

14. *Finaev V.I., Molchanov A.Yu.* Metod modelirovaniya samonastravayushchikhsya sistem upravleniya [Method for simulation of self-tuning control systems], *Izvestiya TRTU [Izvestiya TSURE]*, 2004, No. 8 (43), pp. 45-49.
15. *Finaev V.I., Molchanov A.Yu.* Modeli sistem avtomaticheskoy optimizatsii energeticheskikh ob"ektov [Model systems of automatic optimization of energy facilities], *Izvestiya TRTU [Izvestiya TSURE]*, 2004, No. 7 (42), pp. 82-87.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

**Финаев Валерий Иванович** – Южный федеральный университет; e-mail: [finaev\\_val\\_iv@tsure.ru](mailto:finaev_val_iv@tsure.ru); 347928, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Белоглазов Денис Александрович** – кафедра систем автоматического управления; ассистент.

**Павленко Елена Николаевна** – к.т.н.

**Шадрина Валентина Вячеславовна** – к.т.н.

**Finaev Valeri Ivanovich** – Southern Federal University; e-mail: [fin\\_val\\_iv@tsure.ru](mailto:fin_val_iv@tsure.ru); 1, Engelsa street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Beloglazov Denis Alexandrovich** – the department of automatic control systems; assistant.

**Pavlenko Elena Nikolaevna** – cand. of eng. sc.

**Shadrina Valentina Vyacheslavovna** – cand. of eng. sc.

УДК 621.316.726

**Ю.А. Геложе, П.П. Клименко, А.В. Максимов**

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В ЦИФРОВОМ СИНТЕЗАТОРЕ ЧАСТОТЫ С ФАЗОВЫМ КОНТУРОМ СТАБИЛИЗАЦИИ**

*Работа посвящена исследованию организации управления процессами в цифровом синтезаторе частоты с фазовым контуром стабилизации. В статье представлены результаты исследования импульсных систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), используемых для построения цифровых синтезаторов частоты (ЦСЧ). Приведены обобщенная структурная схема системы ФАПЧ и схема системы ФАПЧ с взаимодействующим функционированием элементов фазового контура и цепи формирования опорного сигнала. Рассмотрены схемы обеспечивают быстрое восстановление режимов слежения и стабилизации в условиях воздействия медленно изменяющихся факторов среды и неполадок в цепях питания, программирования, и других больших воздействиях импульсного типа. Представлены фазовые портреты в системе фазовой автоподстройки частоты и синтезаторе частоты. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что для обеспечения надежной работы ФАПЧ в условиях непредвиденно больших дестабилизирующих факторов и внезапных кратковременных больших возмущений, целесообразно в критических режимах управлять не только процессами в фазовом контуре, но и процессом формирования опорного сигнала. Показано, что возникающий процесс самоорганизации обеспечивает новое взаимодействие элементов, приобретающее характер взаимодействия на получение нового результата, состоящего в уменьшении времени пребывания в критическом режиме и восстановления требуемого состояния системы.*

*Фазовая автоподстройка частоты; цифровые синтезаторы частоты; импульсный фазовый дискриминатор.*

Yu.A. Gelozhe, P.P. Klimenko, A.V. Maksimov

**ORGANIZE CONTROL OF PROCESSES IN DIGITAL FREQUENCY SYNTHESIZER WITH PHASE CONTOUR STABILIZATION**

*Introduction of inertial FLF in the contour (FSPC) results in the reduction of locking range, i.e. the area of frequencies, in which the lock is determined process(lock which probability is equal to unit). At the same time there is a frequency area enclosed between the limits of the locking range and the holding range, for which the contour of stabilization is statistically steady. It means, that for any frequency from this area after switching frequencies and after intensive short-term influences in the contour of stabilization with certain probability an equilibrium condition is established, hence, programmed signal is formed, or beating mode is established, when the synthesis of a quazimonochrome signal becomes impossible. The above schemes provide fast recovery mode tracking and stabilization in conditions of slowly changing environmental factors and problems in the supply circuits, software, and other large impact impulse type. The phase portrait of the system and the phase-locked loop frequency synthesizer are presented.*

