

Дипломна робота

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ**

*Студент гр. 1КНсп-14
Керівник к.т.н., доц.*

*М.О.Харковенко
О.К.Колесницький*

- » Об'єкт дослідження – процес комп'ютерного моделювання імпульсних нейронів.
- » Предмет дослідження – математичні та комп'ютерні моделі імпульсних нейронів, їх передатні характеристики та параметри.
- » Мета роботи – підвищення швидкодії та розширення функціональних можливостей системи комп'ютерного моделювання імпульсних нейронів.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Імпульсні нейронні мережі мають ряд переваг перед традиційними нейромережами, наприклад, здатні швидко та ефективно обробляти інформацію в режимі реального часу. Тому задача моделювання імпульсних нейронів та нейронних мереж є достатньо актуальною, оскільки може покращити результати роботи практичних застосувань нейрокомп'ютерних систем.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ

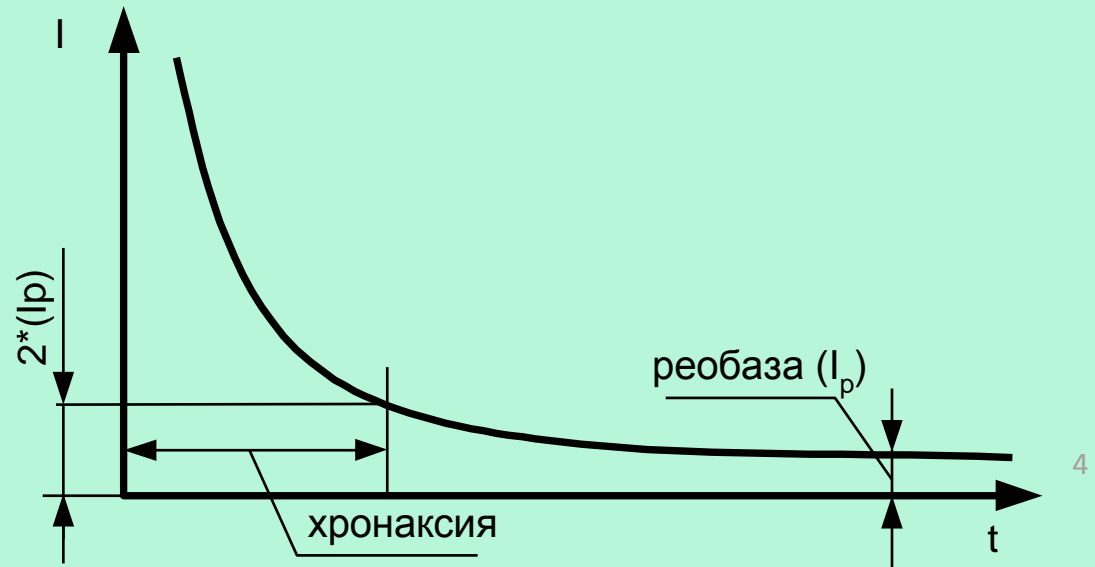
Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика аналогу та нової розробки

№	Показники	Одиниця виміру	Аналог. Фітц-Хью-Нагамо	Система, що розробляється	Співвідношення параметрів нової системи до параметрів аналогу
1	Кількість виконуваних функцій		11	20	1.82
2	Затрати часу на моделювання	сек.	2	1,5	0,75
3	Зручність інтерфейсу	–	не зручний	зручний	–

Нова розробка буде кращою ніж аналог. Нова система є більш зручною у використанні, у неї вищі показники швидкості роботи та кількості виконуваних функцій

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ МОДЕЛІ НЕЙРОНА:

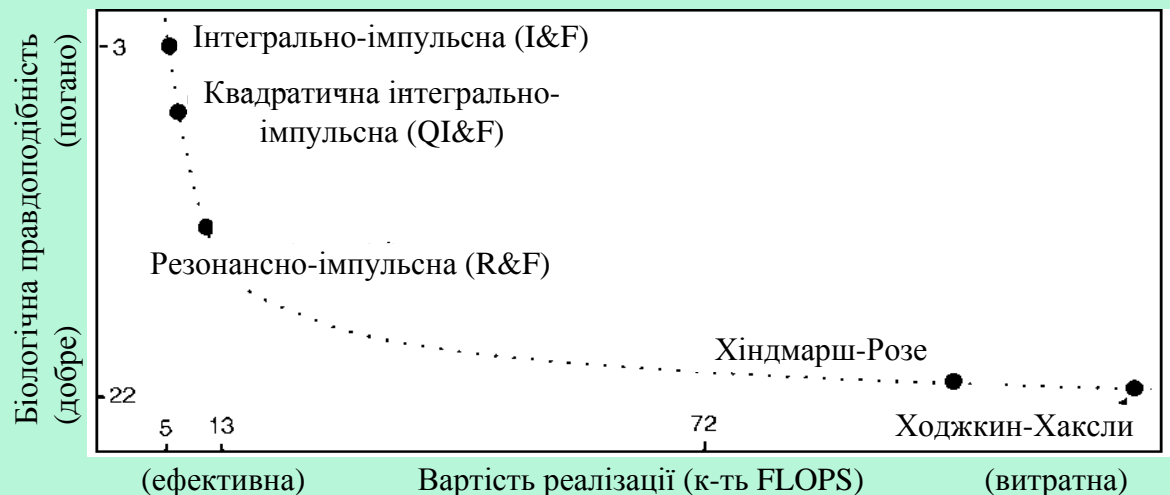
- 1) просторове підсумовування;
- 2) часове підсумовування;
- 3) підпорогове підсумовування;
- 4) залежність «сила–тривалість»
Основні параметри залежності: реобаза – найменша сила постійного електричного струму, який при достатній тривалості дії викликає збудження в нейроні; хронаксія – найменший час, впродовж якого постійний електричний струм величиною в дві реобазис, діючи на нейрон, викликає виникнення вихідного імпульсу;
- 5) залежність частоти ритмічного збудження від амплітуди сигналу подразнення спочатку має лінійно зростаючу ділянку, а потім ділянку насичення;
- 6) трансформація ритму;
- 7) залпова активність;
- 8) фоновая активність;
- 9) акомодация;
- 10) рефрактерність.



Порівняльна характеристика нейронно-обчислювальних властивостей математичних моделей імпульсних нейронів

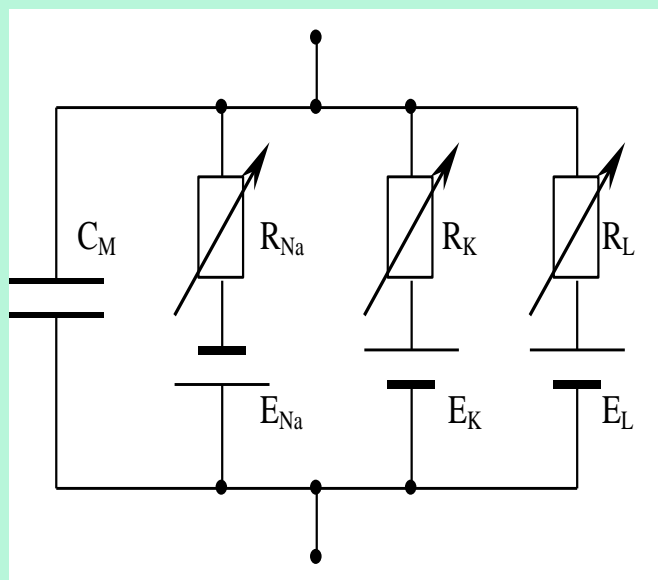
№ п/п	Назва моделі	Біологічна правдоподібність	Кількість FLOPs
1.	Інтегрально-імпульсна (I&F)	3	5
2.	Квадратична інтегрально-імпульсна (QI&F)	7	7
3.	Резонансно-імпульсна (R&F)	14	10
4.	<u>Хіндмарш-Розе</u>	21	120
5.	<u>Ходжкін-Хакслі</u>	22	1200

Порівняльна діаграма різних видів математичних моделей імпульсних нейронів



Оскільки у нас стоїть задача детального моделювання нейрона, то для комп'ютерної реалізації було обрано модель Ходжкіна-Хакслі з огляду на її найбільшу адекватність біологічному нейрону

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ



Еквівалентна електрична схема ділянки мембрани.

