

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_

(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

ЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ І КОНТРОЛЮ В МЕДИЦИНІ

(тема)

Виконав:

студент 4 курсу, групи ЕЕПСиз-21-1

Жебрицький С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма \_\_\_\_\_

«Електронні пристрої та системи»

(повна назва освітньої програми)

Керівник Карнаушенко В.П.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

Бондаренко І. М.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність (напрямок) \_\_\_\_\_ 171 Електроніка \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)  
Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
Освітня програма \_\_\_\_\_ «Електронні пристрої та системи» \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025\_ р.

## ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Жебрицькому Сергію \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Електронні засоби діагностики і контролю в медицині».  
затверджена наказом по університету від 05.05.2025 № 71Стз
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.06 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи напряга живлення 6 В; діапазон робочих температур -20+50 град.; середній струм споживання 50 мА; діапазон вимірювання тиску 0...2Бар.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

- 1) Аналітичний огляд
- 2) Створення проекту за допомогою САПР

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_

Схеми: схема електрична принципова;

Кресленики: схема електрична, складальне креслення, креслення друкованої плати.

Слайди: 11 одиниць

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування Розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	Дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	21.03.2025	
2	Огляд інформаційних джерел	25.03-30.05	
3	Створення проекту за допомогою САПР	01.05-15.05	
4	Пояснювальна записка	21.05-05.06	
5	Підготовка презентації	04.05-10.05	
6	Рецензування, нормо контроль	7.06-10.06	
7	Здача роботи на кафедрі	10.06.2022	

Дата видачі завдання 21 березня 2025р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи ВПК \_\_\_\_\_ Карнаушенко В.П.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 43 сторінок, 29 рисунки, 1 таблиця, 11 посилань, 4 додатки.

### ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМА, ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я, КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ, МЕДИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, СИСТЕМА НА КРИСТАЛІ

Об'єкт дослідження – компонентна база медичної техніки.

Мета роботи – дослідити принципи, методи та засоби побудови електронних систем медичного призначення.

Метод – аналітичний.

Актуальність: удосконалення електронних засобів в критично важливих сферах, таких як портативні монітори здоров'я, розумні медичні пристрої та телемедицина, мають значний вплив на ситуацію в сфері контролю стану людини. Інновації в технологіях догляду за пацієнтами можна знайти в таких сферах охорони здоров'я, як діагностика, підтримка життя, моніторинг здоров'я та персональне медичне обладнання для забезпечення високого рівня медичного обслуговування.

## ABSTRACT

Explanatory note to the attestation work: 43 pages, 29 figures, 11 references, 1 table, 4 appendices.

ELECTROCARDIOGRAM, ELECTRONIC HEALTHCARE SYSTEM, COMPUTED TOMOGRAPHY, MEDICAL INFORMATION SYSTEMS, SYSTEM ON CHIP

The object of research is the component base of medical equipment.

The work investigates the principles, methods, and means of building electronic medical prescription systems.

The method is analytical.

Relevance: The improvement of electronic tools in critical areas, such as portable health monitors, innovative medical devices, and telemedicine, has a significant impact on the situation in the field of monitoring the human condition. Innovations in patient care technologies can be found in healthcare areas such as diagnostics, life support, health monitoring, and personal medical devices to provide high medical care.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	8
1.1 Сучасні технології і медичні системи	12
1.2 Структурні схеми медичних електронних систем	17
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ	23
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ТОНОМЕТРА	39
ВИСНОВКИ	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	43
ДОДАТКИ	44

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕКГ – електрокардіограма;

ЕСОЗ – електронна система охорони здоров'я;

КТ – Комп'ютерна томографія;

МІС – медичні інформаційні системи;

МРТ – магнітно-резонансна томографія;

САПР – автоматизована система проєктування;

УЗД – ультразвукова діагностика;

ШІ – штучний інтелект;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

API – application programming interface;

IoT – Інтернет речей;

PSoC – Programmable System-on-Chip;

SoC – System-on-Chip, система на кристалі;

VR – віртуальна реальність;

USB, UART, SPI, CAN, LIN – комунікаційні інтерфейси;

XR – розширена реальність.

## ВСТУП

Використання електроніки в медичних технологіях почалося з винаходу у 1895 році Конрадом Рентгеном рентгенівського випромінювання і обґрунтування можливостей застосування його в медицині. Еволюція медичної електроніки спонукала технологічний прогрес і неперервний рух до покращення роботи системи охорони здоров'я. Від розробки електрокардіограми (ЕКГ) на початку 20-го століття до впровадження апаратів МРТ у 1970-х роках кожен стрибок уперед відкривав нові можливості.

Останні тенденції в сучасних медичних технологіях спираються на досягнення в галузі обчислювальної техніки, цифрових зображень і аналізу даних. Сучасний прорив у догляді за пацієнтами стався завдяки появі штучного інтелекту (ШІ), мініатюризації та високошвидкісного бездротового підключення до локальних обчислювальних мереж та Інтернету.

Інтеграція та аналіз даних є рушійною силою технологій охорони здоров'я, сприяючи прогресу в діагностиці, телемедицині та переносних моніторах здоров'я.

Удосконалення в критично важливих сферах, таких як портативні монітори здоров'я, розумні медичні пристрої та телемедицина, роблять великий крок вперед до сфери контролю стану людини. Подальші досягнення, такі як поява центрів обробки даних і периферійного штучного інтелекту, поставили технології охорони здоров'я на переломний момент. Інновації в технологіях догляду за пацієнтами можна знайти в таких сферах охорони здоров'я, як діагностика, підтримка життя, моніторинг здоров'я та персональне медичне обладнання.

Монітори стану, які можна носити, є життєво важливим елементом тенденцій медичних технологій, змінюючи догляд за пацієнтами завдяки відстеженню стану здоров'я в режимі реального часу та передовим розумним медичним пристроям.

Електронна промисловість створює конвергенцію багатьох технологій, які готові використовувати для виведення догляду за пацієнтами на новий рівень.



Рисунок – Компактні монітори стану людини

Виробники пристроїв створюють менші, потужніші процесори, інтегруючи кілька процесорних ядер, програмовану логіку та спеціальні обчислювальні функції ШІ в пристрої System-on-Chip (SoC). Ця конвергенція дає змогу розробникам технологій охорони здоров'я впроваджувати інновації.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Електроніка, допомагаючи покращити якість життя пацієнтів і спрощуючи процеси діагностики та лікування, виявилася набагато більш важливою у сфері охорони здоров'я. За допомогою електронних медичних приладів, сенсорів і діагностичного обладнання можна в режимі реального часу відстежувати стан здоров'я пацієнтів і отримувати точні дані про функціонування організму.

Основою для розвитку і застосування медичних сервісів є медичні інформаційні системи (МІС), інформаційно-комунікаційні системи, які дозволяють лікарням, лабораторіям та аптекам автоматизувати свою роботу та взаємодіяти з центральною базою даних ЕСОЗ (електронна система охорони здоров'я).

За допомогою МІС медики можуть додавати, переглядати та обмінюватися інформацією в центральній базі даних ЕСОЗ. А фармацевти — переглядати дані щодо електронних рецептів та погашати їх. Завдяки цьому пацієнти можуть користуватися електронними рецептами, е-направленням та іншими цифровими можливостями [1].

Електронні медичні пристрої, такі як кардіостимулятори, кардіомонітори та механічні вентилятори, відіграють важливу роль у лікуванні пацієнтів із різноманітними захворюваннями. Вони можуть відстежувати та контролювати життєво важливі функції організму, такі як частота серцевих скорочень, дихання та артеріальний тиск і надавати важливу інформацію медичним працівникам.

Крім того, використання сучасних сенсорів дозволило підвищити точність діагностики. Сенсори глюкози, наприклад, можуть допомогти хворим на діабет контролювати рівень цукру в крові в режимі реального часу, що важливо для контролю захворювання. Датчики також можна використовувати для моніторингу активності мозку, внутрішньочерепного тиску та інших важливих функцій організму.

Діагностичне обладнання також є важливим інструментом електроніки в галузі охорони здоров'я. Наприклад, комп'ютерна, магнітно-резонансна томографія та рентгенографія дозволяють отримати внутрішню візуалізацію людського тіла, допомагаючи в діагностиці стану здоров'я. Крім того, використання електронних інформаційних систем дозволяє записувати та аналізувати дані про стан здоров'я пацієнтів, забезпечуючи більш точний моніторинг та більш ефективне лікування (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Сфери застосування електроніки в медицині

Однак важливо підкреслити, що електроніка в галузі охорони здоров'я також представляє проблеми. Конфіденційність і безпека даних пацієнтів є

фундаментальними і повинні бути гарантовані за допомогою відповідних заходів безпеки. Крім того, важливо забезпечити належне калібрування та технічне обслуговування електронних медичних пристроїв, щоб уникнути збоїв, які можуть загрожувати здоров'ю пацієнтів.

Зважаючи на це, дуже важливо, щоб медичні працівники були навчені використовувати та інтерпретувати дані, створені електронікою. Використання цих інструментів може забезпечити більш точне та ефективне лікування, якщо воно здійснюється планомірно та з метою надання якісного лікування пацієнтам. Таким чином, електроніка відіграє фундаментальну роль у покращенні якості життя пацієнтів і в еволюції медицини в цілому.

### 1.1 Сучасні технології і медичні системи

Сучасні передові технології дають лікарям нові інструменти для діагностики та лікування пацієнтів. Оскільки перетин охорони здоров'я та технологій продовжує зростати, виробники електроніки відіграють життєво важливу роль у забезпеченні цієї важливої галузі.

За останні роки ринок медичних приладів суттєво зріс. Напівпровідники стають швидшими, меншими та надійнішими. Усе це означає, що лікарі та пацієнти звертаються як до пристроїв, так і до програмного забезпечення, щоб покращити свій досвід у сфері охорони здоров'я. Від штучного інтелекту (ШІ) до віртуальної реальності (VR) і передових електронних пристроїв до 3D-друку, технології змінили ландшафт медичного світу (рис.1.2).

Хоча ці досягнення, безсумнівно, корисні, вони не позбавлені проблем. Дійсно, незважаючи на те, наскільки далеко просунулися сьогодні медичні технології, ще потрібно зробити незбагнений обсяг роботи, щоб продовжувати їх вдосконалювати.



