

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

Воздействие шума Леви на нелинейные динамические системы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4032 группы
направления 03.03.03 Радиофизика
Института физики
Кудлаев Никита Андреевич

Научный руководитель

Доцент, к.ф.-м.н.

И.А. Корнеев

Зав. кафедрой,

д.ф.-м.н., доцент

Г.И. Стрелкова

Саратов 2024 г.

ВВЕДЕНИЕ

До появления понятия «шум», в Древней Греции существовало слово «θόρυβος» (thorubos), которое относилось к «громкому шуму, гаму, суматохе», в средневековых текстах встречается слово «шум» с похожим значением, но чаще всего в контексте «громкого разговора, гвалта», в XVIII веке термин «шум» начинает употребляться в научной литературе, связанной с акустикой и физикой.

В наше время шум рассматривается как нежелательное воздействие звуков на организм человека и окружающую среду. Например, шум может вызывать стресс, бессонницу, ухудшать концентрацию и память. С тех пор были проведены многочисленные исследования в области акустики, медицины, а в дальнейшем и в радиофизике, чтобы изучить воздействие шума на человеческий организм или систему и разработать методы борьбы с ним.

Шум в радиофизике - это стохастическое явление, которые могут привести к искажению или потере информации. Шум возникает из-за различных факторов, включая электромагнитные помехи, тепловое движение частиц, погрешности измерений и другие внешние воздействия. Шум может быть уменьшен или фильтрован с помощью специальных методов обработки сигналов и технологий, таких как усреднение, фильтрация и увеличение чувствительности.

Существует различные виды шумовых сигналов, например как белый шум, цветной шум, шум Леви и другие.

Целью работы является анализ литературных источников по теме “Воздействие шума Леви на нелинейные динамические системы” и экспериментальное исследование особенностей стохастического резонанса индуцированный шумом Леви.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Изучить литературные источники связанных с белым гауссовским шумом и шумом Леви.
2. Провести анализ литературных источников связанных с индуцированными шумом Леви эффектах: когерентный и стохастический резонансы.
3. Экспериментально исследовать особенности индуцированного шумом Леви стохастического резонанса в осцилляторе Крамерса.

Изучение влияния шума на динамические системы является актуальным направлением научных исследований в области нелинейной динамики. Это связано с присутствием различных источников внутренних и внешних шумов во всех реальных системах и устройствах, независимо от их физической природы. Шум не просто разрушает динамические режимы, характерные для детерминированной системы, он может приводить к новым типам поведения: управление степенью регулярности стохастических колебаний (явления стохастического и когерентного резонансов) и эффектами синхронизации. Таким индуцированным шумом эффектам и посвящена данная работа.

Раздел 1. “Классификация и описание шумов” содержит в себе информацию о классификации шумов и описание белого гауссовского шума, а также шума Леви. Приведены графики реализации шумов, спектральной плотности мощности и плотность распределения вероятности.

В разделе 2. “Индукцированные шумом эффекты” был проведен литературный обзор статей на следующие темы: Когерентный резонанс и Стохастический резонанс. В них описываются работы в которых авторы проводят исследования стохастического и когерентного резонансов индуцированные шумом Леви.

Раздел 3. “Экспериментальное наблюдение стохастического резонанса индуцированного шумом Леви”. В данном разделе описана исследуемая система, показана схема установки. Был проведен эксперимент и получены данные, который в дальнейшем обработаны и использовались для построение графиков зависимостей. Результаты эксперимента показали, что шум Леви ухудшает эффект стохастического резонанса в сравнение с влиянием белого гауссовского шума. А параметр асимметрии шума Леви может усилить или ухудшить эффект стохастического резонанса.

Основное содержание работы

В качестве исследуемой системы был взята модель осциллятора Крамерса. Данная система при определенных значениях управляющего параметра демонстрирует бистабильную динамику и описывается уравнением:

$$\dot{x} = ax - x^3$$

где x – динамическая переменная, a – управляющий параметр.

