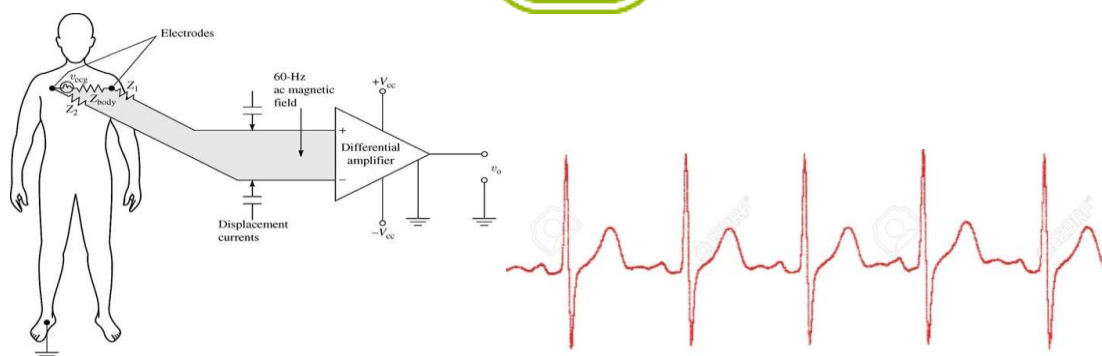


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БІОСИГНАЛИ, СЕНСОРИ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЦИКЛУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ
6.050902 „РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ”
ТА СПЕЦІАЛЬНОСТІ
172 „ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА”
УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ



Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
біомедичних радіоелектронних
апаратів та систем
Протокол № 12
від 14.06.2018 р.

Біосигнали, сенсори та вимірювальні перетворювачі. Методичні вказівки до виконання циклу лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050902 „Радіоелектронні апарати” та спеціальності „Телекомунікації та радіотехніка” усіх форм навчання. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – 23с.

Укладачі: ТИТЕЛЬМАЄР КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ, асистент, аспірант кафедри БРАС;
ШЕВЧЕНКО ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ, асистент, аспірант кафедри БРАС.

Відповідальний за випуск – ХОМЕНКО МАКСИМ АНАТОЛІЙОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем

Рецензент – ПРИСТУПА АНАТОЛІЙ ЛЕОНІДОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірюваних технологій, метрології та фізики

Зміст

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота №1. Вимірювання температури поверхні тіла людини	6
1.1 Теоретичні відомості	6
1.2 Хід роботи.....	8
1.3 Вимоги до оформлення звіту	8
1.4 Приклади завдань для виконання	9
1.5 Контрольні питання.....	9
2 Лабораторна робота №2. Вимірювання пульсу людини за допомогою оптичного методу з використанням ІЧ сенсору.	10
2.1 Теоретичні відомості	10
2.2 Хід роботи.....	12
2.3 Вимоги до оформлення звіту	13
2.4 Приклади завдань для виконання	13
2.5 Контрольні питання.....	14
3 Лабораторна робота №3. Вимірювання ЕКГ. Найпростіша фільтрація.....	15
3.1 Теоретичні відомості	15
3.2 Хід роботи.....	17
3.3 Вимоги до оформлення звіту	18
3.4 Приклади завдань для виконання	18
3.5 Контрольні питання.....	19
4 Лабораторна робота №4. Вимірювання рівня насиченості киснем крові людини.	20
4.1 Теоретичні відомості	20
4.2 Хід роботи.....	21
4.3 Вимоги до оформлення звіту	21
4.4 Приклади завдань для виконання	22
4.5 Контрольні питання.....	22
Перелік посилань.....	23

Вступ

Метою навчальної дисципліни *"Біосигнали, сенсори та вимірювальні перетворювачі"* є набуття студентами-бакалаврами наряду з підготовкою «Радіоелектронні апарати» та спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» теоретичних знань та практичних вмінь в побудові систем вимірювання біосигналів.

Завданнями, які вирішуються в процесі вивчення дисципліни *"Біосигнали, сенсори та вимірювальні перетворювачі"* є:

1. на основі знань про класифікацію та особливості датчиків засвоїти основи методи вимірювань базових біосигналів людського тіла;
2. на основі знань про методи вимірювання фізичних величин навчитися створювати прості системи збору даних показників датчиків;
3. на основі знань з міжнародної номенклатури наявних датчиків різноманітних компаній, навчитися самостійно обирати підходящий тип та застосовувати сучасні спеціалізовані програмні засоби для програмування мікроконтролерів, зокрема – ArduinoIDE.

Одним з важливих елементів набуття практичних навичок роботи з датчиками, сенсорами та пристроями моніторингу параметрів життєдіяльності людини є цикл лабораторних робіт.

Під час лабораторних занять коротко розглядаються основи роботи з середовищем Arduino або мікроконтроллерами AVR чи STM (за бажанням студента), розглядаються теоретичні основи роботи сенсорів та особливості їх роботи, а надалі студентами самостійно вирішуються практичні задачі у відповідності до ходу роботи лабораторної роботи. Особливістю виконання лабораторних робіт є застосування персонального комп'ютеру та відповідного прикладного програмного забезпечення а також апаратних засобів програмування.

Процес виконання лабораторної роботи включає самостійну підготовку студентів напередодні заняття, для чого рекомендовано використовувати лекційний матеріал, навчальну літературу [1-17], курси відеолекцій, інші матеріали за темою лабораторної роботи з мережі Інтернет.

Для виконання лабораторних робіт студент отримує від викладача приклади завдань та номери варіантів. До всіх лабораторних робіт вони наведені у відповідних розділах методичних вказівок, але, викладачем можуть бути підготовлені й інші завдання подібної складності, не наведені в даних методичних вказівках. Результат виконання та відповіді на питання, які задаватиме викладач під час захисту оцінюються кількістю балів від 1 до 7.

Захист лабораторної роботи зводиться до опитування студентів згідно орієнтовних контрольних питань на кожен лабораторну роботу та уточнюючих питань по індивідуальному завданню. Приклади завдань на захист лабораторної роботи наведені в розділі «Контрольні питання та завдання» в кожній лабораторній роботі.

