

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАНИЙ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

С.Б. Тарасов

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы

В работе представлены результаты исследования режимов и характеристик колебаний генератора, который дает возможность получать сигналы с регулируемой перемежающейся структурой. Приведены примеры, демонстрирующие форму дерева ветвления амплитуд, спектров и фазовых траекторий сигналов, полученных в эксперименте.

Хаотические колебания на практике применяются в качестве несущей для передачи и защиты информации [1-3]. Для реализации нетрадиционных алгоритмов записи, хранения, обработки и передачи информации, использующих свойства хаотической динамики систем, необходимы генераторы хаоса. Их выходной сигнал должен удовлетворять требованиям широкополосности и существования в широкой области изменения параметров генерации.

В работах [4,5] был предложен нелинейный генератор с изменениями в схеме автомодуляции и представлены первые экспериментальные результаты по генерации хаотических сигналов с уширенным спектром и возможностью регулировки их структурных характеристик.

Данная работа посвящена более детальному исследованию динамики экспериментальной схемы с измененной схемой автомодуляции и изучению процесса формирования хаотических режимов. Приведены примеры временных реализаций, спектров и проекций фазовых траекторий сигналов, полученных в эксперименте.

Принципиальная схема указанного генератора показана на рисунке 1. В качестве базовой схемы для него послужил генератор с инерционной нелинейностью Анищенко – Астахова [2]. От базовой схемы генератор отличается тем, что добавлена схема суммирования выходных сигналов селективного контура U_x и инерционного преобразователя U_z . Полученный сигнал суммы затем подается на вход множителя.

Подмешивание сигнала U_z к U_x дает возможность расширить диапазон изменения параметров, при которых реализуются хаотические режимы колебаний, и получить сигналы с уширенным частотным спектром.

Инерционный преобразователь включает схемы однополупериодного детектирования, возведения в квадрат, инерционный элемент в виде фильтра низкой частоты $R_f C_f$ и линейный усилитель.

Для получения данных о влиянии глубины обратной связи, проходящей через цепь с инерционным преобразователем, на характеристики колебаний была произведена компьютерная запись и обработка временных реализаций при изменении уровня сигнала U_x , поступающего на вход преобразователя. Изменение величины сигнала производилось с помощью переменного сопротивления, установленного между выходом усилителя и входом преобразователя. Оно играло роль управляющего параметра. Скорость записи сигналов выбиралась так, чтобы при изменении уровня сигнала от нуля до максимального, длительность временной реализации составляла порядка 15 секунд. Максимальный уровень сигнала был ограничен характеристиками используемых элементов схемы генератора.

Настройка режимов колебаний производилась путем регулировки величины коэффициента усиления усилителей и множителя генератора при фиксированном значении параметра инерционности g . Здесь $g = \tau_{\text{оо}} / \tau_f$, $\tau_{\text{оо}} = R_0 C_0$ - постоянная времени для селективного элемента с мостом Вина, R_0 и

C_0 - величины сопротивления и емкости в селективном элементе, $\tau_f = R_f C_f$ - постоянная времени фильтра $R_f C_f$. Перед началом записи сигналов U_x и U_z устанавливался режим

периодических колебаний наибольшей амплитуды при малой величине сигнала, подаваемого на вход нелинейного преобразователя

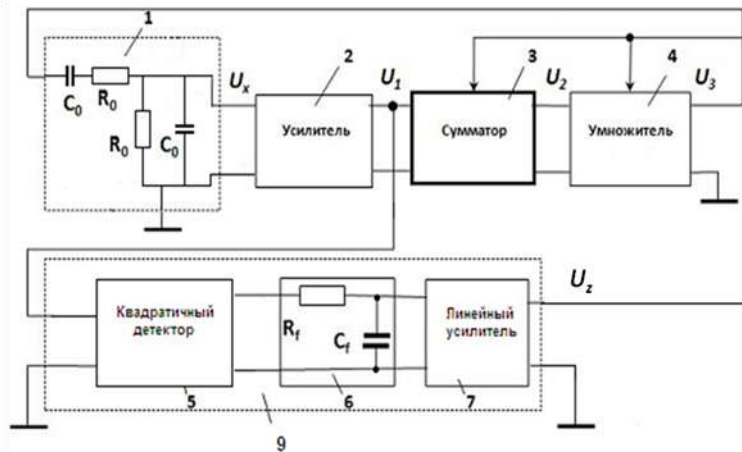


Рис.1 Блок-схема генератора хаотических сигналов: 1 – селективный элемент (RC-мост Вина), 2 – усилитель, 3 – сумматор, 4 – умножитель, 5 – квадратичный детектор, 6 – RC- фильтр, 7 – линейный усилитель, 9 – инерционный преобразователь.

