

А.В. Ляшеник, Р.І. Никируй, І.В. Гоянюк

Моделювання системи вимірювання кисню в крові та частоти скорочення серця

*Коломийський політехнічний фаховий коледж НУ “Львівська політехніка”, м. Коломия, Україна,
ivan.goyanyuk@kpk-lp.com.ua*

Моніторинг ЧСС і вмісту кисню в крові є невід’ємною частиною моніторингу здоров’я та фізіологічних параметрів стану людини. Таким чином, вимірювання вмісту кисню і частоти серцевих скорочень стає досить популярною проблемою. Для вирішення поставленої в даній роботі задачі необхідно провести детальний аналіз місцевості та визначити основні фізичні властивості крові при різних показниках вмісту в ній кисню. Також при проведенні цього дослідження слід звернути увагу на вплив вмісту кисню в крові на серцевий ритм людини.

Ключові слова: вимірювальна система, датчик, метрологічні параметри.

Подано до редакції 11.10.2023; прийнято до друку 27.02.2024.

Вступ

Моніторинг серцевого ритму та вмісту кисню в крові є невід’ємною частиною контролю здоров’я і фізіологічних параметрів стану людини [1]. Таким чином вимірювання показників вмісту кисню та серцевого ритму стає доволі затребуваною проблематикою.

Для вирішення завдання поставленого у даній праці – потрібно провести детальний аналіз області та визначити основні фізичні властивості крові при різних показниках вмісту кисню в ній. Теж проводячи дане дослідження слід звернути увагу і на вплив вмісту кисню в крові на серцевий ритм людини.

Дана робота присвячена вимірюванню вмісту кисню в крові людини та частоти серцевого ритму на основі впливу на кров червоного та інфрачервоного світла безконтактним способом. Властивість крові поглинати червоне та інфрачервоне світло в залежності від вмісту в ній кисню була вперше відкрита і вивчена в 1930-х роках, на основі чого Карлом Метесом було створено перший медичний прототип для вимірювання сатурації кисню в крові двома хвилями [2]. Встановлено зв’язок між окисненом гемоглобіном і та його абсорбцією

світла в різних діапазонах спектра. Ці дослідження стали основою для розробки оксиметрії, технології, яка використовується в цій роботі.

Вимірювання насичення тканини киснем і вмісту тканинного гемоглобіну визначається різницею в інтенсивності між пропущеним і прийнятим світлом, доставленим на певних довжинах хвиль, як описано законом Бера–Ламберта. Спираючись на дослідження [3] можливо прийти до висновку, що насичений киснем гемоглобін поглинає більше інфрачервоного світла та відбиває червоне світло, тоді як дезоксигенований гемоглобін поглинає більше червоного світла та відбиває інфрачервоне світло.

I. Фізичний принцип вимірювання. Призначення пристрою та вибір основних компонентів

Метод оксиметрії дозволяє неінвазивно та ефективно виміряти рівень кисню в крові, що є важливим для медичної діагностики та моніторингу пацієнтів. Піддавши впливу на кров відповідними видами світла та зчитавши реакцію від такого впливу – стає можливим розрахувати вміст кисню в крові.

Давно відомим фактом є те, що від вмісту кисню в крові буде залежати частота серцевого ритму [4]. Залежність серцевого ритму від вмісту кисню в крові досліджується багатьма науковцями та клініцистами в галузі медицини та фізіології. Такі дослідження виконуються для розуміння взаємозв'язку між кисневими рівнями і функцією серця, а також для діагностики та лікування різних серцевих захворювань та респіраторних проблем.

Проаналізована наукова література, щодо впливу вмісту кисню в крові людини на частоту скорочення серця. Показані зміни в частоті серцевого скорочення та швидкості кровотоку при різних рівнях CO_2 в артеріальній крові. Зазначено, що на відміну від прямого судинорозширювального впливу від вмісту кисню в крові, також спостерігається зміна серцевого ритму, частоти серцевих скорочень і роботи серця при таких впливах [5, 6].

Таким чином відштовхуючись від результатів дослідження даної роботи та властивості гемоглобіну поглинати червоне та інфрачервоного світла можна зробити висновок, що насичений киснем гемоглобін поглинає більше інфрачервоного світла.