Результати виконання лабораторних робіт оформлюються у вигляді звітів на аркушах формату *A4*, кожен з яких обов'язково містить:

- 1) повну назву лабораторної роботи, номер групи, прізвище студента та його підпис;
- 2) завдання на лабораторну роботу з вказаним номером варіанту;
- 3) результат виконання (більш докладна інформація наведена у відомостях до кожної роботи);
- 4) висновки щодо отриманих результатів.

Оформлення результатів виконання кожної лабораторної роботи має свої особливості, які вказані у розділах «Вимоги до оформлення звіту» даних методичних вказівок. Після оформлення звіту він здається викладачу на перевірку, і у випадку відсутності грубих помилок викладач виставляє оцінку за оформлення від 1 до 2 балів. Якщо звіт оформлено не за встановленими правилами, то він може бути повернутий на переробку.

З тими студентами, які за час семестру не встигли виконати одну чи декілька лабораторних робіт, проводяться додаткові індивідуальні заняття, за результатами яких визначається, наскільки глибоко засвоєний курс, чи необхідне повторне вивчення дисципліни.

За кожен лабораторну роботу студент може максимально отримати 7 балів (4 – за виконання та захист, 2 – за оформлення звіту, 1 – за своєчасність виконання), а за весь цикл – 28 балів. Актуальна інформація щодо розподілу балів за кожен навчальний рік є у робочому плані на дисципліну.

1 Лабораторна робота №1. Вимірювання температури поверхні тіла людини

Мета роботи: навчитись вимірювати температуру тіла людини за допомогою датчиків температури, порівняти ефективність і точність отриманих результатів для різних частин тіла та провести математичну обробку даних.

1.1 Теоретичні відомості

Знання про температуру тіла людини потрібно для широкого діапазону фізіологічних і клінічних досліджень. Зазвичай температура тіла не є рівномірною як всередині організму, так і на поверхні шкіри і може змінюватися залежно від часу доби. Отже потрібно вибрати відповідне місце вимірювання та метод.

Температура людського тіла чітко визначається балансом між виробництвом теплової енергії та втратами тепла.

Для того, щоб правильно інтерпретувати результати вимірювання температури на будь-якій даній ділянці, необхідні деякі знання щодо фізичних і фізіологічних факторів, які створюють цю температуру, і як зміни цих факторів можуть вплинути на неї. Температура шкіри людини значною мірою визначається температурою навколишнього середовища, відносною вологістю, швидкістю вітру, інтенсивністю сонячної радіації, атмосферного тиску, швидкістю обміну речовин, а також шкірного кровотоку. Цей кровотік змінюється в широких межах. Під час фізичних вправ при кімнатній температурі, при підвищенні температури тіла, пульс пришвидшується, рух теплої крові від серця до кінцівок істотно зростає, підвищується температура шкіри. Розсіюється це тепло шляхом випромінювання, теплопровідності, конвекції і випаровування поту. Відносний внесок кожного механізму розсіювання тепла залежить від фізіологічного стану і умов навколишнього середовища. При низьких температурах навколишнього повітря в стані спокою, приплив крові до шкіри знижується, зменшуючи температуру шкіри і зводячи до мінімуму втрати тепла.

Основними методами вимірювання температури тіла людини є *інвазивні* та *неінвазивні*. Нижче перелічено переваги та недоліки основних неінвазивних методів, так вони є прийнятними для дослідження в університеті студентами немедичних спеціальностей.

Пероральний. Спосіб встановлення термометра в під'язикову кишеню (тобто під язик) є найбільш широко використовуваним методом для вимірювання температури тіла в домашніх умовах, в лікарні через легку доступність. Температура в цьому регіоні, як правило, не завжди близька до T_c через великий потік артеріальної крові з гілки сонної артерії. Крім того, цей термометр швидко реагує за зміною T_c .

Пахви. Вимірювання температури в пахвовій западині (пахви) відбувається повільніше, ніж вимір оральної температури, так як вона займає

більше часу, щоб досягти рівноваги, і цей метод є менш точним, ніж вимірювання в прямій кишці, в роті чи вусі. Крім того, температура в пахвовій западині, як правило, значно нижче, ніж T_c , особливо у спортсменів. Завдяки своїй неточності не рекомендується для клінічного застосування.

Барабанна перетинка. Гілки внутрішньої сонної артерії постачають кров до центру терморегуляції в області гіпоталамусу області головного мозку, в той час як інша гілка постачає кров до барабанної перетинки. Оскільки значна частина кровотоку з серця надходить в мозок, температура мозку близька до температури серця. Був розроблений термометр для вимірювання температури на цій ділянці, частково через легкий доступ до вушного каналу. Проте багато досліджень показують, що цей метод ненадійний, особливо при фізичному навантаженні при підвищених температурах докільця і неточному розміщенні термометра людиною, котра не має достатньої кваліфікації. Крім того що цей спосіб передбачає фізичний контакт із барабанною перетинкою, він несе невеликий ризик перфорації мембрани.

Поверхня тіла. Температура шкіри, як правило, вимірюється за допомогою термісторів, поміщених на шкіру, вони закріплені на місці за допомогою стрічки. Оскільки ця температура варіюється від регіону до регіону, інтегроване значення зазвичай приймається шляхом усереднення записаних температур в десятках або більше місцях, якщо вимірювати температуру не потрібно на конкретній ділянці. Ця температура поверхні тіла не відображає T_c і є тільки температурою шкіри.

Основні вимоги до термометра.

- Він повинен мати точність не менше $0,1^\circ$.
- Він повинен вимірювати місцеву температуру і не бути під впливом змін температури інших ділянок тіла, або залежати від температури навколишнього середовища.
- Виміряна температура повинна бути досить довго стабільною після вимірювання.
- Форма термометра повинна бути зручною, придатною для використання його в організмі.
- Область застосування не повинна впливати на температуру вимірюваного параметра.

Він повинен бути простий в експлуатації

1.2 Хід роботи

- 1) Отримати у викладача номер варіанту.

