



РОЛЬ ИНЕРЦИОННОСТИ И НАЧАЛЬНОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ В РАЗВИТИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В БИСТАБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.П. Пономаренко, И.А. Заулин

Исследуется динамика симметричной и асимметричной моделей нелинейной системы с фазовым управлением, обладающей тремя состояниями равновесия. Установлены свойства и закономерности развития автоколебательных и хаотических режимов, существующих в такой системе в области неустойчивости режимов автофазирования, при изменении параметра инерционности цепи управления.

Введение

В работе [1] исследована модель нелинейной системы автофазирования (САФ) с фильтром низких частот третьего порядка в цепи управления, описываемая уравнениями [2]

$$d\varphi/d\tau = y, \quad dy/d\tau = z, \quad dz/d\tau = (\sigma - \Phi(\varphi) - (\lambda + b\Phi'(\varphi))y - z)/\mu, \quad (1)$$

где φ - разность фаз управляемого и входного колебаний; $\Phi(\varphi) = \varphi + a\sin\varphi$ - обобщенная нелинейность системы; σ - начальное фазовое рассогласование; λ, b, μ - параметры инерционности цепи управления. Как оказалось, модель (1) имеет сложную динамику в области значений параметров, где режимы автофазирования неустойчивы. В системе существуют разнообразные периодические и хаотические движения, реализуются различные бифуркационные переходы как мягкие, так и жесткие, возможно существование одновременно нескольких аттракторов в фазовом пространстве при фиксированных значениях параметров.

Множество различных движений и бифуркаций, свойственных модели (1), создает предпосылки для применения систем с фазовым управлением в качестве генераторов сложных регулярных и шумоподобных колебаний. Для управления свойствами таких колебаний, необходимого в этих приложениях, очень важно исследовать роль основных параметров систем - начального рассогласования и инерционности - в возникновении, развитии и взаимодействии колебательных движений. В данной работе проводится такое исследование в случае, когда система (1) имеет три состояния равновесия и в отсутствие колебательных движений является стационарно бистабильной системой. С применением качественно-численных методов исследована динамика системы с симметрией, а также рассмотрено влияние асимметрии, степень которой определяется величиной

начального рассогласования. В качестве активного параметра инерционности выбран, как и в [1], параметр λ , изменение которого оказывает существенное влияние на поведение системы. Проводимое исследование представляет интерес и для динамики ряда других объектов с близким поведением (кольцевых автоколебательных систем [3,4], джозефсоновских соединений [5], электронных генераторов Чуа [6-9] и других бистабильных и мультистабильных систем).

1. Динамика системы с симметрией

Будем рассматривать систему (1) в области значений параметров $S_3 = \{\max(\sigma_1^*, -\sigma_1^*) < \sigma < \min(\sigma_1^* + 2\pi, 2\pi - \sigma_1^*)\}$, где $\sigma_1^* = \pi + \arccos(1/a) - (a^2 - 1)^{1/2}$, при которых она имеет [2] три состояния равновесия $A_1(\varphi_1, 0, 0)$, $A_2(\varphi_2, 0, 0)$ и $A_3(\varphi_3, 0, 0)$ с координатами, удовлетворяющими неравенствам $0 < \varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3 < 2\pi$. При значениях $\lambda > \max(-(b-\mu)\Phi'(\varphi_1), -(b-\mu)\Phi'(\varphi_3))$ система (1) является бистабильной с аттракторами A_1 и A_3 .

Особенностью системы (1) является наличие при $\sigma = \pi$ свойства симметрии, обусловленного инвариантностью системы относительно замены $(\varphi, y, z) \rightarrow \rightarrow (2\pi - \varphi, -y, -z)$. В отличие от случая, когда $\sigma = \pi/4$, исследованного в [1], в рассматриваемом случае $\sigma = \pi$ система ведет себя существенно более сложным образом. В фазовом пространстве (φ, y, z) могут существовать следующие типы предельных циклов [3,7]: пары асимметричных циклов, симметрично расположенных относительно точки $(\pi, 0, 0)$, то есть переходящих один в другой при указанной замене переменных; симметричные циклы, охватывающие все три состояния равновесия A_1, A_2, A_3 (с одинаковым числом витков вокруг A_1 и A_3); парные асимметричные циклы, охватывающие A_1, A_2, A_3 (как с одинаковым, так и с различным числом витков вокруг A_1 и A_3). В системе (1) с симметрией возможны условия для существования двухспиральных хаотических аттракторов, подобных обнаруженным в [3, 7-9].

