

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
ЛОКАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

код и наименование направления

факультета nano- и биомедицинских технологий

наименование факультета

Бузяева Романа Евгеньевича

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.

Целью данной работы является разработка, изготовление экспериментального образца, настройка, отладка пятиконтурного автогенератора, в котором каждый колебательный контур обладает нелинейным диссипативным элементов, а также исследование его динамики и структуры пространства управляющих параметров.

Основными задачами работы являются:

- Разработка схемы пятиконтурного автогенератора с независимым управлением колебательных мод;
- Изготовление пятиконтурного, в котором каждый колебательный контур обладает нелинейным диссипативным элементов;
- Исследование динамики и структуры пространства управляющих параметров генератора.

Схема автогенератора

Автогенераторы применяются, например, в радиопередающих устройствах. Автоколебания — незатухающие колебания в диссипативной динамической системе с нелинейной обратной связью, поддерживающиеся за счёт энергии постоянного, то есть непериодического, внешнего воздействия.

Автоколебания отличаются от вынужденных колебаний тем, что последние вызваны периодическим внешним воздействием и происходят с частотой этого воздействия, в то время как возникновение автоколебаний и их частота определяются внутренними свойствами самой автоколебательной системы.

Электрическая цепь, в которой устанавливаются незатухающие электрические колебания с заданными параметрами (формой, частотой, амплитудой и т. д.) без какого-либо воздействия извне, называется автогенератором.

Известны генераторы на полупроводниковых приборах (транзисторах, туннельных диодах), которые работают на общую нагрузку.

Для увеличения генерируемой мощности каскады отдельных генераторов включаются по двухтактной или параллельной схемам, применение которых в диапазоне метровых и меньших волн затруднено, так как увеличение числа полупроводниковых приборов, т. е. количества отдельных генераторов, ведет к пропорциональному увеличению входной и выходной емкостей, что, в свою очередь, влечет ограничение усиливаемой частоты, В предлагаемом генераторе благодаря противофазному соединению полупроводниковых приборов по

замкнутому кольцу и при любом числе каскадов емкость колебательной системы не будет больше, чем для двух параллельно соединенных полупроводниковых приборов.

Каждый из полупроводниковых приборов работает как независимый генератор на общую нагрузку и для увеличения общей выходной мощности можно не ограничивать число отдельных генераторов, так как общая емкость системы не увеличивается.

Колебания, самостоятельно возникающие в системе в отсутствие внешних колебательных сил, называются автоколебаниями.

Форма, частота и амплитуда автоколебаний полностью определяются элементами, входящими в систему, создающую их. Такие системы называются автогенераторами или автоколебательными системами (АКС).

АКС включает в себя источник питания, откуда берется энергия для образующихся колебаний, регулятор, управляющий поступлением энергии из источника питания в колебательную систему, собственно колебательную систему, определяющую форму колебаний. Регулятором обычно служит активный усилительный элемент: транзистор, усилительная лампа. Управляющий активный элемент вместе с колебательной системой образуют нелинейный частотно-избирательный усилитель. Для возбуждения усилителя и поддержания колебаний на необходимом уровне используются колебания, вырабатываемые в самом усилителе: часть энергии колебаний с выхода усилителя подается на его вход по цепи внешней обратной связи.

В момент запуска (например, при включении источника питания) в колебательной системе возникают свободные колебания, через цепь обратной связи эти первоначальные колебания передаются на вход усилителя, причем на первом этапе, пока их амплитуда мала, усилитель можно считать работающим в линейном режиме. Если за один период колебаний усилитель передает на вход энергию большую той, которая расходуется за это время, то будет происходить процесс нарастания амплитуды. С ростом амплитуды автоколебаний начинает проявляться нелинейность усилительного элемента, коэффициент усиления

замедляет рост. Нарастание амплитуды прекращается, когда потери в колебательной системе компенсируются, т.е. на этапе установления стационарной амплитуды основную роль играет нелинейность активного элемента. Так как в качестве КС используется избирательная цепь, то условия нарастания, и установления амплитуды в АГ выполняются лишь для одной гармонической составляющей; следовательно, на выходе АГ автоколебания будут гармоническими с частотой, удовлетворяющей этим условиям.

