

Магістерська кваліфікаційна робота на тему:

МОДЕЛЮВАННЯ СПАЙКІНГОВОГО QIF-НЕЙРОНА

Виконав студент гр. 1КН-17м Фарафон А.Ю.

Керівник: к.т.н., доц. Колесницький О.К.

Спеціальність 122 “Комп’ютерні науки”

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

АКТУАЛЬНІСТЬ

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

Метою дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення адекватності моделі QIF-нейрона до біологічного нейрона та розширення її функціональних можливостей

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз проблеми розв'язання задачі комп'ютерного моделювання QIF-нейрона;
- розглянути існуючі методи вирішення задачі комп'ютерного моделювання QIF-нейрона та обрати й обґрунтувати вибір методу, який задовольняє мету даної магістерської кваліфікаційної роботи;
- розробити математичну модель спайкінгового QIF-нейрона;
- розробити структуру та алгоритм роботи програмного засобу моделювання QIF-нейрона;
- виконати програмну реалізацію запропонованої моделі QIF-нейрона;
- провести тестування програмного продукту та виконати аналіз отриманих результатів.

ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – процес комп'ютерного моделювання спайкінгового QIF-нейрона.

Предмет дослідження – математична і комп'ютерна модель та програмні засоби для моделювання спайкінгового QIF-нейрона, його передатні характеристики та параметри.

Методи дослідження

У роботі використані наступні методи наукових досліджень:

- системного аналізу,
- математичного моделювання,
- теорії штучних нейронних мереж,
- методи математичної статистики для обрахунків результатів експериментів із програмним засобом,
- об'єктно-орієнтованого програмування.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Удосконалено математичну модель спайкінгового QIF-нейрона, яка відрізняється врахуванням такого параметра як період абсолютної рефрактерності, що дозволило підвищити адекватність моделі QIF-нейрона до біологічного прототипа.
2. Удосконалено метод моделювання спайкінгового QIF-нейрона, який відрізняється наявністю функції визначення передатних характеристик нейрона, що дозволило розширити функціональні можливості комп'ютерного моделювання QIF-нейрона.

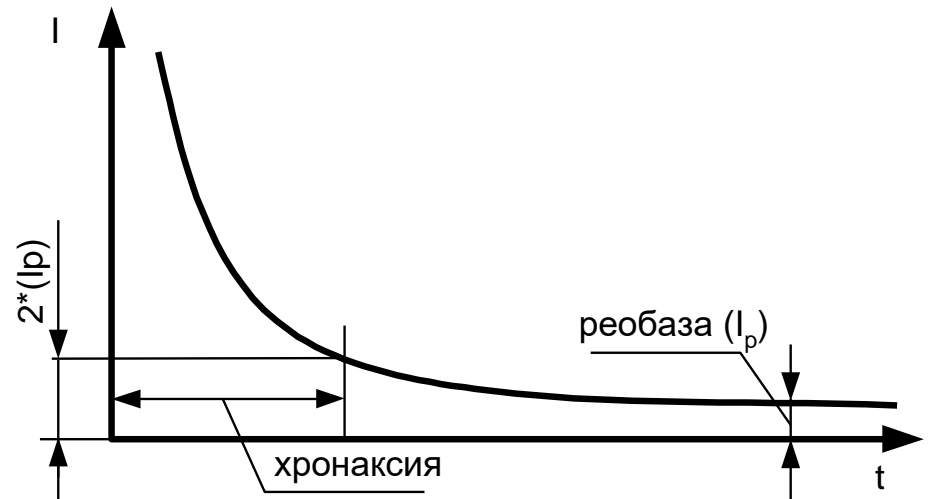
ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення комп'ютерного моделювання QIF-нейрона;
2. розроблено програмні засоби для комп'ютерного моделювання QIF-нейрона.

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ СПАЙКІНГОВИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНА

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ СПАЙКІНГОВИХ МОДЕЛЕЙ 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.

