

ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ

СИСТЕМА ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В.В.Клиньшов, В.И.Некоркин

Институт прикладной физики РАН

Проблема функционирования памяти является одной из основных в современной нейродинамике. В настоящее время известно, что хранение сложных информационных образов в так называемой краткосрочной памяти происходит в виде кластеров нейронной активности. Сравнительно недавно была предложена и динамически обоснована функциональная схема работы краткосрочной памяти, основанная на особом свойстве некоторых нейронов коры головного мозга – последеполяризации [1,2]. Принцип работы схемы следующий: на ансамбль нейронов подается гармонический сигнал, под действием которого они совершают подпороговые колебания. Если теперь на некоторые из нейронов подавать краткие «информационные» импульсы, то они перейдут в режим периодического возбуждения и тем самым «запомнят» факт прихода импульсов. Таким образом, в системе может быть сформирован кластер периодической нейронной активности произвольного вида, что соответствует «записи» в ее память соответствующего информационного образа. Для стирания информации достаточно подать на все элементы системы импульсы отрицательной полярности.

Введение ингибиторных обратных связей между элементами нейронной сети позволяет сохранять в ней одновременно не один, а *несколько* информационных образов. Каждому образу соответствует кластер периодической нейронной активности, причем кластеры, соответствующие разным образам, возбуждаются не одновременно, а с некоторой временной задержкой, что позволяет «различать» их. В докладе приводятся результаты исследования влияния обратной связи на режимы функционирования системы краткосрочной памяти. Оценена емкость системы, то есть максимальное число образов, которое она способна сохранять, и найдены оптимальные параметры, соответствующие максимальной емкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 03-02-17135 и 05-02-17441) и фонда некоммерческих программ «Династия».

[1] J.E. Lisman, M.A.P. Idiart //Science. 1995. V.267. P.1512.

[2] Клиньшов В.В., Некоркин В.И. //Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2005. Т.48, №3. С.228.

АНАЛИЗ ОБЛАСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Д.В.Касаткин¹⁾, В.В.Матросов²⁾

¹⁾Институт прикладной физики РАН,

²⁾Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

В последнее время предложен ряд подходов к построению коммуникационных систем использующих динамический хаос. Проведены физические эксперименты, продемонстрировавшие принципиальную возможность реализации таких систем. Привлекательность динамического хаоса с точки зрения его приложения к системам связи определяется самими свойствами хаотических сигналов. К этим свойствам, в частности, относятся: потенциально высокие скорости передачи информации, устойчивость хаотических (широкополосных) сигналов к замираниям при многолучевом распространении и возможность организации конфиденциальной связи. Одной из ключевых проблем этого направления является проблема создания эффективно управляемых источников хаотических колебаний для различных частотных диапазонов. Эта задача может быть решена на основе систем автогенераторов с частотным управлением [1].

Данная работа направлена на исследование хаотической динамики автогенераторов с частотным управлением (ЧАП). Рассмотрена динамика как одиночной системы, так и ансамбля, состоящего из двух каскадно связанных систем ЧАП с обычной и инвертированной характеристиками частотных дискриминаторов (ЧД). Исследование проведено путем анализа движений в фазовых пространствах математических моделей ЧАП с фильтрами третьего порядка в цепях управления:

одиночной ЧАП

$$\mu_1 \ddot{x}_1 + \lambda_1 \dot{x}_1 + \dot{x}_1 + x_1 + \Phi_1(x_1) = \sigma_1, \quad (1)$$