Таблиця 1.1 – Індивідуальні завдання до виконання лабораторної роботи №1

№ Варіанту	Маркуваннядавача	Виведення інформації
1	LM35	7 сегм. індикатор
2	LM75	COM порт
3	DS18B20	7 сегм. індикатор
4	LM35	COM порт
5	LM75	7 сегм. індикатор
6	DS18B20	COM порт

2) Вивчити документацію і принцип роботи давача, згідно отриманого варіанту. Переконайтеся що в програмному середовищі розробки Arduino встановлені відповідні бібліотеки для роботи з обраним давачем. При відсутності таких, скачати їх і встановити за допомогою команд **Sketch-> Include Library-> Add .ZIP Library ...**

3) Для варіантів з виведенням інформації на 7 сегментний індикатор використовується додаткова плата MultiFunctionShield, яка встановлюється поверх основної Arduino плати. Додатково потрібно встановити бібліотеку для MultiFunctionalShield. Давачі LM35 і DS18B20 встановлюються безпосередньо на цю додаткову плату. Давач LM75 встановлюється окремо на макетній платі і вимагає використання програмного протоколу I2C, так як піни (виводи) які відповідають за вбудований в мікроконтролер інтерфейс I2C, зайняті платою MultiFunctionShield.

- 4) На макетній платі зібрати схему, необхідну для роботи датчика.

5) Написати програму для вимірювання температури за наступним алгоритмом:

Значення вимірюваної температури оновлювати раз в 1с і виводити їх на індикатор. В кінці вимірювань для варіантів із виведенням на COM порт вивести повідомлення виду "Patient temperature T = xx.x ° C"; для варіантів з 7 сегментним індикатором вивести мигаюче значення кінцевої температури.

6) Провести неінвазивні вимірювання температури в можливих доступних місцях тіла людини, порівняти значення та визначити середню арифметичну температуру і середньоквадратичне відхилення. Теоретичні відомості, формули, та приклади знаходження приведені в літературі [8].

1.3 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з даної лабораторної роботи обов'язково повинен містити:

- 1) У колонтитулі ПІБ студента, група, варіант.
- 2) Назва лабораторної роботи.

- 3) Індивідуальне завдання.
- 4) Хід виконання поставленого завдання.
- 5) Ваші пропозиції щодо покращення методу вимірювання температури тіла людини і проведення досліджень у рамках виконання лабораторної роботи.
- 6) Код програми і блок-схема програми.
- 7) Скріншот внутрішньої структури датчика і нумерації виводів.
- 8) Висновки з лабораторної роботи.

1.4 Приклади завдань для виконання

- 1) По натисненню кнопки зробити затримку 3 с, а далі початок вимірювання. Закінчення вимірювання також по натисненню кнопки.
- 2) Порівняти отримані значення температури із показами пірометра, яким також одночасно вимірювати температуру в цих же місцях. З обома групами даних провести математичну обробку згідно ходу роботи.
- 3) Реалізувати можливість програмного вибору відображення температури в градусах Цельсія, за Фаренгейтом та Кельвіном.
- 4) Реалізувати можливість апаратного вибору відображення температури в градусах Цельсія, за Фаренгейтом та Кельвіном.
- 5) Підключити до стенду 2 світлодіоди та кнопку. Червоний – очікування вимірювання, по натисненню кнопки загоряється зелений світлодіод і починається вимірювання.
- 6) Початок вимірювання по натисненню на кнопку. Якщо вимірюване значення не відрізняється від попереднього більше, ніж на величину дискретизації датчика в 10 разів, то припинити вимірювання. Чекає знову натиснення на кнопку.
- 7) За бажанням бригади для будь-якого варіанту давача температури вивести значення температури на LCD дисплей.

1.5 Контрольні питання

1. Поясніть поняття біосигнал, біосенсор, наведіть основні властивості біосигналів.
2. Класифікація біосигналів та сенсорів.
3. Основні фізіологічні сигнали та способи їх вимірювання.
4. Приведіть структуру типової мікропроцесорної системи.
5. Ізотермічна модель людського тіла, розподіл температури.
6. Графічне зображення систем керування температурою тіла.
7. Механізми регулювання температури тіла.
8. Зміна температури протягом дня та прирізних видах навантаження або зовнішніх факторів.
9. Методи вимірювань температури тіла: інвазивні та неінвазивні.
10. Назвіть основні типи термометрів для вимірювання температури тіла.
11. Типи сенсорів, які використовуються в цифрових термометрах.
12. Перелічіть властивості ідеального термометра.

2 Лабораторна робота №2. Вимірювання пульсу людини за допомогою оптичного методу з використанням ІЧ сенсору.

Мета роботи: навчитись вимірювати пульс за допомогою оптичного давача, порівняти ефективність і точність отриманих результатів для різних частин тіла та провести математичну обробку даних.

2.1 Теоретичні відомості

В наш час основними вимогами до вимірювання будь-яких параметрів, у тому числі і пульсу є швидкість, точність, зручність вимірювання. Сучасними тенденціями особливо у спорті, фітнесі і медичній реабілітації є застосування “розумних годинників”, спеціально розроблених натільних пристроїв та смартфонів із різними операційними системами і створеними додатками для вимірювання сукупності параметрів життєдіяльності людини.

Так як фотоплетізмографічні датчики значно більш поширені, дешевші, зручніші у використанні і достатньо одного датчика для вимірювання, обрано метод фотоплетізмографії для виконання даної лабораторної роботи.

Фотоплетізмограф - прилад, який визначає зміну розміру органів людини за допомогою фоточутливих елементів. Він може використовуватися і для вимірювання пульсу. В цьому випадку реєструється зміна інтенсивності світла від штучного джерела через проходження пульсової хвилі. Як правило, для реєстрації використовуються остання фаланга пальця, мочка вуха, зап'ястя або скроні. Дуже часто принцип фотоплетізмографії застосовується в різних спортивних аксесуарах.

Для реєстрації фотоплетізмограми потрібні джерело світла і фотоприймач. Джерелом зазвичай служить світлодіод, а приймачем - фототранзистор або фотодіод. Світло, що випромінює джерелом, поглинається тілом людини. У першому наближенні можна сказати, що ступінь поглинання залежить від кількості крові в тій точці тіла, де знаходиться датчик. При зміні кількості крові, змінюється поглинання світла і сигнал на виході фотоприймача.

