

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

ВЧ генераторы с передачей фазы возбуждения

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 461 группы
направления 12.03.04 Биотехнические системы и технологии
факультета нано- и биомедицинских технологий

Житаря Андрея Демьяновича

Научный руководитель

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н.

должность, уч.степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н.

должность, уч.степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Саратов 2019

Введение

В настоящее время одним из интересных направлений исследований является изучение автоколебательных систем, демонстрирующих хаотическое поведение. Интерес к таким системам связан с тем, что подобное поведение достаточно часто встречается в природе, и даже сердце человека бьется не строго регулярно, а слабо-хаотически. Иной интерес к генераторам с хаотическим поведением связан с новыми принципами кодирования и скрытной передачи информации [1,2]. Среди генераторов хаоса выделяют отдельный тип автогенераторов, у которых хаотические колебания обладают специфическими свойствами. Речь идет о хаотических колебаниях, которые являются структурно устойчивыми или их еще называют грубыми. Характеристики таких хаотических колебаний в определенном диапазоне не зависят от вариации параметров автогенератора [3-8].

К настоящему времени разработана строгая математическая теория таких динамических систем, демонстрирующих такие хаотические аттракторы, называемые гиперболическими. До недавнего времени считалось, что эти аттракторы дают лишь идеализированный “рафинированный” образ динамического хаоса, не имея отношения к динамике систем физического или технического происхождения. В книгах по нелинейной динамике такие типы поведения известны как аттрактор Плыкина и соленоид Смейла–Вильямса. Недавно был предложен принцип построения радиотехнических генераторов с гиперболическими аттракторами, в основе работы которых лежит принцип передачи фазы автоколебаний от одного генератора к другому. Система, реализующая данный принцип, состояла из двух автогенераторов с модуляцией, частоты которых отличались в два раза (рисунок 1). Данная схема является неавтономной, в ней присутствует источник внешнего сигнала на частоте f_1 первого генератора. Также в схеме реализована амплитудная модуляция автоколебаний, при этом когда в первом генераторе автоколебания возбуждаются, во втором они гаснут. Частота кратна частоте внешнего воздействия и равна $f_1/8$.

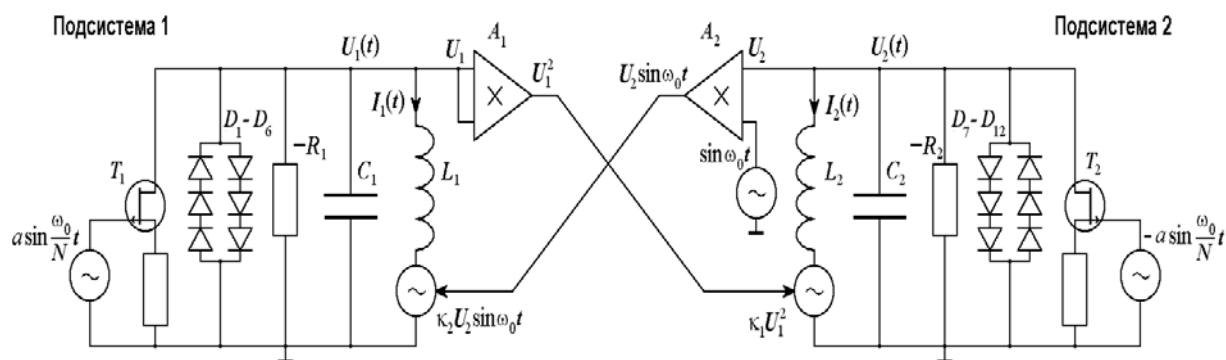


Рисунок 1. Схема устройства на основе двух связанных подсистем.

Существует другой подход генераторов гиперболического хаоса. На рисунке 2 представлена схема, в которой принята идеология по возможности точного воспроизведения уравнений с использованием элементов, применяемых в технике аналогового моделирования, таких, как интеграторы, умножители, сумматоры, что представляется разумным в качестве первого шага на пути построения реальных генераторов гиперболического хаоса. В дальнейшем, по-видимому, можно будет реализовать более простые схемы на традиционной для радиотехники элементной базе (транзисторы, диоды, конденсаторы, резисторы).

Схема, представленная на рисунке 2, содержит операционные усилители $U1-U7$ и умножители $A1-A10$. Все умножители характеризуются коэффициентом передачи K , равным по абсолютной величине $1/10$ (т.е. при входных напряжениях U_1 и U_2 на выходе получается напряжение KU_1U_2), причем для умножителей $A6$ и $A7$, обозначенных на схеме серым цветом, этот коэффициент отрицательный. [3]

С каждой из четырех динамических переменных x , u , y , v ассоциируется интегратор на базе операционного усилителя (соответственно, $U1$, $U2$, $U3$, $U4$), емкости ($C1$, $C2$, $C3$, $C4$) и резистора ($R1$, $R2$, $R3$, $R4$). Собственно величины x , u , y , v отвечают напряжениям на конденсаторах $C1$, $C2$, $C3$ и $C4$.