Розуміючи залежність частоти скорочення серця від вмісту кисню у крові та властивості насиченого киснем гемоглобіну поглинати більше інфрачервоного світла – за допомогою датчика який буде піддавати впливу крові червоного та інфрачервоного світла та фотоелемента який буде зчитувати відбите світло, можна розрахувати вміст кисню в крові та частоту серцевого ритму при дотику пальця.

У даній статті описано пристрій, який визначає кисневе насичення, вимірюючи поглинання світла через кров. Рационально використовуючи цей пристрій можна надати весь обсяг необхідних даних про параметри здоров'я і вчасно запобігти загрози здоров'я організму.

Основне завдання пристрою – зчитувати дані шляхом прямого контакту фаланги пальця з поверхнею пристрою і виводити цю інформацію на екран для моніторингу показань та комп'ютер в режимі реального часу.

Однією з умов вибору типу сенсора пристрою є його цінова категорія та сумісність із бюджетними мікропроцесорними платформами сімейства Arduino.

Для апаратної реалізації елемента отримання інформації щодо рівня насичення крові киснем може бути використана серійна модель цифрового бюджетного серійного давача типу MAX 30100 [7].

Датчик MAX30100 дозволяє проводити вимірювання рівня насичення крові киснем (сатурація кисню в крові, SpO_2) і пульсу (серцевого ритму) та передавати цю інформацію мікроконтролеру за інтерфейсом I2C. Таким чином, датчик містить дві інтегровані до нього функції – моніторинг пульсу та вимірювання рівня насичення киснем крові у неінвазивній формі.

II. Вимірювання концентрації кисню в крові та частоти скорочення серця.

Для визначення концентрації кисню в крові (%), важливо зазначити, що в крові гемоглобін відповідає за перенесення кисню. Підключений пульсоксиметр пропускає світло через кров у пальцях. Це використовується для виявлення кількості кисню шляхом вимірювання змін у поглинанні світла як у оксигенованій, так і в знежиреній крові. Пульсоксиметрія, як метод вимірювання кисню в крові, заснована на тому принципі, що кількість поглиненого червоного та ІЧ-випромінювання змінюється залежно від кількості кисню у вашій крові.

Датчик MAX30100 складається з двох світлодіодів (червоного та ІЧ) і фотодіода. Обидва ці світлодіоди використовуються для вимірювання SpO_2 . Ці два світлодіоди випромінюють світло з різними довжинами хвиль, ~660 нм для червоного світлодіода та ~880 нм для ІЧ-світлодіода. На цих конкретних довжинах хвиль оксигенованій і деоксигенованій гемоглобіни мають дуже різні властивості поглинання [7,8].

Наведена нижче залежність поглинання світла гемоглобіном (рис. 1) взята з таблиці даних MAX30100 IC. Можна помітити різницю, показану на графіку, між HbO_2 , який є насиченим киснем гемоглобіном, і Hb , який є деоксигенованим гемоглобіном, на двох різних довжинах хвилі.

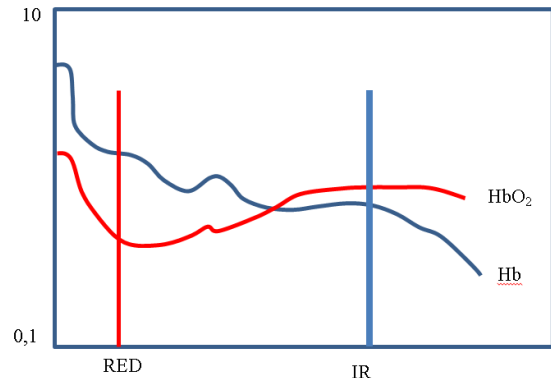


Рис.1. Поглинання світла насиченим киснем та дезоксигенованим гемоглобіном [2].

Насичений киснем гемоглобін поглинає більше інфрачервоного випромінювання (880 нм) та відбиває червоне світло, тоді як дезоксигенований гемоглобін поглинає більше червоного світла (660 нм) та відбиває інфрачервоне світло. Відбите світло вимірюється фотодетектором. Датчик MAX30100 зчитує ці різні рівні поглинання, щоб визначити концентрацію кисню в крові (SpO_2). Співвідношення ІЧ- і червоного світла, отриманого фотодетектором, дає нам концентрацію кисню в крові [9].

