

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Інституту високих технологій**

Завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ
проф. Валерій Антонович Скришевський
Протокол № _____ засідання кафедри
від “ ____ ” _____ 2021 р.

**РОЗРОБКА МАКЕТУ ПОРТАТИВНОГО БАГАТОКАНАЛЬНОГО
АНАЛІЗАТОРА ЛЕТКИХ СПОЛУК**

Кваліфікаційна робота магістра
студента 2 курсу ОКР «Магістр»
за спеціальністю 105 «Прикладна
фізика та наноматеріали»
Симака Михайла Ігоровича

Науковий керівник:
к. ф.-м. н., асист. **Сусь Б. Б.**

Оцінка захисту роботи

Реферат

Випускна робота магістра (45) стор., рис.(26), 36 джерел.

Ключові слова: Сенсор, електронний ніс, ЦАП, АЦП, селективний вольтметр, LabView, нейронна мережа.

В процесі виконання даної роботи було розроблено прототип портативної автоматизованої мультисенсорної системи з фотоелектричним перетворенням, на основі кремнієвих структур. Розроблено блок живлення сенсору. Написана програма контролю за зміною фотоструму в мультисенсорній системі. Дана автоматизована система здатна фіксувати зміну фотоструму по кожному з чотирьох каналів.

Розроблено прототип автоматизованої багатокомпонентної системи вимірювання вмісту одноатомних фенольних сполук у спиртових розчинах. Для забезпечення контролю якості широко розповсюджених алкогольних розчинів, включаючи ліки та міцні алкогольні напої, запропоновано нову автоматизовану систему контролю якості з декількома датчиками. Система базується на багатосаровій штучній нейронній мережі для цифрової обробки сигналів датчиків. Враховуючи перехресну чутливість датчиків та застосування селективних датчиків зменшують похибку при визначенні концентрації легких фенольних сполук. Процес обробки сигналу датчика доповнюється паралельними каналами для розрахунку концентрації етилового спирту, а також освітленості та значень температури шляхом лінійного перетворення вихідних сигналів.

ЗМІСТ:

1. Вступ	3
2. Огляд літератури	4
2.1. Аналізатори летких сполук	4
2.2. Сенсори на основі плазмонного резонансу	5
2.3 Фізичні принципи роботи і властивості сенсорних структур з фотоелекричним типом перетворення	7
2.4. Основні прилади для вимірювання величин отриманих з аналізаторів	9
3. Віртуальні прилади	10
3.1. LabView	10
3.2. Отримання комп'ютером інформації з установки	13
3.3. Комп'ютерне моделювання проекту	16
3.4. Використані можливості LabVIEW	19
3.5. Вимоги до технічного обладнання	22
4. Практична частина	22
4.1. Нейромережі	22
4.2. Підготовка до проведення вимірів	24
4.3 Алгоритм створення програми	26
4.4. Алгоритм роботи програми	36
4.5. Експериментальна частина	37
4.6. Впровадження програмного забезпечення	40
5. Результати вимірів	41
Висновки	42
Література	43

1. ВСТУП

Застосування електронної концепції носа або штучного нюху стало надзвичайно важливим у останні роки. Електронні носи засновані на використанні штучних рецепторів в сенсорному масиві. В останні роки велика кількість досліджень в розвитку цього електронного носа сталося з різних областей застосування.

Завданням даної роботи є створення автоматизованої системи мультисенсорів з фотоелектричним перетворенням на основі кремнієвих структур та створення лабораторної роботи на дану тематику в ході якої роботу студент практично ознайомиться з принципом роботи багатоканальних напівпровідникових сенсорів, автоматизацію експериментальних досліджень та основні операції в середовищі LabView та обробку результатів вимірювань.

2. Огляд літератури

2.1 Аналізатори летких сполук

Усі сенсори можна поділити на три типи:

Фізичні сенсори (датчики) – служать для визначення відстані, температури, тиску тощо.

Хімічні сенсори (датчики) – служать для якісного і кількісного визначення хімічних речовин. Залежно від концентрації останніх у сенсорі виникає хімічний чи фізичний відгук різної сили. Хімічні сенсори (згідно з класифікацією IUPAC) – це пристрої, що перетворюють хімічну інформацію, яка змінюється залежно від концентрації специфічного компонента зразка в загальній аналізованій суміші, в аналітично повноцінний сигнал.

Біосенсори – це автономні інтегральні аналітичні прилади, які забезпечують кількісний або напівкількісний аналіз з використанням біологічного розпізнавального елемента, що знаходиться у прямому контакті з фізичним перетворювачем.

Одним з таких аналізаторів є електронний ніс. Електронний ніс - це масив хімічних сенсорів, підключених до системи розпізнавання шаблонів, що реагує на проходження запахів над ним. Різні запахи викликають різні реакції в датчиках, і ці відповіді забезпечують характеристику сигналу, характерну для конкретного аромату. Комп'ютер оцінює шаблон сигналу і може порівнювати аромати різних зразків, використовуючи розпізнавання образів.

Цей тип сенсорного інструменту імітує нюхову систему в носі. Інструмент складається з масиву газових сенсорів з різними моделями селективності, блоком збору сигналів і програмне забезпечення для аналізу даних, який аналізує сигнал за допомогою шаблонів розпізнавання методів, таких як аналіз головних компонентів, дискримінантної функції аналізу, кластерного аналізу, і штучних нейронних мереж. Результати є порівняльними, а не кількісними, і представлені як «відбиток». Різні датчики використовуються, починаючи від металевих оксидів з провідними полімерами, які можуть бути дуже чутливі але не специфічні і може реагувати на леткі сполуки з молекулярною масою в діапазоні від 30 до 300 молекул, таких як спирти, кетони, жирні кислоти і складні ефіри дають сильну реакцію, тоді як повністю окислені види, такі як CO₂, NO₂ і H₂O, мають більш низьку відповідь. Матриця датчиків також може розпізнавати молекули, що містять сірку і амінні групи. Крім того, вони не перебувають у безпосередньому контакті з вимірювальними середовищами, оскільки вони використовуються для вимірювання газової фази.

[T. Wagner, M.J. Schoning. Chapter 5. Light-addressable potentiometric sensors (LAPS): Recent trends and applications. *Electrochemical Sensor Analysis* **49**, 87 (2007) [DOI: 10.1016/S0166-526X(06)49005-X].]

2.2. Сенсори на основі плазмонного резонансу

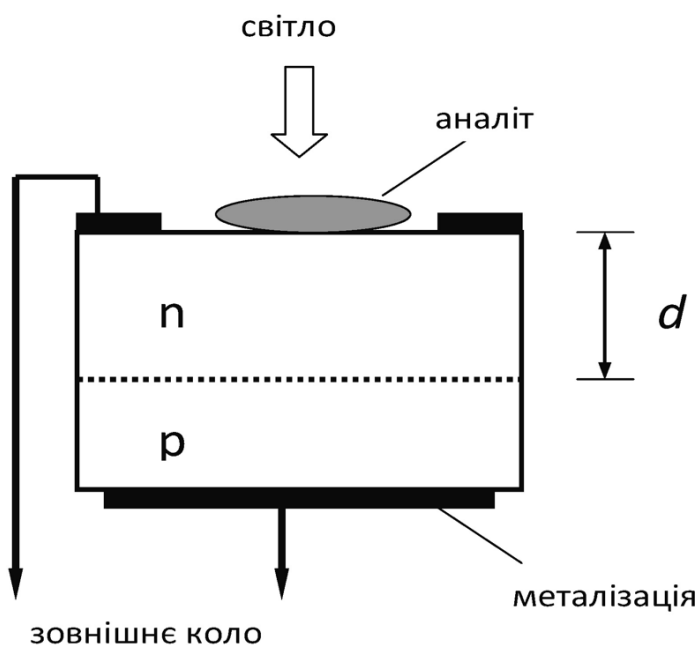
Явище ППР може спостерігати як різке зменшення інтенсивності світла, відбитого від поверхні межі двох середовищ з різними показниками заломлення при деякому певному (резонансному) куті падіння за умови наявності між цими середовищами тонкої плівки матеріалу (провідника чи сильно легovanого напівпровідника) з високою електричною провідністю. При кутах, що відповідають повному внутрішньому відбиттю (ПВВ), електрони провідності тонкої плівки збуджуються під впливом лазерного випромінювання. ППР виникає у тонкій металевій плівці з негативною діелектричною проникністю, яка розташована на прозорій діелектричній підкладці. Величина кутового резонансу залежить від концентрації аналіту, що контактує з чутливим елементом. Як чутливий шар найчастіше використовуються метали з високою електропровідністю та хімічною інертністю. Найбільш широко використовується метод збудження поверхневих плазмонів за допомогою скляної призми. У цьому випадку для забезпечення ПВВ необхідно виконати таку умову: показник заломлення досліджуваної речовини (nd) повинен бути нижчим, ніж у призмі (np), тобто $nd < np$. Для реалізації цього методу збудження є дві оптичні конфігурації, а саме: геометрія Кречмана та геометрія Отто. У геометрії Кречмана призма з високим показником заломлення np з'єднана з шаром метал-діелектрик, який складається з плівки, що має діелектричну проникність ϵm і товщину d , а також діелектрика з показником заломлення nd , роль якого виконує досліджувана речовина. Ця схема використовується частіше, оскільки на практиці вона є більш простою у реалізації. Принцип роботи ППР пристроїв полягає у визначенні зміни показника заломлення аналіту шляхом спостереження за зміною мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$. Більшість пристроїв ППР розроблено за геометрією Кречмана, що складається з лазера, призми ПВВ, чутливого елемента та фотоприймача.

S. Pitcher, J.A. Thiele, H. Ren, J.F. Vetelino. Current/voltage characteristics of a semiconductor metal oxide gas sensor. *Sensors and Actuators B* **93**, 454 (2003) [DOI: 10.1016/S0925-4005(03)00166-7].

Найбільш поширеними джерелами для збудження поверхневих плазмонів є лазери. Характеристика відбиття $R(\theta)$ – це залежність інтенсивності відбитого лазерного випромінювання від кута його падіння на поверхню чутливого елемента (ЧЕ) в діапазоні кутів, більших від кута повного внутрішнього відбиття на межі ЧЕ–аналіт. Значення показника заломлення аналіту пов'язане зі значенням мінімуму характеристики відбиття $\Delta\theta_0$ через параметри елементів оптичної схеми приладу, такі як довжина хвилі лазера та показники заломлення чутливого елемента, призми ПВВ та аналіту. Якщо металевий шар ЧЕ є досить тонким (<200 нм), то значна частина електромагнітної хвилі, що поширюється в металі, може досягти протилежної поверхні цього шару. Тоді ППР стає чутливим до властивостей середовища, що контактує з металом. Положення мінімуму в кривій відбиття залежить від електричної поляризації (діелектричної проникності) цього середовища. Коли змінюються властивості металевого шару або показника заломлення середовища, що перебуває вище цього шару, мінімум характеристики відбиття істотно зміщується. Тому на початку такі вимірювання характеристик відбиття розглядалися лише як чутливий спосіб вивчення оптичних властивостей та станів поверхонь металу. Далі він став використовуватися як найбільш точний метод рефрактометрії для визначення показників заломлення рідин та газів.

1. S. Pitcher, J.A. Thiele, H. Ren, J.F. Vetelino. Current/voltage characteristics of a semiconductor metal oxide gas sensor. *Sensors and Actuators B* **93**, 454 (2003) [DOI: 10.1016/S0925-4005(03)00166-7].

2.3. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ І ВЛАСТИВОСТІ СЕНСОРНИХ СТРУКТУР З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМ ТИПОМ ПЕРТВОРЕННЯ



(рис. 1) Схематичне зображення сенсорної структури на основі глибокого $p-n$ -переходу “глибокий” ($dd = 100$ мкм) та “мілкий” ($dd = 1$ мкм)

Для “глибокого” переходу область поглинання світла та область сильного електричного поля розділені просторово, а більша частина носіїв генерується поблизу освітлюваної поверхні. Фотострум, який колектує перехід, та до області просторового заряду. Саме параметр швидкості поверхневої рекомбінації визначає особливості розподілу концентрації фотогенерованих дірок в такій ситуації. Тому й величина фотоструму суттєво залежить від рекомбінаційних властивостей поверхні у випадку “глибокого” переходу.

Для отримання максимальної зміни фотоструму внаслідок зміни швидкості поверхневої рекомбінації в сенсорній структурі необхідно вибрати глибокий перехід із великою дифузійною довжиною пластини та рівномірним профілем легування в освітлюваній області. Оптимальна глибина переходу близька до дифузійної довжини.

Можна виділити такі основні випадки:

- 1) внаслідок адсорбції відбувається зміна початкового вигину зон, яка викликає перехід в режим акумуляції або збіднення; ефективна рекомбінація при цьому зменшується внаслідок дефіциту носіїв відповідного знака (або, навпаки, зміна початкового вигину зон викликає перехід від режиму акумуляції або збіднення до режиму близьких приповерхневих концентрацій носіїв; ефективна рекомбінація при цьому збільшується);

2) внаслідок адсорбції відбувається зміна концентрації центрів рекомбінації, що змінює швидкість рекомбінації у максимумі кривої;

3) внаслідок адсорбції відбувається зміна перерізів захоплення ре-комбінаційних центрів та відповідний зсув максимуму відносно попередніх значень. Очевидно, що для реальної поверхні сенсорної структури можлива одночасна або вибіркова реалізація таких впливів.

