

# К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

## TOWARDS THE STUDY OF THE DYNAMICS OF A SYSTEM WITH COMBINED FREQUENCY-PHASE CONTROL

**A. Besklubnaya  
E. Bondar'**

*Summary.* It is known that practical needs in developing a method for rapid restructuring of self-oscillating systems based on the use of information on the phase-frequency properties of their oscillations dictate the need to develop techniques for qualitative and numerical modeling of the dynamics of the corresponding control systems. At the same time, the control system should not only be simple to implement technically, but also close to the optimal control strategy. In this paper, using the example of studying the dynamics of a system with frequency-phase control, a method for constructing a mathematical model based on the application of the point mapping method is considered. The point mapping method makes it possible not only to use a piecewise constant form of the control signal, but also allows one to analyze the mechanism of interaction between phase and frequency control. As a result, the state space of the system consists of three main subspaces and two subspaces of transient motions, in each of which the behavior of phase trajectories is determined by equations with a constant structure. Due to the fundamental nonlinearity of processes in the system, the development of a procedure for their modeling is relevant. And especially important is the modeling of the process of transition from the phase control mode to the frequency control mode.

*Keywords:* mathematical modeling, system dynamics, synchronization system, combined pulse-width modulation of the control signal.

**Бесklubная Антонина Вячеславовна**

кандидат педагогических наук,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
antbesk@gmail.com

**Бондарь Елена Александровна**

кандидат физико-математических наук,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
bonde28@ya.ru

*Аннотация.* Известно, что практические потребности в разработке способа быстрой перестройки автоколебательных систем на основе использования информации о фазо-частотных свойствах их колебаний диктует необходимость развития приемов качественно-численного моделирования динамики соответствующих систем управления. При этом система управления должна не только обладать простотой технической реализации, но и близостью к стратегии оптимального управления. В настоящей работе на примере исследования динамики системы с частотно-фазовым управлением рассматривается методика построения математической модели, основанная на применении метода точечных отображений. Метод точечных отображений дает возможность не только использовать кусочно-постоянную форму сигнала управления, но и позволяет проанализировать механизм взаимодействия фазового и частотного управления. В результате пространство состояний системы состоит из трех основных подпространств и двух подпространств переходных движений, в каждом из которых поведение фазовых траекторий определяется уравнениями с постоянной структурой. Вследствие принципиальной нелинейности процессов в системе, разработка процедуры их моделирования является актуальной. И особенно важным является моделирование процесса перехода от режима фазового управления к режиму частотного управления.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, динамика системы, система синхронизации, комбинированная широтно-импульсная модуляция управляющего сигнала.

### Введение

Известно, что в основе практически важной прикладной задачи реализации надежной радиосвязи [1,2] лежит использование управляемых синтезаторов частот (СЧ) [3], построенных на базе импульсных систем фазовой синхронизации. В таких системах используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) управляющего сигнала и поэтому их математи-

ческие модели (ММ) являются частным случаем систем с переменной структурой (СПС), порядок смены дифференциальных уравнений в которых определяется динамическими свойствами фазовых траекторий движения и реализуется в моменты переключения управляющих импульсов [4]. Именно в силу этого обстоятельства изучение динамики ММ таких СЧ осуществляется на основе применения метода точечных отображений [5].

В настоящей работе излагаются основные моменты применения указанной методики к исследованию динамики системы синхронизации с комбинированной широтно-импульсной модуляцией управляющего сигнала. В качестве базовой модели используется синтезатор частоты (СЧ) с комбинированным импульсным частотно-фазовым детектором (КИЧФД) [3, с.28]. Такой СЧ объединяет в себе принцип управления по числу импульсов (частотное детектирование (ЧД)) и принцип управления по временному рассогласованию (импульсное фазовое детектирование (ИФД)) двух соседних во времени импульсов, а именно: импульса синхронизирующего опорного сигнала (ОС) и выходного импульса счетчика (С) числа периодов подстраиваемого генератора (ПГ). Фазовое управление функционирует в случае, если импульсы ОС чередуются во времени с выходными импульсами С. Частотное управление включается, если процесс чередования импульсов ОС и С нарушается. При появлении во времени подряд двух или более импульсов С принудительно устанавливается минимально возможное значение сигнала управления, а при появлении во времени подряд двух или более импульсов ОС — его максимально возможное значение.

