

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**ДИНАМИКА МНОГОКОНТУРНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА С
ОБЩЕЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

код и наименование направления

факультета nano- и биомедицинских технологий

наименование факультета

Галкиной Юлии Юрьевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой:

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Саратов 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из современных направлений в исследовании многочастотных и хаотических колебаний является исследование автоколебательных систем, в которых наблюдаются осцилляции с тремя и более несоизмеримыми частотами, то есть частотами, находящимися в иррациональном соотношении. Интерес к таким системам связан как с исследованием фундаментального явления – перехода к хаосу от многомерного тора, так и с тем, что подобные колебания наблюдаются в системах различной физической природы: механических, электронных, биологических. Один из подходов в изучении подобных колебаний заключается в исследовании систем связанных автогенераторов. При условии слабой связи и отсутствии синхронизации в такой системе рождаются многочастотные колебания, которым в фазовом пространстве соответствует многомерный тор с размерностью, равно числу автогенераторов.

Иной подход заключается в конструировании сложной автоколебательной системы, в которой при изменении управляющих параметров рождаются многочастотные автоколебания с тремя и более несоизмеримыми частотами. Одним из способов конструирования таких систем заключается в построении так называемых многоконтурных автогенераторов. Известно, что частота автоколебаний классического автогенератора определяется собственной частотой колебательной системы, в качестве которой широко используется колебательный контур. Увеличением числа колебательных систем можно добиться увеличения числа несоизмеримых частот в спектре автоколебаний. Следует отметить, что к настоящему времени хорошо изучены двухконтурные автогенераторы. Однако при их конструировании преследовались иные цели.

Интерес к многоконтурным автогенераторам проявился в связи с возбуждением в них квазипериодических колебаний. Квазипериодические колебания широко распространены в науке и технике. Соответствующие примеры можно найти в электронике, радиотехнике, биофизике,

климатологии, астрофизике. Квазипериодические колебания можно классифицировать по числу независимых несоизмеримых частот. В фазовом пространстве образами квазипериодических колебаний являются *инвариантные торы*, при этом размерность тора равна числу неизмеримых частот. При этом двухчастотный тор вложен в трехмерное фазовое пространство, трехчастотный – в четырехмерное и т.д. Спектры таких колебаний достаточно сложно устроены и содержат не только «комплект» основных частот, но и набор их гармоник. Задачи о генерации квазипериодических колебаний, их управления внешними сигналами, взаимной синхронизации являются сложными, причем заметный прогресс, в теоретическом описании достигнут сравнительно недавно [1-10].

Целью данной работы является разработка, изготовление и исследование динамики многоконтурного автогенератора с линейными собственными модами и общей нелинейностью.

Основными задачами работы являются:

- Разработка схемы пятиконтурного автогенератора с независимым управлением возбуждения мод и общей нелинейностью;
- Изготовление пятиконтурного автогенератора с независимым управлением возбуждения мод и общей нелинейностью;
- Исследование динамики и структуры пространства управляющих параметров генератора.

Экспериментальная установка

Схема генератора

Основу многоконтурного автогенератора в соответствии с рисунком 1 составляют пять колебательных контуров $L_1C_1 - L_5C_5$. Эти контура задают частоты пяти собственных автоколебательных мод. В качестве активных элементов используются операционные усилители (ОУ). ОУ₁-ОУ₅ – усилители с регулируемыми коэффициентами усиления по напряжению, работающие в линейном режиме и используемые для развязки колебательных контуров между собой и отдельного управления возбуждением каждой из мод генератора. Усилитель на ОУ₁₁ представляет собой суммирующий, инвертирующий нелинейный усилитель, обеспечивающий нелинейное ограничение амплитуды колебаний. Усилитель на ОУ₁₂ представляет собой инвертирующий усилитель, работающий в линейном режиме и обеспечивающий дополнительное усиление суммарного сигнала. Усилители на ОУ₆-ОУ₁₀ представляют собой дифференцирующие усилители и предназначены для получения производной напряжения с выходов ОУ₁-ОУ₅.

