

# RADIO ENGINEERING DEVICES РАДІОТЕХНІЧНІ ПРИБОРИ

УДК 615.472

DOI:10.30837/rt.2024.2.217.11

*В.В. СЕМЕНЕЦЬ, д-р техн. наук, О.В. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОЛІРНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОНТРОЛЕРА STM32F407VG

### Вступ

Прилади для вимірювання та визначення кольору використовуються протягом більше десяти років і нині знаходять широке застосування в електроніці, медицині, криміналістиці, сільському господарстві, космонавтиці та інших галузях. Важливість розробки та виробництва нових сучасних приладів та методів вимірювання кольору є актуальною задачею. Ці прилади та методи мають бути доступні, ефективні та прості у використанні [1].

Електронний колориметр – один із найпоширеніших інструментів вимірювання кольору, використовується в різних сферах через його переваги. До них відносяться такі як можливість кольорового контролю, простота в експлуатації, висока точність вимірювання та відносна дешевизна. Можливості електронного колориметра значно перевищують можливості інших кольорових вимірювальних приладів [2 – 6].

Розглянуто та проаналізовано широко використовувані моделі кольорів, а саме: модель RGB та субтрактивні моделі, зокрема CMY та CMYK. Досліджено характеристики колориметрів, які базуються на використанні моделей RGB, CMY та CMYK. Здійснено порівняльний аналіз переваг і недоліків моделей RGB та CMYK.

#### *RGB модель*

Це одна з найпопулярніших і широко використовуваних систем. Ця кольорова модель ґрунтується на трьох основних кольорах: червоний, зелений і синій. В системі RGB для представлення цих основних кольорів використовуються три монохроматичні довжини хвиль:  $\lambda_R = 700$  нм,  $\lambda_G = 546,1$  нм,  $\lambda_B = 435$  нм. Білий колір вважається основним стимулом у цій системі.

Ця кольорова модель є адитивною, що означає, що інтенсивність кольору зростає зі збільшенням яскравості окремих компонентів. Наприклад, змішуючи всі три кольори з максимальною інтенсивністю, отримуємо білий колір; навпаки, відсутність всіх кольорів призведе до чорного.

#### *Модель CMY*

Модель базується на принципі віднімання основних кольорів добавки з моделі RGB від білого, щоб утворити основні кольори. У цій концепції, кольори, які використовують біле світло для віднімання певних частин спектру, отримують назву "віднімаючих". Основні кольори в моделі CMY включають синій (результат віднімання червоного з білого), фуксин (іноді називаний фіолетовим) (результат віднімання зеленого з білого) та жовтий (результат віднімання синього з білого). Ці кольори утворюють друкарську тріаду та легко відтворюються на друкарських машинах.

#### *Модель CMYK*

Модель CMYK (Cyan–Magenta–Yellow–Key, де "Key" вказує на чорний колір) представляє собою значущий етап у розвитку кольорових моделей, що знайшли широке застосування у сучасному друку. Як і її попередниця CMY, модель CMYK є віднімаючою, враховуючи особливості сприйняття кольорів відповідно до принципів субтрактивної синтезу кольорів.

У моделі CMYK, символ чорного кольору позначається як "К," що походить від англійського "Key" (ключ). Відзначимо, що модель CMYK є емпіричною, орієнтованою на конкретне обладнання, відзначаючи відхід від теоретичних підходів моделей CMY та RGB.

Кожна точка на зображенні RGB розглядається як точка з різною яскравістю для кожного кольорового каналу, і для обчислення реальної яскравості використовується відповідна емпірична формула

$$Y = 0.2125 \cdot R + 0.7154 \cdot G + 0.0721 \cdot B$$

В апаратурі фотоелектричного колориметра автоматизовано виконується аналіз випромінювання та розрахунок кольорових координат за допомогою трьох селективних фотодетекторів. Спектральна чутливість цих фотодетекторів визначається за допомогою корекційних світлових фільтрів, які відповідають функціям додавання первинних кольорів. Кожен фотоприймач перетворює випромінювання своєї спектральної області в електричний струм. Цей процес гарантує пропорційність між вихідними електричними сигналами та вимірюваними кольоровими координатами.