В умовах опромінення світлом з області сильного поглинання фотострум глибокого кремнієвого переходу суттєво залежить від рекомбінаційних характеристик та зарядового стану поверхні у випадку оптимальних параметрів переходу. Більшій довжині дифузії в освітлюваній області відповідають більші зміни фотоструму при адсорбції на робочій поверхні.

Оптимальна глибина переходу для сенсорної структури повинна бути близькою до довжини дифузії або перевищувати її, профіль легування доцільно вибирати рівномірним. Зміни фотоструму сенсорних структур пов'язані із зміною рекомбінаційних характеристик поверхні структури внаслідок її контакту з різними аналітами.

2.4. Основні прилади для вимірювання величин отриманих з аналізаторів

Одним з основних приладів для вимірювання та обробки величин отриманих з аналізаторів є селективний вольтметр.

Принцип дії селективного вольтметра полягає у виділенні окремих гармонійних складових сигналу або сигналу вузької смуги частот за допомогою перебудованого смугового фільтра і вимірі діючого значення виділених сигналів. Селективні вольтметри призначені для вимірювання синусоїдальної напруги у вузькій смузі частот. До їх складу входять високоякісні перебудовувані виборчі підсилювачі, тому такі прилади зручні для дослідження сигналів при наявності перешкод. Прилади мають вихід, який дозволяє використовувати їх як виборчі підсилювачі.

Селективні вольтметри будують за схемою супергетеродинного приймача. Застосовується і багаторазове перетворення частоти. На вході застосовуються підсилювач і аттенюатор, що нормують чутливість приладу. Для захисту від позасмугових сигналів в селективних вольтметрах застосовуються електронний підсилювач. Після проходження вхідного пристрою сигнал надходить на перетворювач, де за допомогою гетеродина відбувається перетворення частоти вхідного сигналу в проміжну частоту, на яку настроєний фільтр перетворювача частоти. У перерозподілювачу по частотам здійснюється фільтрація сигналу смуговим фільтром, потім його детектування. З виходу детектора сигнал надходить на підсилювач і індикаторний прилад. Шкала зазвичай градується в середньоквадратичних значеннях.

Селективні вольтметри застосовують для вимірювання напруги основної частоти або однієї з гармонійних складових коливань складної форми.

Структурна схема вимірювань побічних коливань за допомогою селективного вольтметра.

Селективний вольтметр налаштовується на частоту збудника, і за шкалою вольтметра відраховується початковий рівень U . Потім, змінюючи налаштування селективного вольтметра, визначають частоти, на яких стрілка приладу відхиляється. Частота побічної сигналу визначається за допомогою вимірювального приймача і генератора стандартних сигналів.

Селективні вольтметри мають в своєму складі вузькосмугові фільтри з регульованою смугою пропускання. Вони використовуються в якості вимірників рівнів електричних сигналів. Якщо сигнал має складний спектр, то можлива настройка на окремі спектральні складові. Завдяки застосуванню високодобротних фільтрів, селективні вольтметри мають високу чутливість і великим діапазоном рівнів вимірюваних сигналів.

3. Віртуальні прилади

3.1 Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench

LabView (Середовище розробки лабораторних віртуальних приладів) являє собою середовище графічного програмування, яке широко використовується в промисловості, освіті та науково-дослідних лабораторіях в якості стандартного інструменту для збору даних і управління приладами. LabVIEW - потужне і гнучке програмне середовище, застосовується для проведення вимірювань та аналізу отриманих даних.

LabView використовується в системах збору та обробки даних, а також для управління технічними об'єктами і технологічними процесами. Віртуальні прилади можуть використовуватися в якості складових частин для побудови інших віртуальних приладів.

Програми в LabView називаються віртуальними приладами або віртуальні прилади, оскільки своїм зовнішнім виглядом і функціонуванням імітують фізичні прилади, такі як осцилографи і мультиметри. Кожен ВП використовує функції, які обробляють вхідні дані від призначеного для користувача інтерфейсу або інших джерел і відображають інформацію або записують її в файли.

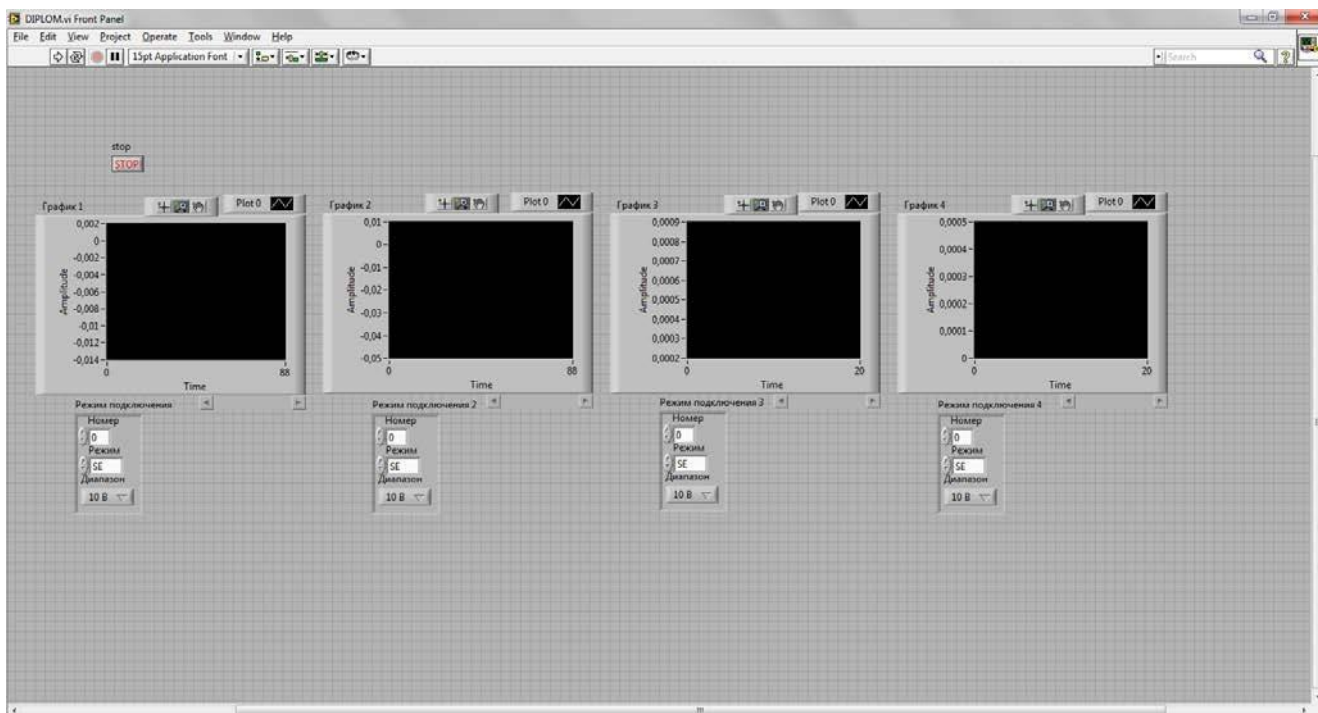
Інтерфейсом кожного віртуального приладу, є його передня панель. Передня панель складається з елементів керування та індикаторів, які є інтерактивними вхідними та вихідними терміналами віртуального приладу, відповідно. Елементи управління (controls) - це кнопки, перемикачі та інші входи пристрою. Індикатори (indicators) - це графіки, лампочки та інші елементи відображення. Елементи управління імітують вхідні елементи приладу і передають дані на блок-діаграму віртуального прилада. Індикатори імітують вихідні елементи приладу і відображають дані, які отримує або генерує блок-діаграма. До об'єктів блок-діаграми відносяться термінали, функції, константи, структури, а також провідники, що передають дані між об'єктами.

Термінали являють собою елементи управління або індикатори. Термінали є вхідними та вихідними портами, через які йде обмін інформацією між передньою панеллю та блок-діаграмою.

Програма LabView називається і є віртуальним приладом (англ. Virtual Instrument) і складається з двох частин:

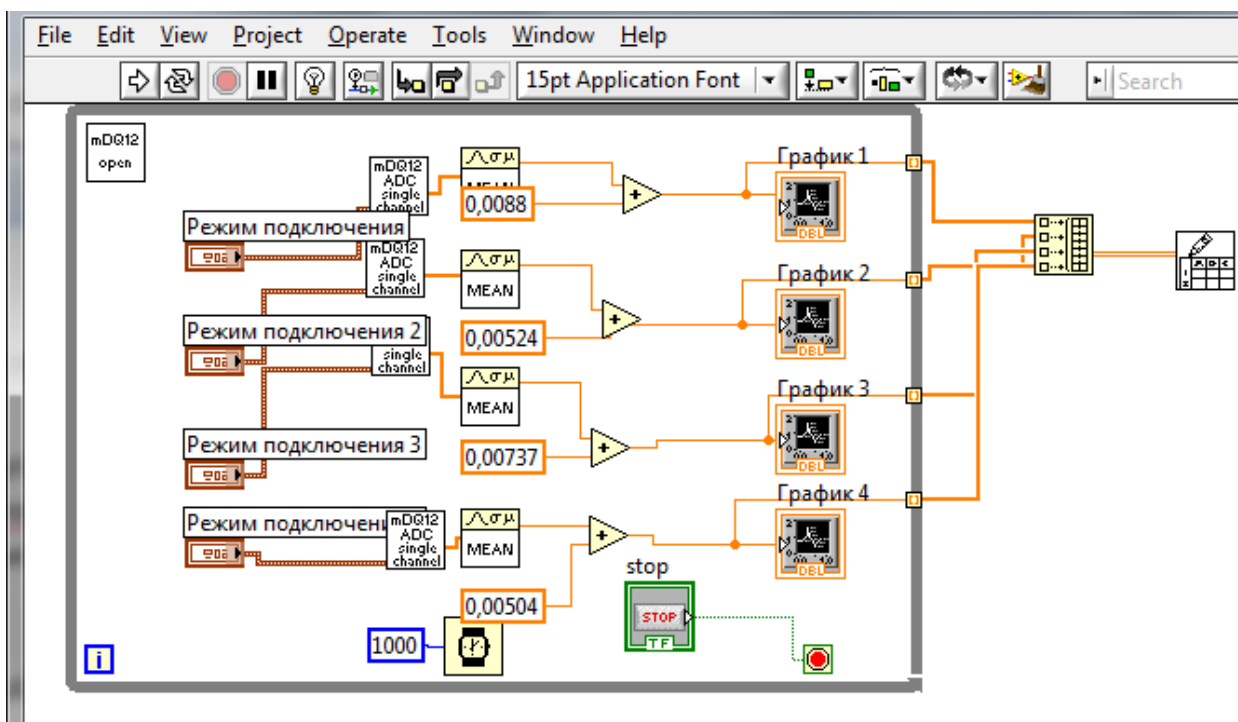
- блокової діаграми, яка описує логіку роботи віртуального приладу;
- лицьовій панелі, яка описує зовнішній інтерфейс віртуального приладу.

Лицьова панель віртуального приладу містить засоби введення-виведення: кнопки, перемикачі, світлодіоди, верньєри, шкали, інформаційні таблі і т. П. Вони використовуються людиною для управління віртуальним приладом, а також іншими віртуальними приладами для обміну даними.



(рис. 2) Лицьова панель

Блокова діаграма містить функціональні вузли, які є джерелами, приймачами і засобами обробки даних.



(рис. 3) Блокова діаграма

(Алгоритм роботи діаграми розписаний у пункті 3.5.)

3.2. Отримання комп'ютером інформації з установки

Отримання комп'ютером інформації з установки (мається на увазі вимір різних фізичних і електричних параметрів) полягає в створенні ланцюжка: первинний перетворювач - пристрій узгодження сигналу - АЦП - комп'ютер.

Для перетворення сигналів з однієї форми в іншу використовуються аналого-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП).

Аналоговий сигнал - безперервний або дискретний у часі сигнал, амплітуда якого може безперервно змінюватися від найменшого до найбільшого.

Цифровий сигнал - безперервний або дискретний у часі сигнал, амплітуда якого може приймати кінцеве число значень від найменшого до найбільшого меж. Дані значення можуть бути представлені в числовій формі, зручній для цифрової обробки сигналів, наприклад у вигляді послідовності бітів 0 і 1.

Інтегральні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) випускаються вже понад 30 років. За цей час розроблені та виготовлені сотні моделей АЦП, що відрізняються точністю, швидкодією, споживанням енергії і ціною.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) - один з найбільш важливих електронних компонентів в вимірювальному і тестовому обладнанні. АЦП перетворює напругу (аналоговий сигнал) в код, над яким мікропроцесор і програмне забезпечення виконують певні дії.

На сьогоднішній день найбільш перспективними та зручними є сенсорні системи, засновані на компактних цифрових пристроях - мікроконтролерах, обладнаних вбудованими АЦП. Комплекс складається з датчиків, чутливих до легких летких сполук та датчиків параметрів навколишнього середовища, мікроконтролерів управління та попередньої обробки сигналів, а також мікроконтролера зв'язку. Мікроконтролер перевіряє яскравість освітлення пластини датчика в заданому діапазоні інтенсивності.

