СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ В СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРАХ ФИТЦХЬЮ-НАГУМО, КАК МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ХОДЕ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОГО ПРИСТУПА

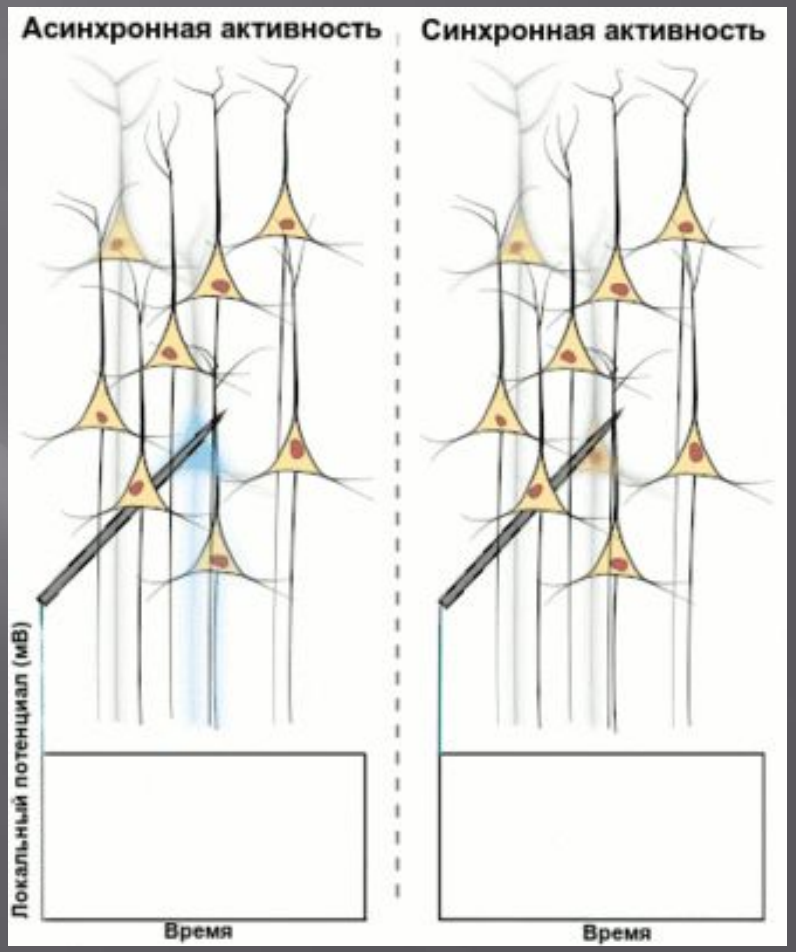
Подготовил: ученик 10-5 класса **Притугин Михаил.**

Научный руководитель: ассистент кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии СГУ им. Н.Г. Чернышевского Астахов О.В.

Эпилепсия

Определение - неоднородная группа заболеваний,характеризуется судорожными повторными приступами различного характера[1]

Причина - синхронизация электрических импульсов нервных клеток головного мозга, именуемых нейронами[2]



[1]. ztema.ru/illness/nevrologiya/epilepsiya
[2]. Juergen Fell & Nikolai Axmacher «The role of phase synchronization in memory processes» *Nature reviews. Neuroscience* **12** (2): 105–118.

Синхронизация

- Под синхронизацией обычно понимают установление некоторых соотношений между характерными временами, частотами или фазами колебаний парциальных систем в результате их взаимодействия.

Осцилятор ФитцХью-Нагумо как модель одиночного нейрона головного мозга

Базовая модель Модель Ходжкина — Хаксли[1]. Нобелевская премия 1963 г. Первой упрощенной моделью Ходжкина-Хаксли можно назвать модель ФитцХью-Нагумо[2].Модель описывается следующими уравнениями:

$$\frac{dU}{dt} = U(a-U)(U-1) - V + I_a,$$

$$\frac{dV}{dt} = bU - \gamma V,$$

,где:

U – это мембранный потенциал нейрона.