### Схема колориметра

Для подолання вказаних вище недоліків запропоновано використання найбільш економічного та простого у використанні колориметра та методу визначення кольорових характеристик, які відображені на рис. 1.

Ключовим елементом запропонованого для використання електронного колориметра є датчик кольору. Цей датчик надає три сигнали, пропорційні кольоровим координатам кожного випромінювання. Три фотоприймачі використовуються для перетворення світлової енергії в електричну енергію зі спектральною характеристикою, що розташована у видимій області спектру та відтворює одну з кольорових кривих складання.

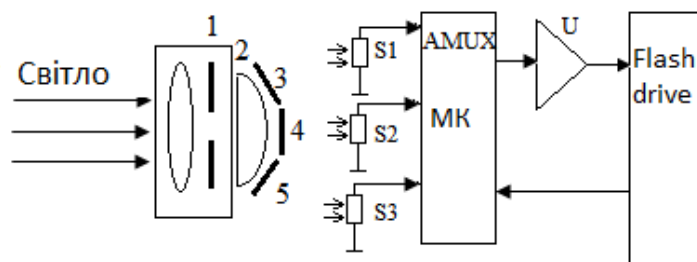


Рис. 1. Схема оптоелектронного колориметра

Сигнали, отримані від фотоприймачів, подаються на аналогові входи мікроконтролера (МК) STM32F407VG, з яких вони подаються на вбудований аналоговий мультиплексор (AMUX). З виходу нормалізуючого підсилювача сигнал передається на вхідний порт мікроконтролера (MCU). Мета нормалізуючого підсилювача полягає в тому, щоб привести вхідний сигнал в діапазон 0 ... 3,3В, що забезпечує достатній обсяг для оцифрування сигналу вбудованими 12-бітовими аналого-цифровими перетворювачами (АЦП) в мікроконтролерах [7, 8].

Мікропроцесор визначає необхідний канал, вводячи відповідний цифровий код на входи адресного мультиплексора. Вбудована програма управління пристроєм прошиита всередині мікропроцесора. Програмне забезпечення мікропроцесора відповідає за ефективну роботу усього пристрою. Його функції включають управління перемиканням каналів аналогового мультиплексора, оцифрування нормалізованого сигналу від світлових датчиків, що надходять на вхід АЦП, калібрування сигналів від світлових датчиків, цифрову фільтрацію та усереднення результатів вимірювань, конвертацію вимірів освітленості до стандартного формату RGB та передачу результатів вимірювань та обчислень на дисплей або Flash drive.

У мікроконтролерах серії STM32 вбудований 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач. Його можливостей досить для обробки сигналів датчиків та дійсних сигналів. На його внутрішній вхід можна подавати аналогову напругу до 3,6 В з 16 зовнішніх входів чи від

вбудованих: датчика температури або джерела опорної напруги. При живленні контролера 3,3 В та роздільній здатності 12 біт діапазон напруги на вході від 0 В до 3,3 В буде перетворений у діапазон кодів від 0 до 4095. Максимальна частота перетворення 2,4 МГц.

У автоматичному режимі на аналого-цифровий перетворювач періодично подаються команди запуску перетворювання (рис. 2). Джерелом цих команд може бути, наприклад, подія від таймера.

Контролер DMA передає результат перетворення у масив в оперативній пам'яті. Якщо обрано декілька каналів вимірювання, то одна подія від таймера запускає послідовне перетворення у всіх обраних каналів. Кількість елементів масиву для зберігання результатів повинна бути пропорційна кількості каналів. Наприклад, якщо у нас два вхідних канали, то кількість елементів масиву для зберігання результатів повинна бути: 2, 4, 6 тощо.

