

Б.Ж. Медетов, А.Ж. Наурзбаева, Н. Албанбай, А.Б. Манапбаева

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ КЛАСТЕРА СВЯЗАННЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе приводятся результаты экспериментального исследования поведения кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем. В результате данных исследований установлено, что в рассматриваемом кластере физически может рождаться двухчастотная бифуркация Хопфа.

Ключевые слова: система, нейрон, кластер, автоколебательная система, двухчастотная бифуркация Хопфа, модель нейрона Фитц Хью – Нагумо

Введение

В работе [1] были рассмотрены теоретические аспекты поведения кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем, где в качестве автоколебательной системы принималась модель нейрона Фитц Хью – Нагумо [2]. Известно, что нейроны бывают двух типов: возбуждающих и тормозящих. И в рассматриваемом случае, когда два разных типов нейрона связаны между собой и образуют кластер, их динамику, согласно модели нейрона Фитц Хью – Нагумо, можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1 - x_1^3/3 - y_1 + \gamma_1 x_2 \\ \frac{dy_1}{dt} &= \varepsilon_1(x_1 + a_1) \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2 - x_2^3/3 - y_2 + \gamma_2 x_1 \\ \frac{dy_2}{dt} &= \varepsilon_2(x_2 + a_2) \end{aligned} \quad (1),$$

где, лишь переменные $x_{1,2}$ – потенциал мембраны и $y_{1,2}$ – концентрация ионов внутри клетки соответствующих нейронов имеют физиологический смысл, а остальные параметры являются некоторыми эмпирическими константами. Параметры $\gamma_{1,2}$ означают силу связи между нейронами, при этом параметр γ_1 имеет положительный знак, а γ_2 отрицательный, тем самым мы задаем, что первый нейрон действует на второй как возбуждающий, а второй на первый как тормозящий. У реальных нейронов параметр $\varepsilon_{1,2}$ обычно имеет малое положительное значение, т.е. $0 < \varepsilon_{1,2} \ll 1$.

В результате теоретических [1] и численных [3] исследований поведения системы вблизи границы потери устойчивости равновесия было установлено, что в рассматриваемом кластере возможно возникновение особого типа бифуркации Хопфа. Особенность данного типа бифуркации заключается в том, что в кластере одновременно рождаются два предельных цикла с частотами, отличающимися друг от друга примерно в 30 раз! Для подтверждения данных результатов требовалось проведение физического эксперимента.

Физический эксперимент

Подобный эксперимент довольно легко можно осуществить с помощью электроники, к тому же, он будет иметь также большое практическое значение, например, при создании искусственного интеллекта в робототехнике. Перед тем как приступить к непосредственной реализации физического эксперимента часто требуется провести компьютерное моделирование с тем, чтобы выбрать наилучший вариант будущей электронной схемы. Для этой цели было использовано программное обеспечение «Multisim», специально разработанное для компьютерного моделирования электронных схем. На рисунке 1 приложения показана модельная схема, собранная в среде «Multisim», которая решает систему дифференциальных уравнений (1). А на рисунке 2 приложения показаны временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа и их соответствующие

фазовые портреты, полученные по данным компьютерного моделирования [4]. По данным фазовым портретам видим, что в зависимости от начальных условий система выходит на два различных предельных цикла, как и предсказывалось в результате теоретических исследований.

После того как были получены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие правильность выводов теории, была собрана электронная схема физической модели для проведения экспериментальных измерений. В данном эксперименте запись данных и их предварительная обработка осуществлялась с помощью программного обеспечения LabVIEW.

Однако экспериментальные измерения показали, что при больших значениях параметра RC , используемого в аналоговом интеграторе, система не выходит на предсказываемые теорией предельные циклы, а на так называемый режим «birsting». Необходимо отметить, что в аналитическом решении системы уравнений (1) изначально отсутствует рождение режима «birsting». На рисунках 3, 4 и 5 приложения 1 показаны временные реализации, полученные из эксперимента при различных значениях параметра RC , которые, как видим, соответствуют режиму «birsting». А на рисунке 6 приведены временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа, полученные из эксперимента при $R=1$ кОм и $C=1$ нФ, которые показывают, что выводы теории в данном случае подтверждаются физическим экспериментом.