Основу многоконтурного автогенератора (рисунок 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. Нелинейность усилителя обеспечивается включением диодов $D_1 - D_{10}$ в цепи обратной отрицательной связи ОУ₁, ОУ₃, ОУ₅, ОУ₇, ОУ₉. С увеличением амплитуды переменного напряжения сопротивление на выходе ОУ₁, ОУ₃, ОУ₅, ОУ₇, ОУ₉ сопротивление диодов уменьшается и его коэффициент усиления падает. Усилитель на ОУ₁₁ представляет собой суммирующий, инвенторирующий нелинейный усилитель, обеспечивающий нелинейное ограничение амплитуды колебаний. Усилитель на ОУ₁₂ представляет собой инвенторирующий 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.

Схема работает следующим образом. На неинвенторирующий вход соответствующего операционного усилителя (ОУ₁) поступает переменное напряжение с колебательного контура (например, U_1 с колебательного контура L_1C_1) 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. Далее суммарный сигнал поступает на вход инвенторирующего 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

$$K = K_i * K_{об} * Z_i / \sqrt{(Z_1^2 + R_1^2)} \geq 1$$

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.

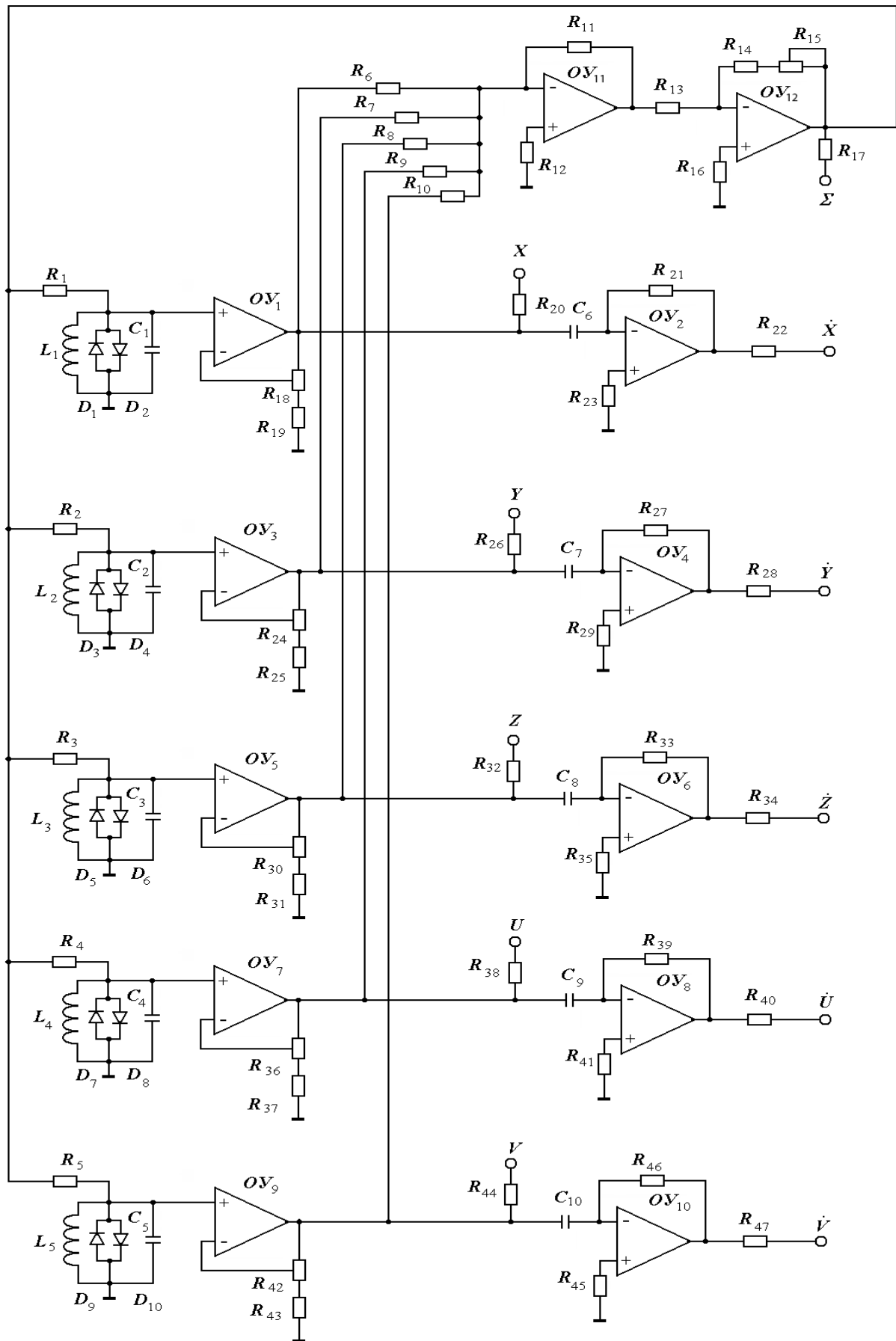


Рисунок1 – Схема пятиконтурного самовозбуждающегося автогенератора.