$$R_{Na}=1/g_{Na}, R_K=1/g_K, R_L=1/g_L$$

V - мембранний потенціал, зміни якого визначаються сумою струмів, що протікають через мембрану: струму іонних каналів (натрієвих і калієвих), струму витоку (іони хлору). Параметри g_{Na} , g_K , g_L визначають максимальні провідності відповідних типів каналів, V_{Na} , V_K і V_L - рівноважні потенціали за відповідним типом іонів

$$\begin{cases} C_m \frac{dV}{dt} = I_{ion}; \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m(V)(1-m) + \beta_m(V)m; \\ \frac{dh}{dt} = \alpha_h(V)(1-h) + \beta_h(V)h; \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n(V)(1-n) + \beta_n(V)n; \end{cases}$$

$$I_{ion} = -g_{Na}m^3h(V - V_{Na}) - g_Kn^4(V - V_K) - g_L(V - V_L);$$

$$\alpha_m(V) = 0.1(25 - V)/(\exp(25 - V)/10 - 1);$$

$$\beta_m(V) = 4 \exp(-V/18);$$

$$\alpha_h(V) = 0.07 \exp(-V/20);$$

$$\beta_h(V) = 1/(1 + \exp((30 - V)/10));$$

$$\alpha_n(V) = 0.01(10 - V)/(1 + \exp((10 - V)/10));$$

$$\beta_n(V) = 0.125 \exp(-V/80).$$

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ

Як програмне середовище було обрано систему MATLAB. MATLAB – це одночасно і операційне середовище і мова програмування. Разом з MATLAB використано програмний пакет CSIM (Circuit Simulator), який призначено для моделювання імпульсних нейронних мереж.

Особливості пакету програм CSIM:

- 1) *Багаті бібліотеки моделей нейронів та синапсів.*
- 2) *Простий у використанні інтерфейс MATLAB.*
- 3) *Об'єктно-орієнтований підхід.* Створення та з'єднання об'єктів і налаштування параметрів об'єктів контролюється на рівні скриптів MATLAB, тоді як фактичне моделювання здійснюється на мові програмування C + +.
- 4) *Можливість вирішувати задачі технічних обчислень набагато швидше,* ніж при використанні традиційних мов, таких як C чи C++.
- 5) *2-D та 3-D графічні функції* для візуалізації даних, математичні функції.
- 6) *Можливість взаємодіяти з зовнішніми прикладними програмами та мовами,* такими як C, C++, Fortran, Java, COM, and Microsoft Excel.

Алгоритм роботи системи моделювання нейрона Ходжкіна-Хакслі



$$\begin{cases} C_m \frac{dV}{dt} = I_{ion}; \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m(V)(1-m) + \beta_m(V)m; \\ \frac{dh}{dt} = \alpha_h(V)(1-h) + \beta_h(V)h; \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n(V)(1-n) + \beta_n(V)n; \end{cases}$$