Такое «странное» поведение системы в эксперименте объясняется тем, что большое значение RC параметра уменьшает амплитуду сигнала на выходе интегратора. Соответственно, амплитуда шума и полезного сигнала оказываются соизмеримыми, что уменьшает точность вычислений. Действительно, дополнительные численные исследования показали, что режим «birsting» также можно получить

при численном интегрировании уравнений (1), если уменьшать точность вычислений. На рисунке 7 показан результат численного интегрирования при точности 0,001, а на рисунке 8 показан результат численного интегрирования при точности 0,00001.

Заключение

Большие значения параметра RC аналогового интегратора, используемого в эксперименте, способствуют понижению точности измерений значений сигналов. Данный вывод подтверждается результатами численных решений системы уравнений (1), проведенных с различными точностями интегрирования. В итоге видим, что физический эксперимент полностью подтверждает выводы теории, т.е. экспериментально обнаружено рождение двухчастотной бифуркации Хопфа в кластере связанных автоколебательных систем.

Список литературы

- 1 Жанабаев З.Ж., Закс М., Медетов Б.Ж. Генерация сигналов кластером связанных двух автоколебательных систем на границе потери устойчивости равновесия. Теория. // – Журнал ПЭОС.– 2012.– вып.14, том 1.
- 2 Jane Cronin. Mathematical aspects of Hodgkin-Huxley neural theory.// Cambridge University Press.– 1987.
- 3 Наурзбаева А.Ж., Медетов Б.Ж., Ыскак А.Е. Численное исследование двухчастотного режима генерации сигналов кластером автоколебательных систем.// Известия НАН РК, серия физическая, 2013.– 2(288)
- 4 Наурзбаева А.Ж., Медетов Б.Ж., Есерханулы Е.. Схемотехническое моделирование «двухчастотной» бифуркации Хопфа.// Известия НАН РК, серия физическая.– 2013.– 2(288)

