НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено:
Зав. кафедри
_____ Андрій МОВЧАНЮК
«___»_____2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою програмою
«Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»
за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
на тему: «Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону»

Виконала:
студентка IV курсу, групи РЕ-22

Гров Олександра Олександрівна _____
Прізвище, ім'я та по батькові підпис

Керівник:
Доцент, к. т. н. Перегудов Сергій Миколайович _____
Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові підпис

Рецензент:
Доцент, к. т. н. Катін Павло Юрійович _____
Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові підпис

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2026 року

Відомість дипломного проєкту

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Примітки
1	А4	РЕ22.464445.001.ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	1	
2	А4	РЕ22.464445.001 ПЗ	Пояснювальна записка	68	
3	А4	РЕ22.464445.001	Специфікація на пристрій	2	
4	А2	РЕ22.464445.001	Схема алгоритму роботи	1	
5	А4	РЕ22.464445.001 СП	Специфікація на модуль електронний	4	
8	А3	РЕ22.464445.001 СК	Складальний кресленик модуля	1	
			електронного		
7	А2	РЕ22.464445.001 Е3	Схема електрична принципова	1	
8	А3	РЕ22.464445.001	Плата друкована	1	
9	А4	РЕ22.464445.001 ПЕ	Перелік елементів	3	

	ПІБ	Підпис	Дата
Розроб.	Гров О.		
Керівник	Перегудов С.		
Н. контр.			
Зав.каф.	Мовчанюк А.		

РЕ22.464445.001

Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	1

НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", РТФ

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)

Спеціальність — 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітня програма — «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____Андрій МОВЧАНЮК

«___»_____2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гров Олександрі Олександрівні

1. Тема проєкту: **«Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону»**.
2. Керівник проєкту: Перегудов Сергій Миколайович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «29» травня 2026 р. № 1989-с.
3. Строк подання студентом проєкту 9 червня 2026 року.
4. Вихідні дані до проєкту: FMCW-радар 24 ГГц; ефективний радіус 3–4 м; зона контролю 360°; автономна робота не менше 168 годин.
5. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Аналіз технічного завдання, Огляд існуючих рішень, Структура пристрою, Схема електрична принципова, Електронний модуль, Корпус пристрою.
6. Перелік графічного матеріалу: Схема структурна, Схема електрична принципова, Схема алгоритму роботи, Складальний кресленик електронного модуля, Плата друкована.
7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання.	20.04 — 23.04	виконано
2	Огляд існуючих рішень та аналогів.	24.04 — 30.04	виконано
3	Розробка структурної схеми та обґрунтування схемотехнічного рішення.	01.05 — 10.05	виконано
4	Розробка схеми електричної принципової.	11.05 — 20.05	виконано
5	Вибір елементної бази.	21.05 — 27.05	виконано
6	Розробка друкованої плати.	28.05 — 31.05	виконано
7	Розробка корпусу пристрою.	01.06 — 04.06	виконано
8	Оформлення графічного матеріалу.	05.06 — 08.06	виконано

Студент Олександра ГРОВ

Керівник Сергій ПЕРЕГУДОВ

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті виконано розробку інтелектуального мобільного вузла керування та детектування із круговою зоною контролю на основі радарної мікрохвильової FMCW-технології. Основне призначення пристрою – моніторинг простору, локальна валідація подій, а також контроль несанкціонованого доступу у тимчасових локаціях. У рамках проєкту було проведено аналіз технічних рішень для мікрохвильової детекції людей, визначено переваги та обмеження існуючих рішень. На основі проведеного аналізу розроблено пристрій, що на даний момент відрізняється від аналогів своєю універсальністю та поєднує у собі їх переваги.

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 68 сторінок, що містить 57 рисунків, 9 таблиць, 4 креслення, 55 посилань, 8 додатків.

Ключові слова: FMCW-сенсор, виявлення руху та присутності, кругова зона контролю, побутова автоматизація, охоронний сповіщувач.

ANNOTATION

The diploma project involves the development of an intelligent mobile control and detection node with an omnidirectional coverage zone based on microwave FMCW radar technology. The primary purpose of the device is spatial monitoring, local event validation, and unauthorized access control in temporary locations. Within the framework of the project, an analysis of technical solutions for microwave human detection was conducted, identifying the key advantages and limitations of existing systems. Based on the analysis performed, a device was developed that currently stands out from analogues due to its versatility and combines their main advantages.

The diploma project consists of a 68-page explanatory report, containing 57 figures, 9 tables, 4 drawings, 55 references, and 8 appendices.

Keywords: FMCW sensor, motion and presence detection, 360-degree detection zone, diagnosis, home automation, security detector.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проєкту

на тему: «Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону»

Київ – 2026 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів.....5
Вступ.....6
1 Аналіз технічного завдання.....8
1.1 Склад та логіка роботи пристрою.....8
1.2 Конструкція та ергономіка пристрою.....9
1.3 Умови експлуатації, зберігання, транспортування.....9
1.4 Надійність.....9
1.5 Висновки за розділом 1.....10
2 Огляд існуючих рішень.....11
2.1 Загальні характеристики радарної технології.....11
2.1.1 Основні методи випромінювання радарних датчиків.....11
2.1.2 Визначення профілів зон виявлення (контролю).....15
2.1.3 Типові конструкції мікрохвильових датчиків-модулів.....17
2.2 Мікрохвильові датчикі-модулі та пристрої.....20
2.2.1 Мікрохвильові радарні датчики-модулі.....20
2.2.2 Пристрої для побутової автоматизації, ІР та РБ.....21
2.2.3 Сповіщувачі для систем охоронної сигналізації.....22
2.3 Висновки за розділом 2.....23
3 Структура пристрою та його основні компоненти.....24
3.1 Структурна схема.....24
3.2 Керуючий контролер.....25
3.3 Радарний модуль.....26
3.4 ІЧ-датчик.....29
3.5 Гіроскоп-акселерометр.....30
3.6 Блок живлення.....31
3.6.1 Джерело живлення.....32

3.6.2 Зарядний контролер.....32
3.6.3 Світлодіодна індикація низької напруги батареї.....33
3.6.4 Перетворювач-стабілізатор напруги.....33
3.6.4.1 Детектор (супервізор) постійної напруги BD4860G.....34
3.6.4.2 Імпульсний понижувальний перетворювач постійної напруги MP2332C (SOT583).....35
3.7 Вузли керування живленням.....35
3.7.1 Транзистор SI2333.....36
3.8 Зовнішній перетворювач напруги.....36
3.9 Світлова індикація.....37
3.10 Звукова сигналізація.....38
3.10.1 Транзистор IRLML2502.....38
3.11 Кнопка керування пристроєм.....39
3.12 Висновки за розділом 3.....39
4 Схема електрична принципова.....40
4.1 Особливості схеми електричної принципової.....40
4.2 Функціональний блок схеми пристрою.....40
4.3 Блок живлення пристрою.....43
4.3.1 Каскад заряджання внутрішнього джерела та живлення пристрою через зовнішній перетворювач.....44
4.3.2 Каскад захисту внутрішнього джерела живлення від перерозряду.....46
4.3.3 Каскад пониження та стабілізації напруги.....47
4.4 Споживання схеми та час автономної роботи пристрою.....48
4.5 Аналіз надійності пристрою.....49
4.6 Висновки за розділом 4.....50
5 Електронний модуль.....51
5.1 Компонування електронного модуля.....51
5.2 Розробка друкованої плати.....51
5.3 Висновки за розділом 5.....56
6 Корпус пристрою.....57
6.1 Висновки за розділом 6.....62

6 Корпус пристрою.....57
6.1 Висновки за розділом 6.....62
Висновки.....63
Перелік джерел посилань.....65
Додаток А Технічне завдання.....71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ІР — Інтернет речей

КЗК — Кругова зона контролю

МХ — Мікрохвильовий

НВЧ — Надвисокочастотний

РБ — Розумний будинок

у. о. — умовна одиниця (1 у. о. ~ 1 доллар США)

КСО — Квазістатичні об’єкти

BLE — Bluetooth Low Energy (енергоефективна версія Bluetooth)

CW — Continuous Wave (неперервне випромінювання)

FMCW — Frequency-Modulated Continuous Wave (частотно-модульоване неперервне випромінювання)

FM-UWB — Frequency-Modulated Ultra-Wideband (частотно-модульоване ультраширокосмугове випромінювання)

IoT — Internet of Things (Інтернет речей)

IR-UWB — Impulse Radio Ultra-Wideband (імпульсне ультраширокосмугове випромінювання)

ISM — Industrial, Scientific, and Medical (промисловий, науковий і медичний)

ISM-діапазон — ділянка радіочастотного спектра, яка за міжнародними угодами зарезервована для безліцензійного використання

MEMS — Micro-Electro-Mechanical Systems [3] (мікроелектромеханічні системи)

PCB — Printed Circuit Board (друкована плата)

PMCW — Phase-Modulated Continuous Wave (фазово-модульоване неперервне випромінювання)

USB — Universal Serial Bus (універсальна послідовна шина)

WiFi — Wireless Fidelity (бездротова технологія для передачі даних у локальних мережах на основі стандартів IEEE 802.11)

ВСТУП

Сучасні технології детектування та передачі даних перетворюють пасивний простір на інтерактивну безпекову інфраструктуру, підвищуючи ефективність фізичної охорони об’єктів та вдосконалюючи засоби обмеження доступу до них. Прикладом інтеграції засобів контролю в єдину систему може слугувати концепція розумного будинку, спрямована на забезпечення автоматизованого комфорту і високого рівня безпеки.

Аналіз інформаційних джерел вказує на певну обмеженість у різноманітності пристроїв для побудови мереж інтернету речей або локальних вузлів керування в системах домашньої автоматизації, що відповідають таким сучасним вимогам як мобільність, універсальність, адаптивність. Часто важливою вимогою є реакція зазначеної системи на присутність людини або іншого об’єкту.

У дипломному проєкті запропоновано пристрій, який може бути корисним в різних інтелектуальних системах, зокрема «Розумний будинок» (РБ) як мобільний засіб керування та збору інформації з можливістю його розміщення у будь-якому місці на необхідний час. Застосування бездротових протоколів зв’язку дозволяє автономно керувати необхідними сервісами. Локальна обробка сигналів на базі сучасного мікроконтролера суттєво зменшує хибні спрацювання і забезпечує передавання в мережу інформації лише про валідовані події.

У той же час турбота про власну безпеку та збереження речей є одним з повсякденних завдань кожної людини, особливо в умовах динамічного життя, що передбачає часті подорожі з необхідністю використання тимчасових приміщень. Такі місця можуть як бути обладнані стаціонарними системами охоронної сигналізації, так і ні. Найважливішими елементами таких систем є пристрої виявлення несанкціонованого доступу до приміщення, побудовані на основі радарних та інфрачервоних датчиків. Зазвичай такі пристрої встановлюються стаціонарно та інтегровані з іншими через центральний керуючий контролер, а система адмініструється певними особами. Незалежно від наявності чи відсутності такої системи, може виникнути потреба в отриманні інформації про порушення власної приватності з незалежного джерела. Таким порушенням

можна вважати спробу проникнення в приміщення або контакт з речами, що фіксується завдяки вбудованому гіроскопу-акселерометру, який реагує на зміну нахилу чи зміщення об’єктів.

За вище наведених умов виникає необхідність у мобільному універсальному автономному пристрої, який з одного боку можна використовувати в системі «Розумного будинку» як тимчасовий вузол для розширення алгоритму роботи і доповнення функцій стаціонарних датчиків. А з іншого, можна брати такий пристрій із собою в подорож та використовувати його для збору інформації та сповіщення про «тривожну подію» у місцях тимчасового перебування.

Основними перевагами запропонованого рішення є його мобільність, автономність, кругова зона контролю (КЗК) в межах периметру приміщення. Дистанційне керування здійснюється за допомогою радарних та ІЧ-датчиків, тоді як вбудований гіроскоп-акселерометр забезпечує контактний контроль як MEMS-датчик відчинення, нахилу, переміщення. Організація керування комплексом датчиків реалізована в межах єдиного пристрою.

Такий підхід робить запропонований пристрій максимально адаптивним як для роботи у складі розгалужених мереж інтернету речей, де кожен датчик має надавати максимально повну інформацію про стан об'єкта, так і в якості локального охоронного засобу, з функцією сповіщення про несанкціонований доступ.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Склад та логіка роботи пристрою

Відповідно до вимог у технічному завданні (ТЗ) пристрій складається з 5 основних компонентів:

1. Обчислювальний модуль: реалізується на основі мікроконтролера з підтримкою апаратного прискорення векторних обчислень для обробки отриманих з датчиків даних та вбудованими модулями Wi-Fi/BLE для подальшої передачі інформації. На контролер покладена функція прийняття рішення щодо передачі команди на виконання в системі інтернету речей або сповіщення користувача про настання «тривожної події», за рахунок чого реалізується інтелектуальність системи.

2. Радарна підсистема: реалізується на основі 4-х FMCW-радарних модулів з частотою випромінювання 24 ГГц, що дозволяє виявляти рух та присутність в межах зони контролю 360°.

3. Оптико-електронна підсистема: реалізується на основі 4-х пасивних ІЧ-сенсорів, що необхідні для підтвердження спрацювання радарної підсистеми.

4. Підсистема детектування лінійного або кругового зміщення: реалізується на основі MEMS-модуля з акселерометром і гіроскопом, що дозволяє реагувати на лінійне та кутове прискорення пристрою.

5. Підсистема живлення: реалізується на основі акумулятора (Li-ion батарея) і системи захисту перезаряду/перерозряду та стабілізації напруги. Для підтримки напруги живлення функціонального блоку на рівні +3,3 В на робочому діапазоні напруг батареї доцільно використати декілька акумуляторів, з’єднаних послідовно, що забезпечить необхідну потужність при меншій силі струму і, відповідно, менших теплових втратах. Індикація про те, що пристрій знаходиться у стані заряджання, здійснюється через світлодіод.

Пристрій підтримує такі режими для різних умов роботи: вузол керування побутовою автоматизацією, охоронний сповіщувач, контактний датчик, датчик відчинення (дверей). Індикація про вибір конкретного режиму реалізує-

ться через світлодіоди (по 1 для кожного режиму). Сповіщення через п'єзоелектричний звуковий випромінювач. Контактне керування пристроєм через кнопку.

1.2 Конструкція та ергономіка пристрою

Корпус має форму, наближену до циліндричної, діаметром до 100 мм, висотою до 55 мм та товщиною стінки до 3 мм. Передбачається наявність бічних наскрізних ортогонально розташованих у корпусі отворів для лінз Френеля, отворів для світлодіодів та кнопки, а також отвору для гнізда USB Type-C. Згідно ТЗ корпус виконується з АБС-пластику світлого кольору та виготовляється методом 3D-друку за технологією FDM, що має забезпечити додстатню міцність, радіопрозорість та технологічність виробу.

1.3 Умови експлуатації, зберігання, транспортування

Кліматичне виконання УХЛ 4 (згідно ГОСТ 15150-69) відповідає експлуатації в критих приміщеннях з опаленням та з штучною вентиляцією (регулювання температурних умов, немає низьких температур, прямого потрапляння сонячних променів, низька концентрація пилу). Передбачається захист від предметів понад 1 мм у діаметрі та захист від попадання бризок, що падають під кутом 15° від вертикалі. Робочий діапазон температур: від +1°C до +40°C. Робочий діапазон вологості: від 5% до 80% при +25°C (без конденсації). Не допускаються різкі удари та вібрації.

1.4 Надійність

Згідно ТЗ компонування пристрою виконується з використанням уніфікованої та стандартизованої бази, експлуатація передбачається в сухих приміщеннях з відсутністю прямих сонячних променів та джерела тепла кліматичних умовах УХЛ 4, пристій працює циклічно. Отже, вимога щодо мінімального часу безвідмовної роботи 30000 годин без врахування роботи блоку живлення є виконуваною.

1.5 Висновки за розділом 1

Аналіз інформаційних джерел вказує на перспективність застосування в сегментах IoT та системах охоронної сигналізації (СОС) мобільних автономних пристроїв [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Значна увага приділяється таким, що призначені для роботи в режимі ad-hoc. Це означає, що в будь-який час за необхідності можна змінити алгоритм роботи локальної інфраструктури IoT або СОС на тимчасовий, додавши лише один пристрій без зміни основного алгоритму роботи системи.

З іншого боку такі засоби можна використовувати як індивідуальні сповіщувачі про події, які потребують уваги. Наприклад, охорона власних речей від сторонніх осіб [8], або орендованого приміщення [10]. Але існуючі рішення мають певні обмеження, як-от односекторна зона контролю (з обмеженим кутом огляду) або використання тільки одного типу датчиків — здебільшого інфрачервоних (ІЧ).