$$I_{ion} = -g_{Na}m^3h(V-V_{Na}) - g_Kn^4(V-V_K) - g_l(V-V_l);$$

$$\alpha_m(V) = 0.1(25-V)/(\exp(25-V)/10 - 1);$$

$$\beta_m(V) = 4 \exp(-V/18);$$

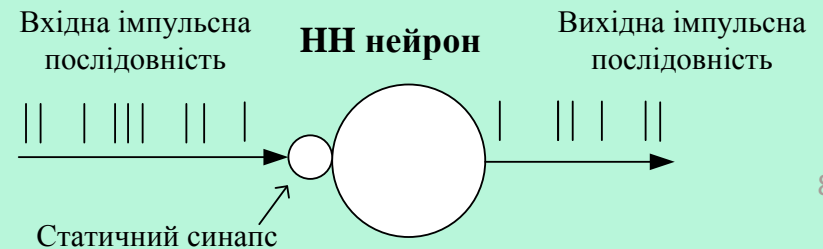
$$\alpha_h(V) = 0.07 \exp(-V/20);$$

$$\beta_h(V) = 1/(1 + \exp((30-V)/10));$$

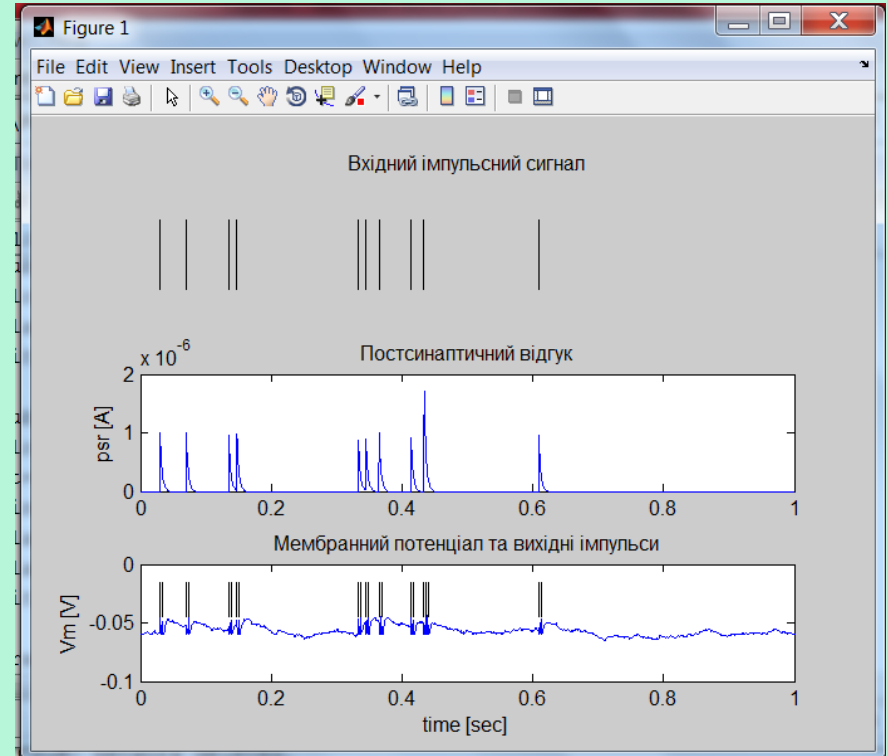
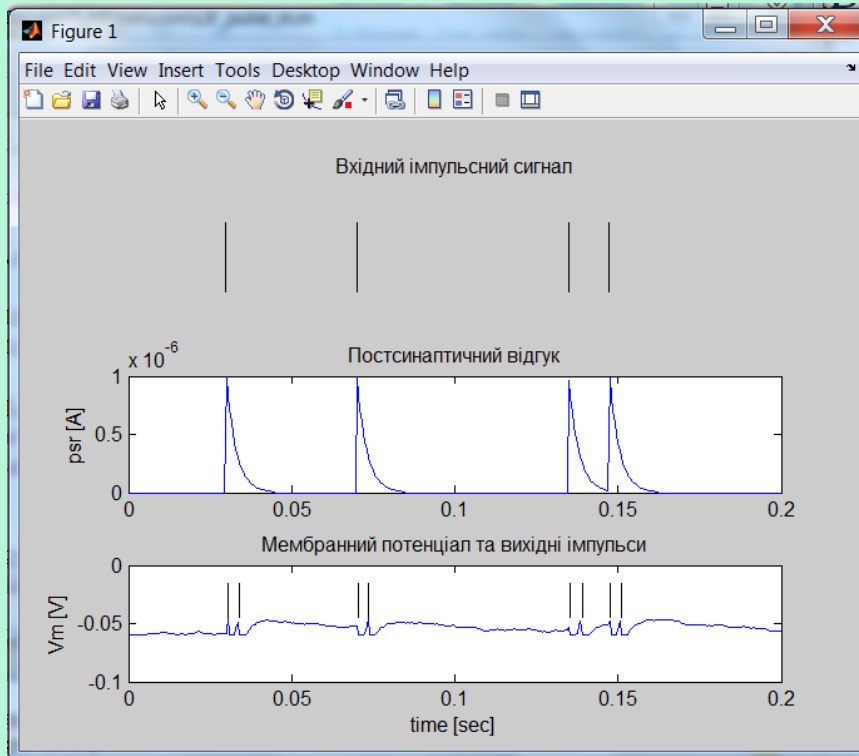
$$\alpha_n(V) = 0.01(10-V)/(1 + \exp((10-V)/10));$$