*Frequency synthesizers; stabilization phase contour; pulse-phase discriminator.*

Принцип управления в варианте релейного управления процессами в контуре системы ФАПЧ рассматривался в [1]. В этих устройствах в случае проявления признаков кризисного развития процессов вводится дополнительное управляющее воздействие, равное максимальному управляющему напряжению импульсного фазового дискриминатора. Знак этого управляющего воздействия автоматически выбирается таким, чтобы согласно принципу управления, обеспечить изменение знака мгновенной расстройки по частоте.

Для положительного значения крутизны модуляционной характеристики управляемого автогенератора контура ФАПЧ математическое выражение закона дополнительного управления можно записать в виде:

$$U \left( \varphi(t), \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)_{t=\tau} = U_{\text{фом}} 1[t - \tau] \text{sign} \left[ \frac{d\varphi}{dt} \right]_{t=\tau},$$

где  $\tau$  – момент времени начала действия дополнительного управления, определяемый из следующего уравнения  $\varphi(\tau) = \pm\pi$ ;  $U_{\text{фдм}}$  – максимальное управляющее напряжение ИФД;  $1[\dots]$  – единичная функция.

Например, когда знак мгновенной расстройки по частоте  $\frac{d\varphi}{dt}$  положительный, т.е. мгновенное значение частоты опорного автогенератора выше частоты управляемого автогенератора, тогда вводится максимальное по величине управляющее воздействие  $U_{\text{фдм}}$  положительного знака, что будет увеличивать частоту управляемого автогенератора, приближая ее к частоте опорного сигнала. Выключение дополнительного управления в момент времени  $T$   $U \left( \varphi(t), \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)_{t=T} = 0$  производится, согласно принципу управления, после изменения знака мгновенной расстройки по частоте, т.е. когда

$$\text{sign} \left[ \frac{d\varphi(t)}{dt} \right]_{t=T} = -\text{sign} \left[ \frac{d\varphi(t)}{dt} \right]_{t=\tau}$$

и разность фаз в системе будет

$$\varphi(T) = \pm\pi \pm 2\pi k,$$

где  $k = \text{integer} \left\{ \frac{|\varphi_H|}{2\pi} \right\}$ ;  $\varphi_H$  – набег фаз в системе за время действия дополнитель-

ного управления;  $\text{integer}\{\dots\}$  – целая часть отношения  $\frac{|\varphi_H|}{2\pi}$ .

Поскольку физика явлений в рассматриваемых системах ФАПЧ описана подробно в [2–5], то приведем обобщенную структурную схему этих фазовых автоматических систем (рис. 1).

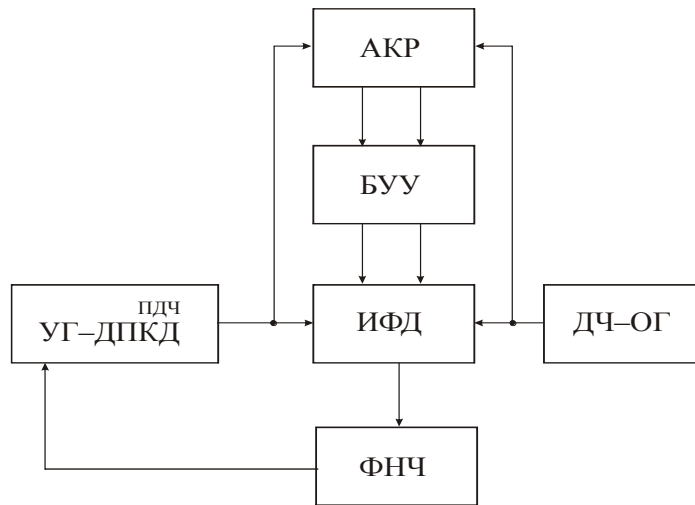


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы ФАПЧ с дополнительными процессами в контуре стабилизации