В якості ЦАП/АЦП перетворювача було використано мікросистеми збору даних m-DAQ14, яка призначена для введення / виведення аналогових і дискретних сигналів. Мікросистема може бути застосована як в складі мобільних вимірювальних комплексів, так і в лабораторних або промислових умовах.

m-DAQ14 є багатофункціональним вимірювальним модулем, під'єднується до ПК через USB-інтерфейс (USB 2.0 HighSpeed). підключення сигналів здійснюється через роз'єм, розташований на бічній стінці модуля.

m-DAQ14 виконана у вигляді модуля в компактному корпусі з АВС-пластика, підключення до зовнішніх пристроїв здійснюється через роз'єм DB25. Для підключення до зовнішніх пристроїв в ній використовується дворядний штирьовий з'єднувач типу IDC-26.



(рис. 4) Мікросистема збору даних

Технічні характеристики аналогових каналів ЦАП m-DAQ14:

- Кількість аналогових виходів: 2
- Розрядність ЦАП: 12 біт
- Час встановлення: 10 мкс
- Вихідний діапазон: 0..5 В, 0..10 В, 0..10.8 В, ± 5 В, ± 10 В, ± 10.8 В
- Опір навантаження: не менше 2 кОм
- Максимальний струм навантаження: ± 5 мА

Технічні характеристики аналогових каналів АЦП m-DAQ14:

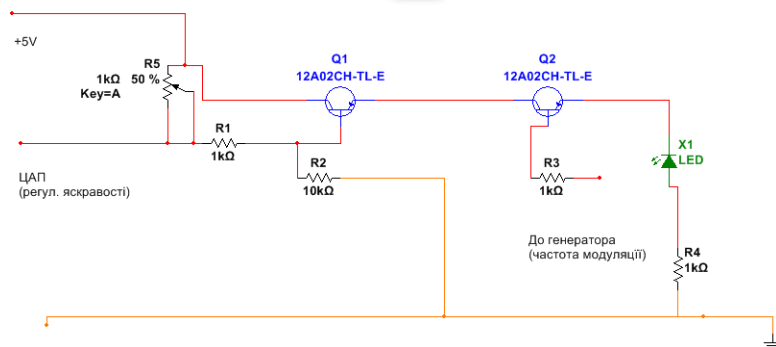
- Кількість аналогових входів: 4 диференціальних каналу або 8 однопровідні каналів із загальною землею
- Вхідний діапазон: $\pm 10\text{ В}$, $\pm 5\text{ В}$, $\pm 2.5\text{ В}$, $\pm 1.25\text{ В}$
- Граничне вхідна напруга: $\pm 15\text{ В}$ відносно AGND
- Граничне вхідна напруга при відключеному харчуванні модуля: $\pm 10\text{ В}$ відносно AGND
- Розрядність АЦП: 14 біт
- Диференціальна нелінійність

3.3. Комп'ютерне моделювання

Була змодельована схема блоку живлення мультисенсорної плати:

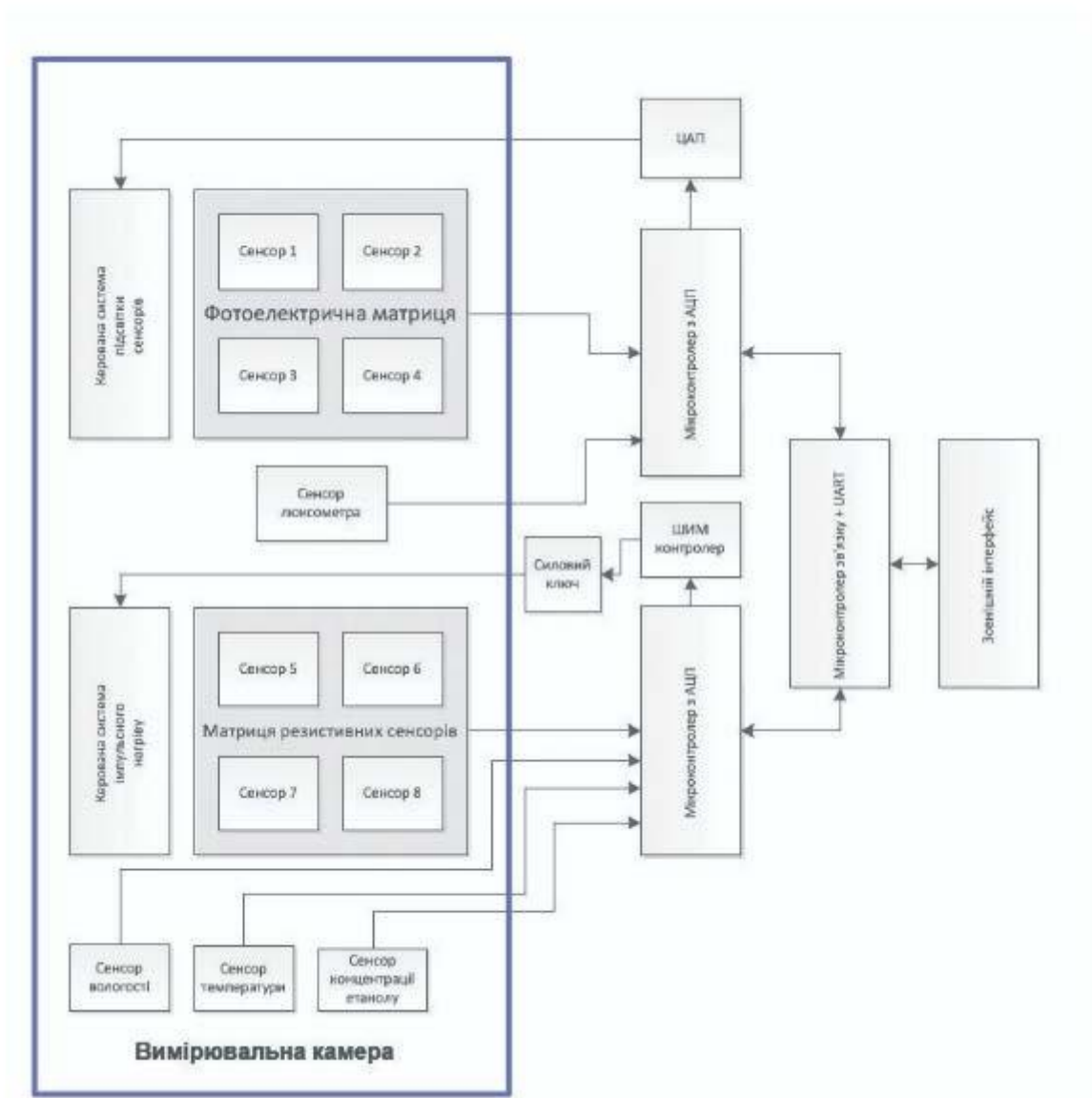


(рис. 5)

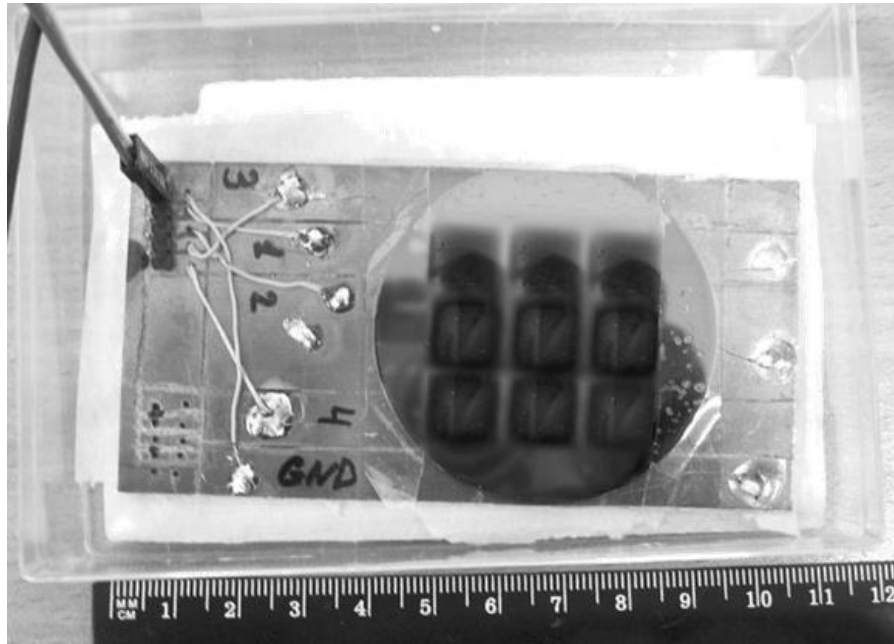


(рис. 6) Схема регулювання яскравістю освітлення сенсора

Також було змодульовано та виготовлено схему підключення мультисенсорів до ЦАП/АЦП:



(рис. 7) схема підключення мультисенсорів



(рис. 8) Вигляд плати мультисенсорної системи на основі кремнієвих структур

В наш час найбільш перспективними та зручними є сенсорні системи на базі компактних цифрових пристроїв - мікроконтролерів, обладнаних вбудованими АЦП. Комплекс складається з датчиків, чутливих до легких летких сполук та датчиків параметрів навколишнього середовища, мікроконтролерів управління та попередньої обробки сигналів, а також мікроконтролера зв'язку. Мікроконтролер перевіряє яскравість освітлення пластини датчика в заданому діапазоні інтенсивності. Значення яскравості отримують від датчика освітленості. Співвідношення яскравості та відповідні фотовідповіді різних зразків зберігаються нейронною мережею. Мікроконтролери ADC перетворюють сигнали аналогових датчиків у цифрові, виконують корекцію та нормалізацію сигналу, керують режимами підсвічування датчика з оптичним відтворенням та зміною режимів вимірювання температури. Мікроконтролер зв'язку отримує дані від мікроконтролерів ADC і обробляє дані відповідно до алгоритмів, реалізованих штучною нейронною мережею. Крім того, може бути реалізовано програмне та апаратне шифрування накопичених даних .

При використанні 4-канального бар'єрного датчика напруга зміщення має подаватися до рп-переходів. Фотострум визначається швидкістю поверхневої рекомбінації носіїв заряду. Кожен канал має різну чутливість до аналітів.

3.4. Використані можливості LabView

Структури - це елементи управління виконанням програми, такі як структура вибору Case, цикл For або цикл While.

Функції - вбудовані елементи, які можна порівняти з операторами або функціями у текстових мовах програмування. LabVIEW має такі вбудовані функції:

1. Числові (Numeric) функції використовуються для виконання арифметичних, тригонометричних, логарифмічних і комплексних математичних операцій над числами і для перетворення чисел з одного типу даних в інший.

2. Логічні (Boolean) функції використовуються для виконання логічних операцій над булевими величинами або масивами булевих величин, для вирішення таких задач:

- Перетворення значення TRUE в значення FALSE і навпаки.
- Визначення булевої величини, яку потрібно повертати, якщо отримані дві або більше булевих величини.
- Перетворення булевої величини в число (1 або 0).
- Виконання складних операцій над двома і більше булевими величинами.

3. Рядкові (String) функції дозволяють виконувати такі операції:

- Конкатенація (зчеплення) двох або більше рядків.
- Отримання підмножини символів з рядка.
- Пошук і заміщення символів або їх наборів в рядку.
- Перетворення числових даних в рядок.
- Форматування рядків для використання в текстових процесорах або в електронних таблицях.

4. Функції роботи з масивами (Array) дозволяють виконувати:

- Витяг окремих елементів з масиву.
- Додавання окремих елементів в масив.
- Розбиття масиву на його окремі елементи.

5. Кластерні (Cluster) функції використовуються для створення кластерів та маніпуляції з ними при вирішенні таких завдань як:

- Витяг окремих елементів з кластера.
- Додавання окремих елементів в кластер.
- Розбиття кластера на його окремі елементи.

6. Функції порівняння (Comparison) використовуються для порівняння булевих величин, рядків, чисел, масивів і кластерів.

7. Часові (Time) і Діалогові (Dialog) функції дозволяють виконувати такі операції:

- Розрахунок швидкості виконання операцій.
- Витяг інформації про час і дату з годинника комп'ютера.
- Створення діалогових вікон для видачі користувачам інструкцій.

8. Функції файлового введення/виводу (File I/O) використовуються для:

- Відкриття та закриття файлів.
- Читання з файлу і запис у файл.
- Створення директорій і файлів.
- Витяг інформації про директорії.
- Запис рядків, масивів і кластерів в файл.