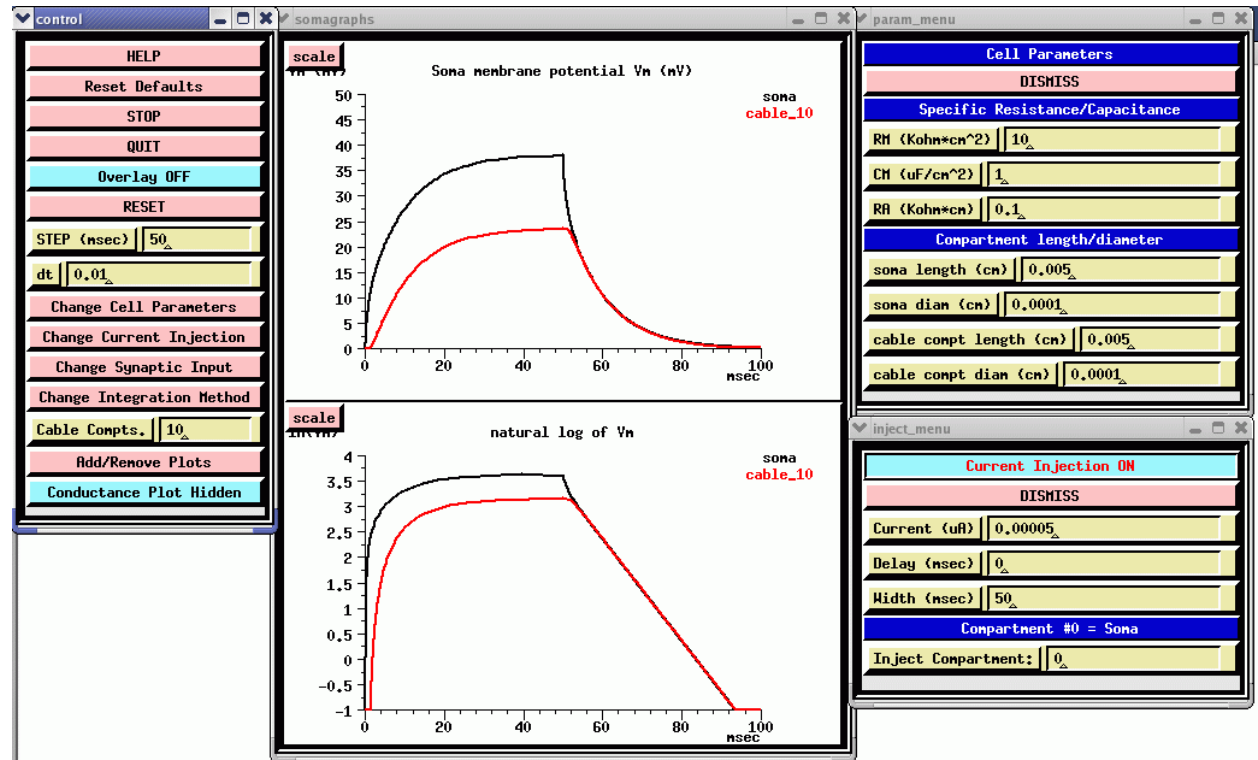


ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АНАЛОГА

Програмні засоби, що можуть бути використані для моделювання спайкінгових нейронів:

- NEURON,
- GENESIS
- NEST

Найкращою із розглянутих систем моделювання нейронних мереж є система GENESIS, тому саме її взято як аналог



