

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

АНАЛИЗ ЗАШУМЛЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

Аннотация: в работе представлены результаты применения алгоритма на основе непараметрического критерия Уилкоксона для оценки отдельных параметров зашумленного гармонического по модулю сигнала и гармонического сигнала для положительной его части периода. 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. Для оценки местоположения точек анализа использовалась не сами значения ранговой функции, а их разности. При этом точки перехода от положительных значений разности к отрицательным значениям совпадали с амплитудными значениями сигнала, что в итоге позволяло оценить частоту зашумленного сигнала. Точность такой 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

ANALYSIS OF NOISY HARMONIC SIGNALS BASED ON APPLICATION OF NON-PARAMETRIC CRITERION

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 in absolute value and a harmonic signal for its positive part of the period. A sinusoidal signal with different amplitude values was selected as a signal, and Gaussian noise 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. To estimate the location of the analysis points, not the values of the rank function themselves were used, but their differences. In this case, the points of transition from positive values of the difference to negative values coincided with the amplitude values of the signal, which ultimately made it possible to estimate the frequency of the noisy signal. The accuracy of this 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 полутонных 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.

В продолжение исследований [8] был выбран синусоидальный по модулю сигнал и сигнал в виде одиночного положительного импульса синусоидальной формы. 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 в выборке равно 40, минимальное значение – 15. Сумма всех рангов равна 55. 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 по модулю сигнала. Соотношение сигнал/шум для данного сигнала $m = 1,7$. Квадратами (не соединенными между собой) представлена реализация ранговой функции. Анализ поведения ранговых функций показывает, что в них отсутствуют явные экстремумы, при этом в области амплитудных значений сигналов ранговая функция монотонно убывает, а в области между сигналами (значение исходного сигнала равно нулю) - монотонно возрастает. Все указанные свойства ранговых функций не позволяют однозначно оценивать местоположения характерных точек для оценки параметров синусоидальных по модулю сигналов, например, для оценки их периода (периода следования).

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 1 представлен график разностей выборок X и Y ранговой функции (квадраты, соединенные между собой линией), характерной особенностью которого является наличие точек перехода от положительных значений разности к отрицательным значениям. При этом, точки перехода однозначно совпадают с точками расположения амплитуд синусоидального по модулю сигнала, а за координату точки амплитуды принимается положительное значение разности, за которым непосредственно следует отрицательное значение.

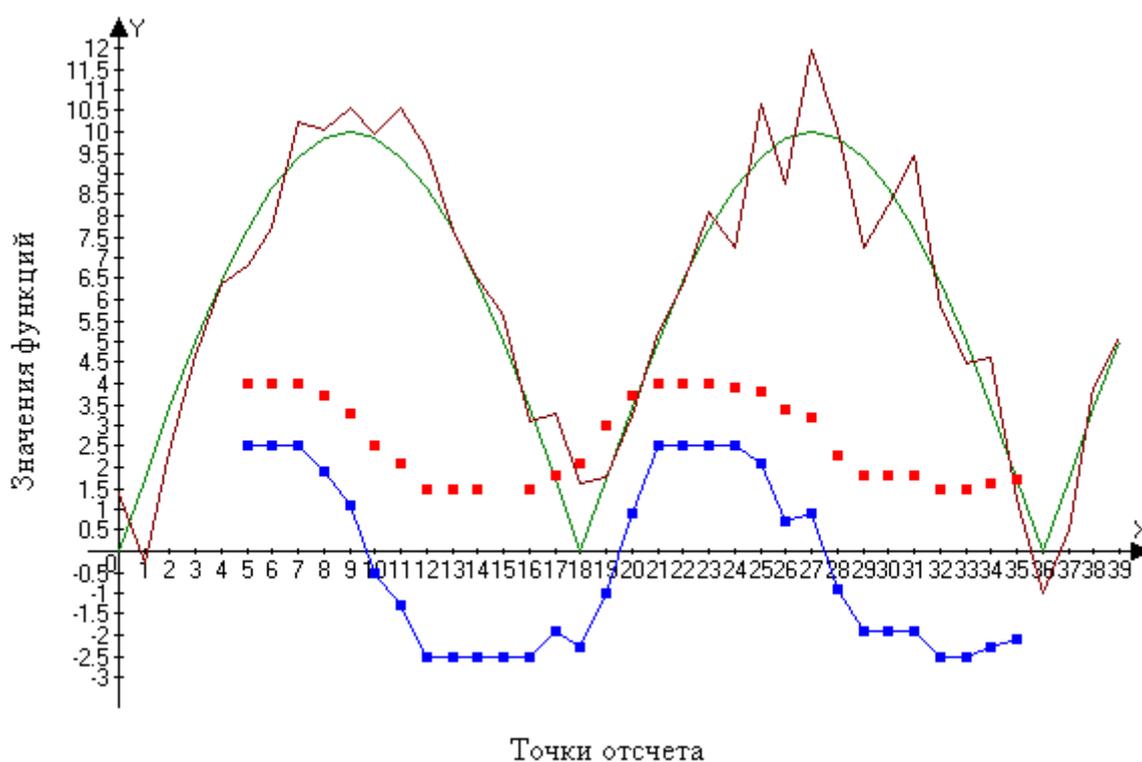


Рисунок 1 – зашумленный синусоидальный по модулю сигнал
и результаты его обработки

Очевидно, что ошибки определения местоположения точек амплитуд зависят от соотношения сигнал/шум для анализируемого сигнала. Статистические испытания показали, что при $m=1,7$ вероятность точности определения точек местоположения амплитуд составляет более 0,97, а для $m = 2$ стремится к 1,0. Таким образом, измеряя интервалы времени между точками местонахождения амплитуд, можно измерять период зашумленного синусоидального сигнала без проведения его предварительной фильтрации. В рассматриваемом случае как и в работе [8] оценить местоположение нулевого значения исходного сигнала (180°) не представляется возможным.

