

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.311.25:519.816

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА С ПРИЗНАКАМИ АВАРИЙНОСТИ

В ходе экспериментальных исследований, подтверждена достоверность результатов, полученных в ходе теоретических исследований: зависимость электрофизических параметров случайных хаотических сигналов от геометрических фрактальных свойств трехмерного фазового объема информационного пространства; соответствие развертки фазового портрета случайного хаотического сигнала моменту образования странного аттрактора в объеме информационного пространства и определены условия формирования аварийных признаков в нештатных аварийных ситуациях на энергообъектах, исходя из того, что странный аттрактор может образовываться для отдельной характеристики параметра в строго определенном интервале времени и зависит от изменения фрактальных размерностей локальных информационных неоднородностей объема информационного пространства.

Ключевые слова: случайный хаотический фрактальный сигнал, странный аттрактор, локальная информационная неоднородность, фазовый портрет сигнала, фрактальная структура информационного объема.

Введение

Постановка проблемы и анализ публикаций.

В ходе теоретических исследований авторами, были получены следующие результаты [1 – 8]:

– определено влияние фрактальных свойств структуры объема трёхмерного фазового информационного пространства на процесс формирования случайного хаотического сигнала (СХС) с признаками аварийности с учетом изменения фрактального времени и фрактальной размерности времени;

– получены новые аналитические выражения для определения пространственно-временной зависимости электрофизических параметров СХС: мощности, энергии и частоты от геометрических элементов фрактальной структуры объема трёхмерного фазового информационного пространства через которую проходит случайный сигнал;

– показано, что потери информации в информационном пространстве технологического процесса в режиме реального времени зависят от изменения пространственных координат, фрактального объема, через который проходит СХС и от степенной зависимости изменения фрактальной размерности, с уменьшением которой, потери информации увеличиваются, а, следовательно, увеличивается вероятность возникновения и формирования СХС с признаками аварийности;

– предложен метод фрактального обнаружения аварийных признаков при отклонении нормированных значений характеристик параметров технологического процесса, который основывается на оценке фрактальных свойств структуры объема фазового информационного пространства при прохождении через него СХС на основе количественных и качественных изменений фрактальных и информационных размерностей;

– показано, что в хаотических случайных системах изменение объема информационного пространства ΔV пропорционально изменению энергии сигнала ΔE в данном объеме, и возможные потери энергии E связаны с изменением размерности в фрактальных структурах кластер – кластерных агрегаций трёхмерного фазового информационного пространства.

Для подтверждения достоверности вышеизложенных результатов, полученных в ходе теоретических исследований, в работе предложено разработать экспериментальный лабораторный макет и на его основе решить следующие практические экспериментальные задачи:

– провести имитацию изменения характеристик СХС и свойств пространственно-временной модели информационного пространства;

– определить зависимость электрофизических параметров СХС от геометрических фрактальных свойствах трехмерного фазового информационного

пространства технологического процесса энергообъектов;

– показать процесс формирования СХС с фрактальными свойствами на основе исследования развертки фазового портрета СХС и показать, что она соответствует моменту образования странного аттрактора в объеме информационного пространства и является условием формирования признаков аварийности в нештатных аварийных ситуациях на энергообъектах;

– получить зависимость электрофизических параметров СХС (амплитуды, частоты, энергии, мощности) от изменения фрактальной размерности d_f объема трехмерного фазового информационного пространства в интервале времени от t_0 до t_f .

Поэтому, **целью статьи** является проведение экспериментальных исследований для подтверждения результатов теоретических исследований пространственно-временной модели, т.е. исследование зависимости изменения электрофизических характеристик СХС: мощности, энергии, амплитуды и частоты от геометрических элементов фрактальной структуры объема трёхмерного фазового информационного пространства, через которую проходит информационный сигнал.