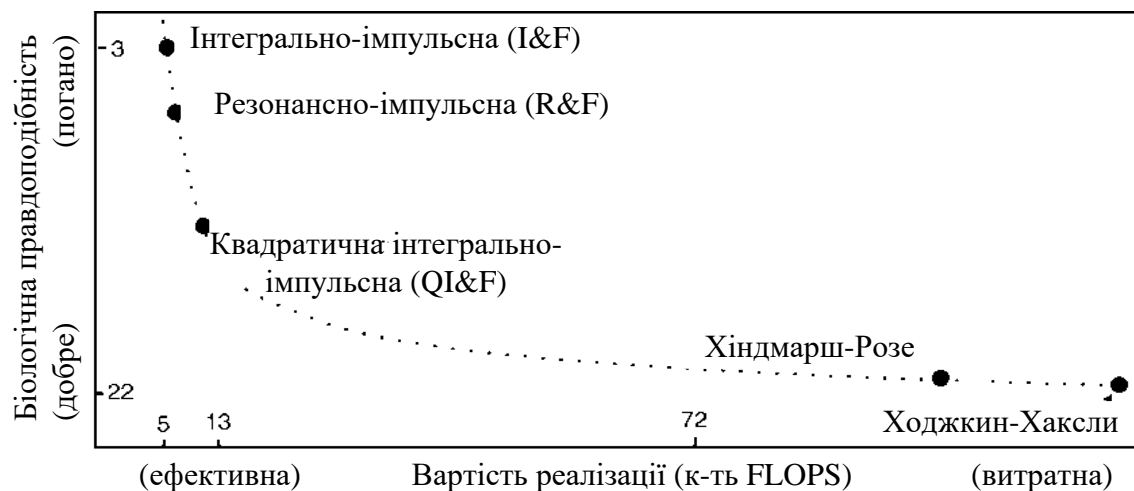
Вид вікна системи GENESIS

Обґрунтування вибору моделі спайкінгового нейрона

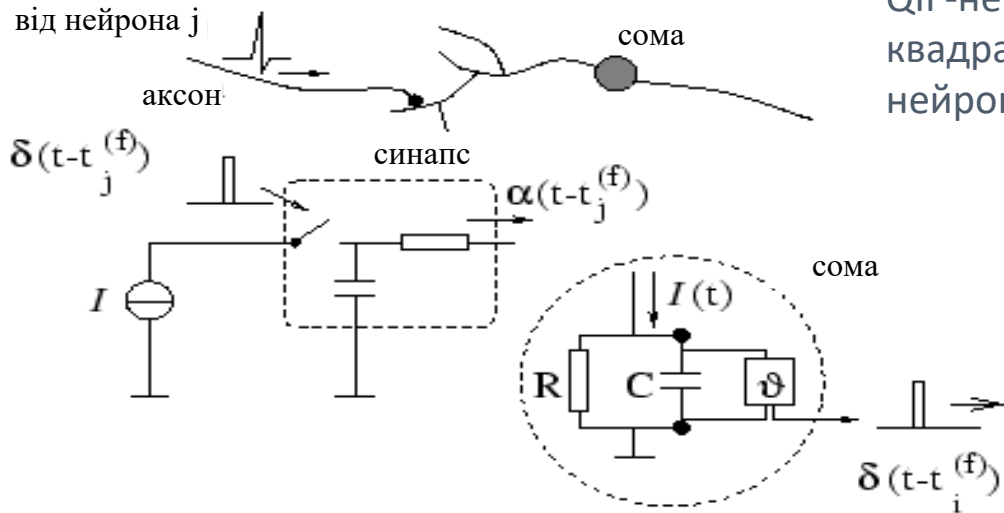
№ п/п	Назва моделі	Біологічна правдоподібність	Кількість FLOPs	Ефективність (правдопод-ть/ FLOPs)
1.	Інтегрально-спайкінгова (I&F)	3	5	0,6
2.	Резонансно-спайкінгова (RI&F)	7	7	1
3.	Квадратична інтегрально-спайкінгова (QI&F)	14	10	1,4
4.	Хіндмарш-Розе	21	120	0,175
5.	Ходжкин-Хаксли	22	1200	0,018

Порівняльна діаграма різних видів математичних моделей спайкінгових нейронів

Для комп'ютерної реалізації обрано ту модель, яка реалізує максимум функцій біологічного нейрона при мінімумі витрат обчислювальних ресурсів комп'ютера - QIF-модель



УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ QIF-НЕЙРОНА



QIF-нейрон (quadratic integrate-and-fire neuron – квадратичний накопичувально-спайкінговий нейрон)

У розробленій моделі QIF-нейрона додатково враховано такий параметр як період абсолютної рефрактерності, тобто модель стала більш точно відтворювати поведінку біологічного нейрона, а це означає, що підвищилась адекватність моделі QIF-нейрона до свого прототипа – біологічного нейрона.