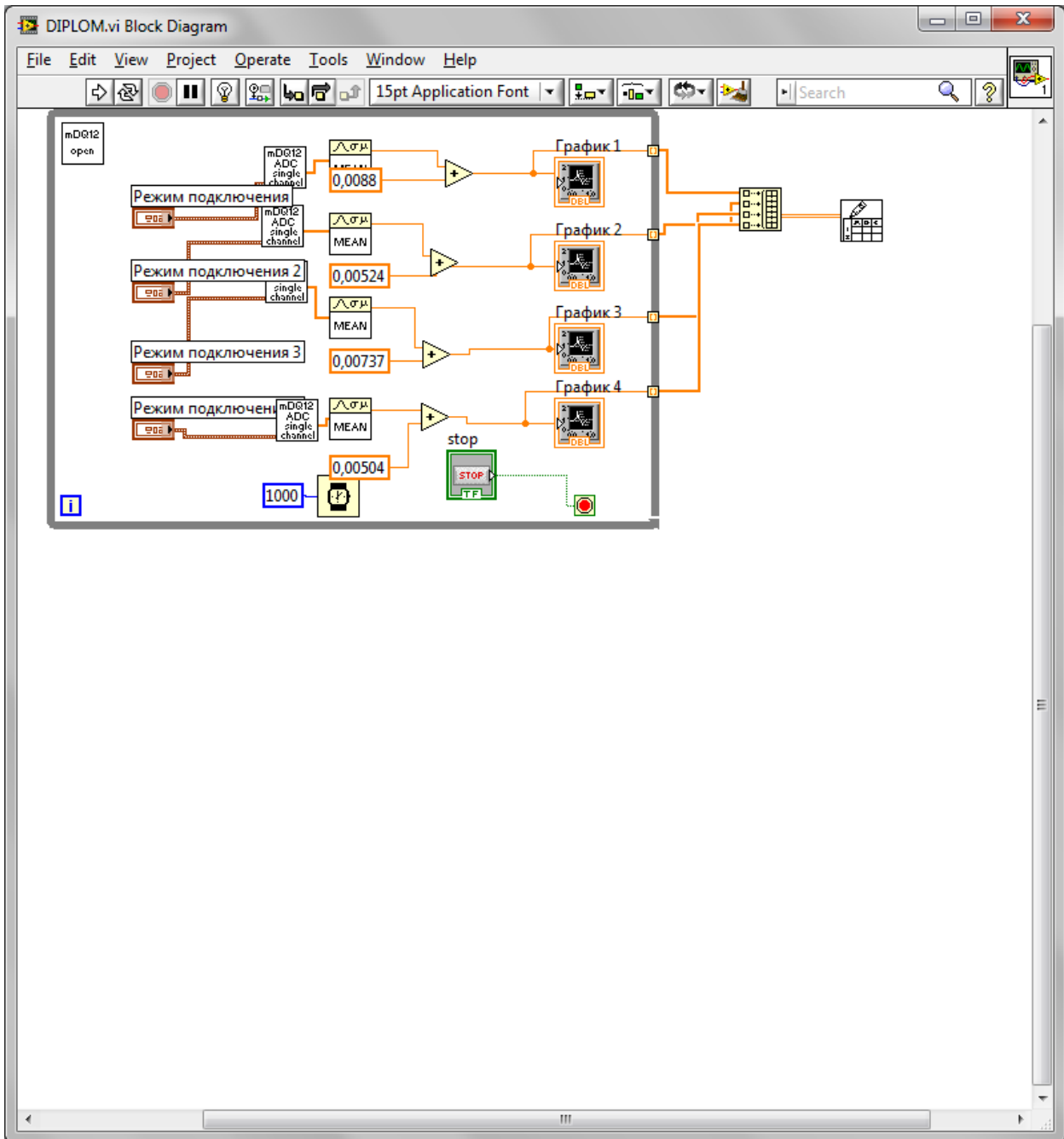
9. Функції для роботи з осцилограмами (Waveform):

- Побудова осциллограмм.
- Витяг окремих елементів даних з осцилограми.
- Редагування окремих елементів осцилограми.

10. Додаткові (Advanced) функції використовуються для виклику програмного коду з бібліотек, таких як динамічні бібліотеки (dynamic link libraries), для маніпулювання даними LabVIEW і використання їх в інших додатках, для створення і маніпуляції реєстраційними ключами Windows і для виклику фрагментів коду на текстових мовах програмування.

Провідники (wires) служать для передачі даних між об'єктами блок-діаграми. Кожен провідник має єдине джерело даних, але його можна з'єднати з багатьма віртуальними приладами і

функціями, які читають ці дані. Сегмент (segment) провідника це одна горизонтальна або вертикальна частина провідника. Вигин (bend) провідника - це місце, де зливаються два сегмента. Точка, в якій два або більше сегмента зливаються - це з'єднання (junction). Одна гілка (branch) провідника містить всі сегменти провідника від з'єднання до з'єднання, від терміналу до з'єднання або від терміналу до терміналу, якщо між ними немає з'єднань.



(рис. 9) Блок діаграма робочої програми.

3.6. Вимоги до технічного обладнання та пакетів програм

1. Наявність ПК з операційною системою Windows XP/7.
2. Пакет програм LabVIEW2010 32-бітна версія (з іншими версіями може бути необхідна оптимізація наявної структури програми).
3. Мікросистема збору даних m-DAQ 12/14 з набором девайсів від виробника (компакт диск з інструкцією та необхідними бібліотеками, шнури для з'єднання елементів між собою).
4. Затемнене середовище для розміщення сенсорів для уникнення впливу зовнішнього освітлення (можливе використання модульованого світла).

4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

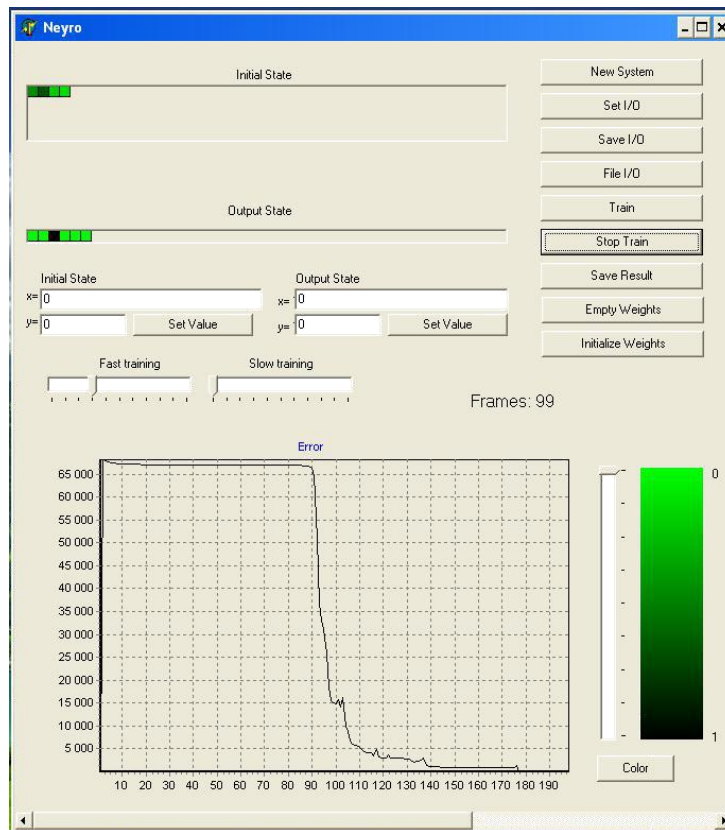
4.1. Нейронні мережі

В даний час штучні нейронні мережі використовуються в багатьох галузях науки і техніки. Вони є потужними інструментами для вирішення складних задач, відповіді яких не очевидні і не можуть бути визначені класичними математичними алгоритмами. З моменту впровадження алгоритму зворотного розповсюдження все частіше використовуються нейронні мережі. Вивчення розпізнавання відбитків пальців з використанням мультисенсорних даних є сферою, де необхідний швидкий технологічний розвиток системи збору даних, які є кількісними показниками якості життя людини. Значення залежної змінної можна більш точно передбачити, якщо при прогнозуванні враховувати лише важливі особливості вина, але не всі особливості. У цьому випадку була застосована лінійна регресія для визначення залежності якості вина від різних 11 фізико-хімічних характеристик.

Електронні сенсорні системи з низькою точністю використовувались для розпізнавання образів та вибіркості. Штучні нейронні мережі також можна ефективно використовувати для підвищення селективності напівпровідникових сенсорних систем.

Park, J., Jang, K., Yang, S.-B. : Глибокі нейронні мережі для розпізнавання активності з мультидані датчиків у розумному будинку. У: 2018 IEEE IV Всесвітній форум з Інтернетуречей (WF-IoT). С. 155–160. IEEE, Сінгапур (2018). <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2018.8355147>.

Отже, створення багатокомпонентних газоаналізаторів на основі нейронних мереж, які забезпечують одночасний кількісний аналіз для визначення концентрацій компонентів, підвищення селективності та зниження чутливості до факторів навколишнього середовища, є і залишаються актуальними технічними проблемами аналітичної хімії.



(рис.10) Інтерфейс програми

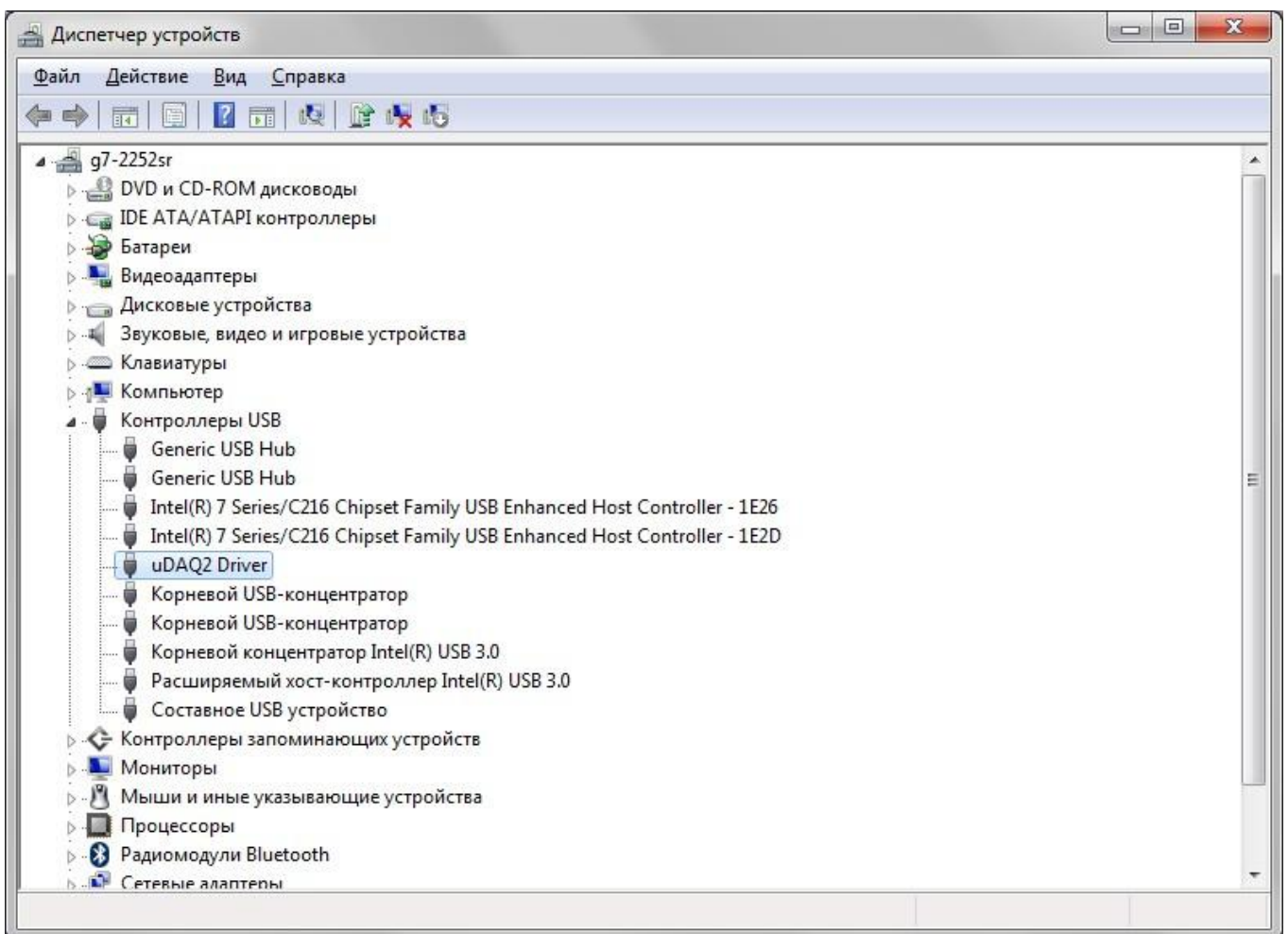
Кнопка «Нова система» дозволяє користувачеві налаштувати нейронну мережу. Під час конфігурації можна вказати кількість вхідних, вихідних нейронів та кількість нейронів у кожному з 3 проміжних шарів. Кнопки “Set I / O”, “Save I / O”, “Set Value” і “File I / O” визначають вхідні вектори вхідних і вихідних нейронів (кадрів). Процес навчання нейронної мережі починається з кнопки «Тренувати». Кнопка Порожні ваги встановлює вагу тренування W_{ij} у початкове, випадкове положення. Кнопка “Ініціалізувати ваги” змінює масштаби навчання та виходить із системи з точки локальної мінімальної помилки.

Значення вхідних і вихідних нейронів у кадрі представлені вгорі ліворуч у вигляді матриці прямокутників. Колір прямокутників визначається значенням відповідних нейронів. Шкала для узгодження (та зміни) кольору та значення нейронів показана внизу праворуч

Park, J., Jang, K., Yang, S.-B. : Глибокі нейронні мережі для розпізнавання активності з мультимедійних датчиків у розумному будинку. У: 2018 IEEE IV Всесвітній форум з Інтернетуречей (WF-IoT). С. 155–160. IEEE, Сінгапур (2018). <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2018.8355147>.

