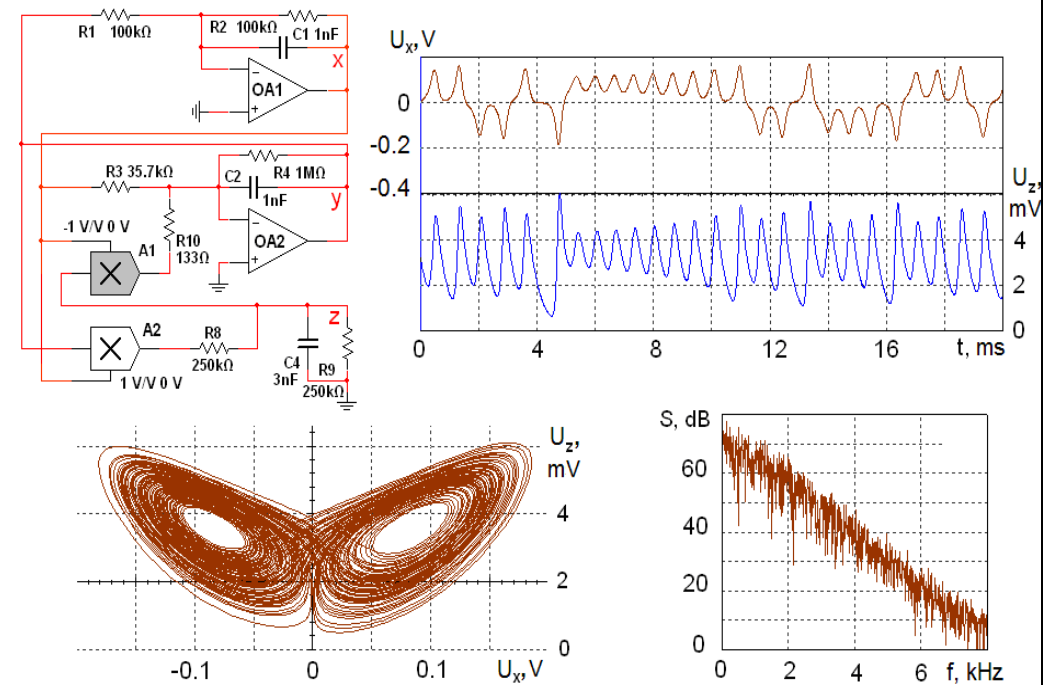
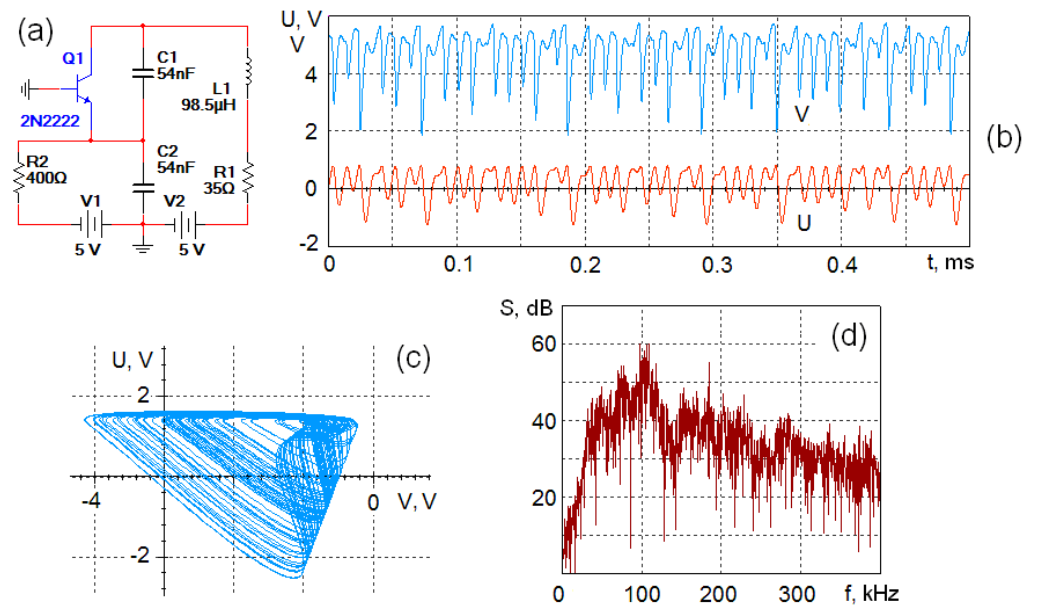
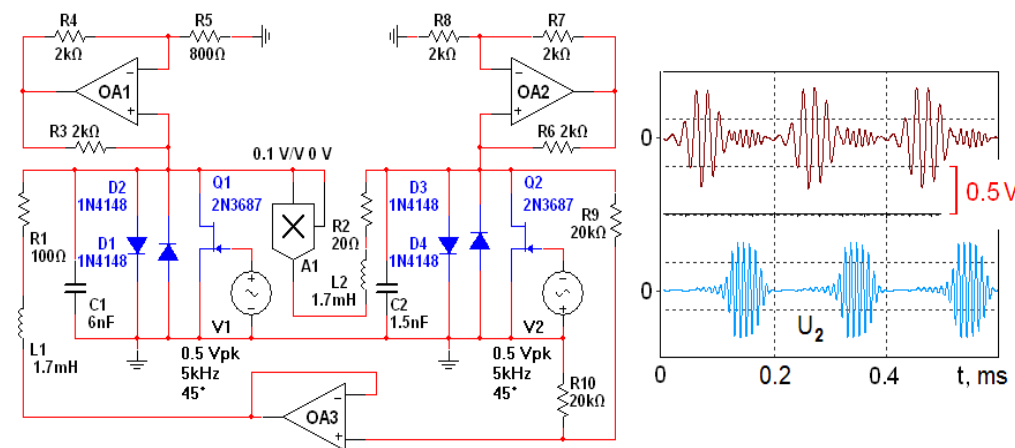