Для экспериментального наблюдения стохастического резонанса используется аналоговая модель осциллятора Крамерса (см. Рисунок 1), работа которой описывается следующим уравнением:

$$R_0 C_0 \dot{x} = ax - x^3 - f(t) - K \xi_x(t)$$

где $R_0 = 10$ кОм, $C_0 = 10$ нФ, $f(t)$ - периодический сигнал, подаваемый с внешнего генератора, $\xi_x(t)$ - сигнал с генератора шума, коэффициент усиления шума определяется как $K = R_0/R_n$, где $R_n = 150 + 50\beta$ Ом, где β - число на лимбе, отвечающем за сопротивление R_n (правый лимб на передней панели электронной модели осциллятора Крамерса). Значение параметра α определяется как $\alpha = -7.5 + 0.015\lambda$, где λ значение

градуированной шкалы переменного резистора на передней панели установки. Экспериментальная установка требует подключения к двухполярному источнику питания +15 и -15 Вольт.

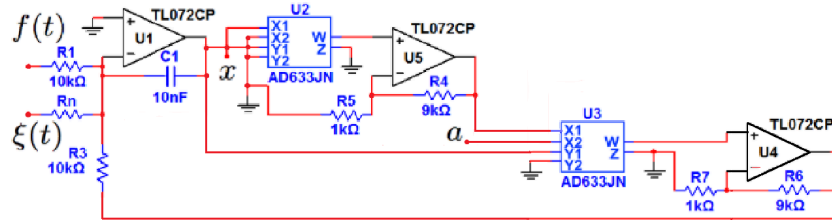


Рисунок 1. Схема электронной модели осциллятора Крамерса



Рисунок 2. Физическая модель осциллятора Крамерса

Установка (см. Рисунок 2) по экспериментальному наблюдению стохастического резонанса была разработана Семеновым Владимиром Викторовичем для практической дисциплины «Спецпрактикум». В лабораторной работе «Стохастический резонанс в осцилляторе Крамерса» используется электронная модель осциллятора Крамерса (см. Рисунок 2), генератор белого гауссовского шума, блок питания и компьютер. Визуализация и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью программы, созданной на базе программного комплекса LabView.

Для исследования стохастического резонанса индуцированный шумом Леви будет взята лабораторная установка из практикума и заменен генератор шума. Источник шума Леви реализован с помощью персонального компьютера, дополненного многофункциональным устройством ввода-вывода (National Instruments NI-PCI 6251). Для создания источника шума Леви на платформе Labview реализован алгоритм. Этот источник шума был разработан Семеновым В.В. и использовался для исследования когерентного резонанса.

Для исследования стохастического резонанса подключим к установке генератор периодического сигнала GFG-3015 (генератор должен быть выключен) и источник шума Леви с коэффициентом масштаба $\sigma=0$. Для управления характеристиками шума с компьютера установим $R_n = 150 + 50 * 197 = 10$ кОм ($\beta=197$), тогда коэффициент усиления шума будет равен $K=1$. Далее установим параметр α при котором исследуемая система демонстрирует бистабильную динамику. Для этого на лимбе переменного резистора установим $\lambda=525$, что будет соответствовать значению параметра α математической модели $a = -7.5 + 0.015*525=0.375$. Затем запустим генератор периодического синусоидального сигнала GFG-3015, установим частоту колебаний 300 Гц и постепенно начнем увеличивать амплитуду колебаний с 10 мВ до значения при котором в системе будут наблюдаться переключения между двумя состояниями (пороговое значения) и зачем чуть уменьшим значение амплитуды. Для такой конфигурации параметров значение амплитуды будет равно 0.13 В. После этого установка готова к проведению исследований.

Рассмотрим влияния белого гауссового шума на стохастический резонанс, для этого установим следующие параметры шума Леви в программе: $\alpha=2$, $\beta=0$. Изменяя коэффициент масштаба шума σ от 0.05 до 1 и будем наблюдать спектр мощности сигнала из установки.

При таких значениях параметра этот шум будет вести себя как белый гауссовский шум. Запустив программу и меняя σ в другой программе для создание шума Леви, мы получим данные из спектра мощности. Нужно найти максимальное и минимальное значение сигнал, который будем обозначать S_{max} , S_{min} соответственно. Чтобы получить данные значения, необходимо посмотреть на спектр мощности колебаний. Максимальное значение пика будет соответствовать S_{max} , а минимальное значение будет равно расстоянию от нуля до минимального значения. Для расчета SNR была использована формула $SNR = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{min}}$