Вследствие принципиальной нелинейности процессов в системе в режиме фазового управления [6], разработка процедуры моделирования процесса перехода от режима фазового управления к режиму частотного управления, необходимая для построения математической модели в целом, является актуальной.

### Математическая модель системы, построенная на основе метода точечных отображений

Сущность использования метода точечных отображений для изучения динамики СЧ с КИЧФД [5] состоит в использовании для рассмотрения динамики СЧ фазовых подпространств, соответствующих постоянству структуры дифференциального уравнения

$$\alpha(d\theta / d\tau) = g(u(\tau)) \quad (0 \leq \tau \leq 1, 0 \leq \theta \leq 1), \quad (1)$$

описывающего процесс заполнения счетных декад С. Уравнение (1) определено на единичном отрезке безразмерного времени  $\tau$ , равном периоду ОС;  $\theta$  — безразмерная, нормированная на единицу, координата С, причем после заполнения С при  $\theta = 1$  происходит мгновенный сброс на значение,  $\theta = 0$  и при этом на выходе С появляется управляющий импульс;  $\alpha$  — безразмерный показатель С, причем значение  $\alpha = 1$  соответствует неуправляемому ПГ, когда  $u(\tau) = 0$ ;  $g(u) = 1 + Su$  — линейная характеристика ПГ с крутизной  $S > 0$ .

Согласно логике работы КИЧФД режим частотного детектирования (ЧД) с минимально возможным значением  $u(\tau) = \underline{u}$  включается в режиме импульсно-фазово-

го детектирования (ИФД) при появлении повторного импульса С, а с максимальным значением  $u(\tau) = \bar{u}$  — при появлении повторного импульса ОС. При чередовании импульсов С и ОС в режиме ФД, ближайший приходящий во времени импульс ОС запускает генератор пилообразного напряжения так, что на его выходе появляется сигнал управления

$$u(\tau) = (\bar{u} - \underline{u})\tau + \underline{u} \quad (0 \leq \tau \leq 1). \quad (2)$$

При использовании импульсного фазового детектора типа «выборка-запоминание»  $u(\tau) = u(\tau_0) = \text{const}$ , где  $\tau_0$  — момент прихода импульса С. Поскольку в режимах ЧД и ИФД структура уравнения (1) неизменна, можно считать, что при  $u(\tau) = \underline{u}$  уравнение (1) определено в подпространстве  $\Pi_1$ , при  $u(\tau) = \bar{u}$  — в подпространстве  $\Pi_3$  и в режиме ИФД с  $u(\tau)$ , определяемой выражением (2) — в подпространстве  $\Pi_2$ .

Фазовое подпространство  $\Pi_2$ , в котором определено уравнение (1) при условии (2) есть развертка фазового тора. Изображающая точка движения (ИТД) начинает свое движение в  $\Pi_2$  при  $\theta = 0$  с фазовым положением  $\tau = \tau_0$  и подчиняется уравнению фазовой траектории

$$\theta(\tau) = (g(x_0)) / \alpha(\tau - \tau_0) \quad (\tau_0 \leq \tau \leq \bar{\tau}), \quad (3)$$

и при увеличении  $\tau$  может достигнуть либо границы  $\theta = 1$ , либо границы  $\tau = 1$  подпространства  $\Pi_2$ .

Достижение ИТД границы  $\theta = 1$  [7] означает появление при  $\tau = \bar{\tau} < 1$  повторного импульса С, что переводит ИТД в подпространство  $\Pi_1$  частотного управления с понижением частоты ПГ при  $u = \underline{u}$ . При этом состояние  $\theta = 1, \tau = \bar{\tau} < 1$  подпространства  $\Pi_2$  переходит в начальное состояние движения в  $\Pi_2$  порождая отображение

$$T_{21}: \quad \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(u(\tau_0))), \quad (4)$$

где  $\alpha < \alpha_1(\tau_0) = g(u(\tau_0)) / \alpha(1 - \tau_0) \quad (0 \leq \tau \leq 1)$ .