Сравнительным анализом генераторов хаоса, как описанных в литературе (генераторы Колпитца и Хартли, RC-генератор хаоса, варианты схемы Чуа), так и оригинальных (аналоговый осциллятор Лоренца, генераторы гиперболического хаоса с передачей возбуждения между попеременно активными элементами, генераторы с запаздыванием), показано, что в смысле качества генерируемого хаоса выделяются схемы с аттракторами типа Лоренца, где сочетаются хорошие спектральные характеристики, относительная простота конструкции и робастность, как сохранение хаотической динамики при вариации параметров устройства.

Госбюджетная НИР «Яуза»

Кузнецов С.П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование. Известия вузов. ПНД, 2018, 26, № 3, 35–61.



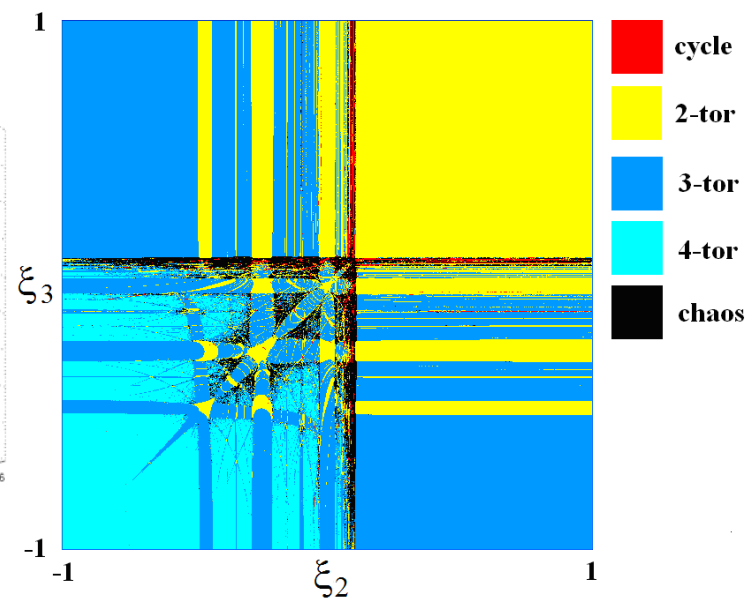
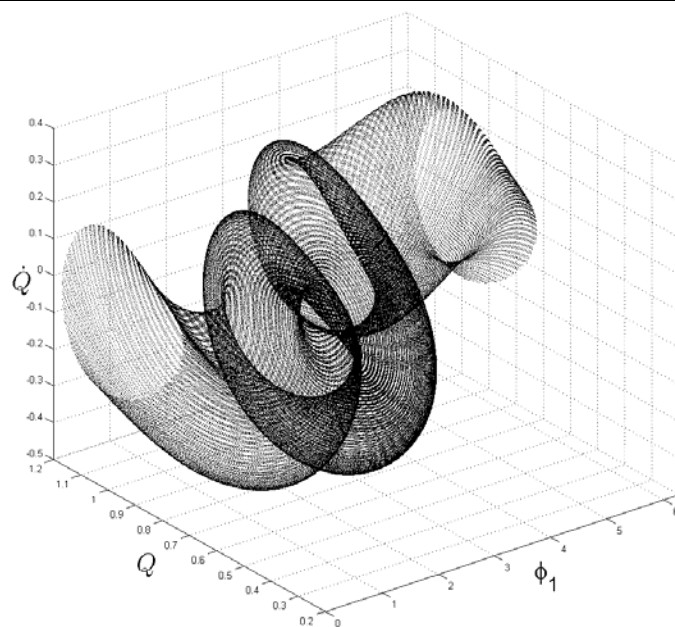
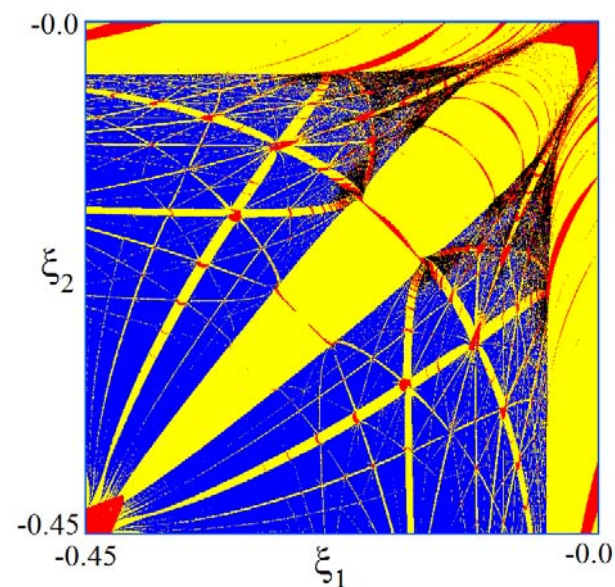
Изучена динамика трех и четырех связанных неидентичных по критическому току контактов Джозефсона. Обнаружены такие эффекты, как резонансная паутина Арнольда на основе инвариантных торов разных размерностей и переходы к хаосу. Путем построения карт различных сечений пространства параметров выявлены области существования периодических, квазипериодических и хаотических режимов динамики, и проиллюстрировано возникновение и разрушение торов разной размерности.