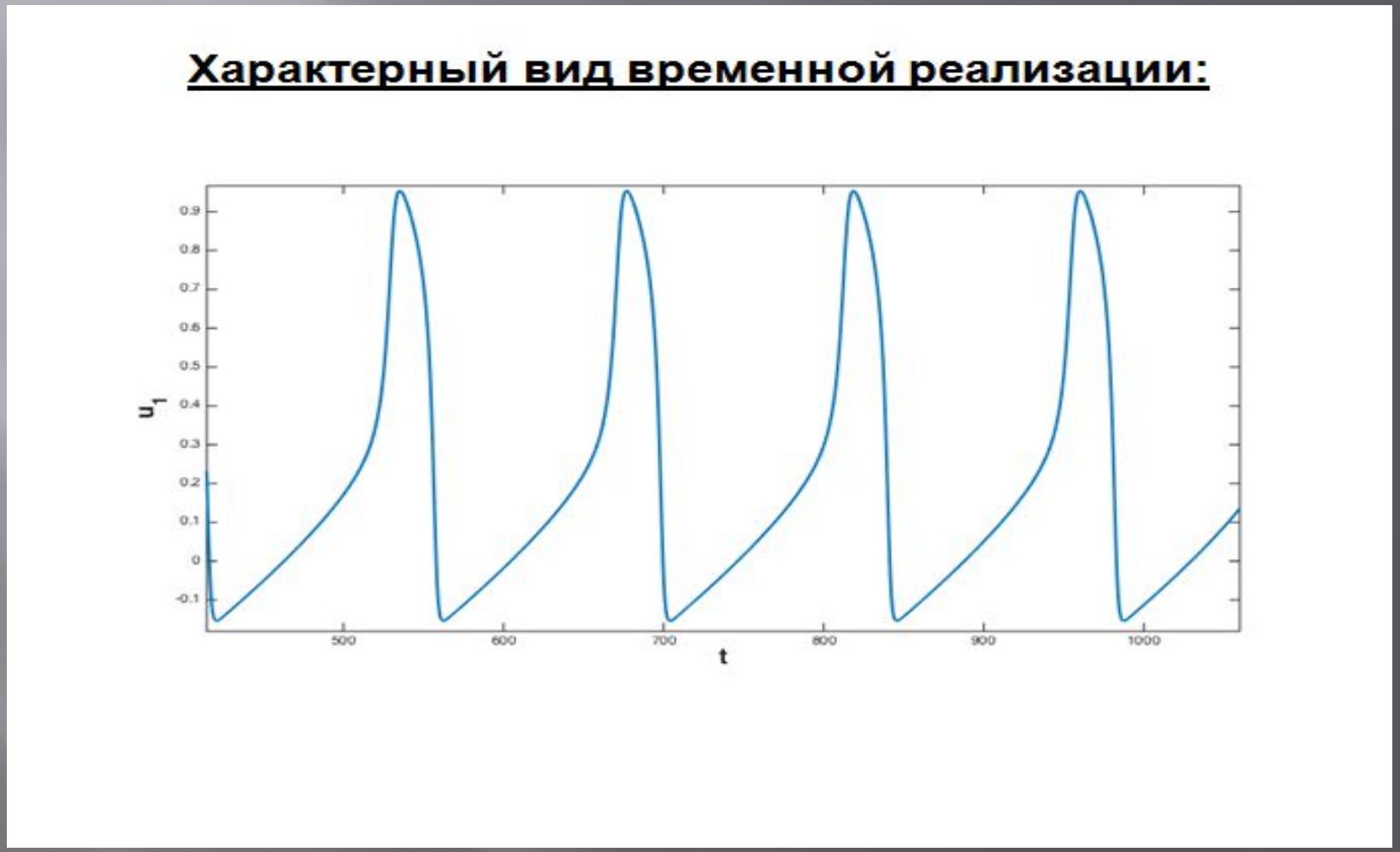
V – скорость отдачи нейрона.

I – поступающий ток.