На рис. 1, кроме основных элементов контура ФАПЧ: УГ – ДПКД – управляемого автогенератора – делителя частоты с переменным коэффициентом деления; ИФД – импульсно-фазового дискриминатора; ФНЧ; ДЧ–ОГ – делителя частоты – эталонного автогенератора, показаны дополнительные элементы, обеспечивающие реализацию принципа управления: АКР – анализатор критических режимов и БУУ – дополнительное устройство управления. В АКР на основе анализа процессов в системе определяются признаки кризисного развития переходных процессов и выхода из критического режима. Выходные сигналы этого анализатора воздействуют на БУУ, которое когерентно с процессами в контуре ФАПЧ вводит дополнительное управляющее воздействие, обеспечивающее выведение системы из критического режима работы.

Фазовый портрет процессов в системе в случае воздействия больших кратковременных возмущений имеет вид, приведенный на рис. 2, где сплошными линиями показаны фазовые траектории, реализуемые в автономном режиме ФАПЧ, а пунктирными – при реализации принципа управления. Из этого рисунка видно, что при движении изображающей точки из удаленных областей фазового пространства может потребоваться многократное управление в соответствии с принципом управления (на рисунке показано двукратное управление). Кроме того, возможны большие отклонения разности фаз  $\varphi_H$  от абсциссы точки разрыва характеристики

ИФД, равной  $\pi$ , что приводит к увеличению кинетической энергии в точке d. Это будет приводить к затягиванию времени пребывания системы в критическом режиме, поскольку для достижения равновесного состояния необходимо рассеять всю энергию, внесенную в систему большим кратковременным возмущением.

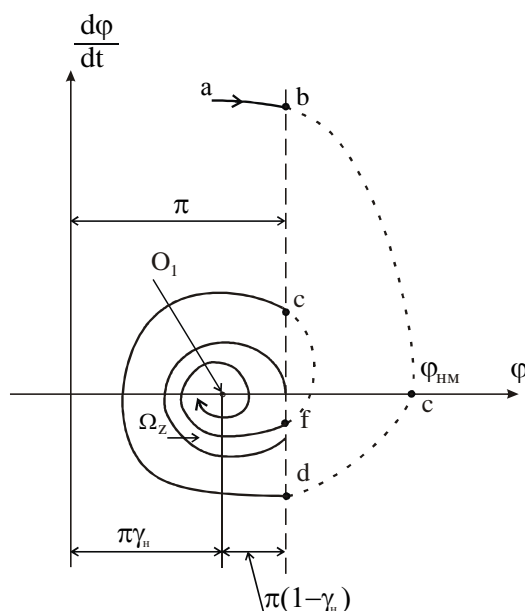


Рис. 2. Фазовый портрет в системе ФАПЧ

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что недостаточно (в случае больших кратковременных возмущений) организации взаимодействия элементов только контура ФАПЧ, даже если она столь совершенна, что взаимодействие элементов, известных и вновь введенных, приобретает характер взаимосодействия.

Действительно, реализация одного этапа работы системы (реализация фазовой траектории b-c-d) создает для следующего более благоприятные начальные условия (реализация фазовой траектории d-e) и т.д., что создает возможность существования финишной траектории, исходящей из точки f, поскольку кинетическая энергия системы рассеивается на всех этапах ее работы.

Рассмотрим систему ФАПЧ, в которой взаимодействие элементов не только контура, но и цепи формирования опорного сигнала приобретает характер взаимосодействия, что позволит уменьшить время ее пребывания в критическом режиме.

Проведем усовершенствование системы ФАПЧ с цифровыми делителями частоты в обратной связи и в цепи формирования опорного сигнала так, чтобы взаимодействие элементов не только ее контура, но и канала формирования опорного канала, приобрело характер взаимосодействия.