Рисунок 1.2 – Автоматичний електронний вимірювач тиску

Виробники пристроїв для охорони здоров'я, на відміну від побутових приладів, мають приділяти надзвичайно велику увагу факторам придатності продукції для застосування в медичній галузі. Несправність одного з їхніх пристроїв може коштувати життя пацієнту або завдати серйозної шкоди. Враховуючі цей фактор, кожен компонент від найпотужнішого процесора до найменшої мікросхеми пам'яті або індикатора має відповідати ключовим вимогам до продуктивності, надійності, що визначені галузевими стандартами та впроваджені державними органами для забезпечення безпеки пацієнтів. Вимоги до пристроїв у медичному застосуванні відрізняються та набагато суворіші, ніж вимоги для інших застосувань, особливо там, де пристрої будуть імплантовані або контактуватимуть з тілом. Стандарти та правила для медичної промисловості значно відрізняються від стандартів для інших галузей промисловості, часто потребують схвалення Управління з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів.

Крім того, прилади, що використовуються в медицині, мають враховувати енергетичну ефективність. Імпланти, переносні пристрої та пристрої для моніторингу стану пацієнта мають споживати мінімальну енергію або потре-

бують постійної підзарядки. Такі обмеження та вимоги визначають шлях розвитку медичних технологій.

Електроніка стала важливою частиною визнаних і широко використовуваних медичних інновацій у всьому світі. Від моніторів пацієнтів до діагностичних систем візуалізації та інфузійних пристроїв широко використовується електроніка. В свою чергу, мікроелектроніка надає можливість зменшувати габарити і енергоємність компонентної бази медичних пристроїв.

Серед сучасних інновацій в медицині можна назвати деякі, що зіграли визначальну роль в формуванні сьогоденного обліку медичної електроніки. Одним з фундаментальних аспектів є поява wearables (монітори, пристрої, що носяться), що включають в себе окуляри, розумні годинники, каблучки і навіть предмети одягу з різноманітними можливостями моніторингу пацієнтів. Розробка нових біосенсорів для вимірювання таких показників, як частота серцевих скорочень, температура тіла та стану людини під час сну, є одним з основних напрямом розвитку моніторів. Такі пристрої зручні, непомітні, енергоефективні, міцні, легкі тощо. Окрім того, що вони дозволяють людям вимірювати свої життєві показники на ходу, монітори також сприяють поширенню телемедицини, яка змінила протоколи соціального дистанціювання під час пандемії. Багато розумних технологій, від безперервних моніторів глюкози та актиграфічних годинників до багатьох інвазивних прикладів, таких як пристрої ЕКГ та інших пристроїв, дозволяють лікарям дистанційно спостерігати за станом пацієнтів.

Багато продуктів розроблено задля покращення когнітивних функцій, якості сну та навіть загального настрою користувача за допомогою таких концепцій, як нейростимуляція. Ці продукти є клінічно перевіреними медичними пристроями, які мають позначку CE та акредитацію.

Слухові апарати є ще одним прикладом медичної технології, яка продовжує розвиватися, а також постійно отримує більш сучасні компоненти. Мікроелектроніка відіграє важливу роль у появі малопомітних і майже невидимих навушників, завдяки застосуванню в якості перетворювачів звуку сучасні мікро

електромеханічні пристрої. Деякі інші новації, що запроваджуються, включають зниження шумів і енергоспоживання, функції маскування, підключення до смартфона та навіть додавання таких функцій, як відповідь на телефонні дзвінки та перетворення аудіо з побутових приладів.

Робототехніка виконує багато різних функцій у секторі охорони здоров'я, і електроніка є базою для кожної з функцій. Роботизована хірургія дозволяє виконувати багато операцій з надвисокою точністю, контролем і гнучкістю. Це створює низку мінімально інвазивних процедур, які скорочують час відновлення, а також пом'якшують багато ризиків, пов'язаних з відкритими операціями. Роботи зі штучним інтелектом, такі як хірургічна система da Vinci, працюють в лікарнях, щоб допомагати лікарям і медсестрам в їх роботі.

Проте, є сфера, де більш просунута електроніка, ймовірно, відіграватиме важливу роль, – це протезування, а в майбутньому – екзоскелети. Пасивні протезні частини тіла, такі як руки та ноги з обмеженою функціональністю в реальному житті, починають поступатися місцем міоелектричним та біонічним кінцівкам, які керуються зовнішніми електричними джерелами енергії, реагуючи на рухи м'язів користувача та виконуючи багато завдань.

Плівкова електроніка дозволяє формувати гнучкі плати, на яких формуються відповідні сенсори, інтегральні схеми на підкладці з поліуретану, поліамідних плівок, що дозволяє зберігати функціональність схем навіть за наявності значного вигину.

Така гнучка електроніка також може бути застосована на поточних розробках одягу з можливостями моніторингу, що надасть датчикам в переносних пристроях набагато більше поширення.

Портативні апарати ЕКГ і УЗД є життєво важливими інструментами, які дозволяють швидко контролювати роботу серця на ходу, особливо у віддалених або екстрених випадках (рис. 1.3). Ці пристрої компактні, прості у використанні та забезпечують миттєве зчитування серцевої діяльності, що робить їх необхідними як для медичних працівників у цій галузі, так і для пацієнтів, які потребують постійного серцевого моніторингу [2].



Рисунок 1.3 – Дослідження стану органів із допомогою УЗД

Терапевтичні пристрої служать основними інструментами для лікування в галузі медичної електроніки. Вони включають все: від інфузійних насосів до апаратів для променевої терапії, призначених для лікування специфічних захворювань, таких як рак, хронічний біль і серцево-судинні захворювання. Ці пристрої часто працюють у парі з діагностичними інструментами для надання комплексної допомоги, а також використовуються в лікарнях для доставки ліків, рідин і поживних речовин безпосередньо в кров пацієнта.

Технології візуалізації, такі як апарати МРТ, сканери КТ та рентгенівські апарати, надають детальні зображення, які допомагають лікарям побачити нутрощі людського тіла, не роблячи жодного розрізу. Ці пристрої мають вирішальне значення для діагностики та лікування широкого спектру захворювань. Вони необхідні для діагностики різних медичних станів, надаючи детальні зображення органів і тканин (рис. 1.4).

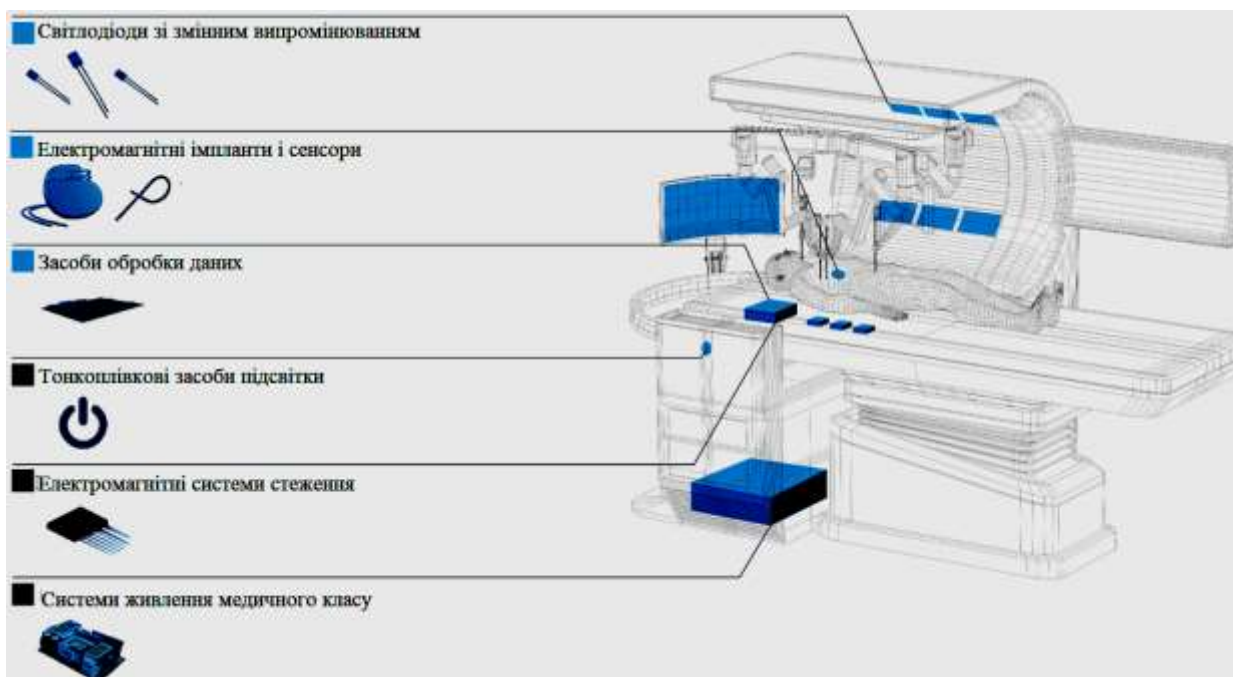


Рисунок 1.4 – Компоненти електронних систем апарату МРТ

## 1.2 Структурні схеми медичних електронних систем

Одним з перших і найпоширених електронних медичних пристроїв є електронний тонометр. Перший прилад для вимірювання артеріального тиску – сфігмоманометр був винайдений Самуелем Зігфрідом Карлом Ріттером фон Башем у 1881 році [2]. Пізніше, у 1905 році лікар-хірург, випускник медичного факультету Харківського університету Микола Коротков став першим, хто додав використання стетоскопа для визначення нижнього артеріального тиску, та вислуховування додаткових шумів. З того часу принцип вимірювання, як такий не змінився, а от сам прилад, завдяки застосуванню електронних компонентів отримав нове життя. Розвиток мікроелектроніки і мікросистемної техніки дозволив значно спростити користувальницькі функції приладу. Застосування мікро контролерів, нової компонентної бази розширили можливості приладу аж до можливості використання людьми з вадами зору. Але у сучасних тонометрів є одна вада в порівнянні з ртутними, – останні являються фактичним стандартом. в той час, як електронні потребують своєчасної повірки характеристик.



Базовим елементом структури є інтегральний сенсор тиску медичного рівня. Структура MPXC2011 складається з мостової вимірювальної схеми і схеми калібрування і температурної компенсації (рис. 1.6).