По відношенню один до одного джерело і приймач можуть розташовуватися двома способами. Ці способи називаються “на відбиття” і “на просвіт”. У разі “на відображення” приймач і джерело розташовуються в одній площині (рисунок 2.1). Світло від джерела потрапляє на шкіру, частково поглинається і, відбиваючись, потрапляє на приймач.

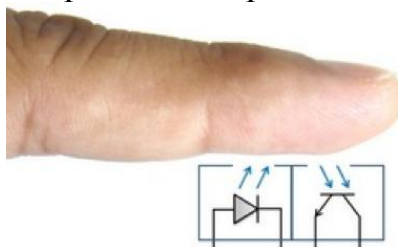


Рисунок 2.1 – Розташування світлочутливих елементів на відбиття

У варіанті “на просвіт” джерело і приймач розташовуються по різні сторони від частини тіла. Світло проходить палець наскрізь і потрапляє в фотоприймач.

Зображення пульсової хвилі називається фотоплетізмограмою або PPG (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зображення пульсової хвилі

Мета полягає в тому, щоб знайти послідовні моменти миттєвого серцевого удару і виміряти час між ними, які називаються називається ”Inter Bit Interval” (IBI). Знаючи передбачувану форму і характер хвилі PPG, це можна зробити.

Коли серце качає кров по всьому тілу, то з кожним ударом виникає пульсова хвиля (на кшталт ударної хвилі) , яка проходить уздовж всіх артерій до самих кінцівок капілярної тканини. Фактично кров циркулює в організмі значно повільніше, ніж рухається пульсова хвиля. Можна простежити за розвитком подій по мірі їх просування від точки ‘T’ на PPG (рисунок 2.3 – нижче). Швидке підвищення значення сигналу відбувається, коли пульсова хвиля проходить під датчиком, а тоді сигнал спадає назад вниз до нормальної точки. Іноді дикротичний зубець (шип вниз) є досить вираженим, але як правило сигнал осідає до фонового шуму до наступного імпульсу хвилі. Так як хвиля повторюється і є передбачуваною, можна б вибрати практично будь-яку відому точку функції в якості опорної точки, скажімо пік, і вимірювати частоту серцевих скорочень, за часом між кожним піком. Однак на точність може вплинути різне значення тривалості дикротичного зубця, а також базовий шум. В ідеалі бажано знайти миттєвий момент серцевого ритму. Це важливо для точного розрахунку BPM (ЧСС), дослідження Heart Rate Variability (HRV) – варіабельності серцевого ритму (ВСР) , і вимірювання Pulse Transit Time (PTT) – імпульсного часу переходу(ІЧП).

Деякі дослідники стверджують, що миттєвий момент серцевого удару відбувається у визначений момент протягом швидкого висхідного зростання сигналу PPG (ФПГ). Деякі дослідники роботи серця кажуть що це точка 25% від максимальної амплітуди, деякі що 50, а дехто каже що це початкова точка підйому кривої (рисунок 2. 3).

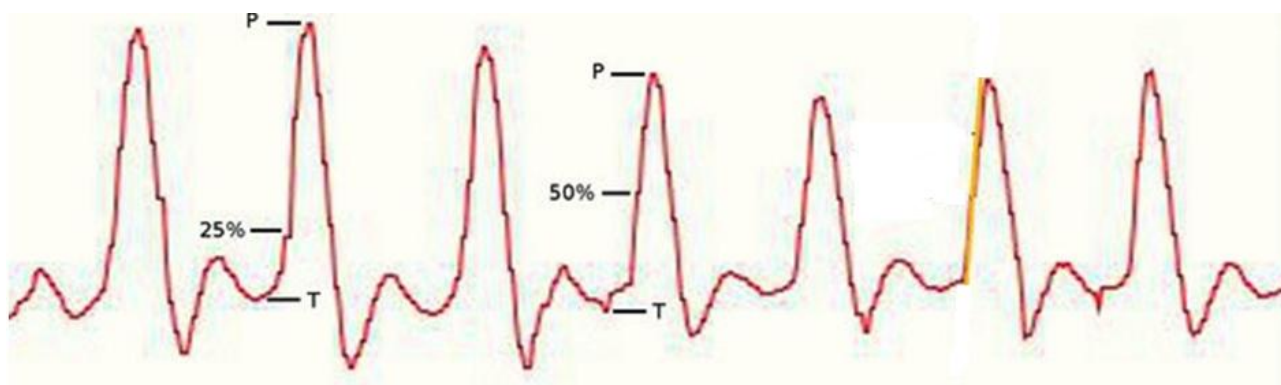


Рисунок 2.3 – Визначення миттєвого моменту серцевого удару

Щодо вибору датчика, то на ринку існує безліч готових пристроїв від різних виробників із вбудованими оптичними датчиками зі схожою функціональністю, точністю та різною ціною. Обирати можна практично будь-який готовий датчик, для дослідження ЧСС підходять всі.

Датчик імпульсів Amped – це оптичний датчик за методом фотоплетізографії, на відбивання. Він являє собою закінчений розроблений пристрій (рисунок 2.4) і використовується як датчик серцевого ритму для Arduino.

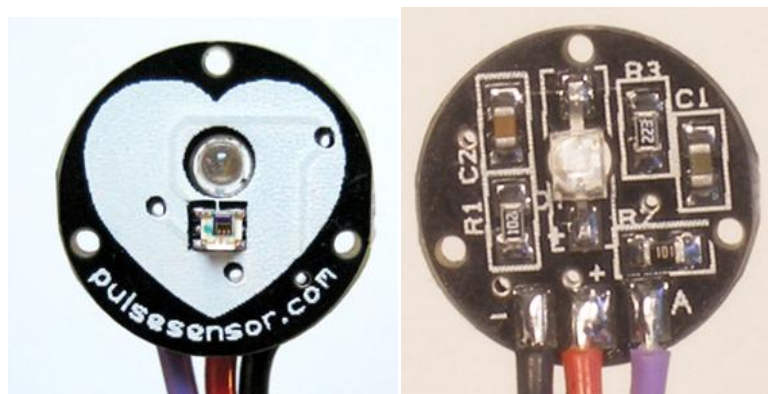


Рисунок 2. 4 – Вигляд датчикаAaped

Він може бути використаний студентами, дослідниками, спортсменами, мобільними розробниками, які хочуть легко включати дані в реальному часі серцевого ритму в свої проекти. Датчик кріпиться на кінчик пальця або мочку вуха і підключається прямо в Arduino з деякими перехідними кабелями. До датчика виробник випустив додаток моніторингу [9,10] з відкритим вихідним кодом (Pulse Sensor Visualiser), де відображаються графіки пульсу в режимі реального часу, історія зміни значень пульсу, значення ЧСС за хвилину .