ансамбля из двух ЧАП

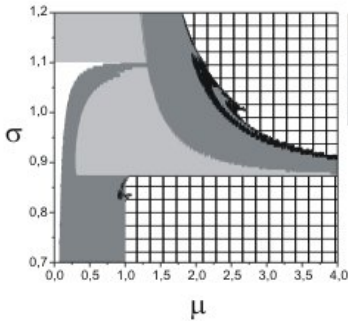
$$\begin{aligned} \mu_1 \ddot{x}_1 + \lambda_1 \dot{x}_1 + \dot{x}_1 + x_1 + \Phi_1(x_1) + \kappa \Phi_2(x_2 - x_1) &= \sigma_1, \\ \mu_2 \ddot{x}_2 + \lambda_2 \dot{x}_2 + v \dot{x}_2 + x_2 + \Phi_2(x_2 - x_1) &= \sigma_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где x_i – текущие частотные рассогласования i -го генератора относительно опорного сигнала, σ_i – текущие начальные частотные расстройки i -го генератора относительно опорного сигнала, μ_i , λ_i , v – безразмерные параметры фильтров, $\Phi_i(x) = 2ax/(1+(ax)^2)$ – характеристика частотного дискриминатора в цепи управления i -го генератора ($i=1,2$), κ – параметр дополнительной связи.

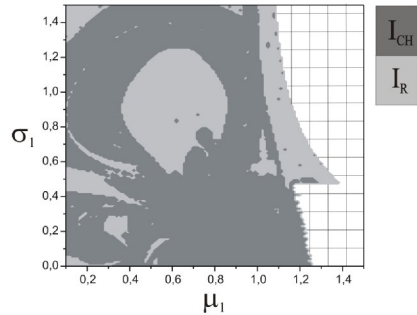
В результате исследования решений моделей (1) и (2) установлено, что связанные ЧАП, также как парциальная ЧАП, демонстрируют большое разнообразие динамических режимов - от простейшего режима стационарной генерации до режима хаотически модулированных колебаний. Изучение пространства параметров основывалось на анализе двухпараметрических карт динамических режимов,

при этом особое внимание уделялось областям генерации хаотически модулированных колебаний (ХМК). Алгоритм построения этих карт базируется на построении и анализе отображения Пуанкаре, а также расчете максимального показателя Ляпунова.

На рис. 1а представлена карта динамических режимов парциальной системы ЧАП с обычной характеристикой ЧД. На ней выделены области существования режимов I_{S1} и I_{S2} стационарной генерации, автомодуляционных режимов с регулярной (I_{RM}) и хаотической (I_{CM}) модуляцией, а также область параметров, где система неустойчива. Из рис. 1а видно, что структура пространства параметров одиночной ЧАП крайне неоднородна, области существования ХМК малы. Совокупная площадь этих областей составляет 1,3% от анализируемой области параметров, а показатель хаотической эффективности $I=0,84$. Размеры областей генерации ХМК одиночной ЧАП можно увеличить до 6% благодаря использованию в цепи управления ЧД с инвертированной характеристикой, но при этом уменьшается показатель $I=0,46$.



а



б

Рис. 1

Анализ карт динамических режимов ансамбля из двух ЧАП показал, что переход к ансамблю позволяет расширить области существования ХМК на выходе обоих генераторов ансамбля, повысить показатель хаотической эффективности этих областей, а варьируя параметры фильтров и начальной частотной расстройки получить хаотически модулированные колебания, средняя частота которых стабилизирована опорным сигналом. Например, при объединении ЧАП с инвертированными нелинейностями ЧД (рис. 1б) область генерации ХМК занимает 20,6%, а $I=0,76$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-02-17409), программы "Университеты России" (проект УР.03.01.179).

- [1] Пономаренко В.П., Матросов В.В. Моделирование динамических процессов автогенераторных систем с частотным управлением. Учебное пособие. –Н. Новгород: ННГУ, 1997.

О ПРОБЛЕМЕ «НАИХУДШЕЙ» ПОМЕХИ В СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.К.Крюков, А.В.Половинкин

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

В данной работе исследуется совместное влияние шума и помех на сквид, представляющий собой сверхпроводящий виток с джозефсоновским переходом. Проводится исследование, при какой форме внешней помехи система становится наиболее чувствительной к шумам. С помощью численных методов исследуется вероятность переключения данной бистабильной системы в присутствии шумов в зависимости от формы воздействия подаваемого на систему.