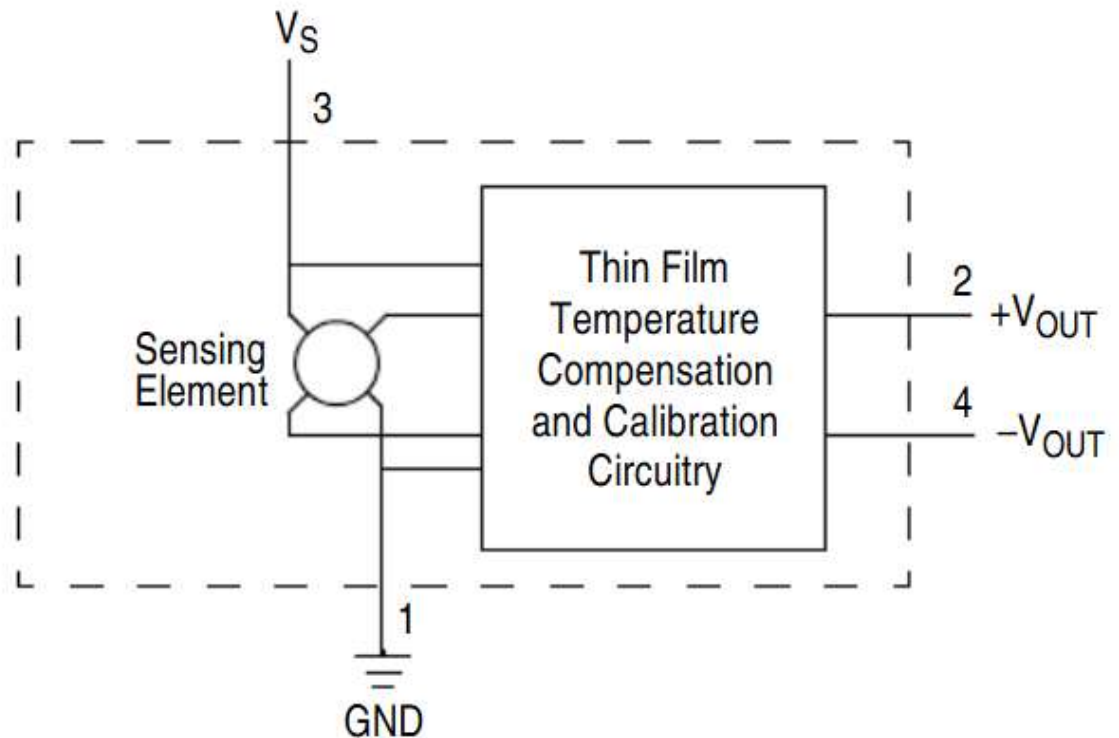


Рисунок 1.6 – Структура інтегрального сенсора тиску MPXC2011

В таблиці наведені деякі характеристики інтегральних схем датчиків медичного рівня Freescale Compensated Medical Grade (наразі Freescale є частиною NXP Semiconductor) [4].

Таблиця – Медичні датчики тиску з температурною компенсацією

Серія	$P_{\text{макс.}}$ , PSI	$P_{\text{макс.}}$ , кПа	$P_{\text{макс.}}$ , "H <sub>2</sub> O	$P_{\text{макс.}}$ , см H <sub>2</sub> O	$P_{\text{макс.}}$ , мм рт.ст.	$U_{\text{пит.}}$ , В	$U_{\text{смещ.}}$ , мВ	Чутливість, мВ/кПа
MPXC2011	1,45	10	40	102	75	10	1	5
MPX2300	5,8	40	161	408	300	6	0,75	5

Також тонометри мають деякі додаткові можливості що підвищують їх споживацькі функції:

- вимірювання частоти пульсу;
- пам'ять вимірювань;
- обчислення середнього значення артеріального тиску для підвищення точності вимірів;
- датчик положення руки відносно серця у тонометрах зап'ястного типу;
- для людей із слабким зором існують тонометри з мовним блоком, які озвучують результати вимірювань;
- інтерфейси для підключення до зовнішніх пристроїв.

Таких технологій в електронних пристроях існує велика різноманітність.

Іншим широко розповсюдженим пристроєм, особливо у зв'язку з пандемією, є прилади для вимірювання пульсу і оксигенації (oxygen saturation) крові. Треба зауважити, що перші прилади для вимірювання рівня кисню в крові були побудовані ще за часів вакуумної електроніки.

Пульсоксиметр працює на основі фотоплетизмографії та спектрофотометрії. Кисень є невід'ємною частиною життя кожної людини. Кров переносить кисень від легень до різних органів і тканин. Під час дихання кисень проходить через стінки альвеол в легені і захоплюється еритроцитами. Збагачена киснем кров потрапляє в серце, яке перекачує її в інші частини тіла. Потрапивши в різні тканини, кров віддає кисень, що міститься в ній і забирає замість нього вуглекислий газ. Насичена вуглекислим газом кров повертається в серце, яке знову перекачує її в легені, де вона звільняється від вуглекислого газу і насичується киснем, завершуючи тим самим цикл газообміну. Рівень насичення крові киснем в організмі називається сатурацією. Вимірюючи різницю в поглинанні світла, прилад визначає рівень сатурації крові.

Це означає, що він використовує світлові промені для вимірювання насиченості крові киснем. Пристрій складається з двох основних компонентів: дже-

рела світла (червоного та інфрачервоного) та фотодетектора. Пульсоксиметр, як-от H100B від Edan, фіксується на пальці або іншій частині тіла та пропускає світло крізь тканини. Оксигемоглобін (гемоглобін, насичений киснем) і дезоксигемоглобін (гемоглобін без кисню) поглинають світло різної довжини хвиль (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Блок відображення інформації H100B Edan

Пульсоксиметрия внесена в сучасні стандарти моніторингу як обов'язкова при будь-яких видах хірургічних втручань. Введення в широку клінічну практику пульсоксиметрів вважається найбільш значущим за останні 20 років досягненням у моніторингу безпеки пацієнта. Окрім того, ця електроніка також сприяє розвитку медичної промисловості. У майбутньому очікується, що використання та популярність цих пристроїв надзвичайно зростуть.

Структура приладу складається з оптичної системи, яка складається з оптопар, що складається зі світло діодів з довжиною хвилі випромінювання 660 нм і 940 нм (червоний і інфрачервоний діапазон) і двох фотодіодів з відповідними оптичними характеристиками та схеми збудження і обробки сигналу (рис. 1.8). Кожна молекула гемоглобіну може захопити до чотирьох молекул кисню, а від кількості молекул кисню в крові буде змінюватися рівень поглинання світлового випромінювання.

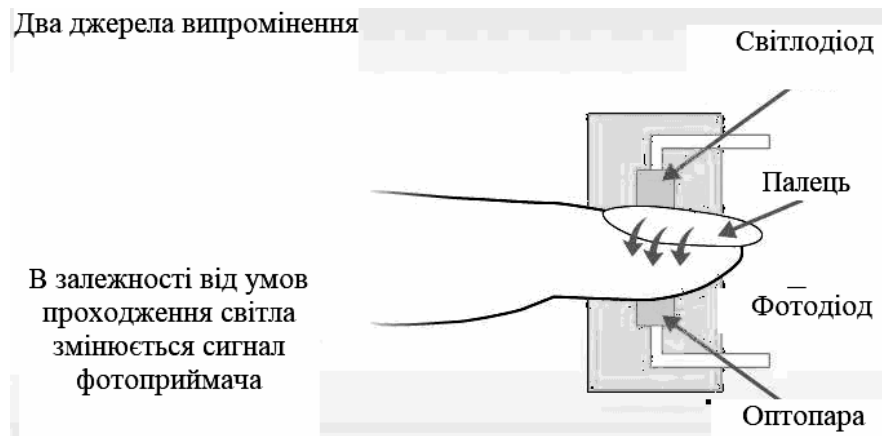


Рисунок 1.8 – Принцип вимірювання із застосуванням оптопари

Одночасно, кожен удар серця змінює рівень наповнення кровоносних судин, при цьому випромінювання, яке фіксує оптопара набуває пульсуючий характер, Що дозволяє одночасно визначити частоту пульсу і показати на екрані дисплея криву, так звану плетизмограму (реєстрація коливань об'єму тіла людини, окремого органу або частини через наповнення їх кров'ю). З її допомогою можна визначити ритмічність серцебиття і точно знати наскільки правдиві результати дослідження.

У міру вдосконалення таких технологій, як штучний інтелект, розширена реальність (XR), IoT і сенсорика, медична промисловість також адаптує ці технології, щоб покращити діагностику і лікування людини. Підключені медичні пристрої (засоби моніторингу стану здоров'я) також відіграють суттєву роль у покращенні догляду за пацієнтами завдяки віддаленому моніторингу стану у реальному часі.

## 2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ

Як було зазначено в попередньому розділі, найбільшого розповсюдження в побутовій медичній практиці отримали автоматичні тонометри. Цільовим приладом для розробки системи контролю в медицині було обрано пристрій контролю кров'яного тиску людини. Структура автоматичного тонометра була наведена на рисунку 1.5. Для спрощення процесу розробки проекту доречно розділити вказану структуру на декілька окремих блоків з урахуванням функціональних особливостей і задля спрощення вибору компонентної бази (рис. 2.1).

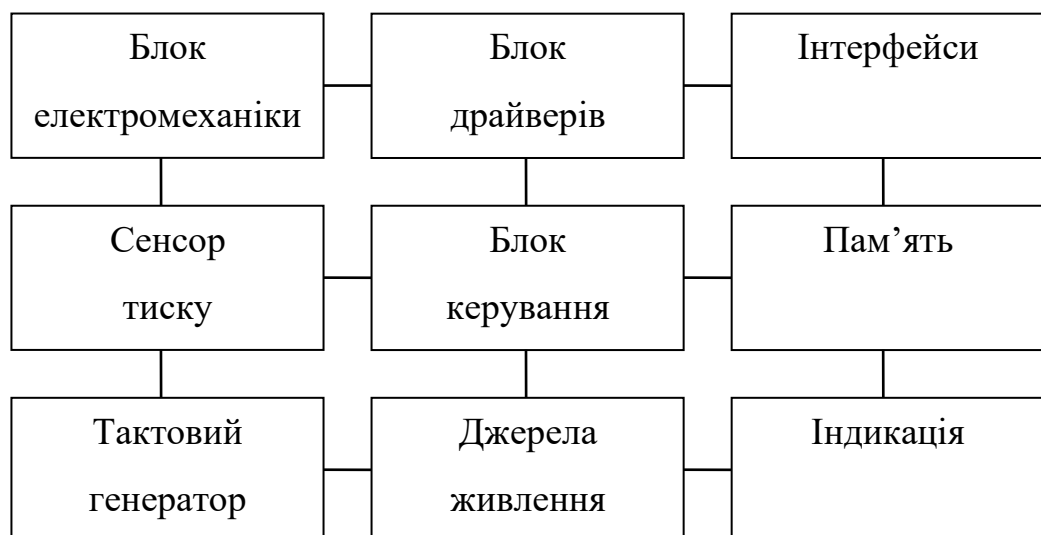


Рисунок 2.1 – Спрощена структура електронного тонометра

Блок електромеханіки поєднує два компоненти, які виконують функцію нагнітання повітря в манжету і робочій цикл вимірювання тиску. Для цього застосовують мініатюрні компресори і повітряні електромеханічні клапани. На рисунках 2.2 і 2.3 наведено зовнішній вигляд та установчі розміри електромагнітного компресора виробництва KOGE Electronics Co. Ltd (Тайвань) [5].