Принято в печать 21.04.2013

Приложение 1

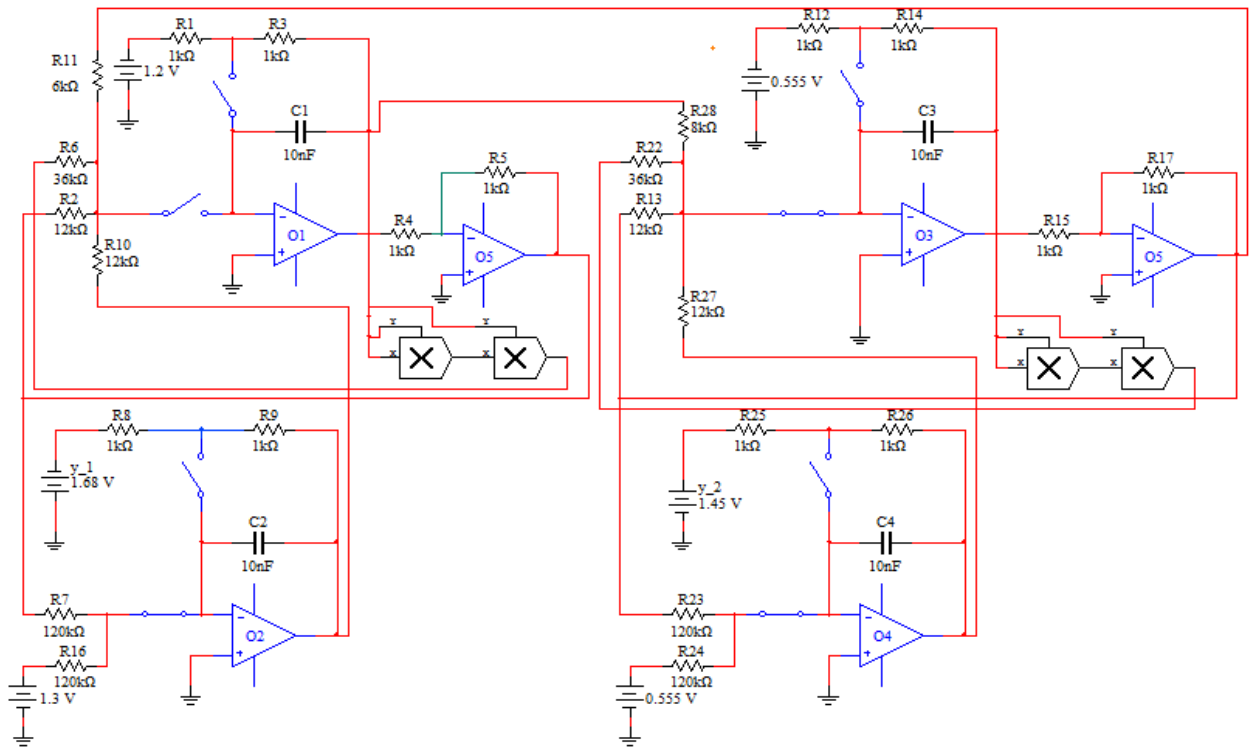


Рисунок 1.– Модель схемы в «Multisim», решающая уравнения динамики кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем.