4.2. Підготовка до проведення вимірів

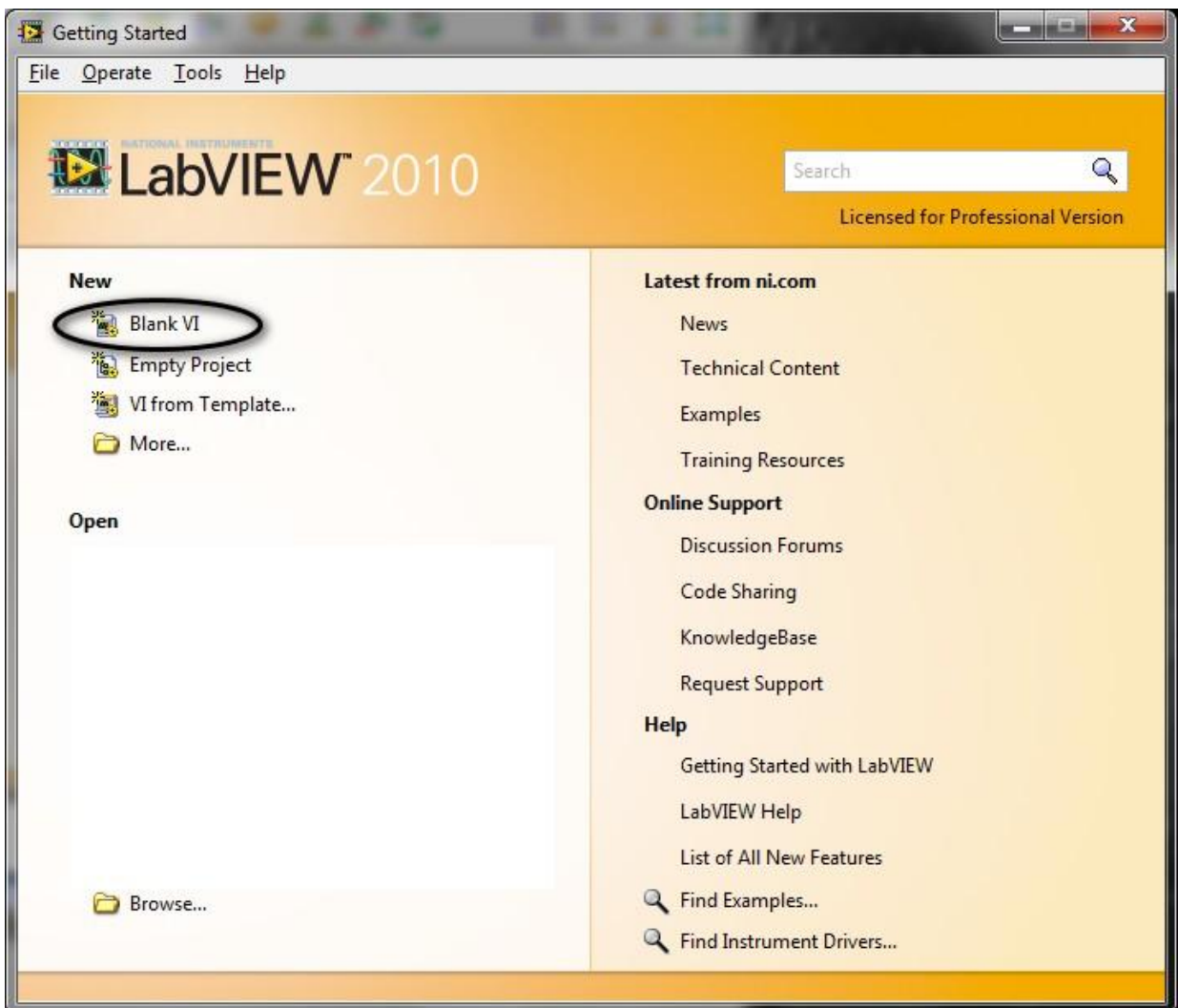
1. Під'єднати ПК до джерела живлення;
2. Увімкнути ПК;
3. Провести інсталяцію програми графічного програмування LabVIEW;
4. Вставити компакт диск з інсталяційними файлами в привід для читання дисків;
5. Перейти у папку DRIVERS-2017;
6. Встановити драйвери на ПК;
7. Підключити мікросистему збору даних до ПК;
8. Перевірити підключення m-DAQ 14:
 - при успішному підключенні до ПК на мікросистемі запалюється червоний індикатор
 - перевірити підключення у Device Manager:



(рис.11) File Manager

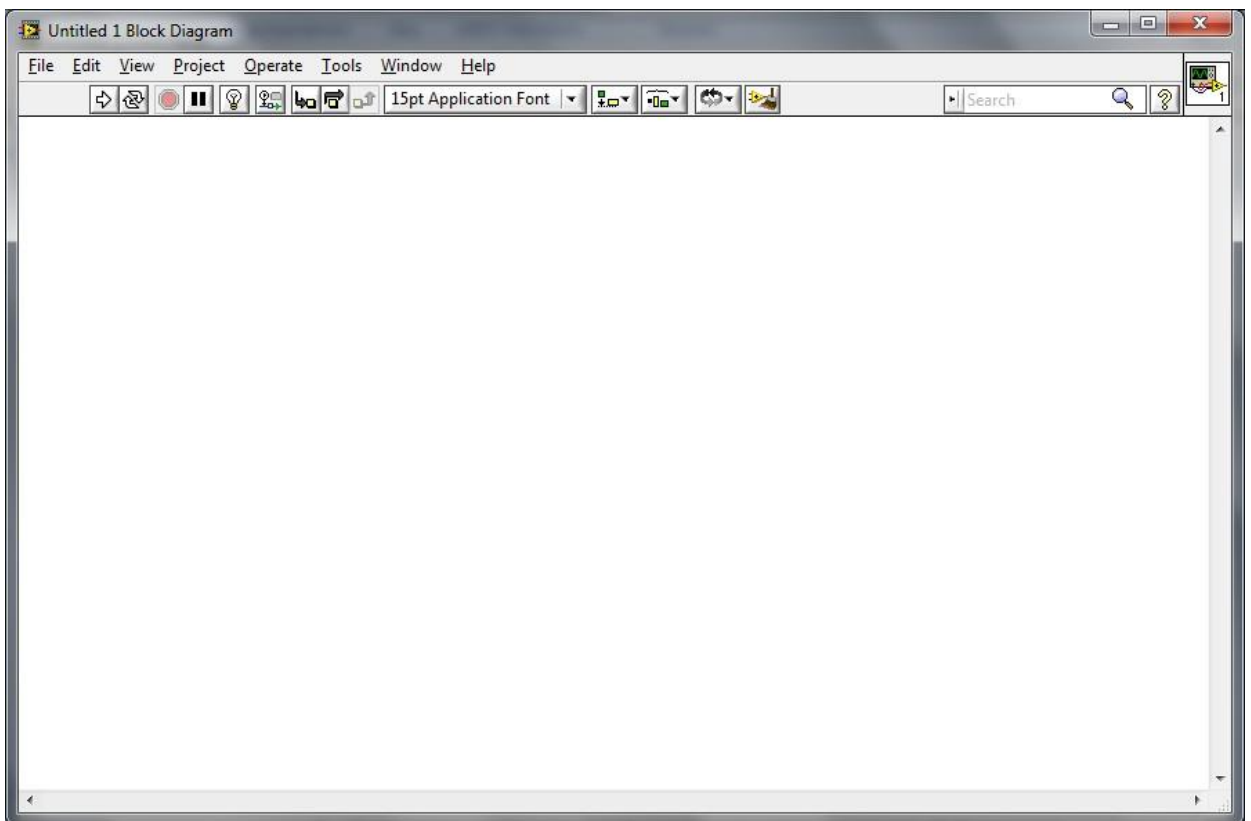
4.3. Алгоритм створення програми

1. Відкрити LabVIEW
2. Створити новий бланк



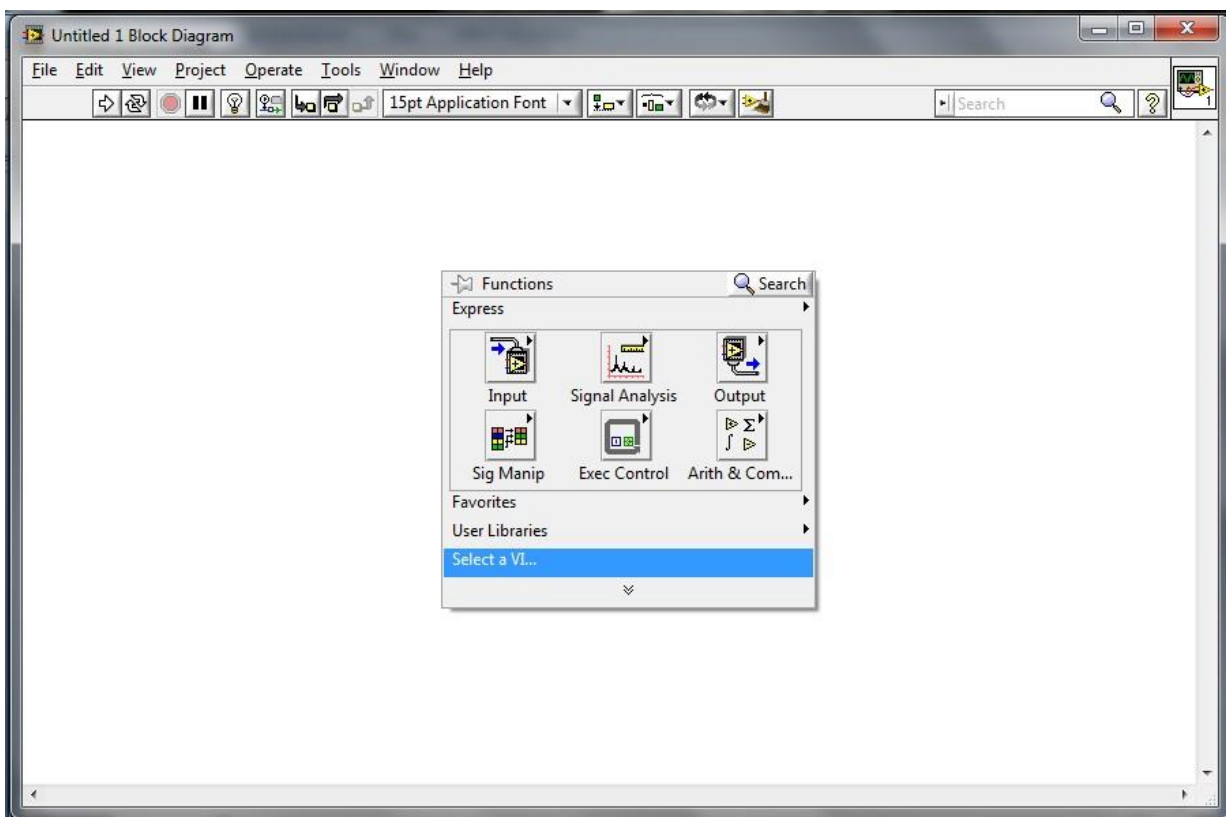
(рис.12)

3. Перейти до block diagram window



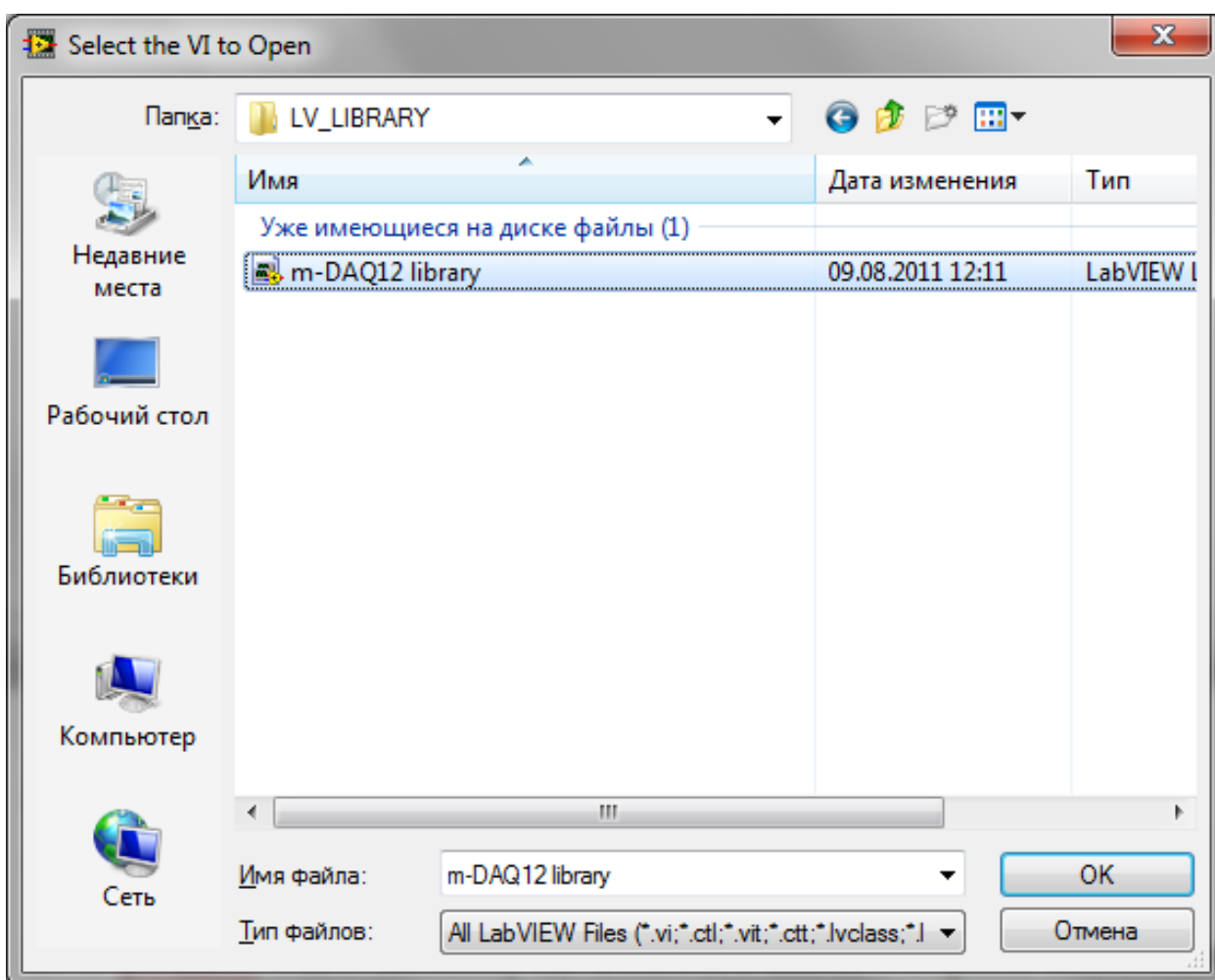
(рис.13)

