

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ШУМА

М. О. Барабанов, Ю. И. Венедиктов, Д. А. Иванов

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
bto@onu.ua

Проведено экспериментальное исследование стохастических характеристик, включая распределение сигнала на плоскости, четырех генераторов белого шума: трех аналоговых (на базе стабилитрона, на базе транзистора и на базе операционного усилителя) и одного цифрового (на базе Android-программы FuncGen). Показано, что наиболее качественным является генератор на базе операционного усилителя, что позволяет рекомендовать его для широкого практического применения.

Ключевые слова: белый шум, генератор шума, распределение на плоскости.

Генераторы белого шума (далее — ГШ) широко используются для решения целого ряда практических задач: тестирование помехоустойчивости различных радиоэлектронных систем; постановка помех при радиопротиводействии и маскировании речевых сигналов в каналах связи; получение последовательностей истинно случайных чисел для криптографии и др.

Классическими качественными показателями выходного сигнала ГШ являются: стационарность (нулевое среднее); равномерность спектра в заданном диапазоне частот; нормальный (гауссов) закон распределения амплитуд; автокорреляционная функция (АКФ), близкая к функции Дирака [1].

Известные исследования генераторов шума [1, 2] не дают убедительного ответа на вопрос: какой из генераторов шума является лучшим. В настоящем исследовании для выбора генератора, обладающего наилучшими качеством проведен сравнительный анализ четырех ГШ звукового диапазона: трех аналоговых, отличающихся схемой источника шума (рис. 1), и цифрового, выполненного на базе программы программы FuncGen, установленной на смартфоне с операционной системой Android ГШ. Выходной сигнал V_n аналоговых источников (рис. 1) усиливался до уровня 0,22 В (эфф.) с помощью дополнительного масштабного усилителя.

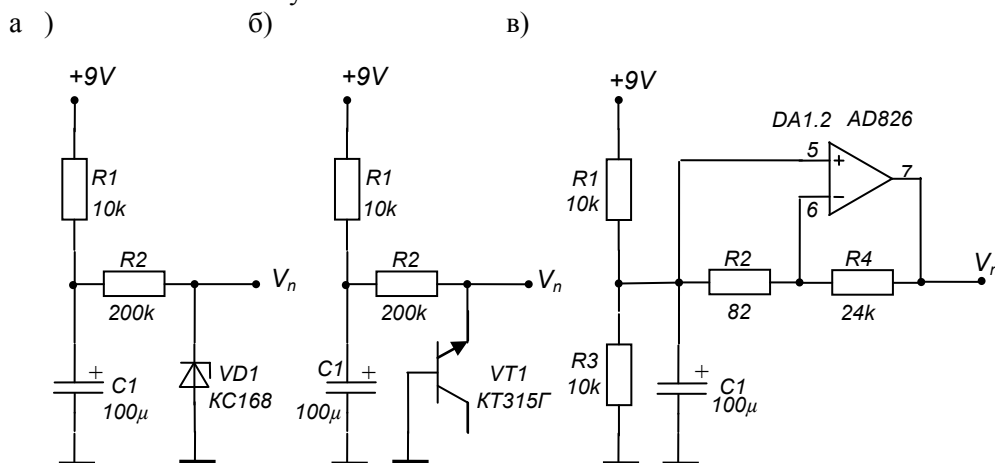


Рис. 1. Схемы источников шума на базе стабилитрона (а), транзистора (б) и операционного усилителя (в)

В основе методики исследований ГШ лежит оцифровка выходного напряжения генератора шума с помощью аудиопорта (звуковой карты) компьютера; запись выборки оцифрованного сигнала длительностью 10 с; обработка выборки сигнала с помощью разработанной Matlab-программы с выдчей значений параметров (среднего значения, максимума и минимума, с.к.о., спектральной плотно-

сти) и характеристик в виде графиков (временной диаграммы); одностороннего спектра; гистограммы; распределения на плоскости, автокорреляционной функции.