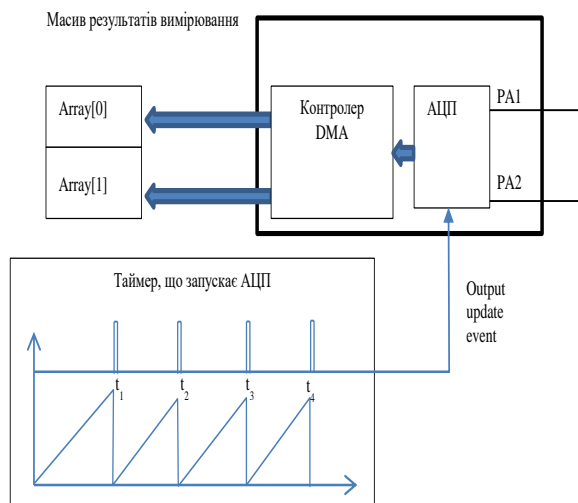


Рис. 2. Автоматичний режим роботи АЦП разом з контролером DMA

## Налаштування АЦП у STM32CubeIDE

На вкладці Pinout&Configuration обираємо один з трьох АЦП (рис. 3). Далі треба обрати канали, на які будуть подаватись вхідні сигнали у вікні Mode. Як тільки обираємо один або декілька каналів, вони з'являються на зображенні мікроконтролера. Після цього налаштуємо АЦП на вкладці Parameter Settings.

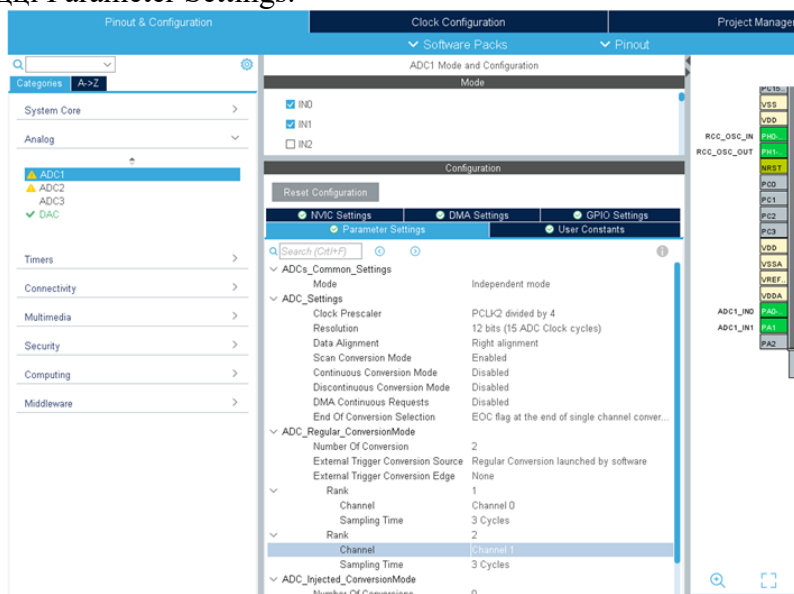


Рис. 3. Налаштування АЦП у STM32CubeIDE

Роздільна здатність АЦП (параметр Resolution) може дорівнювати: 12, 10, 8, 6 біт. Чим більше значення цього параметра тим точніше результат перетворення та більше відношення сигнал/завада, але менше швидкість перетворення. Якщо роздільна здатність дорівнює 12 біт, то отримуємо після перетворення значення коду у діапазоні від 0 до 4095, якщо роздільна здатність 10 біт, то діапазон кодів від 0 до 1023 тощо.

Орієнтація результату перетворення у вихідному регістрі (параметр Data Alignment) приймає значення: Right Alignment або Left Alignment, що відповідає розташуванню результату у молодших чи старших розрядах 16 розрядного вихідного регістру.

При перетворенні декількох каналів за допомогою параметра Scan Conversion Mode можна обрати автоматичне перемикання каналів. Тобто після перетворення сигналу у першому каналі аналоговий мультиплексом автоматично підключає наступний канал до входу АЦП і починається нове перетворення.

Параметр Continuous Conversion Mode дозволяє обрати режим безперервних перетворень.

Параметр DMA Continuous Request дозволяє використовувати канал DMA для передавання результатів перетворення у оперативну пам'ять, якщо цей канал вже створений та налаштований на вкладниці DMA settings.

Методика оцінки якості тестового зразка передбачає використання наступної процедури: тестовий зразок розміщується на столі, розташованому у фокальній площині приладу. Зразок піддається бічному або нижньому освітленню через прозорий стіл. Освітлення включає червоне, зелене та синє випромінювання. Вимірювання здійснюється для кожного кольору окремо, в будь-якій комбінації або для всіх кольорових джерел одночасно.