Как и в [1], при численном исследовании модели (1) были выбраны значения параметров $a = 4.6, b = 0.1, \mu = 1$. Приведем описание движений и явлений, возникающих в системе при изменении параметра λ , выделяя следующие интервалы его значений: $\Lambda_1 = \{\lambda > 4.3437\}$, $\Lambda_2 = \{1.99251 < \lambda < 4.3437\}$, $\Lambda_3 = \{1.8195 < \lambda < 1.99251\}$, $\Lambda_4 = \{1.46 < \lambda < 1.8195\}$, $\Lambda_5 = \{0.6485 < \lambda < 1.46\}$.

Интервал значений $\lambda \in \Lambda_1$ характеризуется тем, что оба состояния равновесия A_1 и A_3 устойчивы, колебательные режимы не возникают, в зависимости от начальных условий в системе реализуется один из режимов автофазирования. При переходе с уменьшением λ в интервал Λ_2 в фазовом пространстве системы (1) в результате бифуркации Андронова - Хопфа мягко рождается пара устойчивых асимметричных предельных циклов L_1 и L_3 , фазовый портрет которых показан на рис.1, *диаг.1*. Эти циклы с уменьшением λ претерпевают бифуркации удвоения периода, завершающиеся возникновением асимметричных хаотических аттракторов P_1 и P_3 (рис.1, *диаг.2*); затем происходит разрушение аттракторов P_1 и P_3 и жесткий переход системы на один из двухоборотных предельных циклов L_2 или L_4 (рис.1, *диаг.3*). Дальнейшее уменьшение λ приводит к исчезновению этих циклов в результате бифуркации петель сепаратрис и к возникновению устойчивого симметричного предельного цикла L_5 , охватывающего все три состояния равновесия (рис.1, *диаг.4*); цикл L_5 характеризуется одинаковым числом витков n_1 и n_2 вокруг A_1 и A_3 ($n_1 = n_2 = 2$).

При значениях $\lambda \in \Lambda_3$ изменение колебательных режимов с уменьшением λ связано с эволюцией предельного цикла L_5 . Это изменение отражает