Основной материал

1. Разработка варианта структурной схемы макета экспериментальной лабораторной установки. С целью подтверждения результатов полученных в ходе теоретических исследований и возможности наблюдения и оценки процесса изменения параметров информационного пространства технологического процесса энергообъектов в зависимости от электрофизических параметров СХС, с учетом требований существующих методик проведения физического эксперимента, был предложен подход к построению автоматизированных систем научных исследований, как показано на рис. 1, который представляет собой совокупность технических и программных средств, методологического, методического и алгоритмического обеспечения.

На основании данного подхода был разработан состав оборудования экспериментальной лабораторной установки, который включает (рис. 2): генератор сигналов низкочастотный ГЗ-124 – для набора стандартных частот; генератор хаоса (дуальная электрическая цепь, которая включает переменный резистор и два операционных усилителя типа TL082CD) – для создания случайных помех; цифровой осциллограф типа 54622d и информационно-измерительная аппаратура – для измерения характеристик электрофизических параметров сигнала; персональный компьютер, аппаратно-программное обеспечение и принтер на рабочем месте оператора-исследователя.

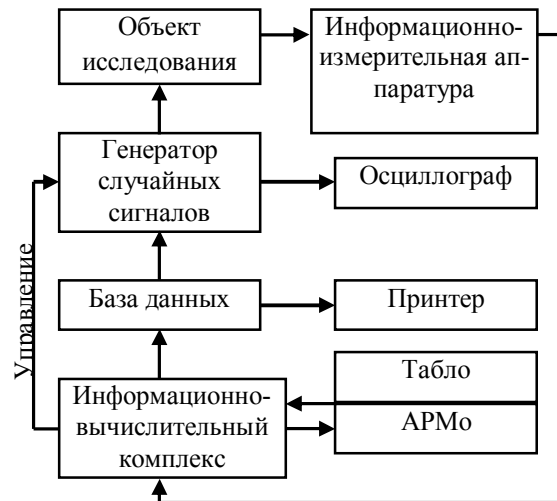


Рис. 1. Вариант структурной схемы макета экспериментальной лабораторной установки

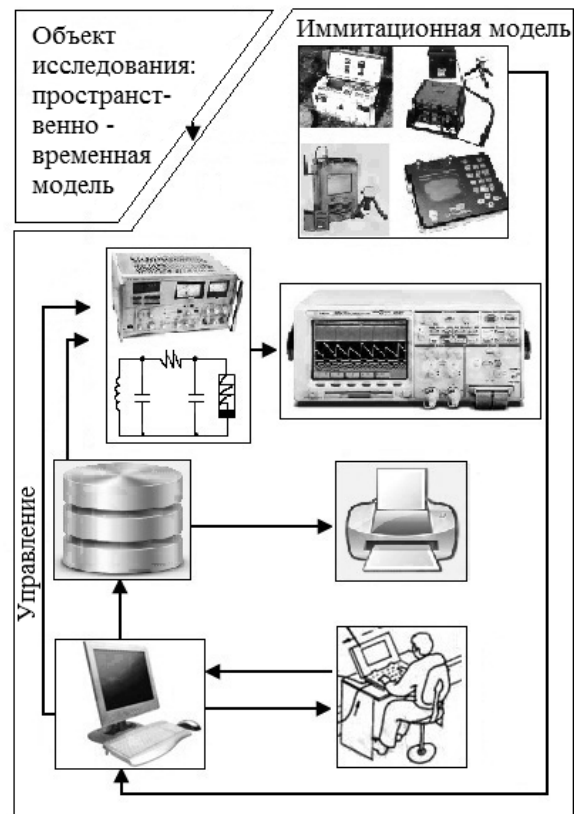


Рис. 2. Состав оборудования для проведения эксперимента

Оптимальные номиналы характеристик параметров всех элементов схемы представлены в табл. 1.

Таким образом, исходя из результатов теоретических исследований, данная экспериментальная лабораторная установка позволяет формировать случайный хаотический сигнал в режиме реального времени и моделировать (воспроизводить) процессы в пространственно-временной модели трехмерного фазового информационного пространства технологического процесса энергообъектов.