Результаты экспериментальных исследований

Блок-схема эксперимента

Блок – схема эксперимента включает в себя автогенератор, схема сечения Пуанкаре, осциллограф, генератор импульсов, АЦП (NI USB–6251), персональный компьютер.

С выхода автогенератора переменные X, \dot{X}, Y, Z, U, V и Σ подаются на вход АЦП (NI USB–6251). Их переменные $\dot{Y}, \dot{Z}, \dot{U}, \dot{V}$, подаются на вход схемы совпадений для построения многомерных сечений Пуанкаре. Получившийся сигнал подается на генератор импульсов, он, преобразовав сигнал в прямоугольный, подается на АЦП (NI USB–6251), далее информация поступает на персональный компьютер.

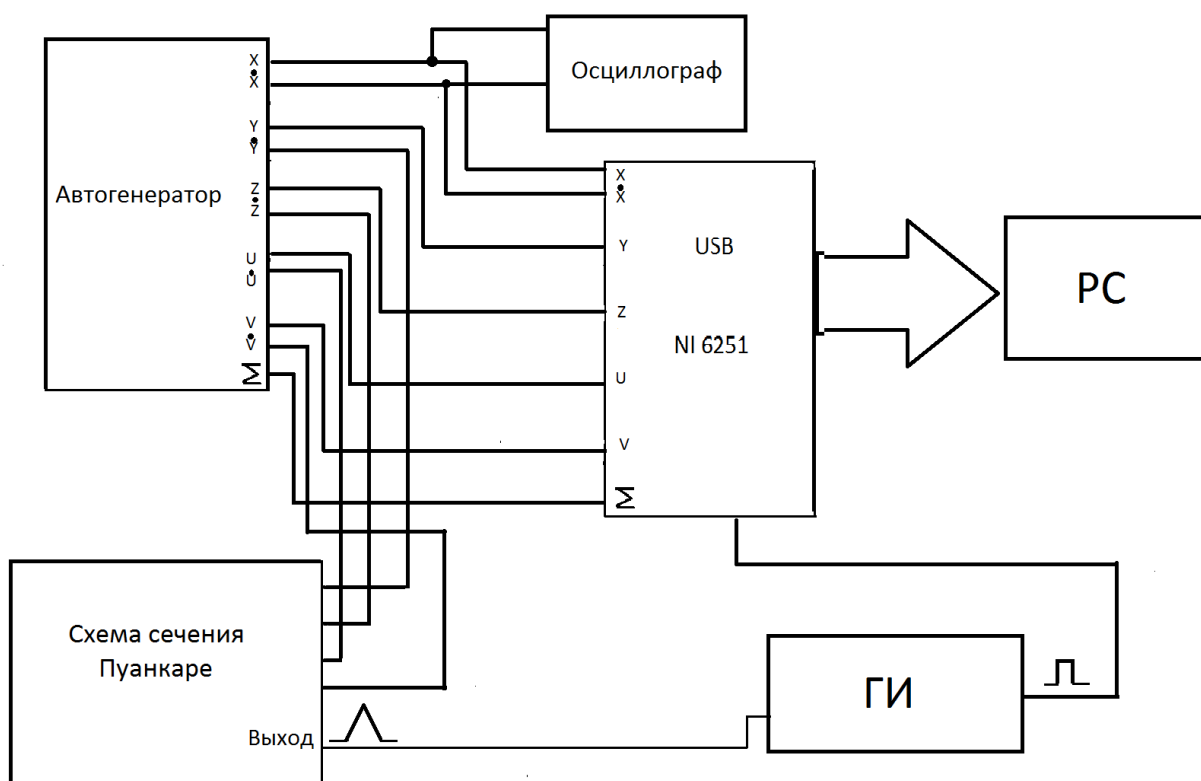


Рисунок 2 – Блок - схема эксперимента

Частоты мод

Частота и емкость конденсаторов рассчитывались по формулам

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}; C = \frac{1}{4\pi^2 L_1 f_1^2}$$