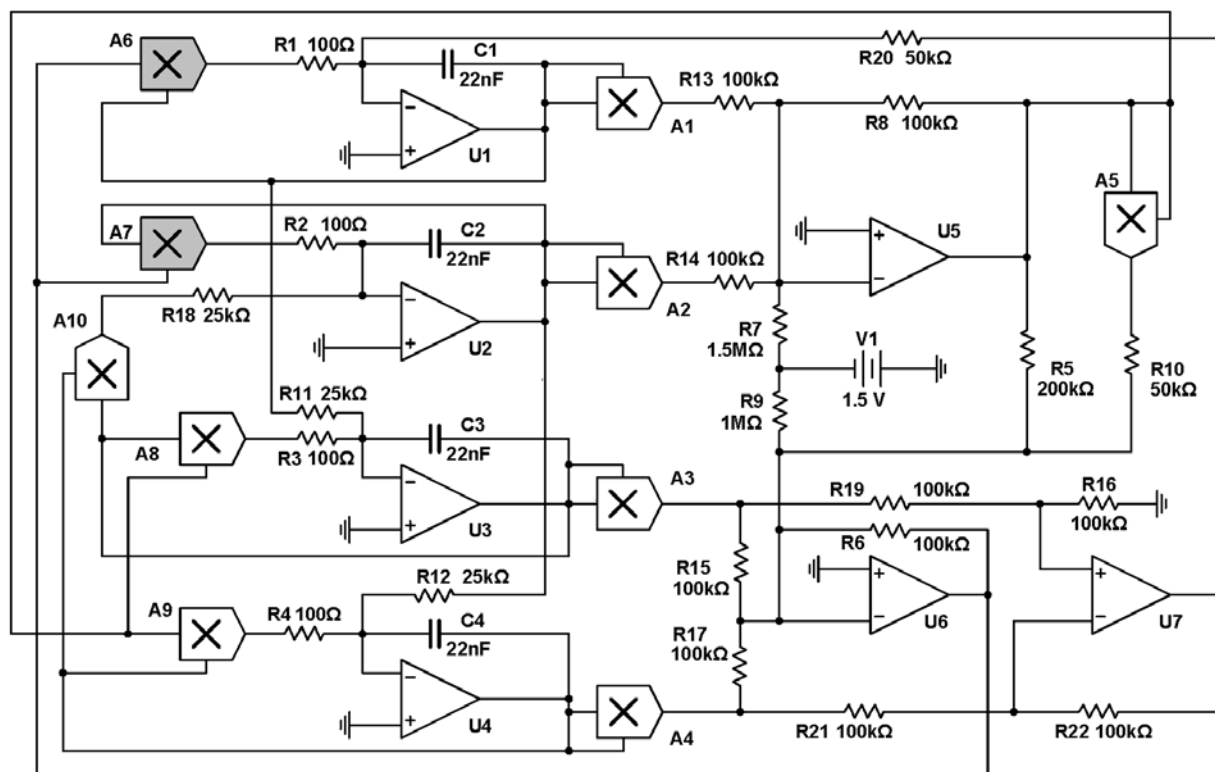


Рисунок 2. Схема автономного генератора.

Цель данной работы является моделирование в среде Multisim и экспериментальная реализация автоколебательной системы на основе двух автогенераторов с модуляцией и передачей фазы колебаний в диапазоне высоких частот.

Моделирование в среде Multisim.

На рисунке 12 представлена полная схема системы автогенераторов, построенная в среде Multisim. Она включает генератор 1, собранный на ОУ U2a и генератор 2, собранный на ОУ U5a, делитель частоты A3, генератор V3, а также схемы передачи возбуждения генератора 1 к генератору 2 и наоборот, собранных на аналоговых умножителях A1 и A3, а также ОУ UA1 и ОУ UA4, соответственно. В качестве базовой используется классическая схема автогенератора на операционном усилителе с колебательным контуром на неинвентрирующем входе и резистивной обратной связью.

В генераторе 1 частота автоколебаний задается колебательным контуром L1C1, цепь обратной положительной связи реализуется с помощью резистора R2. Резисторы R4 и R5 задают коэффициент усиления ОУ UA2. Управление возбуждением автоколебаний осуществляется с помощью полевого транзистора T1. При напряжении на затворе больше по модулю

напряжения отсечки, транзистор Т1 заперт, и в генераторе возбуждаются автоколебания. Когда напряжение на затворе стремится к нулю, транзистор открывается и своим низким сопротивлением между стоком и истоком вносит большие потери в колебательный контур L1C1, в результате чего автоколебания гаснут.