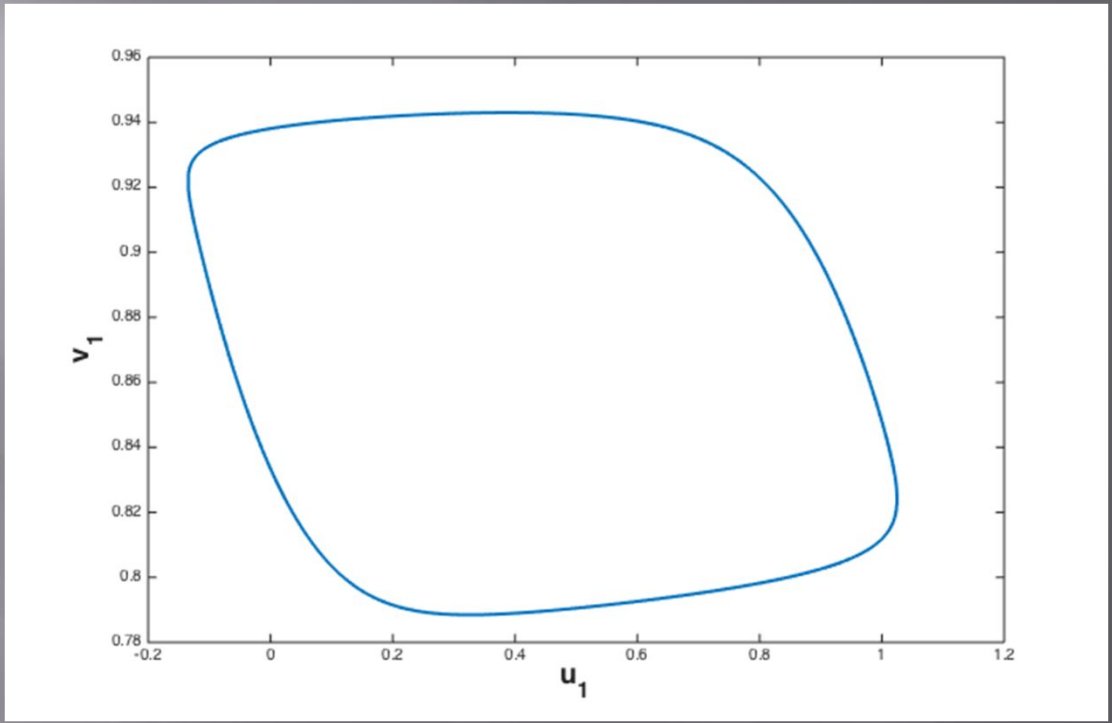
a,b,y – экспериментально подобранные параметры, влияющие на форму импульса -

[1]. Hodgkin, A. L.; Huxley, A. F. (1952). "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve".
[2]. FitzHugh .IMPULSES AND PHYSIOLOGICAL STATES IN THEORETICAL MODELS OF NERVE MEMBRANE

Характерный вид временной реализации:



Характерный вид фазового портрета



ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО - абстрактное пространство, ассоциированное с конкретной динамической системой, точки в котором однозначно характеризуют все возможные состояния данной системы[1].

Фазовый портрет — совокупность фазовых траекторий, характеризующая состояния и движения динамической системы[1].

[1]. В.С.Анищенко “Знакомство с нелинейной динамикой”.

РАССМОТРИМ СИСТЕМУ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Введем расстройку по управляющему параметру I

$$\frac{dU_1}{dt} = U_1(a - U_1)(U_1 - 1) - V_1 + I_1 + kU_2,$$

$$\frac{dV_1}{dt} = bU_1 - \gamma V_1,$$

$$\frac{dU_2}{dt} = U_2(a - U_2)(U_2 - 1) - V_2 + I_2 + kU_1,$$

$$\frac{dV_2}{dt} = bU_2 - \gamma V_2,$$

k - параметр связи

$I_1 = 0.84$

$I_2 = 1.0$

Связь осуществляется через динамическую переменную.

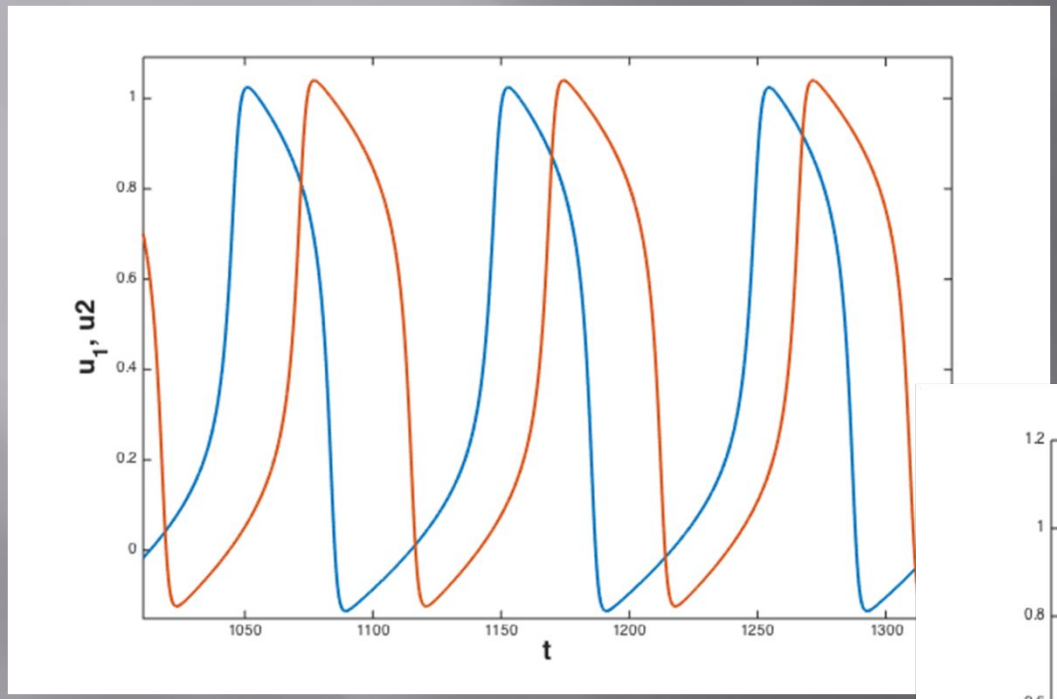
Физиологическая интерпретация:

связь через мембранный потенциал

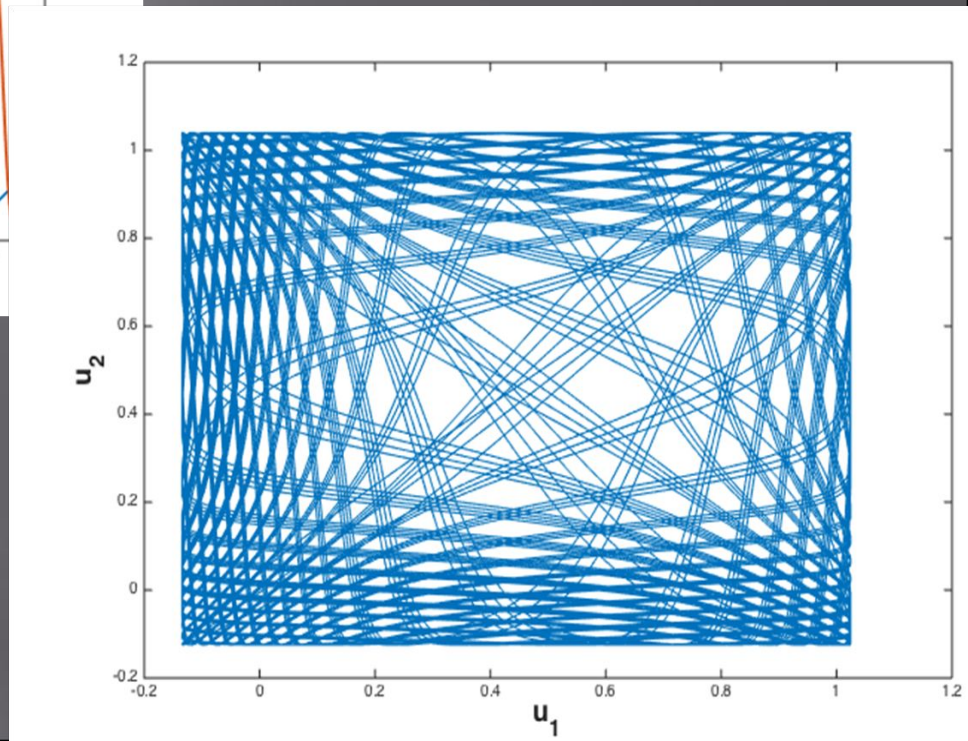
Положим k = 0: связь между осцилляторами разорвана

$$\frac{dU_1}{dt} = U_1(a - U_1)(U_1 - 1) - V_1 + I_1 + kU_2,$$
$$\frac{dV_1}{dt} = bU_1 - \gamma V_1,$$
$$\frac{dU_2}{dt} = U_2(a - U_2)(U_2 - 1) - V_2 + I_2 + kU_1,$$
$$\frac{dV_2}{dt} = bU_2 - \gamma V_2,$$