2.2 Хід роботи

1. Отримати завдання у викладача.
2. Вивчити документацію і принцип роботи оптичного датчика пульсу AMPED. Інформація доступна на офіційному сайті виробника (www.pulsesensor.com). Також варто скачати необхідне програмне забезпечення і скетчі, що рекомендує виробник.

3. Зібрати схему, необхідну для роботи датчика і проведення вимірювань.

4. Написати програму для вимірювання пульсу. Вона повинна відображати як ЧСС, так і графічний вигляд сигналу пульсу в режимі реального часу. Приклади приведено в [9,10].

5. Зробити і зберегти скріншоти пульсограми (на них також повинно бути видно значення ЧСС).

6. Провести вимірювання пульсу в можливих відомих місцях тіла людини, порівняти значення та визначити середню арифметичну ЧСС і середньоквадратичне відхилення. Теоретичні відомості, формули, та приклади знаходження приведені в літературі [8].

2.3 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити:

- 1) У колонтитулі ПІБ студента, група, варіант.
- 2) Назва лабораторної роботи.
- 3) Індивідуальне завдання.
- 4) Хід виконання поставленого завдання.
- 5) Ваші пропозиції щодо покращення методу вимірювання пульсу людини і проведення досліджень у рамках виконання лабораторної роботи.
- 6) Код програми і блок-схема програми.
- 7) Скріншоти пульсограми зі значеннями ЧСС при вимірюванні в різних місцях тіла людини.
- 8) Структурну та принципову схеми давача пульсу.
- 9) Висновки з лабораторної роботи.

2.4 Приклади завдань для виконання

- 1) Перевірити з допомогою фітнес-трекера правильність показів ЧСС і порівняти їх із даними від оптичного датчика.
- 2) Виводити виміряне значення ЧСС на 7-й індикатор.
- 3) Виводити виміряне значення ЧСС на LCD дисплей.
- 4) Індикація кожного скорочення серця з допомогою світлодіода.
- 5) Присісти 10,20,30 разів і зробити вимірювання пульсу для кожного випадку (в окремому визначеному місці) . Порівняти їх зі значеннями ЧСС у стані спокою.
- 6) Виміряти пульс у положенні сидячи, лежачи та стоячи. Порівняти дані та пояснити їх.
- 7) Перевірити пульс пальпацією на зап'ясті чи шиї, порівняти значення із отриманими раніше оптичним датчиком. Пульс рахувати в ударах за хвилину, вимірювання проводити 15 або 30 секунд.
- 8) Дослідити детально інтерфейс програмного забезпечення для вимірювання пульсу від виробника оптичного датчика. Пояснити всі налаштування та можливі значення на скріншотах програми візуалізації.

9) Дослідити і пояснити, як впливає сила притиснення датчика до місця вимірювання і всі можливі параметри при вимірюванні пульсу в різних ділянках тіла людини.

2.5 Контрольні питання

1. Основні місця для детектування та вимірювання пульсу.
2. Фактори які впливають на серцевий ритм.
3. Основні методи вимірювання кардіоактивності.
4. Оптоплезмографія як основний метод вимірювання.
5. Принцип дії оптоплезмографічного датчика.
6. Приклади датчиків та проектів для вимірювання пульсу.
7. Оксигенація крові, фактори які впливають на її зміну.
8. Оптоплезмографічний метод вимірювання оксигенації, криві поглинання світла для ІЧ та червоного світлодіодів.
9. Вимірювання дихальної активності, основні типи датчиків.

3 Лабораторна робота №3. Вимірювання ЕКГ. Найпростіша фільтрація.

Мета роботи: навчитись проводити вимірювання електрокардіограми та проводити аналіз її основних параметрів.

3.1 Теоретичні відомості

Електрокардіограма (ЕКГ) - це графічне відображення (на папері або моніторі) електричних потенціалів, що виникають під час скорочень серця. ЕКГ є найбільш поширеним, масовим, недорогим, доступним дослідженням, що дозволяє отримати багато інформації про стан серця. Електрокардіографія лежить в основі багатьох діагностичних досліджень - холтерівського моніторування, велоергометрії, ЕКГ з використанням лікарських препаратів, дистанційної ЕКГ, моніторного спостереження в реанімаційних відділеннях або під час операцій. Кардіограма є записом електричної активності серця, яка отримується з поверхні тіла пацієнта - з верхніх і нижніх кінцівок і грудної клітини. Для запису ЕКГ в умовах лікарні (в залежності від типу апарату) використовуються електроди, спеціальні присоски і манжети. Зняття ЕКГ займає 5-10 хвилин. ЕКГ реєструють на різній швидкості. Зазвичай швидкість руху паперу становить 25 мм / сек. При цьому 1 мм кривої дорівнює 0,04 сек. Іноді для більш детальної записи використовують швидкість 50 і навіть 100 мм/сек. При тривалій реєстрації ЕКГ для економії паперу використовують меншу швидкість - від 2,5 до 10 мм / сек.

Електрокардіографія (ЕКГ) - абсолютно безпечний і безболісний метод діагностики. ЕКГ можна виконувати скільки завгодно раз через як завгодно короткі тимчасові проміжки.

Які показання є для запису ЕКГ? За великим рахунком - будь-які ситуації, що вимагають оцінки роботи серця: порушення нормального серцевого ритму (аритмії); гіпертонічна хвороба (з метою оцінки стану серця); ішемічна хвороба серця; інфекційні, запальні і обмінні патології серця;

ЕКГ проводиться в складі загального обстеження багатьом пацієнтам, що надходять в різні стаціонари; скринінгові дослідження показані особам у віці після 40 років, які зловживають алкоголем і курцям; особам, чия професійна діяльність висуває підвищені вимоги до стану серця - льотчикам, водіям, військовим, спортсменам і т.п.; скринінг вагітних; підвищений рівень холестерину крові.