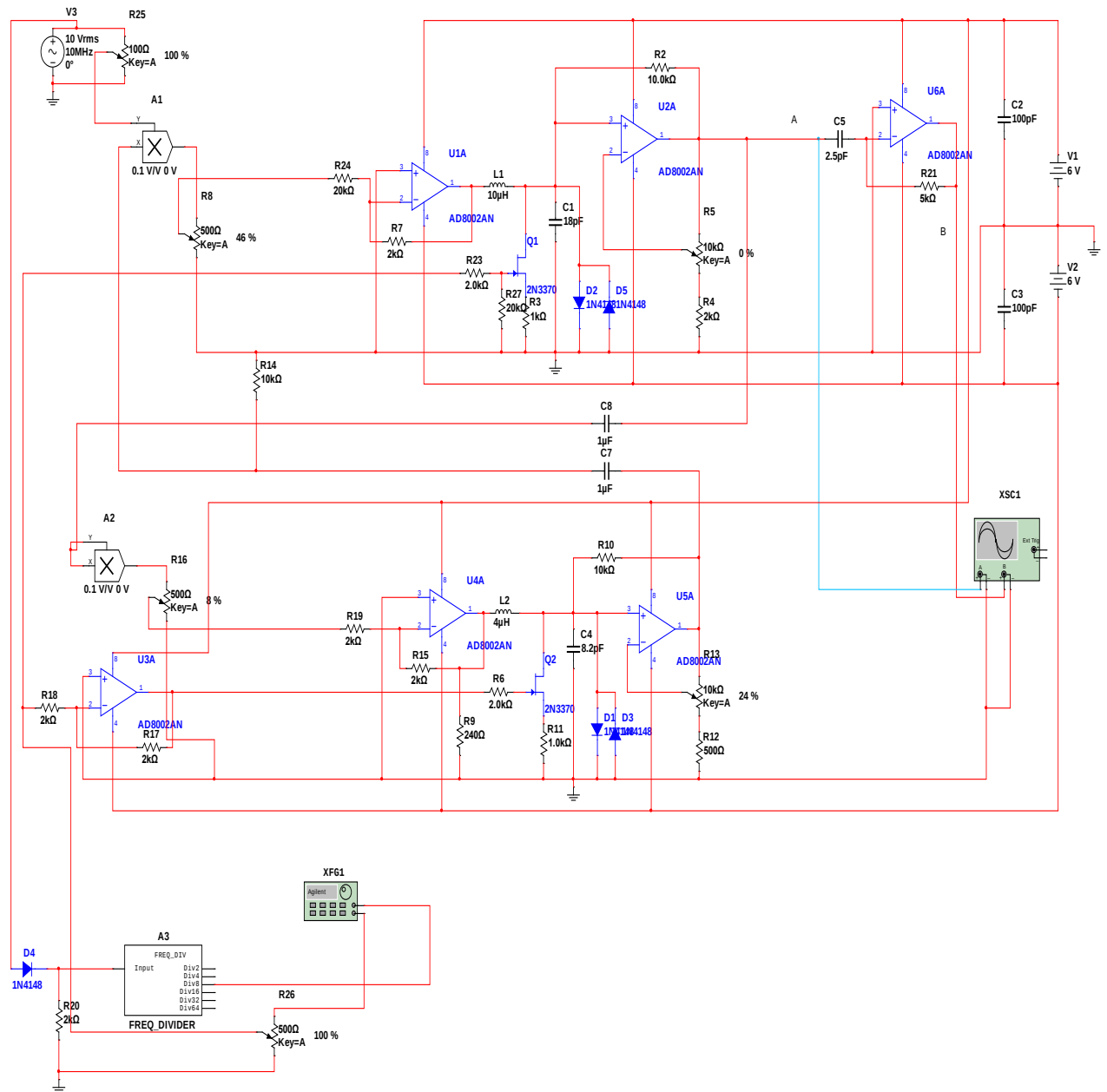


Рис.12. Схема системы связанных автогенераторов

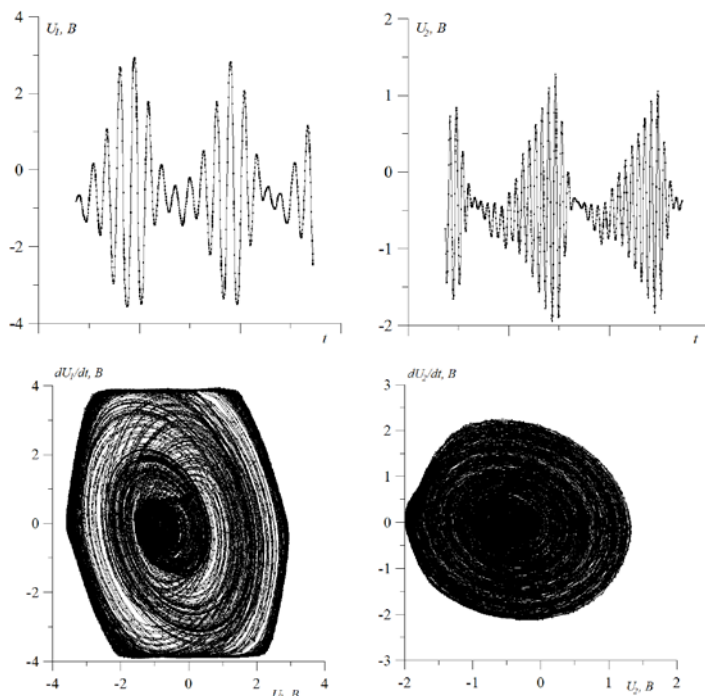
Значения параметров L1C2 и L2C4 подобраны таким образом, что частота автоколебаний генератора 1 $f_1=9\text{Гц}$, а генератора 2 $f_2=18\text{МГц}$.

