

РЕФЛЕКТОМЕТР ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Багатогранність та різноманітність методів вивчення об'єктів через оптичний канал зумовило виникнення великої гами оптичних перетворювачів, датчиків та сенсорів для дослідження світлового потоку. Оптичні дослідження є центральними у сучасній сенсоріці. Це обумовлюється високою інформативністю оптичного каналу дослідження, який використовується для контролю процесів, спостереження, визначення фізичних властивостей, хімічної будови у багатьох областях. Методологічна простота оптичних методів дослідження робить їх незамінними у лабораторному аналізі, моніторингу екосистем, фармакопеї, польових експрес-аналізах та інше. Для вирішення зазначених науково-практичних задач є необхідним отримання кількісних характеристик кольору, тобто визначити його у вигляді кольорових координат однієї з систем відліку. Для проблеми хімічного аналізу вельми поширеним є метод індикаторних тест-систем, що базується на різноманітних кольорових реакціях, які проводяться на підкладках – індикаторному папері [1].

Багато аналітичних експрес-методик, що базуються на різноманітних тест системах, залишаються не достатньо точними. Частіше замість кількісного визначення можливо говорити лише тільки про якісне визначення речовини, що не є прийнятним та потребує використання додаткових більш кошторисних методів досліджень.

У природі частіш за все випромінювання від об'єктів є не монохроматичним, тобто представленим випромінюванням тільки однієї певної довжини хвилі. Юнг та Гемгольц, займаючись дослідженнями кольорового зору, запропонували, що можливість представлення любого кольору за допомогою трьох складових обумовлюється наявністю в апараті людського зору трьох кольорочутливих аналізаторів, кожний з яких відповідає за сприйняття оптичного випромінювання у певному діапазоні (червоному, зеленому та синьому). Однак визначені таким чином численні параметри суміші кольорів ніколи не будуть об'єктивними, оскільки отримані у результаті синтезу колір завжди залежить від способу змішування кольорів, від кольорів (частин оптичного діапазону), які використовуються для отримання кольору. Таким чином у спостерігача сприймання одного і того кольору може бути викликано різними шляхами – складовими оптичного спектру. Результатом є новий колір, що має свій власний спектр.

Проблема інструментальної складності метода спектрофотометричних досліджень, що є найбільш адекватним для проведення кольорових досліджень, відбивається на високій ціні цього обладнання. Прикладом високої мініатюризації спектрометричних системи може бути модульні системи, наприклад, таких фірм як OceanPhotonics [2] та Avantec [3]. Однак, навіть зразки сучасного оптичного обладнання не відбивають потреб у надкомпактних перетворювачах, що можуть бути інтегровані у аналітичні системи, що розміщуються на кристалі.

Одним з методів, що є конкурентним до спектроскопічного у визначенні кольорових координат світла, є порівняння випромінювання, що досліджується, зі зразком, що отриманий шляхом суміші трьох спектрально чистих кольорів. Іншим методом є проведення досліджень за допомогою трьох світлоперетворювачів, що мають різну спектральну чутливість.

Виміри кольорових координат випромінювання, без дослідження його спектру, проводять у колориметрах за допомогою виміру світлового потоку, що проходить через систему спеціальних світлофільтрів, які виділяють з нього червону, зелену та синю спектральні складові (для визначення кольорових координат RGB). Така конструкція значно здешевлює вартість колориметра у порівнянні зі спектрофотометром. Безумовно, це відбивається на адекватності результатів отриманих при дослідженні на рефлектометрі, відповідно це зменшує діапазон його використання. Однак, за умови проведення калібрування та побудови градуовальних характеристик можливо досягнення високих метрологічних показників та отримання точних і достовірних даних. Враховуючи той факт, що для багатьох індикаторних методів використовується у якості вимірювача людське око, якому на тлі високої чутливості прита-

манні недоліки, зокрема суб'єктивне сприйняття кольору та людський фактор, важливим є створення мініатюрної вимірювальної колориметричного приладу, що легко інтегрується до сучасної аналітичної лабораторії, та має можливість працювати і в польових дослідженнях. Це дасть змогу проводити більш достовірні вимірювання шляхом контролю параметрів освітлення зразків, які досліджуються, а також більш об'єктивно досліджувати кольорові координати на основі проведення автоматизованих досліджень за допомогою датчику кольору.