На рисунке 2 приведено дерево ветвления амплитуд, полученное в эксперименте при фиксированном значении параметра инерционности. U_{\max} и U_{\min} - локальные максимумы и минимумы сигнала U_x . Наблюдаемое уменьшение амплитуды вызвано тем, что обратная связь по цепи с инерционным преобразователем отрицательна. Для удобства анализа на рисунке выделены и обозначены цифрами характерные участки с различным режимом колебаний. Указанная на рисунке величина относительного коэффициента усиления $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_{z0})$ является характеристикой глубины обратной связи (глубины модуляции) по цепи, включающей инерционный преобразователь. Здесь K_z - общий коэффициент усиления по цепи от выхода усилителя, через регулятор уровня сигнала и до выхода инерционного преобразователя, K_{z0} - начальный коэффициент усиления, обеспечивающий установку режима периодических колебаний простой формы с наибольшей амплитудой, K_{zm} -

максимальный коэффициент усиления, при котором не происходит искажение сигналов из-за ограниченного диапазона амплитудной характеристики применяемых микросхем.

На рисунке 3 приведены временные реализации сигналов U_x , U_z , спектры и проекции фазовых траекторий U_x , U_z на участках 1 – 8 (см. рисунок 2). Можно заметить, что на участке 1 сигнал U_x по виду близок к гармонической форме. Его спектр содержит четко выраженный максимум, соответствующий резонансной частоте селективного контура. Далее по мере увеличения параметра $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_{z0})$ меняется форма сигналов и соответствующих им спектров и фазовых траекторий.

Появление на участке 2 группы точек с преимущественным направлением в виде ответвления в сторону уменьшения амплитуды, соответствует началу неустойчивой бифуркации удвоения периода, которая затем на участке 3 перестраивается в

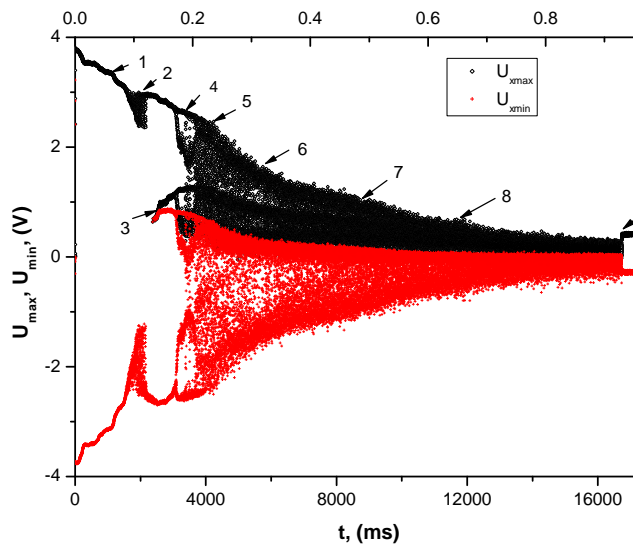


Рис.2. Дерево ветвления амплитуд сигнала U_x генератора с мостом Вина при изменении параметра глубины модуляции $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_{z0})$: $g=2.0$.