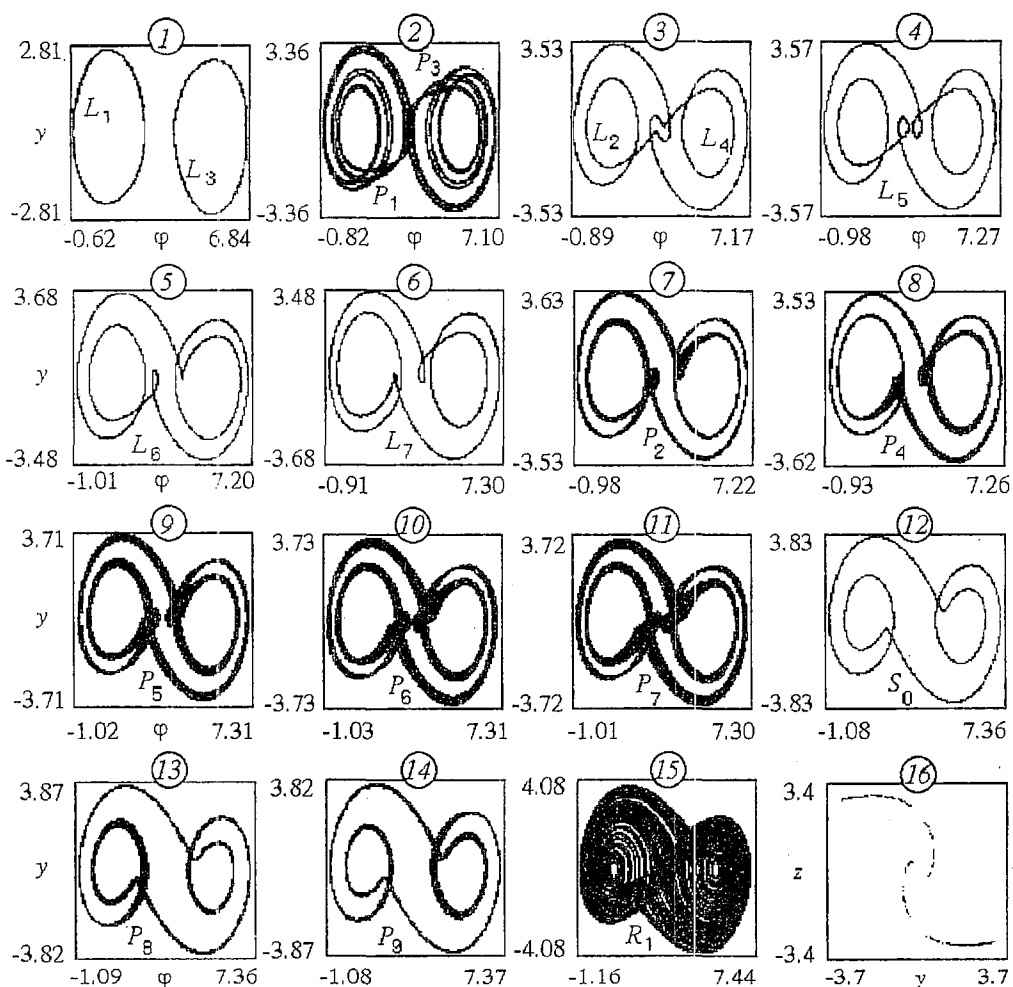


Рис. 1. Фазовые портреты аттракторов системы с симметрией при $\lambda = 2.5$ (1); 2.11 (2); 1.9975 (3); 1.98 (4); 1.89 (5,6); 1.87575 (7,8); 1.874 (9); 1.84 (10); 1.822 (11); 1.8 (12); 1.7825 (13,14); 1.65 (15,16)

бифуркационная диаграмма (рис. 2), представляющая зависимость значения переменной ϕ на аттракторе от управляющего параметра λ . Для системы характерны следующие явления: бифуркация потери симметрии цикла L_5 с рождением двух устойчивых асимметричных предельных циклов L_6 и L_7 с $n_1 = n_2 = 2$ (рис.1, *diag.* 5, 6); бифуркации удвоения периода циклов L_6 и L_7 и возникновение асимметричных двухспиральных хаотических аттракторов P_2 и P_4 (рис.1, *diag.* 7, 8); объединение P_2 и P_4 с образованием симметричного хаотического аттрактора P_5

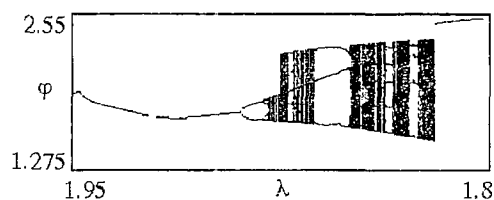


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма колебательных режимов системы с симметрией в области Λ_3

(рис.1, *diag.* 9); колебательные режимы, определяемые устойчивыми симметричными предельными циклами с числом витков $n_1 = n_2 = 6, 8, 10$, и бифуркации удвоения периода этих циклов, завершающиеся возникновением симметричных двухспиральных хаотических аттракторов (на рис.1, *diag.* 10, 11 показаны фазовые портреты хаотических аттракторов P_6 и P_7 , возникающих на базе предельных циклов

с $n_1 = n_2 = 6$ и $n_1 = n_2 = 8$); переход к регулярным колебаниям, определяемым устойчивым симметричным предельным циклом S_0 с $n_1 = n_2 = 2$ (рис.1, *diag.12*), когда λ достигает значения 1.8195.

В интервале значений $\lambda \in \Lambda_4$ бифуркационные переходы и возникающие режимы поведения системы определяются развитием режима симметричных автоколебаний, определяемых циклом S_0 , которое иллюстрирует бифуркационная диаграмма $\{\lambda, \varphi\}$

на рис.3. При уменьшении λ вначале в результате бифуркации потери симметрии цикла S_0 и бифуркаций удвоения периода рождающихся при этом устойчивых предельных циклов S_1 и S_2 образуются «узкие» асимметричные хаотические аттракторы P_8 и P_9 (рис.1, *diag.13, 14*), которые затем объединяются в симметричный двухспиральный хаотический аттрактор R_1 . Фазовый портрет и сечение Пуанкаре, соответствующие аттрактору R_1 , показаны на рис.1, *diag.15, 16*. Далее на диаграмме следует широкая область хаоса, прерываемая узкими «окнами» регулярных колебаний, определяемых как симметричными, так и асимметричными предельными циклами модели (1). В качестве примера на рис.4, *diag.1, 2* представлены фазовые портреты пары устойчивых асимметричных циклов S_3 и S_4 с неодинаковым числом витков n_1 и n_2 .

С уменьшением λ аттрактор R_1 становится узким (аттрактор R_2 на рис. 4, *diag.3,4*). Область хаоса сменяется при $\lambda < 1.54682$ областью симметричных колебаний, определяемых устойчивым предельным циклом S^* с $n_1 = n_2 = 1$ (рис.4, *diag.5*), после которой снова следует область хаотических колебаний (рис.4,

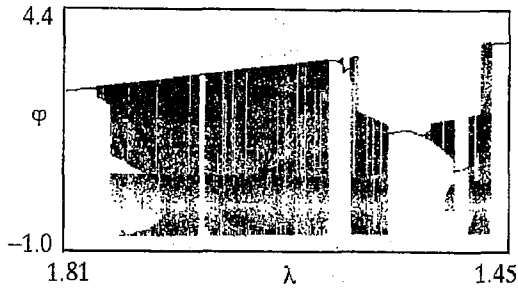


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма колебательных режимов системы с симметрией в области Λ_4