Досягнення у мініатюризації оптичних перетворювачів дозволили створити у цій області новітні оптичні елементи – датчики кольору. Структурно ці елементи являють собою матрицю фотодіодів, що розміщені на одному кристалі, та вкриті системою оптичних фільтрів, що дозволяють проводити оптичні дослідження у певній спектральній смузі. Частіш за все за систему кольорових досліджень обирається RGB-система з оптичними фільтрами на відповідні діапазони: червоного, зеленого, синього та канал без фільтрів (для деяких датчиків). Останній канал використовується для отримання загальної (інтегральної за спектром) інтенсивності оптичного сигналу.

На сучасному ринку радіоелектроніки датчики кольору представлені двома компаніями – Hamamatsu [4] та Avago [5], обидві є лідерами у побудові оптичних перетворювачів. Попит у дешевих та надмініатюрних сенсорах, що інтегрують у собі можливості дослідження інтенсивності оптичного сигналу у кольоровому форматі RGB є постійно зростаючим.

В даній роботі проведено розробку рефлектометра на базі датчику кольору ADJD-S311-CR999 від AVAGO, що окрім матриці оптичних перетворювачів, що мають оптичні фільтри на діапазони для червоного, зеленого та синього спектрів має частину датчиків без фільтрів з спектральною областю чутливості 400÷720нм. Окрім цього датчик кольору включає до своєї структури попередні підсилювачі для чотирьох каналів, аналогово-цифровий перетворювач та цифровий модуль, що керує процесом виміру та реалізує цифровий інтерфейс стандарту I²C. Останнє робить ці датчики особливо зручними до інтеграції у прилади та вимірювальні системи.

Основними задачами, що вирішуються у даній роботі це огляд проблеми кольорових досліджень для твердих об'єктів, у якості яких виступають різноманітні індикаторні тест-системи для проведення аналізу хімічного складу біологічних проб, та розробка сучасного рефлектометра з USB-інтерфейсом, конструкції вимірювальної системи сучасного рефлектометра.

Розглянемо структурну організацію рефлектометра для біомедичних досліджень, що розроблюється у даній роботі, наведену на рис. 1.

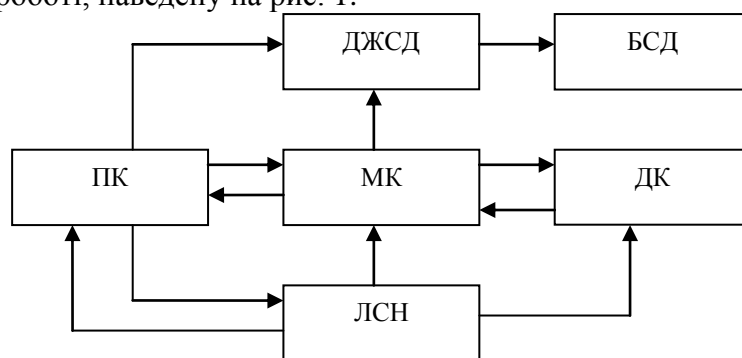


Рис. 1

До складу рефлектометра входять наступні модулі: МК – мікроконтролер, ПК – персональний комп'ютер, ЛСН – лінійний стабілізатор напруги, ДК – датчик кольору, БСД – блок світлодіодів.

Основою будови рефлектометра є датчик кольору (ДК) від Avago Technologies ADJD-S311-QR999. Особливостями якого є інтегровані попередні підсилювачі, АЦП та цифровий модуль, що забезпечує зв'язок датчика з зовнішнім пристроєм (системою) по I²C шині. Це дозволяє значно мініатюризувати систему в цілому.