При этом может быть осуществлено большее рассеивание энергии (запасенной в результате воздействия большого кратковременного возмущения) в процессе реализации принципа управления, что при прочих равных условиях обеспечит достижение главной цели – уменьшения затрат времени на восстановление заданного состояния системы.

Эффективным средством достижения этой цели в ФАПЧ, представляющей собой грубую динамическую систему, является не изменение ее параметров, приводящее лишь к «смещению» фазовых траекторий, а введение некоторых дополнительных управляющих действий, выполняемых одновременно с управлением, изменяющим знак производной выходной переменной системы.

Основная идея решения этой задачи состоит в том, чтобы в процессе реализации принципа управления производить еще некоторое управление, которое бы обеспечивало совпадение знака мгновенной расстройки по частоте

$$\text{sign} \left[ \frac{d\varphi}{dt} \right] = \text{sign} \left[ \Omega_{oz}(t) - \Omega_{ye}(t) \right],$$

где  $\Omega_{yT}(t)$  – текущие значения частот опорного и управляемого автогенераторов, приведенных ко входам ИФД, и знака приращения разности фаз  $\text{sign}[\Delta\varphi] = \text{sign}[\varphi(t) - \pi]$ .

Если такие управляющие действия осуществить, то фазовая траектория реализации принципа управления может иметь, например, вид, показанный на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что изображающая точка вводится в область  $\Omega_z$  при малых значениях  $\frac{d\varphi}{dt}$ , т.е. при этом обеспечивается малая кинетическая энергия в момент времени возвращения системы в линейный режим работы. Это способствует уменьшению времени рассеивания остаточной энергии в основном режиме работы системы. Кроме того, за счет исключения отрезка с–d фазовой траектории (см. рис. 2) уменьшится время пребывания системы в критическом режиме.

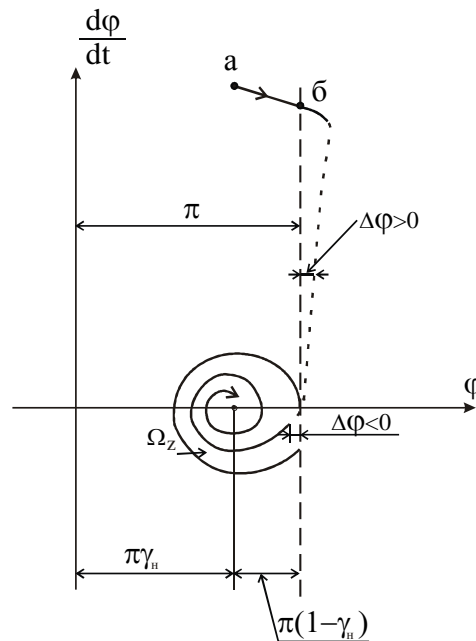


Рис. 3. Фазовый портрет в системе ФАПЧ в случае, когда в результате управления процессами обеспечивается согласование знаков

Технически задача согласования знаков мгновенной расстройки по частоте  $\text{sign}\left[\frac{d\varphi}{dt}\right]$  и приращения разности фаз  $\text{sign}[\Delta\varphi]$  может быть решена на основе изобретений [6, 7], в которых используется свойство цифровых делителей частоты возвращаться практически мгновенно в исходное состояние при действии на вход «сброс» электронного счетчика короткого импульса. На рис. 4,а,б приведена иллюстрация формирования разности фаз при осуществлении операции сброса («управляющего действия») в исходное состояние одного из делителей частоты выходным сигналом другого делителя. При этом сброс осуществляется выходным импульсом того делителя частоты, выходной сигнал которого имеет меньшую частоту. Знаком «+» отмечены моменты времени осуществления сброса. Рис.4а иллюстрирует процессы при  $\frac{d\varphi}{dt} > 0$ , а рис. 4,б – при  $\frac{d\varphi}{dt} < 0$ .