Госбюджетная НИР «Яуза»

Kuznetsov A.P., Sataev I.R., Sedova Yu.V. Dynamics of Three and Four Non-identical Josephson Junctions. *Journal of Applied Nonlinear Dynamics*, 7, 2018, No 1, 105-110.

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_1 &= I - \sin \varphi_1 - \varepsilon \dot{Q}, & \dot{\varphi}_2 &= I - (1 + \xi_1) \sin \varphi_2 - \varepsilon \dot{Q}, \\ \dot{\varphi}_3 &= I - (1 + \xi_2) \sin \varphi_3 - \varepsilon \dot{Q}, \\ \ddot{Q} + \gamma \dot{Q} + \omega_0^2 Q &= I - \frac{1}{3} [\sin \varphi_1 + (1 + \xi_1) \sin \varphi_2 + (1 + \xi_2) \sin \varphi_3]. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_1 &= I - \sin \varphi_1 - \varepsilon \dot{Q}, & \dot{\varphi}_2 &= I - (1 + \xi_1) \sin \varphi_2 - \varepsilon \dot{Q}, \\ \dot{\varphi}_3 &= I - (1 + \xi_2) \sin \varphi_3 - \varepsilon \dot{Q}, & \dot{\varphi}_4 &= I - (1 + \xi_3) \sin \varphi_4 - \varepsilon \dot{Q}, \\ \ddot{Q} + \gamma \dot{Q} + \omega_0^2 Q &= I - \frac{1}{4} [\sin \varphi_1 + (1 + \xi_1) \sin \varphi_2 + (1 + \xi_2) \sin \varphi_3 + (1 + \xi_3) \sin \varphi_4]. \end{aligned}$$

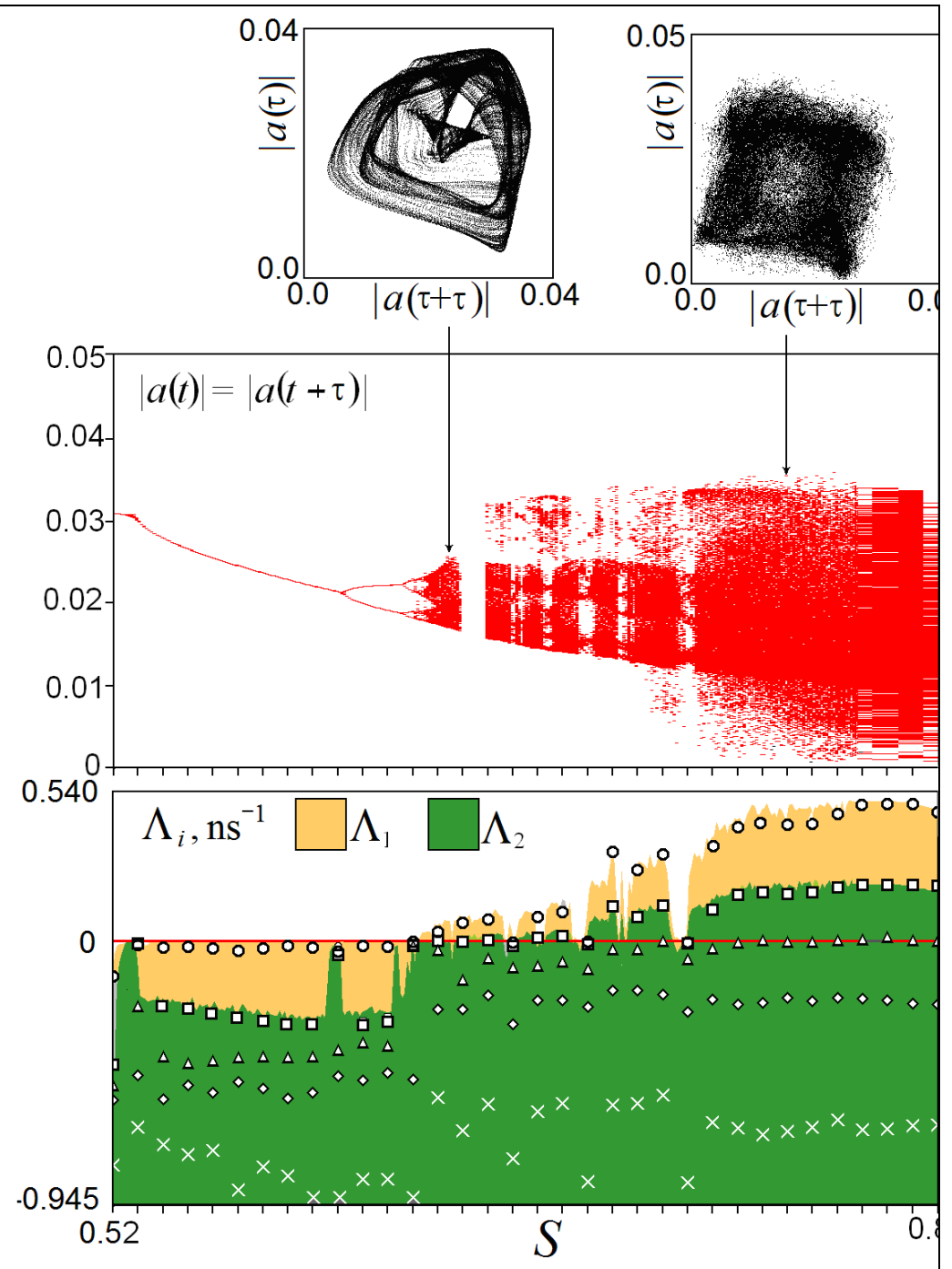


На основании оценки показателей Ляпунова по временным рядам для модели двухрезонаторного гироклистрона 3 мм диапазона с запаздывающей обратной связью с нефиксированной структурой поля обнаружены хаотический и гиперхаотический режимы генерации. С увеличением коэффициента передачи амплитуда излучения претерпевает конечную последовательность удвоений периода с переходом к режиму сначала с одним, а затем с двумя положительными показателями Ляпунова.