Таблица 1 - Экспериментальные данные при $\alpha_L = 2$, $\beta = 0$

σ	S_{max}	S_{min}	SNR
0,01	0,0412048	0,0004	102,012
0,05	0,0365407	0,000555203	64,81502622
0,1	0,0439693	0,000554727	78,26295277
0,2	0,0581353	0,0006358	90,43645801
0,22	0,062143	0,00064376	95,53131602
0,24	0,065346	0,00066806	96,81456755
0,26	0,069736	0,00070327	98,15963997
0,28	0,0735684	0,00069834	104,3475384
0,3	0,0784689	0,000700564	111,008182
0,32	0,080435	0,00073864	107,8960793
0,34	0,084637	0,00079534	105,4161239
0,36	0,0853419	0,00080342	105,2232705
0,38	0,086379	0,0008653	98,82549405
0,4	0,0870396	0,0009012	95,58189081
0,5	0,093289	0,0010345	89,1778637
0,6	0,095	0,001267	73,98026835

0,7	0,0797555	0,00158063	49,45804521
0,8	0,07236	0,0022156	31,65932479
0,9	0,063364	0,0027388	22,13567986
1	0,0653713	0,00283468	22,06126265

В таблице 1 представлены результаты работы программы и наблюдения за поведением спектра мощности. На отрезке 0,2-0,4 был увеличен промежуток получаемых значений для более точного выявления стохастического резонанса и наблюдения самого пика резонанса. Построим по этим данным график SNR.

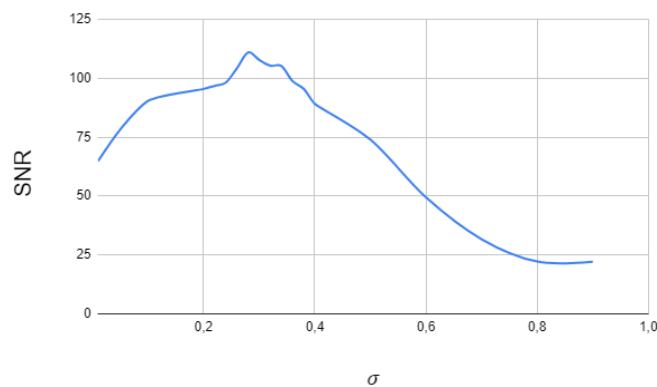


Рисунок 3. График SNR при изменении параметра σ для белого гауссовского шума.

На данном графике видно, что при интенсивности шума 0,3 наблюдается максимальное усиление отношение сигнал/шум. После данного значение SNR начинает убывать и приближается к значению 20. Проведем тот же эксперимент, но при $\alpha_L = 1.8$, $\beta = 0$. Запустив установку и программу для визуализации спектра были получены значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Экспериментальные данные при $\alpha_L = 1.8$, $\beta = 0$

σ	S_{max}	S_{min}	SNR
0,05	0,040037	0,0007608	51,62486856

0,1	0,0474237	0,0006467	72,33183857
0,12	0,0488855	0,0006435	74,96814297
0,14	0,053752	0,0007243	73,21234295
0,16	0,056436	0,0008603	64,60037196
0,18	0,06065	0,0009384	63,6312873
0,2	0,069274	0,00108435	62,88527689
0,3	0,0804376	0,0012835	61,67051032
0,4	0,092735	0,00153768	59,30838666
0,5	0,0943765	0,0016837	55,05303795
0,6	0,086341	0,0019436	43,42323523
0,7	0,083271	0,0021341	38,0192587
0,8	0,0813821	0,0022369	35,38164424
0,9	0,080918	0,0022371	35,17093559
1	0,077431	0,0023343	32,17097203

Эти значения найдены при $\alpha_L = 1.8, \beta = 0$. Как видно из значений таблицы, их значения в среднем ниже, чем у белого гауссовского шума. Построим график по данным значения.