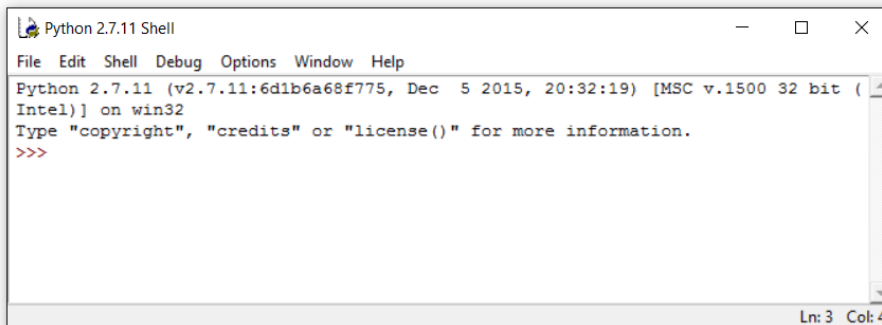
Стандартна форма <u>математичної моделі</u> QIF-нейрона	$I(t) = \frac{u(t)}{R} + C \frac{du}{dt}.$
u - мембранний потенціал, τ_m – постійною часу мембрани нейрона	$\tau_m \frac{du}{dt} = -u(t) + RI(t).$
Якщо QIF-нейрон стимулюється постійним вхідним струмом $I(t) = I_0$, а потенціал скидання для простоти $u_r = 0$, то середня частота імпульсів моделі QIF-нейрона з періодом абсолютної <u>рефрактерності</u> Δ^{abs}	$\nu = \left[\Delta^{abs} + \tau_m \ln \frac{RI_0}{RI_0 - \vartheta} \right]^{-1}.$
Для довільних умов збудження і довільного значення напруги скидання $u_r < \vartheta$	
$u(t) = u_r \exp\left(-\frac{t-\hat{t}}{\tau_m}\right) + \frac{1}{C} \int_0^{t-\hat{t}} \exp\left(-\frac{s}{\tau_m}\right) I(t-s) ds$	

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ

Для програмної реалізації модуля була обрана мова програмування Python та програмне середовище IDLE

Переваги Python:

- 1) надає набагато більше засобів для структурування і підтримки великих програм, ніж shell.
- 2) краще за C обробляє помилки,
- 3) має вбудовані типи даних високого рівня, такі як гнучкі масиви і словники, ефективна реалізація яких на C потребує значних витрат часу.
- 4) завдяки більш загальним типам даних, Python застосовують до більш широкого кола задач, ніж Awk і Perl, у той же час багато речей на Python робляться настільки ж просто.
- 5) дозволяє розбивати програми на модулі, що потім можуть бути використані в інших програмах.
- 6) поставляється з великою бібліотекою стандартних модулів, які можна використовувати як основу для нових програм або як приклади при вивченні мови.
- 7) Python - інтерпретована мова, що дозволяє заощадити значну кількість часу, що зазвичай витрачається на компіляцію.
- 8) дозволяє писати дуже компактні й зручні для читання програми, які значно коротші еквівалента на C++ з декількох причин:



```
Python 2.7.11 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 2.7.11 (v2.7.11:6d1b6a68f775, Dec 5 2015, 20:32:19) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
```

- типи даних високого рівня дозволяють виразити складні операції однією інструкцією;
- групування інструкцій виконується за допомогою відступів замість фігурних дужок;
- немає необхідності в оголошенні змінних;