Співвідношення абсорбції на цих двох довжинах хвиль емпірично калібрується на тлі прямих вимірювань артеріальної оксигенації крові, а алгоритм калібрування зберігається в цифровому мікропроцесорі в пульсоксиметрі. При подальшому

використанні крива калібрування використовується для оцінки пульсоксиметром насиченості артерій (SpO₂) (рис. 2).

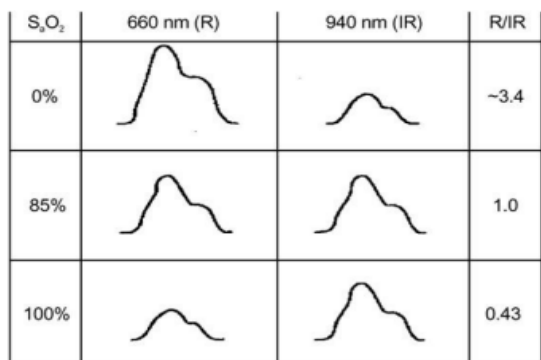


Рис. 2. Криві калібрування.

Для вимірювання частоти серцевих скорочень нам не потрібен червоний світлодіод, потрібен лише ІЧ-світлодіод. Це пояснюється тим, що насичений киснем гемоглобін поглинає більше інфрачервоного світла.

Оксигенований гемоглобін (HbO₂) в артеріальній крові має властивість поглинати ІЧ-промені. Чим червоніше кров (вищий гемоглобін), тим більше ІЧ-променів поглинається. Коли кров прокачується через палець із кожним ударом серця, кількість відбитого світла змінюється, створюючи мінливу форму хвилі на виході фотодетектора. Продовжуючи світити та знімати показання фотодетектора, отримуємо покази пульсу (ЧСС).

Частота серцевих скорочень – це відношення часу між двома послідовними серцевими скороченнями. Подібним чином, коли людська кров циркулює в організмі людини, ця кров стискається в капілярних тканинах. В результаті об'єм капілярної тканини збільшується, але після кожного удару серця цей

об'єм зменшується. Ця зміна об'єму капілярної тканини впливає на інфрачервоне світло датчика, який пропускає світло після кожного удару серця.

Приклавши палець людини перед датчиком пульсу, відображення інфрачервоного світла змінюється залежно від об'єму зміни крові всередині капілярних судин. Це означає, що під час серцебиття об'єм крові в капілярних судинах буде високим, а потім зменшуватиметься після кожного серцебиття. Отже, змінюючи цей обсяг, змінюється світлодіодне світло. Ця зміна світлодіодного світла вимірює частоту серцебиття пальця. Це явище відоме як «фотоплетизмограма» [10,11].

Конструкція пристрою та функціонування датчика MAX30100

1. Основними компонентами пристрою (рис. 3) вимірювання кисню в крові та визначення частоти серцевих скорочень є:

2. Контролер Arduino NANO – головний контролер керування, він обробляє інформацію з датчика і подає на екран та комп'ютер;

3. Датчик пульсу MAX30100 – точний, компактний та швидкодіючий датчик, а також досить бюджетний;

OLED дисплей – якісне і енергоефективне рішення, що досить потрібно в такого роду пристрої. Завдяки технології OLED він займає дуже мало місця.

Датчик MAX30100 (рис. 4) складається з чіпа, на якому вбудовані світлодіоди (червоний і ІЧ), фотодетектор, а також різні оптичні елементи. Також в модулі датчика вбудована схема обробки сигналів, яка характеризується низьким рівнем власного шуму і забезпечує захист від зовнішнього освітлення.

MAX30100 управляється за допомогою внутрішніх програмних регістрів. Цифрові вихідні дані можуть зберігатися в 32-бітному буфері FIFO, що дозволяє послідовно передавати цифровий потік зовнішньому контролеру через загальну шину.

