

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРА ШУМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТНЫХ ФУНКЦИЙ MICROSOFT EXCEL

Ольга Владимировна Минина

Тульский государственный университет, 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92, студент,
тел. (915)780-87-32, e-mail: OL-within-sun@yandex.ru

Максим Борисович Богданов

Тульский государственный университет, 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92, кандидат
технических наук, доцент кафедры приборов и биотехнических систем

В статье показан метод построения спектра шумов измерительных сигналов, который основан на применении стандартных функций программы Microsoft Excel. Приведен пример построения спектра сигнала блока инерциальных чувствительных элементов.

Ключевые слова: спектр сигнала, Microsoft Excel.

METHOD OF CONSTRUCTION OF THE NOISE SPECTRUM OF NOISE SIGNAL WITH THE HELP OF MICROSOFT EXCEL STANDARD FUNCTIONS

Olga V. Minina

Tula State University, 300012, Russia, Tula, 92 Lenin Prospect, student, tel. (915)780-87-32,
e-mail: OL-within-sun@yandex.ru

Maxim B. Bogdanov

Tula State University, 300012, Russia, Tula, 92 Lenin Prospect, Ph. D., associate Professor of the
Department of Devices and Biotechnical Systems

This article shows a method for constructing a spectrum of measurement signal noise, which is based on the application of standard functions of the Microsoft Excel program. An example is given of constructing the signal spectrum of a block of inertial sensing elements.

Key words: spectrum of a signal, Microsoft Excel.

Введение

Построение спектра применяется при определении шумовых составляющих в сигналах измерительных каналов, установки полосы пропускания каналов и т.п. Существует множество методов построения спектра [1], часто применяются программы MATHCAD, MATLAB и др. Но наиболее широко распространен пакет Microsoft Excel, в большинстве случаев является базовым на каждой ПЭВМ, а также имеет стандартную функцию «Fourier analysis», необходимую для разложения данных в ряд Фурье.

Целью работы является изложение метода построения спектров шума измерительного сигнала с помощью стандартных функций Microsoft Excel.

1. Метод построения спектра шума измерительного сигнала

Исходные данные для построения спектра содержатся в текстовом файле, который представляет собой записанный на жесткий диск ПЭВМ сигнал. Данные записаны по строкам, каждая строка – новое значение сигнала, соответствующая определенному моменту времени. Если сигналов несколько, то их размещаем по столбцам. Следует обратить внимание, что дискрет по времени записи сигнала должен быть постоянным.

Для построения спектра необходимо выполнить следующую последовательность действий.

Шаг 1. Необходимо загрузить Microsoft Excel, создать новую книгу, затем выбрать и открыть нужный для построения спектра текстовый документ.

Шаг 2. В первый столбец записывается время, шаг по времени равен дискрету записи сигнала. Общее время равно длительности записи сигнала.

Для построения спектра используется функция «Fourier analysis» («Анализ Фурье»), размещенная в пакете анализа. Максимальное количество значений для преобразования с помощью указанной функции равно $2^{12} = 4096$. В основе лежат идеи алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БФП), так как оно наиболее эффективно по сравнению с дискретными и позволяет ускорить вычисления [2]. Поэтому из записанных данных необходимо использовать последовательность длинно ровно 4096 строк.

Шаг 3. Создается новый документ. Первому столбцу присваивается заголовок «Номер гармоники», второму «Исходный сигнал», третьему «Преобразование Фурье», четвертый и пятый столбцы называем «Частота, Гц» и «Спектр», соответственно.

В первый столбец записывается номера гармоник от 0 до 4096, во второй копируются числовые данные измерительного канала необходимые для построения.

Шаг 4. Необходимо открыть вкладку «Данные» → «Data analysis» → «Fourier analysis», а затем установить диапазон преобразования Фурье и столбец, где будут указаны результаты этого расчета.

Пример установки диапазона показан на рис. 1.