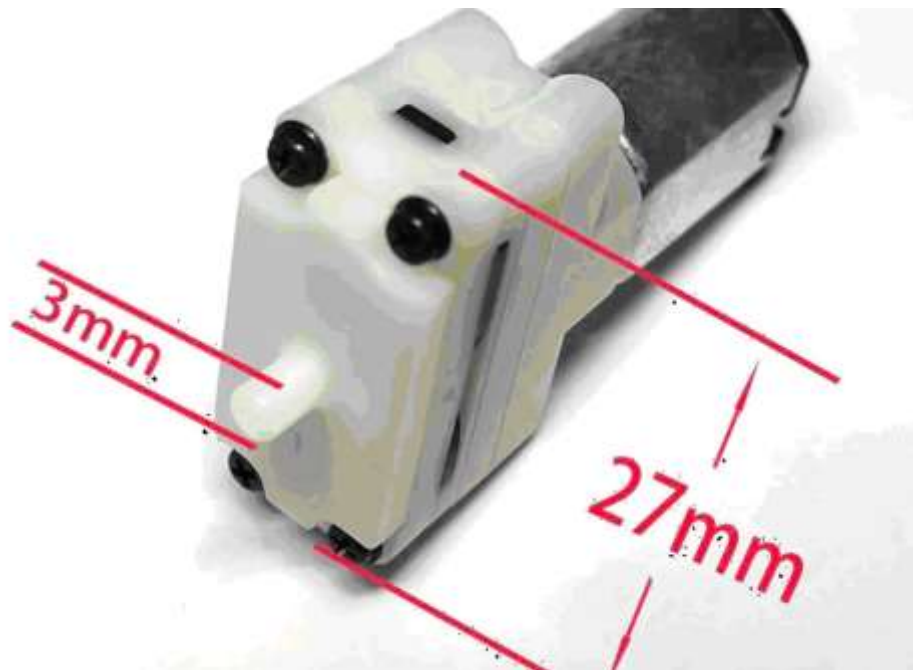


Рисунок 2.2 –Компресор КРМ14А, для зап'ястних тонометрів Microlife, LD, Nissei, B.Well, Гама

Технічні характеристики компресору КРМ14А:

- номінальна напруга: DC3.0V;
- номінальний струм: <350 мА;
- повітряний потік без навантаження: > 0,07LPM;
- витрата повітря: > 0,8 л/хв;
- максимальний тиск > 450 мм рт.ст.;
- шум: <52 дБ (30 см);
- кількість робочих циклів: > 50000 разів.

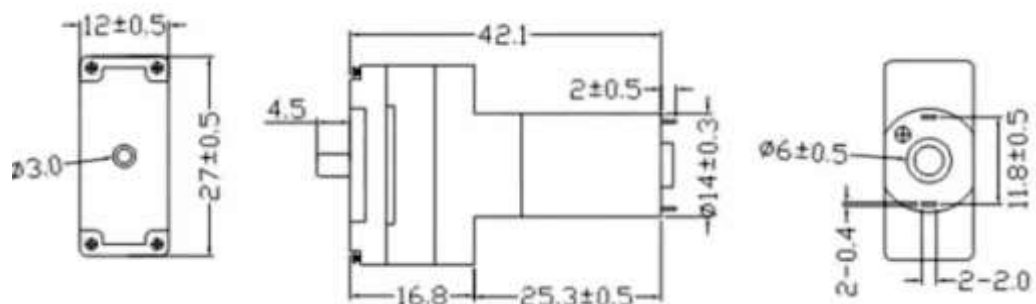


Рисунок 2.3 – Установчі розміри компресору КРМ14А

KOGE Electronics також випускає електромагнітні клапани медичного класу застосування. Клапани KSV04A-3C – це мікро клапани, які використовуються для регулювання потоку газів і рідин. Вони характеризуються високою надійністю та продуктивністю з невеликим розміром – 15,0 x 8,0 x 10,0 мм<sup>3</sup> (рис. 2.4).

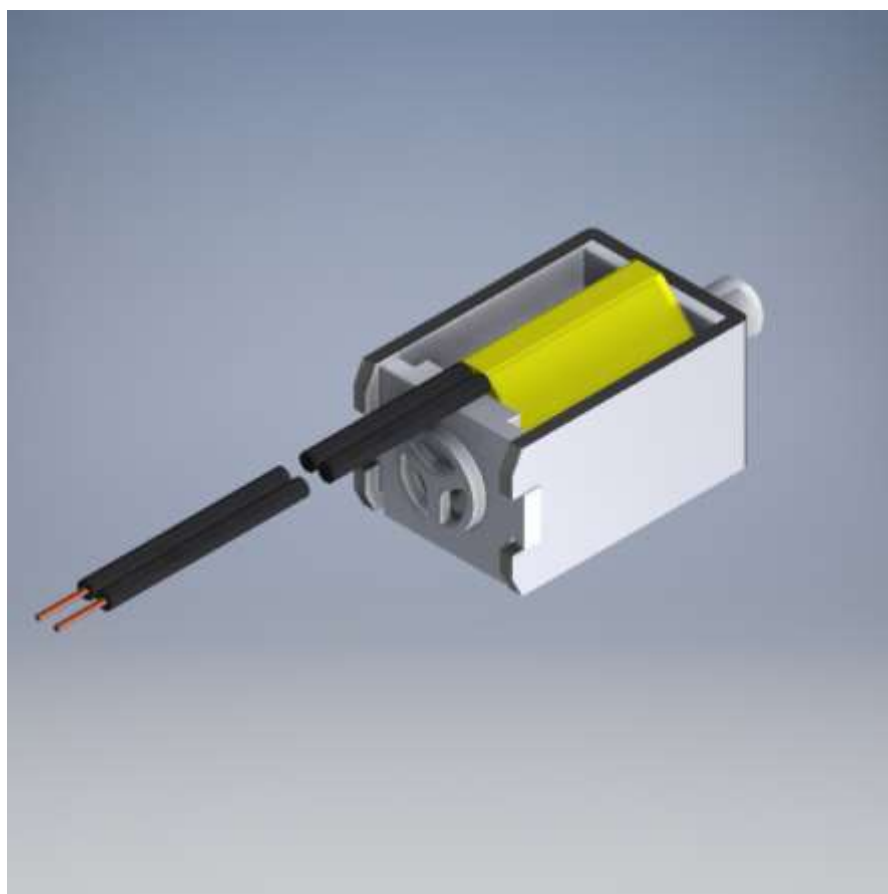


Рисунок 2.4 – Мікро клапан KSV04A

Клапани працюють при напрузі постійного струму 3,0 В, мають високу швидкість випуску і при цьому максимальний струм становить 150 мА при опорі 20 Ом, а термін служби становить мінімум 30000 циклів.

Окрім електромеханічної частини не менш важливу роль відіграє сенсор тиску, якій формує сигнал, що є характеристичним параметром для роботи системи вимірювання. Сучасні сенсорні компоненти переважно виготовляються за інтегральними технологіями мікро електромеханічних систем. До цього класу

відносяться, окрім вище згаданої серії MPX, сенсори медичного рівня Honeywell, KELLER Pressure, NXP та інші [6].

MPL3150A2S від NXP – це прецизійний п’єзоелектричний сенсор тиску з блоком обробки сигналу на основі спеціалізованої інтегральної схеми, температурною компенсацією і цифровим інтерфейсом, розміром  $4,5 \times 2,5 \times 1,1$  мм<sup>3</sup> виготовлений за гібридною технологією (рис. 2.5, 2.6).

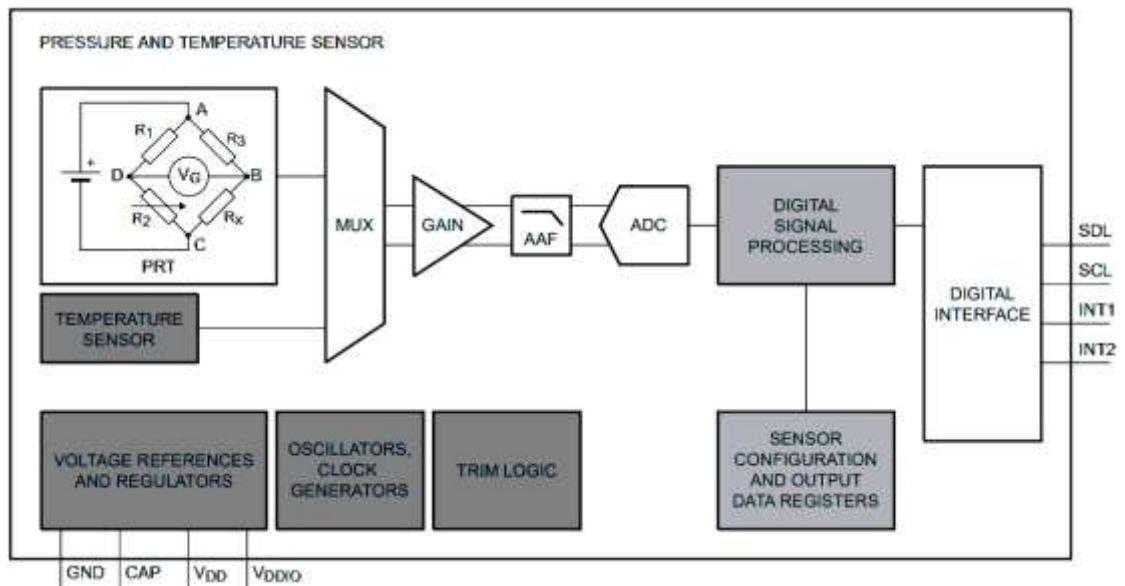


Рисунок 2.5 – Структура сенсора тиску MPL3150A2S



Рисунок 2.5 – Сенсор тиску MPL3150A2S в корпусі LGA-8

Сфери застосування MPL3150A2S – від індустріальних до медичних. Первинний перетворювач виготовлено за тонко плівковою технологією на кремнієвій пластині (рис. 2.6).