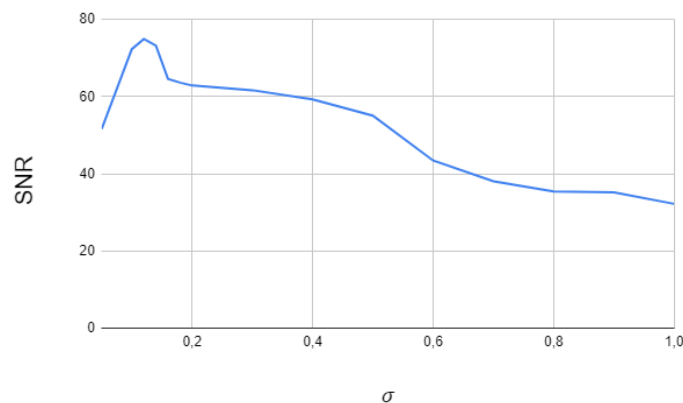


Рисунок 4. График SNR при изменении параметра σ для шума Леви при $\alpha_L = 1.8, \beta = 0$

Как можно заметить на Рисунок 4 SNR при шуме леви ухудшился. Причина по которой отношение сигнала/шума стало хуже, из-за длинных хвостов шума Леви. При наблюдении за спектром, было видно как среднее значение возрастало, что и привело к ухудшению SNR. Проведем еще два таких же эксперимента, но изменяя β на 1 и -1. Изменение данного параметра приведет к изменению направления выбросов. Если параметр β равна 1, то выбросы будут наблюдаться в сторону положительных значений, а если β равна -1 выбросы шума Леви будут направлены в отрицательные значения. В результате были получены дополнительные данные. Построим графики этих данных относительно Рисунок 3.

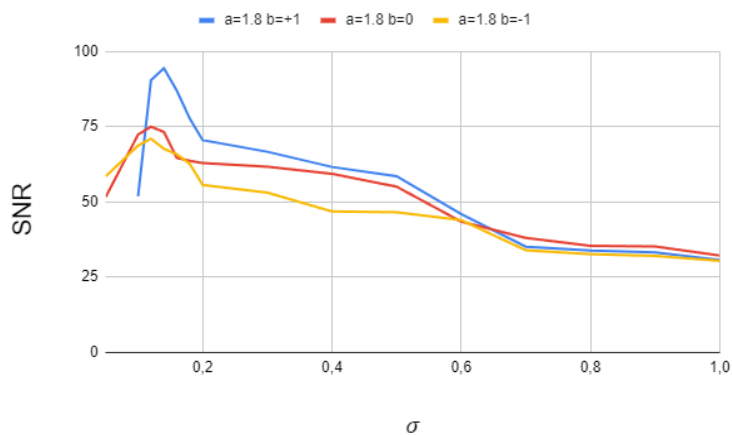


Рисунок 5. График SNR при различных параметрах β для шума Леви

Из графиков SNR видно, что при $\beta = 1$ пик стохастического резонанса выше, чем остальных, а при $\beta = -1$ показатели ниже чем при нулевой β .

Результаты эксперимента показали, что шум Леви ухудшает эффект стохастического резонанса в сравнение с влиянием белого гауссовского шума. Это связано с большими случайными выбросами значений шума в короткий промежуток времени, что сбивает регулярность переключений между состояниями равновесия. Асимметрия шума Леви может как и усилить стохастический резонанс, так и ухудшить его. Результаты

эксперимента показали, что положительное значение параметра β , приводит к усилению эффекта. Возможно это связано с постановкой начальных условий. Во время проведения эксперимента мы случайным образом (при включении приборов и установки) попадаем в одно из состояний равновесия. Полученные практические результаты качественно совпадают с результатами численного моделирования опубликованных в работах других авторов.

В рассмотренных работах шум Леви приводил к ухудшению индуцированным шумам эффектов (когерентный и стохастический резонанс) в сравнении с белым гауссовским шумом. В некоторых работах было показано, что параметр асимметрии шума Леви может приводит к усилению когерентного и стохастического резонанса. Такое проявление связано с особенностями самой системы и ее параметрами. На примере возбудимой системы ФитцХью – Нагумо было показано, что параметр асимметрии может значительно усилить эффект когерентного резонанса в сравнении с белым гауссовским шумом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты эксперимента показали, что шум Леви ухудшает эффект стохастического резонанса в сравнение с влиянием белого гауссовского шума. Это связано с большими случайными выбросами значений шума в короткий промежуток времени, что сбивает регулярность переключений между состояниями равновесия. Асимметрия шума Леви может как и усилить стохастический резонанс, так и ухудшить его. Результаты эксперимента показали, что положительное значение параметра β , приводит к усилению эффекта. Возможно это связано с постановкой начальных условий. Полученные практические результаты качественно совпадают с результатами численного моделирования опубликованных в работах других авторов.