Совместно с ИПФ РАН (Н.Новгород) в рамках НИР "Феномен" (РНФ 17-12-01008).

Розенталь Р.М., Исаева О.Б., Гинзбург Н.С., Зотова И.В., Сергеев А.С., Рожнев А.Г., Тараканов В.П.. Авто-модуляционные и хаотические режимы генерации в двухрезонаторном гироклистроне с запаздывающей обратной связью. Изв. вузов. ПНД, **26**, 2018, №3, 78-98.

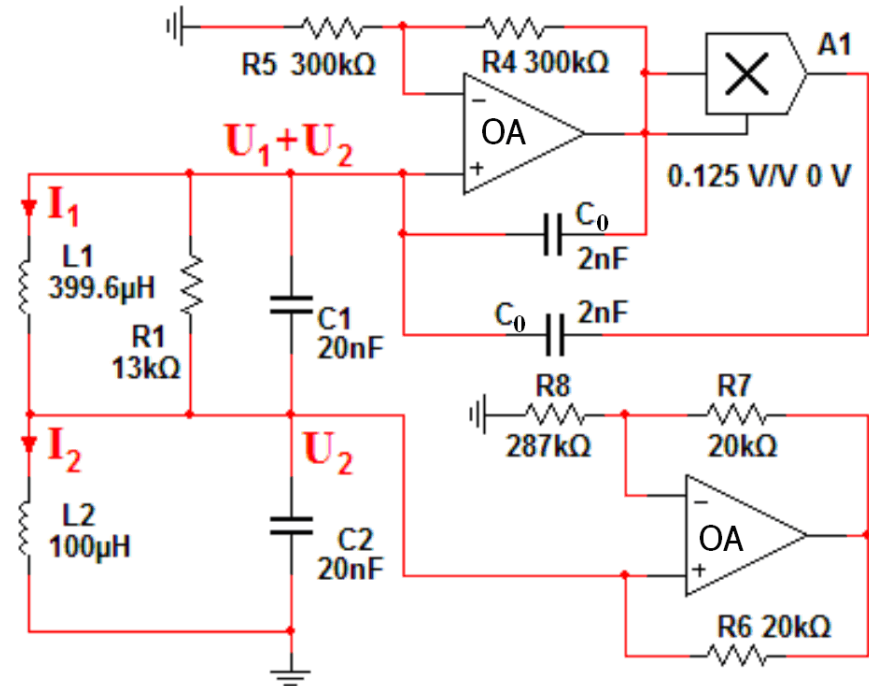
Rozental R.M., Isaeva O.B., Ginzburg N.S., Zotova I.V., Sergeev A.S., Rozhnev A.G.. Characteristics of Chaotic Regimes in a Space-distributed Gyroklystron Model with Delayed Feedback. Russian Journal of Nonlinear Dynamics, **14**, 2018, no. 2, 155-168.



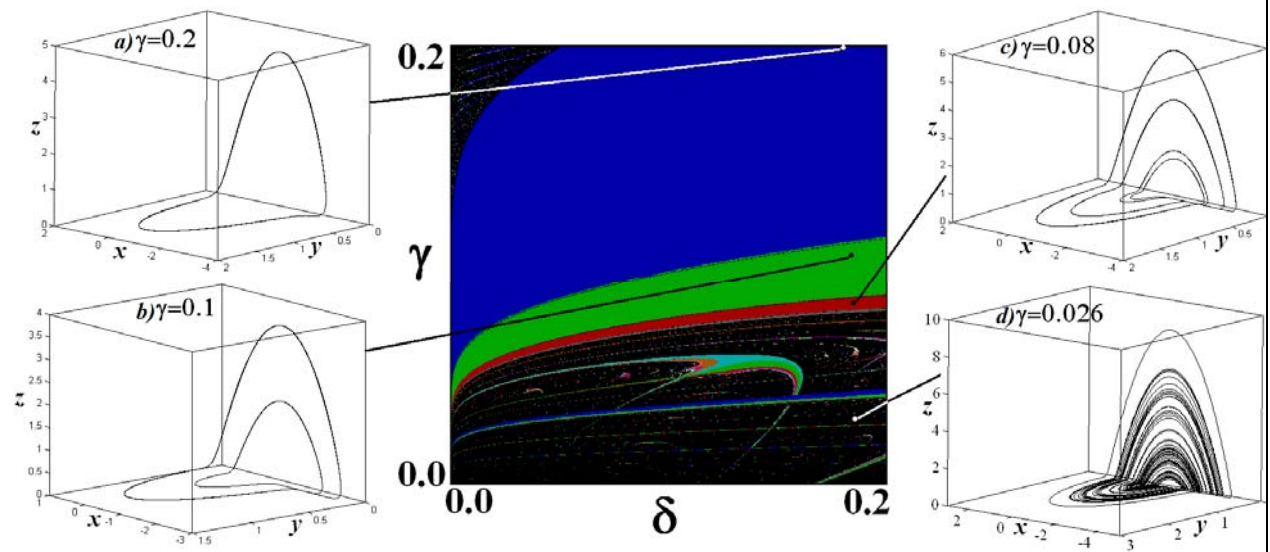
Предложена электронная схема, соответствующая модели волновой турбулентности Вышкинд и Рабиновича, на основе двух колебательных контуров, один из которых включает отрицательную проводимость. Схема позволяет наблюдать в радиотехническом устройстве динамику резонансного триплета при неустойчивости высокочастотной моды и осуществлять аналоговое моделирование сложной динамики при параметрических колебаниях в системах различной природы.

