

А.В. БОГОМАЗ, м.н.с., Институт ионосферы (г. Харьков)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА С ЗАДАННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ МОЩНОСТИ

У статті розглянуто способи моделювання випадкових сигналів формуванням заданої форми спектральної густини потужності. описано комп'ютерну модель випадкового сигналу, який представляє суму гармонічних сигналів з випадковими початковими фазами, приведено результати моделювання сигналу некогерентного розсіяння.

In the article the ways of casual signal simulation by the forming of the given shape of power spectral density are considered. the computer model of casual signal, which is a sum of harmonic signals with random initial phases, is described. the results of incoherent scatter signal simulation are represented.

Введение. Моделирование сигналов играет огромную роль практически во всех отраслях науки и техники. В частности, в ионосферных исследованиях для проверки приемного тракта и системы обработки радара некогерентного рассеяния (НР) необходимо использовать контрольные сигналы, подобные по своим характеристикам сигналам, проходящим от ионосферы.

Цели статьи – рассмотреть методы моделирования сигналов, в которых используется принцип формирования заданной формы спектральной плотности мощности (СПМ); показать возможность применения таких методов для моделирования сигналов НР.

Анализ публикаций. Сигнал, некогерентно рассеянный на флуктуациях электронной плотности в ионосфере, представляет собой случайный нестационарный процесс. Для моделирования случайного сигнала с заданной СПМ можно использовать систему, состоящую из генератора шума и линейного фильтра. Спектральную мощность шума обычно выбирают постоянной в полосе частот, немного превышающей полосу пропускания линейного фильтра. При этом спектральная плотность на выходе системы определяется амплитудно-частотной характеристикой фильтра. Такая система описана в [1]. Ее недостатки заключаются в трудоемкости реализации (расчет, создание и настройка линейного фильтра) и сложности оперативного изменения параметров моделируемого сигнала. Оперативное изменение параметров сигнала необходимо, например, при моделировании НР-сигнала с разных высотных участков.

Другой способ получения случайного сигнала с заданной СПМ описан в [2]. Он основан на том, что сигнал представляется в виде суммы гармонических колебаний со случайной, равномерно распределенной в интервале от $-\pi$ до π , фазой. Функциональная схема имитатора, описанного в этой статье, включает 20 перенастраиваемых генераторов, подключенных к 20 двоиным аттенюаторам, а также сумматор и оперативное запоминающее устройство, управляемое программируемым контроллером.

Существенными недостатками описанной системы является то, что для моделирования реальных сигналов (в частности сигналов НР) 20 гармоник часто недостаточно, а изготовление более 10...15 генераторов на практике является сложной задачей. Этим недостатком лишена ниже описанная программная модель, в которой число гармоник ограничено лишь временем счета на ПК и точностью воспроизведения формы спектра.

Метод решения. В разработанной программе задаются начальная частота сигнала f_1 , шаг по частоте Δf и число генераторов N . Отсюда следует, что частота k -й гармоники будет $f_k = f_1 + (k-1) \cdot \Delta f$. Амплитуды гармоник U_k , которые соответствуют заданным значениям СПМ W_k ($U_k = \sqrt{W_k}$), и начальные фазы генераторов θ_k заносятся в массивы.

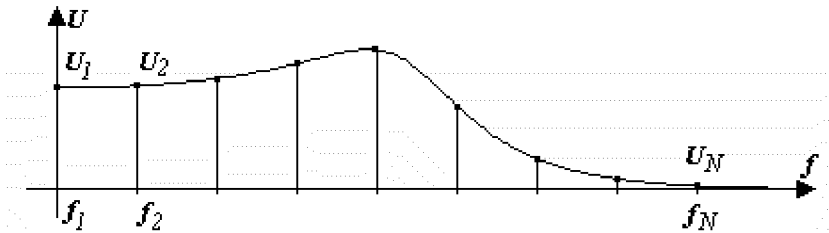


Рис. 1

Значения фаз вырабатываются генератором псевдослучайных вещественных чисел, равномерно распределенных в интервале $[-\pi; \pi]$.

Суммируя гармоники по формуле

$$U_c(t) = \sum_{k=1}^N U_k \sin \left[2\pi \cdot (f_1 + (k-1) \cdot \Delta f) \cdot t + \theta_k \right], \quad (1)$$

получаем результирующий сигнал.

Для проверки точности синтеза этот сигнал подвергался преобразованию Фурье вида [3]

$$U'_k(\omega) = \sqrt{\left(\int_{-\infty}^{\infty} U_c(t) \cos \omega t dt \right)^2 + \left(\int_{-\infty}^{\infty} U_c(t) \sin \omega t dt \right)^2}. \quad (2)$$

Здесь $\omega = 2\pi f$ – круговая частота.

Необходимо отметить, что, так как на практике интегрирование в пределах от $-\infty$ до ∞ осуществить невозможно, то в качестве нижней границы было выбрано значение $t=0$ (для сохранения абсолютных значений гармоник результат интегрирования необходимо удвоить). Верхняя же граница

интегрирования выбирается исходя из соображений затраты машинного времени и необходимой точности передачи получаемого спектра.