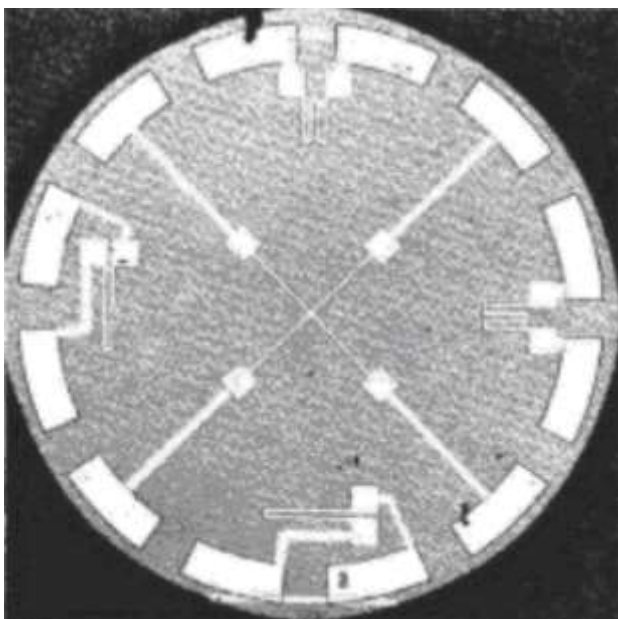


Рисунок 2.6 – Фотографія первинного перетворювача сенсору тиску MPL3150A2S

Основні характеристики сенсору тиску MPL3150A2S:

- I<sup>2</sup>C цифровий вихідний інтерфейс (до 400 кГц);
- повна внутрішня компенсація;
- програмовані переривання;
- напруга живлення від 1,95 В до 3,6 В, внутрішнє регулювання;
- напруга живлення цифрового інтерфейсу від 1,6 В до 3,6 В;
- робоча температура від -40 °С до +85 °С;
- сумісний з MSL 1 (класифікація умов експлуатації);
- тиск: 20-бітне вимірювання;
- температура: 12-бітне вимірювання;
- автономний збір даних;
- вбудована 32-Sample пам'ять FIFO;
- реєстрація даних до 12 днів за допомогою FIFO.

П'єзорезистивну технологію вимірювання тиску також використовує швейцарська фірма KELLER Pressure. Основою для первинного перетворювача є мембрана із кристалічного кремнію завтовшки менше одного міліметра [7]. Леговані області кремнію утворюють п'єзорезистивні елементи. Щоб ізолювати сенсор від зовнішнього середовища, використовується металевий герметичний корпус (рис.2.7).

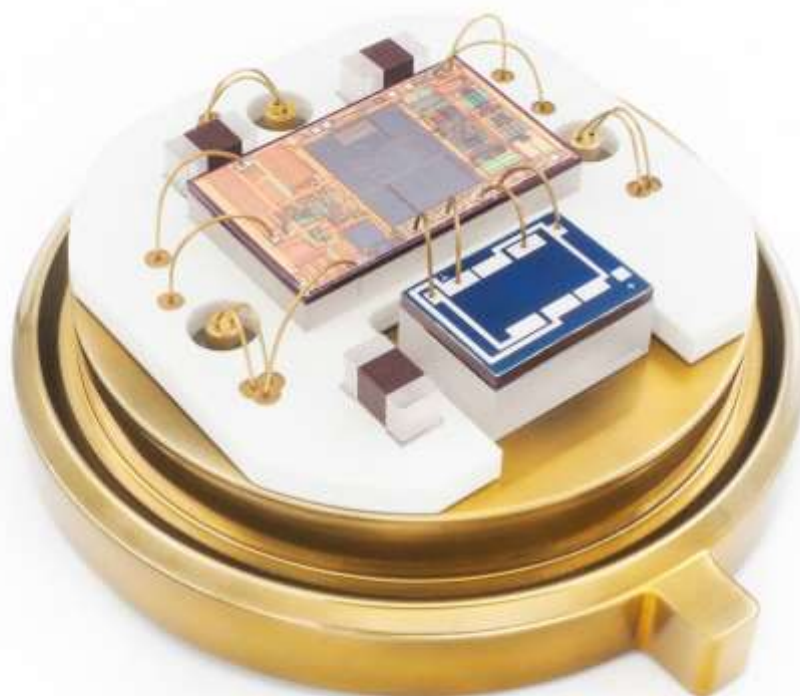


Рисунок 2.7 – Фотографія сенсора KELLER Pressure Series 9FL без кришки (розмір 17x5,5 мм)

На платі розташовані елементи електричної схеми, що включають схему узгодження сигналу і спеціалізовану аналого-цифрову схему, що включає ядро мікропроцесора, пам'ять, інтерфейсні схеми, схему корекції температурної залежності і перетворювачі.

Сенсор має модульну конструкцію, що надає можливість під лаштувати корпус для будь яких умов використання (рис. 2.8).

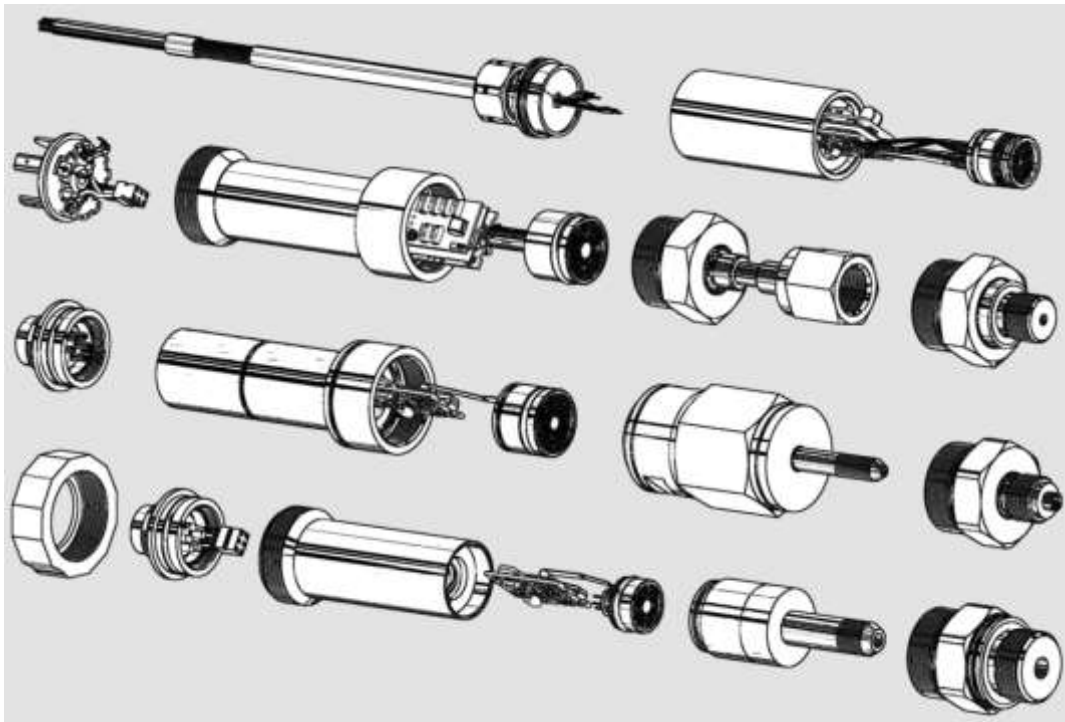


Рисунок 2.8 – Види корпусів для сенсорів

Сенсори тиску Honeywell надають великий вибір датчиків для монтажу на платі задля широкого спектру медичних пристроїв. Високоточні кремнієво-керамічні (High Accuracy Silicon Ceramic, HSC) серії TruStability і стандартні кремнієво-керамічні (Standard Accuracy Silicon Ceramic, SSC) серії Honeywell – це п'єзорезистивні кремнієві датчики тиску, які мають цифровий або аналоговий вихід для вимірювання тиску в повному заданому діапазоні тиску і температури. Серії HSC і SSC мають точність  $\pm 0,25$  %, невеликі розміри та надзвичайно низьке енергоспоживання [8]. Виготовляються базові датчики тиску та мікротиску з різними діапазонами вимірювання, зовнішніми портами, виводами та корпусами для будь яких додатків (рис. 2.9).

Наприклад, датчик тиску для монтажу на плату HSCDANT005PGAA5 має такі основні характеристики та можливості:

- малий розмір;
- надійність, зниження витрат на обслуговування;
- довгострокова стабільність, що подовжує термін служби обладнання;

- різноманітна конфігурація, широкий вибір портів і опцій вихідного сигналу;
- розширена температурна компенсація для підтримки широкого спектру медичних, промислових і транспортних застосувань;
- низьке енергоспоживання, що дуже важливо для додатків, що живляться від акумуляторів.

Сфери застосування в медицині:

- медична;
- анестезія;
- діагностичне обладнання;
- лабораторне обладнання;
- хірургічне обладнання;
- стоматологічне обладнання;
- обладнання для діалізу;
- вимірювання кров'яного тиску;
- виявлення засмічення фільтрів.