Програмне середовище IDLE для розробки програм мовою Python

Алгоритм роботи комп'ютерної моделі спайкінгового QIF-нейрона

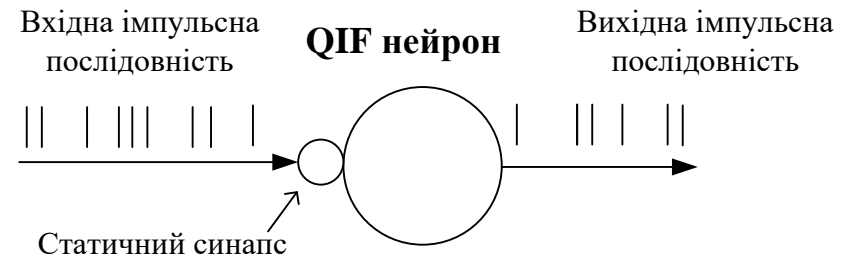
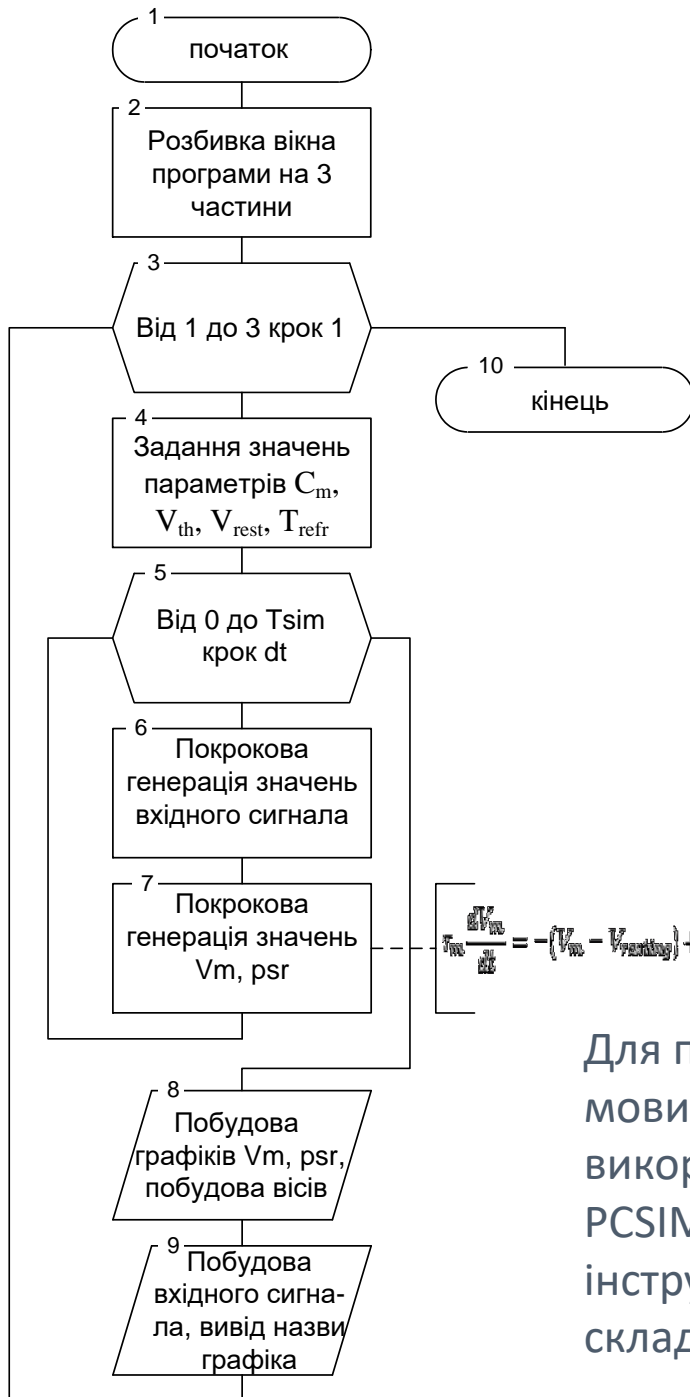
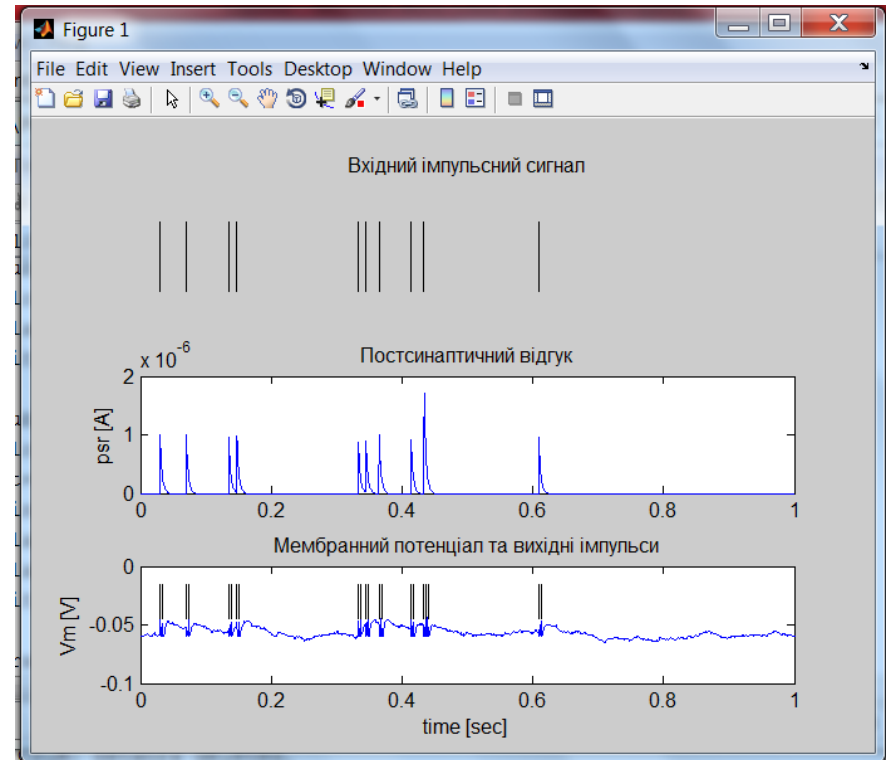
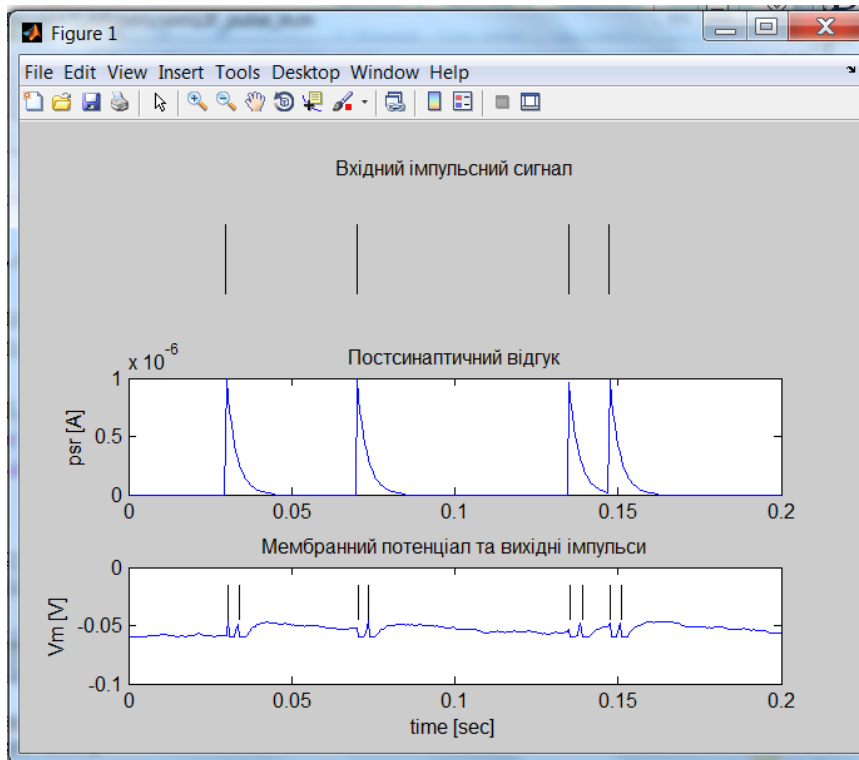