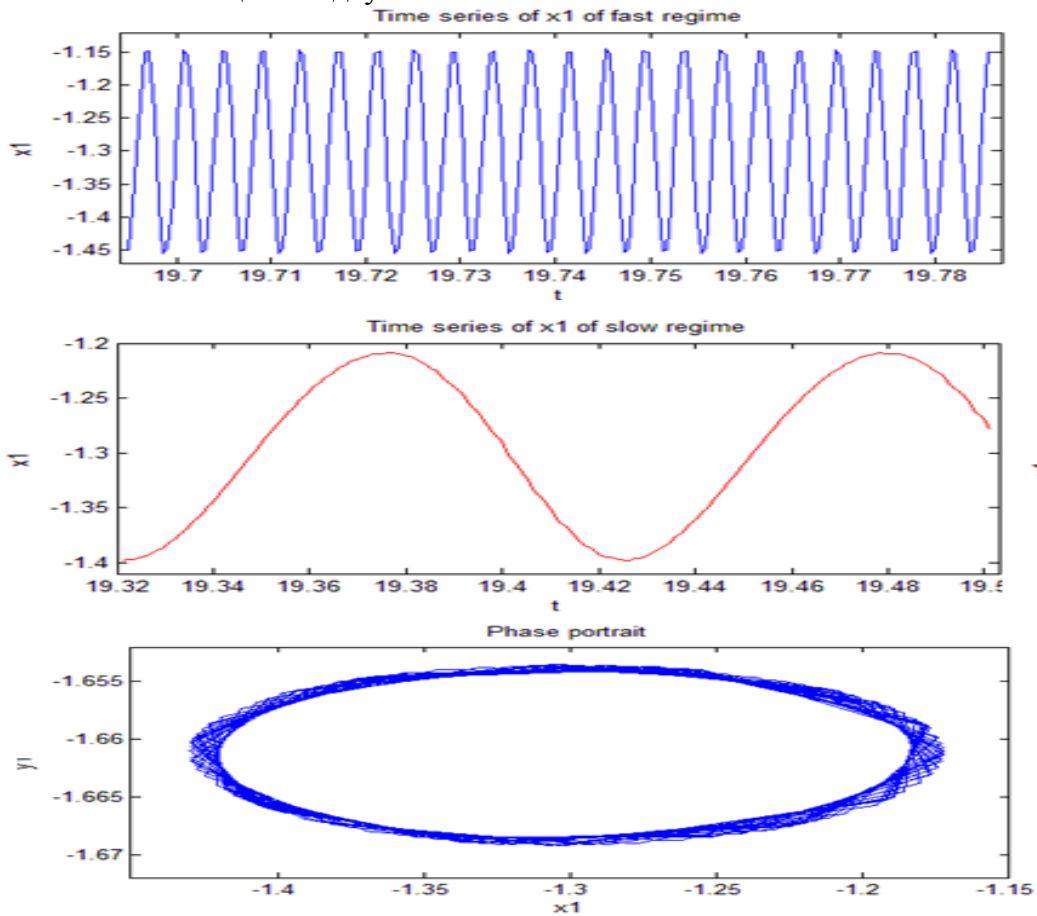


Рисунок 2.– Временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа и их соответствующие фазовые портреты, полученные из компьютерной модели.

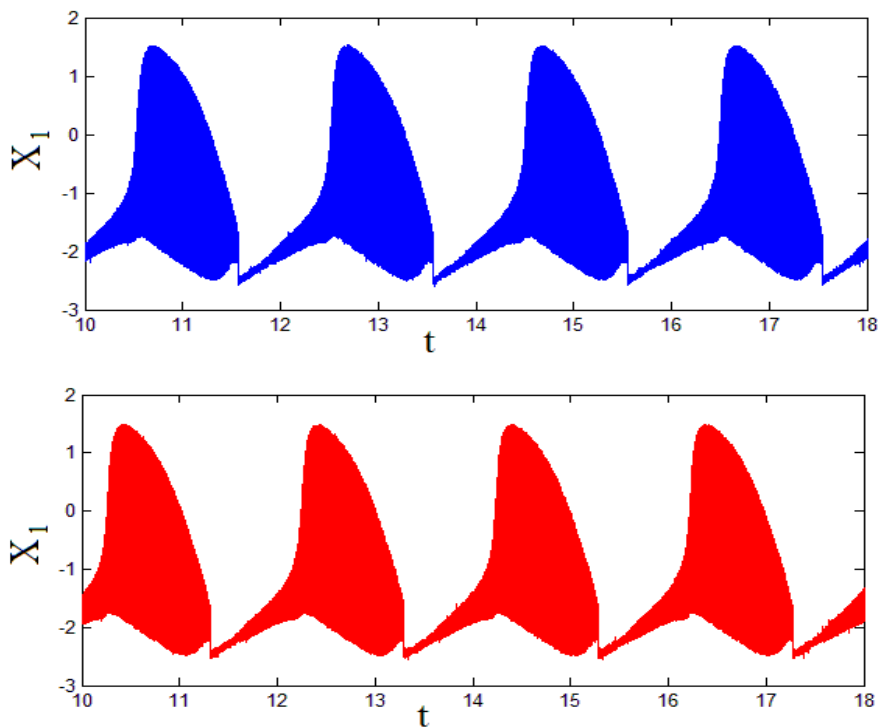


Рисунок 3.– Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при $R=200$ кОм и $C=100$ нФ, полученные из эксперимента.