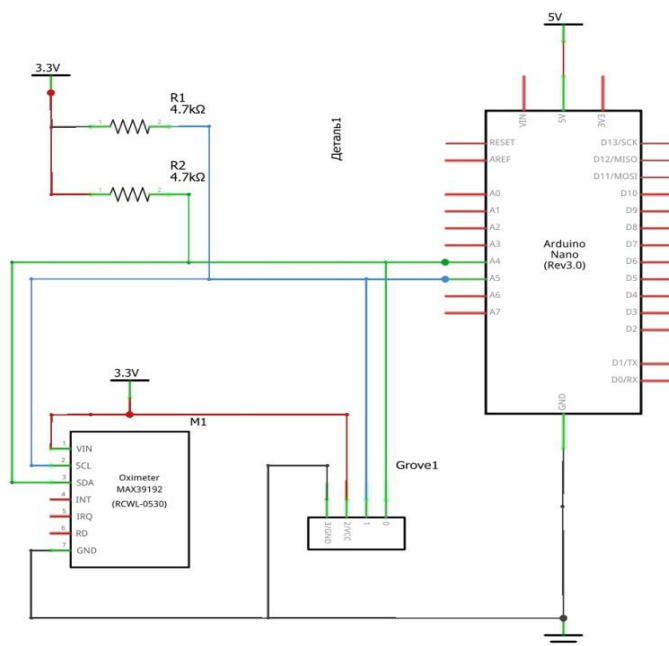


Рис.3. Типова електрична схема підключення сенсора вмісту кисню в крові пацієнта моделі MAX 30100 до мікроконтролерного модуля типу Arduino.



Рис. 4. Датчик частоти серцевих скорочень Max30100.

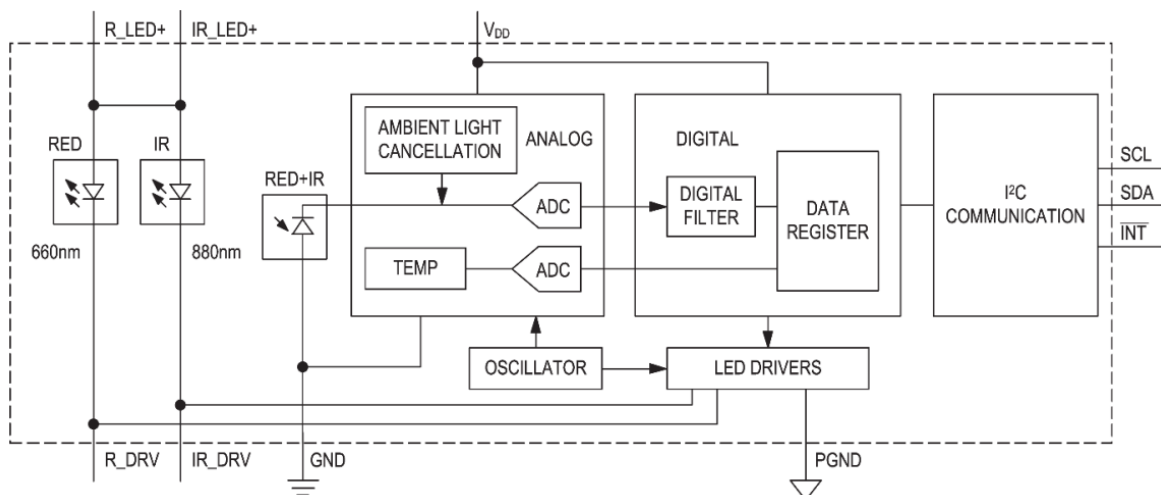


Рис. 5. Блок-схема модуля для вимірювання пульсу та рівня насичення крові киснем на базі датчика MAX30100 [6].

Розглянемо блок-схему модуля, побудованого на даному датчику.

В якості оптичного датчика виступає фотодіод, який приймає відбите червоне та інфрачервоне випромінювання з двох світлодіодів, які підключені до світлодіодних драйверів. В аналоговому блоку знаходяться датчик температури, який показує робочу температуру всього приладу і запобігає перегріванню шляхом попередження користувача. Він під'єднаний до аналого-цифрового перетворювача. Фотодіод також підключений до аналого-цифрового перетворювача. В аналоговому блоку також відбувається фільтрація сигналу від впливу навколишнього світла. Аналого-цифровий перетворювач фотодіода під'єднаний до цифрового фільтра, який фільтрує похибки квантування аналого-цифрового перетворювача. Аналого-цифровий перетворювач датчика температури та цифровий фільтр фотодіода підключені до реєстру пам'яті, де зберігаються значення з цих датчиків деякий час. Після чого блок цифрової обробки сигналів під'єднаний до інтерфейсу з'єднання I2C, за допомогою якого даний модуль підключається до мікроконтролера.

