

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

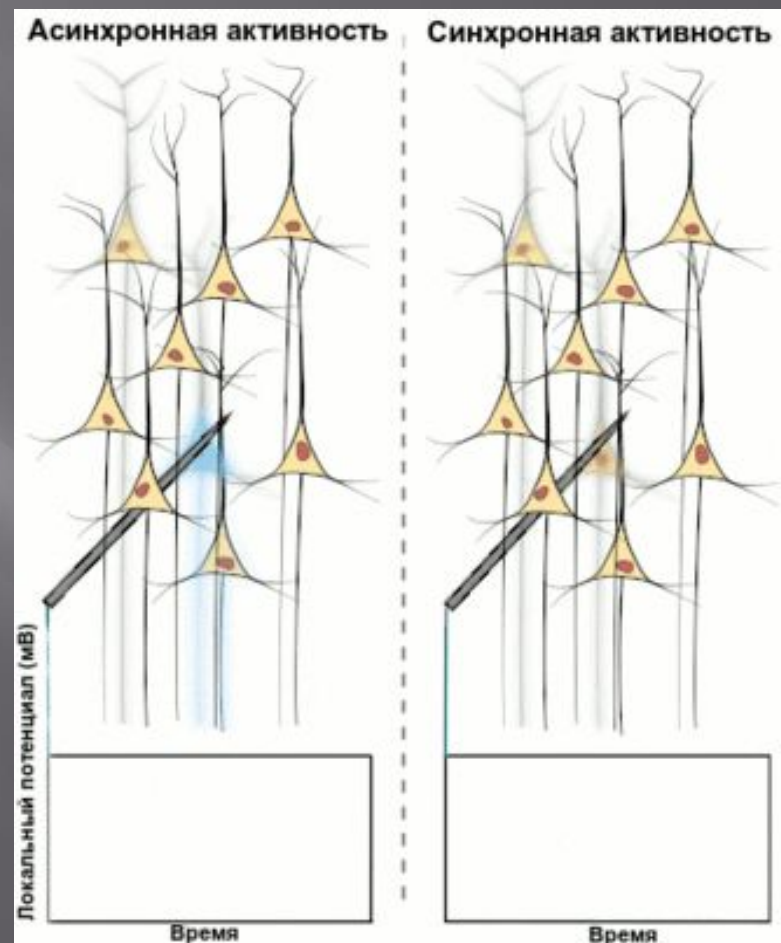
Подготовил: ученик 10-5 класса Притугин Михаил.

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.

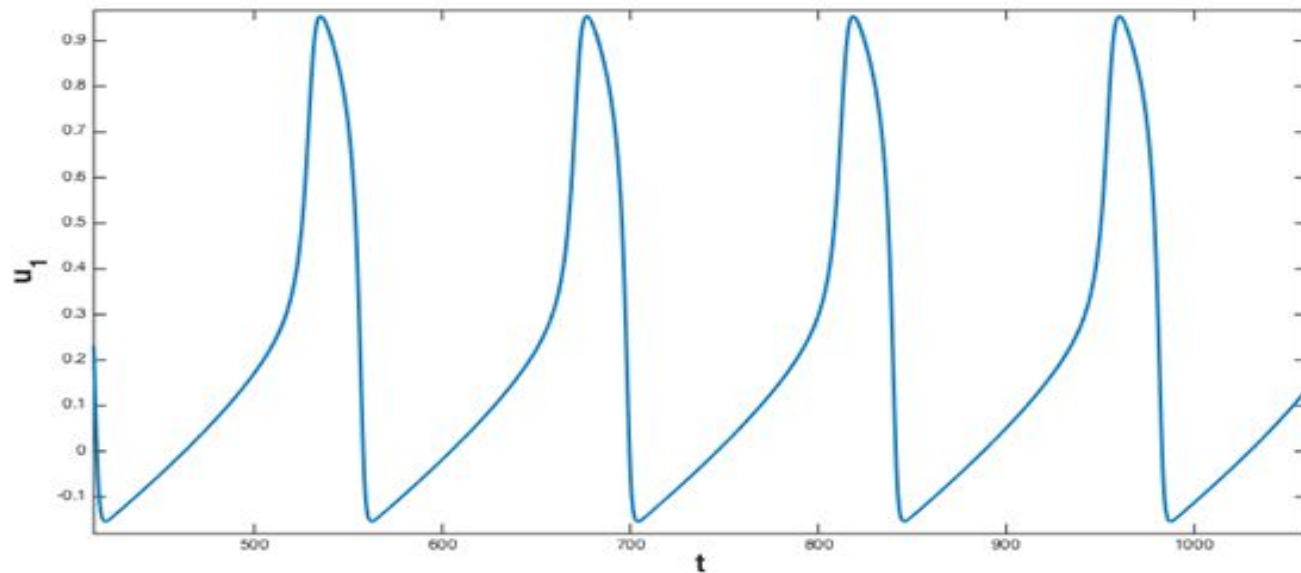
a, b, γ – экспериментально подобранные параметры, влияющие на форму импульса -