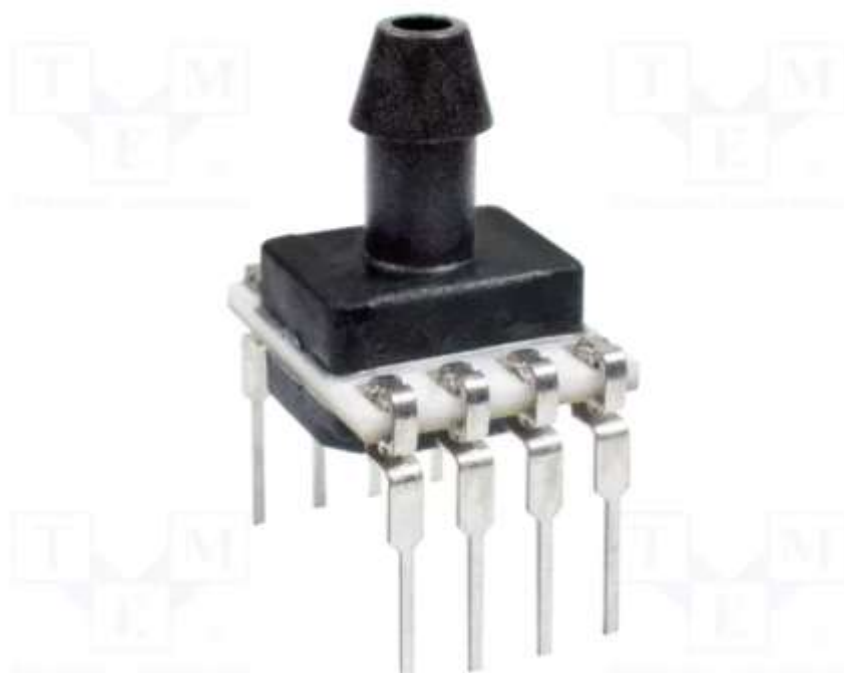


Рисунок 2.9 – Датчик тиску HSCDANT005PGAA5 в корпусі DIP

Діапазон робочого тиску HSCDANT005PGAA5 становить від 0psi до 5psi, а максимальний тиск перевантаження становить 30 psi, час відгуку 1 мс.

Одним з основних функціональних блоків пристрою є система керування на основі мікро контролера [9]. Серед широкого спектру мікро контролерів в першу чергу, враховуючі автономне живлення, потрібно звернути увагу на компоненти з низьким енергоспоживанням. Враховуючі складність функцій, що покладаються на блок обробки і керування оптимальним вибором може бути застосування програмованої системи на кристалі PSoC (Programmable System-on-Chip) від Infineon Technologies. PSoC – це вбудована платформа проектування, яка об'єднує дискретну аналогову та програмовану логіку, пам'ять і мікро контролер. Прості у використанні програмні інструменти, такі як інтегроване середовище проектування PSoC Creator, що спрощує проектування та налагодження аналогових інтерфейсів і цифрової логіки і з'єднання, прискорюючи повне проектування системи. PSoC поставляється в чотирьох варіантах МК для 8-бітних і 32-бітних додатків, починаючи з оптимізованого за ціною 8-бітного M8C і закінчуючи високопродуктивним ARM Cortex-M3.

У загальному випадку, поза залежністю від складності і кількості ядер, структура PSoC містить декілька окремих функціональних блоків, дещо не притаманних звичним мікро контролерам. Окрім обов'язкового обчислювального ядра, до складу архітектури системи входять програмовані аналогові і цифрові блоки, конфігурація яких задається розробником, програмована система маршрутизації і з'єднань та різноманітні інтерфейсні схеми (рис. 2.10).

Для розробників апаратного забезпечення вибір архітектури PSOC надає можливість отримати ядро мікро контролера M8C (або інше), але й безліч налагоджуваних аналогових і цифрових функцій. На практиці це означає, що розробнику не потрібно додавати додаткові компоненти для роботи з аналоговими чи цифровими сигналами – схеми формування сигналу, дискретну логіку та інші функції змішаних сигналів.



Більш сучасна програмована система на кристалі PSoC 5LP з ядром Cortex-M3 побудована на сталій архітектурі, але має суттєві відмінності, пов'язані із використанням нового ядра і удосконалені аналого-цифрові блоки, що пристосовані для роботи з різноманітним сенсорами і актюаторами [10]. PSoC 5LP може працювати з десятками джерел сигналу і виконавчими пристроями. Основні характеристики PSoC 5LP:

- 32-розрядне ядро процесора ARM Cortex-M3;
- Прискорений запуск від 0,5 В, робота від одноелементної батареї;
- режим глибокого сну з низьким енергоспоживанням 300nА з підтримкою роботи пам'яті RAM;
- 3х АЦП (12-бітний АЦП 1Msps SAR, 20-бітний АЦП DelSig);
- 4х 8-розрядних ЦАП і блоки програмованого аналогового масиву;
- універсальна система введення/виведення;
- цифрова периферія;
- аналогові периферійні пристрої ( $1,71 \text{ В} \leq \text{В} \leq 5,50 \text{ В}$ );
- програмування, налагодження та трасування;
- програмована тактова частота.

Сфери застосування в медичній апаратурі:

- глюкометри;
- монітор артеріального тиску;
- інфузійні насоси;
- аксесуари для iPod, iPhone та iPad;
- пульсоксиметри;
- телеком/сервер: керування живленням, управління температурою.

Окрім всього іншого, PSoC дозволяє до 20% скоротити кількість додаткових аналогових і цифрових компонентів. PSoC постачається в декількох типах корпусів з розмірами від 5x5 мм до 16x16 мм.

Для розробки проєктів із застосуванням програмованих систем постачальник надає доступ до інтегрованого середовища розробки PSOC Creator. Програмне забезпечення надає наступні можливості розробнику проєктів:

- розробка структури апаратного забезпечення з можливістю введення схеми проєкту і простим у використанні інструментом підключення необхідних блоків;
- понад 150 попередньо перевірених, готових до складання компонентів;
- повна бібліотека комунікаційних інтерфейсів, включаючи I<sup>2</sup>C, USB, UART, SPI, CAN, LIN і Bluetooth Low Energy;
- цифрові периферійні пристрої із зрозумілими графічними інструментами налаштування;
- широка підтримка кіл аналогового сигналу з підсилювачами, фільтрами, АЦП і ЦАП;
- вбудовані динамічні бібліотеки API;
- безкоштовний компілятор вихідного коду C без обмежень розміру коду;
- інтегрований редактор вихідного коду з вбудованою діагностикою, авто заповненням і фрагментами коду;
- вбудована система налагодження проєкту.

Для побудови проєкту, що містить декілька сенсорів з аналоговим і цифровим інтерфейсом, необхідно встановити на робочому полі САПР необхідні функціональні елементи: операційні підсилювачі для попереднього підсилення і узгодження з вихідним опором джерела сигналу; масштабовані підсилювачі; фільтри; компаратори; перетворювачі сигналу та інші блоки. Оскільки всі ці блоки є параметричними, розробнику необхідно задати всі необхідні робочі параметри, наприклад, архітектуру пристрою введення, або виведення сигналу, розрядність і тип АЦП, порядок і тип фільтру, частотний діапазон, добротність і таке інше. Все це відбувається безпосередньо в середовищі розробки (рис. 2.12).

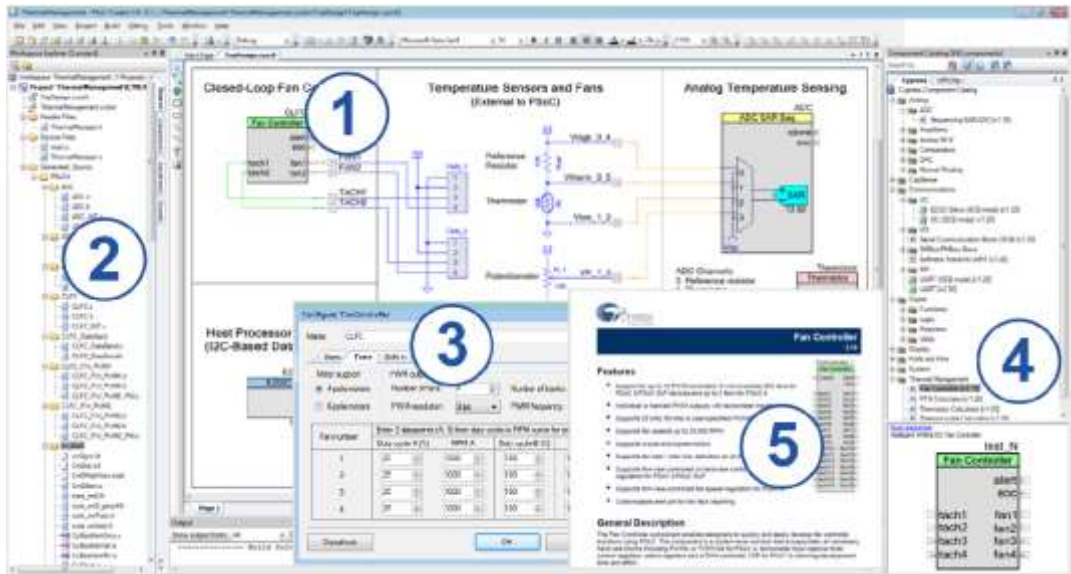


Рисунок 2.12 – Приклад мультисенсорного проекту в PSoC Creator

Після закінчення введення даних проекту, відбувається компіляція і пошогова перевірка у вбудованій системі налагодження проекту (рис. 2.13).

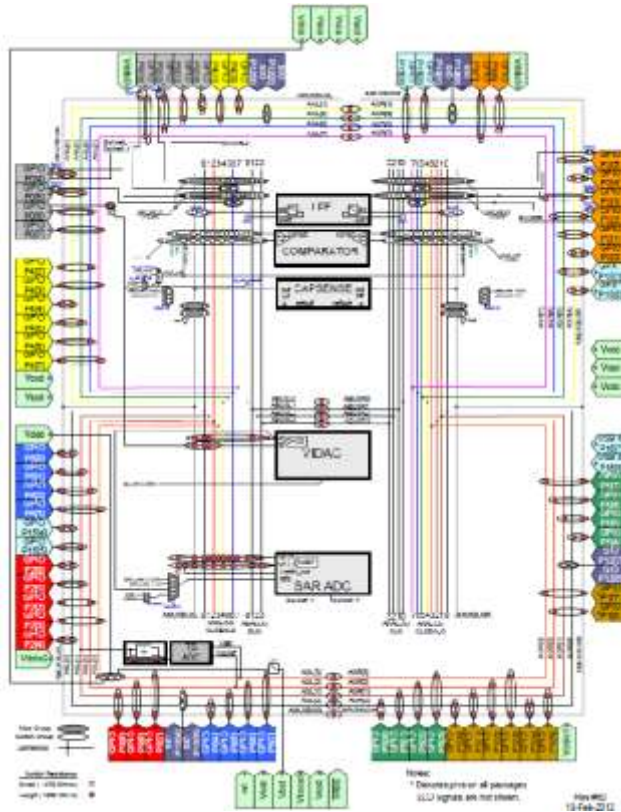


Рисунок 2.13 – Графічне відображення аналогової частини проекту

Оскільки система на кристалі має вбудовані графічні інтерфейси і інтерфейси зв'язку відпадає необхідність в додаткових компонентах. Також зайвими будуть зовнішні схеми підсилення, узгодження сигналу, фільтри і перетворювачі. Таким чином суттєвим образом зменшується кількість компонентів схеми, а також вартість комплектуючих і виготовлення системи.