На генератор 1 поступает внешнее воздействие в виде напряжения генератора 2, перемноженное с помощью аналогового умножителя А1 с переменным напряжением внешнего генератора с частотой 10 МГц. Перемноженные напряжения с помощью ОУ UA1 подаются в генератор 1.

На генератор 2 тоже поступает внешнее воздействие в виде возведенного в квадрат с помощью аналогового умножителя А2 и ОУ UA3 напряжения генератора 1.

Помимо этого, частота внешнего генератора с помощью делителя частоты делится на 8. Сигнал с делителя частоты поступает на затвор Т1 и через инвертирующий усилитель UA3 на затвор Т2. В результате когда на затворе Т1 наблюдается отрицательная фаза напряжения в генераторе 1 возбуждаются автоколебания, то на затворе Т2 – положительная фаза напряжения, и автоколебания в генераторе 2 гаснут. После смены фаз напряжения, автоколебания в генераторе 1 гаснут, а в генераторе 2 – возбуждаются. С помощью ОУ UA6 и ОУ UA5 осуществляется аналоговое дифференцирование напряжений первого и второго генераторов, соответственно.

На рисунке 14 представлены осциллограммы напряжения в генераторах в режиме модуляции. На рисунке 15 представлены результаты исследования генератора в режиме гиперболического хаоса.



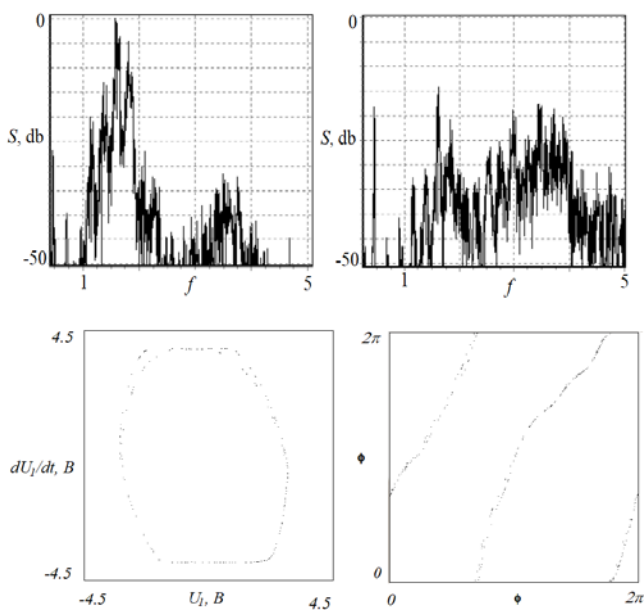


Рис.15. Результаты экспериментального исследования генератора в режиме гиперболического хаоса: а - временные реализации; б - проекции фазовых портретов; в - спектры Фурье; г - фазовый портрет в сечении Пуанкаре и итерационная диаграмма для отображение фаз.

Экспериментальная система автогенераторов.

На рисунке 16 представлена полная схема экспериментальной системы автогенераторов. Как и в среде Multisim, она включает генератор 1, собранный на ОУ1 и генератор 2, собранный на ОУ5, делитель частоты на цифровом счетчике K155IE10, генератор, а также схемы передачи возбуждения генератора 1 к генератору 2 и наоборот, собранных на аналоговых умножителях AD835. В качестве базовой используется классическая схема автогенератора на операционном усилителе с колебательным контуром на неинвертирующем входе и резистивной обратной связью.

В генераторе 1 частота автоколебаний задается колебательным контуром L1C1, цепь обратной положительной связи реализуется с помощью резистора R2. Резисторы R5 и R6 задают коэффициент усиления ОУ1. Управление возбуждением автоколебаний осуществляется с помощью полевого транзистора T1. При напряжении на затворе больше по модулю напряжения отсечки, транзистор T1 заперт, и в генераторе возбуждаются автоколебания. Когда напряжение на затворе стремится к нулю, транзистор открывается и своим низким сопротивлением между стоком и истоком

вносит большие потери в колебательный контур L1C1, в результате чего автоколебания гаснут.