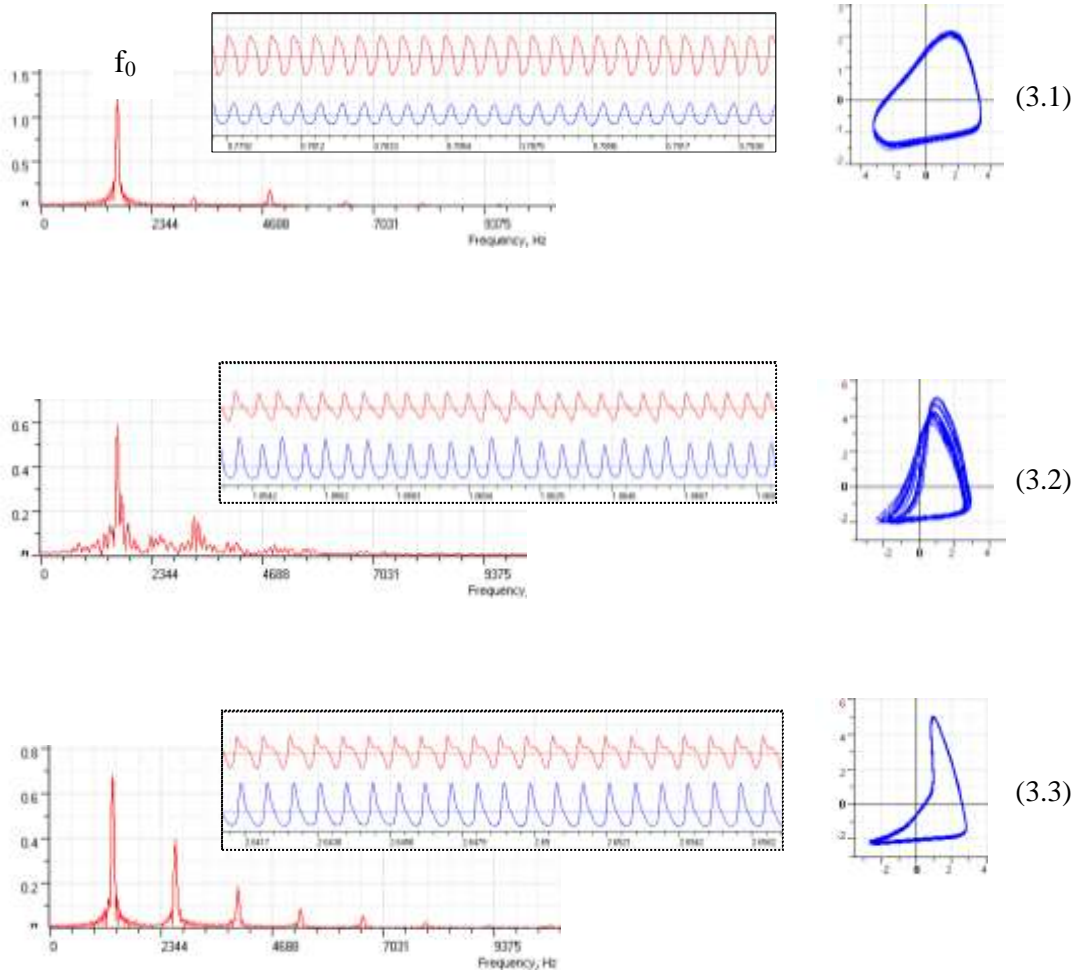
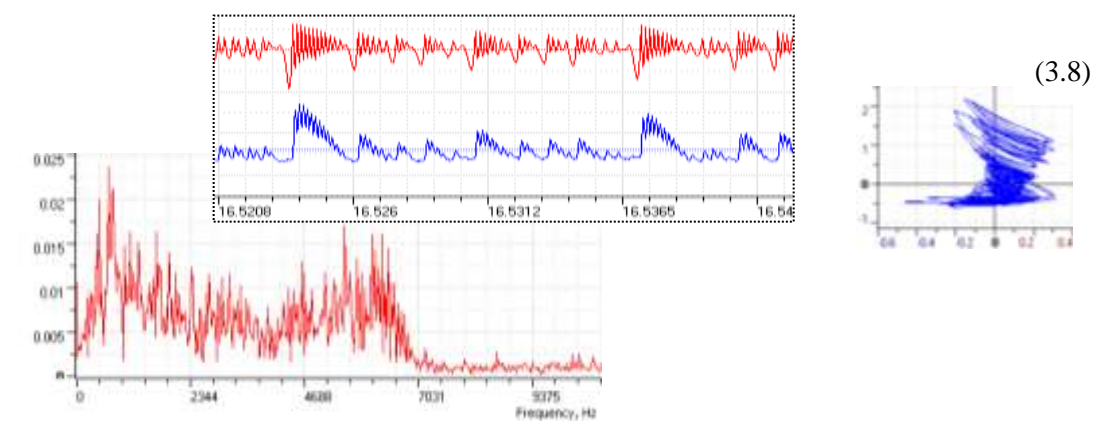
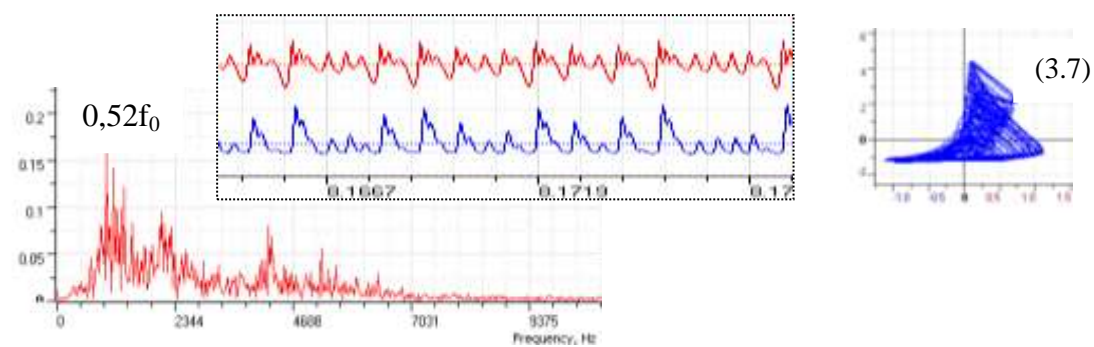