В роботі [8] авторами показано, що сукупність СХС створює фазовий портрет (ФП), а в об'ємі інформаційного простору з фрактальними властивостями йому відповідає хаотичний аттрактор (ХА) або локальна інформаційна неоднорідність (ЛІН), які авторами в роботах [5, 6] запропоновано, як допущення, вважати областю ненормованих значень з ознаками аварійності, впливними на зміну об'єму V тривимірного фазового інформаційного простору.

Таблиця 1

Номиналы элементов лабораторной установки

№	Элемент лабораторной установки	Номинал
1	Катушка индуктивности (L1)	18 мГн
2	Конденсатор (C1)	100 нФ
3	Конденсатор (C2)	10 нФ
4	Резистор (R1)	220 Ом
5	Резистор (R2)	220 Ом
6	Резистор (R3)	2.2 кОм
7	Резистор (R4)	22 кОм
8	Резистор (R5)	22 кОм
9	Резистор (R6)	3.3 кОм
10	Источник постоянного напряжения (V1)	9 В
11	Источник постоянного напряжения (V2)	9 В

Для моделювання процесу формування фазового портрета СХС (ХА, ЛІН) і дослідження залежності електрофізичних характеристик ФП, було запропоновано, в схемі (рис. 3) для створення не-

лінійних динамічних (локальних) змін СХС використовувати дуальну електричну схему, включаючи резистор з позитивним опором, яка повністю імітує процеси хаосу в інформаційному просторі, як показано в роботі [9].

Виходячи з вищесказанного, варіант узагальненої функціонально-електричної топологічної схеми з резистором позитивного опором може виглядати так, як показано на рис. 3.

Умовою виникнення хаотичного аттрактора (ЛІН), як було відмічено авторами в роботах [6 – 8], є наявність фрактальних властивостей в об'ємі інформаційного простору, відповідно, необхідно знайти залежність змін електричних параметрів СХС (опір електричної схеми R , потужності P , енергії E , частоти ω і амплітуди сигналу A) від змін фрактальних геометричних розмірностей d_f [11, 12] в фрактальному об'ємі V_f , в якому формуються області (ХА, ЛІН) ненормованих значень параметрів.

Таким чином, інформаційні випадкові сигнали з шумом, проходячи через об'єм інформаційного простору з фрактальними властивостями (рис. 4), змінюють свій фазовий портрет і формують хаотичний аттрактор (локальну інформаційну неоднорідність), як показано на рис. 4.

На основі вищеизложеного авторами робиться допущення, що тільки випадковий хаотичний сигнал з фрактальними властивостями, несе ознаки аварійності в нештатних аварійних ситуаціях на енергооб'єктах.