4. Натиснути правою кнопкою миши і вибрати "select a vi"



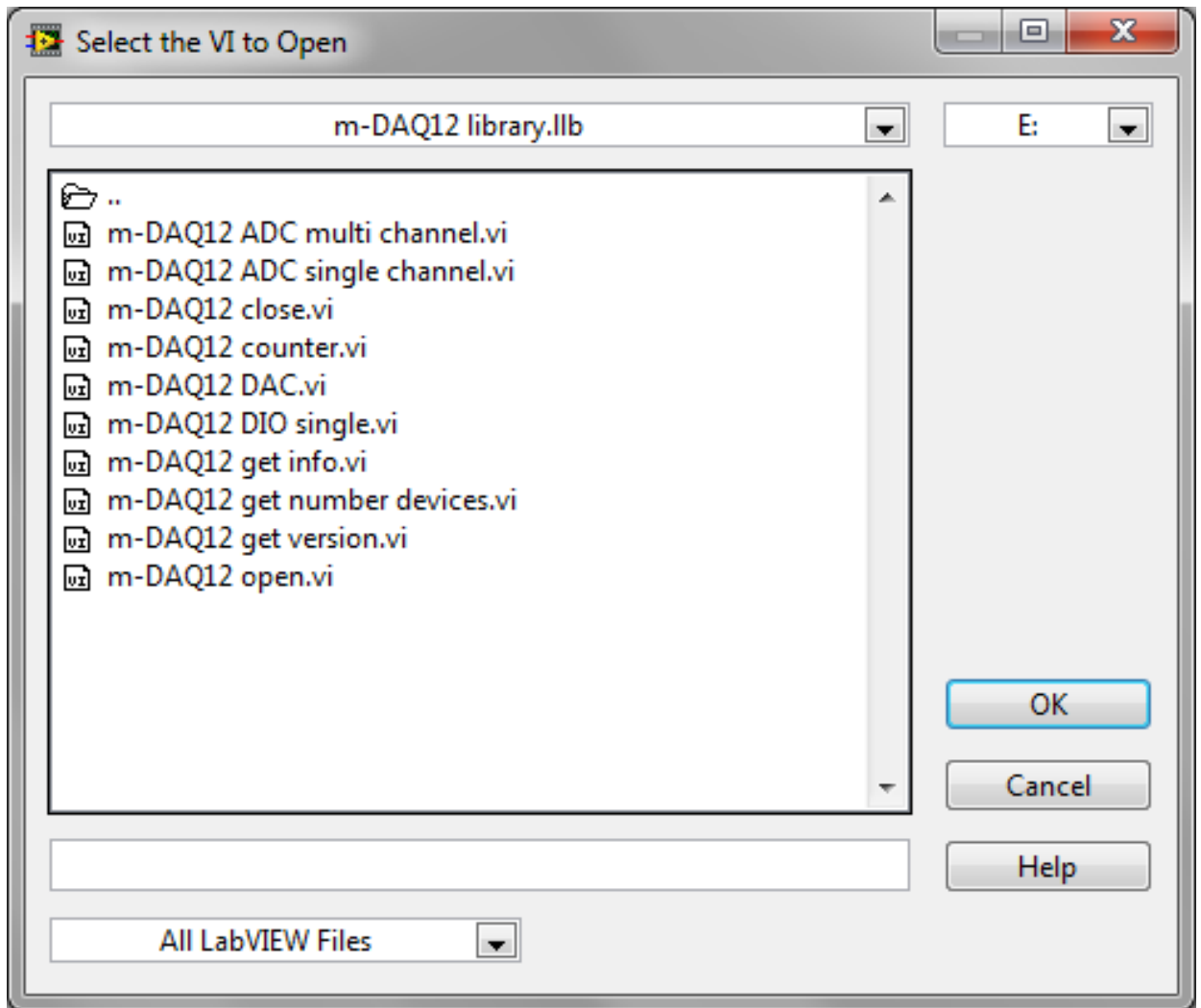
(рис.14)

5. Перейти до папки LV_LIBRARY на інсталяційному диску і обрати "m-DAQ 12 library"



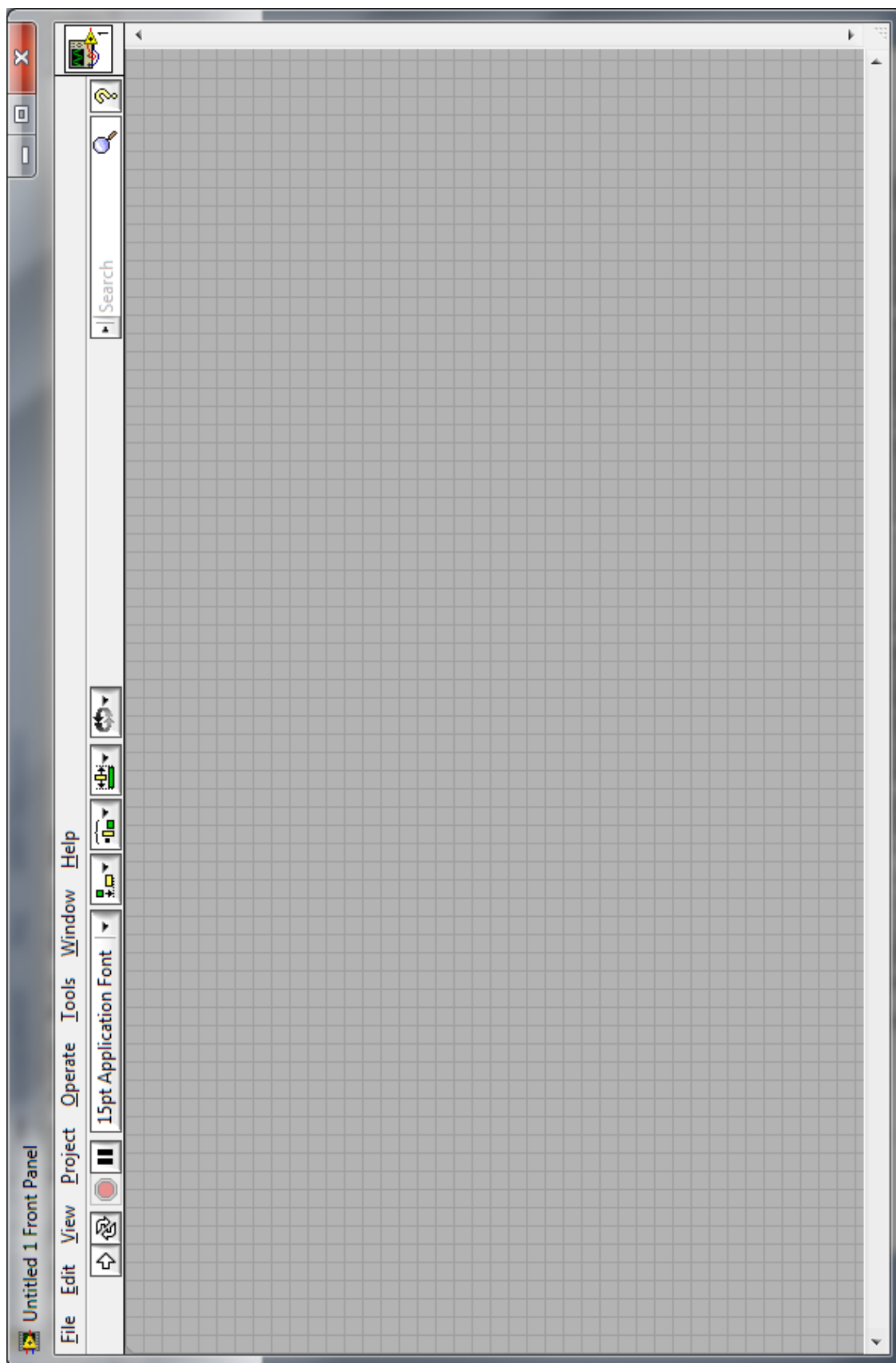
(рис.15)

6. У віконці вибрати необхідні для певної задачі бібліотеки



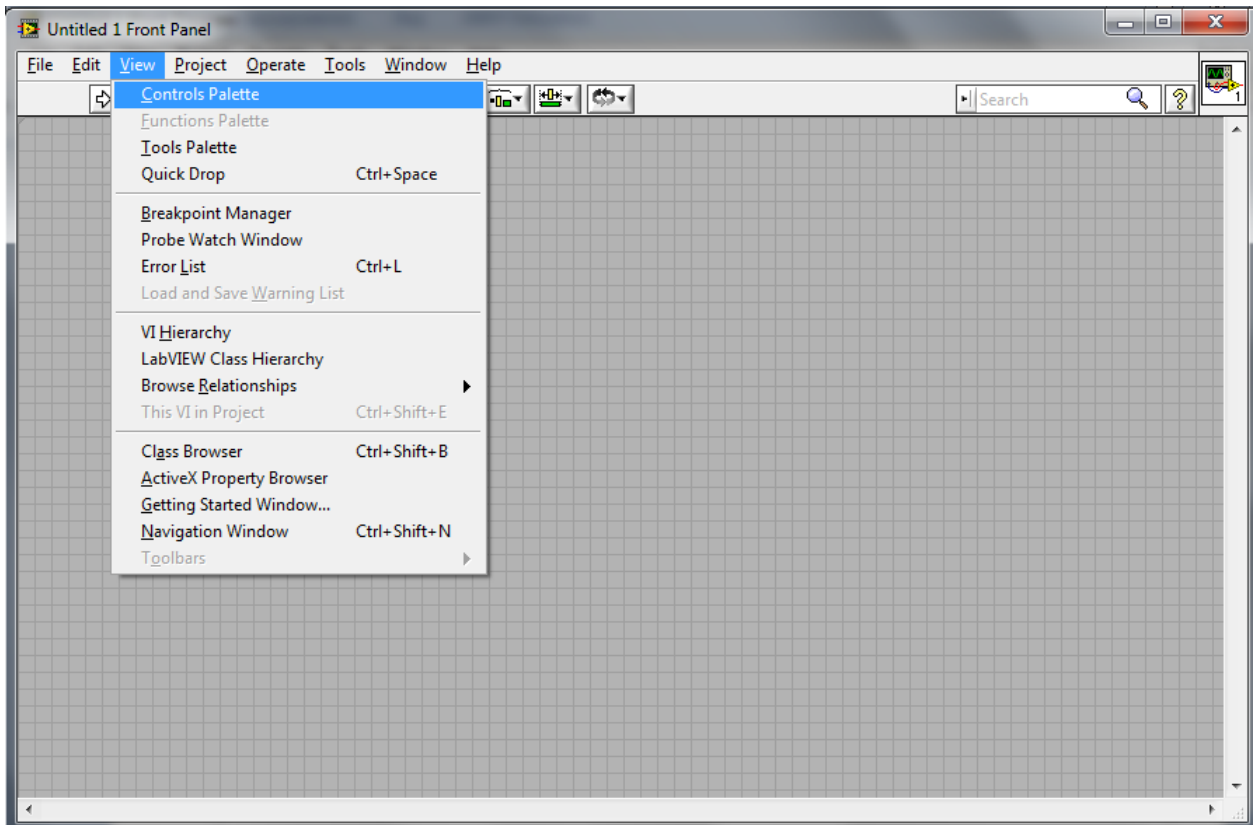
(рис.16)