Совместные временные реализации



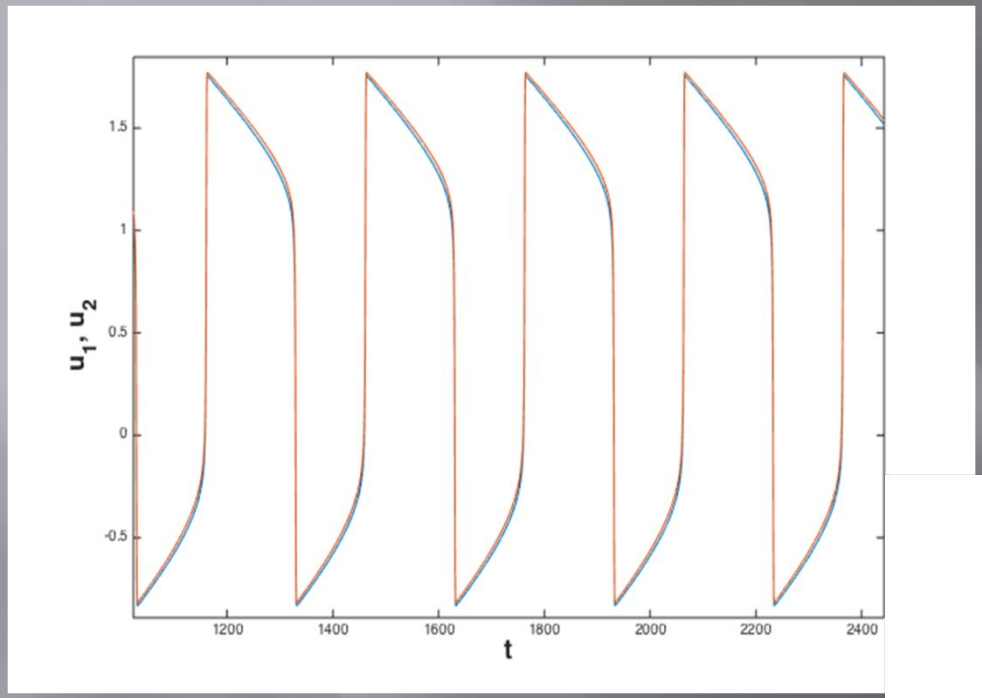
Совместная проекция фазового пространства



Сдвиг фаз колебаний в осцилляторах, обусловлен расстройкой управляющего параметра $I_1 = 0.84$, $I_2 = 1.0$

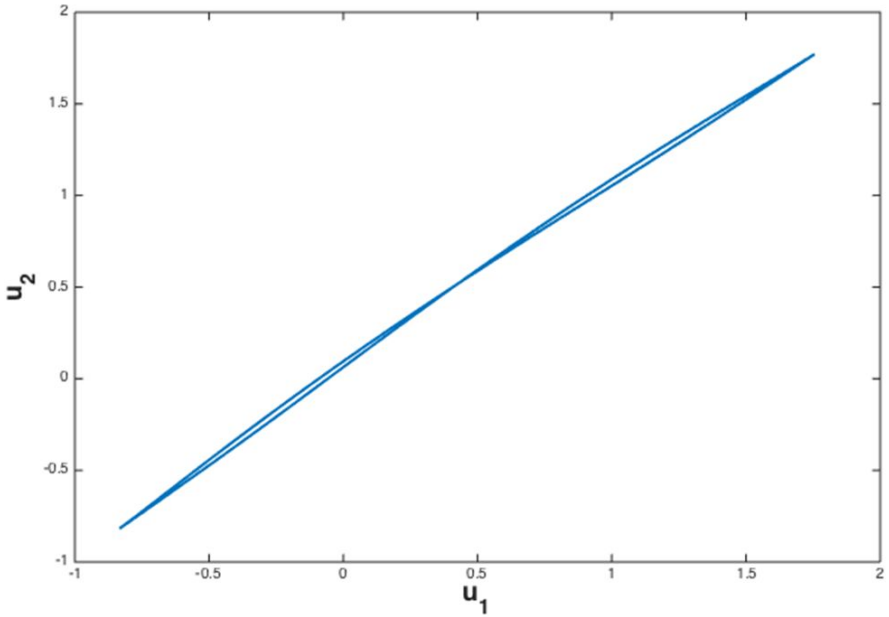
Введем положительную связь k = 0.01

$$\frac{dU_1}{dt} = U_1(a - U_1)(U_1 - 1) - V_1 + I_1 + kU_2,$$
$$\frac{dV_1}{dt} = bU_1 - \gamma V_1,$$
$$\frac{dU_2}{dt} = U_2(a - U_2)(U_2 - 1) - V_2 + I_2 + kU_1,$$
$$\frac{dV_2}{dt} = bU_2 - \gamma V_2,$$