В целом схема работает следующим образом. Переменное напряжение с колебательного контура (например, U_1 с колебательного контура L_1C_1) поступает на неинвертирующий вход соответствующего операционного усилителя (ОУ₁) и усиливается. Коэффициент усиления усилителя K_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) определяется положением среднего вывода потенциометра в цепи обратной отрицательной связи (R_1). K_i максимален, когда средний вывод находится в нижнем положении и минимален – когда в верхнем. Далее усиленное напряжение поступает на вход суммирующего нелинейного усилителя на операционном усилителе ОУ₁₁, где складывается с усиленными напряжениями других колебательных контуров. Нелинейность усилителя обеспечивается включением диодов D_1 и D_2 в цепь обратной отрицательной связи ОУ₁₁. С увеличением амплитуды переменного напряжения сопротивление на выходе ОУ₁₁ сопротивление диодов уменьшается и его

коэффициент усиления падает. Далее суммарный сигнал поступает на вход инвертирующего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, выполненном на ОУ₁₂. Этот усилитель обеспечивает дополнительное общее усиление. Выходной сигнал через резисторы $R_1 - R_5$ поступает на колебательные контура $L_1C_1 - L_5C_5$, тем самым обеспечивая положительную обратную связь.

Для возбуждения автоколебаний необходимо обеспечить выполнение двух условий: баланса фаз и баланса амплитуд. Баланс фаз обеспечивается с одной стороны тем, что полный набег фазы через операционные усилители равен 2π , это обеспечивается во первых тем, что ОУ₁-ОУ₅ дают нулевой сдвиг фазы, а ОУ₁₁ и ОУ₁₂ дают суммарный сдвиг фазы на 2π . А во-вторых тем, что полное сопротивление параллельного колебательного контура Z на резонансной частоте носит активный характер, реактивная его составляющая стремится в бесконечность и не оказывает влияния. При этом полный коэффициент передачи с выхода ОУ₁₂ через резисторы $R_1 - R_5$ на входы ОУ₁-ОУ₅ на резонансных частотах контуров носит действительный характер. Условие баланса амплитуд для каждой i -ой моды ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) определяется следующим выражением

$$K = K_i \cdot K_{об} \cdot Z_i / \sqrt{(Z_i^2 + R_1^2)} \geq 1$$

где K_i – коэффициент усиления операционных усилителей ОУ₁-ОУ₅, $K_{об}$ – суммарный коэффициент усиления ОУ₁₁ и ОУ₁₂, Z_i – сопротивление колебательных контуров на резонансных частотах. Регулировкой K_i и $K_{об}$ можно обеспечить как возбуждение отдельной моды, так и возбуждение нескольких мод.