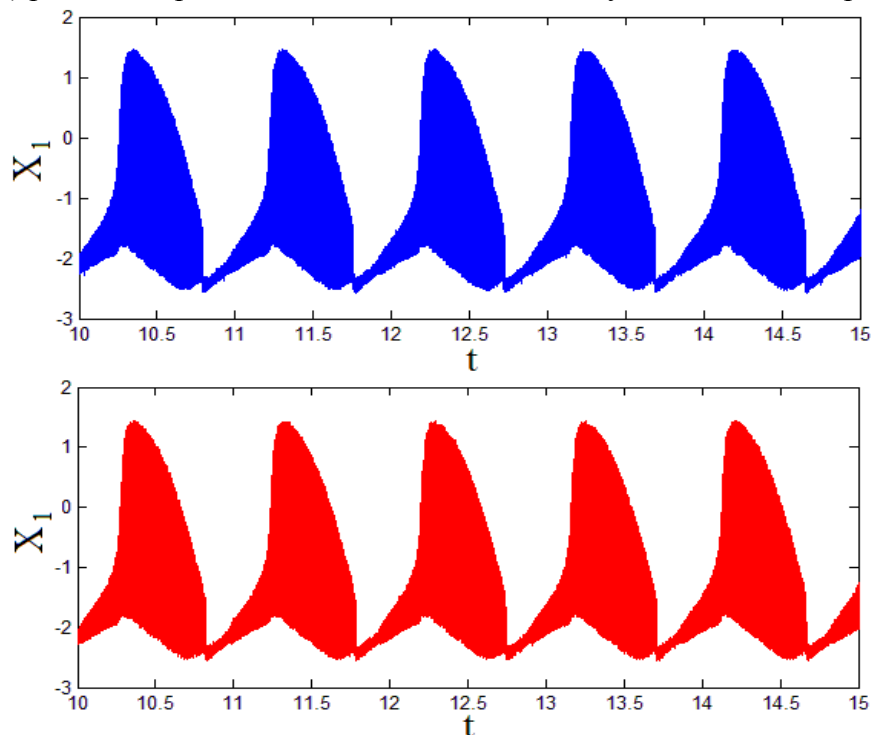


Рисунок 4.– Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при $R=100$ кОм и $C=100$ нФ, полученные из эксперимента.

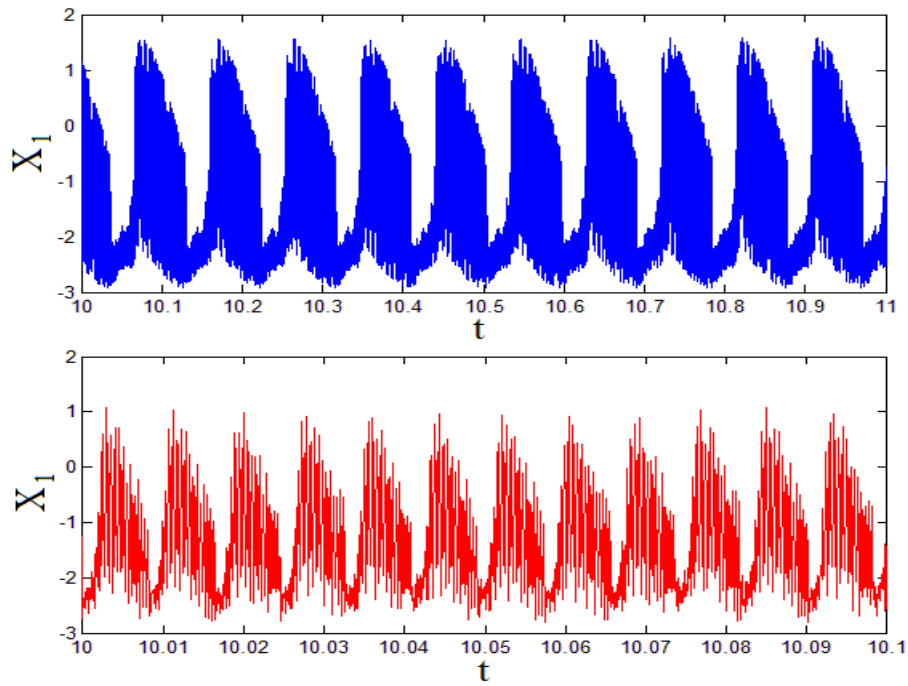


Рисунок 5.– Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при $R=100$ кОм и $C=10$ нФ, полученные из эксперимента.

