применения алгоритма на основе непараметрического критерия Уилкоксона для оценки отдельных параметров зашумленного гармонического сигнала. В качестве сигнала был выбран синусоидальный сигнал с различными значениями амплитуды, а в качестве аддитивного шума – Гауссов шум. В результате применения алгоритма исходный зашумленный сигнал без проведения предварительной фильтрации преобразовывался в случайную ранговую функцию. Поведение ранговой функции характеризуется наличием в ней экстремумов в точках анализа. Промежутки между экстремумами могут быть использованы для оценки частоты зашумленного сигнала, а точность оценки зависит от соотношения сигнал/шум.

Ключевые слова: гармонический (синусоидальный) сигнал, Гауссов шум, непараметрический критерий Уилкоксона, ранговая функция, экстремумы ранговой функции, разность значений ранговой функции, соотношение сигнал/шум.

*Dudka N.A., candidate of technical sciences
Associate Professor of the Department of Electrical Equipment
Kazan National Research
Technical University named after A.N. Tupolev -KAI
Russia, Kazan
Abramova A.A.
Master's student of the Department of Electrical Equipment*

*Kazan National Research
Technical University named after A.N. Tupolev -KAI*

Russia, Kazan

Minnegulova D.I.

Master's student of the Department of Electrical Equipment

Kazan National Research

Technical University named after A.N. Tupolev -KAI

Russia, Kazan

ESTIMATION OF THE POSSIBILITIES OF APPLICATION OF A NON-PARAMETRIC CRITERION FOR STUDYING NOISY HARMONIC SIGNALS

Abstract: The paper presents the results of applying the algorithm based on the nonparametric Wilcoxon criterion for evaluating individual parameters of a noisy harmonic signal. A sinusoidal signal with different amplitude values was selected as a signal, and Gaussian noise was selected as an additive noise. As a result of applying the algorithm, the original noisy signal without preliminary filtering was transformed into a random rank function. The behavior of a rank function is characterized by the presence of extrema in it at the points of analysis. The intervals between extrema can be used to estimate the periods of a noisy signal, and the accuracy of the estimate depends on the signal-to-noise ratio.

Keywords: harmonic (sinusoidal) signal, Gaussian noise, nonparametric Wilcoxon test, rank function, extrema of the rank function, difference in the values of the rank function, signal-to-noise ratio.

В работах [1-7] представлены результаты исследований применения критерия Уилкоксона для сегментации полутоновых изображений, искаженных помехой различной природы и интенсивности. Особенностью применения алгоритма на основе данного критерия является отсутствие проведения процедуры предварительной фильтрации зашумленного изображения. При этом результаты исследований показали, что алгоритм не критичен к законам распределения помех и позволяет производить эффективную сегментацию изображений при соотношениях сигнал/шум, близким к единице.

Очевидно, что воздействия помех различной природы и интенсивности могут привести к искажению информационных и управляющих сигналов в электротехнических и электронных устройствах и могут затруднить оценку параметров данных сигналов. В связи с этим, представляет интерес исследование возможностей применения алгоритма на основе критерия Уилкоксона для анализа и оценки параметров зашумленных электрических сигналов.

Для проведения исследований был выбран гармонический (синусоидальный) сигнал. Для оценки степени искажения сигнала использовалось соотношение сигнал/шум следующего вида:

$$m = \Delta f / \sigma,$$

где

Δf – возрастание (убывание) значения гармонической функции на интервале $0^\circ - 40^\circ$ ($140^\circ - 180^\circ$) и т.д.;

σ – среднеквадратическое отклонение шума.

Алгоритм построения ранговой функции для $N=n_1+n_2=5+5=10$ был реализован на языке программирования Си. Максимальное значение

суммы рангов равно 40, минимальное значение – 15. Для исследований был использован шум с нормальным законом распределения $N(0,1)$ (Гауссов шум). Синусоидальные сигналы формировались для значений аргумента от 0° до 390° градусов включительно (масштаб 1:10) с интервалом в 10° . Всего 40 точек для анализа. Значения ранговой функции формировались соответственно в диапазоне от 50° до 350° включительно. На всех ниже приведенных рисунках графики ранговых функций и их разности представлены в масштабе 1:10.

На рисунке 1 представлена характерная статистическая выборка зашумленного синусоидального сигнала. Амплитуда исходного (незашумленного сигнала) равна единице и, соответственно, $m = 0,17$ (сигнал сильно зашумлен). График ранговой функции представлен в форме квадратов. Анализ поведения большого числа исследуемых ранговых функций показывает, что в точках амплитудных значений синусоидального сигнала они принимают экстремальные значения. При этом вычисленные местоположения экстремумов колеблются в диапазоне от 70° до 110° и от 250° до 290° соответственно, что указывает на большую погрешность определения положения амплитудных значений сигнала.

В окрестности точки нулевого значения исходного синусоидального сигнала (180°) значения ранговых функций стремятся к своему минимальному значению, однако ошибка оценки ее местоположения достигает до $\pm 30^\circ$.