Мета проєкту полягає саме у досягненні певної універсальності шляхом поєднання переваг пристроїв IoT, які на даний час вже зміщуються у бік мобільності та автономності, та СОС, які не обмежуються однією технологією (інфрачервоною або радарною). Кругова зона контролю (360°) у приміщенні на даний час може бути організована лише стаціонарним пристроєм з переважно стельовим розташуванням. Отже, є певні прогалини в лінійці існуючих рішень, які можуть бути заповнені завдяки реалізації запропонованих у проєкті рішень.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Ознайомлення з технологією, методами, моделями мікрохвильових (МХ) радарних датчиків-модулів та пристроїв має на меті вибір потенційних прототипів, компонентів та визначення елементної бази для створення оптимальної конструкції проектованого пристрою відповідно до технічного завдання.

2.1 Загальні характеристики радарної технології

Використання радарних технологій у побутовій електроніці та системах безпеки дозволяє «бачити» оточуюче середовище на високому рівні деталізації. Радари працюють за принципом випромінювання і прийому відбитих від об’єкта радіохвиль та поділяються за типом випромінюваного сигналу і способом модуляції.

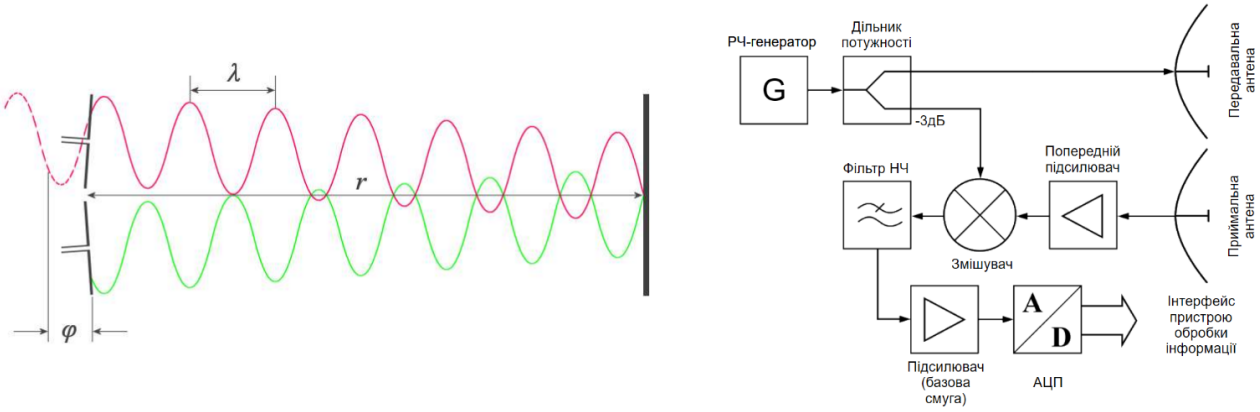
2.1.1 Основні методи випромінювання радарних датчиків

В залежності від призначення мікрохвильові (МХ) датчики, побудовані на радарній технології (РТ), зазвичай застосовують такі методи випромінювання мікрохвиль.

CW (Continuous Wave) — безперервне випромінювання з постійною частотою та амплітудою; у радіолокації CW-радар вимірює доплерівський зсув відбитого сигналу для визначення наявності та відносної швидкості рухомих об’єктів; сам по собі не дає інформації про відстань до нерухомих цілей (рис. 2.1) [29].

Переваги: простота реалізації; висока чутливість до руху; низька апаратна складність.

Обмеження: відсутність діапазонного виміру для стаціонарних цілей; сприйнятливість до постійних перешкод у частотній смузі.



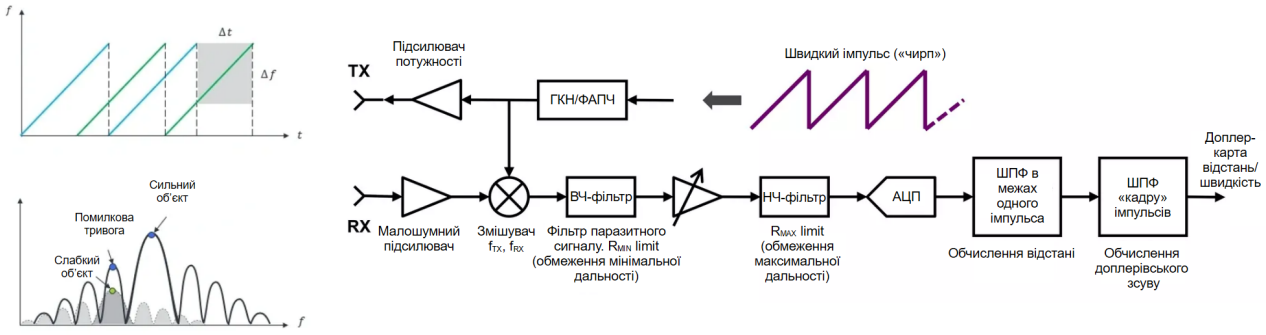
а) б)

Рисунок 2.1 — Метод CW: а) різниця фаз; б) блок-діаграма CW-датчика

FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) — безперервне випромінювання з періодичною частотною модуляцією (зазвичай лінійною «пилка»); дозволяє одночасно визначати відстань (за різницею частот між переданим і прийнятим сигналом) та відносну швидкість (за доплерівським зсувом) (рис. 2.2)[30]. Відбивна спроможність об’єкта визначається кількістю енергії, яка від нього повертається. Об’єктами з великим коефіцієнтом відбиття зазвичай є металеві предмети (автомобілі, залізничні колії) або великі плоскі поверхні (стіни), а з малим — люди, тварини або дрібні предмети.

Переваги: одночасне вимірювання відстані й швидкості; відношення сигнал/шум (SNR) при помірних смугах; ефективний для автомобільного (адаптивний круїз-контроль), промислового (контроль рівня рідини в резервуарах, робототехніка, безпека зон) та побутового застосування (контроль наявності людей або тварин у приміщенні), оскільки дозволяє детектувати навіть мікрорухи, наприклад, дихання людини, що неможливо для простих CW (Doppler) датчиків.

Обмеження: складність відокремлення частотних зсувів, обумовлених ефектом Доплера і зміною відстані до об’єкта при великих швидкостях; чутливість до нелінійностей модуляції внаслідок завад від інших FMCW-систем.



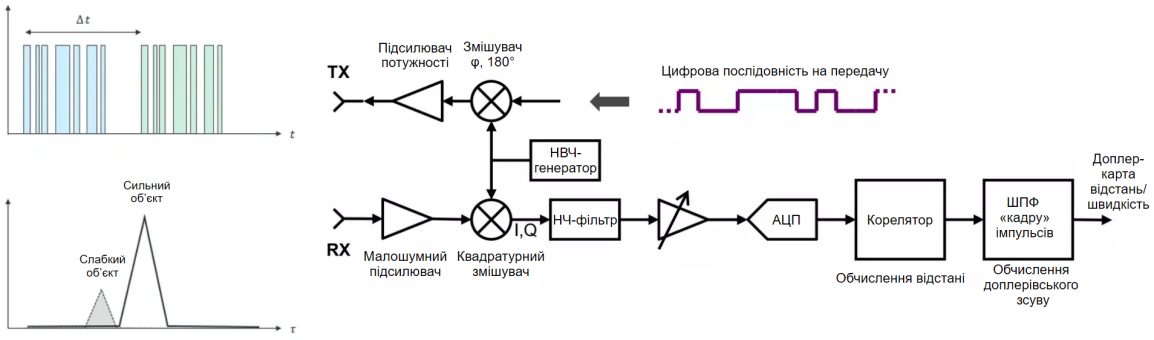
а б)

Рисунок 2.2 — Метод FMCW: а) принцип вимірювання відстані; б) блок-діаграма FMCW-датчика

PMCW (Phase-Modulated Continuous Wave) — безперервне випромінювання з постійною несучою, модуляція здійснюється фазовими переходами за заданими кодами/імпульсами (наприклад, бінарне фазове переключення 0/180°); дозволяє визначати відстань і швидкість за кореляційними/звертковими методами та підвищує стійкість до перешкод і мультишляху (рис. 2.3) [31].

Переваги: висока стійкість до перехресних завад і мультишляху; добра роздільна здатність у ділянці відстаней при кореляційному обробленні; можливість множинного доступу й коротких кодів.

Обмеження: вища складність обробки (кореляція/зворотне згортання); потреба в синхронізації кодів; апаратні вимоги для точного фазового контролю.



а) б)

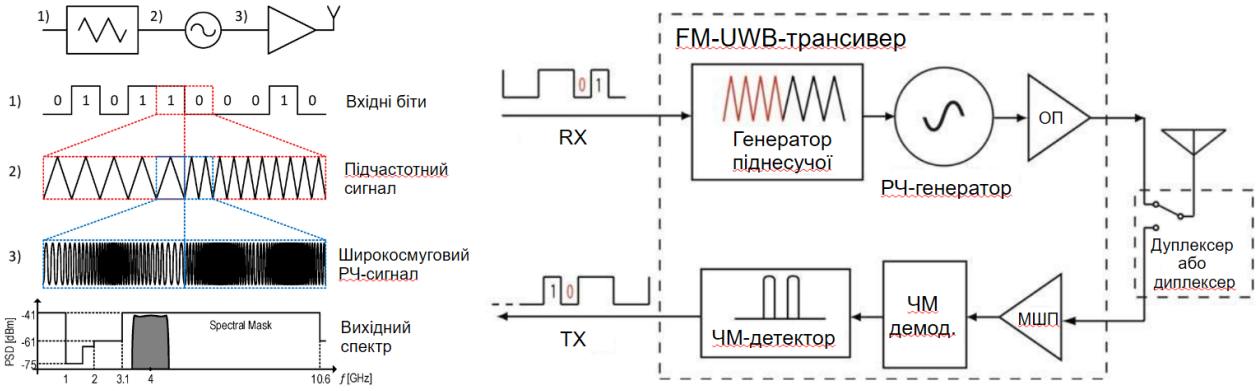
Рисунок 2.3 — Метод PMCW: а) принцип вимірювання відстані; б) блок-діаграма FMCW-датчика

FM-UWB (Frequency-Modulated Ultra-Wideband) — сигнал із лінійною або іншою частотною модуляцією, що займає надширокну смугу (>≈500 МГц);

поєднує високу тимчасово-частотну роздільну здатність UWB з можливістю точного виявлення мікрорухів та визначення відстані (рис. 2.4) [32].

Переваги: висока роздільна здатність по відстані; краща детекція дрібних рухів; відносно сприятлива для кореляційної/частотної обробки.

Обмеження: жорсткі регуляторні обмеження на потужність і смугу; потреба в широкосмуговій апаратурі; складність фільтрації та обробки широкосмугових шумів.



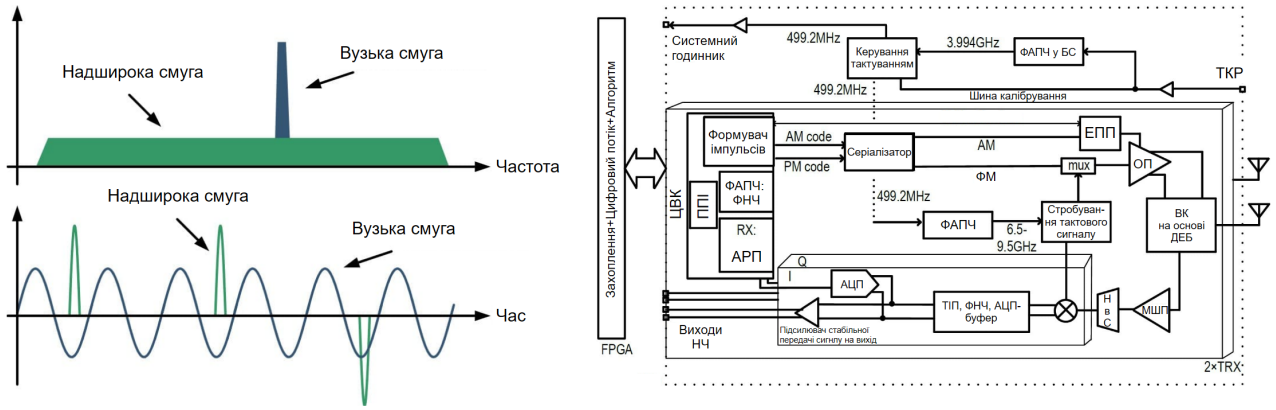
а) б)

Рисунок 2.4 — Метод FM-UWB: а) стадії перетворення цифрового потоку в радіосигнал ; б) Блок-діаграма FM-UWB датчика

IR-UWB (Impulse Radio Ultra-Wideband) — передача інформації серіями дуже коротких імпульсів (піко- , наносекундний інтервал), що формує надшироку смугу частот; забезпечує високу часову роздільну здатність і можливість точних вимірів відстані та розділення мультишляху (рис. 2.5) [33].

Переваги: виняткова тимчасова роздільна здатність; низька середня потужність; добра здатність розрізняти близькі за часом відбиття; проста концепція передавача імпульсів.

Обмеження: жорсткі апаратні вимоги для генерування/приймання коротких імпульсів; складності в обробці шуму й синхронізації; обмеження в регулюванні по спектру та потужності.



а) б)

Рисунок 2.5 — Метод IR-UWB: а) ; б) блок-діаграма IR-UWB-датчика.

Скорочення на блок-діаграмі (рис. 2.5б): ЦВК — цифровий вхідний каскад; ППІ — програмований послідовний інтерфейс; ЕПП — екстраполятор першого порядку; ТІП — транс-імпедансний підсилювач; ВК — вхідний каскад; ДЕБ — детектування електронних бар'єрів; ФАПЧ — фазове автопідстроювання частоти; ФНЧ — фільтр нижніх частот; БС — базова смуга; НвС — перетворювач напруги в струм; МШП — малошумний підсилювач; АРП — автоматичне регулювання підсилення; ТКР — термокомпенсований кварцовий резонатор.

2.1.2 Визначення профілів зон виявлення (контролю)

Зони виявлення для пристроїв, які реагують на рух пов'язані зі способом та місцем їх розташування. Умовно їх можна поділити на такі групи (типи).

1. Секторна з несиметричним тілесним кутом у вертикальній площині вздовж напрямку огляду. Розташування пристрою на вертикальних поверхнях (стіна, кут будівлі) (рис. 2.6).

2. Кругова з тілесним кутом конічного профілю з вертикальною поляризацією згори до низу. Розташування пристрою на стелі (рис. 2.7).

3. Секторна з симетричним тілесним кутом вздовж напрямку огляду у вертикальній та горизонтальних площинах (пірамідальний профіль). Розташування пристроїв на вертикальних та горизонтальних поверхнях, або за допомогою кліпси на рівні досяжності. Переносні, та можуть мати автономне живлення (рис. 2.8).

4. Тип — «завіса». Має малий кут відхилення від площини в напрямку огляду (~5°). Орієнтація може бути як вертикальна, так і горизонтальна (рис. 2.9).