В генераторе 2 частота автоколебаний задается колебательным контуром L2C2, цепь обратной положительной связи реализуется с помощью резистора R19. Резисторы R20 и R21 задают коэффициент усиления ОУ5. Управление возбуждением автоколебаний осуществляется с помощью полевого транзистора T2. При напряжении на затворе больше по модулю напряжения отсечки, транзистор T2 заперт, и в генераторе возбуждаются автоколебания. Когда напряжение на затворе стремится к нулю, транзистор открывается и своим низким сопротивлением между стоком и истоком вносит большие потери в колебательный контур L2C2, в результате чего автоколебания гаснут.

Значения параметров L1C2 и L2C4 подобраны таким образом, что частота автоколебаний генератора 1 – $f_1=9\text{Гц}$, а генератора 2 – $f_2=18\text{МГц}$.

На генератор 1 поступает внешнее воздействие в виде напряжения генератора 2, перемноженное с помощью аналогового умножителя AD835 с переменным напряжением внешнего генератора с частотой 9 МГц. Перемноженные напряжения с помощью аналогового умножителя подаются в генератор 1. На генератор 2 тоже поступает внешнее воздействие в виде возведенного с помощью аналогового умножителя AD835 в квадрат напряжения генератора 1.

Помимо этого, частота внешнего генератора с помощью делителя частоты на микросхеме K155IE10 делится на 8. Сигнал с делителя частоты проходит низкочастотный фильтр R12C13, а затем поступает на инвертирующий усилитель на ОУ3. С выхода ОУ3 сигнал поступает на затвор полевого транзистора T1 и модулирует сопротивление его канала, и тем самым осуществляя модуляцию автоколебаний генератора 1.

Помимо этого сигнал с выхода ОУ3 поступает на инвертирующий усилитель на ОУ4, а с его выхода на затвор полевого транзистора T2, также осуществляя модуляцию автоколебаний генератора 2. Такая схема модуляции осуществляет поочередное возбуждение автоколебаний первого и второго генератора. Когда на затворе T1 наблюдается отрицательная фаза напряжения в генераторе 1 возбуждаются автоколебания, то на затворе T2 – положительная фаза напряжения, и автоколебания в генераторе 2 гаснут. После смены фаз напряжения, автоколебания в генераторе 1 гаснут, а в генераторе 2 – возбуждаются. С помощью ОУ UA6 и ОУ UA5

осуществляется аналоговое дифференцирование напряжений первого и второго генераторов, соответственно.

