

2. Ильина Ю.Д., Иванов А.П. Обзор методов анализа сигналов телекоммуникационных систем // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 25–27 ноября 2014 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2014. – С. 340–342.

**УДК 621.382.2**

## **НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ГАУССОВСКОГО ШУМА**

*Е.Д. Кашаев, Е.С. Селезнев, А.В. Чернов*

*Пензенский государственный университет, Пенза*

На младших курсах студентам преподаются естественно-научные и математические дисциплины, в которых рассматриваются основополагающие теоретические понятия, аксиомы, формулы, законы. Однако существует проблема в понимании студентами того, как преподаваемый на различных кафедрах материал связан между собой. В настоящее время нет дисциплины, которая бы связывала разрозненные понятия. Предлагается вариант возможного решения этой проблемы – создание функционального узла будущего учебного стенда для исследования статистических параметров случайной двоичной последовательности. Стенд будет включать в себя такие компоненты, как генератор низкочастотного шумового сигнала, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, программные средства для обработки сигнала. Источником шума является полупроводниковый диод – стабилитрон, работающий в режиме лавинного пробоя при очень малом токе.

В качестве специализированных источников шума в физическом датчике случайной двоичной последовательности могут быть применены шумовые диоды как отечественного, так и зарубежного производства. Из отечественной элементной базы класс шумовых диодов представлен одним экземпляром — 2Г401 с маркировкой А, Б, В. В силу того, что производство подобных диодов прекращено и подобные компоненты отсутствуют в свободной продаже, авторы данной публикации использовали данные, полученные с интернет-ресурса [www.eand.ru](http://www.eand.ru). Модель шумового диода способна формировать шумовой сигнал, спектральная плотность мощности которого равномерна до частоты 3,5 МГц (у модели 2Г401Б).

Среди зарубежной элементной базы выделяется семейство шумовых диодов, производимых фирмой Noisecom: NC100, 200, 300, 400. Диоды серии NC100 генерируют шум с равномерной спектральной

плотностью до частоты 3 МГц, NC200 – до 100 МГц, NC300 – до 11 ГГц, NC400 – до 110 ГГц (по данным ресурса [www.meratest.ru](http://www.meratest.ru)). Проблема в использовании подобных шумовых диодов при построении стенда генератора случайной двоичной последовательности заключена в их дороговизне и в специфических условиях приобретения (с обязательным указанием организации, делающей заказ, и указанием при этом должности сотрудника). В силу перечисленных выше факторов использование зарубежной элементной базы в некоторых средствах защиты информации недопустимо. Кроме того, существует угроза внедрения на этапе производства закладных устройств и/или наличия недокументированных особенностей в подобных радиодеталях.

В связи с изложенным приобретение вузом в ближайшее время необходимой зарубежной элементной базы, высокопроизводительных аналого-цифровых преобразователей, высокочувствительных осциллографов и спектроанализаторов мало вероятно.

Так как для учебного процесса используется аналого-цифровой преобразователь звуковой карты персональной ЭВМ с частотой дискретизации, равной 44100 Гц, анализ сигнала, спектр которого включает в себя частоты выше 22050 Гц, невозможен. Из имеющихся в свободном доступе радиоэлементов, способных формировать шумовой сигнал с равномерной плотностью в спектре частот до 20 кГц, был выбран отечественный стабилитрон Д814Г.

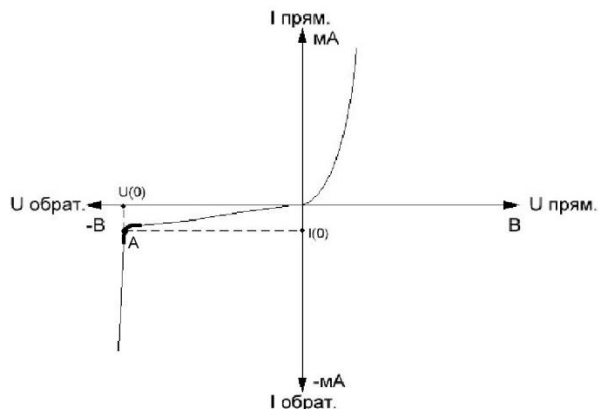


Рис. 1. Вольтамперная характеристика стабилитрона (жирным выделен участок, котором наблюдается лавинный пробой диода)

На рисунке 1 показана рабочая точка А, которая выбирается на обратной ветви вольтамперной характеристики диода. Статистические характеристики шумового сигнала  $x(t)$  зависят от выбора рабочей точки А для конкретного экземпляра шумящего элемента. Для этого в схеме используется подстроечный резистор R2 (рис. 2).