7. Перейти до "Front Panel Window" у LabVIEW



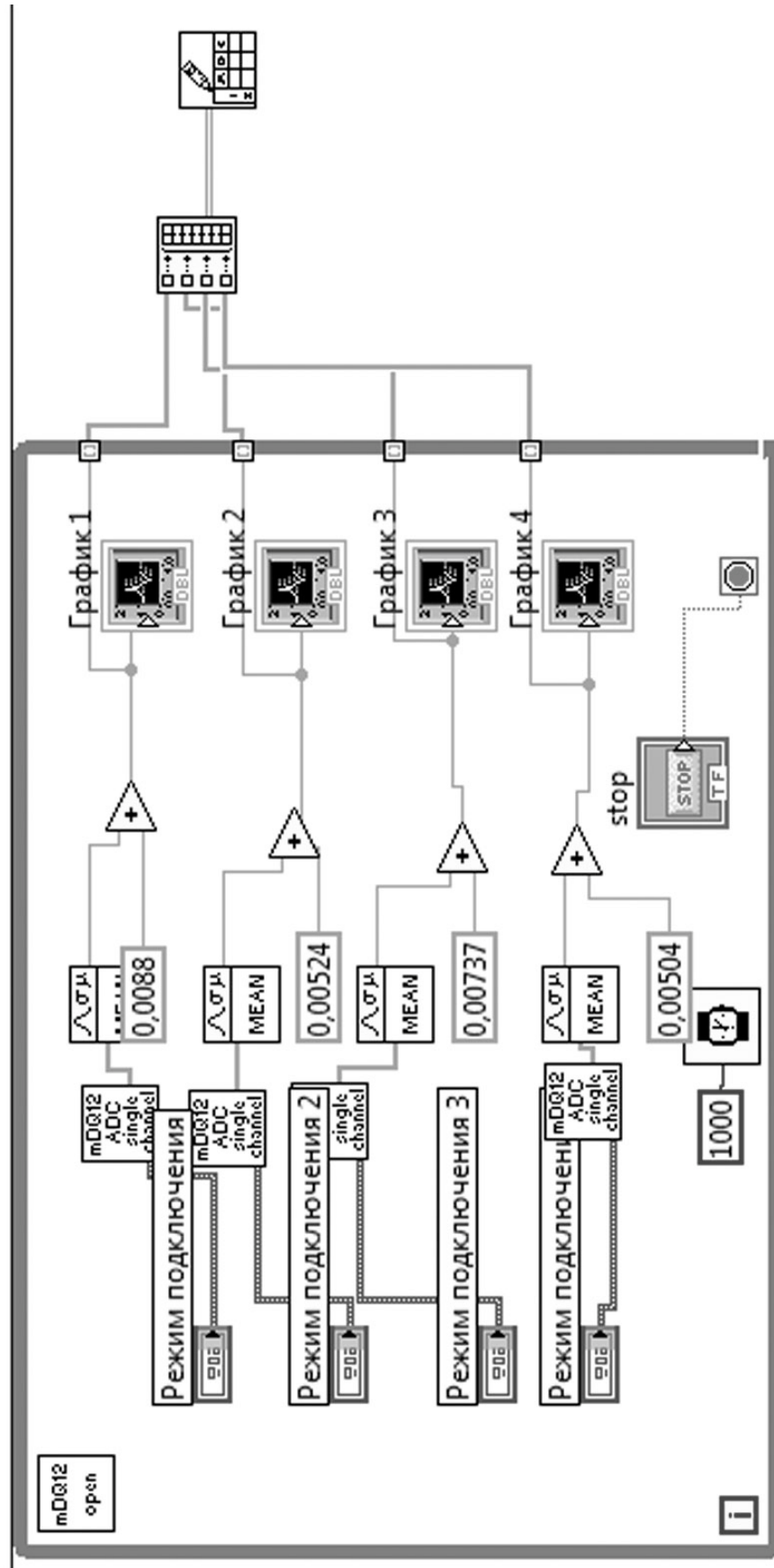
(рис.17)

8. У розділі View натиснути Control Palette і обрати необхідні компоненти керування та індикатори



(рис.18)

9. З'єднати необхідні компоненти програми між собою



(рис.19)

10. Після завершення написання запустити програму:

- кнопка run для одноразового проходження циклу програми



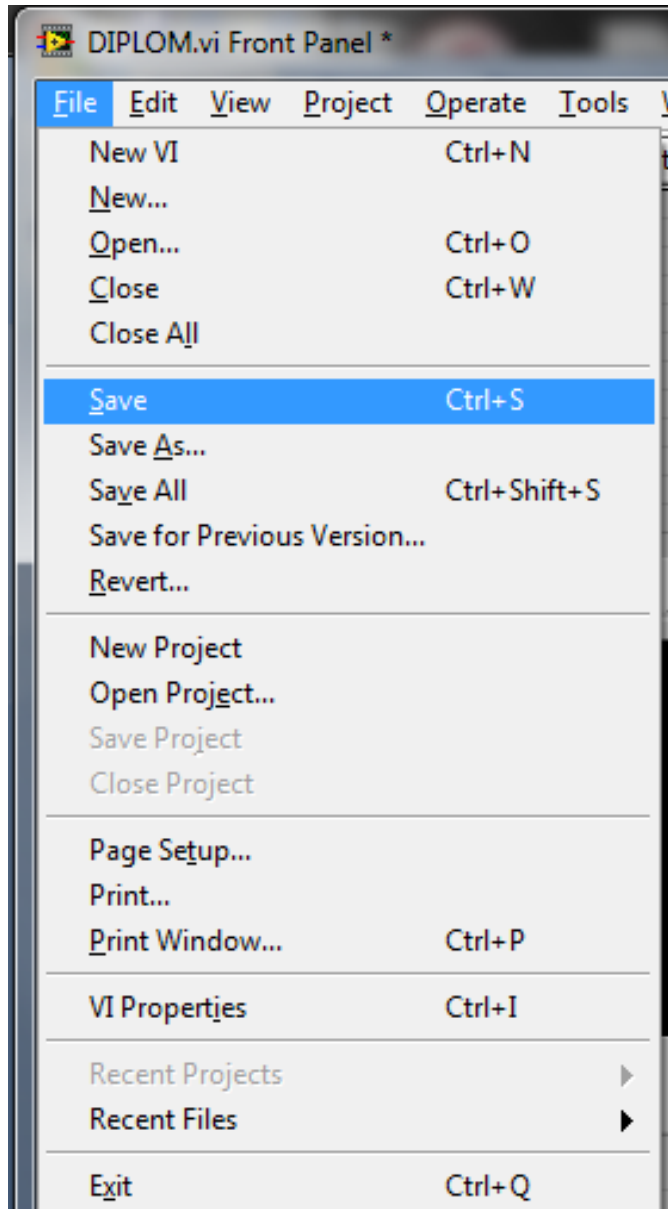
(рис.20)

- кнопка run continuously для нескінченного пробігу циклу програми

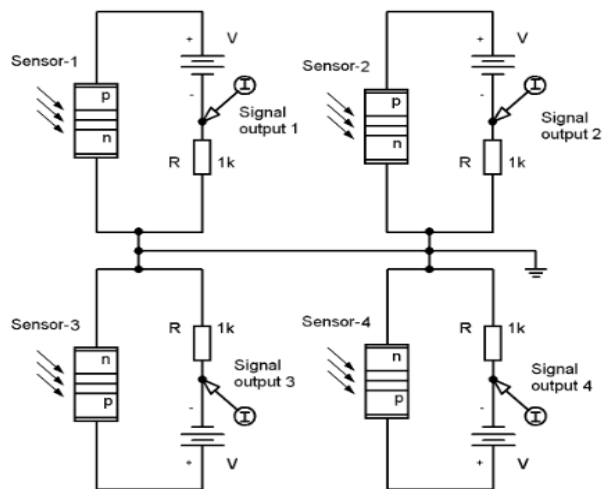


(рис.21)

11. Зберегти результати кнопкою Save



(рис.22)



(рис 23.) Еквівалентна схема 4-канального датчика з np-переходом

4.4. Алгоритм роботи програми

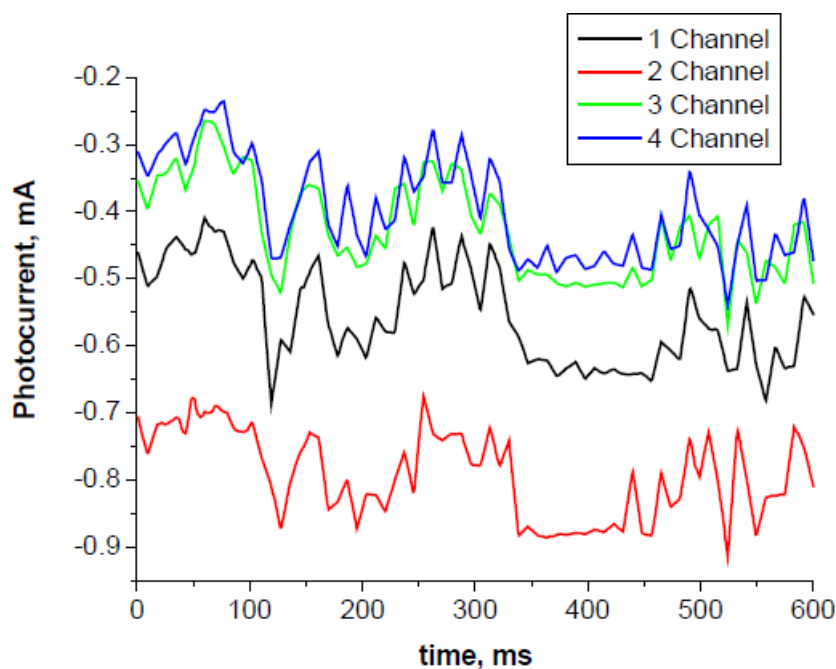
1. Програма ініціалізує мікросистему збору даних;
2. Користувач обирає режим підключення сенсорів (необхідно обрати певну послідовність каналів від "0" до "3");
3. Програма зчитує сигнал з кожного сенсора;
4. Сигнал усереднюється;
5. Від усередненого сигналу віднімається значення "темного" фотоструму для підвищення точності отриманих в ході виконання роботи даних;
6. Будується графік (з урахуванням усіх вищенаписаних нюансів);
7. Створюється масив с усіма отриманими в ході експерименту даними;
8. Збереження масиву даних у файл.

(При необхідності можливе збереження у файл кожного сигналу окремо)

4.5. Експериментальна частина

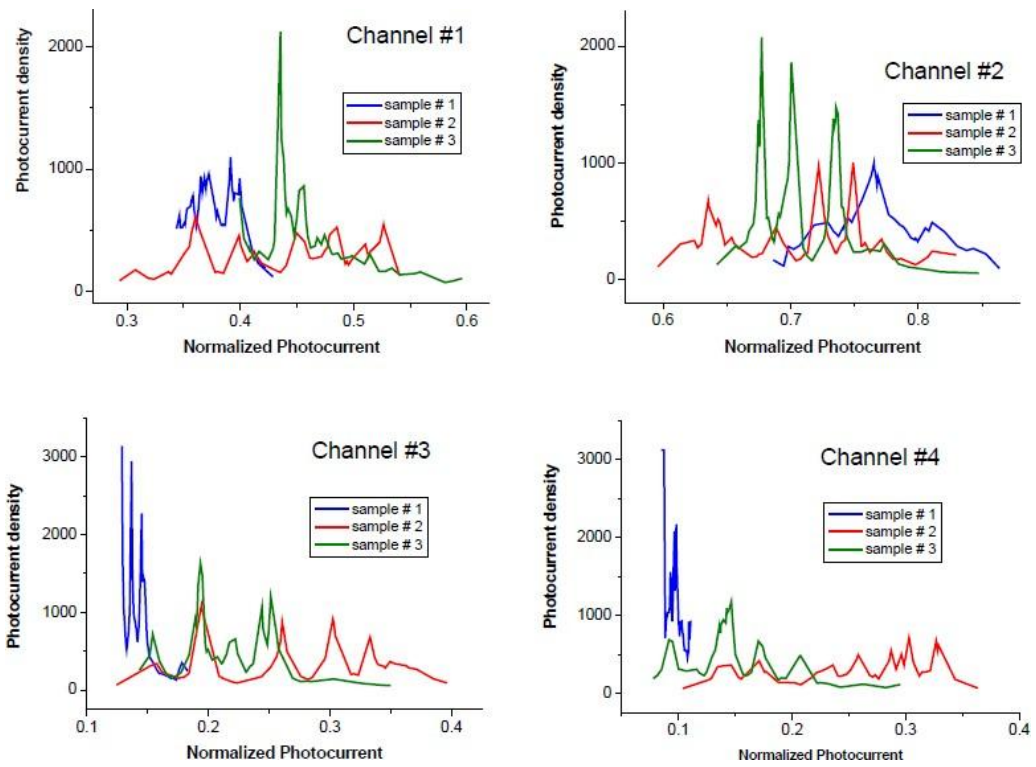
Були проведені експерименти з набором речовин легких спиртових сполук.

Випаровування речовин було вище датчиків електронного носа. Датчики висвітлювали падаюче світло заданої інтенсивності. Результати вимірювань фотоструму за допомогою 4 електронних датчиків носа наведені на рис. 24



(рис.24.) Результати вимірювань фотоструму (зразок №1).

Щільність струмів, передана у вибірку для вимірювання, показана на осі У, рис.25. Фотоструми з різних каналів відображаються різними кольорами. Як видно з рис. 25., значення на датчиках з різних каналів перекриваються

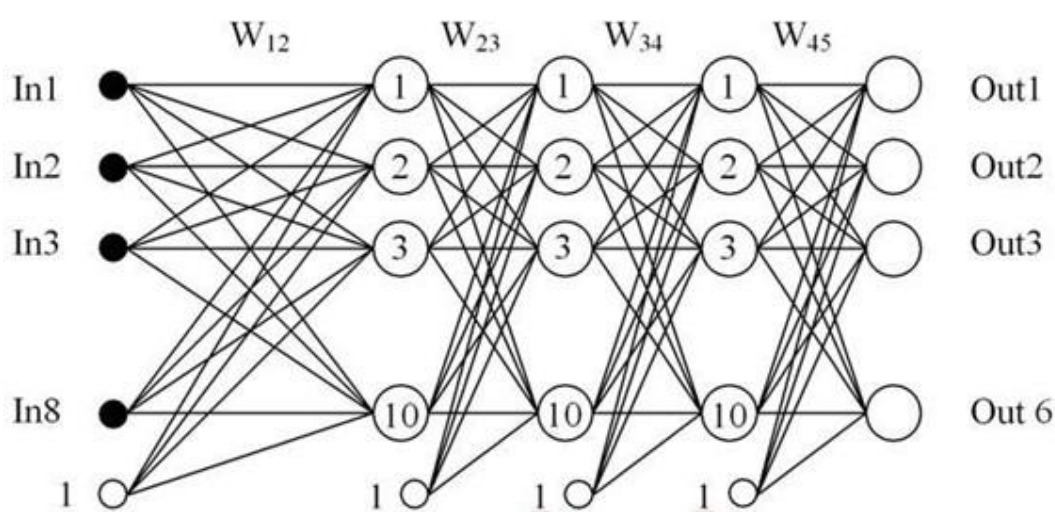


(рис.25.) Вибірка результатів вимірювання щільності датчика.

