

*А.В. БОГОМАЗ*, н.с., Институт ионосферы, Харьков;  
*Д.А. ИСКРА*, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИМИТАЦИИ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА

В статье описан разработанный имитатор некогерентно рассеянного сигнала на базе персонального компьютера.

**Ключевые слова:** некогерентное рассеяние, имитация, тестирование, персональный компьютер.

**Введение.** Использование звуковой платы (ЗП) персонального компьютера (ПК) в радиофизических исследованиях довольно распространено. В качестве примеров применения ЗП при исследовании ионосферы можно привести реализацию системы наклонного зондирования [1] и экспериментальную систему обработки радара некогерентного рассеяния (НР) [2].

Кроме аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и сигнального процессора в состав ЗП входят не менее двух цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), позволяющих синтезировать аналоговый сигнал звукового диапазона (0,02–20 кГц) практически любой формы. Максимальная частота дискретизации ЗП может достигать 192 кГц, а разрядность оперируемых ею чисел – 32 бит [3]. Это делает ЗП пригодной для формирования сигнала, подобного НР сигналу.

Это необходимо для тестирования аппаратуры и программного обеспечения (ПО) обработки данных радара НР.

**Программная составляющая имитатора НР сигнала.** Синтез сигнала основан на формировании смеси случайных шумоподобных сигналов (полезного и помехи) с известными спектральными плотностями мощности (СПМ) и отношением сигнал/помеха [4]. Для синтеза сигнала, учитывающего высотные зависимости мощности НР сигнала и параметры ионосферной плазмы, можно использовать основанный на [4] способ [5, 6]. В соответствии с ним мгновенные значения сигнала:

$$S^{\text{сигн+пом}}(t, h) = k(h) \cdot \sum_{i=1}^N \left[ A_i^{\text{сигн}}(h) \cdot \sin(\omega_i t + \theta_i) \right] + \sum_{j=1}^M \left[ A_j^{\text{пом}}(h) \cdot \sin(\omega_j t + \theta_j) \right],$$

где  $h$  – высота,  $A_i^{\text{сигн}}(h) = \sqrt{W_i^{\text{сигн}}(h)}$  и  $A_j^{\text{пом}}(h) = \sqrt{W_j^{\text{пом}}(h)}$  – амплитуды гармоник, определяемые высотными зависимостями СПМ сигнала и помехи

© А.В. Богомаз, Д.А. Искра, 2013

$W_i^{\text{сигн}}(h)$  и  $W_j^{\text{пом}}(h)$ ,  $\omega_i$  и  $\omega_j$  – частоты составляющих,  $\theta_i$  и  $\theta_j$  – случайные начальные фазы, равномерно распределённые в интервале  $[-\pi; \pi]$ ,  $k(h)$  – нормирующий коэффициент, зависящий от высотного распределения мощности НР сигнала, и необходимый для задания нужного отношения сигнал/помеха. Рассчитывается  $k(h)$  до синтеза смеси по формуле:

$$k(h) = \sqrt{q(h)} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}}(h))^2}{\sum_{i=1}^N (A_i^{\text{сигн}}(h))^2}} .$$

Здесь  $q$  – отношение сигнал/помеха (сигнал/шум).

Для синтеза сигнала было разработано ПО. На один из каналов ЗП осуществляется вывод сигнала, подобного НР сигналу. На второй канал осуществляется вывод сигнала синхронизации, который подобный импульсу запуска передатчика (ИЗП) радара НР и служит для отсчёта начала новой радиолокационной развёртки.

**Аппаратная составляющая имитатора НР сигнала.** Имитатор может использоваться совместно с системой обработки радара НР на базе сигнальных процессоров TMS320 [7], с многоканальным программируемым коррелятором [8] и системой обработки на базе модуля АЦП E20-10.

В состав программно-аппаратного комплекса входит один или два персональных компьютера (в зависимости от целей тестирования системы обработки радара НР) и формирователь импульса ИЗП. Структурная схема программно-аппаратного комплекса для имитации НР сигнала показана на рис. 1.

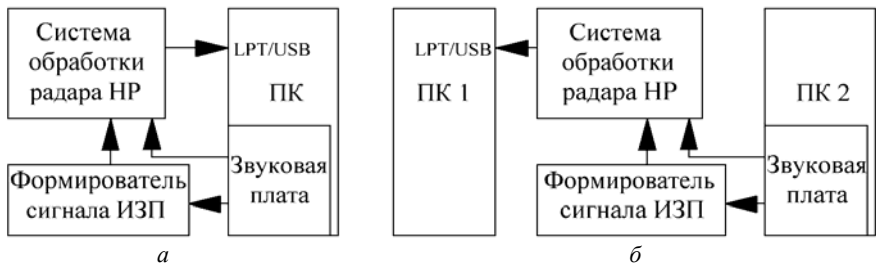


Рис. 1 – Структурная схема программно-аппаратного комплекса для имитации НР сигнала: *а* – на базе одного компьютера; *б* – на базе двух компьютеров

Формирователь сигнала ИЗП (рис. 2), позволяющий получить короткие импульсы ТТЛ-уровня, состоит из транзисторного ключа (транзистор  $VТ1$  –  $BC547A$ ) и триггера Шмитта (микросхема  $DD1$  – 7414).