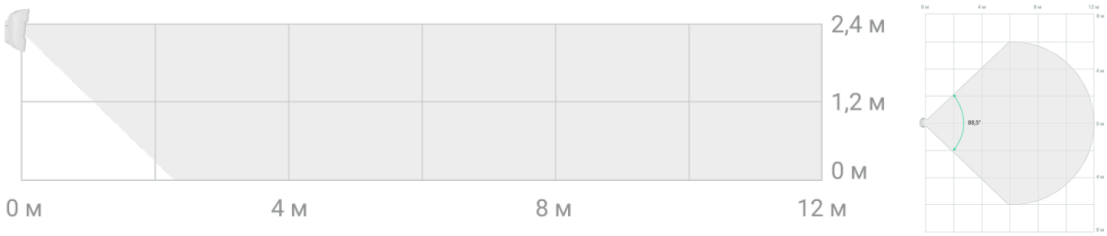


Рисунок 2.6 — Секторна зона контролю з несиметричним тілесним кутом у вертикальній площині вздовж напрямку огляду (тип 1)

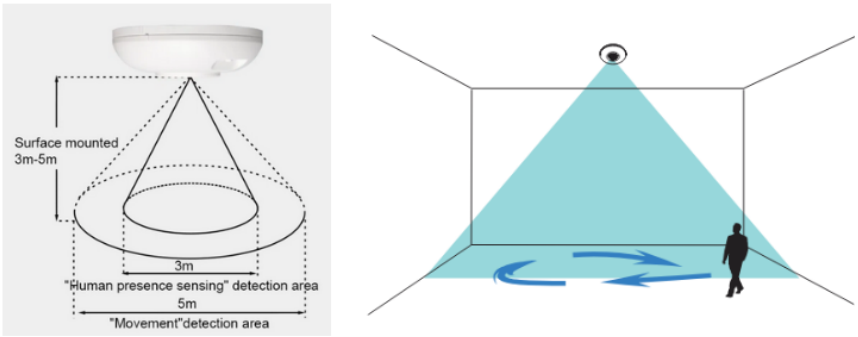


Рисунок 2.7 — Кругова зона контролю з тілесним кутом конічного профілю у вертикальній площині (тип 2)

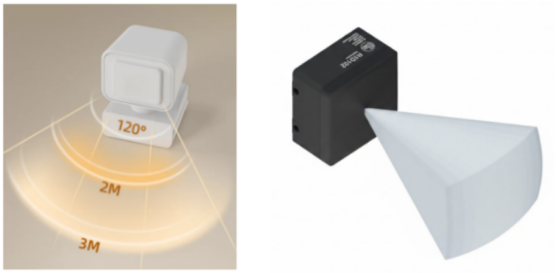


Рисунок 2.8 — Секторна зона контролю з симетричним тілесним кутом вздовж напрямку огляду у вертикальній та горизонтальних площинах («пірамідальний» профіль, тип 3)

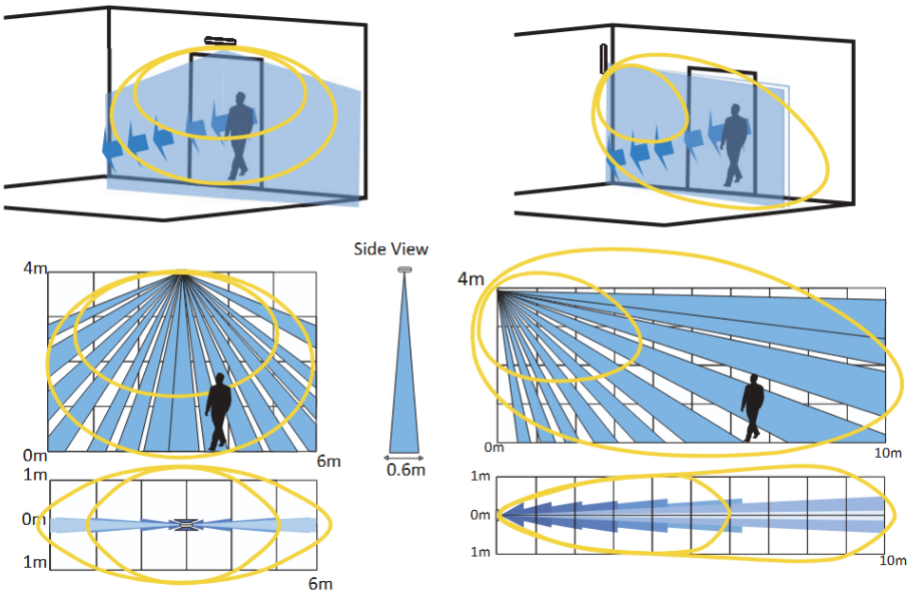


Рисунок 2.9 — Зона контролю типу «завіса» (тип 4)

2.1.3 Типові конструкції мікрохвильових датчиків-модулів

В якості основних ознак були виділені частота випромінювання датчика, профіль зони контролю та конструкція антени, яка його формує.

Датчик в конструкції сповіщувача Honeywell Intellisense DT-6100STC випромінює на частоті 10,525 ГГц та має хвилевідну рупорну антену (рис. 2.10), яка формує вузький секторний профіль четвертого типу (В2,3×Д30,5×Ш6 м).



Рисунок 2.10 — Датчик з рупорною антеною 10,525 ГГц (Honeywell Intellisense DT-6100STC) [11]

Реле, кероване мікрохвильовим датчиком Elecbee SK-700 з частотою випромінювання 5,8 ГГц (рис. 2.11). Діаграма спрямованості (рис. 2.12) відповідає другому типу зони контролю. Відрізняється від інших штирьовою антеною. Призначений для встановлення на стелю.



Рисунок 2.11 — Elecbee SK-700 5,8ГГц [12]

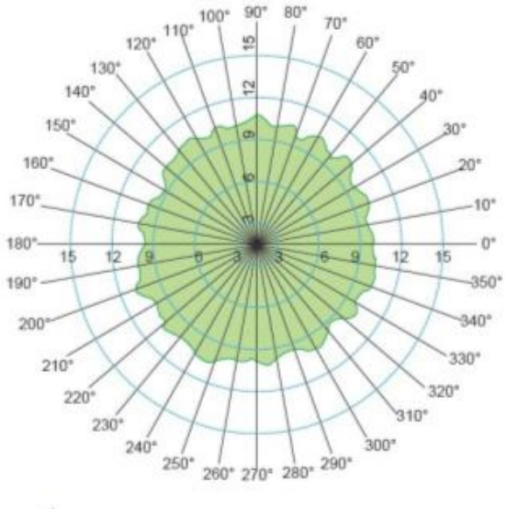


Рисунок 2.12 — Діаграма спрямованості SK-700

Датчик RCWL-0516 має зону контролю другого типу та частоту випромінювача 3,2 ГГц (рис. 2.13) [13]. Тип антени — мікросмужкова. Діаграма спрямованості подібна до зображеної на рисунку 2.17 (горизонтальна площина — 360°, вертикальна площина — 120°–140°).

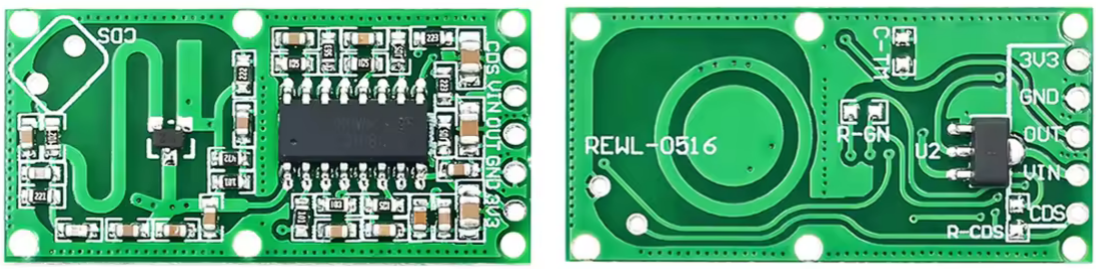


Рисунок 2.13 — HandsOnTech RCWL-0516 (RCWL-9196 chip)

Датчик HaiWang HW-MS03 має зону контролю другого типу та частоту випромінювача 3,2 ГГц (рис. 2.14) [14]. Тип антени — мікросмужкова. Діаграма спрямованості зображена на рисунку 2.15.

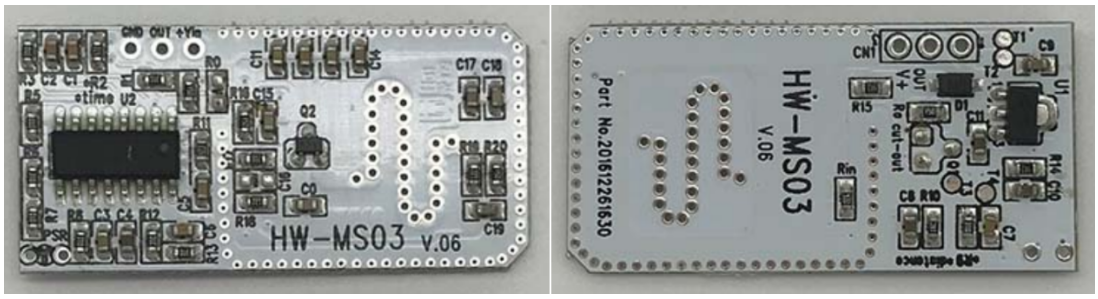


Рисунок 2.14 — HaiWang HW-MS03

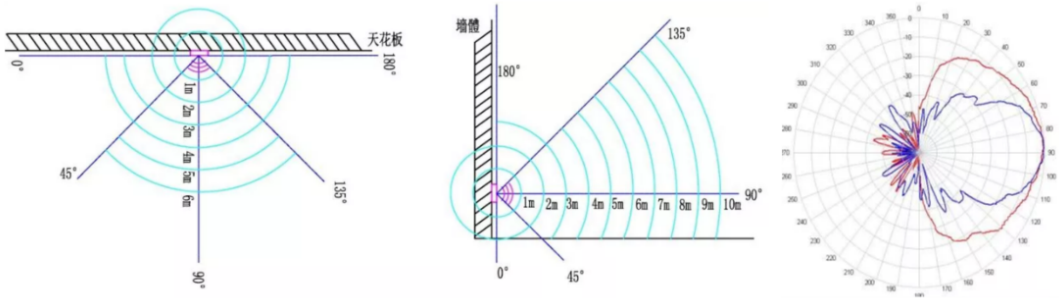


Рисунок 2.15 — Діаграма спрямованості HaiWang HW-MS03

Датчик LD2410B працює на частоті 24 Ггц та оснащений мікросмужковою патч-антеною (рис. 2.16) [15]. Діаграма спрямованості відповідає другому типу зони контролю. Заявлені виробником варіанти встановлення пристроїв з цим датчиком — стеля (на висоті 2,6–3 м) або вертикальна поверхня з відстанню ефективної чутливості 5 м. Діаграми спрямованості для обох варіантів зображені на рисунку 2.17.

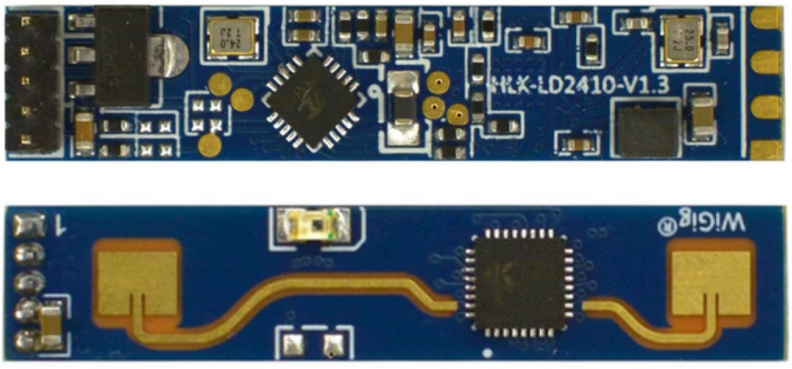
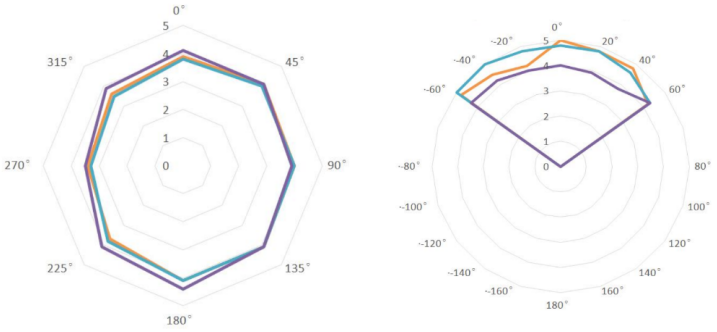


Рисунок 2.16 — Hi-Link LD2410B



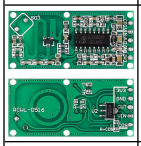
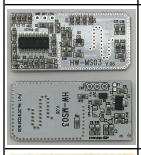
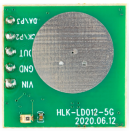
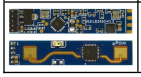
а) б)

Рисунок 2.17 — Діаграми спрямованості LD2410B: а) розміщення на стелі; б) розміщення на вертикальній поверхні

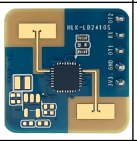
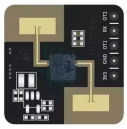
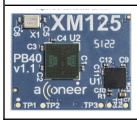
2.2 Мікрохвильові датчикі-модулі та пристрої.

2.2.1 Мікрохвильові радарні датчики-модулі

Таблиця 2.1 — Мікрохвильові радарні датчики-модулі

Зовнішній вигляд	Виробник, модель	Режим випромінювання	Частота випромінювача, (ГГц)	Тип профілю зони контролю	Максимальна довжина та кут розкриву профілю зони контролю, (м×°)	Джерело живлення, значення напруги та струму (Зовн./Внутр.× Напруга× Струм)	Вартість, (у. о.)
	SparkFun RCWL-0516 [37]	CW	3,2	2	5-9×(-)	+4-28В× 2,7–3мА	0,65
	HaiWang HW-MS03 [14]	CW	3,2	2	10×90	+3,7–24В× 3мА	1,5
	Hi-Link [38] LD012-5G	CW	5,8	2	8-10×120	+2,7-4,8/5–12В× 0,68–0,75мА	1,2
	Hi-Link LD021	CW	5,8	2	10-12×120	+5-12В× 1,7–1,9мА	0,51
	Hi-Link LD1040/C/41	CW	10,525	2	2-4×120	+5–12В× 0,48– 0,53мА	0,55
	Hi-Link LD2410B+BLE	FMCW	24	2	5×120	+5–12В× 79мА	2,9

Таблиця 2.1 (продовження)

Зовнішній вигляд	Виробник, модель	Режим випромінювання	Частота випромінювача, (ГГц)	Тип профілю зони контрою	Максимальна довжина та кут розкриву профілю зони контролю, (м×°)	Джерело живлення, значення напруги та струму (Зовн./Внутр.× Напруга× Струм)	Вартість, (у. о.)
	Hi-Link LD2410S	FMCW	24	2	8×120	3–3,6В× 0,04–0,6мА	3,06
	Ai-Thinker Rd-03L V2 [34]	FMCW	24	2	8×120	3–3,6В× 0,08–0,49мА	3,47
	Novelda X4F103 [35]	IR-UWB	7,58	2	3,5×180	1,8–3,3В× 0,035–70мА	5–10
	Acconeer XM125 [36]	Coherent IR-UWB Radar	60	2	3-10×80	1,8–3,3В× 0,0069–2,8мА	21

2.2.2 Пристрої для побутової автоматизації, IP та РБ

Таблиця 2.2 — Пристрої для побутової автоматизації, IP та РБ

Зовнішній вигляд	Виробник, модель	Встановлені датчики, (тип× кільк.)	Тип профілю зони виявлення	Габаритні розміри, (Ш×В×Д), (мм)	Вага, (г)	Максимальна довжина та кут охоплення профілю зони виявлення, (м×°)	Джерело живлення, значення напруги та струму (Зовн./ Внутр.× Напруга× Струм)	Вартість, (у. о.)
	Aeotec TriSensor ZWA005 [24]	ІЧ×1	3	45× 45× 35	51,5	7×120	Внутр.× +2,6–3,2В× 25мкА-36мА	55
	LifeSmart LS235W [25]	ІЧ×1	3	38.4× 38.4× 22.4	20	5×120	Внутр. (CR123A×1) × +3В	46
	Lumi AQARA FP2 [39]	РТ×1 (60-64 ГГц) FMCW	2	64× 64× 29.5	-	8×120	Зовн.× +5В× 1А	83
	MINEW MSR01 [40]	РТ×1 (60 ГГц) -	2	83×27	-	4×120	Зовн.× +12В× 1А	38

2.2.3 Сповіщувачі для систем охоронної сигналізації

Характеристики сповіщувачів наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Сповіщувачі для систем охоронної сигналізації

Зовнішній вигляд	Виробник, модель	Встановлені датчики, (тип× кільк.)	Частота випромінювача, (ГГц)	Тип профілю зони кнотролю	Максимальна довжина та кут охоплення профілю зони контролю, (м×°)	Джерело живлення, значення напруги та струму (Зовн./Внутр.× Напруга× Струм)	Вартість у. о.
	Ajax MotionProtect Plus Jeweller [16]	ІЧ×1 РТ×1	24	1	12×88,5	Внутр. (CR123A×1)× +2,1–3,3В× 31мкА–62мА	215,35
	Bosch ISC-BDL2-W12G [17]	ІЧ×1 РТ×1	10,525	1	12×94	Зовн.× +9–15В× 10мА	48,25
	Dahua DHI-ARD2231-W2 [18]	ІЧ×1 РТ×1	24	1	12×90	Внутр. (CR123A×1)× +9В× 11мкА–71мА	115
	Hikvision DS-PDCL12DT-EG2 [19]	ІЧ×1 РТ×1	24(24.15 ~24.25)	2	12×360	Зовн.× +9–16В× 100мА max	66
	Hikvision DS-PDD12P-EG2-WB [20]	ІЧ×1 РТ×1	24(24.15 ~24.25)	1	12×85,9	Внутр. (CR123A×2)× +3В	46
	Hikvision DS-PDC10DM-VG3 [21]	ІЧ×1 РТ×1	24(24.15 ~24.25)	4	6–10×5	Зовн.× +9–16В× 16–25мА при +12В	68
	Honeywell Intellisense DT-6100STC [11]	ІЧ×1 РТ×1	-	1	30,5×5,62	Зовн.× +10-12,9В× 35мА при +12В	190
	Zeerkeer Portable Pocket Alarm [41]	ІЧ×1	-	3	67× 38× 25	Внутр. (AG13×3)× +4,5В	15
	Simtek StealthALERT [42]	ІЧ×1 Аксел×1	-	3	92.96× 82.80× 37.59	Внутр. (RCR123A×1)× +3,7В	150 + 49,99/рік

2.3 Висновки за розділом 2

Звертаючи увагу на те, що на даний час методи надширокосмугового випромінювання (FM-UWB, IR-UWB) та частоти від 60 ГГц для FMCW виглядають більш перспективно, рішення щодо застосування тих чи інших засобів обирається у відповідності до функціональних вимог усього проєктованого пристрою. Отже, за результатом порівняння радарних модулів та пристроїв, що використовуються в системах IoT та охоронної сигналізації, доцільним вибором можна вважати радарний модуль Hi-Link LD2410S (FMCW, 24 ГГц). Вибір ґрунтується на сукупності таких характеристик, як метод випромінювання, частота, енергоспоживання (40-600 мкА), ефективна дистанція виявлення (до 10 м), вартість.