У нормі електричні імпульси автоматично генеруються в невеликій групі клітин, розташованих в передсердях і званому синоатріальному вузлі (SA node). Тому нормальний ритм серця називається синусовим. Коли електричний імпульс, виникаючи в синусовому вузлі, проходить по передсердях, на електрокардіограмі з'являється зубець Р (рисунки 3.1).

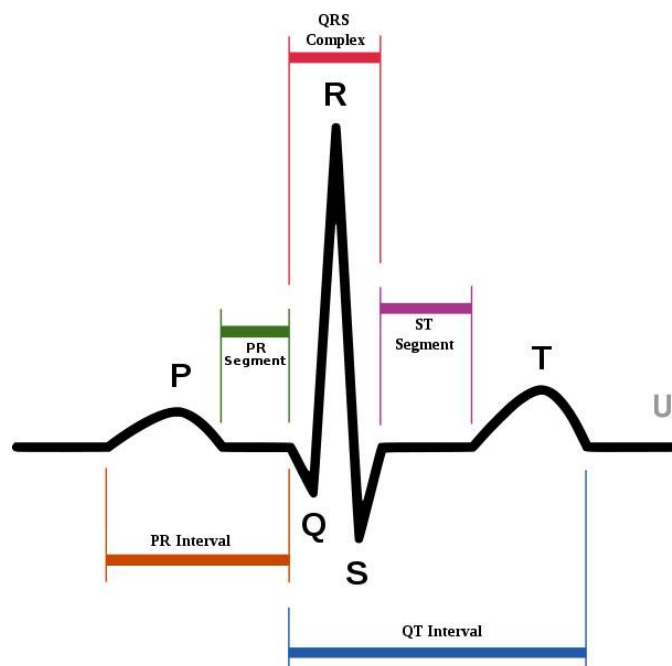


Рис.3.1 – Ідеалізований вигляд фрагменту ЕКГ

Далі імпульс через атриовентрикулярний (АВ, AV node) вузол поширюється на шлуночки по пучку Гіса. Клітини АВ-вузла мають більш повільну швидкість проведення, і тому між зубцем Р і комплексом, що відображає збудження шлуночків, є проміжок. Відстань від початку зубця Р до початку зубця Q називається інтервалом PQ. Він відображає проходження крові міжпередсерддями і шлуночками і в нормі становить 0,12-0,20 сек. Потім електричний імпульс поширюється по провідній системі серця, що складається з правої і лівої ніжок пучка Гіса (bundle of His) і волокон Пуркінє (Purkinje fibers), на тканини правого і лівого шлуночка. На ЕКГ це відображається декількома негативними і позитивними зубцями, які називаються комплексом QRS. У нормі тривалість його становить до 0,09 сек. Далі крива знову стає рівною, або як кажуть лікарі, знаходиться на ізолінії. Потім в серці відбувається процес відновлення вихідної електричної активності, названий реполяризацією, що знаходить відображення на ЕКГ у вигляді зубця Т і іноді наступного за ним невеликого зубця U. Відстань від початку зубця Q до кінця зубця Т називається інтервалом QT. Він відображає так звану електричну систолу шлуночків. По ньому лікар може судити про тривалість фази порушення, скорочення і реполяризації шлуночків.

Професійну оцінку електрокардіограми робить кардіолог або лікар функціональної діагностики. Що найчастіше згадується в описі ЕКГ?

1. *Джерело збудження.* При нормальній роботі серця джерело знаходиться в синусовому вузлі. Несинусовий ритм з'являється при синоатріальній блокаді, екстрасистолії, миготливої аритмії, тріпотінні передсердь.

2. *Правильність (регулярність) ритму.* Визначається, коли відстань між зубцями R декількох комплексів відрізняється не більше, ніж на 10%. У разі, якщо ритм неправильний, також говорять про наявність аритмій. Синусовий,

але неправильний ритм зустрічається при синусовій (дихальної) аритмії, а синусовий правильний ритм при синусовій браді- (рідкісний ритм) і тахікардії (частий ритм).

Наявність прихованих порушень ритму серця дозволяє виявити запис ЕКГ протягом доби - холтерівське моніторування.

3. ЧСС - частота серцевих скорочень. У нормі 60 - 90 ударів в хвилину. Значення ЧСС нижче норми називається брадикардією (уповільнене серцебиття), а вище - тахікардією (прискорене серцебиття).

4. Визначення ЕОС (повороту електричної осі серця). ЕОС - це результуючий вектор електричної активності серця, що співпадає з напрямком його анатомічної осі. Відхилення ЕОС можуть свідчити про гіпертрофії міокарда (збільшення серцевого м'яза, наприклад, при гіпертонічній хворобі, пороках серця, кардіоміопатії) або порушеннях провідності (блокади ніжок і гілок пучка Гіса).

5. Аналіз зубця Р. Зубець Р відображає виникнення імпульсу в синоатріальному вузлі і проходження його по передсердям. Деформація зубця Р характерна для патології мітрального клапана (Р mitrale) або захворювань бронхолегеневої системи з розвитком недостатності кровообігу (Р pulmonale).

6. Аналіз сегмента PQ. Відображає проходження і фізіологічну затримку імпульсу через атріовентрикулярний вузол. Зміна тривалості характерна для порушень провідності - синдрому укороченого PQ, атріовентрикулярної блокади.

7. Аналіз комплексу QRS. Відображає проходження імпульсу по міжшлуночкової перегородці і міокарду шлуночків. Зміна його тривалості, а також деформація комплексу характерна для інфаркту міокарда, блокад ніжок пучка Гіса, шлуночкової екстрасистолії, пароксизмальної шлуночкової тахікардії.

8. Аналіз сегмента ST. Відображає процес повного охоплення шлуночків збудженням. У нормі розташовується на ізолінії. Депресія (зниження) або підйом ST може вказувати на наявність ішемії міокарда або розвиток інфаркту міокарда.