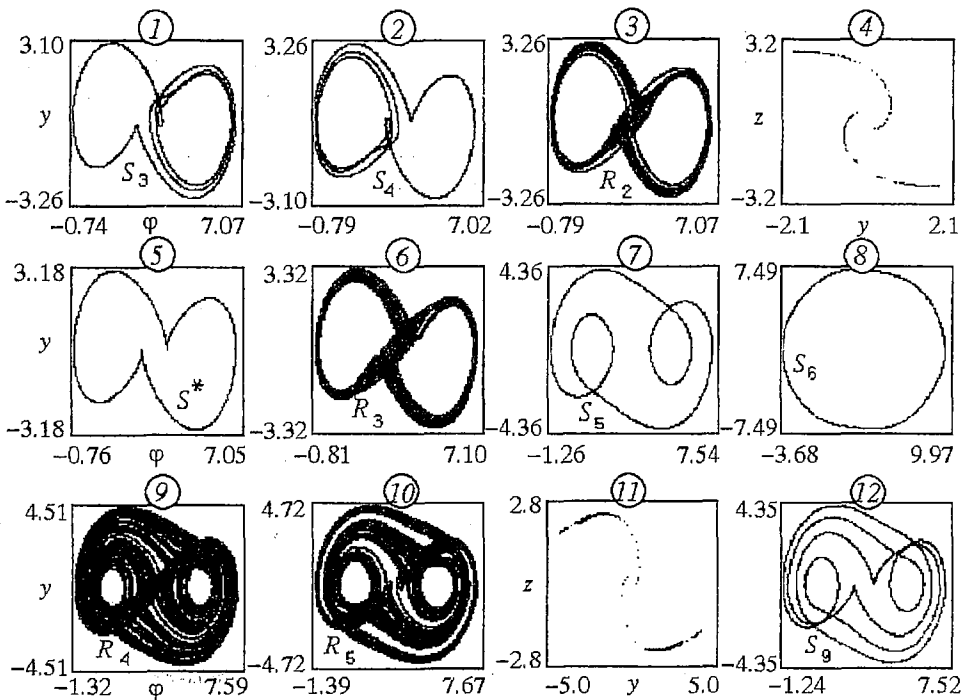


Рис. 4. Аттракторы системы с симметрией при $\lambda = 1.55$ (1,2); 1.5466 (3,4); 1.5199 (5); 1.48 (6); 1.4633 (7); 1.11 (8); 1.4 (9); 1.30031 (10); 1.299 (11,12)

диаг.б). Интересным явлением здесь представляется существование у системы внутри этой области регулярных колебаний, определяемых одним из пары асимметричных предельных циклов, качественно аналогичных циклам L_1 и L_3 (см. рис.1, диаг.1). С приближением λ к границе интервала Λ_4 система в результате разрушения хаотического аттрактора R_3 (рис.4, диаг. б) переходит на режим регулярных колебаний, определяемых симметричным предельным циклом S_5 с $n_1 = n_2 = 2$ (рис.4, диаг. 7).

Развитие динамических режимов в диапазоне значений $\lambda \in \Lambda_5$ связано с эволюцией предельного цикла S_5 и характеризуется бифуркационной диаграммой $\{\lambda, \varphi\}$, приведенной на рис. 5. Необходимо отметить, что при $\lambda \in \Lambda_5$ в фазовом пространстве системы (1) одновременно существует устойчивый симметричный предельный цикл S_6 , содержащий внутри себя цикл S_5 (рис. 4, диаг. 8). На бифуркационной диаграмме выделяются три области: область, в которой преобладают хаотические колебания ($1.207 < \lambda < 1.4325$), и две области регулярных колебаний, соответствующих циклу S_6 ($1.05 < \lambda < 1.207$) и асимметричным предельным циклам S_7 и S_8 ($0.64856 < \lambda < 1.05$), рождающимся в результате бифуркаций потери симметрии цикла S_6 . Хаос в системе возникает в результате бифуркации потери симметрии цикла S_5 и последовательности бифуркаций удвоения периода рождающихся асимметричных предельных циклов.

На рис. 4, диаг. 9, 11, 12 показаны фазовые портреты хаотических аттракторов R_4 и R_5 , характерных для левого и правого краев области хаоса. Внутри этой области существуют интервалы значений λ , соответствующие регулярным колебаниям системы, определяемым симметричными предельными циклами с $n_1 = n_2 = 2$ (см. рис.4, диаг. 7) и $n_1 = n_2 = 4$ (рис.4, диаг. 10). При $\lambda = 0.6485$ предельные циклы S_7 и S_8 исчезают в результате седло-узловой бифуркации, следствием которой является жесткий переход системы на режим колебаний с большим размахом фазовых переменных. Этот режим сохраняется в системе при изменении λ в интервале $0 < \lambda < 0.6485$.