НИР «Феномен» (РНФ 17-12-01008)

Кузнецов С.П., Тюрюкина Л.В. Сложная динамика и хаос в электронном автогенераторе с насыщением, обеспечиваемым параметрическим распадом. Известия вузов. ПНД, 26, 2018, № 1, 33–47.



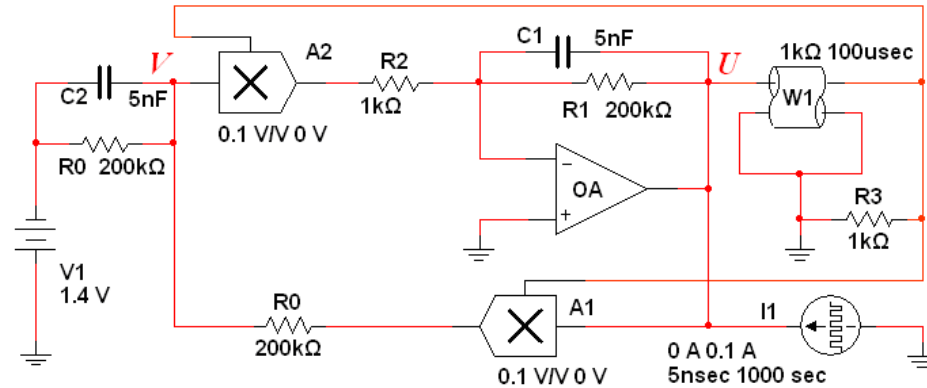
$$\ddot{X}_1 + 2\dot{U}_1 + \Omega_1^2 U_1 = 0, \quad \ddot{X}_2 - 2\gamma\dot{U}_2 + \Omega_2^2 U_2 = 0, \quad X_{1,2} = U_{1,2} + \frac{1}{2}\epsilon U^2$$



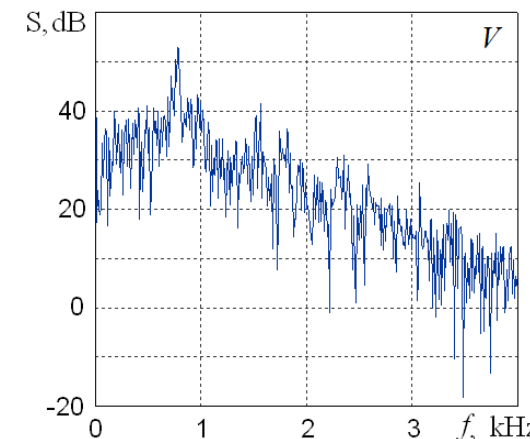
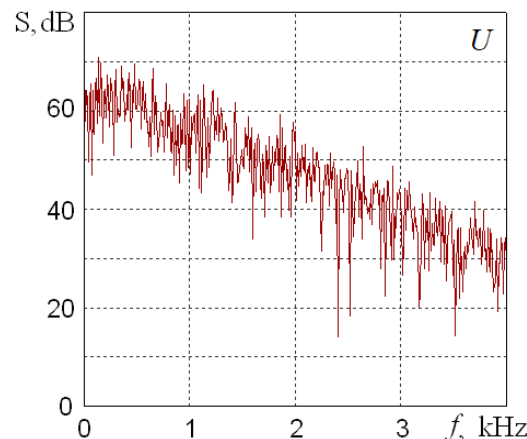
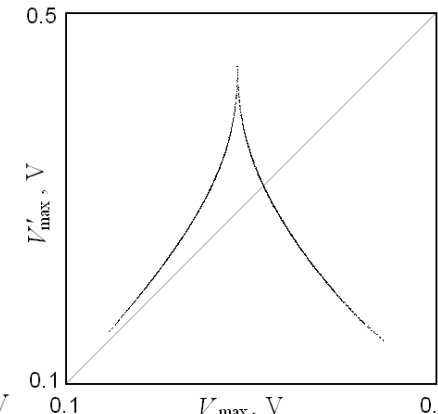
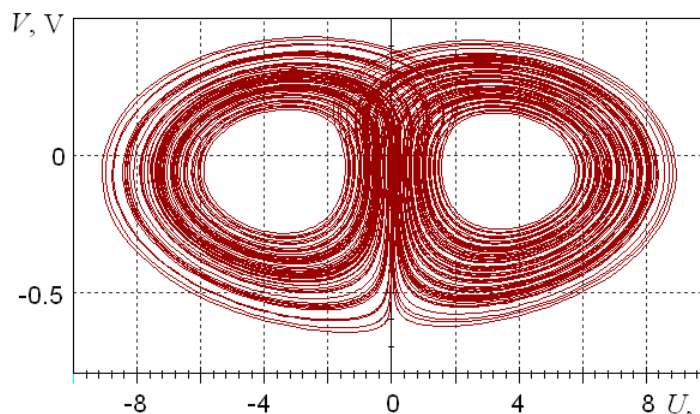
Предложен и исследован пример системы с запаздыванием, имеющей в бесконечномерном фазовом пространстве странный аттрактор типа Лоренца, который реализует псевдогиперболическую динамику Шильникова – Тураева и порождает робастный хаос, не разрушающийся при малых вариациях параметров. Разработана схема электронного генератора, описываемого предложенными уравнениями, и проведено его моделирование в программной среде Multisim.