Альтернативним варіантом можна вважати Ai-Think Rd-03L V2, але він дещо поступається споживанням (80 мкА) та має вищу вартість. У порівнянні з CW-модулями виграє за частотою та методом, який дозволяє виявляти як рух, так і присутність. Вартість UWB-модулів значно вища, що ставить під сумнів їх застосування в даному проєкті, враховуючи, що їх має бути не меньше трьох, а середня вартість наявних на ринку пристроїв ~50 у. о.

Основна відмінність пристроїв IoT від СОС полягає у застосуванні технологій, де перші будуються зазвичай на одній, а другі — на комбінації радарної та інфрачервоної. Але, не зважаючи на автономне живлення, пристрої СОС призначені у переважній більшості для стаціонарного монтажу. Отже, не є мобільними. Обидва сегменти уникають конструкцій, які б могли утворювати кілька секторів контролю. Зазвичай, моносекторні, навіть за наявності кількох датчиків, спрямовані в один бік, що за певних обставин вимагає встановлення додаткових пристроїв.

3 СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ТА ЙОГО ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ

3.1 Структурна схема

На підставі аналізу технічного завдання було визначено певний перелік необхідних компонентів проєктованого пристрою, які задовольняють його функціональному призначенню. Його структурна схема наведена на рис. 3.1.

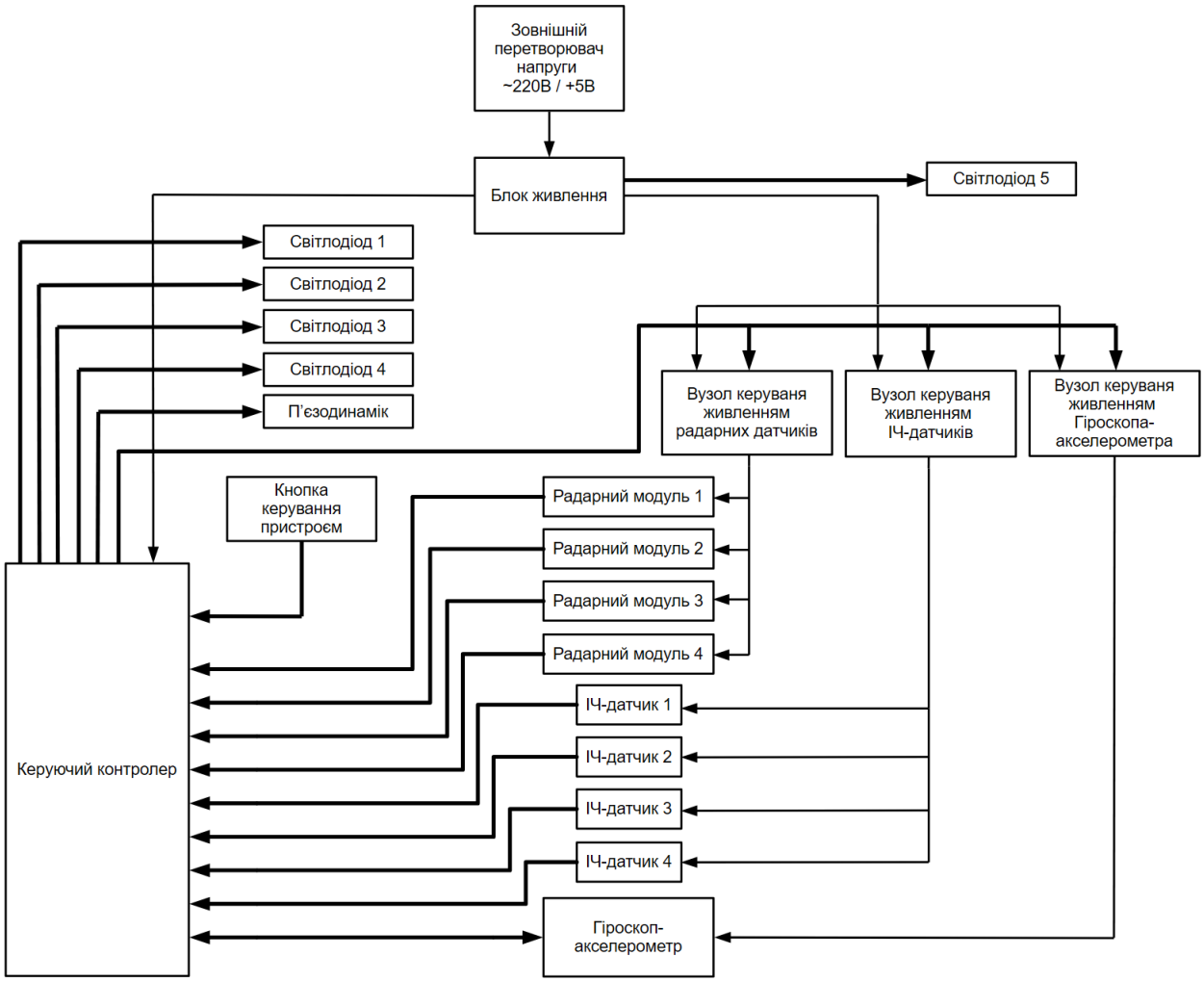


Рисунок 3.1 — Схема структурна

Пристрій має забезпечити зону контролю 360° оточуючого простору, що вимагає застосування кількох радарних модулів, оскільки один модуль має повний кут охоплення ~120°. Для уникнення можливих «сліпих» зон визначена кількість — чотири. Оскільки пристрій призначений переважно для використання у приміщеннях або обмеженому просторі, здатність мікрохвильових радарів здійснювати детекцію через перешкоди, навіть після зменшення чутливості, може призвести до хибних спрацювань, що обумовило необхідність

встановлення ІЧ-датчиків для підтвердження логічного стану радарних. Огляд існуючих рішень показав, що таке поєднання у більшій мірі характерне для сповіщувачів СОС на відміну від вузлів IoT. Компонентом, що відповідає за контроль контакту, переміщення та вібрації обрано гіроскоп-акселерометр.

Керуючий контролер отримує інформацію про логічний стан (1 — наявність події, 0 — відсутність) від радарних модулів, ІЧ-датчиків та гіроскопа-акселерометра, який має двосторонній обмін даними з керуючим контролером через I^2C інтерфейс. Контролер також має апаратну реалізацію засобів безпровідної комунікації WiFi та BLE для підтримки обміну даними між пристроєм та зовнішніми вузлами.

Живлення пристрою може здійснюватися як від зовнішнього джерела (USB Type-C), так і вбудованого акумулятора (Li-ion-батарея). Керування живленням периферії реалізується контролером через відповідні вузли. Локальне інформування здійснюється через світлодіодні індикатори та п’єзодинамік. Контактне керування пристроєм — кнопкою.

3.2 Керуючий контролер

Керування пристроєм покладено на модуль Seeed Studio Xiao ESP32-S3 Plus (рис. 3.2), побудований на базі контролера Espressif ESP32-S3, доповнений флеш-пам’ятью 16МБ та PSRAM 8МБ. У порівнянні з аналогами має мінімальні габарити, низьке енергоспоживання та виведені додаткові контактні отвори, чим вигідно від них відрізняється. Наявність розширеної пам’яті створює у подальшому передумови для доповнення мікропрограми пристрою штучним інтелектом, що посприяє розширенню його обчислювальних можливостей, підвищенню адаптивності до умов використання, а саме — зменшенню хибних спрацювань.



Рисунок 3.2 — Модуль керуючого контролера Seeed Studio Xiao ESP32-S3 Plus [46]

Процесор: Xtensa LX7 dual-core, 32-bit.

Частота: 240 МГц.

Споживання: Type-C — +5 В / 28 мА; WiFi / BLE — 81 мА / 101 мА.

Напруга живлення, В: +3,3.

Комунікації (WiFi, BLE): зовнішня антена.

Конструктивні переваги: додаткові контактні місця.

Габартині розміри, мм: 21×17,8 (модуль).

3.3 Радарний модуль

Основою пристрою є радарний модуль Hi-Link LD2410S, який було обрано як пріоритетний за висновками огляду існуючих рішень та аналізу його технічних характеристик. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 3.3, а принципова схема — на рис. 3.4 [47]. Даний модуль побудований на радарній мікросхемі ICL1112 та керується мікроконтролером F030K28 (ARM Cortex-M0+). Відрізняється від аналогів можливістю визначати рух та присутність об’єкта в межах ефективної зони контролю, споживаючи у мінімумі 0,045мА. Факт спрацювання визначається логічними станами (1/0) на відповідному піні (OT2). Логічна одиниця (3,3 В) означає присутність людини в зоні контролю.

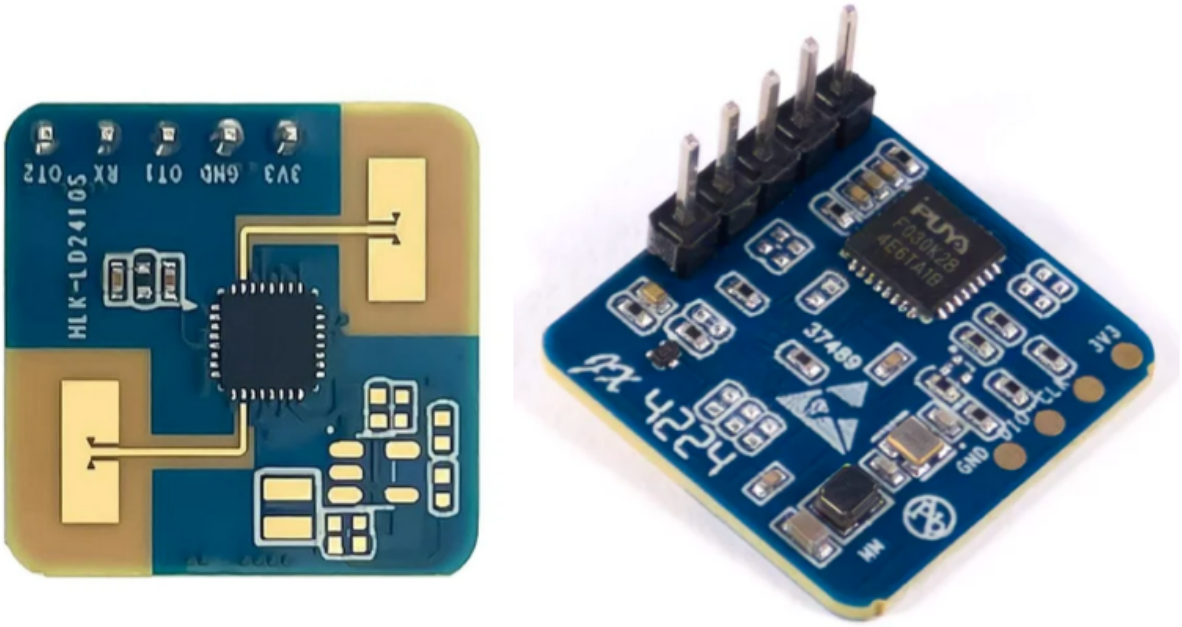


Рисунок 3.3 — Радарний модуль LD2410S

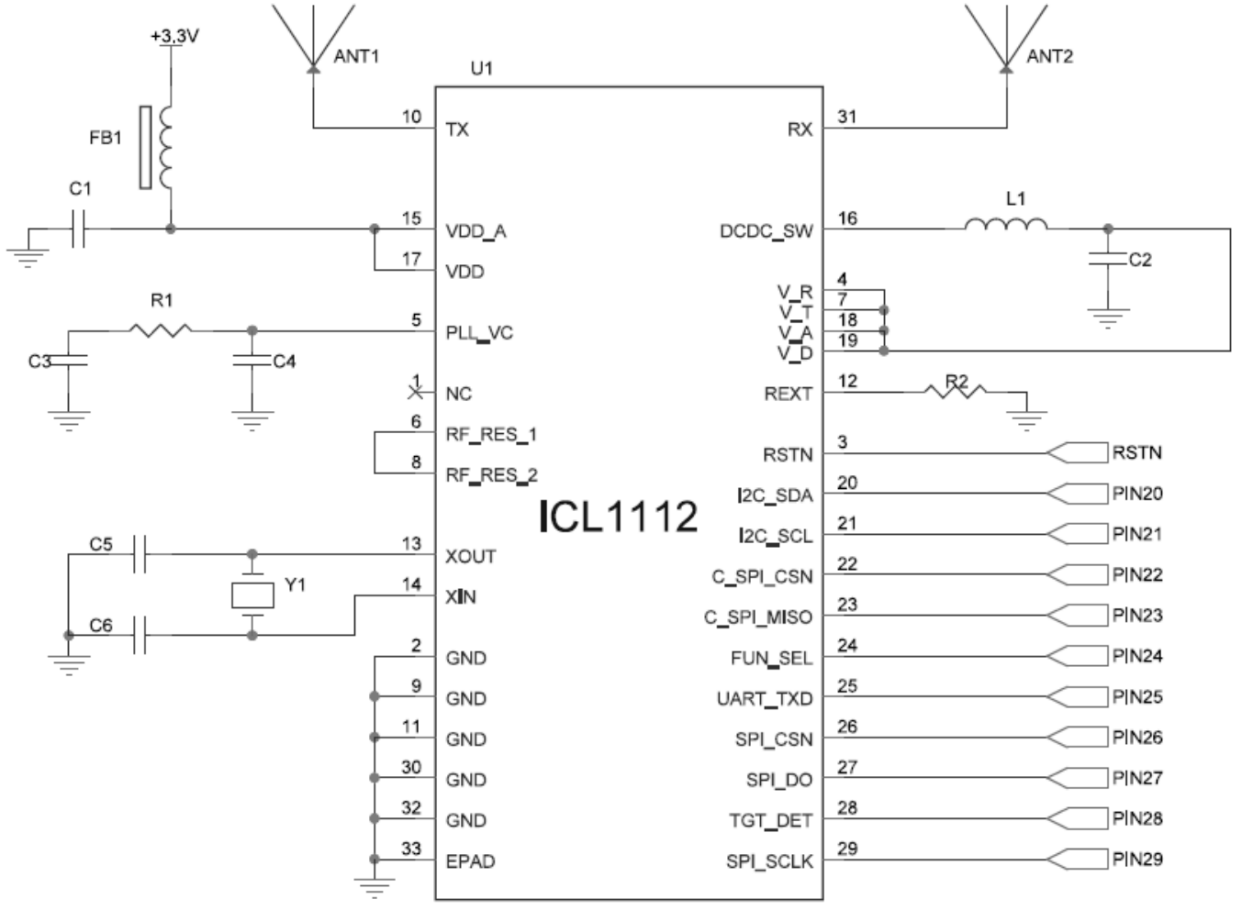


Рисунок 3.4 — Схема електрична принципова модуля LD2410S на базі радарного сенсора ICL1112 [47]

Радарний сенсор: ICL1112.

Контролер керування модулем: PY32F030K28 (ARM Cortex-M0+).

Напруга живлення, В: +3 – +3,6.

Струм, мА: 0,045 – 0,6.