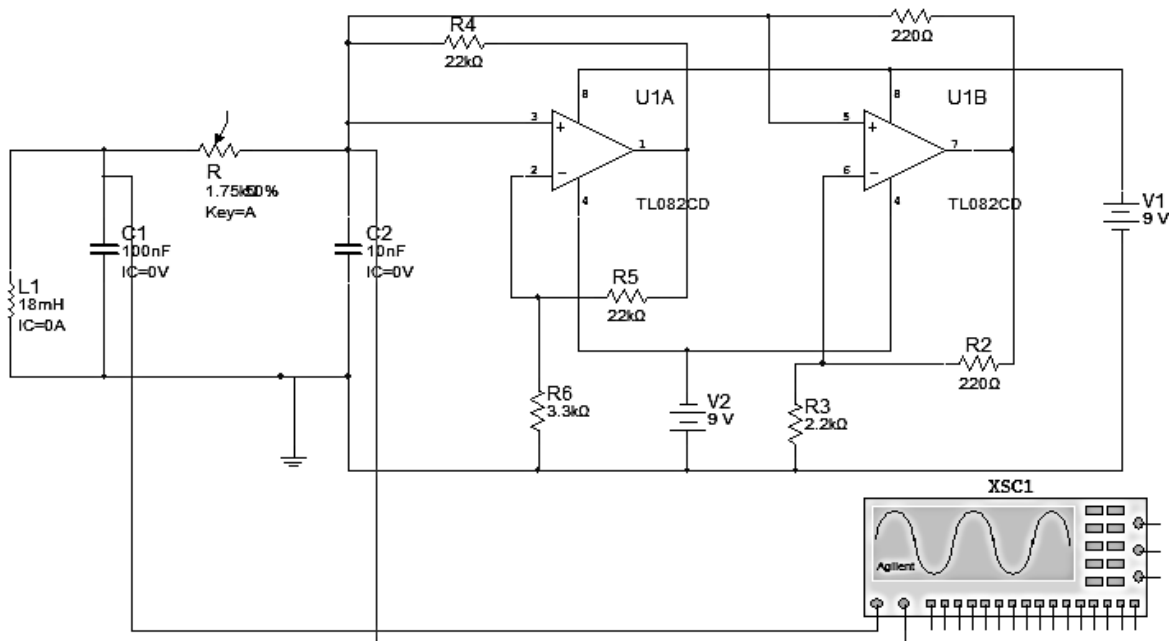


Рис. 3. Узагальнена функціонально-електрична топологічна схема з резистором з позитивним опором

На рис. 4: $s(t)$ – информационный сигнал; $s_f(t)$ – случайный хаотический сигнал с фрактальными свойствами; V_0 – объём информационного пространства с евклидовой размерностью $d = 3$; V_f – фрактальный объём информационного пространства с фрактальной размерностью $2 < d_f < 3$; $V_0 - V_f = \Delta V_f$ – изменение объема информационного пространства при прохождении через него СХС, связанного с образованием локальной информационной неоднородностью (ЛИН) странного аттрактора.

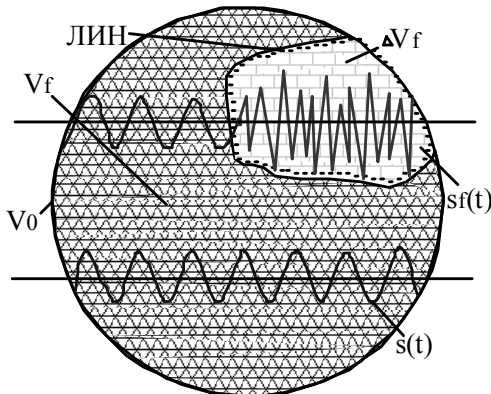


Рис. 4. Процесс формирования случайного хаотического сигнала при прохождении через странный аттрактор области ненормированных значений (ЛИН) с фрактальными свойствами

2. Методика проведения эксперимента. Как известно, методика эксперимента должна позволять реализовать замысел эксперимента, обеспечивая при этом достаточную достоверность, при этом учитывая и проводя анализ погрешностей и не исключая мешающих внешних факторов. Кроме того, полученные результаты должны иметь физическую сущность и объяснение как количественных, так и качественных показателей в зависимости от процесса изменения объема информационного пространства технологического оборудования технологического процесса.

Исходя из вышесказанного, авторами для проведения качественного четкого эксперимента рассмотрены требования к методике проведения эксперимента [10], которая позволит:

- проводить наблюдения за процессами, происходящими в пространственно-временной модели с целью определения исходных данных;
- подбор средств измерений для фиксации во времени результатов, полученных данных эксперимента, в различных условиях функционирования технологического оборудования технологического процесса;
- поддерживать в режиме реального времени, при многократном проведении опытов, постоянства

варьирования характеристик параметров в заданном интервале оптимальных значений;

– проводить обобщение многократных результатов, на основе повторяющихся опытов, с целью подтверждения теоретических обоснований полученных результатов.