$$L_1 = 81 \text{ мГн} \quad f_1 = 10.1 \text{ кГц} \quad C_1 = 31 \text{ нФ}$$

$$L_2 = 50.7 \text{ мГн} \quad f_2 = \sqrt{1.25} * f_1 \Leftrightarrow f_2 = 11.18 \text{ кГц} \quad C_2 = 3.558 \text{ нФ}$$

$$L_3 = 84.7 \text{ мГн} \quad f_3 = \sqrt{1.5} * f_1 \Leftrightarrow f_3 = 12.247 \text{ кГц} \quad C_3 = 1.995 \text{ нФ}$$

$$L_4 = 103 \text{ мГн} \quad f_4 = \sqrt{1.75} f_1 \Leftrightarrow f_4 = 13.229 \text{ кГц} \quad C_4 = 1.4 \text{ нФ}$$

$$L_5 = 61 \text{ мГн} \quad f_5 = \sqrt{2} * f_1 \Leftrightarrow f_5 = 14.142 \text{ кГц} \quad C_5 = 1.268 \text{ нФ}$$

Плоскости параметров

На рисунке 3 представлены карты динамических режимов на плоскости параметров К1-К2 и К1-К5. Для каждого из значений К1-К5 существуют пороговые значение при превышении которых, происходит возбуждение соответствующей моды. Рисунок 3 а получен при значениях К3=К4=К5=1. С увеличением параметра К1 при К2=1 возбуждение первой моды происходит при К1=4, а возбуждение второй моды с увеличением К2 при К1=1 происходит при К2=3. Перехода от одной моды к другой в данном генераторе не наблюдается. Так с увеличением параметра К2 при К1>4 вторая мода рождается в синхронизме с первой, при этом более сложные режимы колебаний, например квазипериодические не наблюдаются.

Более сложная картина режимов колебаний наблюдается в случае когда возбуждаются первая и пятая моды (рисунок 4 б). В этом случае помимо периодических режимов на плоскости параметров имеется область существования квазипериодических режимов. Временные реализации и проекции фазовых портретов представлены на рисунке 4. Внутри области квазипериодических колебаний имеются зоны резонансных движение, однако эти зоны очень узкие и определить порядок резонанса в эксперименте не представляется возможным. Можно предположить, что появление квазипериодических колебаний в этом случае связано с тем, что частотная

расстройка между первой и пятой модами в эксперименте является максимальной.