Експериментальні дослідження (табл. 1) з використанням розробленого електронного колориметра були проведені для аналізу вихідних сигналів вимірювальних каналів в залежності від яскравості випромінювання світла та різних положень фотодіодів відносно корпусу.

Таблиця 1

Результати вимірів

Номер	Червоний $U_i$ , мВ	Синій $U_i$ , мВ	Зелений $U_i$ , мВ
1	148	90	95
2	149	93	99
3	148	90	98
4	149	91	97
5	148	92	96
6	150	92	95
7	150	91	99
8	149	91	98
9	151	90	97
10	151	93	97
11	148	92	95
12	149	90	95
13	148	91	96
14	150	93	96
15	151	93	99
16	149	92	99
17	148	92	98
18	149	91	98

### Висновки

Існує три основних режими роботи колориметра: ручний, безперервний та автоматичний.

В першому режимі подається програмна команда для початку аналого-цифрового

перетворення. Коли перетворення закінчується виникають переривання від АЦП або від каналу DMA, що передає дані у оперативну пам'ять. Після цього можемо обробити отримані дані. Щоб отримати новий результат необхідно знову подати команду на початок перетворення.

У безперервному режимі перетворення ведуться з максимальною швидкістю. Як тільки завершується одне перетворення, починається наступне.

У автоматичному режимі на аналого-цифровий перетворювач періодично подаються команди від таймера запуску перетворювання. Контролер DMA передає результат перетворення у масив в оперативній пам'яті.

Розроблений цифровий колориметр дозволяє здійснювати експрес-контроль кольорових характеристик з високою метрологічною точністю і не потребує високого рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу. Зазначений прилад відтворює сприйняття кольору людським зором, і його використання призначено як для осіб з нормальним, так і з ненормальним зором.

Великою перевагою цього пристрою є його мобільність, швидкість вимірювань і відсутність необхідності у спеціалізованій лабораторії та висококваліфікованих фахівцях.

Проведені повномасштабні вимірювання вихідної напруги на фотодіодах колориметра, що відповідають червоному, синьому та зеленому кольорам.

#### **Список літератури:**

1. Дудяк В. О. Природа кольору та його характеристики / В. О. Дудяк, Н. В. Занько, З. М. Сельменська. Львів : Укр. акад. друкарства, 2013. 208 с.
2. Кармазін В.В., В.В. Семенець. Курс загальної фізики. Київ : Кондор, 2009. 786 с.
3. Використання DICOM зображень в медичинських системах / М.Ю. Тимкович, О.Г. Аврунін, В.В. Семенець // Журнал НТУУ «КПІ» Техн. Електродинаміка. Силова електроніка та енергоефективність, (СЕЕ'2012)». 2012. С.178–183.
4. Печенюк Т. Кольорознавство. Київ : Грані-Т, 2009. 192 с.
5. Naharov V.I., I.V. Nahanova. Design of digital systems by using VHDL language. Kharkov : KhNURE, 2003. 492с.
6. L.A. Vlasenko, A.G. Rutkas, A.A. Chikriy On the optimal impulse control in descriptor systems // Journal of automation and Information Sciences 51 (5). 2019.
7. Teaching microcontrollers and FPGAs in Quarantine from Coronavirus: Challenges and Prospects / O. Vorgul, I. Svyd, O. Zubkov, V.i Semenets. MC&FPGA, 2020.
8. Семенець В.В., Григор'єв О.В. Програмно-апаратний комплекс на базі мікроконтролера STM32F407VG для дослідження вібрацій акселерометром LIS3DSH // Радіотехніка. 2024. Вип. 216. С. 81–86.

*Надійшла до редколегії 07.06.2024*

#### *Відомості про авторів:*

**Семенець Валерій Васильович** – д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії, Україна; e-mail: [valery.semenets@nure.ua](mailto:valery.semenets@nure.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-2143>

**Григор'єв Олександр Вікторович** – канд. техн. наук, доц., Харківський національний університет радіоелектроніки; Україна; e-mail: [oleksandr.hryhoryev@nure.ua](mailto:oleksandr.hryhoryev@nure.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6467-7983>