Щодо джерел живлення, найкращим вибором є компонентна база сучасних лінійних стабілізаторів з малим падінням напруги, імпульсних перетворювачів і джерел опорної напруги. Цим вимогам повністю відповідає DC-DC перетворювач TPS62260-Q1 від TI [11]. TPS6226x працює на фіксованій частоті перемикання 2,25 МГц і переходить в режим енергозбереження при невеликих струмах навантаження, щоб підтримувати високу енергоефективність у всьому діапазоні струму навантаження (рис. 2.14).

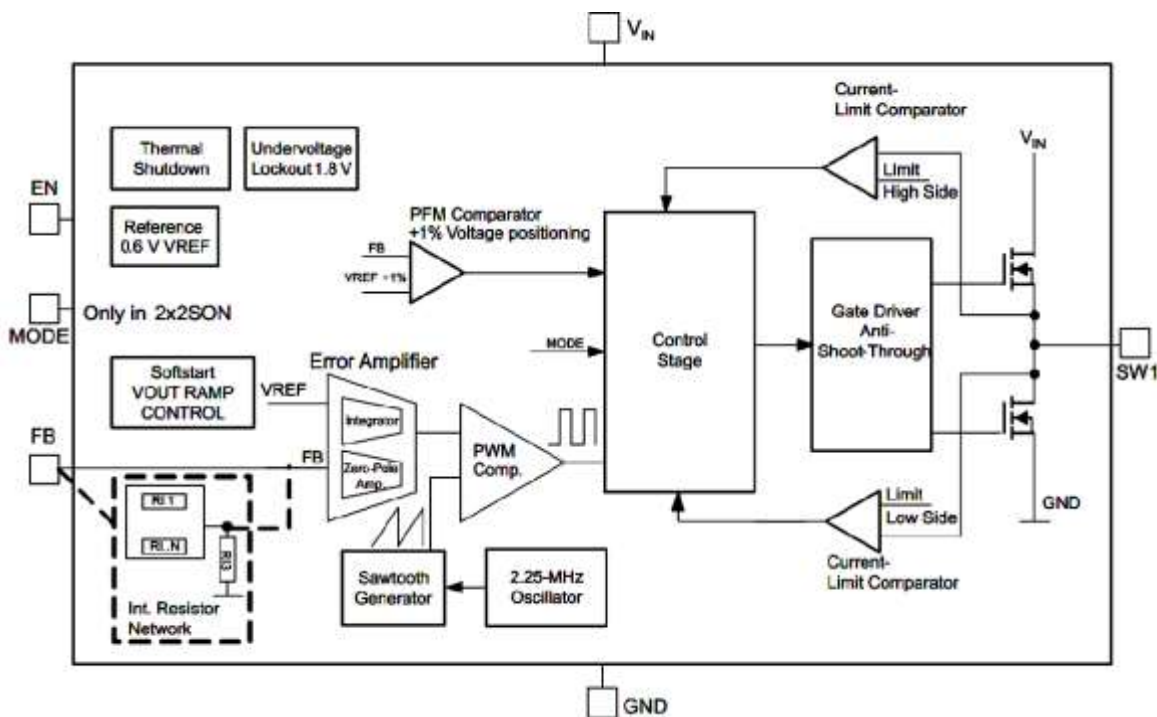


Рисунок 2.14 – Архітектура DC-DC перетворювача TPS62260-Q1

Режим енергозбереження оптимізовано для низьких пульсацій вихідної напруги. Для додатків з низьким рівнем шуму пристрій можна примусово перевести в режим широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з фіксованою частотою,

підключивши вивід MODE до землі, у режимі відключення струм споживання знижується до 0,8 мкА (рис. 2.15).

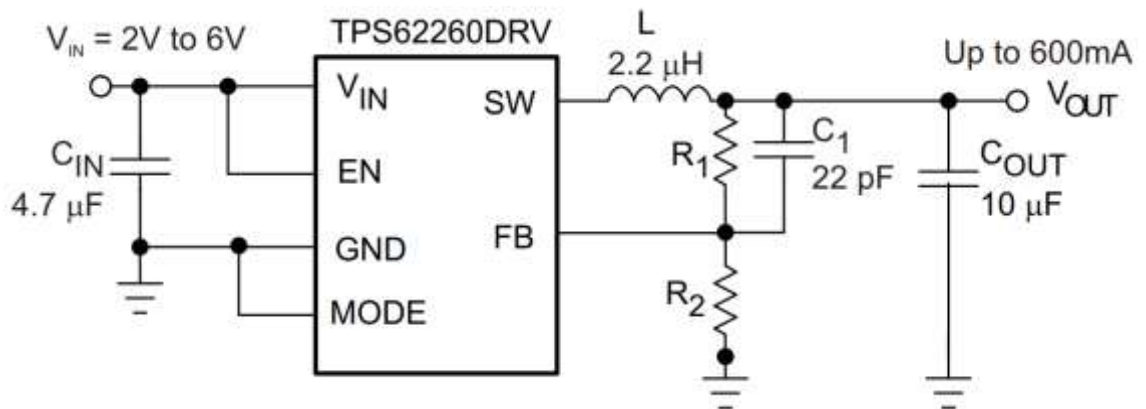


Рисунок 2.15 – Схема підключення TPS6226x

Основні характеристики джерел живлення серії TPS6226x:

- вихідний струм до 600 мА;
- діапазон  $V_{IN}$  від 2 В до 6 В для літій-іонних батарей із розширеним діапазоном напруги;
- робота на фіксованій частоті 2,25 МГц;
- режим енергозбереження при невеликих струмах навантаження<sup>4</sup>
- точність вихідної напруги в режимі ШІМ  $\pm 1,5\%$ ;
- типовий струм спокою 15 мкА;
- 100% робочий цикл для найменшого відключення;
- корекція напруги при невеликих навантаженнях;
- корпус SOT.5 і  $2 \times 2 \times 0,8 \text{ мм}^3$  WSON.6 (рис. 2.16).

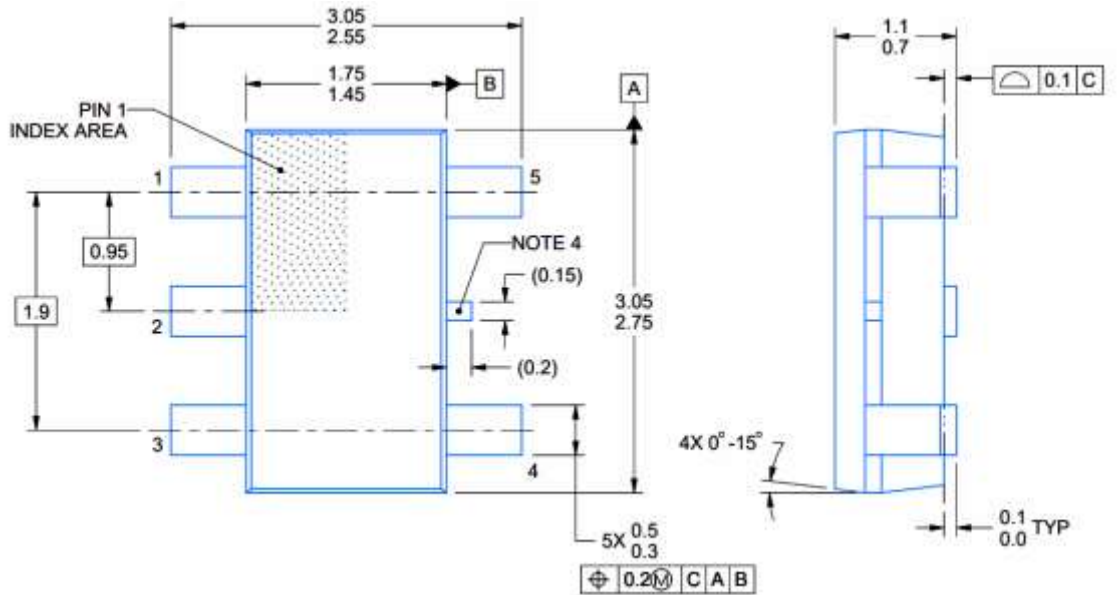


Рисунок 2.16 – Параметри корпусу SOT.5

Для керування електромеханічною частиною пристрою можна застосувати драйвери – електронні ключі з максимальним вихідним струмом до 1А і мінімальним струмом управління. В якості засобу відображення даних вимірювання застосовується відповідний рідкокристалічний дисплей.

### 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ТОНОМЕТРА

Всі компоненти тону метра мають бути скомпоновані на друкованій платі. Розробка конструкції друкованих плат здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення – автоматизованих систем проектування (САПР). Серед програмних продуктів існує деяка класифікація за рівнем складності і функціональних можливостей. Для розробки конструкції електронного тону метра обрано пакет САПР Fusion від Autodesk, оскільки розробник надає безкоштовно спрощену студентську версію.

Розробка конструкції починається з введення в редакторі схем електричної схеми пристрою. Для цього обираються необхідні компоненти в бібліотеці САПР, розміщуються на робочому полі і за допомогою відповідного інструмента виконуються всі необхідні з'єднання між елементами схеми (рис. 3.1).