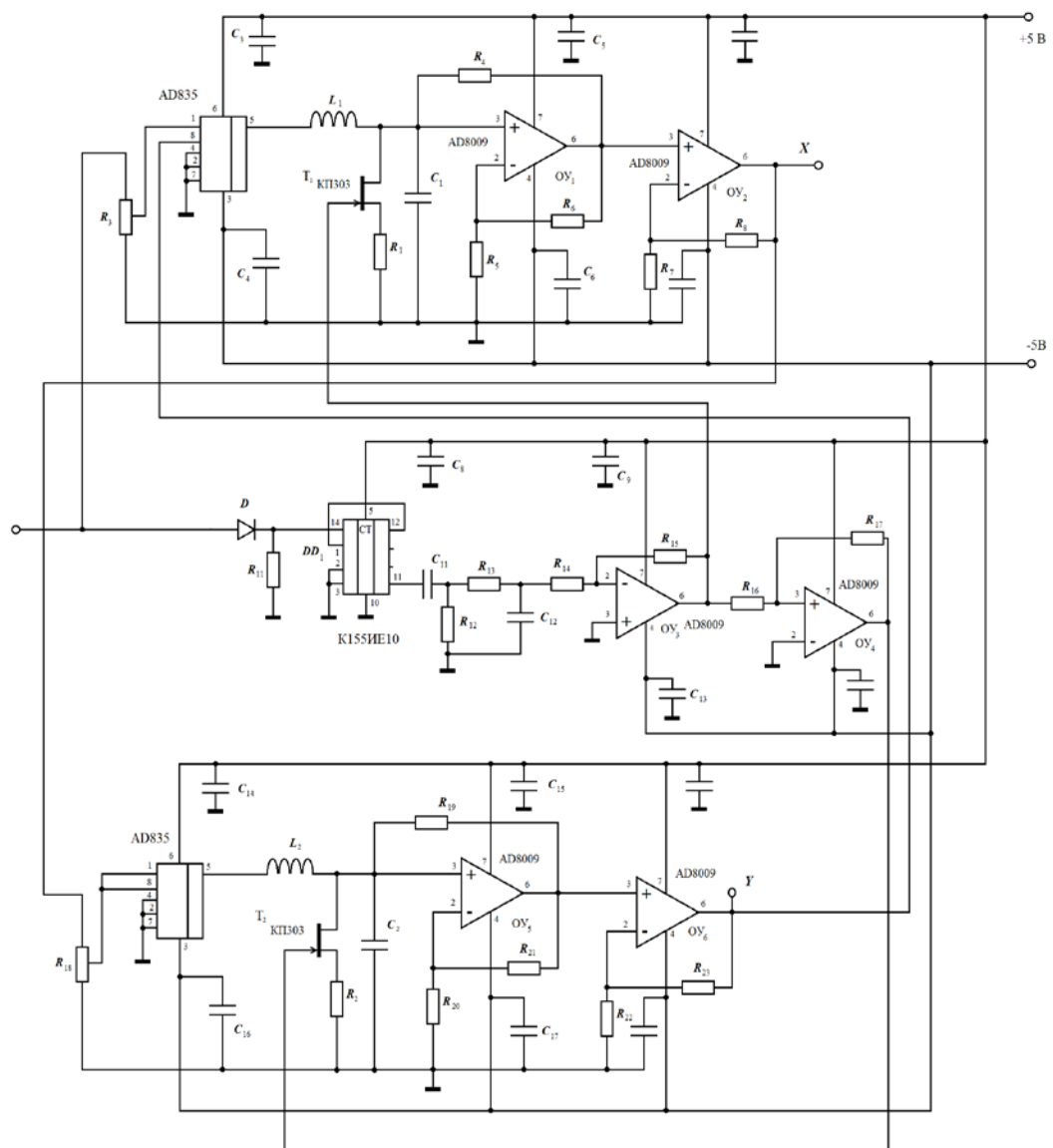


Рис.16 Схема системы автогенераторов с передачей возбуждения.

Для работы делителя частоты сигнал внешнего опорного генератора поступает на детектор, который выделяет только положительную составляющую сигнала. Сформированные таким образом синусоидальные импульсы положительной полярности поступают на вход делителя частоты, который выполнен на микросхеме DD1 – K155IE10. Коэффициент деления выбран равным 8, поэтому на выходе делителя наблюдается последовательность прямоугольных импульсов, частота которых меньше

частоты сигнала опорного генератора в 8 раз. Цепочка R11C12 предназначена для отсекающей постоянной составляющей выходного сигнала делителя частоты T2 и тем самым управляет возбуждением автоколебаний в генераторе 2.

На рисунке 17 представлен рисунок печатной платы, выполненный в системе автоматизированного проектирования Sprint Layout. На рис. 18 представлены фотографии платы генератора.

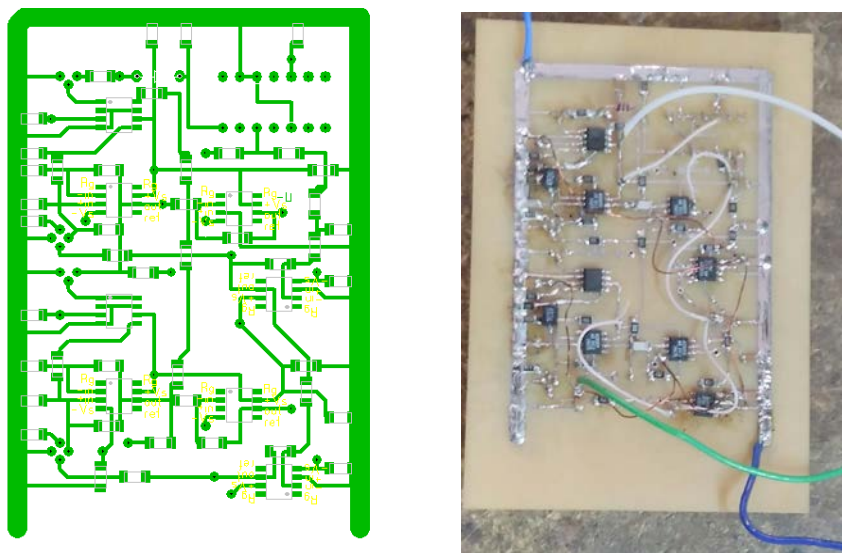


Рис. 18. Разводка и плата системы генераторов.

На рисунке 19 представлены осциллограммы напряжений в первом (слева сверху) и втором (слева снизу), а также спектры мощности колебаний первого (в центре) и второго (справа) генераторах в отсутствии связи и модуляции. Автоколебания генераторов являются периодическими, однако их форма отличается от гармонической, соответственно в спектрах мощности присутствуют высшие гармоники.