Висновки

На основі ґрунтовного опису із подальшим аналізом номінальних метрологічних параметрів і техніко-функціонально показників цифрового вмісту кисню в крові пацієнта моделі MAX 30100, можна зробити такий висновок, що він є спроможним до використання під час вирішення задач розробки й проектування досліджуваної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів у лікарнях після реалізації регламентованих процедур індивідуального градування / калібрування і метрологічної атестації / повірки.

Ляшенко А.В. – кандидат технічних наук, доцент. Директор Коломийського політехнічного фахового коледжу НУ «Львівська політехніка»;

Никируй Р.І. – кандидат фізико-математичних наук, доцент. Голова циклової комісії «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» Коломийського політехнічного фахового коледжу НУ «Львівська політехніка»;

Гоянюк І.В. – викладач спецдисциплін, циклової комісії «Комп'ютерної інженерії» Коломийського політехнічного фахового коледжу НУ «Львівська політехніка».

- [1] I.A. Gabriella, T. Somefun, A. Olajube, & I. Samuel, *Design and implementation of electronic biomedical device for monitoring heartbeat rate and blood oxygen*, In Journal of Physics: Conference Series, 1734(1), 012035 (2021); <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1734/1/012035>.
- [2] Clinical assessment, diagnostic and prognostic value of laboratory test results. Part 1. Cardiology / I. P. Katerenchuk. - 2nd ed., ed. and additional, Kyiv, Medknyga, 139 p. (2021);
- [3] C.Z. Myint, N. Barsoum, & W.K. Ing, *Design a medicine device for blood oxygen concentration and heart beat rate*, Signal Process, 1, 68 (2010); <https://doi.org/10.1504/IJBBR.2011.040035>.
- [4] V.A. Zavhorodnya, *The influence of different CO₂ levels on hemodynamics: an analytical review of the literature*. Herald of Cherkasy University. Biological Sciences Series, 2, 3 (2019); <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2019-2-3-19>.
- [5] J. Buchner, J. Meixensberger, K. Dings, *Roosen Near-infrared spectroscopy' not useful to monitor cerebral oxygenation after severe brain injury*, Zentralbl Neurochir, 61(2), 69 (2000); <https://doi.org/10.1055/s-2000-8262>.
- [6] Intersecans, OXullo. Arduino-MAX30100. n.d. <https://github.com/oxullo/Arduino-MAX30100> (access date: 09/15/2023).
- [7] Implementing pulse oximeter using MAX30100 URL: <https://morf.lv/files/max30100.pdf> (access date: 15.09.2023).
- [8] MAX30100 Datasheet, PDF URL : https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Max30100%20datasheet&gclid=CjwKCAjwgZCoBhBnEiwAz35RwuJEA6ySr9MYg96qL75ibbs0FJ9Gq5iVHLyRKf1Ncd8xtHQoUo-pNxoCE4UQAvD_BwE (reference date: 15.09.2023).
- [9] MAX30100 Pulse Oximeter and Heart Rate Sensor with Arduino. URL: <https://microcontrollerslab.com/max30100-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/> (date accessed: 09/15/2023).
- [10] A.V. Kornienko, *Development and research of an information and communication system for monitoring the health of patients in hospital*, Qualifying thesis for obtaining a Master's degree in the specialty 172 Telecommunications and radio engineering, DonNTU Higher Secondary School, Pokrovsk (2021).
- [11] K. Matthes. *Untersuchungen über die Sauerstoffsättigung des menschlichen Arterienblutes [Studies on the Oxygen Saturation of Arterial Human Blood]*, Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology (German), 179(6), 698–711 (1935); <https://doi.org/10.1007/BF01862691>.

A.V. Lyashenyk, R.I. Nykyrui, I.V. Goyanyuk

Modeling of the blood oxygen and heart rate measurement system

Kolomyia Polytechnic Professional College of Lviv Polytechnic National University, Kolomyia, Ukraine,
ivan.goyanyuk@kpk-lp.com.ua

Monitoring heart rate and blood oxygen content is an integral part of monitoring health and physiological parameters of a person's condition. Thus, measurement of oxygen content and heart rate becomes a rather popular problem. To solve the task set in this work, it is necessary to conduct a detailed analysis of the area and determine the main physical properties of blood at different indicators of the oxygen content in it. Also, when conducting this study, attention should be paid to the influence of the oxygen content in the blood on the heart rhythm of a person.

Keywords: measurement system, sensor, metrological parameters.