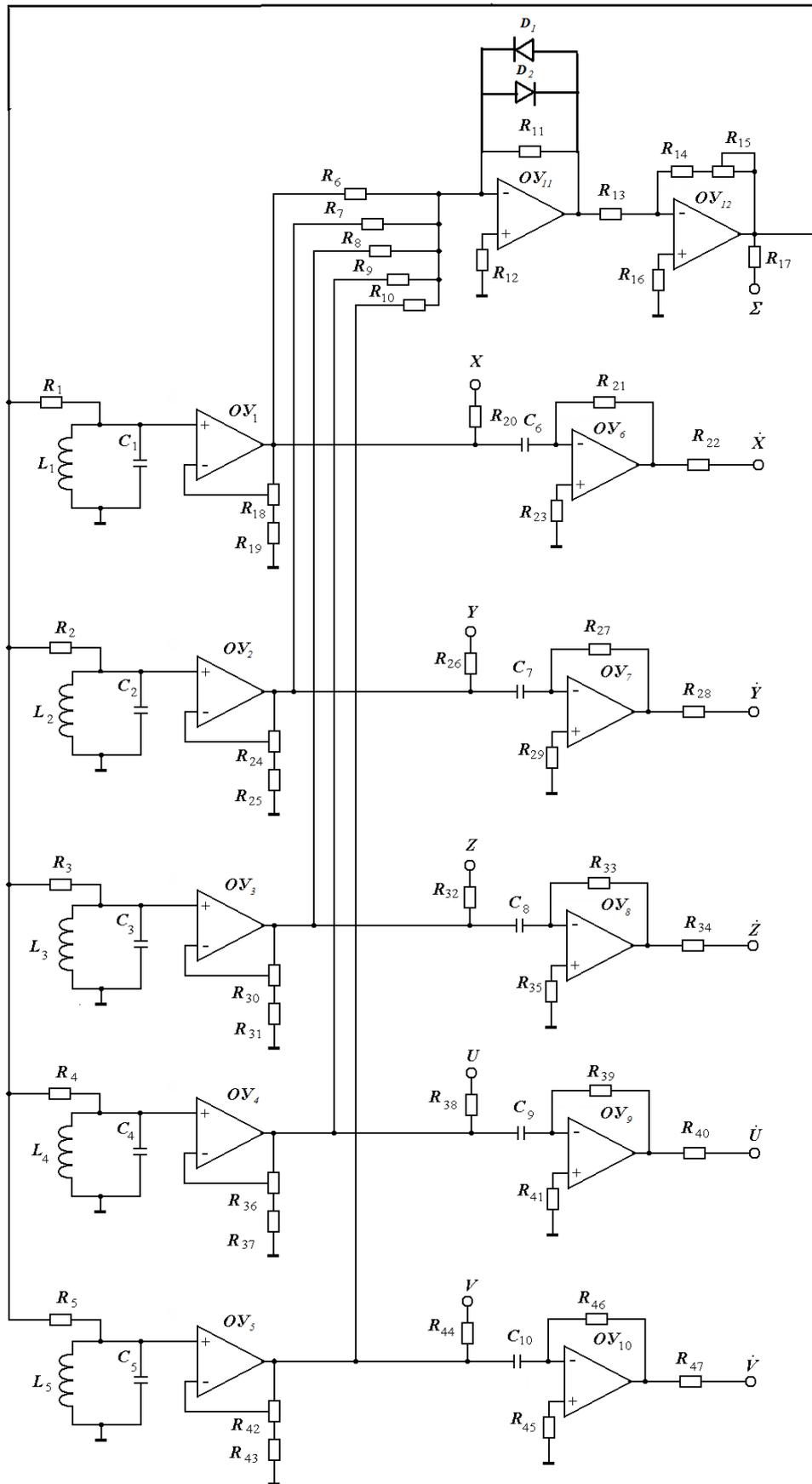


Рисунок 1 - Схема многоконтурного автогенератора.

Результаты экспериментальных исследований

Частоты мод

Частота и емкость конденсаторов рассчитывались по формулам

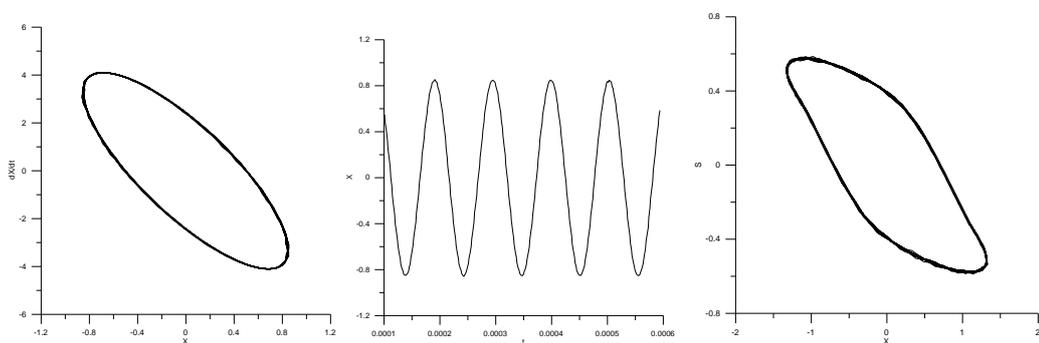
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}; C = \frac{1}{4\pi^2 L_1 f^2}$$

$L_1 = 81 \text{ мГн}$	$f_1 = 10 \text{ кГц}$	$C_1 = 31 \text{ нФ}$	
$L_2 = 50.7 \text{ мГн}$	$f_2 = \sqrt{1.25} * f_1$	$f_2 \Leftrightarrow 1.1803 \text{ кГц}$	$C_2 = 3.558 \text{ нФ}$
$L_3 = 84.7 \text{ мГн}$	$f_3 = \sqrt{1.5} * f_1$	$f_3 \Leftrightarrow 2.247 \text{ кГц}$	$C_3 = 1.995 \text{ нФ}$
$L_4 = 103 \text{ мГн}$	$f_4 = \sqrt{1.75} * f_1$	$f_4 \Leftrightarrow 13.229 \text{ кГц}$	$C_4 = 1.4 \text{ нФ}$
$L_5 = 61 \text{ мГн}$	$f_5 = \sqrt{2} * f_1$	$f_5 \Leftrightarrow 4.142 \text{ кГц}$	$C_5 = 1.268 \text{ нФ}$

Фазовые портреты каждой из мод

На рисунке 26 представлены проекции фазовых портретов на плоскости: динамическая переменная и ее производная (слева), временные реализации динамических переменных (в центре) и проекции фазовых портретов на плоскости, динамическая переменная и сигнал на выходе нелинейного усилителя (справа) для всех мод автогенератора. Качественно сигналы схожи по виду фазовых портретов, отличие заключается в частоте каждой из мод. Частота от моды X до моды V увеличивается. В эксперименте частоты собственных мод генератора имели следующие значения

$$f_1 = 9.9 \text{ кГц} \quad f_2 = 11.2 \text{ кГц} \quad f_3 = 12.3 \text{ кГц} \quad f_4 = 13.2 \text{ кГц} \quad f_5 = 14.2 \text{ кГц}$$