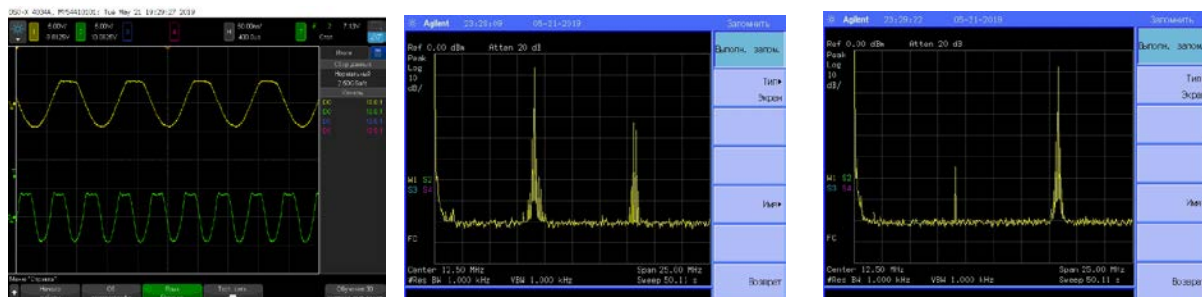


Рис. 19. В отсутствие связи и модуляции

На рисунке 120 представлены осциллограммы напряжений в первом (слева сверху) и втором (слева снизу), а также спектры мощности колебаний

первого (в центре) и второго (справа) генераторах при наличии связи и отсутствии модуляции.

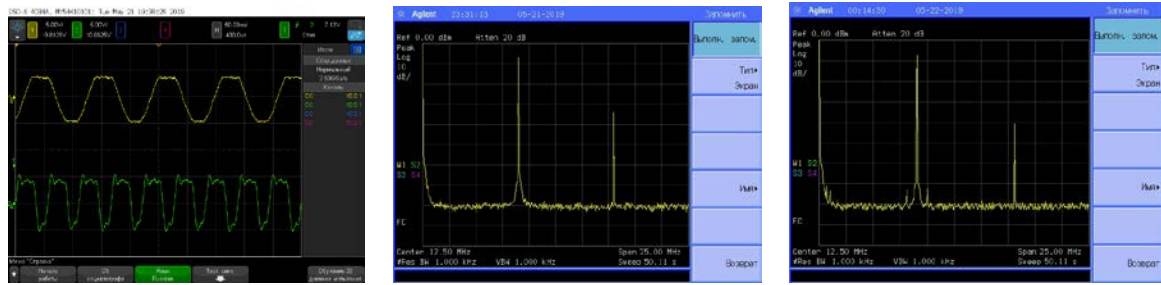


Рис. 20 При наличии связи и отсутствии и модуляции

На рисунке 21 представлены осциллограммы напряжений в первом (слева сверху) и втором (слева снизу), а также спектры мощности колебаний первого (в центре) и второго (справа) генераторах при наличии связи и модуляции. Колебания при данных управляющих параметрах генераторов являются периодическими.

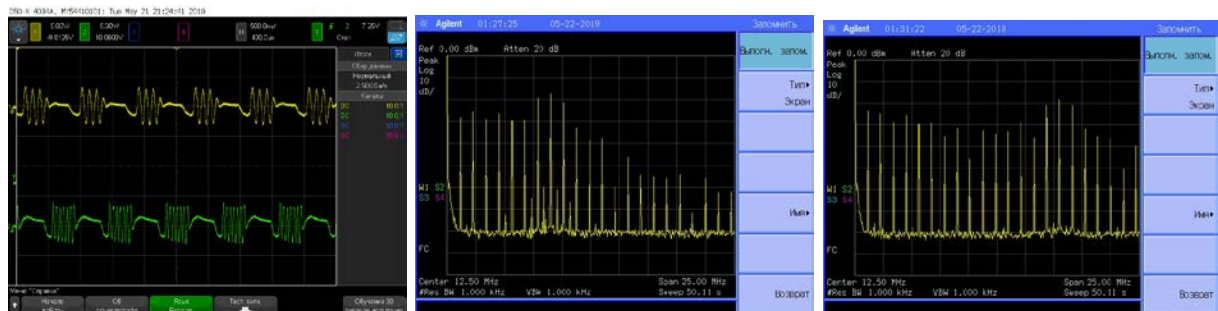


Рис.21. При наличии связи и модуляции.

В процессе проведения экспериментальных исследований производилось наблюдение различных режимов колебаний. Рисунки 22-25 иллюстрируют проекции фазовых портретов на плоскость (U , dU/dt) генератора 1, полученные с помощью аналогового осциллографа.

Подбором частоты и амплитуда внешнего генератора, а также коэффициентов связи между генераторами не сложно добиться режима хаотических колебаний, которые иллюстрируют рисунке 26 и рисунок 27. На рисунке 26 представлены осциллограммы напряжений в первом (слева сверху) и втором (слева снизу), а также спектры мощности колебаний первого (в центре) и второго (справа) генераторах при наличии связи и модуляции, соответствующие режиму гиперболических хаотических автоколебаний. Рисунок 27 иллюстрирует проекции фазовых портретов в первом (слева) и во втором (справа) генераторах.