Из приведенных результатов исследования динамики модели (1) следует, что при начальном рассогласовании $\sigma = \pi$ можно получить большое количество

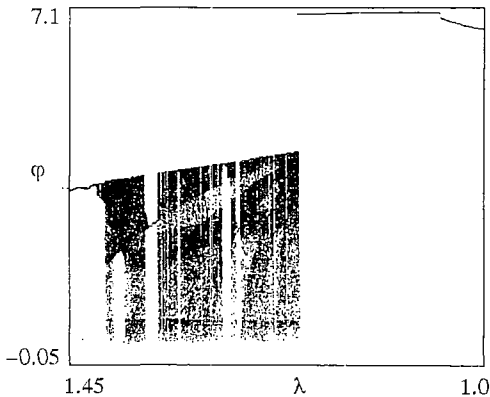


Рис. 5. Бифуркационная диаграмма колебательных режимов системы с симметрией в области Λ_5

различных периодических и хаотических сигналов на выходе изучаемой САФ, изменяя величину параметра инерционности λ . Бифуркационные диаграммы на рис.2,3,5 показывают характер возникающих при этом движений в системе, через которые режимы колебаний относительно состояний равновесия A_1 и A_3 (циклы L_1 и L_3) преобразуются в режим колебаний с большой амплитудой фазовых переменных (в цикл L_0). Представляет интерес выяснить, насколько критична установленная картина динамических явлений в симметричной модели (1) к возмущениям параметра σ .

2. Режимы колебаний и бифуркации в системе с асимметрией

Рассмотрим динамику модели (1) при небольшой степени асимметрии, полагая значение параметра $\sigma = 3.5$. В этом случае состояния равновесия A_1, A_2, A_3

смещаются так, что их координаты удовлетворяют неравенствам $0 < \varphi_1 < \varphi_2 < \pi$, $3\pi/2 < \varphi_3 < 2\pi$. Введение асимметрии приводит к появлению различия бифуркационных значений $\lambda_{1,3} = -(b - \mu)\Phi'(\varphi_{1,3})$, соответствующих потере устойчивости A_1 и A_3 и рождению устойчивых предельных циклов L_1 и L_3 ($\lambda_1 \approx 4.15375$, $\lambda_3 \approx 4.50197$), а также диапазонов значений λ , отвечающих режимам колебаний относительно A_1 ($\lambda \in (1.9475, 4.15375)$) и A_3 ($\lambda \in (2.0142, 4.50197)$), определяемых циклами L_1 и L_3 (см. рис. 1, диаг. 1).

На рис. 6 приведена бифуркационная диаграмма режимов, характеризующая эволюцию предельного цикла L_1 с уменьшением λ . Областям стохастичности соответствуют значения $\lambda \in (2.045, 2.075)$ и $\lambda \in (1.9884, 1.995)$. Фазовые портреты хаотических аттракторов P_1 и Q_1 , существующих при этих значениях λ , показаны на рис. 7, диаг. 1 и 3. Из диаграммы

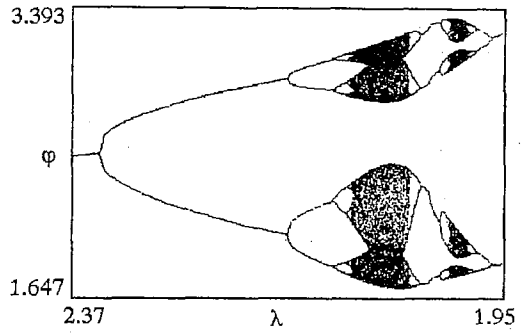


Рис. 6. Бифуркационная диаграмма режимов колебаний относительно состояния равновесия A_1 в системе с асимметрией