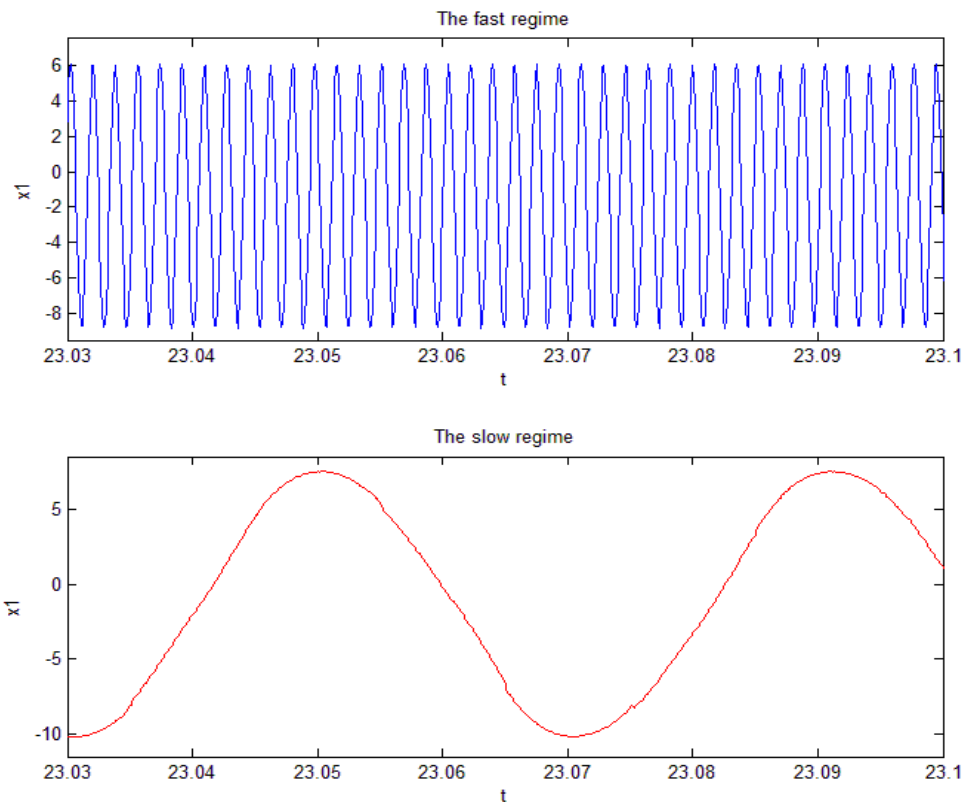


Рисунок 6.– Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при $R=10$ кОм и $C=1$ нФ, полученные из эксперимента.

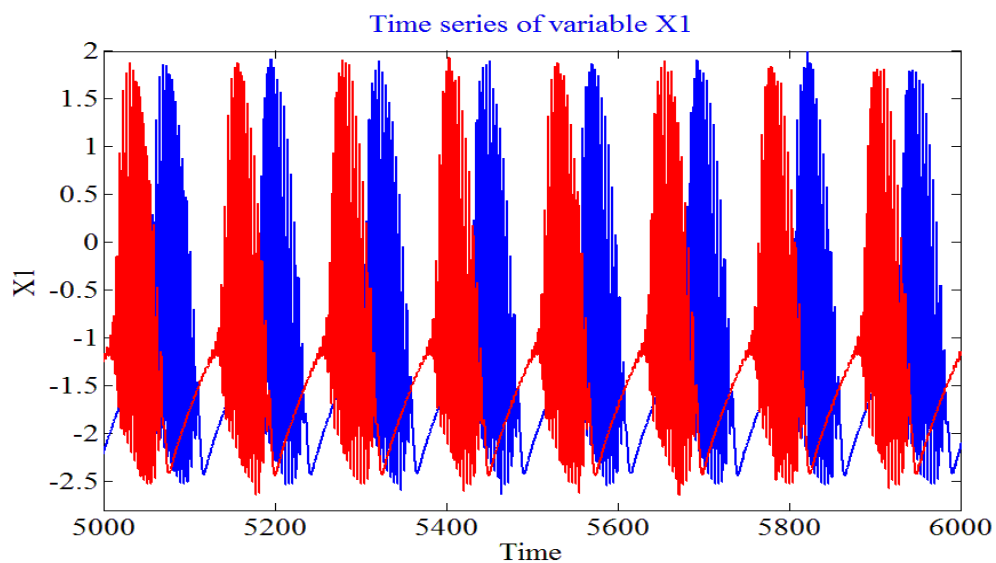


Рисунок 7.— Временные реализации быстрого (синяя кривая) и медленного (красная кривая) режимов при точности численного интегрирования 0,001.