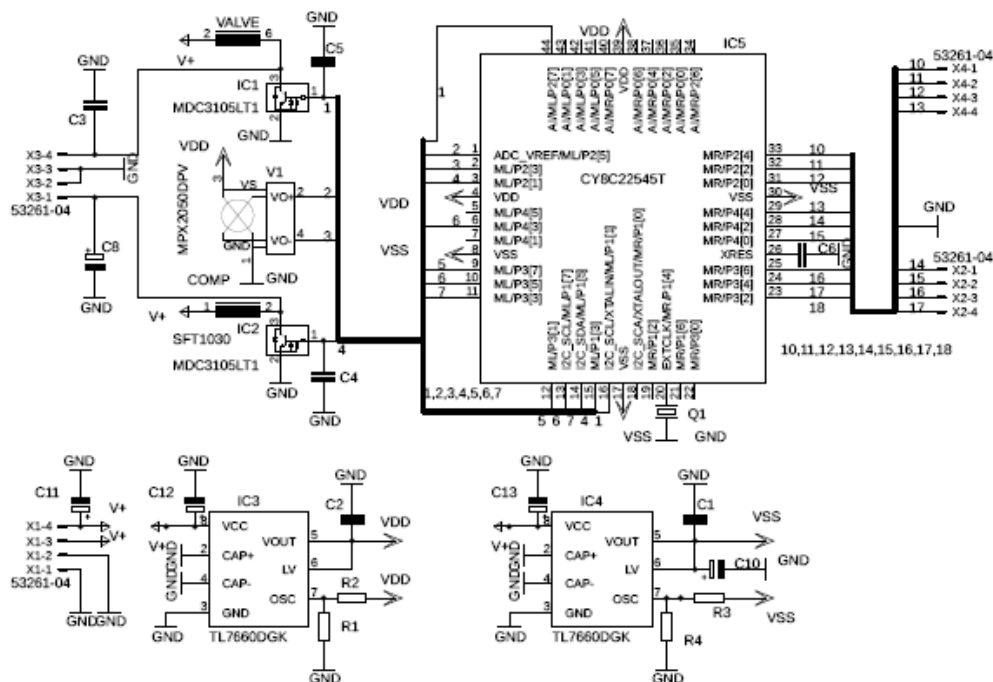


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова

Наступним кроком є генерація файлів для редактора плати, що відбувається автоматично при переході у відповідний додаток. При цьому, компоненти

і зв'язки між ними розташовані в порядку, який закладений в алгоритм САПР: за типом компоненту і його порядковим номером. Для того, щоб встановити компоненти на відповідні місця, необхідно вручну перенести їх в межі контуру плати.

Після того, як всі компоненти займуть своє місце, необхідно провести маршрутизацію з'єднань у відповідності з правилами монтажу. Встановити обмеження щодо мінімальної ширини трас, відстані від краю плати, обрати відповідні шари металізації для живлення, землі та інше (рис. 3.2).

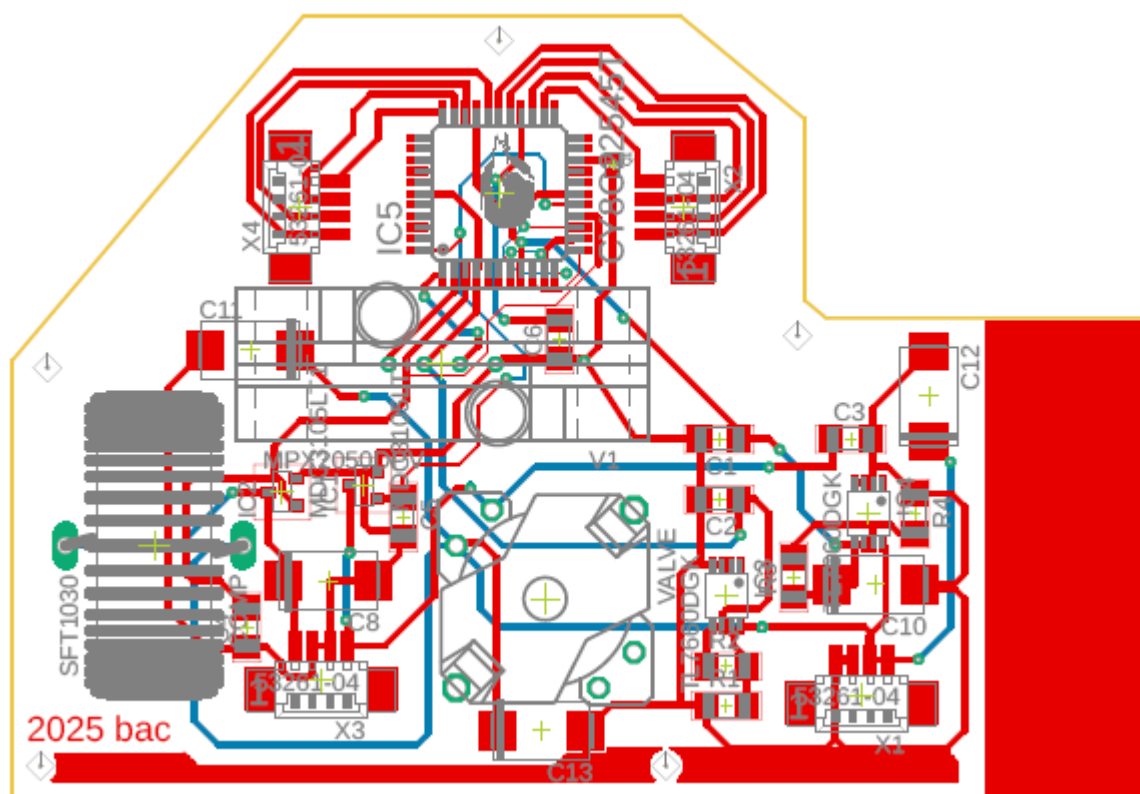


Рисунок 3.2 – Друкована плата в графіці САПР

Останній крок – це формування документації для виробництва, починаючи від переліку компонентів і закінчуючи файлами, що необхідні для виготовлення друкованої плати і складання пристрою за технологією автоматичного, або ручного монтажу (рис. 3.3, 3.4).

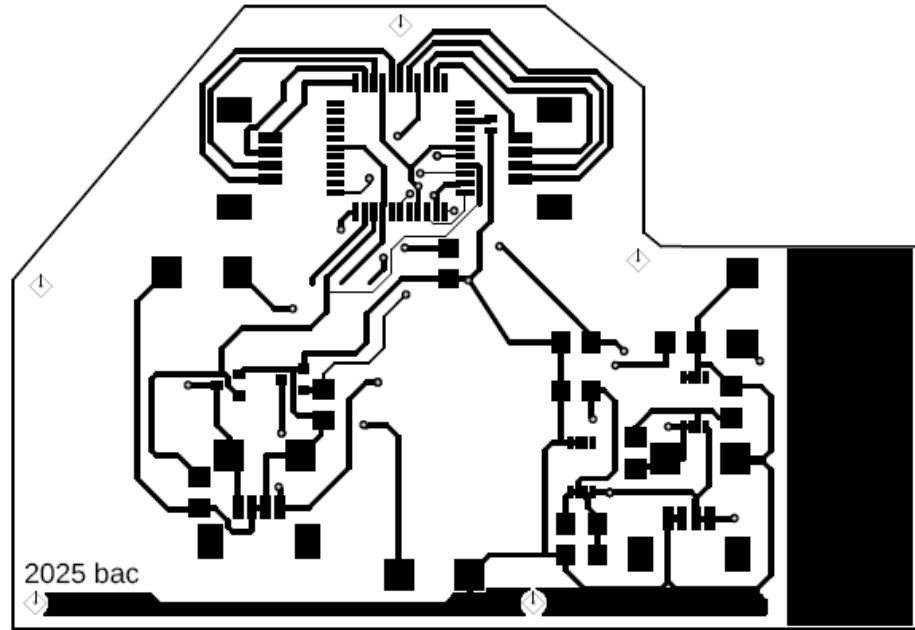


Рисунок 3.3 – Креслення фотошаблону плати

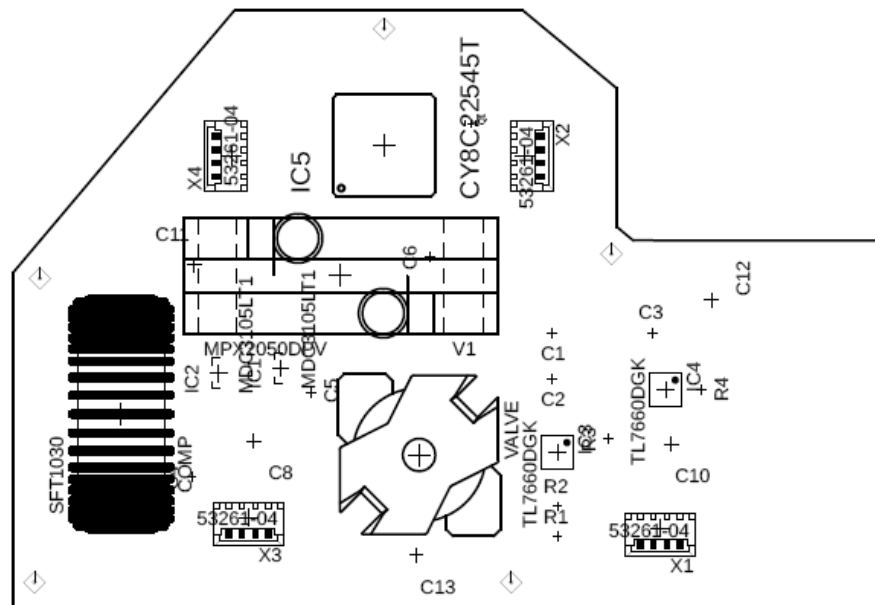


Рисунок 3.4 – Складальне креслення пристрою

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз електронних систем і розглянуті сфери їх застосування в галузі охорони здоров'я.

Виконані поставлені завдання, а саме:

- вивчений теоретичний матеріал щодо застосування електронних систем в біомедицині;
- проведено аналіз типів електронних компонентів, які використовуються при побудові медичних діагностичних пристроїв і систем;
- вивчено принципи роботи деяких пристроїв;
- розроблено прототип системи на сучасній компонентній базі.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. URL: <https://ehealth.gov.ua/> [Електронний ресурс. Режим доступу 25.04.2025]
2. Booth, J (1977). A short history of blood pressure measurement. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*. 70 (11): 793–9.
3. URL: <https://empirica.healthcare/pulse-oximeters/> [Електронний ресурс. Режим доступу 25.04.2025]
4. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/pressure-sensor> [Електронний ресурс. Режим доступу 29.04.2025]
5. URL: <https://koge-europe.com/en/> [Електронний ресурс. Режим доступу 05.05.2025]
6. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Мікропроцесорні системи контролю та керування: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 248с.
7. URL: <https://keller-pressure.com/> [Електронний ресурс. Режим доступу 05.05.2025]
8. URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Honeywell/> [Електронний ресурс. Режим доступу 15.05.2025]
9. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Проектування напівпровідникових приладів та інтегральних схем: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2019. – 177 с.
10. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Сучасна компонентна база електронних систем: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 241с.
11. URL: [www/ti.com/](http://www.ti.com/) [[Електронний ресурс. Режим доступу 15.05.2025]]