$$\beta_n(V) = 0.125 \exp(-V/80).$$

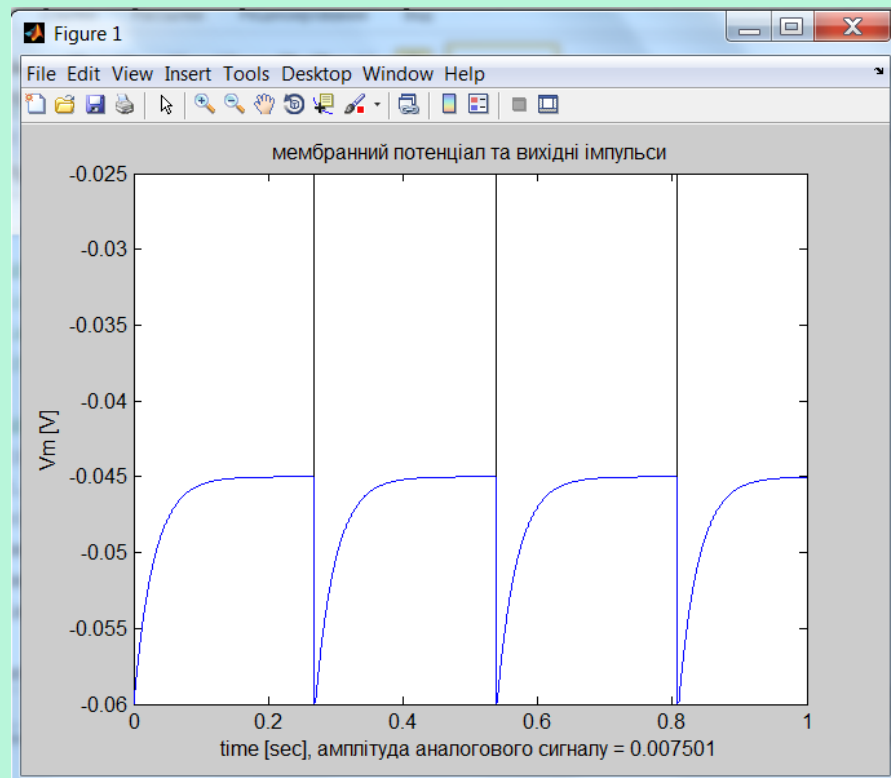
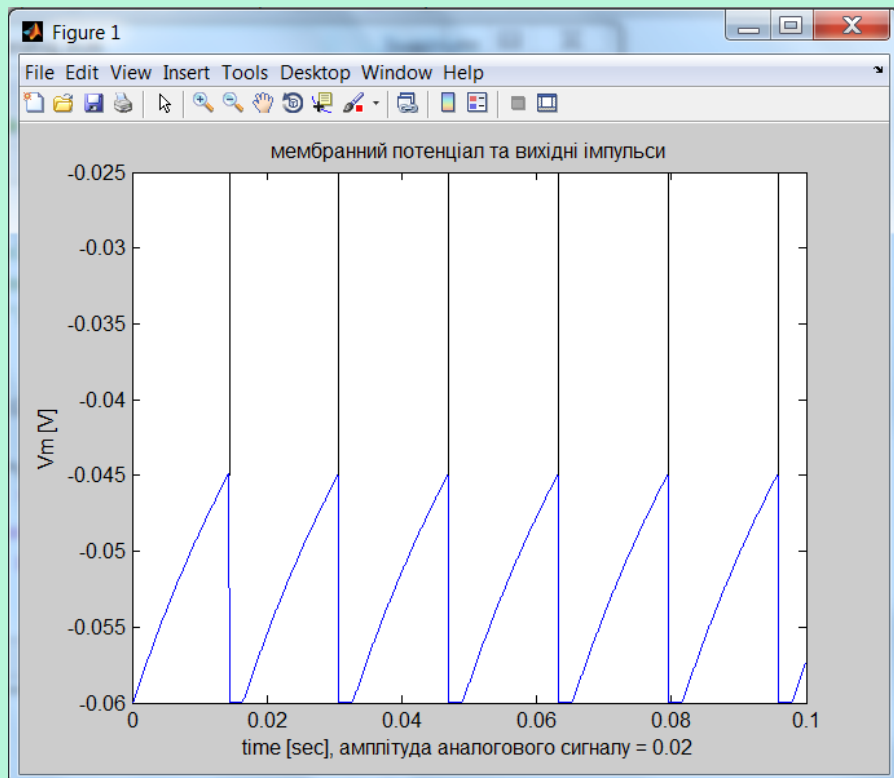
Схема модельованого об'єкту



РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ ПРИ ІМПУЛЬСНИХ ВХІДНИХ СИГНАЛАХ



РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ ПРИ АНАЛОГОВИХ ВХІДНИХ СИГНАЛАХ