Совместно с УдГУ, Ижевск (РНФ 15-12-20035) и СГТУ (РФФИ 16-02-00135, НИР «Янус»)

Кузнецов С.П., Купцов П.В. Аттрактор Лоренца в системе с запаздыванием: пример псевдогиперболического хаоса. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. 2018, **18**, вып. 3, 162–176.



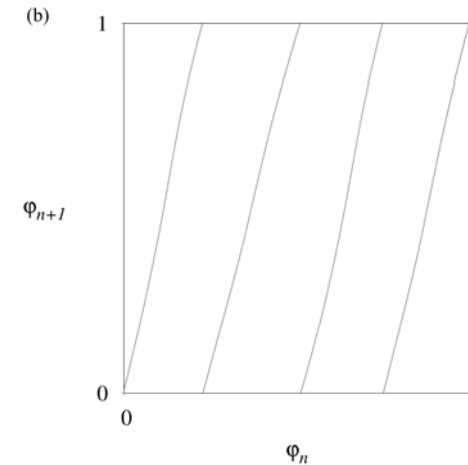
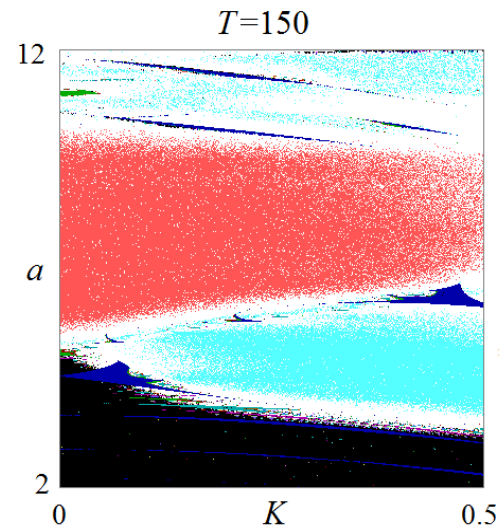
$$\dot{y} = -y(t) + (r - z(t))y(t - \tau), \quad \dot{z} = -bz(t) + y(t)y(t - \tau).$$



Предложен генератор грубого хаоса в виде попеременно возбуждающихся связанных осцилляторов Бонхоффера – Ван дер Поля, принцип действия которого опирается на использование целочисленного соотношения частот малых и развитых релаксационных колебаний. Существование гиперболических аттракторов в виде соленоидов Смейла – Вильямса разного топологического типа в определенных областях параметров подтверждено численными исследованиями. Разработана электронная схема, реализующая предложенный принцип получения гиперболического хаоса.

НИР «Феномен» (РНФ 17-12-01008)

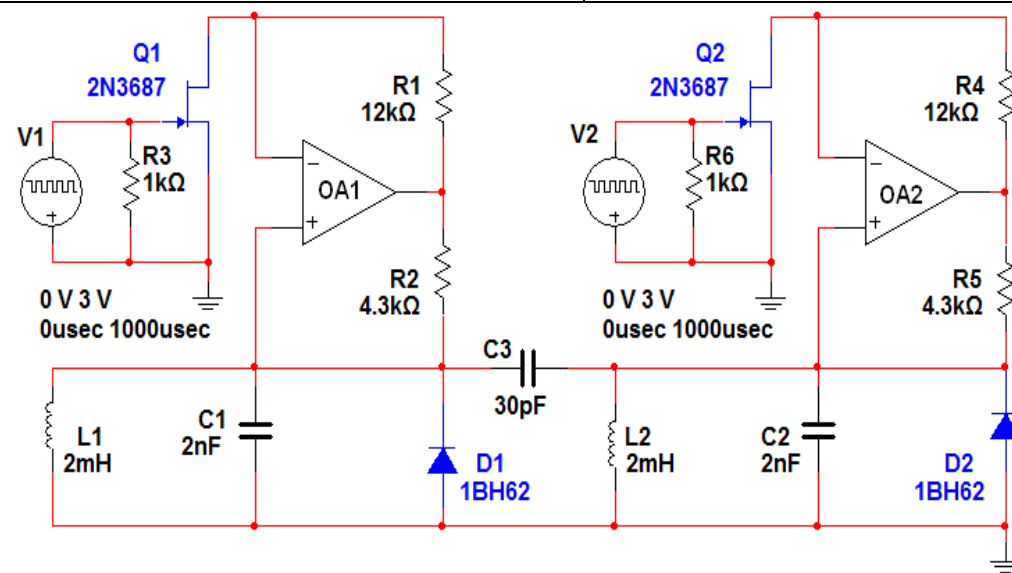
V.M. Doroshenko, V.P. Kruglov, S.P. Kuznetsov. Smale-Williams Solenoids in a System of Coupled Bonhoeffer - van der Pol Oscillators. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2018, **14**, no. 4.



$$\ddot{x} - \left(f\left(\frac{t}{T} + \frac{1}{4}\right) - x^2 \right) \dot{x} + x = K + \varepsilon(y - x),$$

$$\ddot{y} - \left(f\left(\frac{t}{T} - \frac{1}{4}\right) - y^2 \right) \dot{y} + y = K + \varepsilon(x - y).$$

$$f(\tau) = \begin{cases} a, & 0 < \tau \leq \tau_1, \\ \frac{(a-c)\tau + c\tau_1 - a\tau_2}{\tau_1 - \tau_2}, & \tau_1 < \tau \leq \tau_2, \\ \frac{(c-a)\tau + a\tau_2 - c}{\tau_2 - 1}, & \tau_2 < \tau \leq 1. \end{cases}$$