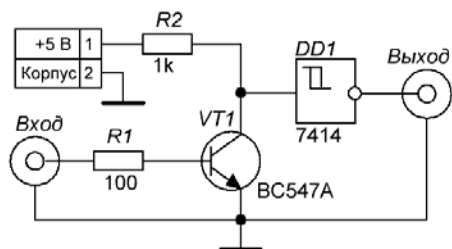


Рис. 2 – Схема принципиальная электрическая формирователя сигнала ИЗП

**Результаты работы программно-аппаратного комплекса для имитации НР сигнала.** На рис. 3 представлена осциллограмма синтезированных имитатором сигналов. Масштаб по оси  $x$  – 5 мс/дел., по оси  $y$  – 2 В/дел. Во время, когда сигнал на выходе отсутствует, производится расчёт мгновенных значений смеси следующей радиолокационной развёртки. Продолжительность расчёта зависит от производительности компьютера, задаваемой точности вычисления тригонометрических функций и выбранного числа гармоник, которыми представлены полезный сигнал и шум. В данном моделировании параметры ионосферы были выбраны не изменяющимися с высотой (температура электронов и температура ионов были равны 1000 К, относительное ионов атомарного кислорода – 100%). Отношение сигнал/шум до высоты 1450 км было равно 10, а выше неё – равно нулю (что означает отсутствие полезного сигнала).

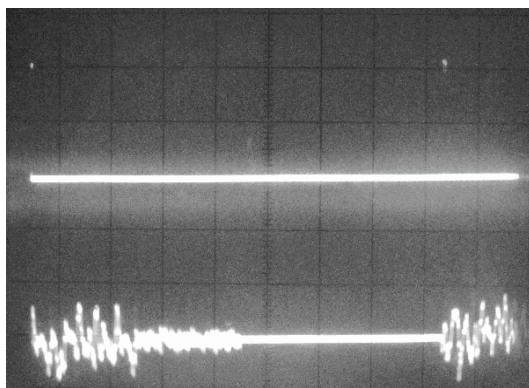


Рис. 3 – Осциллограммы синтезированных сигналов на двухлучевом осциллографе (верхний луч – синтезированный сигнал ИЗП, нижний луч – сигнал, подобный НР сигналу).

Работа имитатора была проверена с системой обработки данных радара НР на базе модуля E20-10. Результаты приведены на рис. 4 и 5.