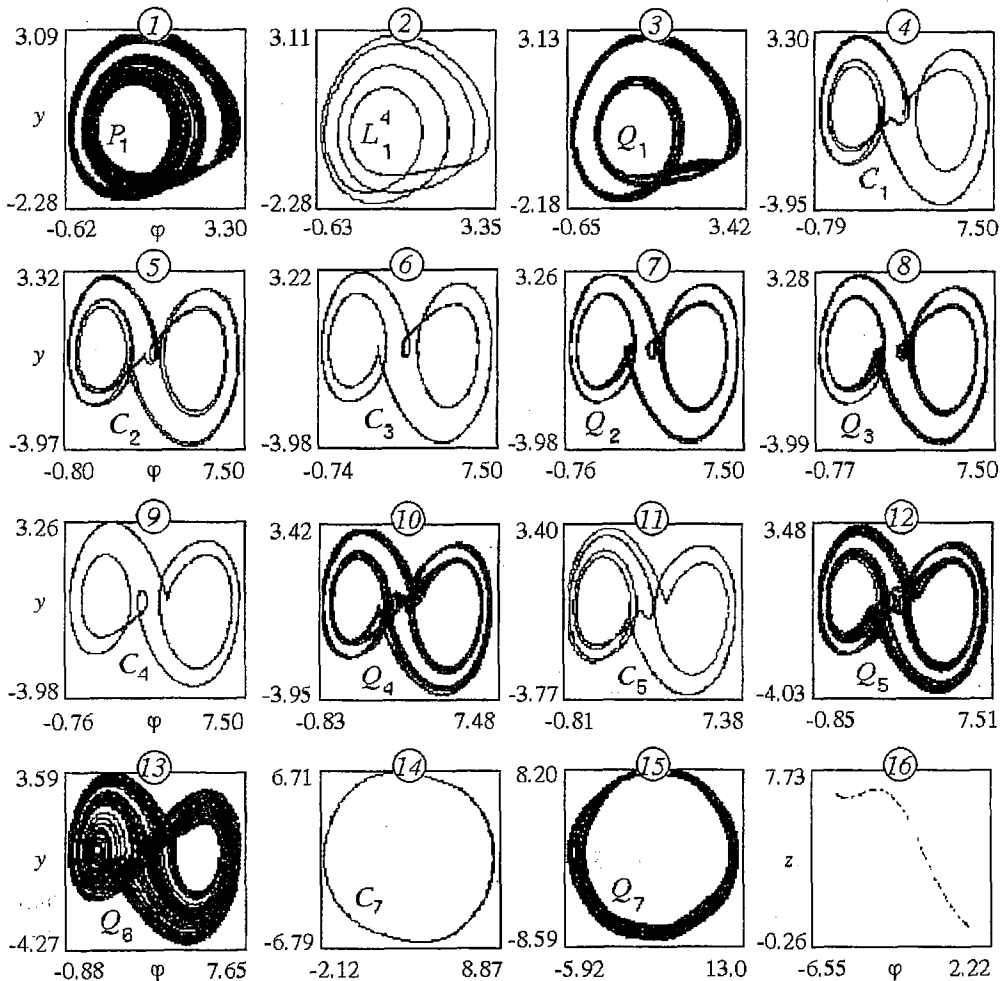


Рис. 7. Фазовые портреты аттракторов в системе с асимметрией при $\sigma = 3.5$, $\lambda = 2.0625$ (1); 2.03 (2); 1.99 (3); 1.93 (4); 1.91 (5); 1.9 (6); 1.8775 (7); 1.8725 (8); 1.86 (9); 1.83 (10); 1.808 (11); 1.8 (12); 1.7 (13); 1.44 (14); 0.73 (15,16)

на рис. 6 видно, что аттракторы P_1 и Q_1 образуются в результате последовательности бифуркаций удвоения периода соответствия цикла L_1 и четырехоборотного предельного цикла L_1^4 (рис.7, *диаг.2*). При $\lambda = 1.9475$ колебания вокруг состояния равновесия A_1 исчезают, в системе (1) происходит жесткий переход к другому режиму колебаний, определяемому устойчивым предельным циклом C_1 , охватывающим все три состояния равновесия с числом витков $n_1=4, n_2=2$ (рис.7, *диаг.4*).

В интервале значений $\lambda \in (2.0142, 4.50917)$ одновременно с событиями, представленными на рис. 6, в системе существуют режимы колебаний относительно состояния равновесия A_3 , развивающиеся на базе предельного цикла L_3 . Поведение этого цикла с уменьшением λ характеризуется тремя бифуркациями удвоения периода, затем двумя бифуркациями, обратными удвоениям, далее - возникновением двухоборотного предельного цикла L_3^2 и его исчезновением в результате бифуркации двухободной петли сепаратрис. Следствием этой бифуркации является жесткий переход системы на устойчивый предельный цикл L_1^4 вокруг состояния равновесия A_1 (рис.7, *диаг.2*).

При уменьшении λ от значения $\lambda = 1.9475$, соответствующего предельному циклу C_1 , режимы и бифуркации системы (1) связаны с предельными циклами, охватывающими все три состояния равновесия. Характер изменения колебательных режимов в интервале значений $\lambda \in (1.26, 1.96)$ при уменьшении λ показан на рис.8, на котором имеет смысл выделить две области: $\Pi_1 = \{1.81 < \lambda < 1.96\}$ и $\Pi_2 = \{1.26 < \lambda < 1.81\}$. В области Π_1 чередуются узкие интервалы с периодическими режимами, определяемыми устойчивыми предельными циклами C_2 с числом витков $n_1 = 6, n_2 = 4$ (рис.7, *диаг.5*), C_3 и C_4 с $n_1=n_2=2$ (рис.7, *диаг.6,9*), C_5 с $n_1 = 4, n_2 = 2$ (рис.7, *диаг.11*) и C_6 с $n_1=n_2=2$, и с хаотическими движениями, соответствующими аттракторам Q_2, Q_3 и Q_4 (рис.7, *диаг. 7, 8, 10*). Двухспиральные хаотические аттракторы Q_2 и Q_4 образуются в результате последовательности бифуркаций удвоения периода циклов C_3 и C_4 . На хаотический аттрактор Q_3 система переходит после седло-узловой бифуркации цикла C_6 .