Достижение ИТД границы  $\tau = 1$  подпространства  $\Pi_2$  [7,8] означает появление повторного импульса ОС, сброс фазовой координаты  $\theta$  со значения  $\tau = 1$  на значение  $\tau = 0$  и переход к дальнейшему рассмотрению динамики движения в следующем периоде ОС. Если в течение этого второго периода ИТД вновь приходит на границу  $\tau = 1$ , то это означает появление повторного импульса ОС, что переводит ИТД в пространство  $\Pi_3$  частотного управления с повышением частоты ПГ при  $u = \bar{u}$ . При этом состояние  $\theta = \bar{\theta}, \tau = 1$  подпространства  $\Pi_2$  переходит в начальное состояние  $\theta = \bar{\theta}, \tau = 0$  движения в  $\Pi_3$ , порождая отображение

$$T_{23}: \quad \bar{\theta} = (1 / \alpha)g(u(\tau_0))(2 - \tau_0), \quad (5)$$

где  $\alpha > \alpha_2(\tau_0) = g(u(\tau_0)) / \alpha(2 - \tau_0)$  ( $0 \leq \tau \leq 1$ )..

Если в течение указанного выше второго периода ОС ИТД приходит на границу  $\theta = 1$ , то реализуется режим чередования импульсов С и ОС, и СЧ остается в режиме фазового управления. При этом порождается отображение

$$T_{22}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(u(\tau_0))) - 1 \\ (\tau_0, \bar{\tau} \in \Pi_2, \alpha_1(\tau_0) < \alpha < \alpha_2(\tau_0)). \end{cases} \quad (6)$$

Анализ свойств фазовых траекторий с начальными условиями  $\theta = 0, \tau = 0$  в  $\Pi_1$  показывает, что ИТД может оставаться в  $\Pi_1$ , порождая отображение

$$T_{11}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha}) - 1 \\ (0 \leq \tau_0 \leq 2 - \alpha / \underline{\alpha}, \underline{\alpha} < \alpha < 2\alpha), \end{cases} \quad (7)$$

где  $\underline{\alpha} = g(\underline{u}), \bar{\alpha} = g(\bar{u})$ , а может переходить в подпространство  $\Pi_2$  в соответствии с отображением

$$T_{12}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha}) - \bar{m}, \\ \left( \begin{array}{l} 2 - \alpha / \underline{\alpha} \leq \tau_0 < 1, \underline{\alpha} < \alpha < 2\underline{\alpha}; \\ \bar{m} = E[\tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha})], 0 \leq \tau_0 < 1, \alpha \geq 2\underline{\alpha} \end{array} \right) \end{cases} \quad (8)$$

где  $E$  — знак взятия целой части, а  $\bar{m} \geq 2$ .

Аналогичная ситуация имеет место в подпространстве  $\Pi_3$ , а именно ИТД может оставаться в подпространстве  $\Pi_3$ , порождая отображение

$$T_{33}: \begin{cases} \bar{\theta} = \theta_0 - (\bar{\alpha} / \alpha) \\ (0 \leq \theta_0 \leq 2 - \bar{\alpha} / \alpha, \bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}), \end{cases} \quad (9)$$

и переходить в подпространство  $\Pi_2$  в соответствии с отображением

$$T_{32}: \begin{cases} \bar{\tau} = (\alpha / \bar{\alpha})(1 - \theta_0 + E[\theta_0 + (\bar{\alpha} / \alpha)]) - 1 \\ \left( \begin{array}{l} 2 - \bar{\alpha} / \alpha \leq \theta_0 \leq 1, (\bar{\alpha} / 2) < \alpha < \bar{\alpha}; \\ 0 \leq \theta_0 \leq 1, \alpha < (\bar{\alpha} / 2) \end{array} \right). \end{cases} \quad (10)$$

**Качественное исследование поведения системы**

Отображение  $T_{22}$ , определяющее динамику СЧ в режиме ИФД, имеет единственную неподвижную точку. Подставляя в (6) условие  $\tau_0 = \bar{\tau} = \tau^*$ , находим, что для линейной характеристики ПГ

$$\alpha = \alpha(\tau^*) = g(u(\tau^*)) = 1 - S[(\bar{u} - \underline{u})\tau^* + \underline{u}]. \quad (11)$$

График функции  $\alpha = \alpha(\tau^*)$  (11) удовлетворяет при  $0 \leq \tau^* \leq 1$  системе неравенств  $\alpha_1(\tau^*) < \alpha < \alpha_2(\tau^*)$  и, следовательно, неподвижная точка  $\tau_0 = \tau^*$  существует во всей полосе удержания, т.е. при  $\underline{\alpha} < \alpha < \bar{\alpha}$ .