Существующие на сегодняшний день оценки, сделанные для устройств в присутствии только шумов (без внешних помех), показывают, что при небольших флуктуациях вероятность переключения системы очень мала. Нежелательное взаимодействие элементов без шумов также практически не ухудшает работу системы. Суммарное же воздействие помехи и флуктуации может приводить к значительному падению надёжности системы. Поэтому важен вопрос, от каких именно помех необходимо обеспечить максимальную защиту при конструировании схем.

Формально наша задача состояла в следующем: найти форму сигнала с фиксированным значением интеграла полной энергии, при которой в течение времени t вероятность ошибки переключения максимальна (т.е., наихудшая помеха).

Стохастическую динамику ячейки мы описывали системой уравнений Ланжевена:

$$\dot{q}_i = f_i(\vec{q}) + \xi_i(t), \quad \langle \xi_i(t) \xi_j(t) \rangle = D Q_{ij} \delta(\tau). \quad (1)$$

Согласно [1], в случае малой интенсивности шума D для определения формы оптимального воздействия (т.е. дающего максимум вероятности переключения) необходимо решить систему гамильтоновых уравнений с гамильтонианом H :

$$H = \sum_{i,j=1}^n \frac{Q_{ij}}{2} p_i p_j + \sum_{k=1}^n f_k(\vec{q}) p_k. \quad (2)$$

При этом оптимальный сигнал, действующий на k -ю переменную, будет пропорционален соответствующему импульсу p_k .

Мы получили форму импульса и использовали его при дальнейшем численном моделировании системы уравнений Ланжевена. При этом мы меняли форму импульса, сжимая его и увеличивая амплитуду или же растягивая и уменьшая амплитуду (так чтобы величина интеграла полной энергии была неизменна), и определяли, при каком коэффициенте сжатия вероятность переключения максимальна.

В результате нами получено, что данный метод позволяет получить сигнал $u(t)$, длительность которого близка к наихудшей, но для более точного определе-

ния сигнала, дающего максимум вероятности переключения бистабильной ячейки, необходима модификация нулевого приближения асимптотического метода. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 03-02-17543.

- [1] V.N. Smelyansky, M.I. Dykman //Phys. Rev. E. 1997. V.55. P.2516.
 [2] P. Bunyk, K. Likharev, D. Zinoviev //Int. J. High Speed Electron. Syst. 2001. V.11. P.257.

ДИНАМИКА ДВУХПороГОВОЙ МОДЕЛИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО НЕЙРОНА

Ю.В.Ушаков

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

Среди большого разнообразия типов нервных клеток – нейронов, существующих в природе, можно выделить такие, для которых характерна колебательная активность ниже порога возбуждения. Отличительной чертой некоторых из таких нейронов является так же наличие не одного, а двух порогов генерации импульсов действия при внешней стимуляции. Таким поведением обладают, например, нейроны нижних олив человека, играющие ключевую роль в системе координации движений.

В данной работе приводятся результаты исследования системы, моделирующей динамику колебательных нейронов с двумя порогами возбуждения.

Модель

Рассматривается система следующего вида:

$$(1) \quad \begin{cases} \varepsilon \dot{u} = f(u) - x, \\ \dot{x} = y + \mu \gamma x + \varepsilon_1 u, \\ \dot{y} = -\mu x^2 y - \omega^2 x, \end{cases}$$

где переменная u характеризует мембранный потенциал; x и y моделируют ионные токи через мембрану; параметр γ описывает величину внешнего стимула; ω характеризует частоту подпороговых колебаний; малые параметры, ε_1 и μ задают собственные временные масштабы системы; $f(u)$ – кусочно-линейная функция с пятью участками монотонности (рис. 1).

С одной стороны, система (1) является модификацией широко известной модели Фитц-Хью-Нагумо, а с другой стороны – некоторой редукцией моделей [1, 2], описывающих динамику нейронов нижних олив.