[1]. Hodgkin, A. L.; Huxley, A. F. (1952). "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve".

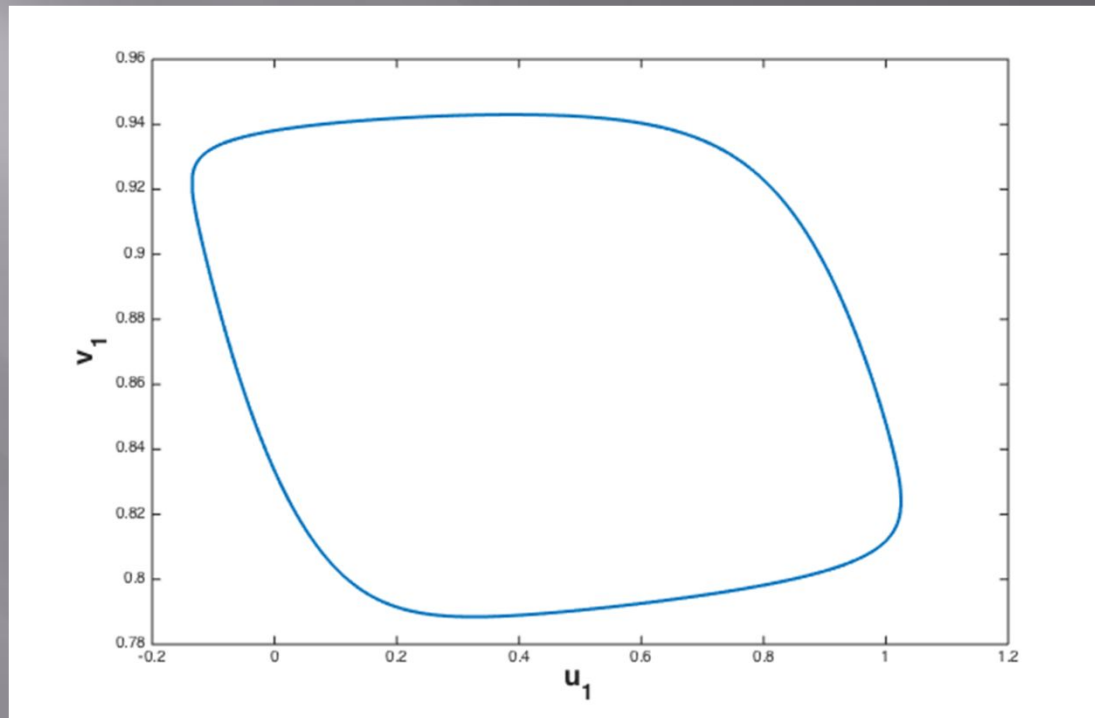
[2]. FitzHugh .IMPULSES AND PHYSIOLOGICAL STATES IN THEORETICAL MODELS OF NERVE MEMBRANE

Характерный вид временной реализации:

Характерный вид 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

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

k - параметр
связи

$$I_1 = 0.84$$

$$I_2 = 1.0$$

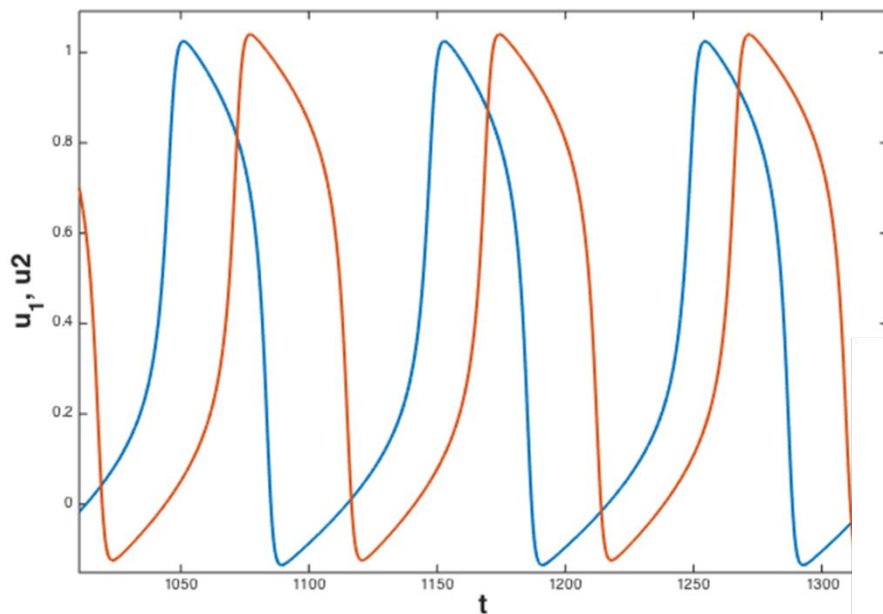
Связь осуществляется через динамическую переменную.

Физиологическая интерпретация:

связь через мембранный потенциал

Положим $k = 0$: связь между осцилляторами разорвана

Совместные временные реализации



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

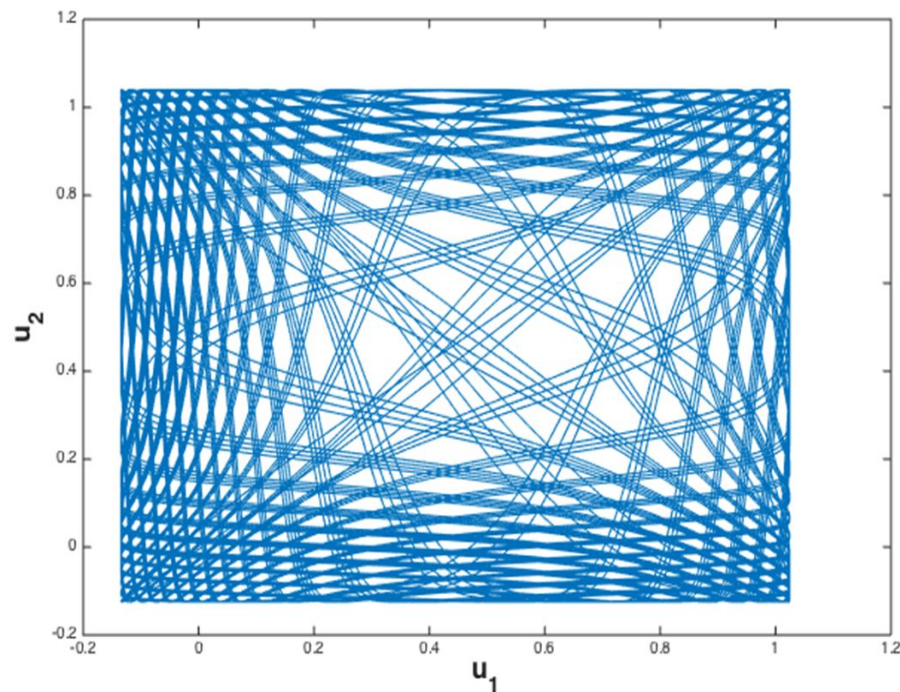
$$\frac{dU_1}{dt} = U_1(a - U_1)(U_1 - 1) - V_1 + I_1 + kU_2,$$