Анализ временных диаграмм сигналов генераторов показал, что все они имеют вид, характерный для случайного стационарного процесса, а гистограмм сигналов — что сигналы всех исследуемых ГШ имеют гауссово распределение амплитуд, т. е. шум является нормальным.

Анализ односторонних спектров сигналов генераторов, полученных с помощью быстрого преобразования Фурье, показал, что спектр ГШ на стабилитроне не «белый», а скорее «розовый» типа $1/f$. У остальных ГШ в области частот от 200 Гц до 22 кГц средняя спектральная плотность шума практически постоянна и равна $1,3\text{—}1,5 \text{ мВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, что характерно для «белого» шума.

Чтобы оценить случайность выходных сигналов ГШ анализировались графики распределения на плоскости, представленные на рис. 2 (по оси абсцисс откладывались текущие отсчеты оцифрованного сигнала, по оси ординат — отсчеты в следующем такте).

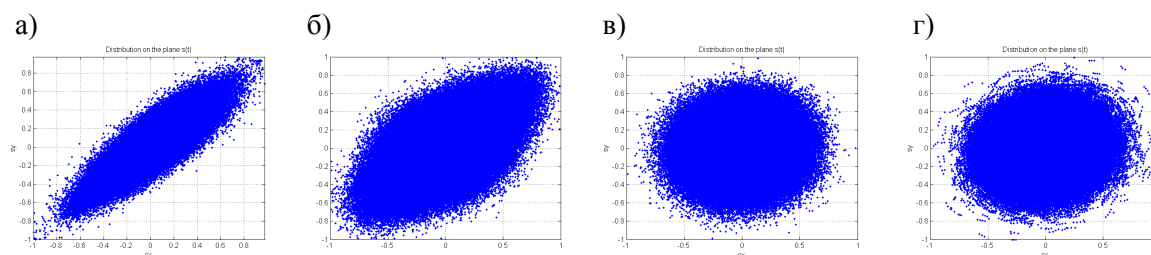


Рис. 2. Распределение сигналов на плоскости для ГШ на базе стабилитрона (а), транзистора (б), операционного усилителя (в) и для цифрового ГШ (з)

Здесь видно, что у цифрового генератора наблюдается некая структурность в распределении на плоскости (рис. 2, з), т. е. его случайность хуже, чем у аналоговых. У генератора на операционном усилителе практически отсутствует наклон эллипса (рис. 2, в), что подтверждает его высокое качество.

Плохая случайность цифрового генератора по сравнению с аналоговыми также была подтверждена при анализе автокорреляционных функции оцифрованных сигналов ГШ. На графике АКФ цифрового ГШ четко просматривались периодически повторяющиеся пики с периодом 1 с. Это свидетельствует о недостаточно высокой периодичности повторения алгоритма генерации псевдослучайных последовательности чисел, заложенного в основу этого генератора. Таким образом, распределение на плоскости комплексно характеризует качество не только цифровых генераторов числовых псевдослучайных последовательностей [3], но и аналоговых генераторов шума.

Как следует из результатов исследования, наиболее высокое качество продемонстрировал аналоговый генератор на операционном усилителе, и он может быть рекомендован для широкого практического применения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Тетерич, Н. М. Генераторы шума и измерение шумовых характеристик.— Москва: Энергия, 1968.
2. Иванов Е.Б., Кондрукевич А.Г. Универсальный настраиваемый генератор шума на базе р-п переходов.— Москва: ИПУ РАН, 2010.— С. 268—269.
3. Иванов М. А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей.— Москва: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003.

N. A. Barabanov, Yu. I. Venediktov, D. A. Ivanov

A study on noise generators

The authors carry out an experimental study of stochastic characteristics, including the distribution of the signal on the plane, of four noise generators: three analogue generators (based on a zener diode, on a transistor and on an op-amp) and a digital one (based on the FuncGen Android program). It is shown that the op-amp-based generator is the most efficient, which allows recommending it for a wide practical use.

Keywords: white noise, noise generator, distribution on the plane.