Область Π_2 характеризуется широкими интервалами значений λ , соответствующих хаотическим движениям, и узкими «окнами» периодических движений. Переход к хаосу наблюдается после исчезновения предельного цикла C_5 в результате седло-узловой бифуркации. Фазовый портрет возникающего при этом двухспирального хаотического аттрактора Q_5 показан на рис.7, *диаг.12*. Уменьшение λ приводит к увеличению размеров хаотических аттракторов в фазовом пространстве (аттрактор Q_6 на рис.7, *диаг.13*), то есть к повышению степени хаотичности системы. В «окнах» периодических движений установлено существование разнообразных предельных циклов, охватывающих как только состояния равновесия A_1 (при $1.4476 < \lambda < 1.452$) или A_3 (при $1.508 < \lambda < 1.5185$), так и все три состояния равновесия A_1, A_2, A_3 с числом витков $n_1=3, n_2=2; n_1=2, n_2=1; n_1=n_2=2; n_1=2, n_2=4; n_1=1, n_2=2; n_1=2, n_2=3; n_1=n_2=6$. Интересно отметить, что при значениях $1.25 < \lambda < 1.4467$ хаотический аттрактор Q_6 (рис.7, *диаг.13*) сосуществует в фазовом пространстве с однооборотным устойчивым предельным циклом C_7 (рис.7, *диаг.14*), будучи локализованным внутри этого цикла.

Область Π_2 при уменьшении λ сменяется областью колебаний, определяемых циклом C_7 . В интервале $0.6725 < \lambda < 1.25$ поведение системы характеризуется следующими явлениями: бифуркации удвоения периода цикла C_7 и переход к хаотическому аттрактору

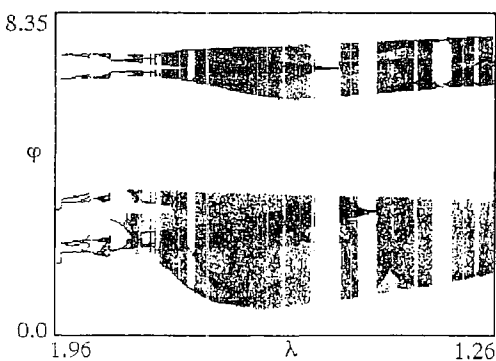


Рис. 8. Бифуркационная диаграмма колебательных режимов системы с асимметрией

Q_7 при $\lambda = 0.74$ (рис.7, *диаг.15,16*); разрушение аттрактора Q_7 (при $\lambda = 0.716$) и переход на однооборотный предельный цикл C_8 (при $\lambda = 0.69$); исчезновение цикла C_8 в результате седло-узловой бифуркации при $\lambda = 0.6725$ и жесткий переход на предельный цикл L_0 со значительно большим динамическим диапазоном.

Приведенные результаты показывают, что уже сравнительно небольшая степень асимметрии вносит качественные изменения в динамику исследуемой системы. С увеличением степени асимметрии при дальнейшем увеличении параметра σ обнаружено уменьшение интервала значений λ , в котором реализуются режимы колебаний относительно состояния равновесия A_1 (на базе цикла L_1), и увеличение интервала значений λ , соответствующего режимам колебаний относительно состояния равновесия A_3 (на базе цикла L_3). Кроме этого, с ростом σ наблюдается исчезновение режимов сложных колебаний, определяемых предельными циклами, охватывающими все три состояния равновесия и имеющими витки вокруг A_1 и A_3 , и двухспиральными хаотическими аттракторами. Отметим, что в силу инвариантности системы (1) относительно замены σ, φ, ψ, z на $2\pi - \sigma, 2\pi - \varphi, -\psi, -z$ поведение системы при удалении от значения $\sigma = \pi$ с уменьшением σ остается таким же, как и при увеличении σ с точностью до замены событий в окрестности состояния равновесия A_1 на события в окрестности состояния равновесия A_3 и наоборот.