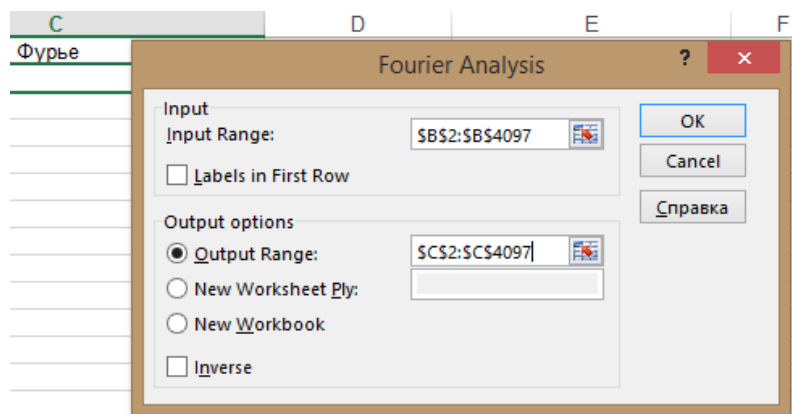


Рис. 1. Установка диапазон ввода и вывода при анализе Фурье

Результатом является ряд, представляющий собой разложение исходных данных по гармоникам.

Шаг 5. В результате преобразования Фурье получаются комплексные амплитуды соответствующих гармоник. Для построения спектра в столбце «Спектр» необходимо вычислить модуль (амплитуду) нулевой гармоники по формуле «=МНИМ.ABS(C2)/4096». А расчет остальных гармоник можно представить в виде выражения «=2·МНИМ.ABS(X)/4096», где X является адресом ячейки с результатами преобразования Фурье.

Шаг 6. В столбце «Частота, Гц» записывается частота спектра, вычисленная по формуле «=Y/T», где Y обозначает номер гармоники, а T – диапазон времени, равный длительности записи 4096 значений, т.е. «T=4096·дискрет по времени». Аналогичные действия необходимо произвести для всех гармоник.

Шаг 7. Строим график спектра. Для этого выделяются столбцы «Частота, Гц» и «Спектр», затем нужно открыть: «вкладка» → «рекомендуемые диаграммы» → «все диаграммы». Тип диаграммы устанавливается «точечная с прямыми отрезкам». Пример построения показан на рис. 2.

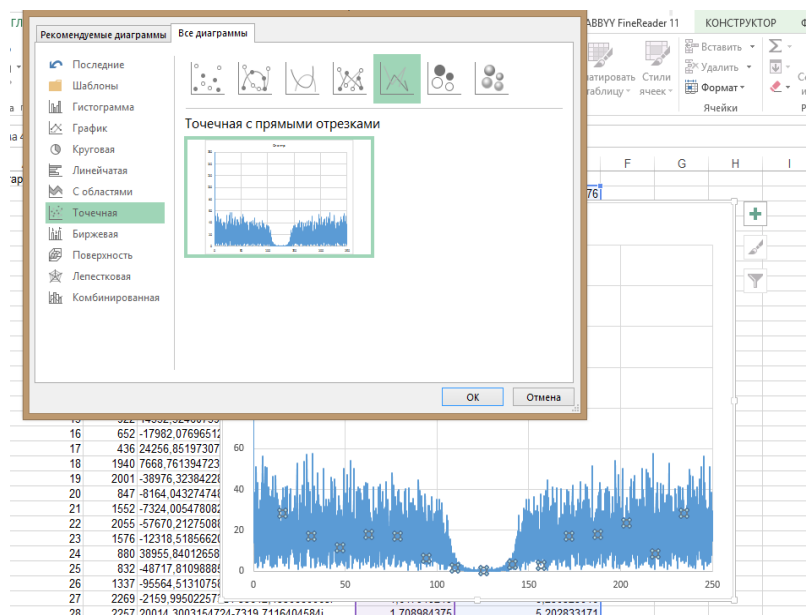


Рис. 2. Выбор диаграммы для построения спектра

Одной из погрешностей БПФ является, так называемый, «зеркальный эффект», заключающийся в зеркальном повторении реального спектра начиная с частоты «F/2», где F – частота опроса сигнала, равна величине обратной дискрету по времени. Для устранения влияния зеркального эффекта необходимо строить спектр до частоты F/2.

Шаг 8. Устанавливаются форматы осей, такие как границы, единицы измерения, подписи, шрифт.

Результатом выполнения указанной выше последовательности действий является искомая спектральная диаграмма.

2. Пример построения спектра сигнала блока инерциальных чувствительных элементов

Приведем пример применения метода для построения спектра сигнала блока инерциальных чувствительных элементов, являющегося составной частью бесплатформенной инерциальной навигационной системы [3]. Блок построен на микромеханических датчиках угловой скорости и акселерометрах. Построение спектра необходимо при анализе погрешностей блока.