Неравенства  $\tau^* > 0, \tau^* < 1$  и  $g(\underline{u}) > 0$  определяют на плоскости  $\alpha, S$  треугольную область существования синхронного режима и невырожденности ( $g(\underline{u}) > 0$ ) характеристики ПГ

$$0 < \frac{1 - \alpha}{|\underline{u}|}, \frac{1 - \alpha}{\bar{u}} < S < \frac{1}{|\underline{u}|} \quad (\underline{u} < 0, \bar{u} > 0). \quad (12)$$

Из вида ФП (6) следует, что условие устойчивости неподвижной точки  $\tau_0 = \tau^* |d\bar{\tau} / d\tau_0(\tau_0 = \tau^*)| < 1$  нарушается на границе

$$N_- : S = 2\alpha / (\bar{u} - \underline{u}), \quad (13)$$

которая отсекает от треугольной области существования (12) ее левую верхнюю часть (в сторону уменьшения  $\alpha$  и увеличения  $S$ ). Тем самым определена область существования и устойчивости в «малом» неподвижной точке  $\tau_0 = \tau^*$  в режиме ИФД [7].

Непосредственно из вида функций последования (7), (9) следует, что ИТД при любых значениях параметров уходит из подпространств  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  в  $\Pi_2$ . Таким образом для ответа на вопрос об устойчивости  $\tau^*$  «в большом» необходимо рассмотреть вопрос об устойчивости циклов отображений  $T_{32}T_{23}$  и  $T_{12}T_{21}$ .

Несложный анализ функций последования (ФП) показал, что при  $\underline{\alpha} \leq \alpha \leq \bar{\alpha}, 2\alpha$  график ФП  $T_{22}$  определен при всех  $0 \leq \tau_0 \leq 1$  (рисунок 1). На границе  $\alpha = 2\underline{\alpha}$  ФП  $T_{22}$  при  $\tau_0 = 1$  равна единице, а при переходе через границу в сторону больших значений  $S$  становится определенной в интервале  $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$ , где  $\bar{\tau}(\tau_{0-}) = 1$ . При этом в интервале  $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$  определена ФП  $T_{23}$ , так что итоговый график ФП подпространства  $\Pi_2$  в себя в интервале соответствует произведению  $T_{32}T_{23}$ . В силу этого для рассмотрения условий глобальной устойчивости неподвижной точки  $\tau^*$  отображения  $T_{22}$  в этом случае необходимо исследовать характер графика ФП отображения  $T_{32}T_{23}$ .

При одновременном выполнении неравенств  $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}, \theta_{01} > 2\underline{\alpha} / \alpha$ , где  $\theta_{01} = 2 - (\bar{\alpha} / \alpha)$ , соответствующий вид графиков ФП отображения подпространства  $\Pi_2$  в себя приведен на рисунке 2. На рисунке 2 использовано обозначение  $\tau_{23} = T_{23}^{-1}\theta_{01}$ . Количество периодов графика ФП в интервале  $0 \leq \tau_0 \leq \tau_{0-}$  увеличивается по мере приближения графика ФП  $T_{32}$  к биссектрисе и при  $\alpha \rightarrow \bar{\alpha} - 0$  неограниченно возрастает. При этом график ФП  $T_{32}T_{23}$  поднимается вверх, уменьшаясь по амплитуде при  $\tau_{23} \rightarrow 1$ . При  $\theta_{01} = 2\underline{\alpha} / \alpha \cdot \tau_{23} = 0$  и на рисунке 2 пилообразность графика ФП  $T_{32}T_{23}$  исчезает, так что остается один ниспадающий участок.

При  $\alpha \rightarrow \bar{\alpha} / 2 + 0, \theta_{01} \rightarrow 0$  график ФП стягивается в точку  $\theta_{01} = 0, \bar{\theta} = 1$ , правый конец графика  $T_{32}$  опускается