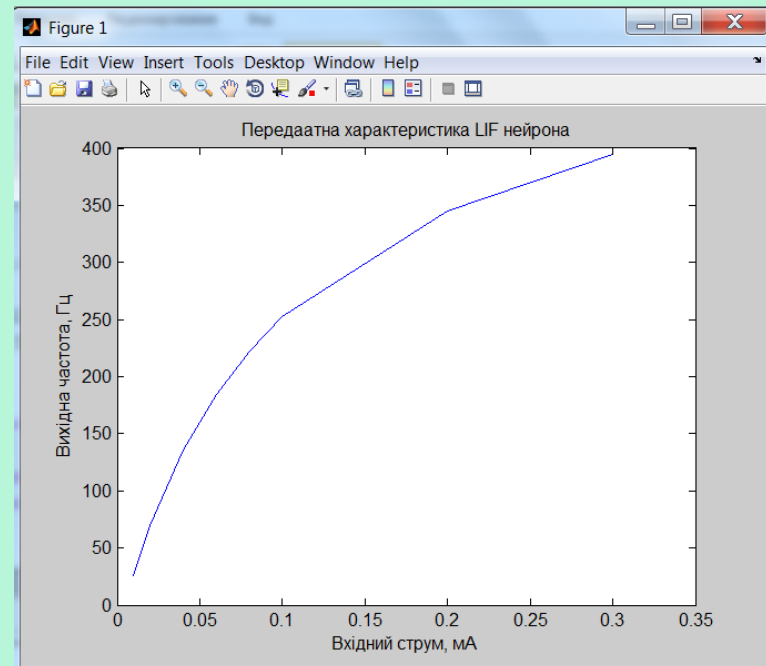
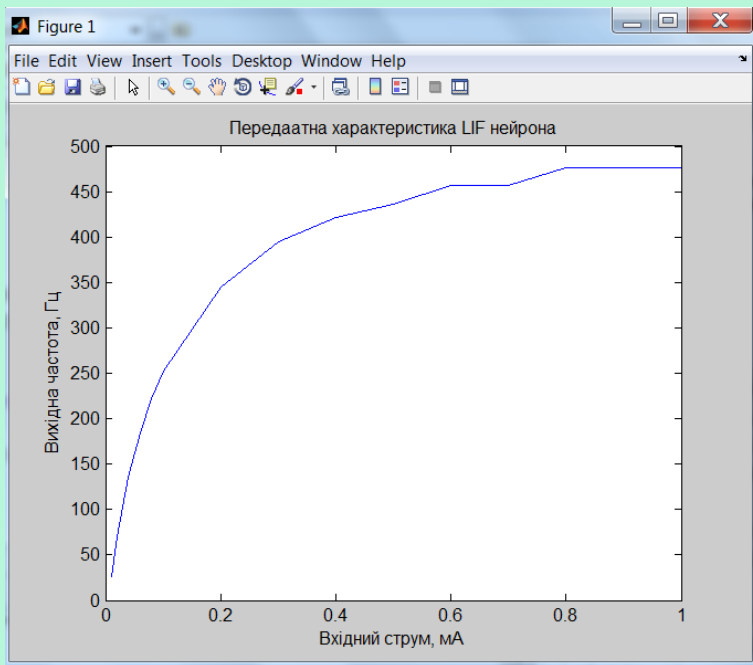
Поріг чутливості (реобаза) нейрона Ходжкіна-Хакслі

$I_p = 0,007501$ мА.

Хронаксія (період вихідних імпульсів при подвійній реобазі)

$T_{xр} = 20$ мс

ГРАФІКИ ПЕРЕДАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙРОНА ХОДЖКІНА-ХАКСЛІ



ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

- Проведені економічні розрахунки, які підтверджують економічну доцільність розробки програмного забезпечення системи комп'ютерного моделювання нейрона Ходжкіна-Хакслі, оскільки він є дешевше ніж аналог на 820,67 грн., термін його окупності складає 1 рік. Загальні витрати на розробку нового програмного продукту складають 22562,37 грн., прогнозований прибуток – 20701,02 грн.

Висновок

- » В дипломній роботі розроблено програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання нейрона Ходжкіна-Хакслі, яке дозволило визначити такі його параметри, як реобаза ($I_p=0,007501$ мА) та хронаксія (20 мс), а також побудувати передатну характеристику. Розроблена система витрачає на моделювання у середньому 1,5 с, в той час як середні часові витрати на моделювання аналогу (моделі нейрона Фитц-Хью-Нагамо в системі NEURON) складають 2 с. Розроблена комп'ютерна модель нейрона Ходжкіна-Хакслі виконує 20 функцій біологічного нейрона, а аналог (модель нейрона Фитц-Хью-Нагамо) тільки 11.
- » Таким чином, мета роботи досягнута, оскільки створене програмне забезпечення характеризується підвищеною швидкістю та розширеними функціональними можливостями.

Дякую за увагу!