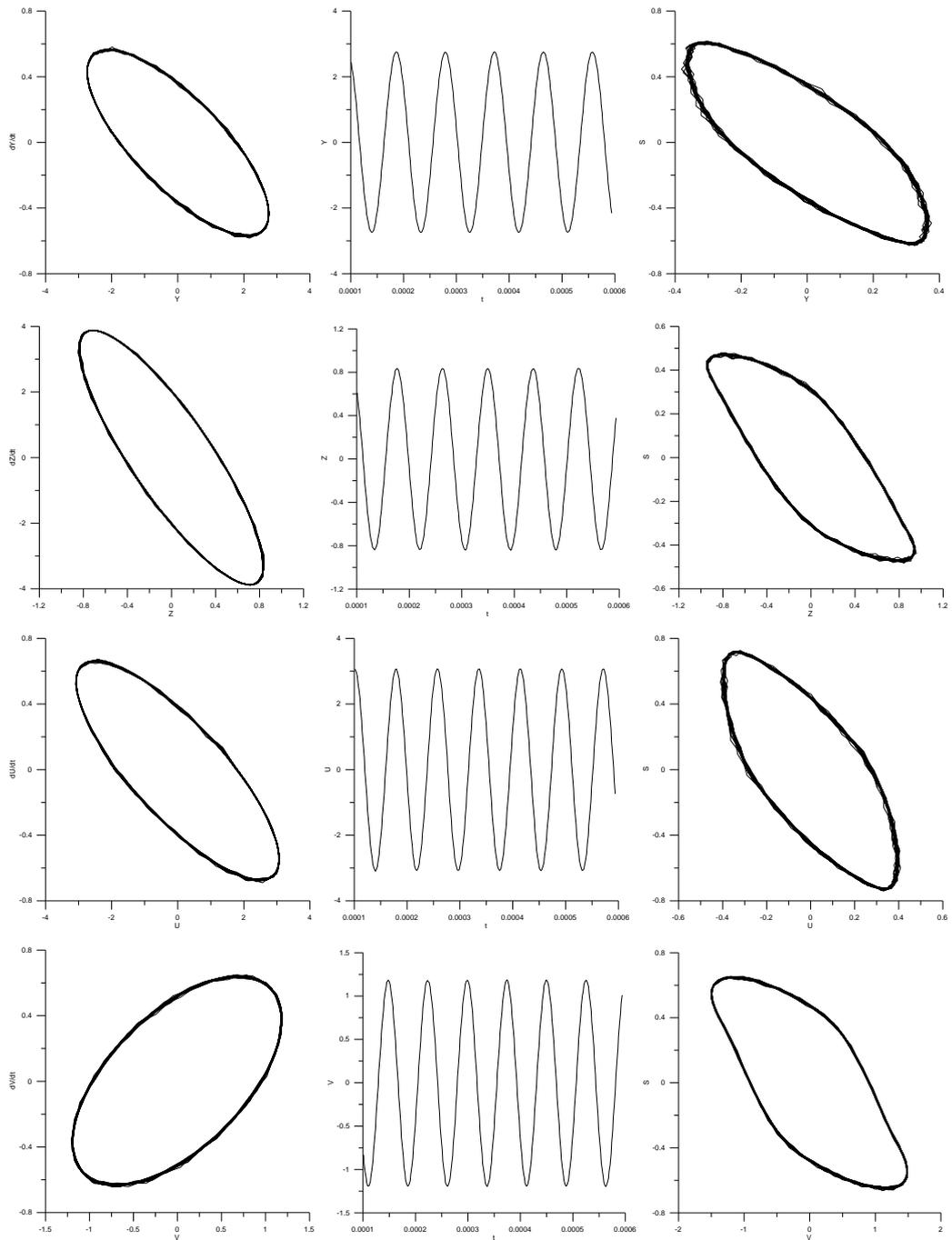


Рисунок 2 - Проекция фазовых портретов на плоскости.

Плоскости параметров

На рисунке 3 представлены карты динамических режимов на плоскости параметров k_1 - k_5 . В динамике автогенератора для выбранных значений параметров цепей отсутствуют квазипериодические и сложные хаотические колебания. В силу общего для всех мод нелинейного элемента в поведении автогенератора наблюдается так называемая конкуренция мод. Другая

ситуация соответствует, когда моды Y , Z , и U не возбуждаются, а возбуждаются только мода 1 и мода 5.