Рассмотрим цель, сущность, содержание, последовательность методики проведения экспериментальных исследований для подтверждения результатов теоретических исследований пространственно-временной модели, т.е. исследование зависимости изменения электрофизических характеристик: мощности P , энергии E , частоты ω и амплитуды сигнала A от геометрических элементов фрактальной структуры объема трехмерного фазового информационного пространства, через которую проходит случайный информационный хаотический сигнал.

Цель экспериментальных исследований:

– измерение и исследование электрофизических характеристик параметров схемы хаотических случайных сигналов в зависимости от изменения фрактальных свойств объема информационного пространства, которые имитируются моделью хаоса с помощью дуальной электрической цепи с применением резистора с положительным сопротивлением;

– подтвердить теоретические исследования зависимости между электрофизическими параметрами сигнала и фрактальными характеристиками объема информационного пространства в условиях хаоса и помех.

Задачи эксперимента:

1. Определить время возврата τ в зависимости от изменения времени цикла $T_{ц}$ при воздействии случайных помех на полезный информационный сигнал.

2. Определить зависимость электрофизических характеристик параметров случайного хаотического сигнала (мощность, энергия, частота, амплитуда) от времени возврата τ хотя бы одного параметра информационного сигнала в область оптимальных нормированных значений (т.е. окрестность странного аттрактора $Q(x, y, z)$).

3. Определить зависимость электрофизических характеристик параметров случайного хаотического сигнала (мощность, энергия, частота, амплитуда) от изменения площади $S_{атр}$ странного аттрактора объема трехфазного информационного пространства, обладающего фрактальными свойствами.

Порядок выполнения эксперимента:

1. Для изменения частотного диапазона, к выходу низкочастотного генератора сигналов ГЗ-124 подключалась дуальная электрическая цепь, в которой хаотические случайные колебания возбуждают-

ся на основе изменения величины сопротивления резистора с положительным сопротивлением, далее фиксировалось изменение фазового портрета во времени (изменение странного аттрактора), как показано в табл. 2.

2. Для воспроизведения фазового портрета СХС к выходу дуальной электрической цепи макета экспериментальной лабораторной установки был подключен осциллограф, на котором наблюдалась развертка изменений фазового портрета случайного хаотического сигнала в зависимости от времени и значений величины положительного сопротивления резистора (рис. 5).

Таблица 2
Таблица экспериментальных данных зависимости частоты от сопротивления

R (Ом)	ω (Гц)	τ (с)
1600	2640	$3,7858 \times 10^{-4}$
1650	2980	$3,3565 \times 10^{-4}$
1700	3000	$3,3292 \times 10^{-4}$
1750	3010	$3,3182 \times 10^{-4}$
1800	3020	$3,3143 \times 10^{-4}$
1850	3000	$3,3335 \times 10^{-4}$
1900	2940	$3,3794 \times 10^{-4}$

На основании результатов, полученных в ходе эксперимента, согласно табл. 2, был рассмотрен процесс образования фазового портрета СХС (хаотического аттрактора), показанного на рис. 5, где был выделен интервал времени Δt , при котором формируется фазовый портрет СХС, а именно в период времени от $t_0 = 0$ (область окрестности $Q_0(x_0, y_0, z_0)$) до $t = 3,3143 \times 10^{-4}$ с. (область окрестности $Q_f(x_f, y_f, z_f)$), а также при изменении величины положительного сопротивления в интервале $R = 1600 \div 1900$ Ом.

Кроме того, результаты эксперимента показывают, что формирование фазового портрета взаимосвязано с изменением объема V_0 с евклидовой размерностью d_3 информационного пространства, а именно, в работах [7, 8] был сделан вывод, что при отсутствии аварийных признаков, исходный начальный объем V_0 имеет евклидову размерность $d_3 = 3$, а при наличии аварийных признаков объем изменяется от V_0 до V_f на величину ΔV_f (при изменении площади странного аттрактора $S_{атр}$), при этом фрактальная размерность d_f изменяется в пределах $2 < d_f < 3$, что и является условием формирования аварийных признаков в нештатных аварийных ситуациях на энергообъектах.