Схема модельованого об'єкту

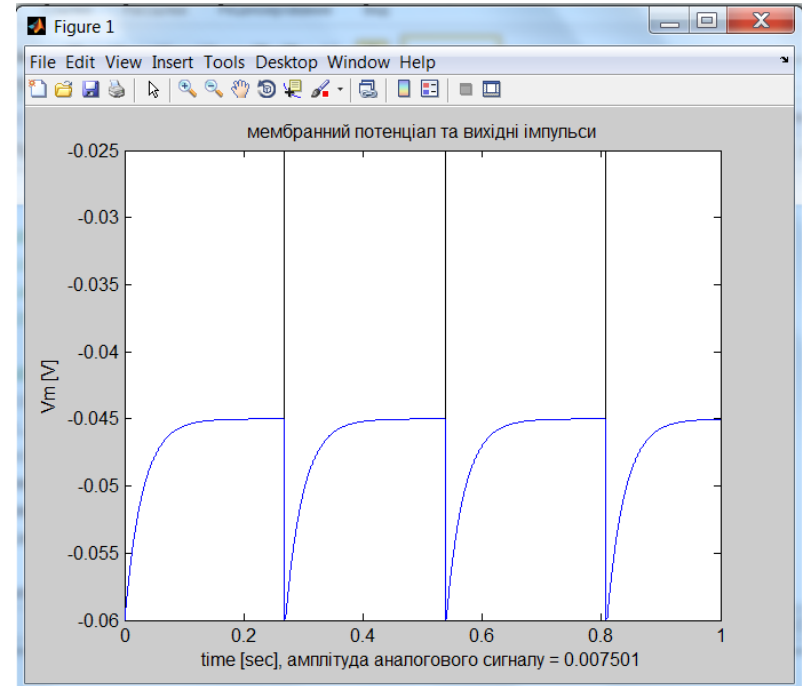
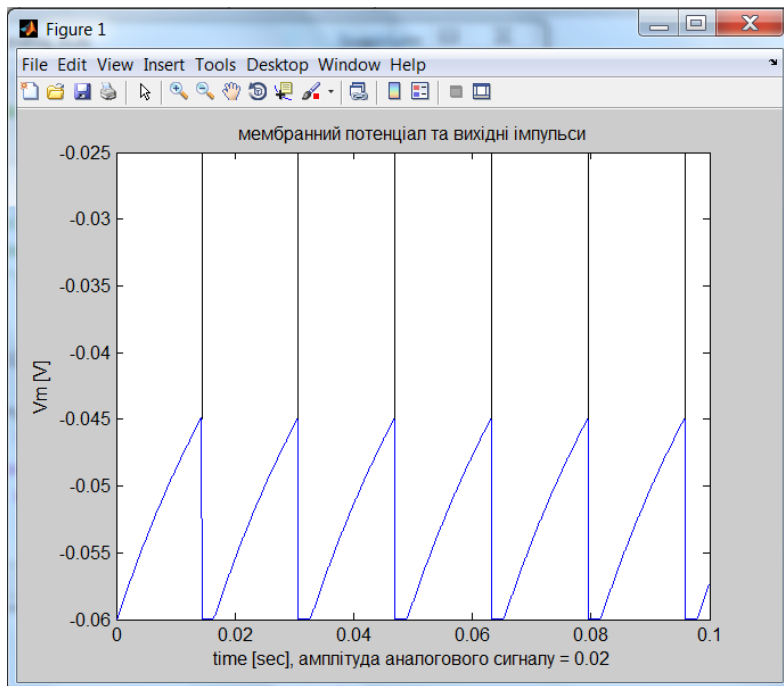
$$C_m \frac{dV_m}{dt} = -(V_m - V_{resting}) + R_m \cdot (I_{syn}(t) + I_{inj} + I_{noise})$$

Для програмної реалізації комп'ютерної моделі крім мови Python (програмне середовище IDLE) використовувалася також спеціалізована бібліотека PCSIM (Parallel neural Circuit SIMulator), яка являє собою інструмент для моделювання гетерогенних мереж, що складаються з різних моделей нейронів і синапсів

РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ QIF-НЕЙРОНА ПРИ ІМПУЛЬСНИХ ВХІДНИХ СИГНАЛАХ



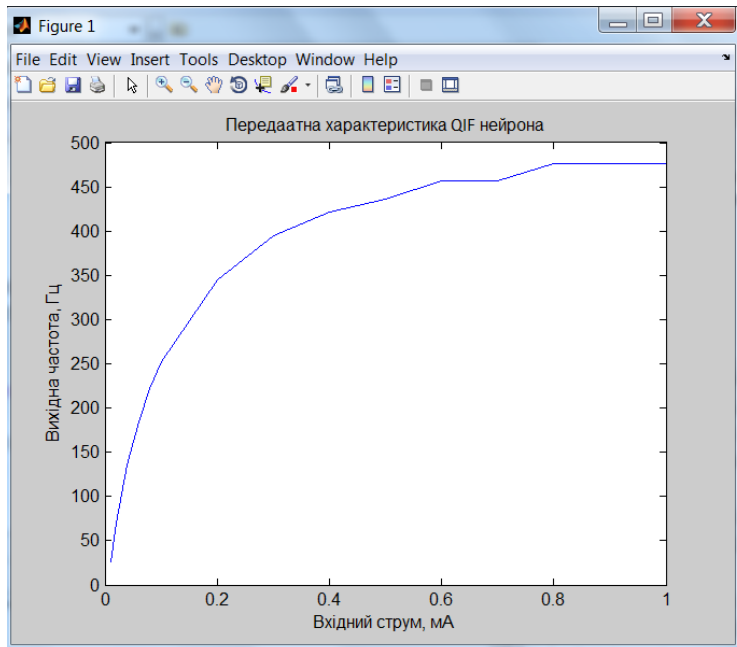
РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ QIF-НЕЙРОНА ПРИ АНАЛОГОВИХ ВХІДНИХ СИГНАЛАХ