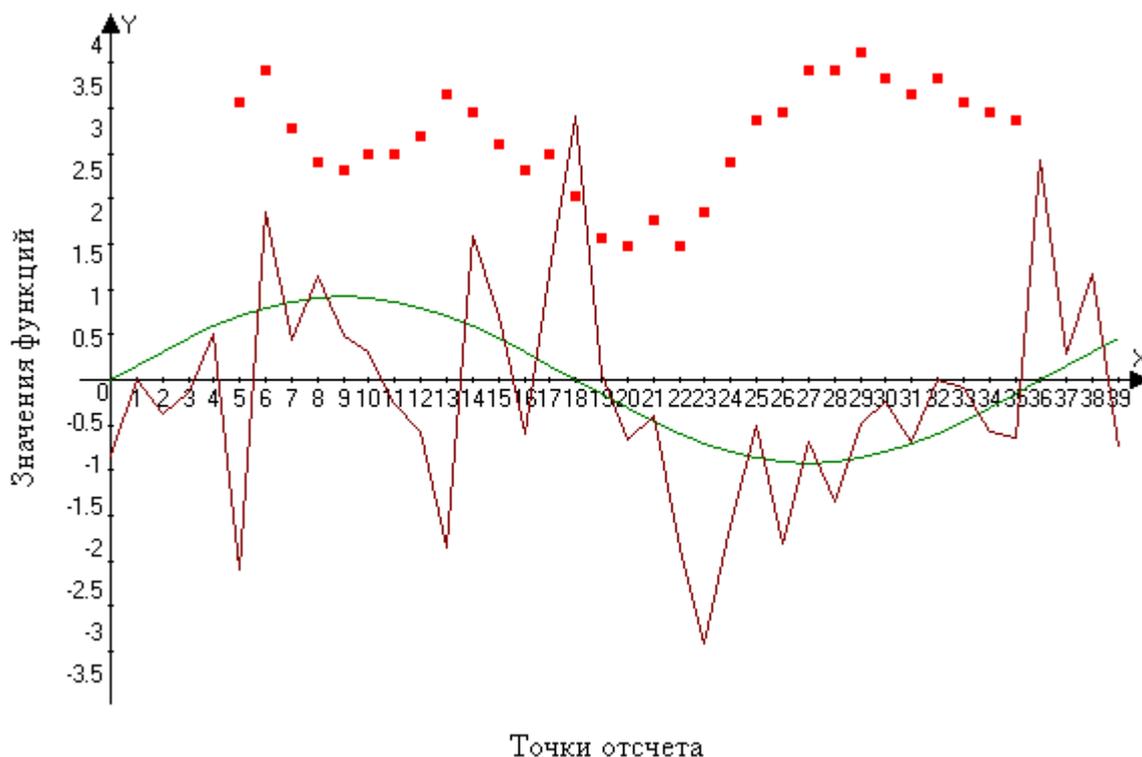


Рисунок 1 – Графики функций для соотношения сигнал/шум $m = 0,17$

На рисунке 2 представлена характерная статистическая выборка зашумленного синусоидального сигнала для $m = 1,7$. Как показали многочисленные результаты испытаний, начиная с амплитуды исходного (незашумленного сигнала), равной 10, экстремальные значения ранговых функций имеют стабильные значения. Этот факт будет использован в дальнейшем при исследованиях сигналов, рассматриваемых как сигналы со средним уровнем шума. Анализ вида представленной ранговой функции показывает, что ее поведение существенно отличается от поведения ранговой функции, представленной на рисунке 1: отсутствуют экстремумы в точках амплитудных значений, имеются участки с повторяющимися значениями функции. То есть, ранговая функция не имеет явно выраженных экстремумов, что в итоге и затрудняет оценку

местоположения точек амплитудных и нулевых значений синусоидального сигнала.