Также нельзя не отметить тот факт, что соотношение сигнал/шум для $N(0,1)$ зависит и от интервала снятия отсчетов сигнала (дискретизации по времени). Если брать в исследуемом случае точки через 5° , то, очевидно, соотношение сигнал/шум для амплитуды сигнала в 10 единиц уменьшится вдвое. Кроме этого, в анализируемой функции сигнала с началом снятия отсчетов появится и начальная фаза. В связи с этим, если априори не известно среднеквадратическое отклонение шума, то интервал дискретизации является целесообразным определить экспериментальным путем до получения устойчивых значений периода исследуемого сигнала.

На рисунке 2 представлена характерная статистическая выборка одиночного положительного импульса синусоидальной формы. Соотношение сигнал/шум для данного сигнала $m = 1,7$. Как видно из графика ранговой функции при возрастании величины сигнала она сначала возрастает, а затем приобретает монотонный характер до точки амплитудного значения. После точки амплитудного значения функция сначала убывает, а затем приобретает монотонный характер. На участках отсутствия сигнала алгоритм обрабатывает только шум, при этом значения

ранговой функции незначительно колеблется относительно ее среднего

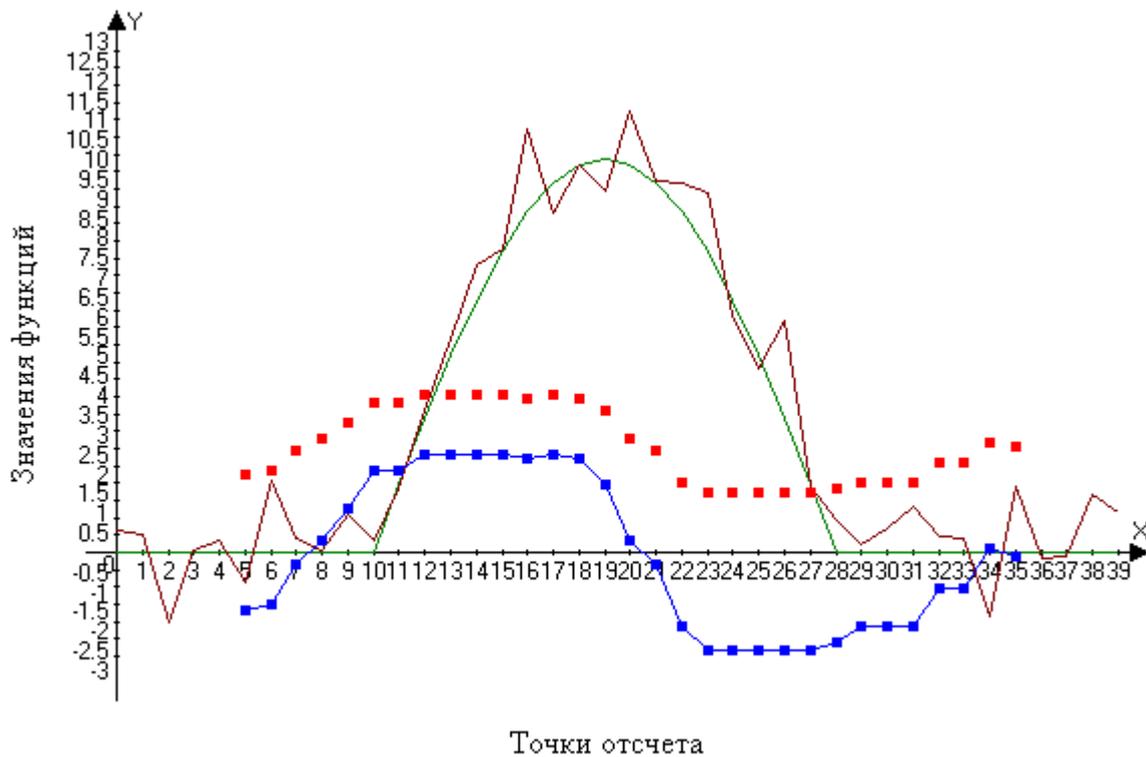


Рисунок 2 – зашумленный положительный одиночный импульс синусоидальной формы и результаты его обработки

значения в 27 единиц. Как и в выше рассмотренном случае, разность ранговых функций при переходе от их положительных значений к отрицательным значениям совпадает с точкой местоположения амплитуды сигнала. Точки перехода разности ранговых функций от отрицательных значений к положительным значениям не совпадают ни с одним информационным параметром сигнала. В связи с чем, для оценки периода следования импульсов синусоидальной формы можно использовать только интервалы между точками амплитудных значений сигнала. При этом в данном случае вычислить значение скважности не представляется возможным.

На основании представленных результатов исследований можно сделать следующие выводы. Полученный в результате применения алгоритма на основе непараметрического критерия Уилкоксона такой атрибут как ранговая функция имеет характерные точки, оценка которых позволяет вычислять отдельные параметры синусоидальных сигналов. Однозначно и при соотношении сигнал/шум более двух выделяются точки амплитудных значений сигналов. Определение временных интервалов между данными точками позволяет вычислить период следования импульсов и, следовательно, частоту сигнала.

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: 27.10.21).
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: 27.10.21).
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: 27.10.21).

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: 27.10.21).
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: 27.10.21).
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: 28.10.21).
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: 27.10.21).
8. Дудка Н.А., Абрамова А.А., Миннегулова Д.И. Оценка возможностей применения непараметрического критерия для алгоритма сегментации изображений [Электронный ресурс] // Теория и практика современной

науки.- 2021.-№10(76) (дата публикации: октябрь 2021). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 27.10.21).