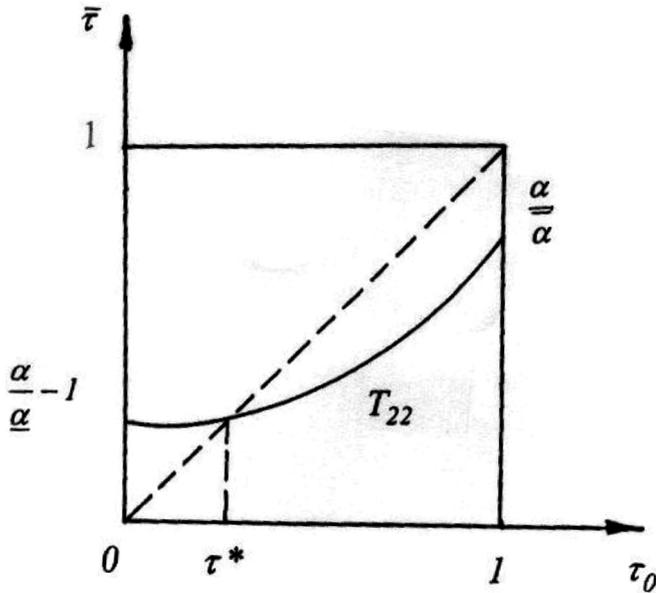


Рис. 1. График ФП  $T_{22}$ , при  $\underline{\alpha} \leq \alpha \leq \bar{\alpha}, 2\underline{\alpha}$

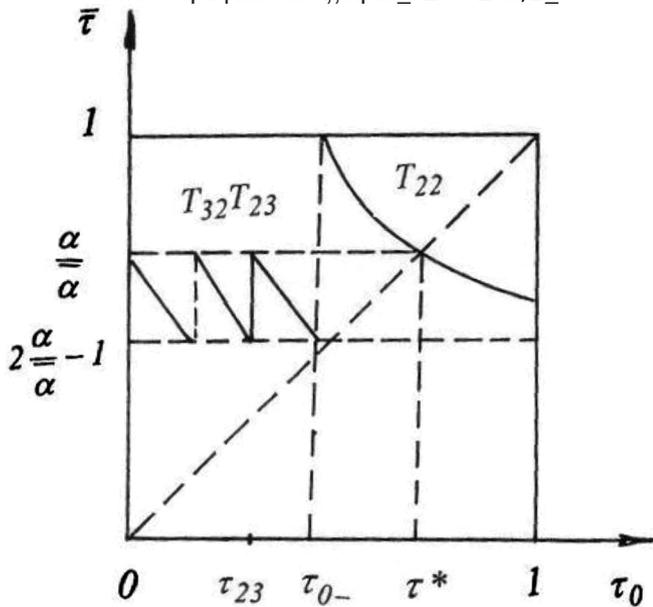


Рис. 2. Вид графиков ФП отображения подпространства  $\Pi_2$  в себя при  $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}$

ется до нуля, а единственный ниспадающий участок графика ФП  $T_{32}T_{23}$  пересекает биссектрису  $\bar{\tau} = \tau_0$  в левом нижнем углу квадранта  $\tau_0, \bar{\tau} > 0$ , доказывая тем самым возможность существования неподвижной точки  $\tau^{**}$  цикла  $T_{32}T_{23}$ , отличной от неподвижной точки  $\tau^*$  отображения  $T_{22}$ .

То есть при указанном подходе представляется возможность убедиться, что отображение  $T_{32}$  играет роль ловушки, из которой величина  $\bar{\tau}$  ИТД поступает в интервал определения отображения  $T_{22}$ . Таким образом, можно качественно сформировать графики ФП в квадранте  $\tau_0, \bar{\tau} > 0$ . При этом в интервале  $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$  представлен график отображения  $T_{22}$ , а в интервале  $0 \leq \tau_0 \leq \tau_{0-}$

сформированный график произведения  $T_{32}T_{23}$ , т.е. предоставляется возможность качественного исследования процессов в СЧ в «большом». Отметим, что график произведения указанных отображений напоминает собой неравномерную пилу, располагающуюся по высоте в диапазоне  $(2\alpha / \bar{\alpha}) - 1 \leq \bar{\tau} \leq \alpha / \bar{\alpha}$ . График ФП отображения  $T_{22}$  имеет монотонно убывающий характер и располагается при  $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$  в верхней части квадрата.

Непосредственно из рисунка графиков ФП видно, что если точка  $(\tau_{0-}, 2\alpha / \bar{\alpha} - 1)$  лежит выше биссектрисы координатного угла  $\tau_0, \bar{\tau} > 0$ , то итерации с течением времени приводят в режим ИФД, обеспечивая глобальную устойчивость неподвижной точки отображения  $T_{22}$ . Если указанная точка лежит ниже биссектрисы, что реализуется при больших  $S$ , то произведение отображений  $T_{32}T_{23}$  имеет неподвижную точку. Последнее может означать либо потерю глобальной устойчивости неподвижной точки  $\tau_0 = \tau^*$  режима ИФД, либо увеличение длительности переходных процессов вследствие прохождения ИТД в окрестности неустойчивой неподвижной точки седлового типа [10].