Для підсвічування зразка з використовується схема рис. 2 (а – вигляд з боку, б – вигляд знизу) у вигляді блоку з чотирьох світлодіодів 1 з вузькою діаграмою спрямованості, розта-

шовані з чотирьох сторін від датчика та спрямовані під кутом у 45° до зразка. Датчик кольору 2 розташовується між світлодіодами на відстані у 7 мм від поверхні зразка, що досліджується. Для додаткового захисту від частки бокового випромінювання світлодіодів сенсору використано непрозорий циліндричний екран. Вибір даної вимірювальної системи відповідає вимогам МКО (Міжнародної комісії з освітлення) [6] та рекомендаціям з використання датчика кольору. Оскільки вольт-амперна характеристика світлодіодів не лінійна та враховуючи той факт що інтенсивність випромінювання пропорційна току через світлодіод, для обрання робочої точки на вольт-амперній характеристиці переважним є використання джерела струму у якості джерела живлення світлодіодів. Тому в структуру схему рефлектометра входить імпульсне джерело живлення підвищуючого типу, виконане за бустерною схемою DC-DC конвертера [7]. Оскільки живлення рефлектометра здійснюється безпосередньо від шини USB, основними вимогами, що висуваються до нього, є висока ефективність, низькі шуми, стабільність.

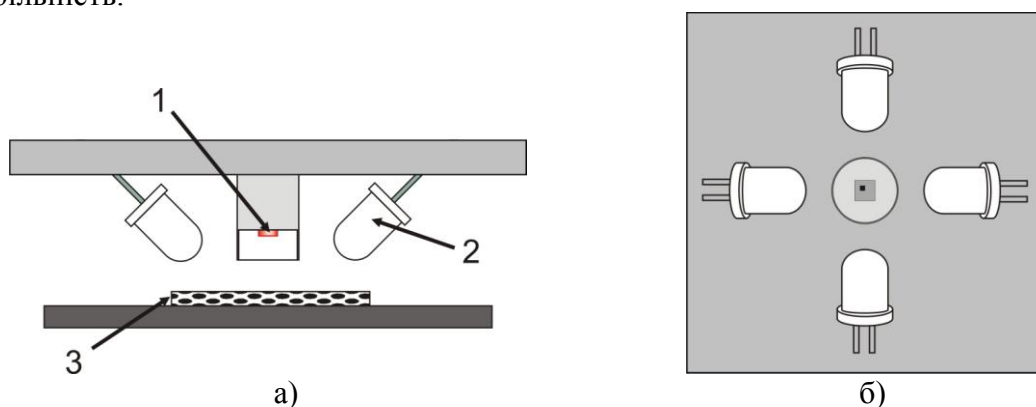


Рис. 2

У якості керуючого пристрою обрано продуктивний контролер ATmega164P. Факторами, що визначили його використання у рефлектометрі, є:

- виготовлення його за 100 нм технологією;
- низьке енергоспоживання;
- висока продуктивність при низьких рівнях напруги живлення, більш 12MIPS для 3,3В живлення, що особливо важливо при використанні лінійного стабілізатора, що живиться від шини USB, напруга на якій може становити рівень 4,4 В, а живлення на рівні 3,3 В дозволяє не використовувати додаткових схем-перетворювачів рівня логіки;
- наявність розвитої периферії дозволяє масштабувати систему;
- модель контролера є новою, що забезпечує підтримку її виготовлення та гарантований випуск в найближчі роки, що важливо для просування розробки на ринок;
- наявність споріднених МК ATmega324P та ATmega644P дозволяє з легкістю замінити ядро системи (рефлектометра) на МК з більшим об'ємом флеш-пам'яті (відповідно 32 кБ та 64 кБ замість 16 кБ для ATmega164P), що може бути визвано наступним удосконаленням та збільшенням ПЗ рефлектометра;
- наявність достатньої кількості портів вводу-виводу дозволяє легко функціоналізувати пристрій, підключивши через них додаткові вузли.

Даний МК, як і інші МК серії Mega, мають: вбудовані засоби самопрограмування; підтримку послідовного низьковольтного внутрішньосхемного програмування; вбудовану систему налагодження (On-Chip Debug System), що спрощує процес налагодження ПЗ.

Як було зазначено, живлення пристрою здійснюється від шини USB. Для узгодження логічних рівнів напруги у відповідності до протоколу USB [8], живлення МК обрано на рівні 3,3В, що потребує використання лінійного стабілізатора напруги з малим падінням напруги $< 1,1$ В та малим власним енергоспоживанням LP2950-3.3. Це дозволило привести до узгодження умов споживання електроенергії пристрою від шини USB. Останнє дуже жорстко регламентується для USB-пристроїв. Можливість роботи датчика кольору від напруги 3,3В дозволяє використовувати ЛСН і для його живлення. Відключення практично всіх модулів – відключення ДЖСД та перевод в режим «сну» ДК, а також зниження власного споживання

МК дозволяє реалізувати режим «сну» шини USB, що регламентується протоколом в положеннях стосовно керування USB-пристроями.