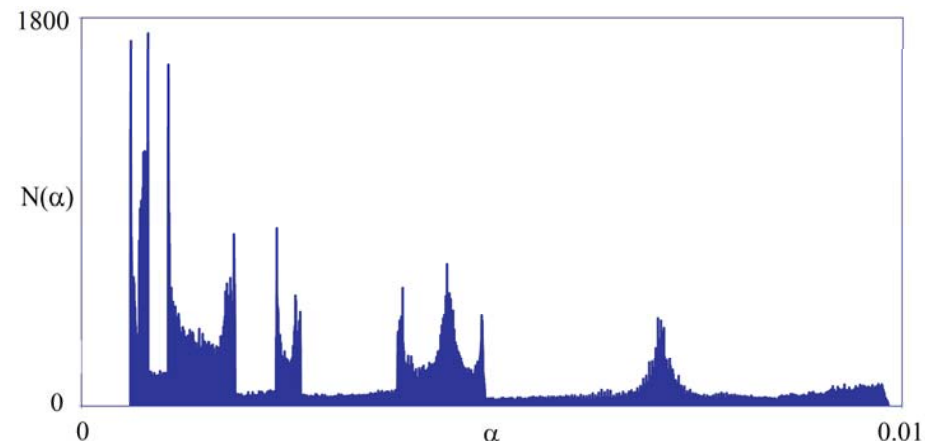
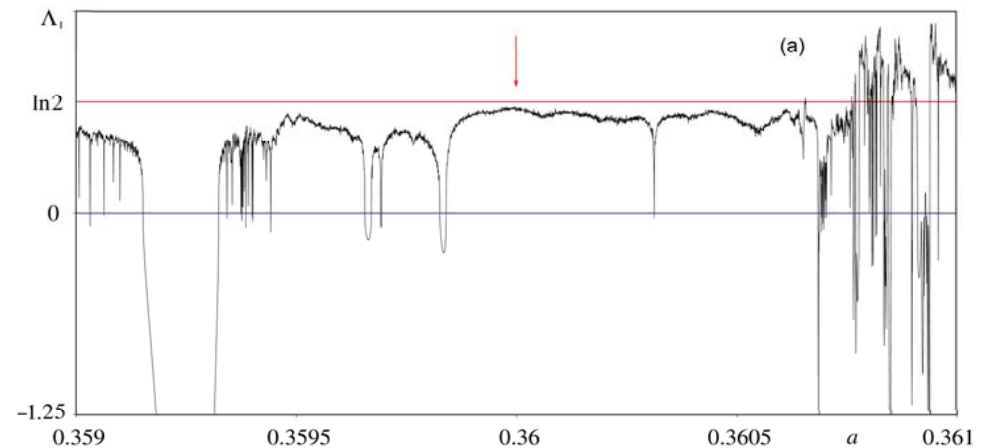
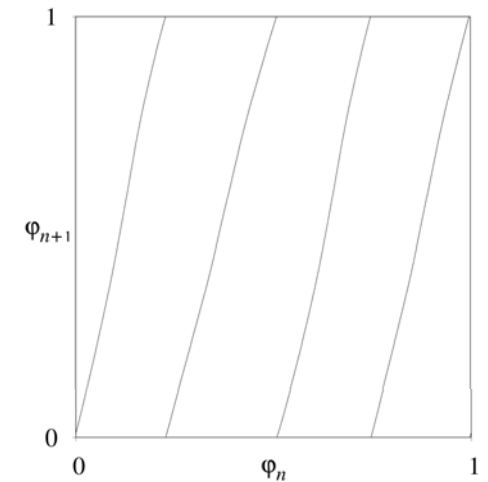
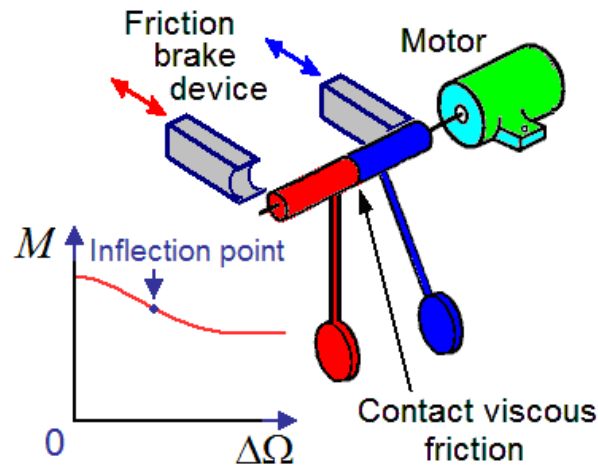
Предложена система, способная продемонстрировать гиперболический хаос, в виде двух связанных маятников Фруда, размещенных на вращающемся валу и попеременно тормозимых периодическим включением силы трения. На основании численного моделирования выявлены области хаотической динамики в пространстве параметров. Гиперболическая природа реализующегося аттрактора в виде соленоида Смейла–Вильямса в отображении Пуанкаре, подтверждена вычислениями.

$$\ddot{x} = [a - d(t) - bx^2]\dot{x} - \sin x + \mu + \varepsilon(\dot{y} - \dot{x}),$$

$$\ddot{y} = [a - d(t + T/2) - by^2]\dot{y} - \sin y + \mu + \varepsilon(\dot{x} - \dot{y}).$$

Совместно с УдГУ, Ижевск (РНФ 15-12-20035).

V.P. Kruglov, S.P. Kuznetsov. Hyperbolic chaos in a system of two Froude pendulums with alternating periodic braking // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2019, 67, 152-161.