Из рис. 4,а,б видно, что при выполнении дополнительных управляющих действий для  $\Omega_{ог} / \Omega_{уг}$ , где  $\Omega_{ог} - \text{const}$  и  $\Omega_{уг} - \text{const}$ , не возникает набег фаз, свойственный обычным ФАПЧ.

Кроме того, знак приращения разности фаз совпадает со знаком мгновенной расстройки по частоте и величина приращения разности фаз пропорциональна этой расстройке по частоте.

Поэтому фазовая траектория на рис. 3 в процессе реализации принципа управления приближается к абсциссе, равной  $\pi$ , по мере уменьшения мгновенной расстройки по частоте  $\frac{d\varphi}{dt}$ .

Здесь можно отметить, что процесс, отображаемый фазовым портретом (см. рис. 3), можно представить в виде подвижной области  $\Omega_z$ , перемещающейся синхронно и синфазно с процессами в системе в точку «с» на фазовом портрете, приведенном на рис. 3. Поэтому выше отмечалось, что в результате выполнения управляемых операций сброса исключается только отрезок с–d фазовой траектории. На основании изложенного можно сделать вывод, что фазовый портрет (см. рис. 3) наблюдаемых процессов в системе ФАПЧ с цифровыми делителями частоты в обратной связи и в цепи формирования опорного сигнала реализуем.

Это также доказывает, что возможно создание систем, взаимодействие всех элементов которых в критических режимах приобретает характер взаимодействия на получение следующего результата: уменьшается время пребывания системы в критическом режиме работы (исключается отрезок с–d фазовой траектории) и уменьшается время возвращения в состояние покоя, так как кинетическая энергия при возвращении системы в линейный режим работы приблизительно равна нулю.

Все упомянутые управления реализованы в цифровом синтезаторе частоты [8]. Поскольку описание принципа его действия в [8] дано подробно, рассмотрим его укрупненную структуру и связи, возникающие в процессе его самоорганизации только в критическом режиме. Структурная схема этого синтезатора приведена на рис. 5. На этом рисунке, кроме базовых узлов ФАПЧ: УГ – ДПКД – управляемого автогенератора – делителя частоты с переменным коэффициентом деления; ИФД, ФНЧ и ДЧ–ЭГ–делителя частоты – эталонного автогенератора, показан анализатор критических режимов (АКР) и дополнительное устройство управления (БУУ).

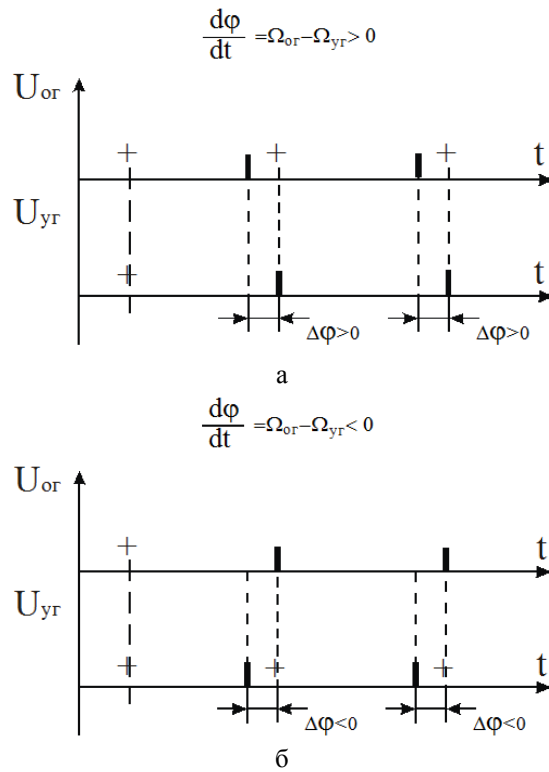


Рис. 4. Иллюстрация формирования разности фаз при осуществлении операции сброса цифровых делителей частоты