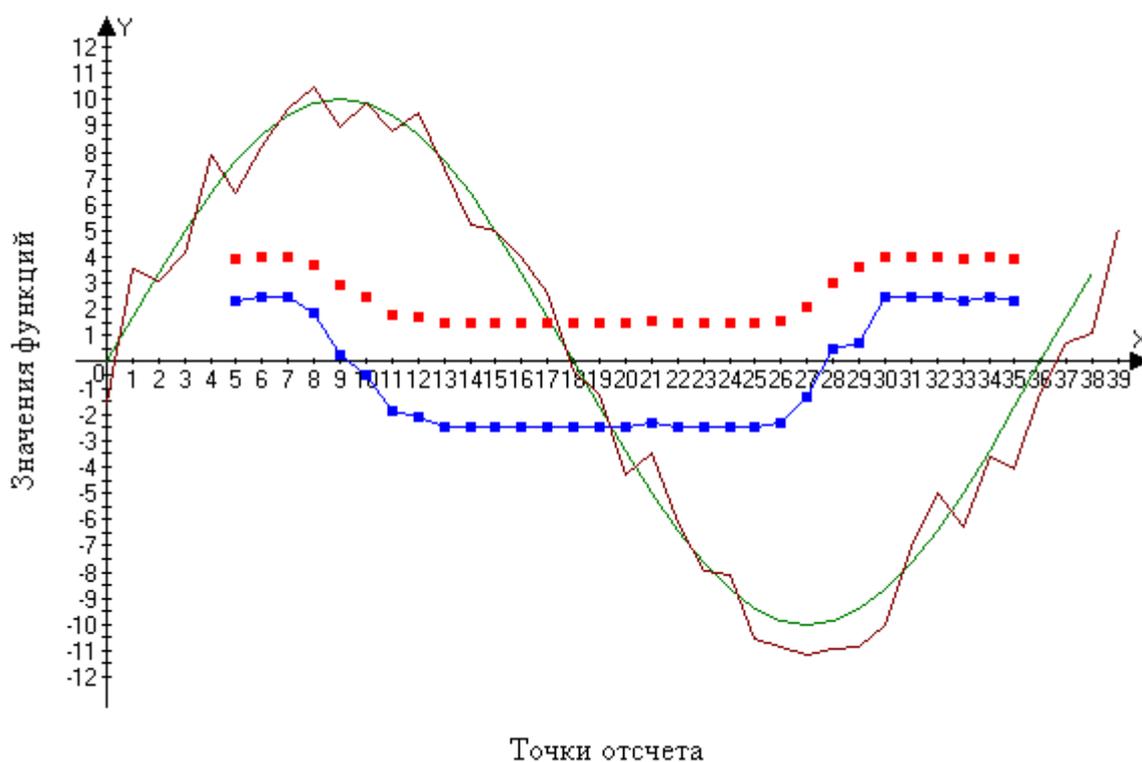


Рисунок 2 - Графики функций для соотношения сигнал/шум $m = 1,7$

В то же время, ранее [1] при обработке изображений был использован эвристический подход для выявления характерных точек ранговой функции, который предусматривает получение разности значений выборок X и Y (Y и X). На рисунке 2 представлен график разностей выборок X и Y ранговой функции (квадраты, соединенные линией), характерной особенностью которого является наличие точек перехода от положительных значений к отрицательным и наоборот. При этом, точки перехода однозначно совпадают с точками амплитудных значений синусоидального сигнала, а ошибки оценки их местоположения стремятся к нулю. В рассматриваемом случае оценить местоположение

нулевого значения исходного сигнала (180°) не представляется возможным.

Полученные результаты исследований применения непараметрического критерия Уилкоксона для анализа и оценки зашумленных электрических сигналов синусоидальной формы показывают, что данный критерий и алгоритм на его основе могут быть использованы для оценки отдельных параметров синусоидальных сигналов без проведения их предварительной фильтрации.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что из характерных точек чисто синусоидальных сигналов возможно использование только точек их амплитудных значений: максимальных и минимальных. При этом местоположение данных точек совпадает с местоположением точек, которым предшествует переход к отрицательным значениям разности ранговых функций (для максимального значения функции) и которым предшествует переход к положительным значениям разности ранговых функций (для минимального значения функции). Таким образом, измеряя интервалы времени между вышеуказанными точками, можно оценить частоту синусоидального сигнала.

Точность измерений интервалов зависит от соотношения сигнал/шум и, как показывают статистические испытания, при его значениях свыше 1,5 ошибки определения местоположения точек амплитудных значений стремятся к нулю.

Использованные источники:

1. Дудка Н.А. Оценка возможностей применения непараметрического критерия для алгоритма сегментации изображений [Электронный ресурс] //

Теория и практика современной науки.-2020.-№3(57) (дата публикации: март 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 20.10.21).

2. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Исследование возможностей применения непараметрического критерия в задаче обнаружения контуров на изображениях, искаженных импульсной помехой [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.-2020.-№4(57) (дата публикации: апрель 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 20.10.21).

3. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Исследование алгоритма обнаружения перепадов яркости изображений на основе критерия Уилкоксона [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.-2020.-№11(65) (дата публикации: ноябрь 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 20.10.21).

4. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Исследование возможностей непараметрического критерия в задаче обнаружения контуров на искаженных изображениях [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Сборник статей по материалам 2 Международной научно-практической конференции, Уфа 28.04.2020 (дата публикации: 28.04.2020). - [URL:http://www.perviy-vestnik.ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.10.21).

5. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Алгоритм обнаружения перепадов яркости изображений на основе применения непараметрического критерия [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Сборник статей по материалам 4 Международной научно-практической конференции, Уфа 24.11.2020 (дата публикации: 24.11.2020). - [URL:http://www.perviy-vestnik.ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.10.21).

6. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Сравнительная оценка работы алгоритмов по выделению перепадов яркости на изображениях,

искаженных помехой [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Научный журнал «Инновационные научные исследования», Уфа, Выпуск 2(2) (дата публикации: декабрь 2020). - [URL:http://www.perviy-vestnik.ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.10.21).

7. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Оценка результативности алгоритма выделения перепадов яркости на изображениях, искаженных помехой [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Научный журнал «Инновационные научные исследования», Уфа, Выпуск 2(2) (дата публикации: декабрь 2020). - [URL:http://www.perviy-vestnik.ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.10.21).