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

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

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

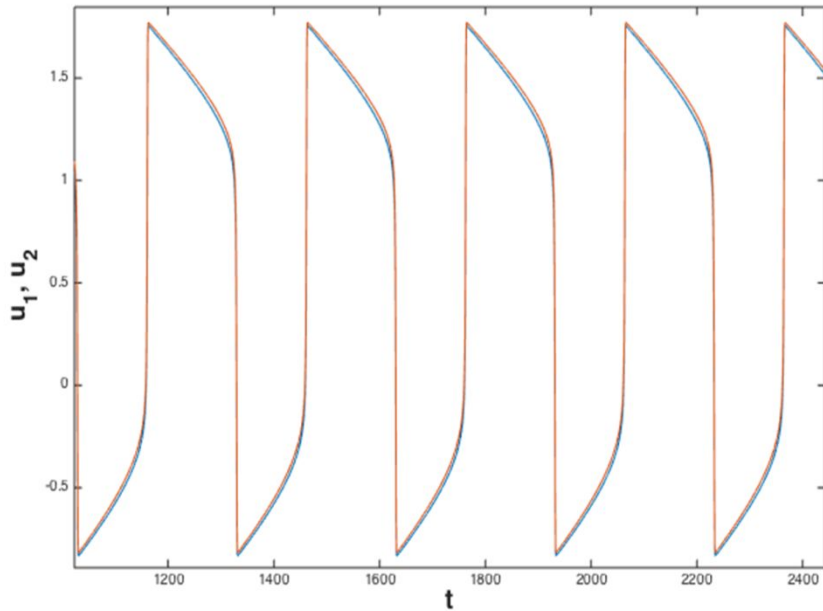
Совместная проекция фазового пространства