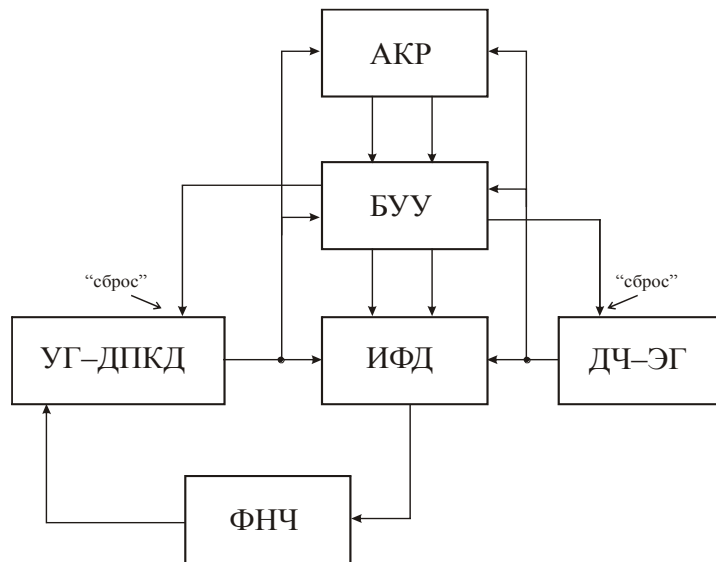


Рис. 5. Структурная схема системы ФАПЧ с взаимодействующим функционированием элементов фазового контура и цепи формирования опорного сигнала

В отличие от структурной схемы ФАПЧ, приведенной на рис. 1, в схеме на рис. 5 дополнительное устройство управления (БУУ) обеспечивает в критическом режиме не только формирование воздействия, изменяющего знак мгновенной расстройки по частоте, но и выполнение операций управляемого сброса делителей частоты. В связи с тем, что в момент времени сброса делителя частоты сигналы одного и другого делителя частоты синфазизируются и операции сброса начинают выполняться при сдвиге фаз, равном  $\pi$ , фазовый портрет процессов в синтезаторе частоты [8] будет иметь вид, показанный на рис. 6.

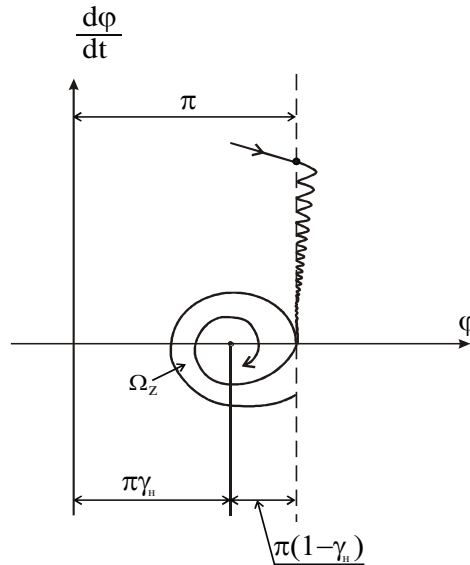


Рис. 6. Фазовый портрет процессов в синтезаторе частоты

Экспериментальные исследования ЦСЧ [8] показали, что он надежно функционирует при любых начальных расстройках, в том числе и близких к полосе удержания. Особенно высока его эффективность при использовании элементов в цепи настройки частоты, в динамическом отношении представляемых соединениями интегратора и других инерционных аperiodических звеньев, в частности, при использовании ИФД с третьим состоянием [9]. Как отмечалось выше, связано это с тем, что при реализации принципа управления в таких системах путем релейного введения только одного управляющего воздействия, изменяющего знак мгновенной расстройки по частоте, кинетическая энергия в системе не рассеивается. В то время как в рассматриваемой здесь усовершенствованной реализации принципа управления, осуществляемой несколькими компонентами управляющего воздействия, кинетическая энергия при вхождении системы в линейный режим работы практически оказывается равной нулю, что и обеспечивает быстрое рассеивание остаточной энергии в линейном режиме работы фазовой системы.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что для обеспечения надежной работы ФАПЧ в условиях непредвиденно больших дестабилизирующих факторов и внезапных кратковременных больших возмущений, целесообразно в критических режимах управлять не только процессами в фазовом контуре, но и процессом формирования опорного сигнала. При этом за счет исходной организации взаимодействия всех без исключения элементов автоматической системы, возникающий процесс самоорганизации обеспечивает новое взаи-