Динамика модели

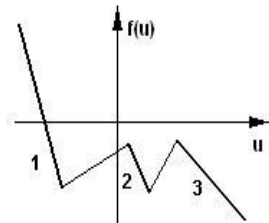


Рис. 1

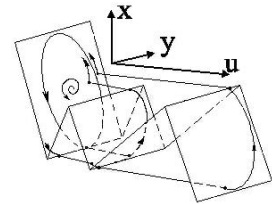


Рис. 2

Наличие малого параметра ε позволяет применить для исследования системы (1) метод релаксационных колебаний. При таком подходе анализ поведения системы с трёхмерным фазовым пространством можно свести (см. рис. 2) к изучению одномерного точечного отображения Пуанкаре, которое для данной модели является разрывным. На рис. 3 представлен его характерный вид.

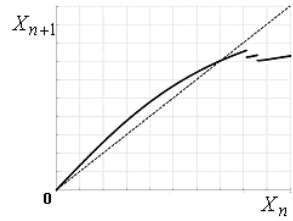


Рис. 3

Исследование точечного отображения позволило выделить основные динамические режимы системы, которые варьируются от разнообразных периодических (рис. 4а, б, в) до хаотических (рис. 4г).

Обнаруженные режимы находятся в хорошем качественном соответствии с режимами живых нейронов [3, 4].

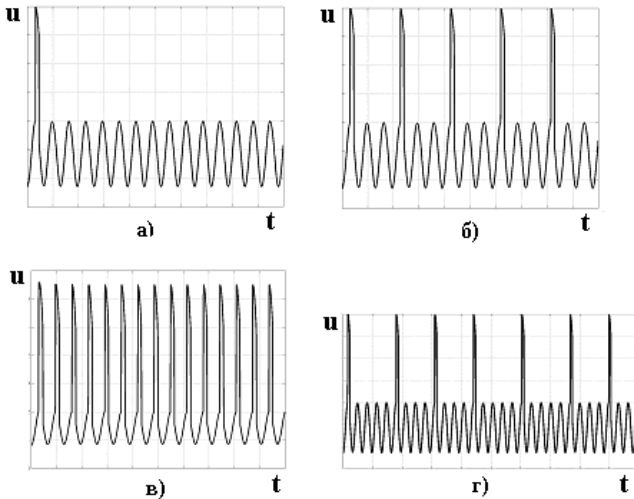


Рис. 4

- [1] Казанцев В.Б., Некоркин В.И., Велардэ М.Г. //Изв. ВУЗов. Радиофизика. 1998. Т.XLI, №12. С.1623.
- [2] V.B. Kazantsev and V.I.Nekorkin //in book: Progress in nonlinear science. Proc. Intern. Conf. dedicated to the 100th Anniversary of A.A. Andronov. V.III. –Nizhny Novgorod: Institute of Applied Physics of RAS, 2002. P.68.
- [3] R. Linas and Y. Yarom //J. of Physiology. 1986. V.376. P.163.
- [4] R. Linas //Science. 1988. V.242. P.1654.