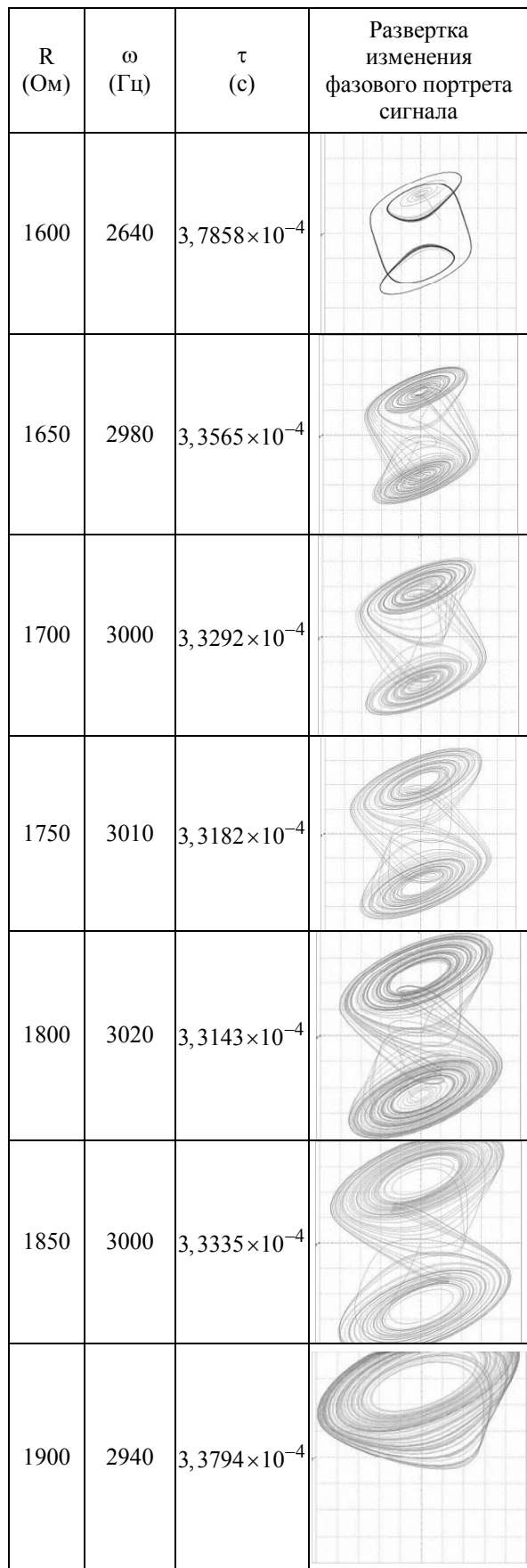


Рис. 5. Графики изменения фазового портрета случайного хаотического сигнала в зависимости от времени и значений величины положительного сопротивления резистора

Развертка фазового портрета СХС с фрактальными свойствами, показанная на осциллографе (рис. 6), соответствует моменту образования странного аттрактора в трехмерном объеме ин-

формационного пространства, а следовательно, является условием формирования аварийных признаков в нештатных аварийных ситуациях на энергообъектах.