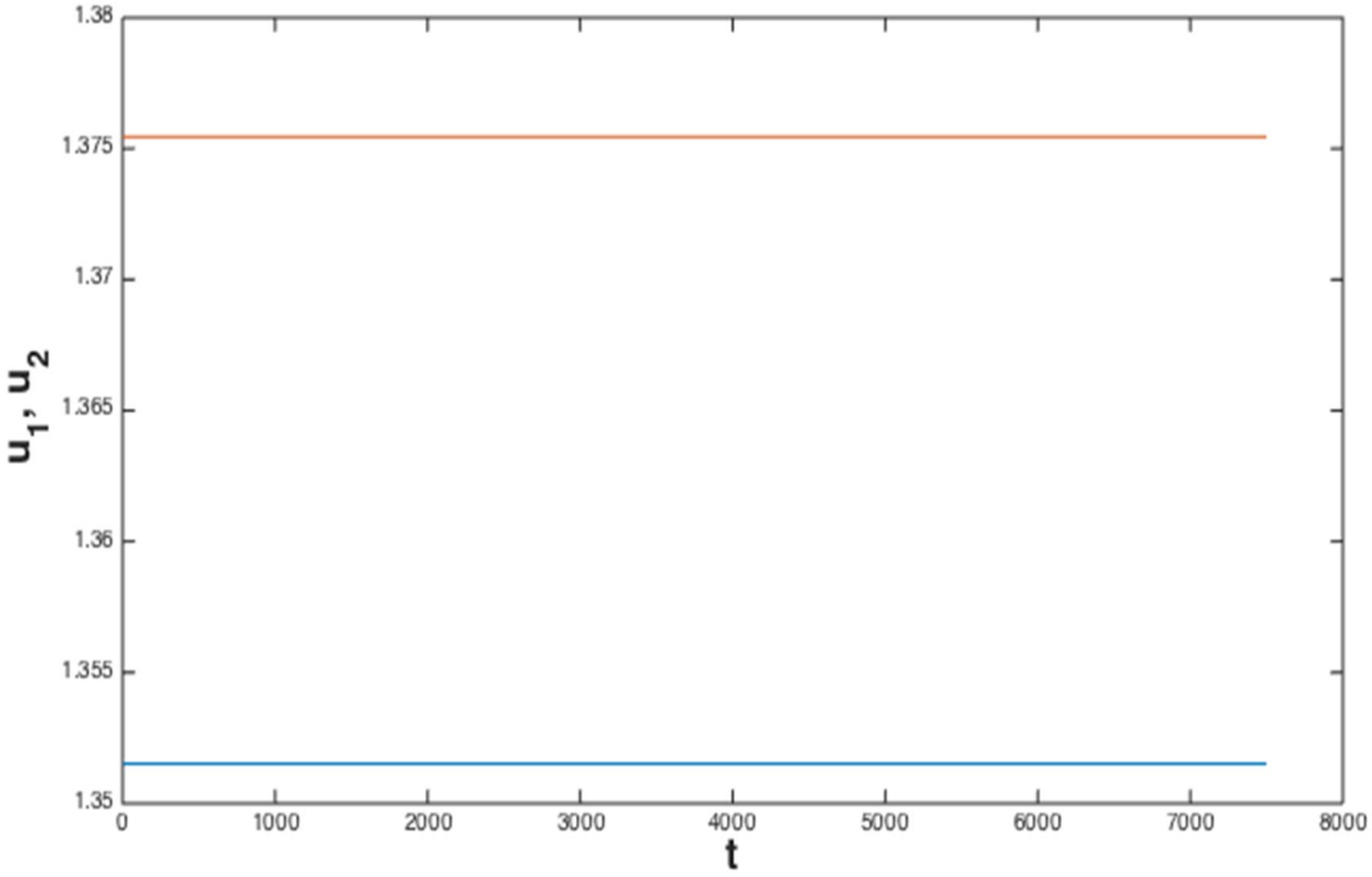


Фазовый портрет имеет типичный вид синфазных колебаний

Колебания в обеих системах синхронизовались



При достижении k = 0.021, наблюдается эффект гашения колебаний!



НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Исследование процессов синхронизации в ансамблях осцилляторов ФитцХью - Нагумо с большим количеством элементов, как модели ансамбля нейронов в ходе эпилептического приступа
- Исследование влияния внешнего воздействия на процесс разрушения эффекта синхронизации
- Подбор наиболее эффективной формы сигнала внешнего воздействия