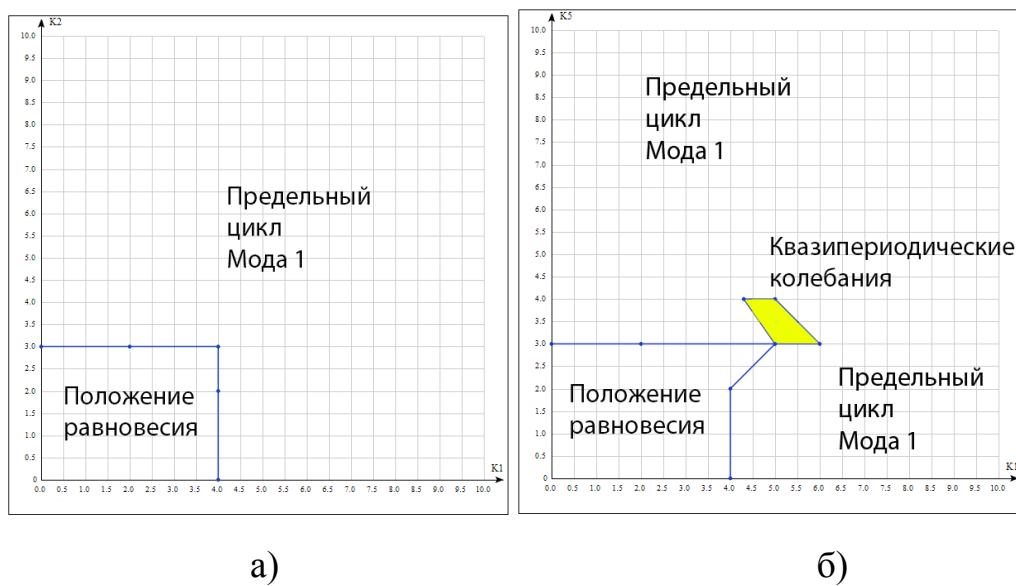


Рисунок 3

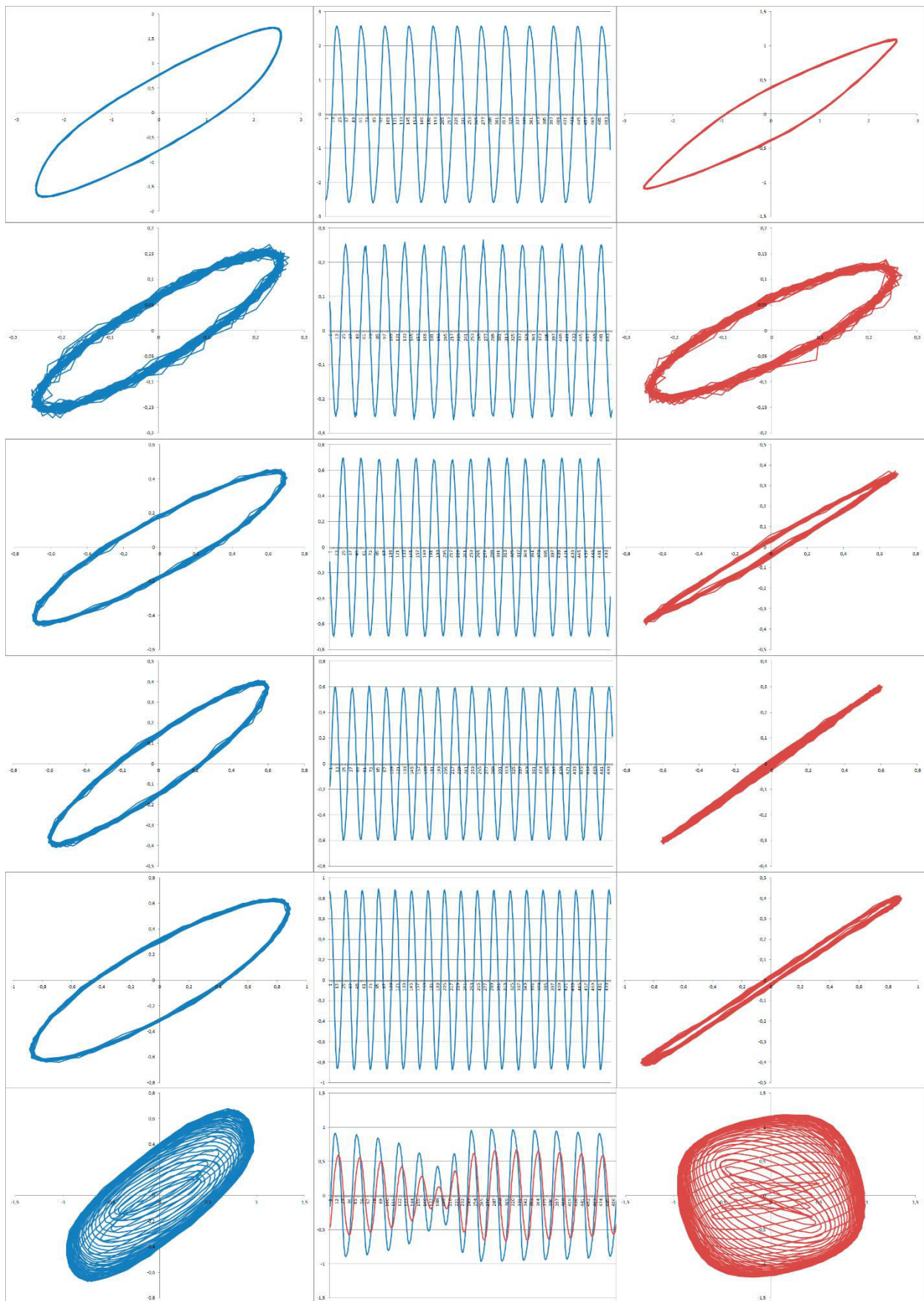


Рисунок 4 – Проекция фазовых портретов и временных реализаций на плоскости