Еще одной особенностью является то, что в формулах (1) и (2) представлены непрерывные во времени сигналы. В программе же требовалось провести их дискретизацию по переменной t . Так как функция $U_c(t)$ имеет конечную ширину спектра, то, согласно теореме Котельникова [4], в этом случае она полностью будет определена своими дискретными значениями в точках, отстоящих по времени не более чем на $\frac{1}{2f_N}$ друг относительно друга.

При синтезе сигнала по формуле (1) необходимо учитывать и то, что исходный спектр дискретный, следовательно, синтезируемый сигнал периодичный во времени. Его период определяется нижней частотой f_1 .

Практические результаты. Работа программы формирования случайного сигнала по описанному выше методу (путем суммирования большого числа гармоник с амплитудами, которые соответствуют заданной СПМ) была проверена при различных условиях эксперимента. Изменялись количество гармоник и шаг между ними, частота дискретизации сигнала, форма исходного спектра и время накопления сигнала при выполнении преобразования Фурье. Полученный по формуле (2) спектр сравнивался с исходным.

При моделировании сигнала некогерентного рассеяния интервал дискретизации был выбран равным 30,555 мкс, т.е. таким же, как и в АЦП приемника радара ИР Института ионосферы. Выбранное число гармоник $N = 300$ при шаге между ними $\Delta f = 50$ Гц обеспечивает перекрытие спектра шириной 15 кГц, что при длине излучаемой передатчиком волны $\lambda = 2$ м достаточно для описания самого широкого реально существующего спектра сигнала, некогерентно рассеянного ионосферой. Самый широкий спектр – у сигнала, рассеянного областью, состоящей из самых легких ионов (ионов водорода H^+). Зависимость формы спектра от ионной и электронной температур, а также от массы и состава ионов показана в [5].

На рис. 2, а показан смоделированный сигнал ИР, а на рис. 2, б показаны спектры сигнала – исходный (гладкая линия) и рассчитанный по формуле (2). Исходный спектр был получен путем решения прямой задачи электродинамики при следующих реально возможных параметрах ионосферной плазмы: концентрация ионов водорода H^+ – 100 %, температура ионов $T_i = 1000$ К, температура электронов $T_e = 2000$ К. Расчет спектра производился по методике, описанной в [6].

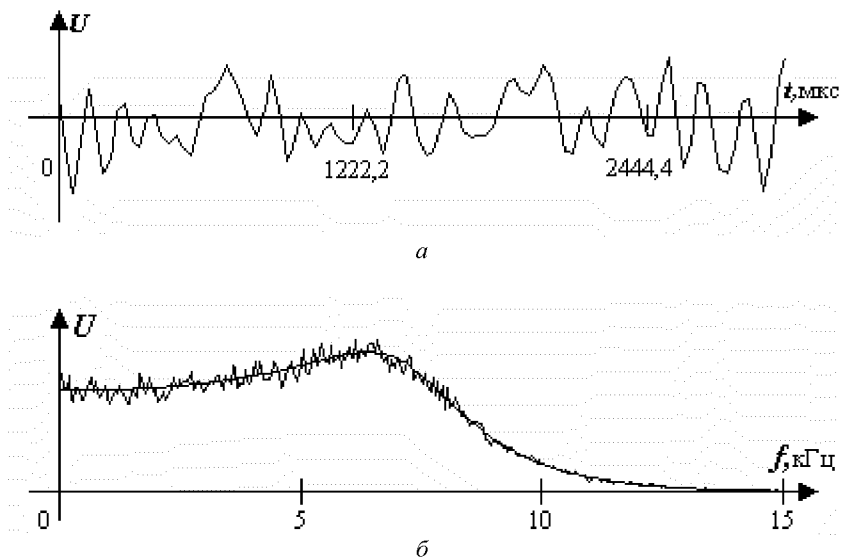


Рис. 2

Выводы. Приведенные результаты показывают практическую пригодность способа моделирования программным путем случайных сигналов с заданной формой спектральной плотности мощности, в частности возможно моделирование сигналов НР.

Список литературы: 1. Лысенко В.Н., Капустян А.А., Бруско А.В. Имитация НР-сигнала // Вестник Харьковского политехнического института. 1986. № 234: Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. Вып. 4. С. 60–64. 2. Лысенко В.Н. Синтез модели НР-сигнала // Вестник Харьковского политехнического института. 1987. № 248: Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. Вып. 5. С. 21–24. 3. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1967. 780 с. 4. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. – М.: "Советское радио", 1957. 495 с. 5. Брюнелли Б.Е., Кочкин М.И., Пресняков И.Н., Терещенко Е.Д., Терещенко В.Д. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. Л.: "Наука", 1979. 188 с. 6. Гринченко С.В. Оптимальный алгоритм многократных вычислений теоретических характеристик некогерентно рассеянного сигнала // Сборник научных трудов ХГПУ. 1999. Вып. 7. С. 331–336.

Поступила в редакцию 8.04.09