9. Аналіз зубця Т. Відбиває процес загасання збудження шлуночків. У нормі позитивний. Негативний Т також вказує на наявність ішемії або часткового інфаркту міокарда. Наявність у пацієнта прихованої ішемії міокарда дозволяє виявити запис ЕКГ з фізичним навантаженням (велоергометрія).

10. Аналіз інтервалу QT. Дозволяє оцінити тривалість фази порушення, скорочення і реполяризації шлуночків.

3.2 Хід роботи

7. Отримати варіант(завдання) у викладача.

8. Вивчити документацію і принцип роботи ЕКГ-давача [11-13]. Переконатися що в програмному середовищі розробки Arduino встановлені відповідні бібліотеки для роботи з обраним давачем. Також варто скачати необхідне програмне забезпечення і скетчі, що рекомендує виробник.

9. Зібрати схему, необхідну для роботи датчика і проведення вимірювань, знати, як і в яких місцях потрібно розташовувати електроди.

10. Написати програму для вимірювання кардіоактивності. Програма обов'язково повинна передавати отримані дані через послідовний порт.

11. Побудувати в середовищі Matlab або іншому математичному пакеті чи іншій системі обробки та візуалізації даних (наприклад Labview) схему для отримання на графіку в режимі реального часу сигналу кардіограми з віртуального послідовного порту .

12. Зробити і зберегти скріншоти кардіограми.

13. Зробити оцінку загального вигляду кардіограми (інтервали, висоту, глибину та амплітуду зубців кардіограми) та можливу наявність на ній очевидних порушень роботи серця та чим вони зумовлені, тобто висновок про стан здоров'я серця піддослідного [14,15].

3.3 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити:

- 1) У колонтитулі ПІБ студента, група, варіант.
- 2) Назва лабораторної роботи і мета.
- 3) Індивідуальне завдання.
- 4) Хід виконання поставленого завдання.
- 5) Ваші пропозиції щодо покращення методу вимірювання ЕКГ і проведення досліджень у рамках виконання лабораторної роботи.
- 6) Код програми (зі своїми змінами, якщо на базі скачаного стетча чи коду).
- 7) Схему підключення модуля ЕКГ до Arduino чи AVR. Привести електричну принципову схему модуля.
- 8) Скріншоти знятої кардіограми в математичному пакеті.
- 9) Висновки щодо вигляду кардіограми та здоров'я серця піддослідного після аналізу основних параметрів кардіограми.
- 10) Висновки з лабораторної роботи.

3.4 Приклади завдань для виконання

1) Присісти 10,20,30 разів або зробити інші фізичні вправи декілька хвилин і провести вимірювання ЕКГ. Порівняти їх із кардіограмою у стані спокою.

2) Виміряти ЕКГ у положенні сидячи, лежачи та стоячи. Порівняти вигляд кардіограм та пояснити їх.

3) Дослідити, при яких положеннях електродів буде найкращий сигнал. Нарисувати відповідні схеми розташування електродів на тілі.

4) По натисненню кнопки зробити затримку 3 с, а далі початок вимірювання. Закінчення вимірювання також по натисненню кнопки.

5) Підключити до стенду 2 світлодіоди та кнопку. Кожне натиснення кнопки змінює стан вимірювального процесу. Червоний світлодіод –

очікування вимірювання, по натисненню кнопки загоряється зелений світлодіод, починається вимірювання, і навпаки.

3.5 Контрольні питання

1. Намалюйте спрощену структуру серця та розкажіть про неї.
2. Електрофізіологія серця, форми імпульсів для кожної спеціалізованої точки.
3. Методи вимірювання ЕКГ.
4. Трикутники Ейнтховена та Вілсона.
5. Які типи електродів для ЕКГ ви знаєте.
6. Кількість та розташування електродів.
7. Використання диференційних (інструментальних) підсилювачів для вимірювання ЕКГ.
8. Наведіть приклади підсилювачів для вимірювання ЕКГ та пристроїв ЕКГ зі спрощеними схемами.

4 Лабораторна робота №4. Вимірювання рівня насиченості киснем крові людини.

Мета роботи: навчитись проводити вимірювання рівня насиченості киснем крові людини з допомогою оптичного пульсоксиметра.

4.1 Теоретичні відомості

Пульсоксиметр (англ. Pulse oximeter) - медичний контрольно-діагностичний прилад для неінвазивного вимірювання рівня насичення киснем капілярної крові.

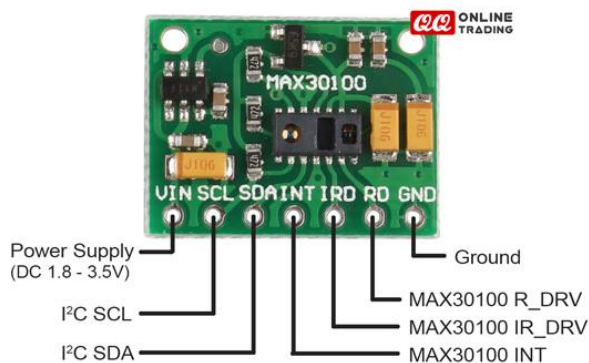


Рис.4.1 – Пульсоксиметр МАХ30100

Інтегральний датчик МАХ30100 призначений для контролю серцевого ритму і вмісту кисню в крові. В одному корпусі датчика об'єднані два світлодіоди, фотодетектор, підібрана з необхідними характеристиками оптична лінза і вхідний підсилювач з низьким рівнем шуму для реєстрації сигналів пульсу і вмісту кисню в крові.

Для роботи МАХ30100 необхідні джерела живлення напругою 1,8 і 3,3 В (забезпечується стабілізатором на платі). Пристрій може бути програмно переведений в режим очікування зі зниженим енергоспоживанням, що дозволяє обійтись без механічного вимикача живлення.

Датчик, оснащений двома світлодіодами, накладається найчастіше на палець, рідше на мочку вуха або крило носа.