4.6. Впровадження програмного забезпечення

Під час вимірювань різних зразків виявилось, що результати датчиків для відповідних зразків мають подібні значення. Очікуваної кореляції датчиків із зразками досліджуваних речовин (коньяків) не спостерігалось. Очевидно, що за таких умов доцільно використовувати штучну нейронну мережу для класифікації речовин. Вибрано багатошарову, повністю підключену архітектуру нейромережі прямого зв'язку. Штучна нейронна мережа отримує набори значень змінних, зокрема значення еквівалентних концентрацій компонентів суміші летких сполук з оптичних та резистивних сенсорних матриць. Нормовані значення концентрацій компонентів летких сполук розраховуються для кожного набору вхідних змінних. Значення залежать від нормованих вихідних сигналів датчиків.

Нейронна мережа складається з 8 вхідних нейронів. Вхідні сигнали були нормалізовані до 1 і відображали 4 канали фотострумів від електронних датчиків носа. Нейронна мережа містить три приховані шари, кожен з яких має 10 нейронів. Вихідний шар має 6 нейронів. Структура нейронної мережі представлена на рис. 6. Ця штучна мережа дозволяє збільшити необхідну кількість нейронів у шарах.



(рис.26.) Багатошарова пряма штучна нейронна мережа.

В роботі використана середньоквадратична цільова функція:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [\varphi_W(x^{(i)}) - y^{(i)}]^2$$

де N кількість пар вхідних та вихідних векторів (кадрів) в навчальній виборці;

$x^{(i)}, y^{(i)}$ пара вхідних та вихідних векторів; φ_W апроксимуюча функція.

В якості функції активації була обрана сигмоїдна крива.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Навчання штучної нейронної мережі проводилося методом навчання з викладачем. Для визначення мінімуму функції помилки був використаний метод зворотного розповсюдження в алгоритмі стохастичного градієнтного спуску

5. Результати вимірів

Експеримент проводили на трьох речовинах-зразках. Для кожної речовини було виконано 51 вимірювання фотоструму, і, отже, було проведено 153 вимірювання фотоструму з трьох зразків; надалі ці вимірювання називаються кадрами. Вплив часу та вплив історії вимірювань від датчиків на поточний результат вимірювання не враховувались. Вибірку з 99 кадрів було вибрано випадковим чином із 153 кадрів, по 33 кадри з кожної вибірки для навчання нейронної мережі. Решта 54 кадри, по 16 кадрів з кожного зразка, залишаються в якості елементів управління для перевірки роботи вже навченої нейронної мережі.

Нейромережа тренувалася близько 200 епох, після чого загальна похибка була менше $\epsilon = 0,01$, що було визнано позитивним результатом. Після навчання система тестувалася на контрольних рамах. Тест дав 98% правильних результатів. У 2% випадків неаутентичний запах (з показниками 50-92%) був основним, тоді як справжній запах (з показниками 8-50%) посів друге місце. Результат демонструє можливість системної помилки (через відсутність навчальних кадрів) та демонструє необхідність враховувати не лише переможців (перше місце), а й ті вихідні нейрони, які посіли друге місце.

У свою чергу, серед 98% правильних результатів 2% випадків були справжніми запахами (82-93%), тоді як неаутентичні запахи (7-18%) посідали друге місце. В решті (96%) контрольних пострілів справжній запах був безперечним лідером (понад 99% вірогідності).

Висновки

Розроблена автоматизована система для виявлення змін фотоструму в мультисенсорних системах на основі кремнію. Система може бути відкалібрована на різні напої, контролюючи освітленість датчика за допомогою мікроконтролера та програмного забезпечення. Фотоелектричні реакції напівпровідникових датчиків збільшуються, як тільки надходить пара речовини, і відновлення датчика також відбувається швидко. Розроблена система є неруйнівною, досить низькою вартістю, портативною та мобільною, має хороші перспективи щодо вартості та ефективності. Він може застосовуватися як у лабораторних роботах для студентів, так і як експериментальне обладнання.

Для навчання нейронних мереж необхідно створити та розробити спеціалізовані математичні моделі, що описують процеси трансформації в використовуваних датчиках. За допомогою нейронної мережі параметри датчиків можуть бути нормалізовані та відкалібровані для підвищення селективності та прогнозування складних інтегральних ознак у зразках спиртового розчину.

Збільшення кількості вимірювальних зразків призводить до збільшення складності нейронної мережі, а також до збільшення кількості датчиків, необхідних для точної класифікації досліджуваних речовин.

Багато речовин мають специфічний діапазон запахів, які можуть заплутати нейронну мережу та генерувати неправильний нейрон на виході, і тому правильна класифікація речовин за складовими є важливим технічним завданням.

У впровадженій багатокомпонентній аналітичній системі було визначено та сформульовано оптимальні умови визнання концентрації одноатомних фенольних сполук у спиртових розчинах.

Література

1. P. Bergveld. The impact of MOSFET-based sensors. *Sensors and Actuators* **8** (2), 109 (1985) [DOI: 10.1016/0250-6874(85)87009-8].
2. S.M. Sze. *Semiconductor Sensors* (Wiley, 1996) [ISBN: 978-0471546092].
3. L. Ristic. *Sensor Technology and Devices* (Artech House, 1994) [ISBN: 0-89006-532-2].
4. V.G. Litovchenko, T.I. Gorbanyuk, V.S. Solntsev, A.A. Evtukh. Mechanism of hydrogen, oxygen and humidity sensing by Cu/Pd-porous silicon-silicon structures. *Appl. Surf. Sci.* **234**, 262 (2004) [DOI: 10.1016/j.apsusc.2004.05.146].
5. V.G. Litovchenko, T.I. Gorbanyuk, A.A. Efremov, A.A. Evtukh, D. Schipanski. Investigation of MIS gas sensitive structures with Pd and Pd/Cu metal layers. *Sensors and Actuators A* **74**, 233 (1999) [DOI: 10.1016/S0924-4247(98)00314-8].
6. G.J. Li, X.H. Zhang, S. Kawi. Relationships between sensitivity, catalytic activity, and surface areas of SnO₂ gas sensors. *Sensors and Actuators B* **60**, 64 (1999) [DOI: 10.1016/S0925-4005(99)00245-2].
7. S. Pitcher, J.A. Thiele, H. Ren, J.F. Vetelino. Current/voltage characteristics of a semiconductor metal oxide gas sensor. *Sensors and Actuators B* **93**, 454 (2003) [DOI: 10.1016/S0925-4005(03)00166-7].
8. P. Feng, F. Shao, Y. Shi, Q. Wan. Gas sensors based on semiconducting nanowire field-effect transistors. *Sensors* **14**, 17406 (2014) [DOI: 10.3390/s140917406].
9. T. Wagner, M.J. Schoning. Chapter 5. Light-addressable potentiometric sensors (LAPS): Recent trends and applications. *Electrochemical Sensor Analysis* **49**, 87 (2007) [DOI: 10.1016/S0166-526X(06)49005-X].
10. S.V. Litvinenko, A.V. Kozinetz, V.A. Skryshevsky. Concept of photovoltaic transducer on a base of modified *p-n* junction solar cell. *Sensors and Actuators A* **224**, 30 (2015) [DOI: 10.1016/j.sna.2015.01.014].
11. O.V. Kozynets, S.V. Litvinenko. Physical properties of sensor structures on the basis of silicon – junction with interdigitated back contacts. *Ukr. J. Phys.* **57**, 1234 (2012).
12. Ю.В. Новотницкий, М.И. Синюков. *Поверхностные свойства полупроводников* (Издательство Академии наук, 1962), с. 69.
13. И.Г. Неизвестный. *Поверхностные свойства полупроводников* (Издательство Академии наук, 1962), с. 78.
14. С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (Мир, 1984).
15. A.P. Gorban, V.P. Kostylyov, A.V. Sachenko, A.A. Serba, I.O. Sokolovsky. Impact of excess charge carrier concentration on effective surface recombination velocity in silicon photovoltaic structures. *Ukr. J. Phys.* **51**, 598 (2006).
16. A.V. Саченко, О.В. Снитко. *Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников* (Наукова думка, 1984).
17. A.B. Ржанов. *Электронные свойства поверхности полупроводников* (Наука, 1971).
18. Г.П. Пека. *Физические явления на поверхности полупроводников* (Вища школа, 1984).
19. S.V. Litvinenko, D. Bielobrov, V. Lysenko, T. Nychporuk, V.A. Skryshevsky. Might silicon surface be used for electronic tongue application? *ACS Appl. Mater. Interfaces* **6**, 18440 (2014)

- [DOI: 10.1021/am5058162].
20. S.V. Litvinenko, D. Bielobrov, V. Lysenko, V.A. Skryshevsky. Optical addressing electronic tongue based on low selective photovoltaic transducer with nanoporous silicon layer. *Nanoscale Res. Lett.* **11**, 374 (2016) [DOI: 10.1186/s11671-016-1589-0].
 21. S. Litvinenko, L. Ilchenko, A. Kaminski, S. Kolenov, Laugier, E. Smirnov, V. Strikha, V. Skryshevsky. Investigation of the solar cell emitter quality by LBIC-like image techniques. *Mat. Sci. Eng. B* **71**, 238 (2000) [DOI: 10.1016/S0921-5107(99)00382-7].
 22. Пірумов А. С. АВТОМАТИЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: методичні вказівки до комп'ютерного практикуму / А. С. Пірумов, Є. П. Чвортко, М. В. Шевченко. – Київ, 2012. – 104 с.
 23. Кудрин А. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LABVIEW ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ: Электронное учебно-методическое пособие / Кудрин А.В. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 68 с.
 24. Лежин, Д. С. Автоматизация испытаний и экспериментальных исследований [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Д. С. Лежин; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (3,25 Мбайт). - Самара, 2011. О 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
 25. Бутирін П.А. Автоматизація фізичних дослідів та експериментів: комп'ютерні виміри та віртуальні прилади на основі LabVIEW 7 : [учб. посібник] / П.А. Бутирін, Т.А. Васьковська, В.В. Каратаєв, С.В. Материкін .— М. : ДМК-Прес, 2009 .— 266 с.
 26. Львова Л., Кірсанов, Д. : Редакція: Мультисенсорні системи для аналізу рідин і Газів: тенденції та розвиток. Спереду. *Хім.* **6**, 591 (2018). <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00591>.
 27. Кюперс, В., Ліберцайт, Пенсільванія: Поєднання двох принципів відбору: Сенсорні масиви, засновані як на біоміметичному розпізнаванні, так і на хемометрії. Спереду. *Хім.* **6**, 268 (2018). <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00268>.
 28. Macías, M., Manso, A., Orellana, C., Velasco, H., Caballero, R., Chamizo, J. : Порог виявлення оцтової кислоти в зразках синтетичного вина портативного електронного носа. Датчики. **13**, 208–220 (2012). <https://doi.org/10.3390/s130100208>.
 29. Waterhouse, AL, Ebeler, SE eds: Хімія смаку вина. American Chemical Society; Розповсюджено Oxford University Press, Вашингтон, округ Колумбія: [Нью-Йорк] (1998).
 30. Гафар-Заде, Е., Саван, М.: Ємнісні сенсори CMOS для застосувань лабораторії на мікросхемі: мультидисциплінарний підхід. Спрінгер, Дордрехт; Нью-Йорк (2010).
 31. Guadarrama, A., Fernández, JA, Íñiguez, M., Souto, J., de Saja, JA: Масив провідних полімерних датчиків для характеристики вин. *Analytica Chimica Acta.* **411**, 193–200 (2000). [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)00769-8](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00769-8).
 32. Литвиненко С.В., Козінець А.В., Скришевський В.А. : Поняття фотоелектричного перетворювача на основі модифікованого сонячного елемента р – n переходу. Датчики та пускачі А: Фізичні. **224**, 30–35 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.01.014>.
 33. Rumelhart, DE, McClelland, JL, California University, SD, PDP Research Group: Паралельно розподілена обробка. дослідження в мікроструктурі пізнання. (1987).

34. Park, J., Jang, K., Yang, S.-B. : Глибокі нейронні мережі для розпізнавання активності з мультимедійних датчиків у розумному будинку. У: 2018 IEEE IV Всесвітній форум з Інтернетуречей (WF-IoT). С. 155–160. IEEE, Сінгапур (2018). <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2018.8355147>.
35. Gupta, Ю.: Вибір важливих особливостей та прогнозування якості вина за допомогою методів машинного навчання. Комп'ютерні науки Procedia. 125, 305–312 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.041>.
36. Ebeler, SE: Пов'язання хімії смаку із сенсорним аналізом вина. В: Teranishi, R., Wick, EL, and Hornstein, I. (eds.) Смакова хімія. С. 409–421. Спрінгер, США, Бостон, Массачусетс (1999). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4693-1_35