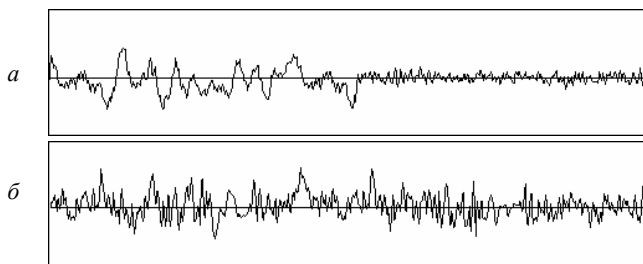


Рис. 4 – Сигналограммы развёрток: а –  $q=10$ , б –  $q=1$

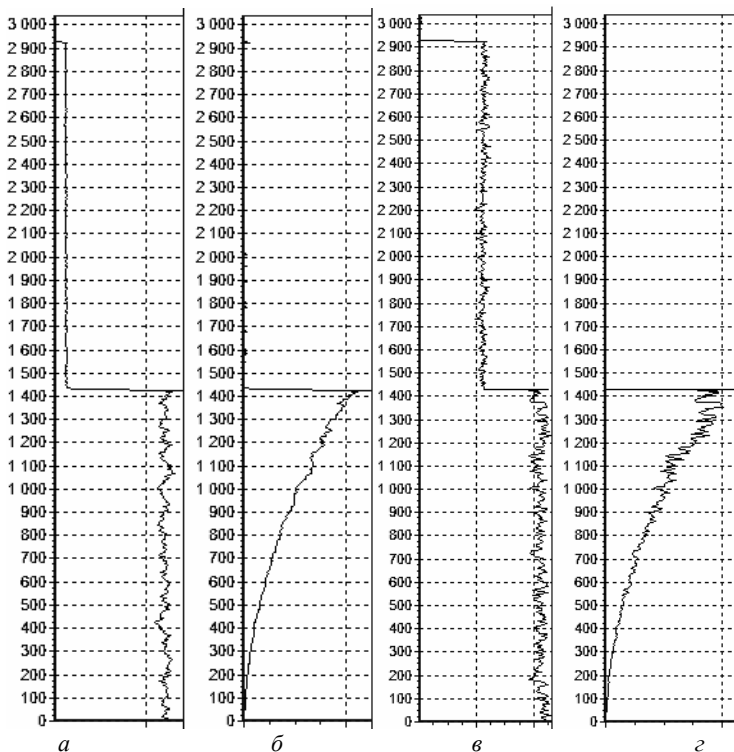


Рис. 5 – Мощность сигнала (а и в) и сечение рассеяния (б и г) для  $q=10$  (а и б) и  $q=1$  (в и г), усреднённые по 1464 радиолокационным развёрткам

На рис. 4 представлены сигналограммы развёрток до высоты 3000 км для разных значений отношения сигнал/шум. Количество гармоник, описывающих полезный сигнал, было равным 80. Такое же количество гармоник описывает помеху. Параметры ионосферной плазмы те же, что и в случае сигнала, представленного на рис. 3.

Усреднив мощность сигнала по 1464 развёрткам (что соответствует минутному накоплению во время работы радара), можно рассчитать отношение сигнал шум принятого сигнала  $q$  и сечение рассеяния  $qh^2$ . Для рассматриваемых случаев вид высотных зависимостей этих параметров показан на рис. 5.

**Выводы.** Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет получать сигналы для настройки и тестирования аппаратной составляющей системы обработки радара НР, а также для отладки ПО.

Создано ПО имитатора (в котором реализованы расчёт СПМ НР сигнала и шума, расчёт мгновенных значений смеси сигнала и шума, вывод сигнала на выход ЗП) и необходимое аппаратное обеспечение в виде формирователя сигнала ИЗП. Комплекс позволит упростить процесс отладки ПО для обработки данных радара НР и повысить точность расчёта параметров ионосферной плазмы.

**Список литературы:** 1. *Щирый А.О.* Математическое и программное обеспечение комплекса ЛЧМ-зондирования ионосферы / *А.О. Щирый, А.Е. Недопёкин* // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Серия: «Радиофизика и ионосфера». – 2012. – № 57 (963). – С. 49–56. 2. *Ерёмин А.Н.* Экспериментальная система обработки сигнала, некогерентно рассеянного от ионосферы / *А.Н. Ерёмин* // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Радиофизика и ионосфера». Харьков: НТУ «ХПИ». – №9, т.5. – 2002. – С. 34–36. 3. *Гуж М.Ю.* Аппаратные средства IBM PC. 3-е изд. / *М.Ю. Гуж.* – СПб. : Питер. – 2006. – 1072 с. 4. *Пуляев В.О.* Спосіб імітації суміші шумоподібного сигналу та завади із заданими спектрами / *В.О. Пуляев, О.В. Богомаз, Д.В. Котов* // Патент України на корисну модель UA № 42311. Опубліковано 25.06.2009 в бюл. № 12/2009. 5. *Богомаз О.В.* Спосіб імітації висотного розподілу сигналу некогерентного розсіяння та завади / *О.В. Богомаз* // Патент України на корисну модель UA № 45547. Опубліковано 10.11.2009 в бюл. № 21/2009. 6. *Пуляев В.О.* Імітація сигналів некогерентного розсіяння з урахуванням висотного розподілу іоносферних параметрів, динаміки плазми та заводових складових / *В.О. Пуляев, О.В. Богомаз* // Космічна наука і технологія. – Київ. – 2011. – Т. 17. № 5. – С. 24–28. 7. *Лысенко В.Н.* Программируемый коррелятор для измерения параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния / *В.Н. Лысенко* // Вестник ХГПУ. – №31. – 1999. – С. 96–99. 8. *Лысенко В.Н.* Корреляционная обработка сигнала некогерентного рассеяния / *В.Н. Лысенко, А.Ф. Кононенко, Ю.В. Черняк* // Вестник НТУ «ХПИ». – №23. – 2004. – С. 49–62.

*Поступила в редколлегию 18.11.2013*

УДК 621.396

**Программно-аппаратный комплекс для имитации некогерентно рассеянного сигнала** / *А.В. Богомаз, Д.А. Искра* // Вісник НТУ «ХПИ». Серия: Радиофизика та іоносфера. – Х.: НТУ «ХПИ», 2013. – № 33 (1066). – С. 3-7. Бібліогр.: 8 назв.

У статті описано розроблений імітатор некогерентно розсіяного сигналу на базі персонального комп'ютера.

**Ключові слова:** некогерентне розсіяння, імітація, тестування, персональний комп'ютер.

In the article an imitator of the incoherent scattered signal based on personal computer is described.

**Keywords:** incoherent scatter, imitation, testing, personal computer.