Для концепції побудови рефлектометра обрана структура автоматизованої вимірювальної системи, в якій інтерфейс користувача, т.е. модулі відображення та керування, перенесені до ПК. Останнє дозволяє знизити споживання енергії системи, зробити її гнучкою, адаптивною та легко переналаштовувати під рішення різних прикладних задач, забезпечити можливість високої мініатюризації.

До особливостей використання датчику кольору від ADJD-S311-QR999 відноситься наявність вбудованого цифрового модуля, що керує проведенням виміру датчика. Останній є адаптивним завершеним пристроєм проведення оптичних досліджень, що забезпечується наступними вбудованими модулями: матрицею фотодіодів з системою оптичних фільтрів, підсилювачем сигналу для кожного з каналу з апаратною функцією зміни чутливості шляхом зміни часом інтегрування, 10-бітним аналогово-цифровим перетворювачем, буферними регістрами та інтерфейсним модулем шини I²C, вбудованим тактовим генератором. Враховуючи, що все це розміщено на кристалі BGA з розмірами 2,2×2,2×0,76 мм, це робить даний датчик надкомпактним.

Властивість датчика адаптуватися під різні рівні освітлення, що досліджується, використовується у рефлектометрі, що розроблюється у роботі, для проведення калібрування. Для цього застосовується еталон білого, в процесі дослідження відбитого спектру проводиться поступовий підбір коефіцієнтів інтегрування/чутливості для кожного з каналів для отримання найбільшого відгуку аналітичного сигналу, що не призведе до переповнення розрядної сітки АЦП, тобто значення не повинні перевищувати 1024. Відповідний алгоритм калібрування наведено на рис. 3.а. Окрім цього можливо використовувати функцію датчика по відніманню темрявого рівня сигналу (зсуву), що попередньо визначається при відсутності сигналу, що аналізується, та записується до спеціальних регістрів. Відповідно датчик проводить вимір сигналу, що досліджується, за алгоритмом, який наведено на рис. 3.б.