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В.В.Петров

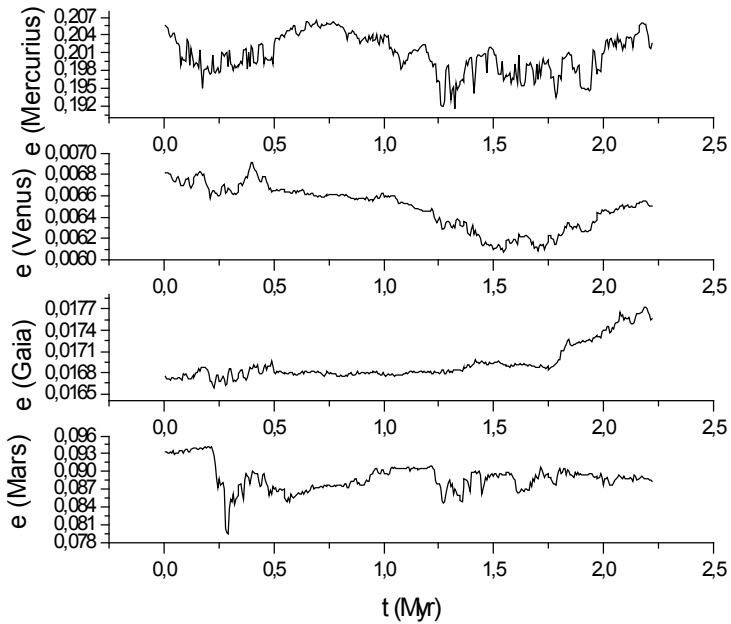
Нижегородский госуниверситет

Одной из фундаментальных задач небесной механики является исследование устойчивости движения планет Солнечной системы. Трудность ее решения обусловлена, прежде всего, долгосрочным характером требуемого прогноза, предполагающего проведение расчетов на временах порядка возраста Солнечной системы (5×10^9 лет). При этом, как аналитические, так и численные методы позволяют успешно решить эту задачу лишь для планет-гигантов. Для внутренних планет ее решение сопровождается таким накоплением погрешности вычислений, которое делает расчеты устойчивости малодостоверными. Такую оценку можно дать и наиболее интересным на сегодняшний момент результатам, полученным в работах Ж. Ласкара (см., например, [1]). Комбинируя аналитический и численный методы путем перехода к усредненным каноническим уравнениям для оскулирующих элементов задачи, Ласкар продлил интервал интегрирования до десятков миллиардов лет. Его расчеты подтвердили устойчивость орбит планет-гигантов, но оставили открытым вопрос об эволюции орбит планет земной группы и, в первую очередь, Меркурия.

Ниже для решения названной задачи использовались уравнения интервальной динамики [2]. Строящийся на их основе вычислительный алгоритм представляет собой абсолютно точную расчетную процедуру, свободную от эффекта накопления ошибки округления. Он позволяет проводить вычисления с неограниченным числом итераций и, тем самым, снимает типичную для классического подхода проблему выхода за “горизонт предсказуемости”. Другое важное преимущество интервального алгоритма, – его сравнительная простота, позволяющая существенно сократить объем вычислений по сравнению с классическими схемами расчетов.

Методом [2] были проведены расчеты эволюции орбит планет Солнечной системы на интервале 2,22 млрд. лет. Для исследования дрейфа орбит вычислялись максимумы значений эксцентриситета и наклона для каждой из внутренних планет на последовательности интервалов продолжительностью 6 млн. лет. Результаты этих расчетов для эксцентриситетов внутренних планет приведены на рисунке.

Из приведенных графиков следует, что дрейф эксцентриситета Меркурия не превышает величины 0,005, а эксцентриситета Марса – 0,018. Дрейф эксцентриситетов Венеры и Земли еще более умеренный и составляет 0,001. Эти значения существенно отличаются от тех, что получены Ласкаром в [1] на аналогичном временном интервале: порядка 0,1 для Меркурия, 0,04 для Марса и 0,02 для Венеры и Земли.



Если исходить из того, что в случае неустойчивости орбиты максимум эксцентриситета должен испытывать заметные колебания нерегулярного характера, то на основании сделанных расчетов можно сделать вывод о практически устойчивом характере движения планет земной группы, включая Меркурий. Такой вывод принципиально расходится с результатами Ласкара, согласно которым Венера, Земля и Марс находятся на границе устойчивости, а движение Меркурия с высокой степенью вероятности следует отнести к разряду неустойчивых со стохастическим характером динамики.

- [1] Laskar J. Large-scale chaos in the Solar System // *Astronomy and Astrophysics*. 1994. **287**. L9-L12.
- [2] Петров В.В. Интервальный алгоритм для планетной задачи. // *Астрономический вестник*. 2004. Т. 38. № 5. С. 462-469.