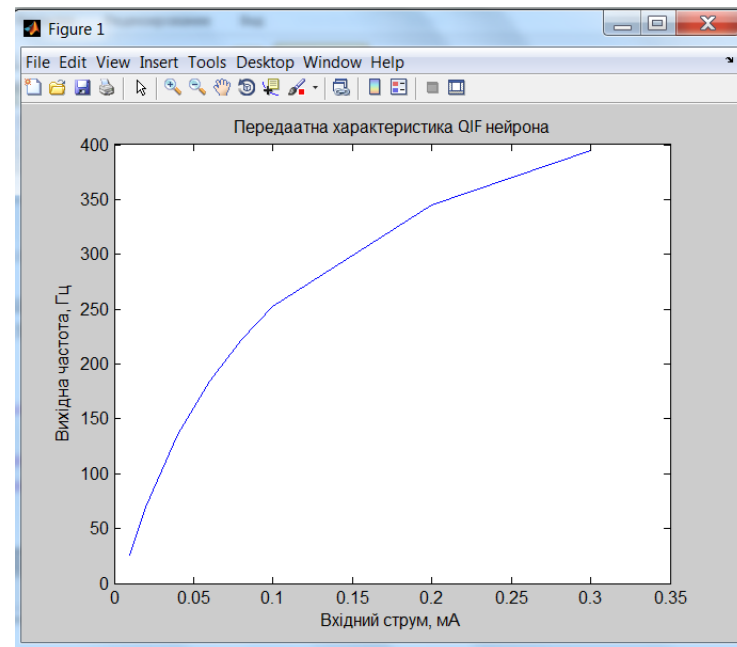
Поріг чутливості (реобаз) QIF-нейрона
Хронаксія (період вихідних імпульсів при подвійній реобазі)

$I_p = 0,007501$ мА.¹²
 $T_{hr} = 20$ мс

ГРАФІКИ ПЕРЕДАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ QIF--НЕЙРОНА



Графік передатної характеристики QIF-нейрона



Графік передатної характеристики QIF-нейрона на ділянці 0-0,3

ДОВЕДЕННЯ ДОСЯГНЕННЯ МЕТИ РОБОТИ

У розробленій моделі QIF-нейрона додатково враховано такий параметр як період абсолютної рефрактерності, тобто модель стала більш точно відтворювати поведінку біологічного нейрона, а це означає, що підвищилась адекватність моделі QIF-нейрона до свого прототипа – біологічного нейрона.

Крім цього, розроблена комп'ютерна модель QIF-нейрона додатково до функції визначення вихідних сигналів нейрона від вхідних ще має функцію визначення передатних характеристик, а це означає, що кількість виконуваних функцій збільшилась (розширились функціональні можливості).

Таким чином, мета роботи досягнута, оскільки підвищилась адекватність моделі QIF-нейрона до свого прототипа та розширились функціональні можливості моделі QIF-нейрона.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Було виконано оцінювання комерційного потенціалу розробки інформаційної технології планування розкладу локальних спортивних турнірів. Рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього.

Програмний продукт за своїми характеристиками випереджає аналогічні програмні продукти, що підтверджує її перспективність. Він має кращі функціональні показники, а тому є конкурентоспроможним товаром на ринку. Загальні витрати на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи складають 83194,26 грн. Розрахована абсолютна ефективність вкладених інвестицій в сумі 1166462,54 грн., що свідчить про отримання прибутку інвестором від комерціалізації програмного продукту. Щорічна ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій складає 147%, що означає потенційну зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки. Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій становить 0,68 року, що також свідчить про доцільність фінансування нової розробки.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА ПУБЛІКАЦІЇ

Апробація результатів роботи.

Результати досліджень апробовані на шостій міжнародній науково-технічній конференції «Оптоелектронні інформаційні технології «ФОТОНІКА-ОДС-2018»», м. Вінниця, 2-4 жовтня 2018 року.

Публікації.

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тези доповідей на конференції та підготовлена заявка на авторське свідоцтво на твір (програму).

ВИСНОВОК

В результаті виконання МКР розроблено математичну модель спайкінгового QIF-нейрона та програмне забезпечення для його комп'ютерного моделювання. Програмне забезпечення створено мовою програмування Python у середовищі IDLE. Розроблена комп'ютерна модель QIF-нейрона більш адекватна біологічному нейрону (враховує на 1 параметр більше), та має ширші функціональні можливості, оскільки виконує на 3 функції більше ніж аналог (знаходить реобазу, хронаксію, а також передатну характеристику). Отже, мета роботи досягнута.

Дякую за увагу!