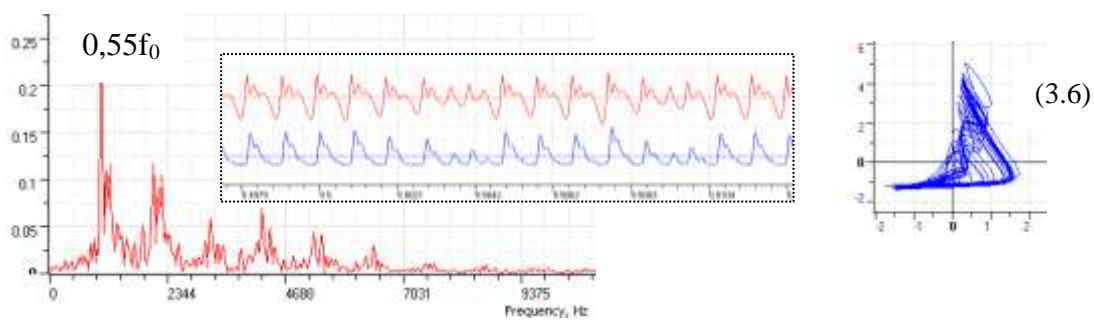
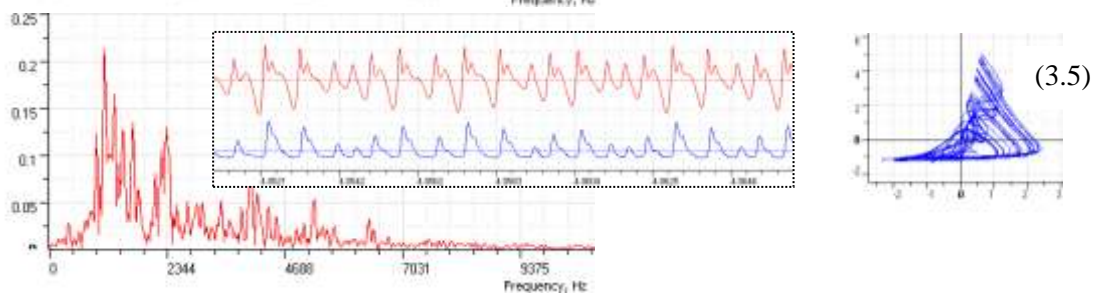
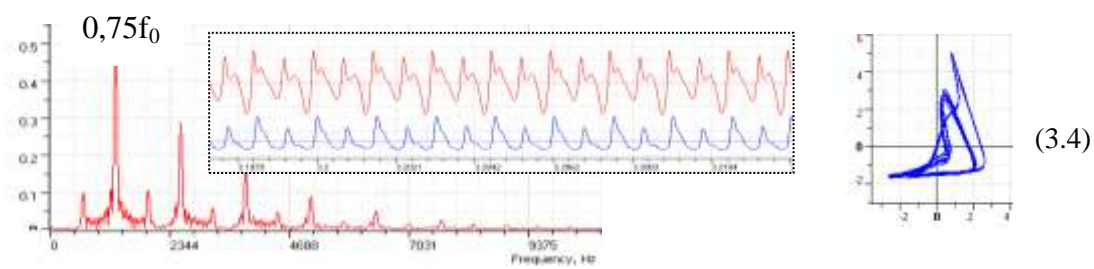