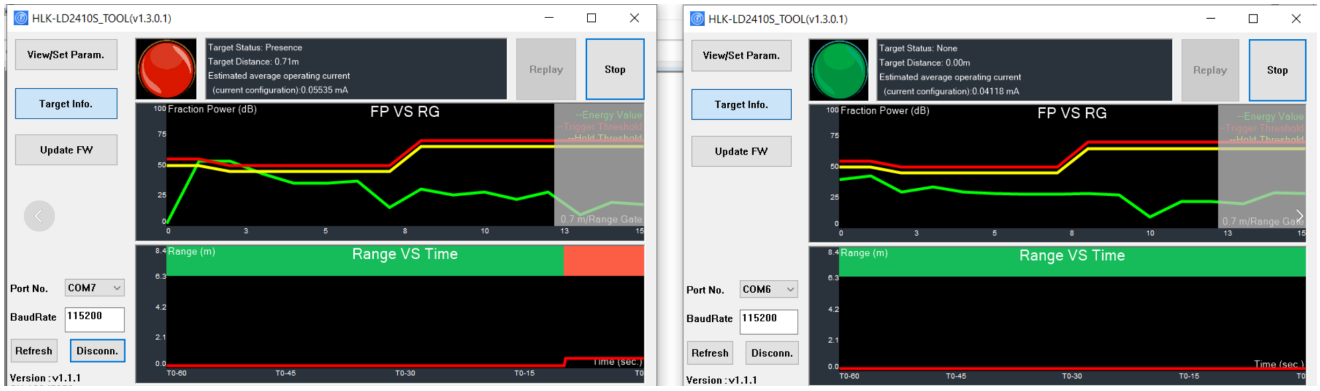
Ефективна дистанція, м: 0 – 8,4.

Тілесний кут випромінювання: 120°.

Габаритні розміри (ДхШ), мм: 20×20 (модуль).

Шляхом аналізу роботи модуля було визначено, що низьке енергоспоживання досягається за рахунок періодичного увімкнення та вимкнення радарного сенсора без зниження ефективності в роботі. Виявлення об'єктів починається з нульової відстані на відміну від аналогів (0,75 м для модулів LD2410B і LD2410C). Налаштування модуля здійснюється через програмне забезпечення виробника, яке дозволяє спостерігати результати вимірювань у реальному часі (рис. 3.5). Зелена лінія відображає поточне значення енергії відбитого випромінювання, червона – поріг активації / спрацювання (Trigger Threshold), жовта лінія – поріг утримання (Hold Threshold). Таким чином, для кожного окремого модуля може бути налаштована індивідуальна чутливість, та частота імпульсів.

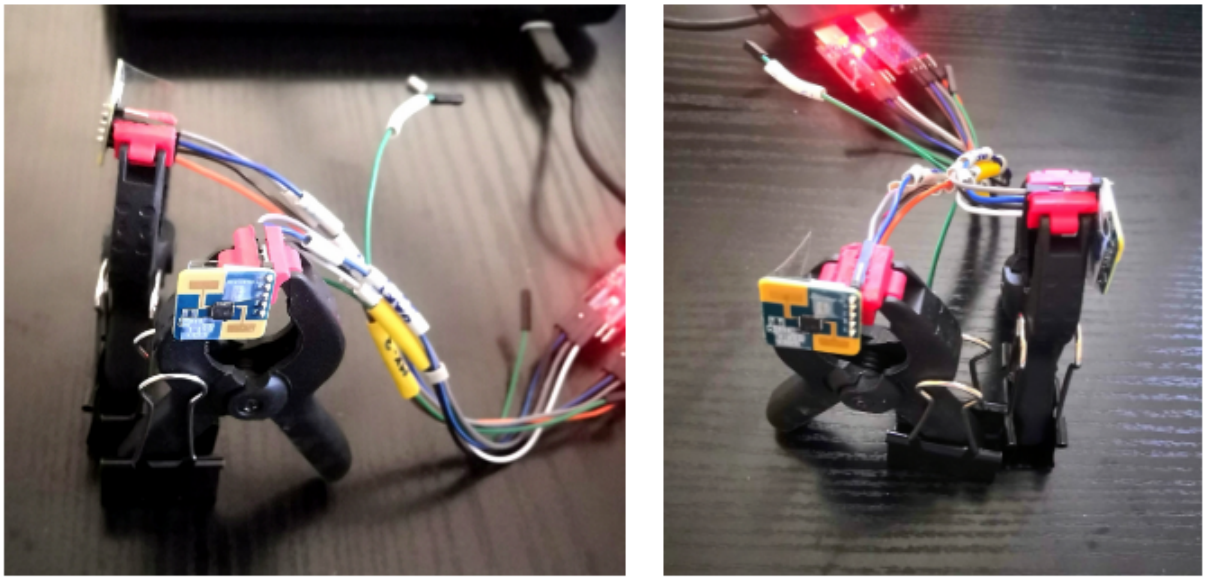
Конструкція пристрою передбачає встановлення чотирьох модулів на відстані менше 100 мм між ними. У процесі розробки були проведені дослідження їх взаємного впливу. Експериментально доведено, що завад один одному вони не створюють — кожен радар реагує в межах свого сектору і не сприймає сигнал від сусіднього радара. На рисунку 3.5 зображення відповідають стану обох досліджуваних датчиків (рис. 3.6а, б). Червоний маркер у верхньому лівому куті (рис. 3.5а) вказує на виявлення присутності людини під час її знаходження в зоні контролю одного з датчиків. Другий датчик поряд знаходиться у стані очікування, позначений зеленим маркером (рис. 3.5б). Зміна статусів на протилежні була відмічена лише при зміні положення відносно датчиків — переміщення в зону контролю другого, що вказує на відсутність взаємного впливу між ними.



а) б)

Рисунок 3.5 — Діалогове вікно програмного застосунку для налаштування та спостереження за роботою модуля датчика LD2410S

Зовнішній вигляд макету для перевірки представлено на рисунку 3.6.



а) б)

Рисунок 3.6 — Дослідження взаємних завад модулів LD2410S

3.4 ІЧ-датчик

Функцію підтвердження спрацювання радарного модуля виконує пасивний цифровий ІЧ-датчик SB312 (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 — ІЧ-датчик SB312 [48]

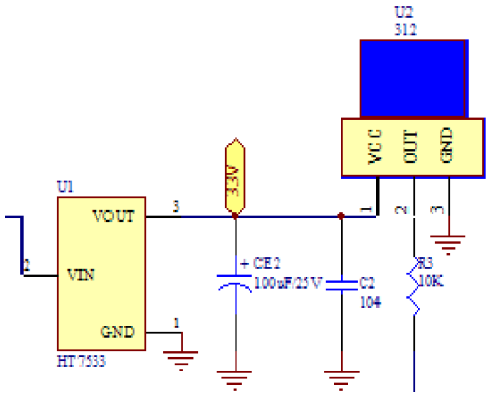


Рисунок 3.8 — Схема датчика на базі ІЧ-датчика SB312

Напруга живлення, В: +2,7 – + 3,3.

Струм, мА: 0,012 – 0,020.

Ефективна дистанція, м: 0 – 12 (залежить від лінзи).

Тілесний кут випромінювання, Г×В: 130°×100°.

Габаритні розміри (ДхШ), мм: ~18×12 (модуль).

3.5 Гіроскоп-акселерометр

Гіроскоп-акселерометр (Г/А) MPU6050 (рис. 3.9) об'єднує в одному корпусі тривісні акселерометр та гіроскоп. Мікрочіп вимірює лінійне прискорення за трьома просторовими осями та кутове прискорення обертання навколо цих осей. Ці властивості у проєктованому пристрою будуть використані для визначення спроби його переміщення, поштовху, обертання як ознак контакту. Даний Г/А має вбудований термометр для відстеження теплового дрейфу та термокомпенсації можливих відхилень даних, що передаються від чіпа. Чутливість Г/А може налаштовуватися для лінійного прискорення у ме-

жах ±2g – ±16g, для кутового — ±250°/с – ±2000°/с. Має вбудований інтерфейс I^2C, що надає можливість для програмного конфігурування та отримання даних у реальному часі. Схема підключення Г/А наведена на рис. 3.10.

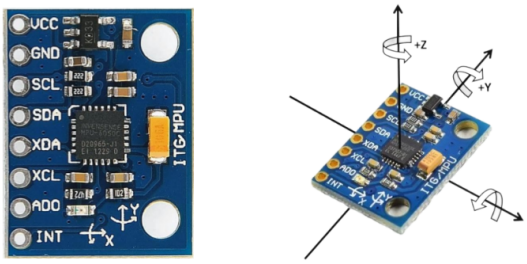


Рисунок 3.9 — Гіроскоп-акселерометр MPU6050

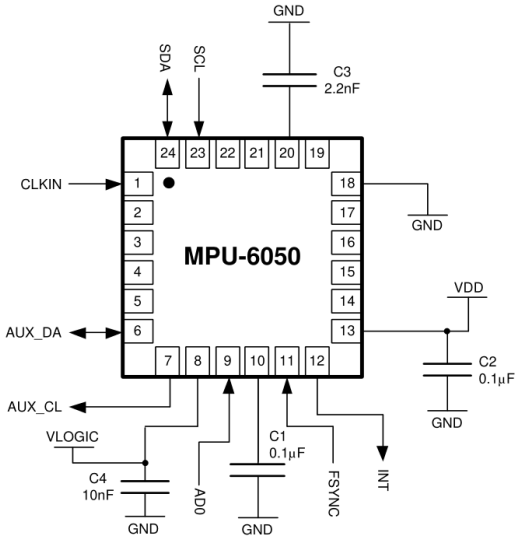


Рисунок 3.10 — Схема модуля на базі гіроскопа-акселерометра MPU6050 [45]

Контролер: MPU6050.

Напруга живлення, В: +2,375 – +3,46.

Струм, мА: 0,005 – 3,9.

Інтерфейси: I^2C.

Габаритні розміри (ДхШ), мм: 20,3×16,3 (модуль).

3.6 Блок живлення

Блок живлення (БЖ) пристрою складається з джерела — Li-ion-батареї, зарядного контролера (ЗК), перетворювача-стабілізатора (ПС) постійної напруги. Структурна схема БЖ наведена на рисунку 3.11.

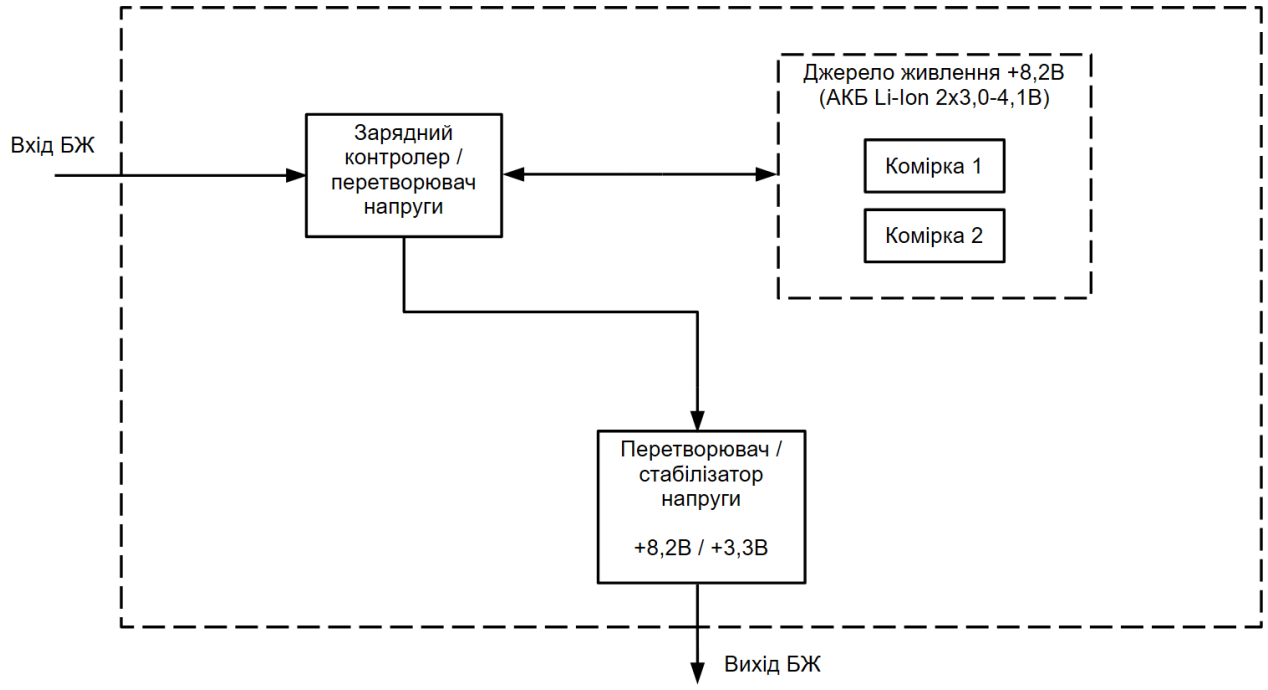


Рисунок 3.11 — Структурна схема блока живлення

3.6.1 Джерело живлення

Для забезпечення рівня напруги джерела живлення не нижче +6 В, що гарантує на виході БЖ рівень напруги +3,3 В при мінімумі напруги батареї, використовуються два, послідовно з'єднані Li-ion-акумулятори, типу 18650. Panasonic NCR18650G (рис. 3.12) [49], номіналом 3,6 В, та мінімальною ємністю 3400 мА·год. Номінальна напруга батареї становить 7,2 В.



а) б)

Рисунок 3.12 — Джерело живлення: а) акумулятор ; б) схема батареї

Номінальна енергоємність батареї $W_Б$ = 25160 мВт·год.

3.6.2 Зарядний контролер

Зарядний контролер IP2326 [44] призначений для заряджання «послідовних» батарей-збірок типу 2S (+8,2 В), має у складі пасивну систему бала-

нсування напруги заряду між акумуляторами, а також систему контролю перезаряду та перерозряду акумуляторів (рис. 3.13).

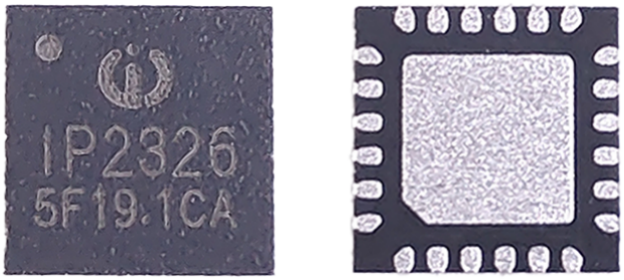


Рисунок 3.13 — Зарядний контролер IP2326

Вхідна напруга, В: −0,3 – +25.

Вихідна напруга, В: −0,3 – +20.

Максимальний струм при 9,5 В, А: 1,5.

Частота перемикання, кГц: 500.

Тип корпусу: QFN24.

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 4,1×4,1×0,8.

3.6.3 Світлодіодна індикація низької напруги батареї

Для керування світлодіодним індикатором про низький заряд внутрішнього джерела живлення в якості тригера використовується прецизійний шунтуючий регулятор TL431 в корпусі SOT23 з вбудованим опорним перетворювачем напруги 2,5 В.

3.6.4 Перетворювач-стабілізатор напруги

Передбачається, що живлення функціонального блоку пристрою здійснюється номінальною постійною напругою +3,3 В. Враховуючи, що узагальнений діапазон напруг живлення окремих компонентів схеми знаходиться в межах від +3,0 В до 3,6 В, а стандартне відхилення вихідної напруги стабілізатора — ±5% від номінальної +3,3 В, приймаємо діапазон його вихідної напруги від 3,1 В до 3,5 В.

Орієнтовний склад та зв’язок між основними елементами стабілізатора наведено на структурній схемі (рис. 3.14), де детектор BD4860G (рис. 3.15) виконує функцію захисту батареї від перерозряду, а саме, контролює нижню межу напруги (+6 В) на вході стабілізатора та за допомогою транзистора SI2333 (рис. 3.17) керує живленням функціонального блоку через імпульсний понижувальний перетворювач напруги MP2332C (рис. 3.16).

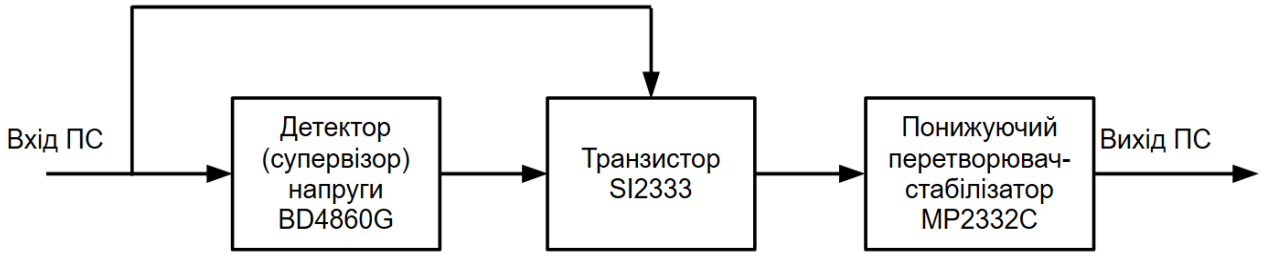


Рисунок 3.14 — Структурна схема ПС напруги з захистом від перерозряду батареї живлення пристрою

3.6.4.1 Детектор (супервізор) постійної напруги BD4860G

Контролер IP2326 не має власного захисту батареї живлення від перерозряду, тому цю функцію покладено на детектор BD4860G, напруга спрацювання (виявлення) якого саме становить необхідні +6 В, нижче якої необхідно припинити споживання функціональною частиною схеми пристрою.