Заключение

Для модели стационарно бистабильной системы автофазирования установлены режимы поведения и проанализированы бифуркационные переходы при изменении величин начального фазового рассогласования σ и параметра инерционности λ . Наиболее сложной и разнообразной динамика рассмотренной модели оказывается при значении $\sigma = \pi$, когда она обладает симметрией движений. Обнаружена сложная зависимость поведения модели (1) от изменения параметра λ , для которой характерно чередование интервалов с хаотическими и сложными регулярными колебаниями. Выяснено сосуществование различных колебательных режимов, которое является причиной гистерезисных явлений в системе и обуславливает зависимость поведения системы от начальных условий.

Результаты данной работы вместе с результатами, полученными в [1,2], позволяют сделать вывод о том, что в рассмотренной системе автофазирования при значениях параметров в области неустойчивости состояний равновесия удастся реализовать все типы колебательных режимов и их бифуркаций, которые свойственны кольцевым автоколебательным системам [3], генераторам Чуа [6-9] и другим бистабильным системам. Возбуждая колебательные режимы в САФ, можно сформировать на выходе системы различные фазомодулированные сигналы. Особый интерес представляют режимы системы с хаотической модуляцией выходного сигнала и в первую очередь те из них, которые определяются двухспиральными хаотическими аттракторами модели (1) с переходами фазовых переменных между неустойчивыми состояниями равновесия. Возможность существования таких режимов позволяет реализовать генератор хаоса на базе САФ, а сильная зависимость режимов поведения от параметров инерционности и начального рассогласования позволяет осуществить эффективное управление характеристиками генерируемых хаотических процессов, а также перевод системы на колебательный режим с желаемыми свойствами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-02-15424).

Библиографический список

1. Пономаренко В.П., Заулин И.А. Сложная динамика систем с

неединственным состоянием равновесия // Изв.вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1994. Т.2, № 1. С. 30.

2. *Зулин И.А., Пономаренко В.П.* Синхронные и автоколебательные режимы в многоустойчивых системах с фазовым управлением // РЭ. 1993. Т. 37, № 4. С. 732.

3. *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989.

4. *Кислов В.Я.* Динамический хаос и его использование в радиоэлектронике для генерирования, приема и обработки колебаний и информации // РЭ. 1993. Т. 38, № 10. С. 1783.

5. *Лихарев К.К.* Введение в динамику джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985.

6. *Chua L.O., Komuro M., Matsumoto T.* The double-scroll family // IEEE Trans. Circuits and Systems. 1986. Vol. CAS-33. P. 1073.

7. *Ogorzalek M.J., Galias Z.* Characterization of chaos in Chua's oscillator in terms of unstable periodic orbits // Chua's Circuits: A Paradigm for Chaos / Ed. R.N.Madan. Singapore: World Scientific, 1993. P. 230.

8. *Deregel P.* Chua's oscillator: a zoo of attractors // Chua's Circuits: A Paradigm for Chaos / Ed. R.N.Madan. Singapore: World Scientific, 1993. P. 179.

9. *Genot M.* Applications of 1-D map from Chua's circuit: a pictorial guide // Chua's Circuits: A Paradigm for Chaos / Ed. R.N.Madan. Singapore: World Scientific, 1993. P. 545.

*НИИ прикладной математики
и кибернетики*

*Поступила в редакцию 4.10.94
после переработки 2.03.95*

ROLE OF INERTIA AND INITIAL DEVIATION IN DEVELOPMENT OF OSCILLATING REGIMES IN BISTABLE PHASE CONTROL SYSTEM

V.P. Ponomarenko, I.A. Zaulin

The dynamics of symmetrical and asymmetrical models of nonlinear phase control system having three equilibrium states has been investigated. Properties and regularities of development of autooscillating and chaotic regimes are established under variation of control circuit inertia parameter for the region where autophasing regimes are unstable.



Пономаренко Валерий Павлович родился в 1941 году в Мурманске, окончил Горьковский государственный университет (1963). С 1968 года работает в Научно-исследовательском институте прикладной математики и кибернетики при Нижегородском университете (НИИ ПМК при ННГУ). Защитил диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук (1972) и доктора физико-математических наук (1993) в области теории синхронизации, теории колебаний и динамики систем. С 1991 года - заместитель директора НИИ ПМК при ННГУ. Область научных интересов - теория колебаний и волн, применение нелинейной динамики в радиоавтоматике, синхронизация автоколебательных систем, математическое моделирование. Соавтор коллективных монографий «Фазовая синхронизация» и «Системы фазовой синхронизации». Опубликовал много научных статей по направлениям, указанным выше.



Зулин Игорь Александрович родился в 1962 году в Горьком, окончил Горьковский государственный университет (1984). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1994). Научный сотрудник НИИ ПМК при ННГУ. Область научных интересов - динамика систем, математическое моделирование, применение нелинейной динамики в задачах синхронизации автоколебательных систем. Опубликовал 15 научных статей по направлениям, указанным выше, соавтор двух учебных пособий.