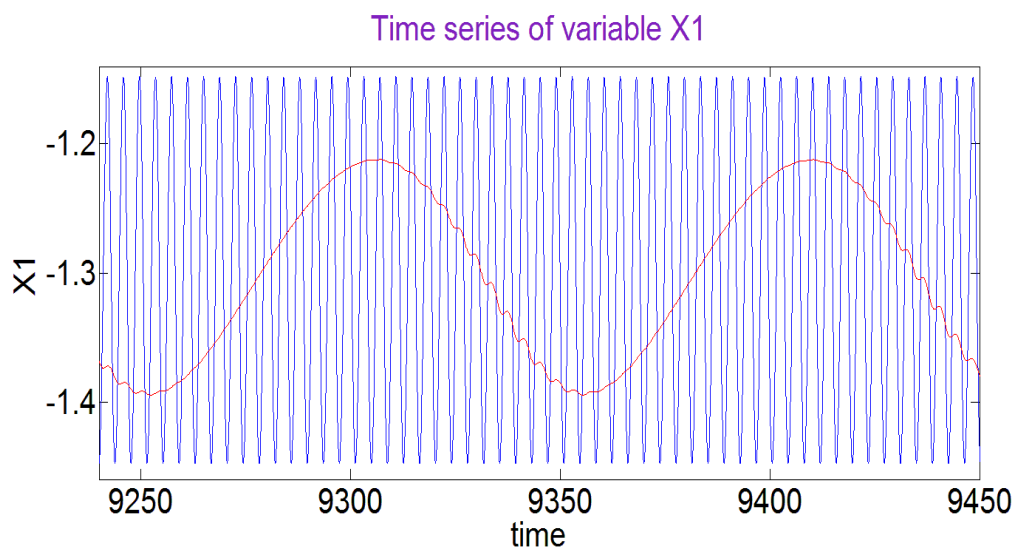


Рисунок 8.— Временные реализации быстрого (синяя кривая) и медленного (красная кривая) режимов при точности численного интегрирования 0,00001.

Б.Ж.Медетов, А.Ж. Наурзбаева, Н. Албанбай, А.Б. Манапбаева
Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ КЛАСТЕРА СВЯЗАННЫХ
АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

В работе приводятся результаты экспериментального исследования поведения кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем. В результате данных исследований установлено, что в рассматриваемом кластере физически может рождаться двухчастотная бифуркация Хопфа.

Б.Ж.Медетов, А.Ж. Наурзбаева, Н. Албанбай, А.Б. Манапбаева
ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

**ӨЗАРА БАЙЛАНЫСҚАН АВТОТЕРБЕЛМЕЛІ ЖҮЙЕЛЕР КЛАСТЕРІНІҢ
СИГНАЛДАРЫН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫҚ ӨЛШЕУ**

Берілген жұмыста өзара байланысқан екі автотербелмелі жүйелерден құралған кластердің динамикасын эксперименталды зерттеу нәтижелері келтірілген. Осы аталған зерттеулер нәтижесінде, қарастырылып отырған кластерде қос жиілікті Хопф бифуркациясының шын мәнінде пайда болатындығы көрсетілді.

B. Medetov, A. Naurzbaeva, N. Albanbai, A. Manapbaeva
Al-Farabi Kazazakh National Universiti, Almaty., Kazakhstan

**EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF SIGNALS OF RELATED OSCILLATING
SYSTEMS CLUSTER**

The paper presents the results of experimental studies of the behavior of the cluster, consisting of two coupled oscillating systems. As a result of these studies found that, in this cluster may be born physically dual-frequency Hopf bifurcation.