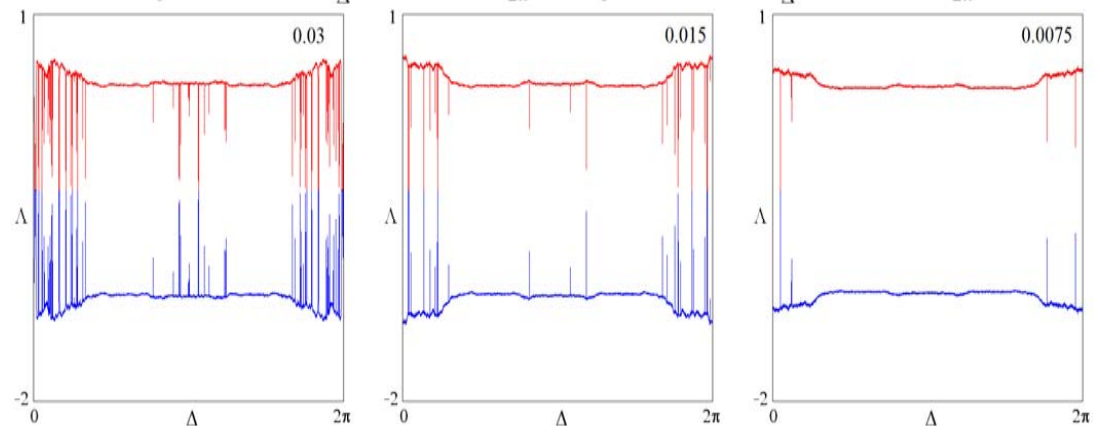
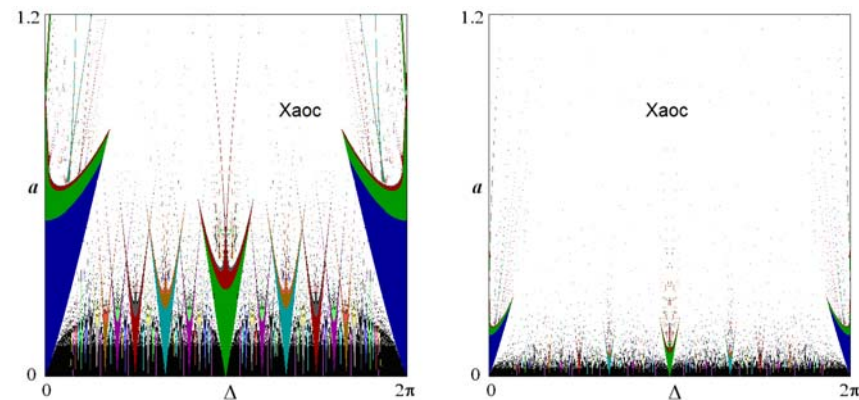
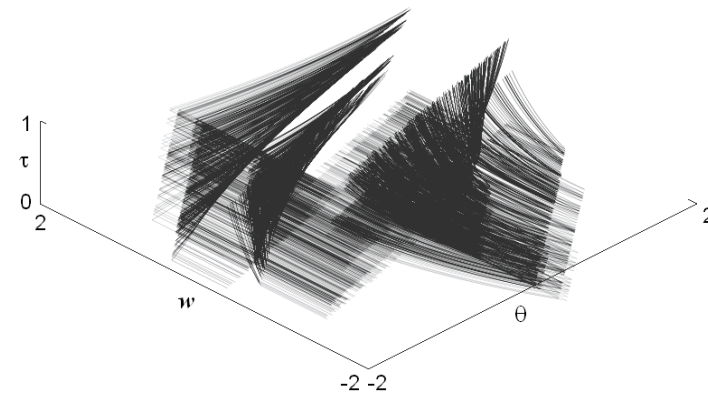
Для диссипативного ротатора с периодическими толчками при пилообразной форме зависимости интенсивности толчков от угловой координаты показана возможность реализации квазигиперболического аттрактора Белых. Сглаживание пилообразной функции ведет к разрушению квазигиперболической природы аттрактора и появлению окон регулярности в виде провалов на графике зависимости показателя Ляпунова от параметра, но в областях, где эти окна неразличимы, устройства с данным типом аттрактора можно использовать как генераторы практически грубого хаоса.

НИР «Феномен» (РНФ 17-12-01008)

Кузнецов С.П. Аттрактор Белых в отображении Заславского и его трансформация при сглаживании. Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика, 26, 2018, № 1, 64–79.

$$\dot{\theta} = \omega, \quad J\dot{\omega} = -\gamma\omega + kg(\theta) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) + M$$

$$x_{n+1} = x_n + y_n + ag(x_n) + \Delta \pmod{2\pi}, \quad y_{n+1} = b[y_n + ag(x_n)]$$



Показана возможность генерации гиперболического хаоса индивидуальным нейроном, попеременно пребывающим в стадиях активности и подавления при наличии запаздывающей обратной связи, где реализуется квадратичное преобразование передаваемого сигнала. Введена в рассмотрение модель с запаздыванием на основе нейрона ФитцХью-Нагумо с модуляцией параметра и подтверждена численными расчетами гиперболическая природа хаоса в широкой области параметров.

НИР «Феномен» (РНФ 17-12-01008)

Kuznetsov S.P., Sedova Yu.V. Hyperbolic Chaos in Systems Based on FitzHugh – Nagumo Model Neurons. *Regular and Chaotic Dynamics*, **23**, 2018, no. 4, pp. 329–341.

$$\dot{x} = cx - \frac{1}{3}x^3 - y$$

$$\dot{y} = (a_0 - a_1 \sin \Omega t)x - (b_0 - b_1 \cos \Omega t)y + \varepsilon \dot{x}^2(t - \tau)$$