Для учебного стенда изготовлены два генератора шума, на которых установлены диоды разных марок с целью демонстрации отличий генераторов в спектральной и временной областях. Из-за неустойчивости характеристик диодов, даже взятые из одной партии, они не гарантируют одинаковость характеристик шумового сигнала. Поэтому на рисунке 1 не указаны числовые значения тока и напряжения, при которых стабилитрон входит в режим лавинного пробоя.

На интернет-ресурсе [www.shemki.ru](http://www.shemki.ru) выбрана и реализована схема, представленная на рисунке 2.

Источником шума служит стабилитрон VD1, включенный в цепь базы транзистора VT1. От величины тока через стабилитрон зависит уровень выходного шумового сигнала. Его регулируют переменным резистором R2.

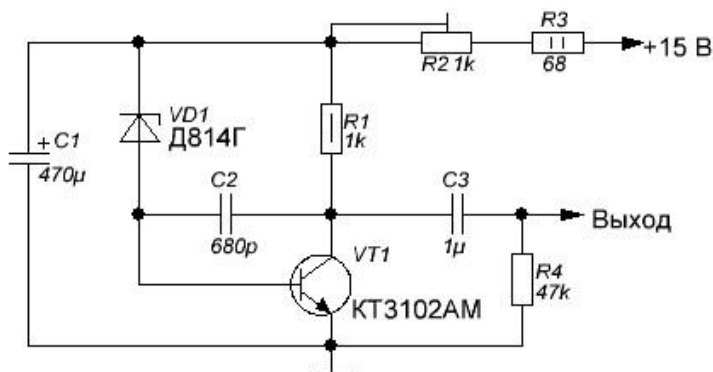


Рис. 2. Схема генератора шумового сигнала

Конденсатор C2 ограничивает полосу частот генерируемого шума, а C1 устраняет влияние различных низкочастотных наводок, обусловленных пульсацией напряжения питания при работе от выпрямителя. Он влияет на спектр шума генератора в области нижних частот. На рисунке 3 приведен шумовой сигнал во временной области, снимаемый с резистора R4.

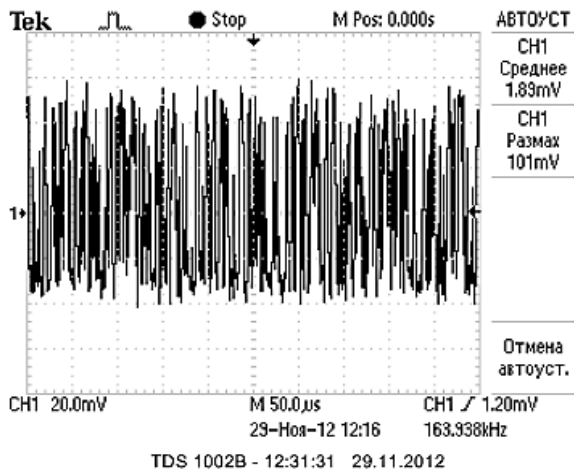


Рис. 3. Шумовой сигнал во временной области

На рисунке 4 представлен шумовой сигнал в спектральной области от 0 до 134 кГц.

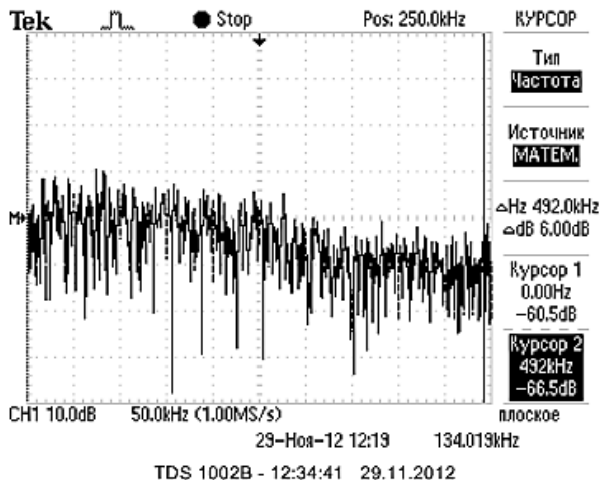


Рис. 4. Спектр шумового сигнала в области частот

При анализе изображения, представленного на рисунке 4, можно сделать вывод о том, что спектр частот сигнала равномерен до 50 кГц. Так как в учебном стенде предполагается использовать звуковую карту ПЭВМ в полосе частот до 22050 Гц спектральная плотность

мощности до 20 кГц будет равномерна, что и демонстрирует рисунок 6. Аналоговый шумовой сигнал вводится в память ПЭВМ для формирования случайных двоичных чисел вида  $2^q$ ,  $q = 0 \dots 8$ , что позволит студентам проводить статистические исследования числовых случайных последовательностей.