Заметим, что границы существования неподвижной точки произведения отображений  $T_{32}T_{23}$  определяются формулами

$$\begin{aligned} \theta^{**} &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}) / \alpha \\ \bar{\theta}^{**} &= \theta^{**} + \bar{\alpha} / \alpha - m_3^{**}, \quad m_3^{**} = E[\theta^{**} + \bar{\alpha} / \alpha], \\ \tau^{**} &= \alpha(1 - \bar{\theta}^{**}) / \bar{\alpha}, \\ \alpha &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}). \end{aligned} \quad (14)$$

Из (14) следует, что  $\theta^{**} = 1$ , а  $\bar{\theta}^{**} = 1 + \bar{\alpha} / \alpha - m_3^{**}$ . Но тогда при  $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}$  и  $E = 2$  систему (14) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \alpha &= \bar{\alpha}(1 + \tau^{**}) / 2, \\ \alpha &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}) \quad (0 \leq \tau^{**} \leq 1). \end{aligned} \quad (15)$$

Анализ поведения границы (15) позволяет сделать вывод, что в той части области удержания, где

$$1 + (2\underline{u} + \bar{u})S / 3 < \alpha < < 3(1 + S\bar{u})[(\bar{u} - 2\underline{u})S - 1] / [45(\bar{u} - \underline{u})], \quad (16)$$

у цикла  $T_{32}T_{23}$  существует неподвижная точка  $\tau^{**}$ , причем  $d\bar{\tau} / d\tau_0(\tau^{**}) < -1$ , т.е. она всегда неустойчива [11, с. 91–96].

Аналогичный анализ поведения произведения отображений  $T_{12}T_{21}$  дает возможность установить, что в области существования и устойчивости неподвижной точки  $\tau_0 = \tau^*$  неподвижная точка цикла  $T_{12}T_{21}$  не существует. А это обеспечивает для  $\tau^*$  устойчивость «в большом» в области существования и устойчивости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В.В., Пестряков А.В. Перспективные направления развития динамической теории дискретных систем фазовой синхронизации для устройств синтеза и стабилизации частот. // Электросвязь. — 1993. — № 11. — С.38–42.
2. Горюнов В.И., Палочкин Ю.П. К проблеме синтеза оптимального алгоритма адаптивного выбора рабочей частоты при реализации радиосвязи на множестве частот // LVI научная сессия, посвященная дню радио: Труды — М., 2001. — Т.2. — С.392–393.
3. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С. К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — 232 с.
4. Антоновская О.Г., Бесклубная А.В. Построение математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором, использующей фазовые подпространства. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. «Естественные и технические науки». — 2024. — № 8. — С. 61–66.
5. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.
6. Горюнов В.И. К теории систем импульсно-фазовой автоподстройки частоты // Известия вузов. Приборостроение. — 1974. — № 10. — С. 40–43.
7. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Моделирование процесса склейки фазовых траекторий в системе с комбинированным частотно-фазовым управлением. // Известия института математики и информатики УдГУ. — 2015. — № 2(46). — С. 6–12.
8. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Метод точечных отображений в динамике системы с комбинированным частотно-фазовым управлением // X Всероссийская научная конференция «Нелинейные колебания механических систем». Сборник трудов. — 2016. — С. 51–57.
9. Антоновская О.Г., Журавлева Т.В. Математические методы в исследовании динамики системы с комбинированным частотно-фазовым управлением. // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 2 (106). — Часть 9. — Самара: «LJournal». — С. 136–142.
10. Горюнов В.И., Ерусланов В.Н., Лобашов Н.И. Техническая полоса захвата одноконтурного синтезатора частоты // Техника средств связи. Сер ТРС. — 1990. — Вып.2. — С. 88–94.
11. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Разрывные точечные отображения и динамика синтезаторов частот (Об особенностях исследования математических моделей синтезаторов частот, содержащих малые параметры). — LAP (Lambert Academic Publishing). Гамбург, Германия, 2016. — 110 с.

© Бесклубная Антонина Вячеславовна (antbesk@gmail.com); Бондарь Елена Александровна (bonde28@ya.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»