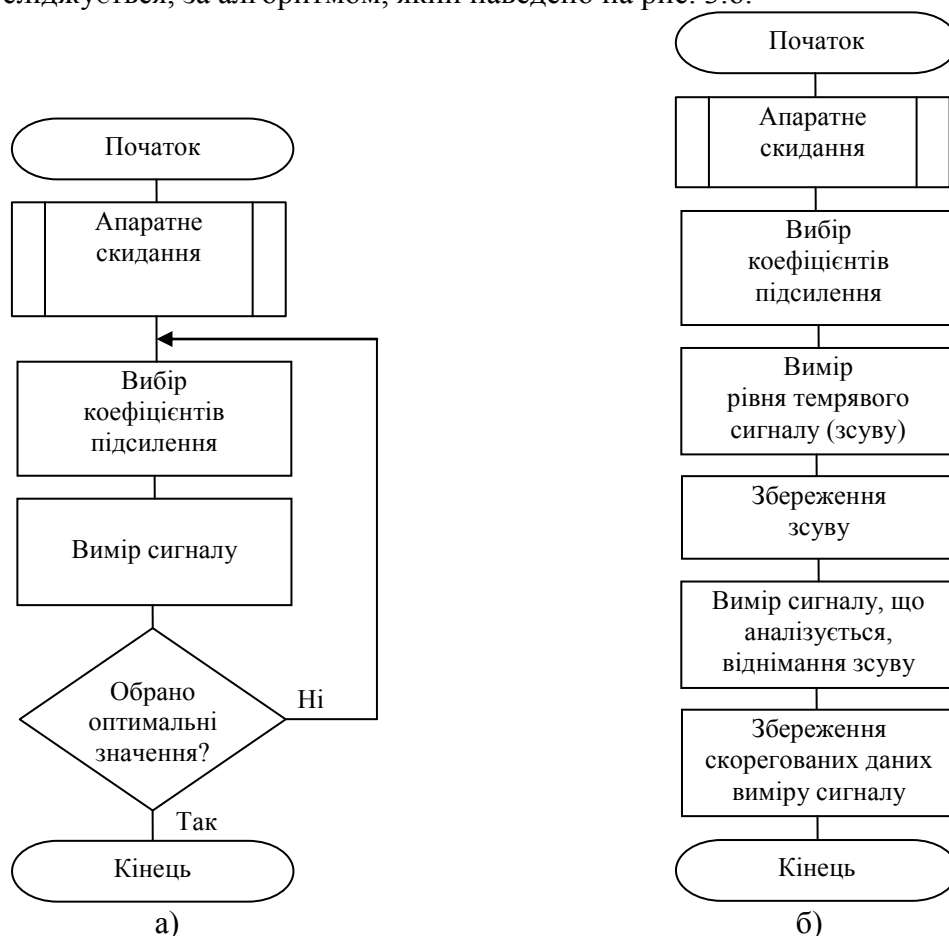


Рис. 3

На рис. 4 наведена спектральна характеристика чутливості датчика у кожному каналі, відповідно: С-синій, П – прозорий, З – зелений, Ч - червоний. Оскільки спектральні діапазони для каналів перетинаються, можливе проведення визначення кольорових координат для будь-якого оптичного випромінювання у видимому діапазоні.

Застосуваннями приладу можуть бути найпоширенішими. Гнучкість системи, можливість її калібрування та програмного налаштування під конкретні тест-системи, малі габаритні розміри 70×60×35 мм та підключення до USB, робить цю систему надзвичайно зручною у проведенні колориметричних рефлектиметричних аналізів. Низька споживча потужність, що не перевищує 0,5 Вт у режимі виміру, робить цю систему незамінною у проведенні вимірів при польових лабораторних експрес-аналізах біоматеріалів або моніторингу оперативної екологічної ситуації.

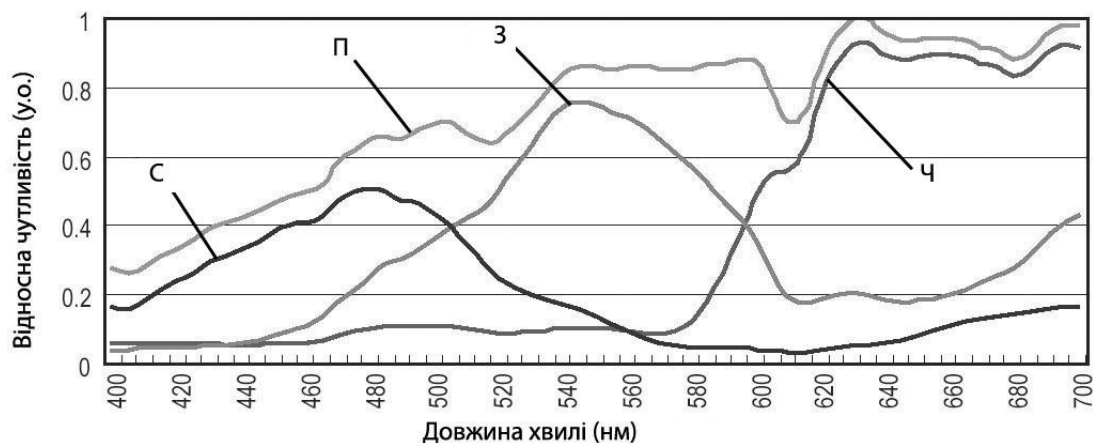


Рис. 4

Список літератури: 1. Вода. Индикаторные системы/ В.М.Островская, О.А.Запорожец, Г.К. Будников, Н.М.Чернавская// Под ред. Ю.М. Арского. - М.: ВИНТИ РАН, ЭКОНИКС, 2002. - 256 с. 2. QE65000 Scientific-grade Spectrometer//Installation and Operation Manual. Dunedin: Halman Group Company: 2007. – 30 P. 3. Avantes. Catalogue. / Avantes, 2007. – 142 P. 4. Digital color sensor S9706 / Datasheet: Hamamatsu, 2007. – 3 P. 5. ADJD-S311-CR999. Miniature Surface Mount RGB Digital Color Sensor / Datasheet: Avago, 2007. – 20 P. 6. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 327с. 7. Universal Serial Bus. Specification. Revision 2.0. – Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Phillips: www.usb.org- 2000. – 622P.

Харківський національний
університет радіоелектроніки

Надійшла до редколегії