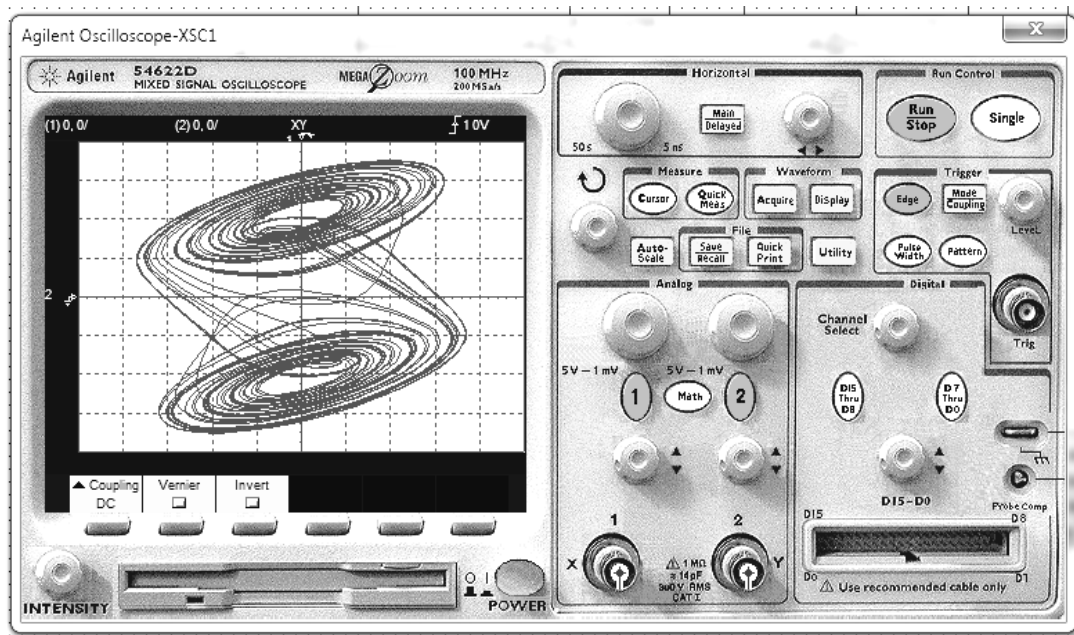


Рис. 6. Развертка фазового портрета случайного хаотического сигнала с фрактальными свойствами на экране осциллографа

Результаты исследований

Таким образом, в результате применения в лабораторном экспериментальном макете резистора с положительным сопротивлением была смоделирована имитация локальной информационной неоднородности с фрактальными свойствами (странный аттрактор) и, исходя из этого, определена область окрестности оптимальных значений параметров в начальный момент времени t_0 или определенный момент времени t_f , что подтверждается результатами при проведении теоретических исследований в работе [6].

Кроме того, экспериментально выявлена область оптимальных значений электрофизических параметров (мощности P , энергии E , частоты ω) сигнала $Q(x, y, z)$, в момент времени формирования фазового портрета фрактального сигнала в интервале от t_0 до t_f , где t_f зависит от времени цикла $T_{ц}$ и времени возврата τ .

Исходя из этого утверждения, при отсутствии помех и хаоса, авторами предлагается следующее допущение: $T_{ц} = \tau = 1$ сек. при $t_f = 0$ сек; при наличии помехи и хаоса $t_f > 0$ и $T_{ц} \neq \tau$.

Таким образом, предложенный лабораторный макет для проведения эксперимента позволяет имитировать динамическую пространственно-временную модель, в которой можно наблюдать

процесс изменения электрофизических параметров информационных сигналов, при прохождении их через объем информационного пространства с фрактальными свойствами, а, следовательно, позволяет определять признаки аварийности в нештатных аварийных режимах для технологического оборудования технологических процессов энергообъектов.

Выводы

1. В ходе экспериментальных исследований получены результаты, которые адекватно подтверждают выводы теоретических исследований, а именно, зависимость электрофизических параметров случайных хаотических сигналов от геометрических фрактальных свойств трехмерного фазового информационного пространства.

2. В ходе эксперимента показано, что развертка фазового портрета случайного хаотического сигнала соответствует моменту образования странного аттрактора в объеме информационного пространства с фрактальными свойствами, и на основе этого формируются аварийные признаки в нештатных аварийных ситуациях на энергообъектах.

3. Показано, что странный аттрактор может образовываться для отдельной характеристики параметра случайного хаотического сигнала в строго определенном интервале времени (например: от t_0 до $t = 3,3143 \times 10^{-4}$ с) и зависит от изменения

величини положительного сопротивления резистора в определенном интервале (например, $R = 1.6 \div 1.9$ кОм).