Еще один случай соответствует ситуации, когда моды при $k_1=1$ и $k_5=1$ существует мода 3. С увлечением параметра k_1 при $k_5=1$ наблюдается подавление моды 3 и возбуждение моды 1. Аналогичная ситуация наблюдается если Y и U не возбуждаются, а возбуждаются только мода 1, мода 3 и мода 5.

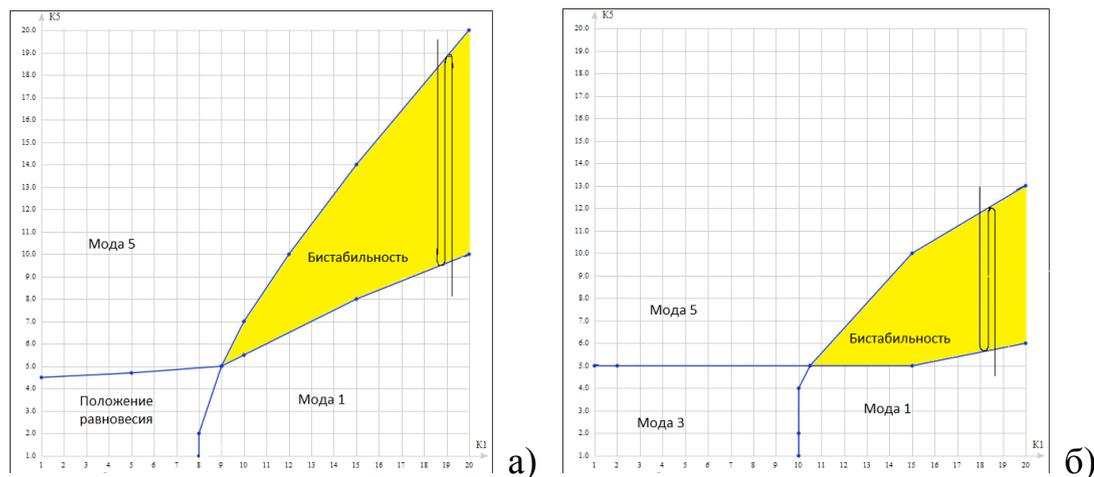


Рисунок 3 - Карта динамических режимов на плоскости параметров k_1 - k_5 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в процессе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана и изготовлена схема многоконтурного автогенератора. Проведено исследование его колебательных режимов, построены карты существования различных режимов колебаний.

Показано, что для выбранных значений параметров цепей и частот собственных мод автогенератора, в исследуемой системе отсутствуют квазипериодические колебания. Возбуждение каждой мод происходит «мягким» образом, предположительно в этом случае положение равновесия теряет устойчивость, а в его окрестности рождается предельный цикл. Такой сценарий рождения предельного цикла наблюдается для всех собственных мод.

В пространстве управляющих параметров, а оно является в нашем случае пятимерным и задается коэффициентами усиления k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 ,

каждая из мод существует в определенной области. Переход от одной моды к другой носит жесткий, гистерезисный характер. Можно предположить, что данные переходы происходят в следствие седло - узловой бифуркации. При переходе от моды 1 к моде 5, мода 1 сталкивается с неустойчивым положением равновесия и они исчезают. При этом система выходит на ближайшее притягивающее множество, которым является мода 5.

Другой случай, когда при переходе от моды 1 к моде 5, мода 1 сталкивается с неустойчивой модой 3 и они исчезают, а система переходит на ближайшее устойчивое множество – моду 5.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Денисов, И. Д. Генераторы и усилители колебаний радиочастот / И. Д. Денисов. М. - Л., из – во : Государственное энергетическое издательство, 1963 – 512 с.
- 2 Лоскутов А.Ю. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. М.-Ижевск, из – во : Институт компьютерных исследований, 2007 - 620 с.
- 3 Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы / П.С. Ланда. М., из –во : Наука, 1980 - 360 с.
- 4 Анищенко В.С. Синхронизация регулярных, хаотических и стохастических колебаний. / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, Г.И. Стрелкова. М.-Ижевск, из – во : Институт компьютерных исследований, 2008 - 144 с.
- 5 Анищенко В.С. Генератор квазипериодических колебаний. Бифуркация удвоения двумерного тора / В.С. Анищенко, С.М. Николаев // Письма в ЖТФ. Том 31. – 2005. – С.88-94.
- 6 Анищенко В.С. Численное и экспериментальное исследование внешней синхронизации двухчастотных колебаний / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.В. Феоктистов // Нелинейная динамика. Том 5. – 2009. – № 2. С. 237-252.