модействие элементов, приобретающее характер взаимодействия на получение нового результата, состоящего в уменьшении времени пребывания в критическом режиме и восстановления требуемого состояния системы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геложе Ю.А., Клименко П.П. Управление переходными процессами в цифровых синтезаторах частоты с фазовым контуром стабилизации // Научные труды 4-й Международной конференции «Радиолокация, радионавигация, связь». – Воронеж.1998. – С. 275-287.
2. Геложе Ю.А., Клименко П.П. Исследование процессов в цифровом синтезаторе частоты с фазовым контуром стабилизации // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 157-165.
3. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Исследование переходных процессов в системе ФАПЧ ЦСЧ в критических режимах // Международная научно-практическая конференция «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы», г. Донецк, Украина, 2014 г.
4. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Анализ устойчивости контура фазовой автоподстройки частоты, функционирующего при больших возмущениях // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 102-107.
5. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Управление процессами в фазовой системе автоподстройки частоты цифровых синтезаторов частоты в критических режимах // Материалы четырнадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы», г. Донецк, 15-18 апреля 2013г. В 3-х томах. Т. 2. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 26-29.
6. А.С.641285 (СССР). Устройство для выбора максимальной усредненной величины / Геложе Ю.А. 1979. Бюл. №1.
7. А.С. (СССР). Устройство для выбора минимальной усредненной величины / Геложе Ю.А. 1975. Бюл. №18.
8. А.С. (СССР). Синтезатор частоты / Геложе Ю.А. 1977. Бюл. №15.
9. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. – М.: Радио и связь. 1989. – 232 с.
10. Попов В.М. Об абсолютной устойчивости нелинейных систем автоматического регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1961. – Т. 22, № 8. – С. 23-31.
11. А.С. 484617(СССР). Устройство импульсно-фазовой автоподстройки частоты / Геложе Ю.А. 1975. Бюл. № 34.
12. Геложе Ю.А., Клименко П.П. Управление процессами в нелинейных системах. – М.: Радио и связь, 2006. – 264 с.
13. Геложе Ю.А., Клименко П.П. Системы фазовой автоподстройки частоты с ФНЧ высоких порядков // Радиосистемы. Радиолокационные устройства и системы управления, локации и связи. – 2004. – Вып. 78.
14. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Организация процессов управления в системе фазовой синхронизации // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 2 (91). – С. 170-178.
15. Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов А.В. Исследование переходных процессов в нелинейном автопилоте // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 55-61.

## REFERENCES

1. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P. Upravlenie perekhodnymi protsessami v tsifrovyykh sinte-zatorakh chastoty s fazovym konturom stabilizatsii [The management of the transition to digital frequency synthesizers, phase stabilization loop], *Nauchnye trudy 4-y Mezhdunarod-noy konferentsii «Radiolokatsiya, radionavigatsiya, svyaz'»* [Scientific proceedings of the 4th International conference on Radar, radio navigation, communication"]. Voronezh.1998, pp. 275-287.

2. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P. Issledovanie protsessov v tsifrovom sintezatore chastoty s fazovym konturom stabilizatsii [Research of processes in digital frequency synthesizer with phase contour stabilization], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 11 (148), pp. 157-165.
3. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P., Maksimov A.V. Issledovanie perekhodnykh protsessov v sisteme FAPCh TsSCh v kriticheskikh rezhimakh [The study of transient processes in the system PLL CSC in critical conditions], *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Praktika i perspektivy razvitiya partnerstva v sfere vysshey shkoly»* [International scientific-practical conference "the Practice and prospects of partnership in the sphere of higher education"], g. Donetsk, Ukraina, 2014 g.
4. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P., Maksimov A.V. Analiz ustoychivosti kontura fazovoy avtopodstroyki chastoty, funktsioniruyushchego pri bol'shikh vozmushcheniyakh [Researching algorithms control angle list being provided requirement dynamics characteres of system in critical situation], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 4 (153), pp. 102-107.
5. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P., Maksimov A.V. Upravlenie protsessami v fazovoy sisteme avtopodstroyki chastoty tsifrovyykh sintezatorov chastoty v kriticheskikh rezhimakh [Management processes in the phase locked loop system frequency digital frequency synthesizers in critical conditions], *Materialy chetyrnadtsatogo Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara «Praktika i perspektivy razvitiya partnerstva v sfere vysshey shkoly»* [The materials of the fourteenth International scientific-practical seminar "the Practice and prospects of partnership in the sphere of higher education"], g. Donetsk, 15-18 aprelya 2013g. V 3-kh tomakh. Vol. 2. Donetsk: DonNTU, 2013, pp. 26-29.
6. A.S. 641285 (SSSR). Ustroystvo dlya vybora maksimal'noy usrednennoy velichiny [The device for selecting the maximum average value], Gelozhe Yu.A. 1979. Byul. No. 1.
7. A.S. (SSSR). Ustroystvo dlya vybora minimal'noy usrednennoy velichiny [The device for selecting the minimum average value], Gelozhe Yu.A. 1975. Byul. No. 18.
8. A.S. (SSSR). Sintezator chastoty [The frequency synthesizer], Gelozhe Yu.A. 1977. Byul. No. 15.
9. Levin V.A., Malinovskiy V.N., Romanov S.K. Sintezatory chastot s sistemoy impul'sno – fazovoy avtopodstroyki. Moscow: Radio i svyaz'. 1989, 232 p.
10. Popov V.M. Ob absolyutnoy ustoychivosti nelineynykh sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [About absolute stability of nonlinear systems of automatic control], *Avtomatika i telemekhanika* [Automatics and Telemechanics], 1961, T. 22, No. 8, pp. 23-31.
11. A.S. 484617(SSSR). Ustroystvo impul'sno-fazovoy avtopodstroyki chastoty [The device of the pulse-phase-locked loop], Gelozhe Yu.A. 1975. Byul. No. 34.
12. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P. Upravlenie protsessami v nelineynykh sistemakh [Management processes in nonlinear systems]. Moscow: Radio i svyaz', 2006, 264 p.
13. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P. Sistemy fazovoy avtopodstroyki chastoty s FNCh vysokikh poryadkov [System phase-locked loop with high-order LPF], *Radiosistemy. Radiolokatsionnye ustroystva i sistemy upravleniya, lokatsii i svyazi* [Radio systems. Radar devices and systems management, location and communication], 2004, Issue 78.
14. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P., Maksimov A.V. Organizatsiya protsessov upravleniya v sisteme fazovoy sinkhronizatsii [Organization management processes in the system phase sync], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 2 (91), pp. 170-178.
15. Gelozhe Yu.A., Klimenko P.P., Maksimov A.V. Issledovanie perekhodnykh protsessov v nelineynom avtopilote [Researching transitional processes in nonlinear autopilot], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 55-61.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Макаров.

**Гелозе Юрий Андреевич** – Южный федеральный университет; e-mail: rts@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371637; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

**Клименко Павел Петрович** – кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

**Максимов Александр Викторович** – e-mail: kafmps@tppark.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328058; кафедра встраиваемых систем; доцент.

**Gelozhe Yury Andreevich** – Southern Federal University; e-mail: rts@tsure.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: + 78634371637; the department of engineering and telecommunication systems; associate professor.

**Klimenko Pavel Petrovich** – the department of engineering and telecommunication systems; associate professor.

**Maksimov Aleksandr Viktorovich** – e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634328058; the department of embedded systems; associate professor.