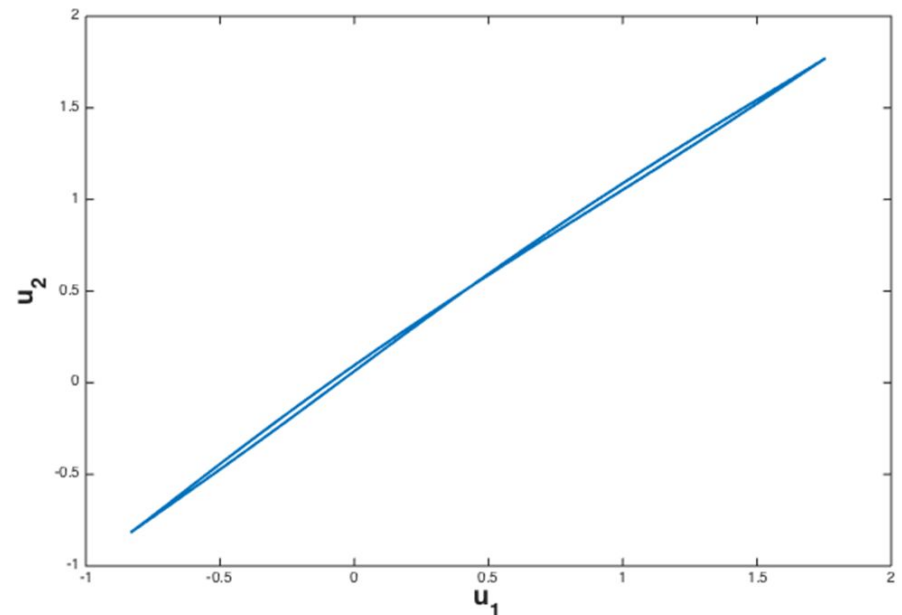
Введем положительную связь $k = 0.01$

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

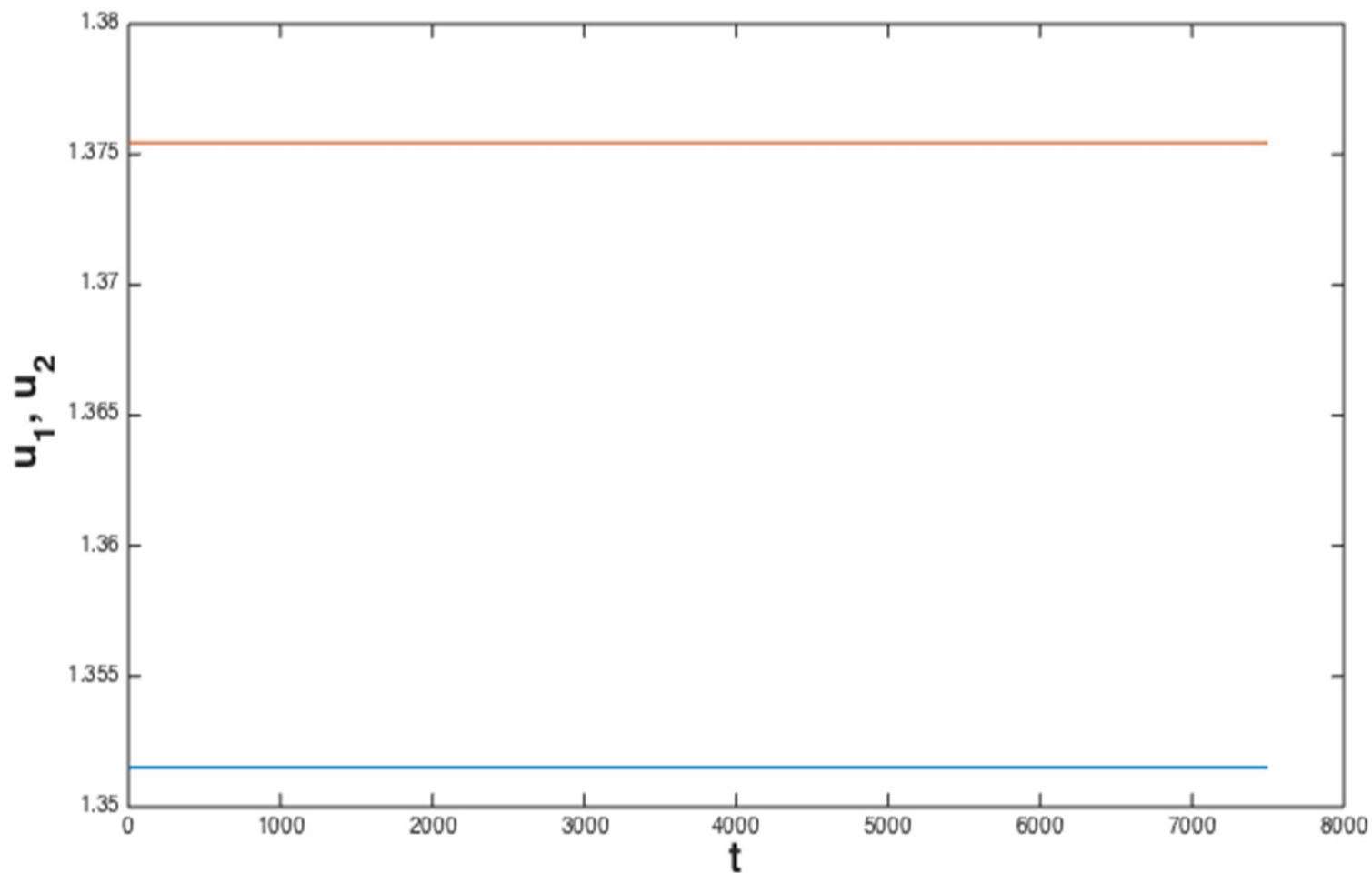
Фазовый портрет имеет типичный вид синфазных колебаний



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