Частота опроса данных блока 250 Гц, для устранения «зеркального эффекта» результат отображается в диапазоне (0...125) Гц.

Максимальное количество значений для БПФ с помощью Microsoft Excel равно 4096, следовательно, необходимо использовать данные, записанные в течение $4096/250=16,384$ с. Для примера взят промежуток времени (7,996...24,38) с, считая от начала записи.

Для примера рассмотрим сигнал канала датчика угловой скорости ОУ (ДУС ОУ). Сигнал представляет собой показания измерительного канала при неподвижном основании, т. е. фактически – шум. Размерность сигнала градус/с. Пример заполнения таблицы для построения спектра сигнала канала ДУС ОУ в Microsoft Excel показан на рис. 3.

	A	B	C	D	E	F
1	Номер гармоники		Преобразование Фурье	Частота, Гц	Спектр	
2	0	3506	12347859	0	3014,614014	
3	1	4087	-71345,8410866646+6694,89395404811i	0,061035156	34,9898768	
4	2	3163	70750,3918590758-75524,5164793541i	0,122070313	50,53078854	
5	3	2625	-3538,44793492339-45455,0661451861i	0,183105469	22,26200356	
6	4	2550	29419,6821618204-20700,6161798634i	0,244140625	17,56478178	
7	5	3151	-8377,1115915707-35443,4472964756i	0,305175781	17,78318673	
8	6	3559	-35885,3349776553-98869,4081884299i	0,366210938	25,67880929	
9	7	3287	31216,8455950176-51670,4469093773i	0,427246094	29,47668831	
10	8	2853	15921,3117439161+8515,9885766191i	0,48828125	8,816285816	
11	9	1647	24062,8268888681-9883,1179930523i	0,549316406	12,70184308	

Рис. 3 Практическое построение спектра шумов измерительного канала БИЧЭ

При построении спектра шума сигнала необходимо добавить элементы диаграммы, такие как название диаграммы и осей, сетка. Результат показан на рис. 4, где по оси абсцисс откладывается частота составляющей шума, а по оси ординат амплитуда шума.

Из рис. 4 можно увидеть, что метод работоспособен и с его помощью имеется возможность построения спектра измерительного сигнала. Для приведенного примера на основе анализа спектра можно заключить, что полоса пропускания измерительного канала составляет от 0 до 100 Гц, распределение шума по частотам равномерное, амплитуда шума на каждой отдельной гармонике не превышает 70 градус/с, а для большинства гармоник 50 градус/с.

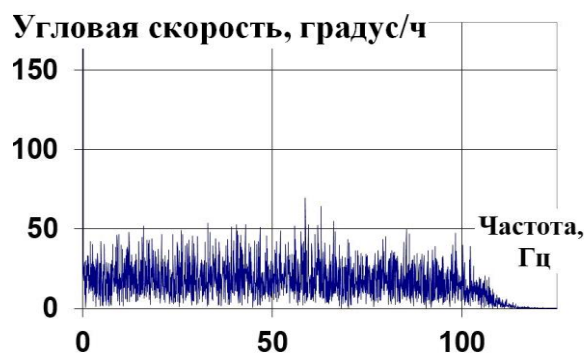


Рис. 4. Спектр шума измерительного сигнала ДУС ОУ блока инерциальных чувствительных элементов

В статье показан метод построения спектра сигнала, при помощи стандартных функций программы Microsoft Excel. Метод отличается относительной простотой. Так как программа Microsoft Excel широко распространена, то метод может быть рекомендован для использования студентами учебных заведений при курсовом проектировании, выполнении выпускных квалификационных работ и в научных исследованиях.

На примере доказана работоспособность метода и показана возможность его применения для оценки шумовых характеристик измерительного сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2016. – 751 с. : ил.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / под ред. Ю. Н. Александрова. – М. : Мир, 1978. – 835 с.
3. Богданов М. Б., Минина О. В., Шлипкин П. Ю. Результаты исследовательских испытаний по оценке долговременной нестабильности шумов и нулевых сигналов блока инерциальных чувствительных элементов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. (в печати).

© О. В. Минина, М. Б. Богданов, 2017