Список литературы

1. Буданов П.Ф. Анализ современного состояния и перспективы развития автоматизированных систем по подготовке оперативного персонала АЭС / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко, М.Ю. Сахно // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 9(107). – С. 263-269.
2. Буданов П.Ф. Синергетический подход к разработке модели принятия решения оперативным персоналом АЭС в нештатных ситуациях / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 1(108). – С. 256-262.
3. Буданов П.Ф. Метод кластерного анализа для обработки информационного пространства в автоматизированных тренажерах по подготовке оперативного персонала АЭС / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 2(109). – С. 106-111.
4. Буданов П.Ф. Моделирование нештатных аварийных ситуаций на энергообъектах на основе фрактально-кластерного подхода / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко, А.М. Чернюк, К.А. Солод, Т.П. Руденко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – №1(132) – С. 15-21.
5. Буданов П.Ф. Моделирование признаков аварийности параметров технологического процесса объектов электроэнергетики / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Сборник научных работ ХУПС. – Х.: ХУПС, 2015. – Вып. 2(43). – С. 84-88.
6. Буданов П.Ф. Просторowo-часова модель інформаційного простору з фрактальною структурою / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системы обработки информации: сборник научных работ. – Х.: Харьковський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2015. – Вып. 7(132). – С. 15-19.
7. Буданов П.Ф. Метод фрактального обнаружения аварийных признаков в информационном пространстве технологического процесса / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системы озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: Харьковський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 4(44). – С. 10-14.
8. Буданов П.Ф. Влияние фрактальных свойств информационного пространства на процесс формирования случайного сигнала с признаками аварийности / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системы обработки информации: сборник научных работ. – Х.: Харьковський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2016. – Вып. 1(138). – С. 10-14.
9. Прокопенко В.Г. Схема Чуа и ее ближайшие аналоги: динамическая и топологическая двойственность / В.Г. Прокопенко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Естественные науки". 2006. – № 2. – С. 108-114.
10. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. / Ж. Макс. – М.: Мир, 1983. – Т1. – 312 с.
11. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
12. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: ИКИ, 2002. – 656 с.

Поступила в редколлегию 18.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.И. Канюк, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛУ З ОЗНАКАМИ АВАРІЙНОСТІ

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

В ході експериментальних досліджень підтверджено достовірність результатів, отриманих в ході теоретичних досліджень: залежність електричних параметрів випадкових хаотичних сигналів від геометричних фрактальних властивостей тривимірного фазового об'єму інформаційного простору; відповідність розгортки фазового портрета випадкового хаотичного сигналу моменту утворення дивного атрактора в об'ємі інформаційного простору та визначено умови формування аварійних ознак в позаштатних аварійних ситуаціях на энергооб'єктах, виходячи з того, що дивний атрактор може утворюватися для окремої характеристики параметра в строго визначеному інтервалі часу і залежить від зміни фрактальних розмірностей локальних інформаційних неоднорідностей об'єму інформаційного простору.

Ключові слова: випадковий хаотичний фрактальний сигнал, дивний атрактор, локальна інформаційна неоднорідність, фазовий портрет сигналу, фрактальна структура інформаційного об'єму.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SPATIAL-TEMPORAL MODEL INFORMATION SPACE FOR THE FORMATION RANDOM SIGNAL WITH SIGNS ACCIDENT

P.F. Budanov, K.Yu. Brovko

During experimental studies confirmed the accuracy of the results obtained in the course of theoretical research: the dependence of the electrical parameters of random chaotic signals from geometrical fractal properties of three-dimensional phase-space information space; line scan of the phase portrait of a random chaotic signal moment of formation of a strange attractor in the amount of information space and determine the conditions of formation of the emergency signs in emergency emergencies at power, based on the fact that the strange attractor can be generated for a single characteristic parameter in a strictly defined time interval and depends on changes fractal dimensions of local inhomogeneities of information volume information space.

Keywords: random chaotic fractal signal, strange attractor, local news, heterogeneity, phase portrait signal, the fractal structure of the information volume.