Рис. 3. Временные реализации (в центре), спектры (слева) и фазовые траектории сигналов U_x , U_z (справа), соответствующие режимам колебаний на участках 1-8 дерева ветвления амплитуд.



Продолжение рисунка 3.

добавление короткого периода в исходный сигнал. Сказанное можно проследить, сравнивая форму сигналов на рисунках 3.2 и 3.3.

Следует отметить, что неустойчивая бифуркациудвоения периода отразилась на форме проекции фазовых траекторий в виде появления ленты, а в спектре небольшой размытости максимумов.

На участках 4 и 5 (см. рисунок 2), судя по форме дерева ветвления, произошло удвоение периода сигнала усложненной формы. Соответствующие этим участкам временные реализации, спектры и проекции фазовых траекторий приведены на рисунках 3.4 и 3.5. Из их анализа следует, что удвоение периода начинается после завершения усложнения формы сигнала и установления периодического режима с простым аттрактором. Усложнение произошло путем добавления колебаний с коротким периодом (осцилляций) в период основной частоты, задаваемой селективным контуром. Произошедшее увеличение периода привело к сдвигу максимума спектра в область низких частот (см. рисунок 3.4). Бифуркация удвоения периода усложненного сигнала вызвала появление в спектре субгармоники и гармоник частоты этого максимума. Далее при увеличении параметра $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_{z0})$ наблюдается хаотизация колебаний (см. рисунок 3.5), затем добавление второй осцилляции и стабилизация устойчивого периодического режима колебаний (см. рисунок 3.6). Добавление второй осцилляции привело к сдвигу частоты максимума спектра в сторону уменьшения. Приведенное на рисунке значение $f_m = 0,55f_0$ показывает, что оно приблизилось к частоте первой субгармоники основной частоты селективного контура f_0 .

Второе удвоение периода видно на участке 5 дерева ветвления амплитуд. Оно не четко выделено из-за значительной хао-

тизации колебаний, усиливающейся при увеличении параметра $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_{z0})$.

Колебания на участке 7 имеют хаотическую структуру, о чем свидетельствуют форма временных реализаций и фазовых траекторий, показанных на рисунке 3.7. Частота максимума в спектре $f_m = 0,52f_0$ еще более приблизилась к частоте первой субгармоники основной частоты f_0 . В высокочастотной части спектра появилась область с повышенным значением амплитуд. При дальнейшем увеличении параметра $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_z)$ в спектре формируется пологий максимум, сравнимый по амплитуде с максимумом в низкочастотной части.

Анализируя форму сигнала на участках 7 и 8 можно заметить, что в нем содержатся чередующиеся участки с разной формой структурных элементов в виде синусоидальных колебаний, колебаний с одной, двумя, тремя и далее увеличивающимся числом осцилляций. Случайное чередование структур такого вида является характерным признаком свойства перемежаемости. Количественную оценку присутствия структур разной формы в хаотическом сигнале можно сделать на основе расчета вероятности реализации структурных элементов в виде:

$$\eta_n = \frac{\sum_i \Delta T_{ni}}{T}$$

Здесь ΔT_{ni} – интервал времени, занимаемый одним структурным элементом выбранного вида, n – количество осцилляций в структуре, i – порядковый номер структуры в обрабатываемой временной реализации, T – длительность реализации.

На рисунке 4 показана зависимость вероятности реализации структур с разным числом осцилляций от параметра $(K_z - K_{z0}) / (K_{zm} - K_z)$. Приведенные результаты получены на основе обработки временных реализаций на участках 1-9 дерева ветвления амплитуд. Видно, что с увеличением