У датчику знаходиться джерело світла. Світло, яке проходить через капіляри тканин до фотодетектори, частково поглинається м'якими тканинами і кров'ю. Ступінь поглинання залежить від того, наскільки гемоглобін крові насичений киснем. Фотодетектором реєструються зміни кольору крові в залежності від цього показника. Частоту пульсу розраховують залежно від числа світлодіодних циклів і впевнених сигналів в одиницю часу.

Найважливіша умова достовірності одержуваних даних - це повна нерухомість пальця в процесі дослідження.

Нормою є показник сатурації 95-98%. Метод дослідження, в якому використовується пульсоксиметр, високоінформативний. З його допомогою оцінюються функції дихальних органів, розпізнається дихальна недостатність, при якій показник насичення стає нижче 95%. Пульсоксиметр використовується анестезіологами в хірургії, а також при хронічному обструктивному захворюванні легенів, саркоїдозі, туберкульозі, професійних легеневиx болезнях. Пульсоксиметр - простий і безпечний прилад, застосування якого не вимагає спеціальної підготовки.

4.2 Хід роботи

1. Отримати варіант(завдання) у викладача.
2. Вивчити документацію і принцип роботи пульсоксиметра [16-17].
Переконатися що в програмному середовищі розробки Arduino встановлені відповідні бібліотеки для роботи з обраним давачем. Також варто скачати необхідне програмне забезпечення і скетчі, що рекомендує виробник.
3. Зібрати схему, необхідну для роботи датчика і проведення вимірювань, знати як проводити вимірювання.
4. Написати програму для вимірювання рівня насиченості кисню у крові.
5. Побудувати в середовищі Matlab або іншому математичному пакеті чи іншій системі обробки та візуалізації даних (наприклад Labview) схему для отримання на графіку в режимі реального часу даних із рівнем насиченості крові киснем із віртуального послідовного порту.
6. Зробити і зберегти потрібні скріншоти.
7. Зробити оцінку та розширені висновки про стан здоров'я піддослідного (піддослідних) на основі значень проведених вимірювань [16].

4.3 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити:

- 1) У колонтитулі ПІБ студента, група, варіант.
- 2) Назва лабораторної роботи і мета.
- 3) Індивідуальне завдання.
- 4) Хід виконання поставленого завдання.
- 5) Ваші пропозиції щодо покращення методу вимірювання оксигенації крові та проведення досліджень у рамках виконання лабораторної роботи.
- 6) Код програми (зі своїми змінами, якщо на базі скачаного стетча чи коду).
- 7) Схему підключення пульсоксиметра до Arduino чи AVR. Привести електричну принципову схему модуля.
- 8) Висновки з лабораторної роботи.

4.4 Приклади завдань для виконання

1) Провести вимірювання рівня насиченості крові киснем у трьох різних місцях тіла людини, що найбільш придатні для даного датчика. Порівняти результати.

2) Написати програму для вимірювання рівня кисню на мікроконтролері сімейства ARM.

3) Написати програму для вимірювання рівня кисню на мікроконтролері сімейства AVR.

4) Виводити виміряне значення рівня насиченості крові киснем на 7-й індикатор.

5) Виводити виміряне значення рівня насиченості крові киснем на LCD дисплей.

6) Дослідити, як змінюється рівень насиченості крові киснем при фізичних навантаженнях різної інтенсивності.

4.5 Контрольні питання

1. Оксигенація крові. Шляхи поповнення рівню кисню в крові.
2. Формула визначення оксигенації із поясненням.
3. Нормальний рівень оксигенації артеріальної крові, венозної крові, крові в м'язах (графік насичення).
4. Типова структура вимірювання оксигенації фотоплетизмографічним методом.
5. Переваги та недоліки пульсоксиметрії.
6. Як правильно проводити вимірювання пульсоксиметром MAX 30100 для отримання коректних показників?

Перелік посилань

1. J.G. Webster, Medical Instrumentation. Application and Design, 4th ed., John Wiley&Sons inc., 2010. – 695 p.
2. E. Kaniusas, Biomedical Signals and Sensors I. Linking Physiological Phenomena and Biosignals, Springer, 2012, 312 p.
3. E. Kaniusas, Biomedical Signals and Sensors II. Linking Acoustic and Optic Biosignals and Biomedical Sensors, Springer, 2015, 233 p.
4. J. Enderle, J. Bronzino, Introduction to Biomedical Engineering, 3rded., Elsevier, 2012, 1270p.
5. R.M. Rangayyan, Biomedical Signal Analysis. A Case-Study Approach, John Wiley&Sons inc., 2002. –555 p.
6. R.B. Northrop, Signals and System Analysis in Biomedical Engineering, 2nd ed., CRC Press, 2010, 656 p.
7. Аппаратная часть и программирование платформы Arduino. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.arduino.ru/- Загл. с экрана.
8. Среднее линейное и среднее квадратическое отклонение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://univer-nn.ru/statistika/srednee-linejnoe-otklonenie/> - Загл. с экрана.
9. PulseSensor Amped 2 Sensors. [Electronic resource] - Access mode: https://github.com/WorldFamousElectronics/PulseSensorAmped_2_Sensors - Title screen.
10. Processing Tutorials. [Electronic resource] - Access mode: <https://processing.org> - Title screen.
11. Простой кардиомонитор своими руками. <http://cxem.net/medic/medic38.php> - Загл. с экрана.
12. Кардиограф на Ардуино своими руками. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/860-arduino-i-ekg-kardiograf-svoimi-rukami.html - Загл. с экрана.
13. Модуль ЭКГ на базе микросхемы AD8232 для Arduino. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduino-kit.ru/catalog/id/modul-rc039.-«modul-ekg-na-baze-mikroshemyi-ad8232»-dlya-arduino> - Загл. с экрана.
14. Расшифровка ЭКГ у взрослых: что значат показатели. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://med.vesti.ru/articles/polezno-znat/rasshifrovka-ekg-u-vzroslyh-chno-znachat-pokazateli/> - Загл. с экрана.
15. ЭКГ: основы теории, снятие, анализ, выявление патологий. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sosudinfo.ru/serdce/ekg/> - Загл. с экрана.
16. Пульсоксиметр: практическое применение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://formed.ru/catalog/funkcionalnaya_diagnostics/pulsoksimetr/ - Загл. с экрана.
17. Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>.