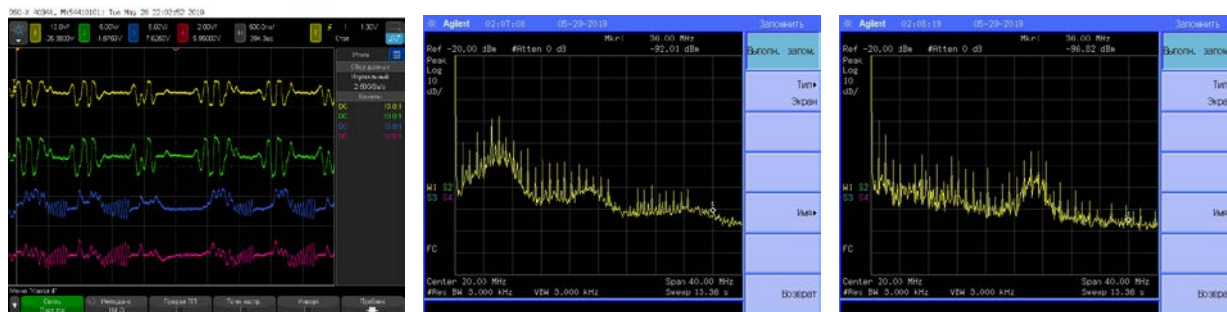


Рис. 26 При наличии связи и модуляции, соответствующих режиму хаотических колебаний.

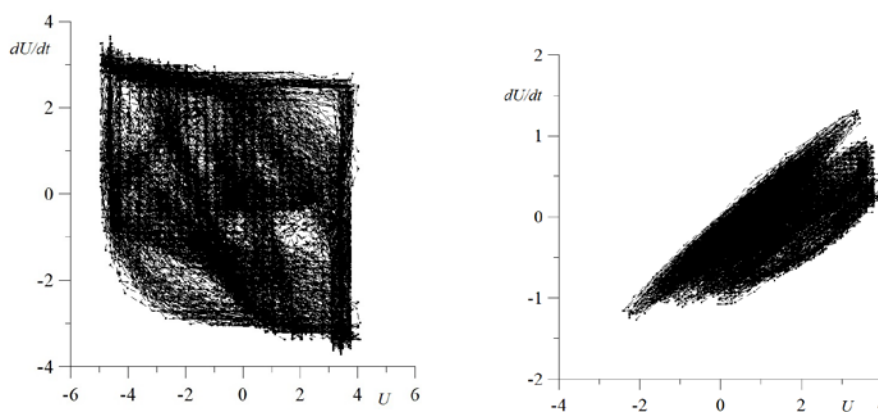


Рис.27. Проекция фазовых портретов в первом и втором генераторах.

Заключение

В ходе выполнения квалификационной работы я ознакомился с работой в среде Multisim для схемотехнического моделирования различных систем, а также программным пакетом Sprint Layout5 для проектирования печатных плат. Был сделан обзор работ по динамическим системам с передачей фазы возбуждения. Была разработана принципиальная схема связанных автогенераторов с передачей возбуждения в диапазоне высоких частот. Построена схема связанных автогенераторов с передачей возбуждения в среде Multisim. Моделирование в среде Multisim показало работоспособность данной схемы. На основе апробированной в среде Multisim экспериментально была создана система двух связанных автогенераторов с эстафетной передачей фазы. Была проведена наладка работы отдельных узлов и системы в целом. Были проведены экспериментальные исследования различных режимов колебаний. Показано, что и в режиме хаотических колебаний и передачи возбуждения имеет место синхронизация

автогенераторов, а также наблюдались хаотические колебания гиперболического типа.

Литература

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. - 252 с. - ISBN 5-94052-066-9.
2. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Панас А.И., Максимов Н.А. Генерация хаоса. М: Техносфера, 2012, 424 с.
3. Синай, Я.Г. Нелинейные волны / Я.Г. Синай. – Москва: Наука, 1979. 192 с.
4. С.П. Кузнецов, *Динамический хаос*, Физматлит, Москва (2001).
5. S.E. Newhouse, Publ. Math. IHES, 50, 101 (1979); V. S. Afraimovich and L.P. Shil'nikov, in book: *Nonlinear Dynamics and Turbulence*, eds. G.I. Barenblatt, G. Ioss, and D.D. Joseph, Pitman, Boston, London, Melbourne (1983), p. 1.
6. В.С.Анищенко, В.В.Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.Б. Нейман, Г.И. Стрелкова, Л. Шиманский-Гайер, *Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах*, Инст. Компьютерных исследований, Москва – Ижевск (2003).
7. Кузнецов, С.П. Хаотическая динамика в физической системе со странным аттрактором типа Смейла – Вильямса / С.П. Кузнецов, Е.П. Селезнёв // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2006. - №2. – С. 400-412.