параметра глубины модуляции имеются максимумы. Они показывают, что имеет-

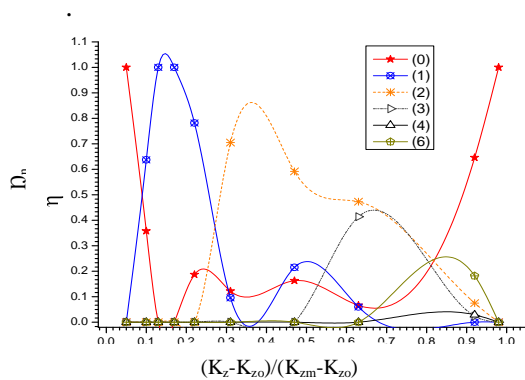


Рис. 4. График зависимости вероятности реализации структур с разным числом осцилляций от параметра глубины модуляции: (0)- структуры без осцилляций, (1)-с одной осцилляцией, (2)-двумя, (3)-тремя, (4)-четырьмя и (6)-шестью осцилляциями.

ся преобладание структурных элементов определенного вида на отдельных участках параметра глубины модуляции. Увеличение вероятности реализации структур без осцилляций при $\eta > 0,9$ соответствует началу

генерации высокочастотных синусоидальных колебаний.

Таким образом, в рассматриваемом генераторе хаотических колебаний при увеличении глубины обратной связи по цепи, включающей нелинейный преобразователь, на начальных стадиях происходит усложнение формы сигнала. Оно сопровождается добавлением коротких периодов в каждый период предыдущего режима колебаний. Причем, после каждой стадии добавления периода следует удвоение увеличенного периода. Далее активизируется степень присутствия режимов перемежающихся колебаний в виде случайного чередования структурных элементов с разным числом добавленных высокочастотных периодов. Указанные эффекты приводят к уширению спектра колебаний в высокочастотную и низкочастотную область.

Литература: [1.] А.С. Дмитриев, А.В. Клецов, А.М. Лактюшкин, А.И. Панас, С.О Старков, А.Д. Хилинский. Сверхширокополосная беспроводная связь на основе динамического хаоса. //Радиотехника и электроника. -2006. т.51, №10,- с. 1193-1209; [2.] Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990.-312с. [3.] Анищенко В.С., Астахов В.В. и др. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва-Ижевск: ИКИ. 2003.-544 с. [4.] Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б., Кадыракунов К.Б., Алмасбеков Н.Е. Экспериментальное получение и исследование перемежаемых сигналов // Вестник КазНУ. Серия физ. – 2005. – №1(19). – С.149-153; [5.] Тарасов С.Б., Алмасбеков Н.Е., Кадыракунов К.Б. Экспериментальное исследование структуры колебаний генератора хаоса в режиме малой инерционной нелинейности // Алматы, 2006, - Журнал ПЭОС, Вып. 8,- Т. 2, - с. 34-39;

Принято в печать 17.10.09

УДК 621.86

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАНИЙ
ГЕНЕРАТОРА ХАОСА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

Тарасов Станислав Борисович

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы
050012, г.Алматы, ул. Толе-би 96а, т.925866 (внут.2226)

В работе представлены результаты исследования режимов и характеристик колебаний генератора, который дает возможность получать сигналы с регулируемой перемежающейся структурой. Приведены примеры, демонстрирующие форму дерева ветвления амплитуд, спектров и фазовых траекторий сигналов, полученных в эксперименте.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF CHARACTERISTICS OF OSCILLATIONS OF THE GENERATOR OF CHAOS WITH CONTROLLABLE ALTERNATING STRUCTURE.

S.B. Tarasov

Al-Farabi Kazazakh National Universiti, Tole-bi, 96a, Flmaty

Results of regimes and characteristics research of the oscillations of the generator, which enables to get the signals with controllable structure are presented in work. Cite an instance, demonstrating form tree branching the amplitudes, spectrum and phase trajectory of signals, got in experiment.

АУЫСПАЛЫ ҚҰРЫЛЫМЫ БАСҚАРЫЛАТЫН ХАОСТЫ ГЕНЕРАТОРДЫҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ
СИПАТТАМАЛАРЫН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ.

Тарасов Станислав Борисович

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қаласы
050012, Алматы қ., Төле-би 96а, т.925866 (2226)

Ауыспалы құрылымы басқарылатын сигналдарды алуға мүмкіндік беретін генератордың тербелістерінің сипаттамалары және әр-түрлі режимдері зерттелген. Экспериментте алынған сигналдардың спектрлері және фазалық траекториялары, сондай-ақ, амплитудалардың тармақталу ағашының формасы көрсетілген.