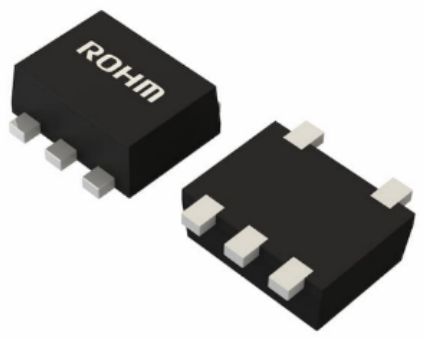


Рисунок 3.15 — Детектор постійної напруги BD4860G (VSOF5) [53]

Номінальна напруга виявлення, В: 6±1%.

Напруга живлення, В: 0,95 – 10.

Струм (власне споживання), мкА: 0,9.

Тип виходу: відкритий стік.

Тип корпусу: VSOF5.

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 1,65×1,65×0,6.

3.6.4.2 Імпульсний понижувальний перетворювач постійної напруги MP2332C (SOT583)

Завдяки високочастотному, імпульсному понижувальному перетворювачу MP2332C [43] із вбудованими силовими MOSFET-ключами здійснюється пониження та стабілізація напруги, що надходить від зовнішнього та внутрішнього джерел живлення схеми. Перевагами застосування є примусові режими безперервної провідності та ШІМ, регулювання навантаження з постійним часом увімкнення та синхронний режим роботи в діапазоні вихідного струму. Повні функції включають такі види захисту: від короткого замикання, від перевантаження по струму, від зниженої напруги, теплове відключення.

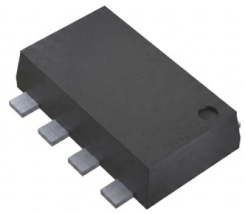


Рисунок 3.16 — Синхронний понижувальний перетворювач постійної напруги MP2332C (SOT583)

Вхідна напруга, В: +4,2 – +18.

Максимальний вихідний струм, А: 2 (піковий до 3 А).

Частота перемикання ШИМ, кГц: 650.

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 2,2×1,7×0,6.

3.7 Вузли керування живленням

Вузли керування живленням датчиків побудовані на польових транзисторах SI2333 (рис. 3.17), порогова напруга відкриття яких знаходиться у діапазоні від −0,4 В до −1 В, що гарантує відкриття транзистора при напрузі −3,3 В.

3.7.1 Транзистор SI2333

Польовий низьковольтний транзистор з P-каналом виконує функцію ключа (комутатора) на силових лініях +3,3 В груп модулів датчиків (SB312, LD2410S, MPU6050) та на виході каскаду захисту батареї від перерозряду (BD4860G) електричної схеми пристрою. Він придатний для використання як у лінії живлення всього функціонального блоку схеми, так і для живлення груп датчиків. Переважною особливістю транзистора є його малий опір відкритого каналу та мінімальна гранична напруга включення.

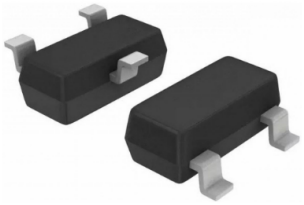


Рисунок 3.17 — Транзистор SI2333 (SOT23) [50]

Тип каналу: P-канал.

Максимальна напруга стік-витік, В: −12.

Максимальний постійний струм стоку, А: −5,3 (−4,2 при 70° C).

Опір відкритого каналу при U_{GS} = −4,5 В, I_D = −5 А, Ом: 0,028.

Опір відкритого каналу при U_{GS} = −2,5 В, I_D = −4,3 А, Ом: 0,040.

Мінімальна гранична напруга включення, В: −0,4 – −1,0.

Тип корпусу: SOT23.

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 3,04×2,64×1,12.

3.8 Зовнішній перетворювач напруги

Зовнішній перетворювач напруги обираємо відповідно до вхідної потужності зарядного контролера, яка становить 15 Вт. Даним вимогам відповідає перетворювач Nectronix QC11 (18 Вт), особливістю якого є метод інтелектуального перемикання режимів заряджання (USB-C Power Delivery) (рис. 3.18).

Метод надає можливість автоматичного вибору оптимальної напруги заряджання за «домовленістю» між перетворювачем та споживачем. Один з режимів має параметри +9 В, 2 А, що зменшує коефіцієнт перетворення (9 В / 8,4 В) та струм заряджання, отже, підвищує ККД при живленні або заряджанні пристрою від зовнішнього джерела.



Рисунок 3.18 — Зовнішній перетворювач напруги USB-C PD 18 Вт, Nectronix QC11

3.9 Світлова індикація

Світлова індикація використовується для візуального інформування про роботу пристрою та побудована на чотирьох SMD-світлодіодах зеленого кольору 7017X15 та одного червоного 7017X1 (рис. 3.19).

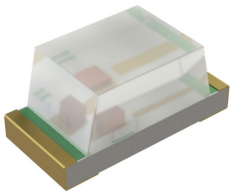


Рисунок 3.19 — Світлодіод 7017X

Пряма напруга, В: +1,9 – +2,1.

Номінальний струм (червоний, 7017X1), А: 0,005.

Номінальний струм (зелений, 7017X15), А: 0,02.

Кут огляду: 70°

Габаритні розміри (0603), мм: 1,6×0,8×0,71.

3.10 Звукова сигналізація

В якості звукового сигналізатора використовується п’єзоелектричний випромінювач звуку HYT-1205 (рис. 3.20) [52].



Рисунок 3.20 — П’єзоелектричний випромінювач HYT-1205

Номінальна напруга, В: 5.

Робоча напруга, В: +3 – +7.

Середній струм, мА: 30.

Звуковий тиск, дБ: від 85.

Габаритні розміри (DxB), мм: 12×9,5.

3.10.1 Транзистор IRLML2502

Польовий низьковольтний транзистор з N-каналом виконує функцію ключа (комутатора) на силовій лінії живлення п’єзоелектричного випромінювача звуку HYT-1205. Переважною особливістю транзистора є його малий опір відкритого каналу та мінімальна гранична напруга включення.

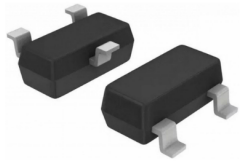


Рисунок 3.21 — Транзистор IRLML2502 (SOT23) [51]

Тип каналу: N-канал.

Максимальна напруга витік-стік, В: +20.

Максимальний постійний струм стоку, А: 0,6.

Опір відкритого каналу при U_{GS} = 4,5 В, I_D = 4.2 А, Ом: 0,045.

Опір відкритого каналу при U_{GS} = 2,5 В, I_D = 4,2 А, Ом: 0,080.

Мінімальна гранична напруга включення, В: +0,65 – +1,2.

Тип корпусу: SOT23.

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 3,04×2,64×1,12.

3.11 Кнопка керування пристроєм

Контактне керування пристроєм здійснюється тактовою кнопкою (рис. 3.22).



Рисунок 3.22 — Кнопка тактова SWT-3/7 (KLS7-TS6606-7.0-180)

Комутована напруга, В: +12.

Комутований струм, А: 0,05.

Алгоритм роботи: OFF-(ON) .

Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм: 6×6×7.

3.12 Висновки за розділом 3

З урахуванням габаритних розмірів та вимог до функціональності на основі структурних схем блоків пристрою було виконано вибір його основних компонентів. Такі компоненти, як ESP32-S3 Plus (Seeed Studio), SB312, MPU6050 у модульному виконанні займають менше місця на друкованій платі пристрою, маючи у складі достатній набір власної периферії, що не вимагає її додаткового підбору та розміщення. LD2410S та SB312 як готові модулі значно полегшують їх компонування та монтаж під прямим кутом до плати. Функція керованих ключів покладена на польові транзистори, які мають значно менший внутрішній опір каналу та вищий ККД в порівнянні з біполярними.

4 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

4.1 Особливості схеми електричної принципової

У частині живлення схема пристрою ґрунтується на типових схемних рішеннях, запропонованих розробниками-виробниками мікросхем. Компоненти функціональної частини пристрою — керуючий контролер та датчики, використовуються у пристрої як готові модулі, місця підключення яких позначені з'єднувальними гніздами.

4.2 Функціональний блок схеми пристрою

Функціональний блок схеми (рис. 4.1) складається з модулів датчиків SB312 (контактні групи *X1-X4*), LD2410S (*X5-X8*), MPU6050 (*X9*), модуля контролера ESP32-S3 Plus (*X10*), світлової індикації *HL1-HL4*, звукової сигналізації *BA1* та кнопки керування пристроєм *SB1*. Модулі датчиків та контролера живляться від силової лінії з виходу *SW* мікросхеми *DA1* стабілізованою номінальною напругою +3,3 В. Керування живленням груп модулів датчиків здійснюється контролером ESP32 (виводи *D*(*3, 8, 9*)) через транзисторні P-канальні ключі *VT1–VT3* (SI2333), а живленням п'єзоелектричного звукового випромінювача *BA1* (вивід *D0*) через N-канальний польовий транзистор *VT4* (IRLML2502). На лініях керування живленням груп датчиків та звукового випромінювача встановлені струмообмежувальні резистори *R4–R6, R8* для захисту виводів контролера від короткого замикання під час заряджання паразитних ємностей затворів транзисторів, опір яких визначається за формулою (4.1), а потужність, яка виділяється на них, за формулою (4.2).

Опір резисторів *R4–R6, R8* на виходах *D*(*3, 8, 9, 0*) ESP32:

$$R_4 = R_5 = R_6 = R_8 = \frac{U_{KH}}{I_{3T\,(max)}} = 165\,(\text{Ом}), \qquad (4.1)$$

де U_{KH} = +3,3 В — керуюча напруга «затвор-витік»;

$I_{3T(max)}$ = 20 мА — прийнятий максимальний допустимий імпульсний струм через вивід ESP32 до затвора транзистора.

Приймаємо опір *R4* = *R5* = *R6* = *R8* = 180 Ом.

Потужність на резисторах *R4–R6*, *R8*:

$$P_{3T} = I^2_{G(max)} \cdot R_{4568} = 0{,}072\,(\text{Вт}). \tag{4.2}$$

Параметри резисторів *R4–R6, R8* (E96): 180 Ом ±1%, 0,1 Вт, 0603, SMD.

Як зазначено вище, п'єзоелектричний звуковипромінювач типу HYT-1205 (*BA1*) керується через N-канальний польовий транзистор *VT4*. Опір струмообмежувального резистора *R7* у силовій лінії *BA1* визначається за формулою (4.3).

Опір струмообмежувального резистора *R7*:

$$R_7 = \frac{U_{R7}}{I_{R7(max)}} = \frac{3{,}3}{0{,}03} = 110\,(\text{Ом}), \tag{4.3}$$

де U_{R7} = +3,3 В — керуюча напруга на звуковипромінювачі *BA1*;

$I_{R7(max)}$ = 30 мА — середній максимальний струм у колі D0 ESP32.

Приймаємо опір R_7 = 110 Ом.

Потужність на резисторі *R7*:

$$P_{R7} = I^2_{R7(max)} \cdot R_7 \approx 0{,}01\,(\text{Вт}). \tag{4.4}$$

Параметри резистора *R7* (E96): 110 Ом ±1%, 0,125 Вт, 0805, SMD.

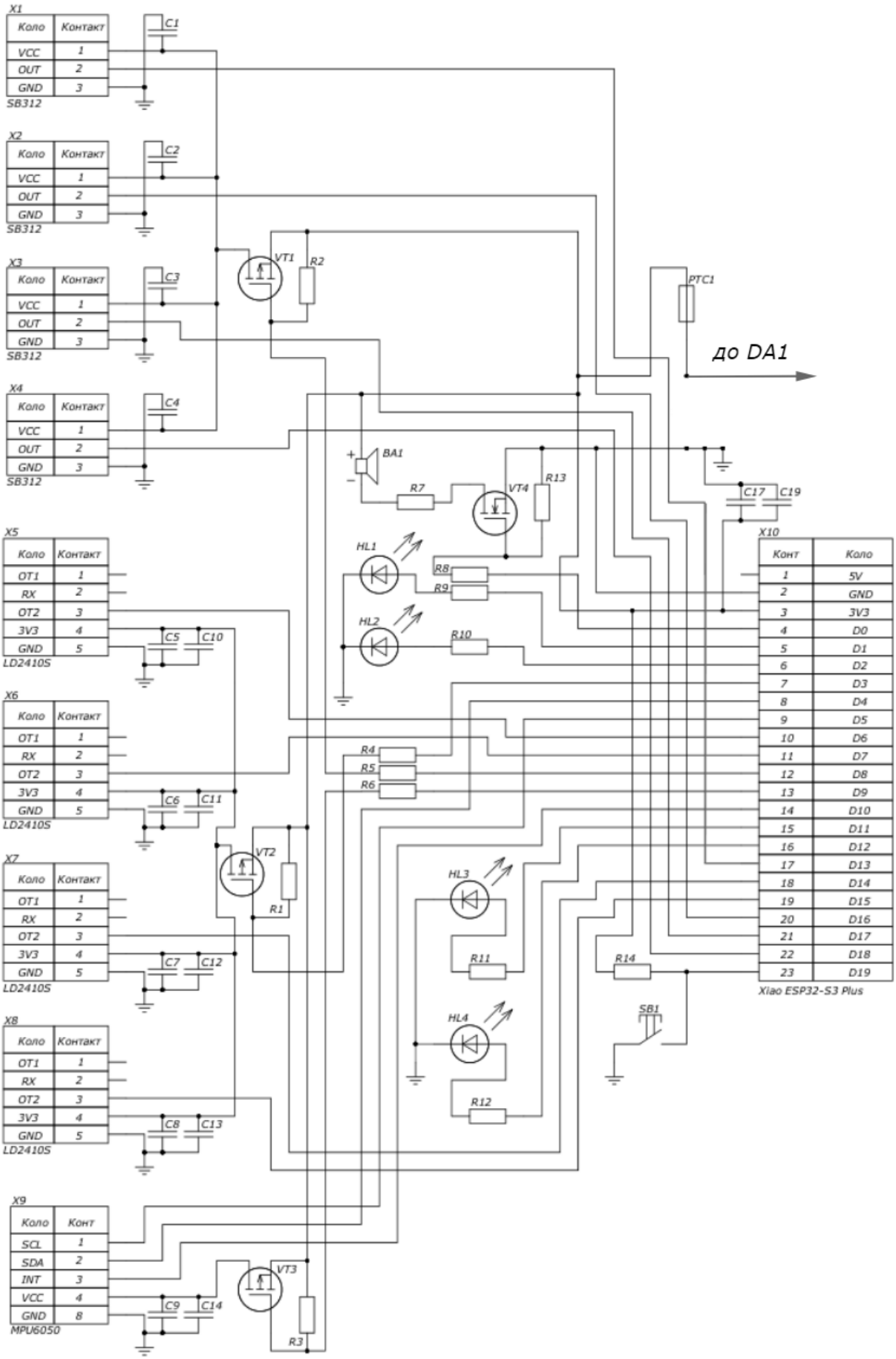


Рисунок 4.1 — Функціональний блок схеми пристрою

Для світлової індикації у складі функціонального блоку пристрою передбачені світлодіоди *HL1–HL4* зі струмообмежувальними резисторами *R9–R12* на виводах D(1, 2, 11, 12) ESP32, опір яких визначається формулою (4.5).
Опір струмообмежувальних резисторів *R9–R12*:

$$R_9 = R_{10} = R_{11} = R_{12} = \frac{U_{ESP\,32} - U_{FWD}}{I_{FWD}} = 65\,(\text{Ом}), \qquad (4.5)$$

де U_{ESP32} = +3,3 В — амплітуда вихідної напруги на логічному виводі мікроконтролера в стані логічної одиниці;

U_{FWD} = +2 В — пряме падіння напруги на напівпровідниковому переході світлодіода (для світлодіодів стандартного зеленого або червоного спектра світіння);

I_{FWD} = 20 мА — номінальний прямий робочий струм через світлодіод, що забезпечує достатню яскравість індикації.

Приймаємо опір *R9 = R10 = R11 = R12* = 64,9 Ом.

Потужність на резисторах *R9–R12*:

$$P_{CM} = I_{FWD}^2 \cdot R_{912} = 0{,}026\,(\text{Вт}). \qquad (4.6)$$

Параметри резисторів *R9–R12* (E96): 64,9 Ом ±1%, 0,1 Вт, 0603, SMD.

Підтягувальний резистор *R14* = 10 кОм стабілізує лінію стану кнопки *SB1*, якою здійснюється керування пристроєм.

4.3 Блок живлення пристрою

Пріоритетним джерелом живлення пристрою є 2S-батарея у його складі з номінальними параметрами 7,2 В, 3400 мА·год.