Результат аналого-цифрового преобразования сигнала с использованием звуковой платы ЭВМ и программного средства Audacity представлен на рисунках 5, 6 – получены сигналы во временной и в спектральной области в процессе дискретизации.

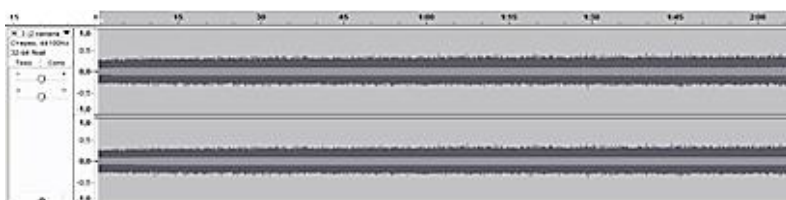


Рис. 5. Сигнал во временной области (программное средство Audacity)

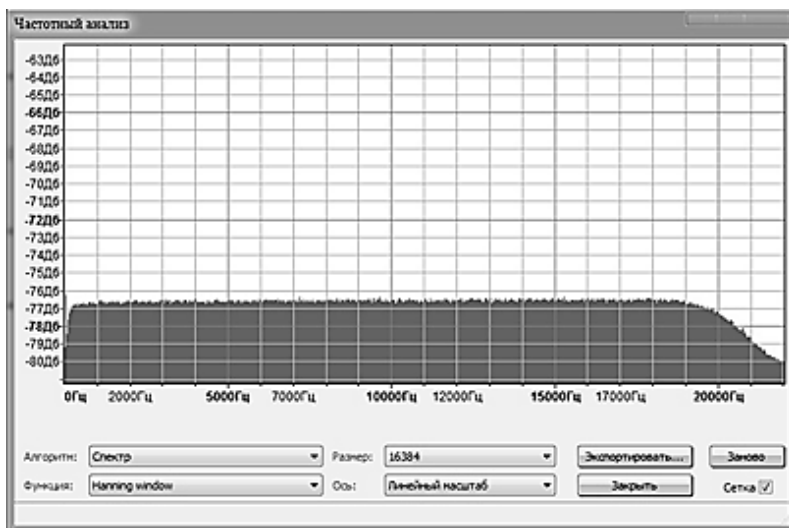


Рис. 6. Спектр дискретизированного сигнала равномерен в полосе частот от 100 Гц до 19 кГц (программное средство Audacity)

**Вывод.** Использование разрабатываемого стенда в учебном процессе позволит студенту проводить типовые операции над шумовым сигналом, такие как анализ спектра частот, аналого-цифровое

преобразование, а также глубже понять взаимосвязь различных дисциплин, основных понятий, необходимых для понимания фундаментальных основ специальности 090106.

**УДК 004.056:621.391**

**СПОСОБЫ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА ПРИ ИМИТАЦИОННОМ  
МОДЕЛИРОВАНИИ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ  
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

***Я.Д. Рубцов, Е.Д. Кашаев, М.С. Тикин**  
Пензенский государственный университет, Пенза*

Преобразование Гильберта и связанное с ним понятие аналитического сигнала имеет важное прикладное значение при анализе сигналов. При использовании методов цифровой обработки преобразование Гильберта получило широкое распространение для формирования сигналов с однополосной модуляцией (SSB), а также при демодуляции сигналов [1].

Физически преобразование Гильберта может быть интерпретировано как естественный  $\pi/2$  фазовращатель, который при прохождении через систему сигнала  $x(t)$  изменяет фазу всех частотных составляющих сигнала на  $\pi/2$  и тем самым делает сигнал на выходе преобразователя Гильберта  $\tilde{x}(t)$  ортогональным исходному сигналу  $x(t)$ .

Одним из вариантов реализации преобразования Гильберта является использование цифрового фильтра, что связано с достаточно высокими вычислительными затратами, но позволяет рассчитать точные характеристики преобразователя для определенного порядка фильтра без решения дополнительных задач [2]. На практике используются варианты реализации как рекурсивного, так и нерекурсивного фильтров. Недостатком нерекурсивного фильтра является необходимость применения фильтра высокого порядка, а также неравномерная амплитудно-частотная характеристика. Недостатком рекурсивного фильтра является нелинейность ФЧХ.

Другим вариантом реализации преобразования Гильберта является быстрое преобразование Фурье (БПФ). Использование БПФ дает выигрыш с точки зрения вычислительных затрат по сравнению с использованием фильтров, но для достижения высокого качества синтеза преобразователя Гильберта на паре БПФ необходим правильный выбор весовой функции, окна анализа, метода перекрытия и т.д.