4.3.1 Каскад заряджання внутрішнього джерела та живлення пристрою через зовнішній перетворювач

Основою каскаду заряджання (рис. 4.2) внутрішнього джерела та живлення пристрою через зовнішній перетворювач є контролер IP2326 .

Каскад, побудований на мікросхемі *DD1* (IP2326) (рис. 4.2), працює як підвищувальний імпульсний перетворювач. Він бере напругу +5 В – +12 В через гніздо *X11* (USB Type-C) від зовнішнього перетворювача і перетворює її до +8,4 В для заряджання 2S-батареї (локального джерела живлення пристрою).

Оскільки основний струм на вході (через котушку *L2*) завжди вищий, ніж струм на виході (який йде в батарею *G1–G2*), визначаємо умови роботи схеми.

За граничних умов напруга батареї наближається до +8,4 В (максимум заряду), а напруга на вході мінімальна — +5 В. Якщо прийняти ККД перетворювача 90% ($\eta = 0{,}9$), то максимальний струм заряджання:

$$I_{BX\,(max)} = \frac{U_{ВИХ} \cdot I_{БАТ\,(max)}}{U_{BX\,(min)} \cdot \eta} \approx 2{,}8\,(\text{А}), \qquad (4.7)$$

де $U_{BX(min)}$ = +5 В — мінімальна напруга на вході *DD1*.

$U_{ВИХ}$ = +8,4 В — максимальна напруга на батареї;

$I_{БАТ(max)}$ = 1,5 А — максимальний струм заряджання батареї.

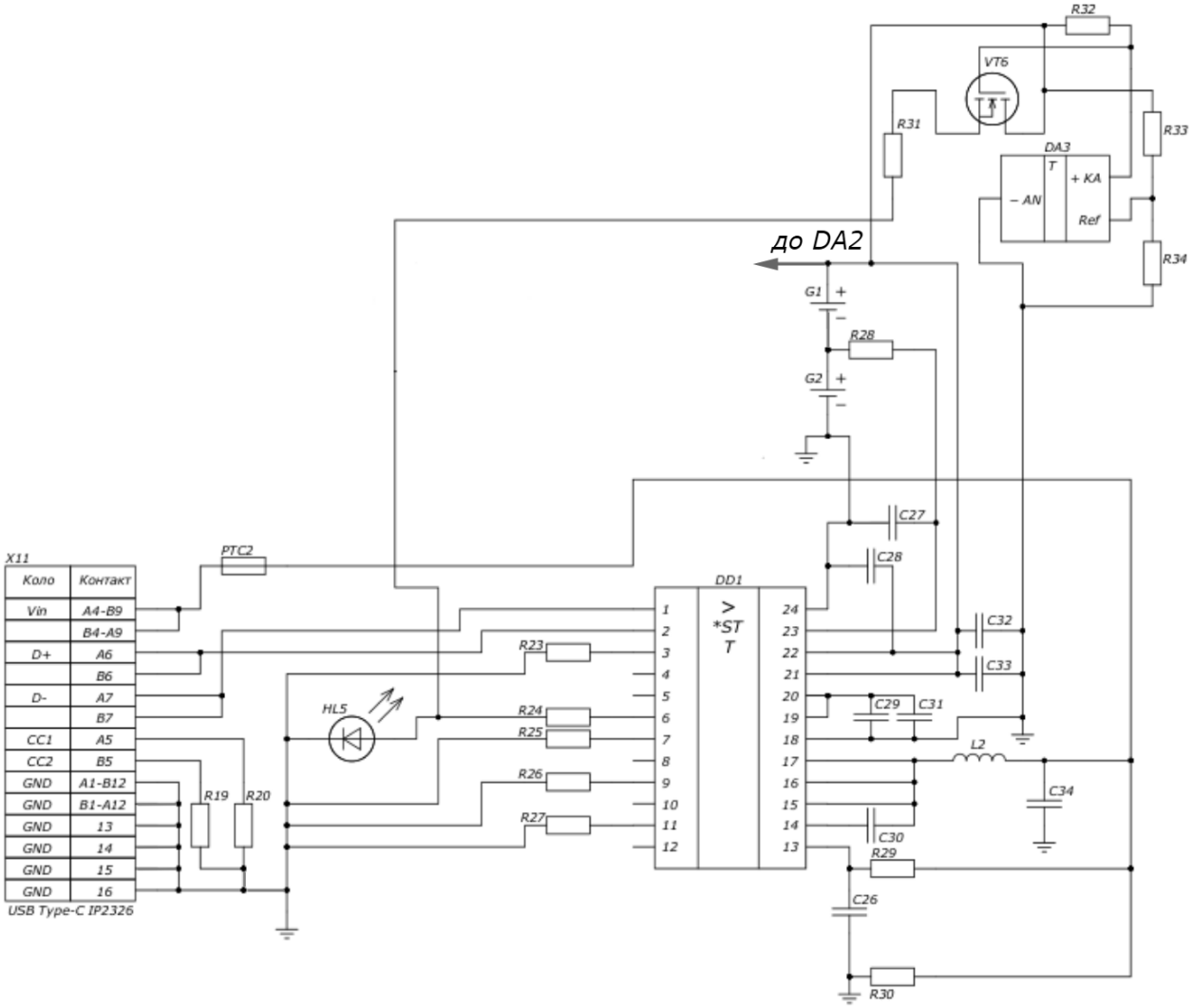


Рисунок 4.2 — Каскад заряджання внутрішнього джерела живлення на основі контролера IP2326

Зовнішній перетворювач Nectronix QC11 (3.8, рис. 3.18) може здійснювати «швидке» заряджання з рівнем напруги $U_{BX} = +9$ В, $I_{BX} \approx 1{,}56$ А.

У каскаді реалізовано вузол пасивного балансування заряджання акумуляторів батареї. При послідовному з'єднанні (2S) внутрішній балансир мікросхеми вирівнює ємність акумуляторів батареї, підключаючи резистор *R28* паралельно тому акумулятору, який заряджається швидше.

Мікросхема *DA3* (TL431) з транзистором *VT6* керують світлодіодом HL5, сигналізуючи про напругу на батареї нижче 6,5 В шляхом його увімкнення.

Опір струмообмежувального резистора *R31* у лінію світлодіода *HL5*:

$$R_{31} = \frac{U_{БАТ} - U_{HL5}}{I_{HL5}} = 880\,(\text{Ом}), \qquad (4.8)$$

де $U_{БАТ}$ = +6,5 В — вихідна напруга;

U_{HL5} = +2,1 В — пряме падіння напруги;

I_{HL5} = 5 мА — номінальний прямий робочий струм через світлодіод.

Приймаємо опір *R31* = 887 Ом.

Потужність на резисторах *R31*:

$$P_{R31} = I_{HL5}^2 \cdot R_{31} = 0{,}022\,(\text{Вт}). \qquad (4.9)$$

Параметри резистора *R31* (E96): 887 Ом ±1%, 0,1 Вт, 0603, SMD.

Опір резистора *R33* «верхнього» плеча дільника напруги *R33R34* за умови, що базовий опір *R34* = 10 кОм:

$$R_{33} = \left(\frac{U_{БАТ}}{U_{ref}} - 1\right) \cdot R_{34} = 16\,(\text{кОм}), \qquad (4.10)$$

де $U_{БАТ}$ = +6,5 В — вихідна напруга;

U_{ref} = +2,5 В — опорна напруга на *DA3*;

Приймаємо опір *R33* = 16 кОм.

Параметри резисторів:

R33 (E96): 16 кОм ±1%, 0,1 Вт, 0603, SMD;

R34 (E96): 10 кОм ±1%, 0,1 Вт, 0603, SMD;

4.3.2 Каскад захисту внутрішнього джерела живлення від перерозряду

Каскад виконаний на мікросхемі *DA2* (BD4860G) (рис. 4.3). Мікросхема заряджання *DD1* не має вбудованої системи захисту батареї від перерозряду, а навантаження підключається до батареї *G1G2* безпосередньо. Тому в схемі додано вузол, побудований на мікросхемі *DA2*, який виконує функцію захисту

шляхом розмикання кола між батареєю та навантаженням у разі зниження напруги батареї нижче +6 В.

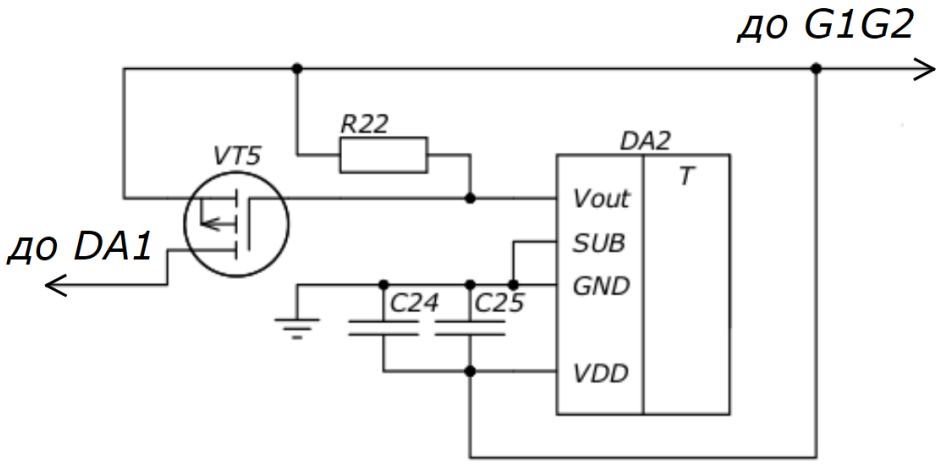


Рисунок 4.3 — Каскад захисту внутрішнього джерела живлення *G1G2* від перерозряду

Керування лінією навантаження здійснюється у повільному (статичному) режимі через Р-канальний польовий транзистор *VT5* (SI2333), затвор якого комутується із загальною лінією («землею») внутрішнім ключем мікросхеми *DA2.*

4.3.3 Каскад пониження та стабілізації напруги

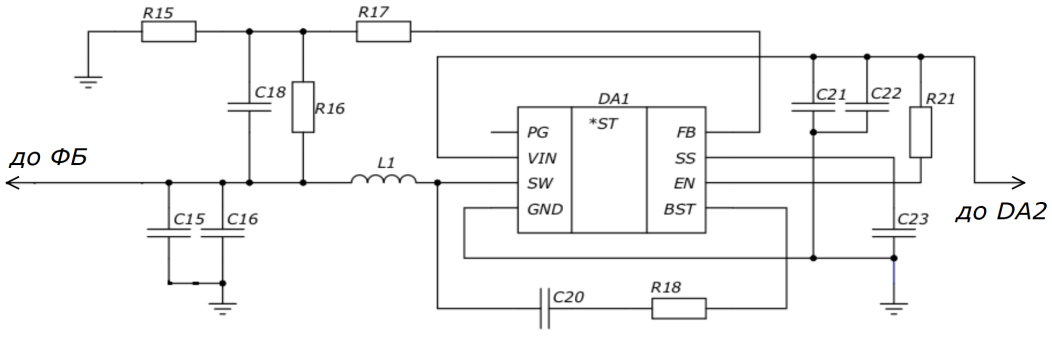


Рисунок 4.4 — Каскад пониження, стабілізації напруги та захисту внутрішнього джерела живлення

Каскад виконаний на мікросхемі *DA1* (MP2332C) (рис. 4.4). Мікросхема *DA1* (MP2332C) (рис. 4.4) — понижувальний імпульсний перетворювач постійної напруги, який перетворює напругу від батареї +6 В – +8,4 В на вході *VIN* у стабілізовану напругу +3,3 В на виході *SW.*

4.4 Споживання схеми та час автономної роботи пристрою

Для визначення часу роботи пристрою від автономного джерела приймаємо за основу режим охоронного сповіщувача у стані очікування та спрацювання.

У таблиці 4.1 наведені параметри пікового енергоспоживання складових компонентів пристрою, характерного для випадку спрацювання.

Таблиця 4.1 — Параметри пікового споживання основних компонентів

Параметр	ESP32-S3	LD2410S	SB312	MPU6050	Світлодіод	HYT1205
U, В	3,3					
I, мА	101	0,6×4	0,02×4	3,9	0,02	30
P, мВт	333,333	1,98×4	0,066×4	12,87	0,066	99

Наближена пікова потужність усього пристрою у стані спрацювання за умови, що ККД перетворювача становить ~90%, а інші втрати, як-от захист джерела живлення від перерозряду, керування живленням та на елементах обв'язки — ~10%:

$$P_{П} \approx \frac{\Sigma P}{0{,}9^2}; \tag{4.11}$$

$$P_{П} \approx \frac{333{,}3 + 4\left(1{,}98 + 0{,}066\right) + 12{,}87 + 0{,}066 + 99}{0{,}9^2} \approx 560\left(\text{мВт}\right). \tag{4.12}$$

У таблиці 4.2 наведені параметри споживання складових компонентів пристрою у стані очікування.

Таблиця 4.2 — Параметри споживання складових компонентів пристрою у стані очікування

Параметр	ESP32-S3	LD2410S	SB312	MPU6050	Світлодіод	HYT1205
U, В	3,3					
I, мА	28	0,045×4	0,012×4	0,14	0,02	0
P, мВт	92,4	0,149×4	0,039×4	0,462	0,066	0

Наближена потужність усього пристрою у стані очікування за умови, що ККД перетворювача становить ~90%, а інші втрати, як-от захист джерела жи-

влення від перерозряду, керування живленням та на елементах обв'язки — ~10%:

$$P_O \approx \frac{92{,}4 + 4\left(0{,}149 + 0{,}039\right) + 0{,}462 + 0{,}066 + 0}{0{,}9^2} \approx 116\,(\text{мВт}). \qquad (4.13)$$

За умови, що номінальна енергоємність батареї $W_Б$ = 25160 мВт·год, час роботи пристрою при піковому споживанні:

$$t_П = \frac{W_Б}{P_П} \approx \frac{25160}{560} \approx 45\ (\text{год}); \qquad (4.14)$$

час роботи пристрою при споживанні у стані очікування:

$$t_O = \frac{W_Б}{P_O} \approx \frac{25160}{116} \approx 217\ (\text{год}). \qquad (4.15)$$

4.5 Аналіз надійності пристрою

Використання пристрою передбачено в сухих, теплих приміщеннях з відсутністю прямих сонячних променів і джерел тепла. Робочий температурний діапазон відповідно до кліматичного виконання УХЛ 4: від +1°С до +35°С. Струм заряду пристрою 1,5 А. Струм розряду пристрою не перевищує 600 мА. Залежність кількості життєвих циклів акумулятора NCR18650G від ємності та струму розряду згідно технічної документації [49].

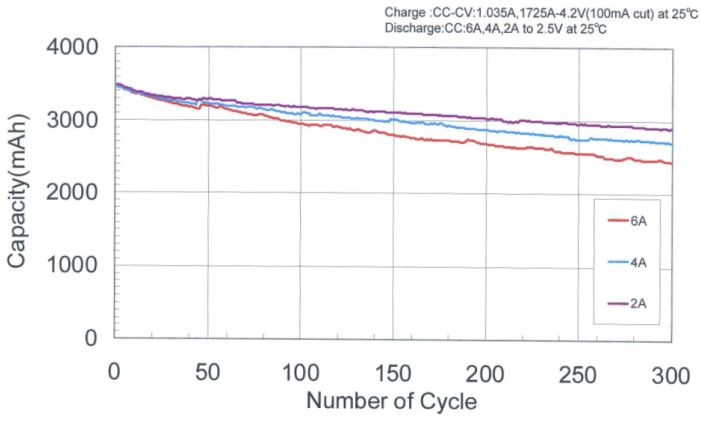


Рисунок 4.5 — Залежність кількості життєвих циклів батареї від ємності та струму розряджання

Із залежності видно, що при струмі розряду 2 А передбачено 300 життєвих циклів до моменту переходу акумулятора до порогу зносу. Оскільки у розробленій схемі струм розряду не перевищує 600 мА, то приймаємо можливу кількість циклів рівною 500.

Відповідно до розрахунків часу роботи пристрою від одного заряду, які наведені вище, отримуємо 217 годин у стані очікування та 45 годин у стані пікового навантаження.

Розраховуємо ресурс акумулятора для обох режимів навантаження.

Навантаження у піковому режимі:

$$45 \cdot 500 = 22500 \text{ (год)}. \quad (4.16)$$

Навантаження у режимі очікування:

$$217 \cdot 500 = 108500 \text{ (год)}. \quad (4.17)$$

Отже, приблизний ресурс акумулятора при роботі у піковому режимі становить 2,5 роки, а у режимі очікування — 12 років.

4.6 Висновки за розділом 4

Схема електрична принципова пристрою виконана з огляду на досягнення максимально ефективного використання можливостей компонентів, на яких вона побудована. З урахуванням технічних характеристик компонентів та схемних рекомендацій їх виробників, було реалізовано комплексне рішення, яке складається з готових модулів та окремих мікросхем, що з одного боку спрощує виготовлення електронного модуля, з іншого — надає можливість виконання умови щодо габаритів пристрою відповідно до ТЗ. Особливої уваги вимагали частини схеми, розробка яких додала необхідної функціональності з метою узгодження роботи всього пристрою. Такими є ключі на силових лініях груп датчиків функціонального блоку та каскади блоку живлення, а саме — контролю перерозряду на *DA2* (DB4860) та індикації низького заряду на *DA3* (TL431).

5 ЕЛЕКТРОННИЙ МОДУЛЬ

5.1 Компонування електронного модуля

У даному проєкті пріоритетним завданням є досягнення бажаної функціональності пристрою відповідно до ТЗ. Отже, дизайн його зовнішнього вигляду розглядається як наслідок конфігурації та геометричних параметрів електронного модуля.

5.2 Розробка друкованої плати

Друкована плата електронного модуля є базою для розміщення та з'єднання компонентів відповідно до електричної схеми пристрою. Основними процесами при розробці плати після компонування електронного модуля можна вважати наступні:

— визначення геометричних параметрів;

— вибір матеріалів шарів, визначення їх товщини та черговість;

— трасування.

Пристрій має чотири пари основних датчиків-модулів, які мають розміщуватися перпендикулярно до поверхні плати та ортогонально одна відносно іншої. Приймаємо коло як загальний профіль плати. Враховуючи висоту (довжину) акумуляторів живлення, технологічні товщину радарних модулів та проміжки, його діаметр буде дорівнювати наступній сумі розмірів:

$$D_{П} = A_{БАТ} + 2 \cdot \left(B_{РМ} + T \right) = 90 \left(\text{мм} \right), \tag{5.1}$$

де $A_{БАТ}$ = 69 мм — брутто-довжина акумулятора батареї з виводами;

$B_{РМ}$ = 5,5 мм — брутто-товщина радарного модуля;

T = 5 мм — технологічний проміжок.

Технологічний проміжок додається між акумулятором та загальним контуром для створення місця встановлення радарного модуля.

Відповідно узагальнена площа однієї поверхні плати становить $S_{П} \approx 6362$ мм^2.

Плата електронного модуля розробляється як двобічна з шарами металізації на кожній стороні. Основою друкованої плати є шар діелектрика з жорсткого склотекстоліту марки FR-4 товщиною 1,5 мм, який утворює надійну ізоляцію між верхнім та нижнім шарами міді (діелектрична проникність — 4,3; тангенс кута втрат — 0,02). Нижній та верхній провідникові шари виконуються з гальваноосадженої мідної фольги CF-004 товщиною 35 мкм кожний, що надає можливість виготовлення друкованої плати за рівнем С стандарту IPC-2221. Для захисту провідникових шарів від окислення, вологи та містків припаювання застосовується рідка фоточутлива маска марки SM-001 товщиною 25 мкм. Фінальним є шар маркування для нанесення позиційних позначень компонентів та іншої необхідної графічної інформації.

Формування посадкових місць для електронних компонентів поверхневого (SMD) та вивідного (THT) монтажу на друкованій платі виконано на основі поєднання нормативних вимог стандартів та технічних рекомендацій виробників компонентів.

Розрахунок геометрії контактних майданчиків компонентів поверхневого монтажу (SMD) виконано відповідно до міжнародного стандарту IPC-7351B та ДСТУ EN 61188-5-1. Для забезпечення оптимального балансу між щільністю компонування та міцністю паяного з'єднання обрано рівень щільності B (Nominal), що мінімізує ризик утворення дефектів паяння при автоматизованому монтажі.

Параметри монтажних отворів вивідних компонентів (THT) та гарантійних поясків розраховані згідно з вимогами стандарту IPC-7251, що гарантує надійне капілярне затікання припою в отвір під час паяння хвилею або ручного монтажу.

Для складних мікросхем, роз'ємів та модулів, геометрія посадкових місць приймалася безпосередньо з офіційної технічної документації виробників компонентів.

У таблицях 5.1, 5.2, 5.3 наведені визначені параметри посадкових місць компонентів відповідно до їх корпусного виконання та типу монтажу.

Таблиця 5.1 — Параметри посадкових місць вивідних компонентів

Тип компонента / крок, мм	**Типовий розмір вивода, мм**	**Визначений діаметр отвору, мм**	**Мінімальний діаметр мідного п'ятачка, мм**	**Гарантійний поясок міді, мм**
SB312, MPU6050 (штировий з'єднувач / 2,54)	0,64×0,64 (діагональ 0,90)	1,00 мм (±0,05)	1,5 – 1,6	≥ 0,25
ESP32-S3 Plus (штировий з'єднувач / 1,27)	0,4×0,4 (діагональ 0,57)	0,70 мм (±0,05)	1,1 – 1,2	≥ 0,2

Таблиця 5.2 — Параметри посадкових місць SMD-компонентів

Типорозмір корпусу	**Внутрішній зазор між майданчиками, мм**	**Розміри майданчика (ширина×довжина), мм**
0603	0,8	1×1
0805	1,1	1,2×1,4
1206	2,1	1,2×1,8
1210	2,1	1,2×2,7
3425	1,6	2,3×1,4

Таблиця 5.3 — Параметри посадкових місць мікросхем та транзисторів

Тип корпусу	**Крок виводів, мм**	**Розміри майданчика (ширина×довжина), мм**
SOT23	0,95	1×0,6
SOT583	0,5	0,6×0,25
VSOF5	0,5	0,55×0,3
QFN24	0,5	0,8×0,3
QFN24 (тепловий майданчик)	-	2,6×2,6

Трасування друкованої плати передбачає визначення параметрів ширини доріжок (трас) між компонентами електричної схеми відносно струмів за умови попередньо встановленої товщини провідних шарів плати.

Розділення силових ліній на кілька класів викликане їх призначенням. Клас PW1 — лінія від зовнішнього перетворювача до контролера заряду IP2326. Клас PW2 — лінія від контролера заряду до акумуляторної батареї. Корпус контролера QFN24 має виводи шириною від 0,18 мм до 0,25 мм. Струм, проходить через контролер значно перевищує розмірні можливості одного контактного виводу. Тому силові лінії відповідно до технічної документації

ділиться на 3 окремі, що також відображено на електричній схемі пристрою. Типорозмір корпусу вимагає мінімальної відстані між силовими доріжками, з якими з'єднуються виводи (прийнята — 0,1 мм). VCC — силова лінія живлення функціонального блока. Розрахунок виконано в автоматичному режимі відповідно до стандарту IPC-2152 [54]. У таблиці 5.4 наведені значення ширини трас (доріжок) для кожного класу.

Таблиця 5.4 — Значення ширини провідних доріжок (трас) на платі

Клас	**mil**	**мм**	**Фактична ширина**	**Струм, А**	**Примітки**
PW1	83,9	2,13106	2	2 А	
PW2	49,8	1,26492	1,35	1,5 А	3×0,45 А
VCC	8,34	0,211836	0,3	0,56 А	
Signal	2,69	0,068326	0,2	0,3 А	

За попередніми даними в програмному середовищі Altium Designer на основі принципової електричної схеми було створено графічний макет друкованої плати пристрою, проведено перевірку на наявність помилок та створено комплект файлів для виробництва. На рисунку 5.1 представлено графічну симуляцію умовно виготовленої плати на інтернет-ресурсі потенційного виробника [55].

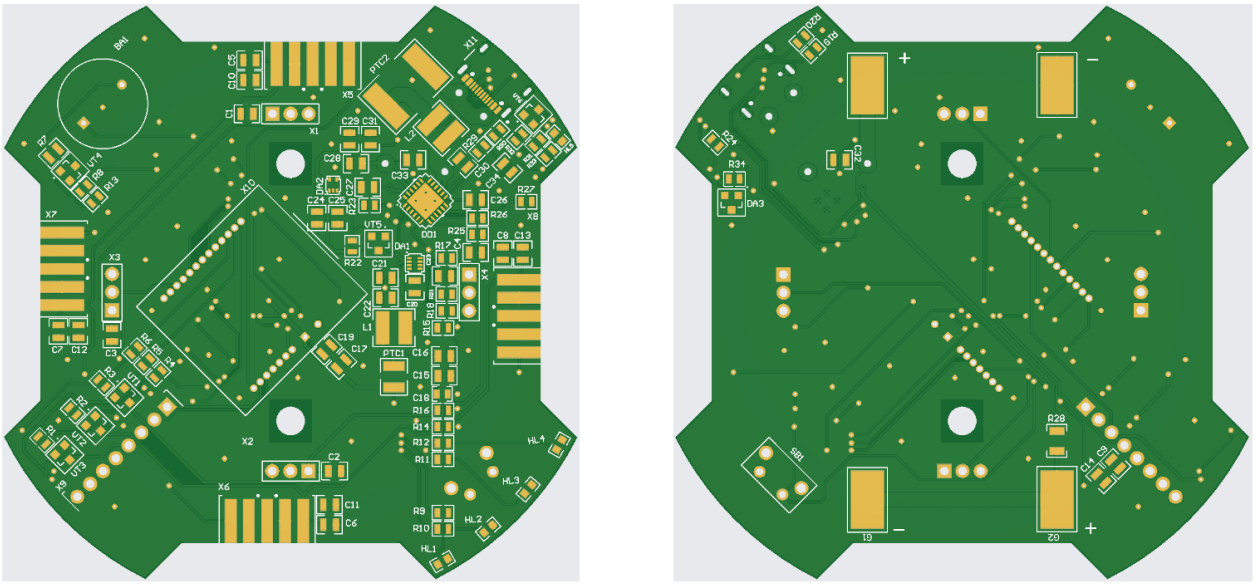
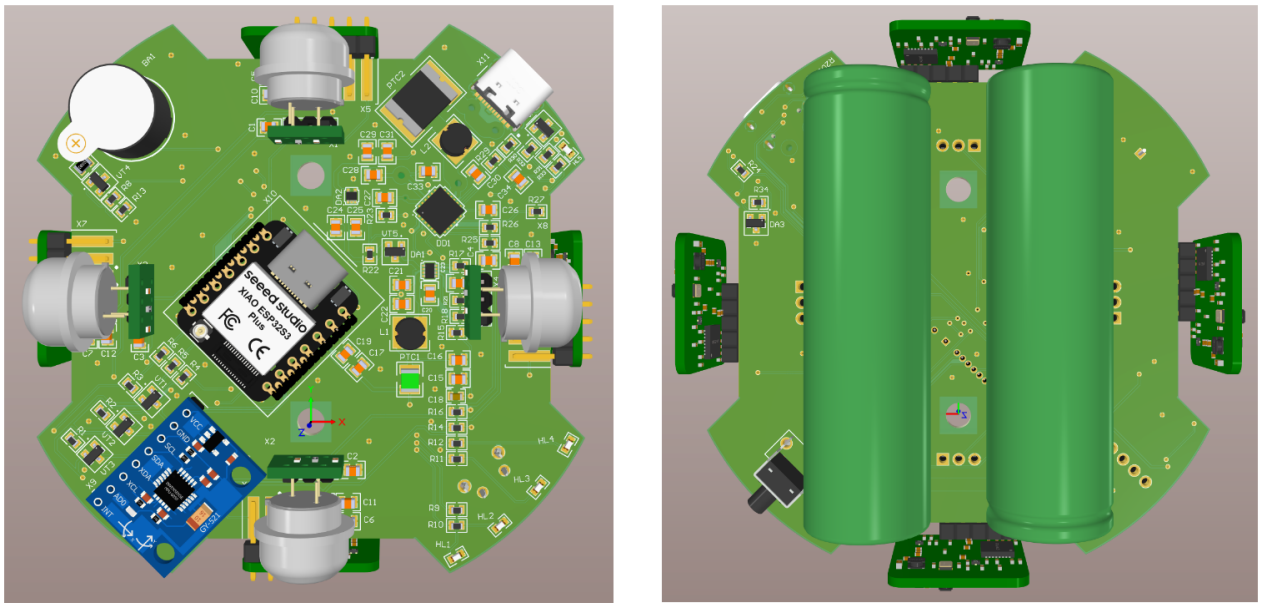


Рисунок 5.1 — Графічна симуляція друкованої плати пристрою на основі згенерованих gerber-файлів

На рисунках 5.2–5.4 представлені графічні тривимірні імітації електронного модуля.



а) б)

Рисунок 5.2 — Електронний модуль: а) вигляд згори; б) вигляд знизу

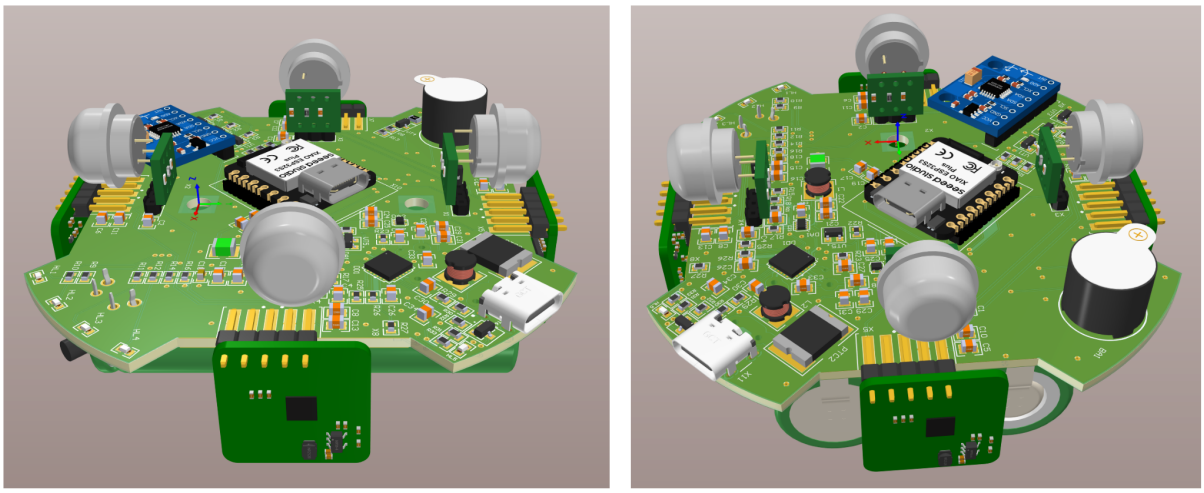


Рисунок 5.3 — Електронний модуль (ізометричне зображення)

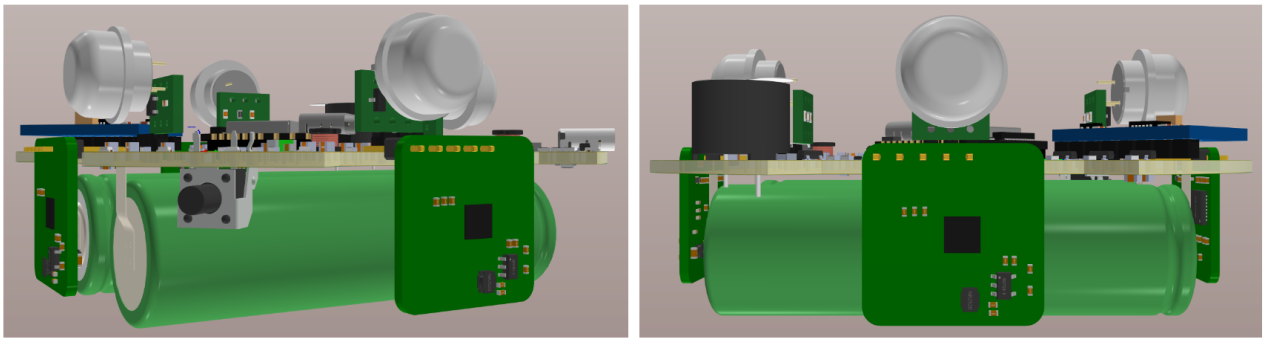


Рисунок 5.4 — Електронний модуль (вигляд збоку)

5.3 Висновки за розділом 5

Електронний модуль пристрою розроблено з урахуванням особливостей його роботи в умовах закритого обмеженого простору корпусу та специфічного розміщення радарних модулів. Спосіб їх монтажу за замовченням передбачає штирьове з’єднання вилка-гніздо, але наперед встановлені виробником контактні штирі надають можливість монтажу модулів як накладних SMD-компонентів у необхідному положенні. Розміщення акумуляторів живлення знизу друкованої плати забезпечує рівномірний розподіл тепла та його поглинання нижнім шаром міді. З цією метою плата розроблена двобічною з шарами металізації на обох боках та мінімальним компонентним заповненням нижнього боку. Такий підхід має забезпечити коректну роботу інфрачервоних датчиків SB312 та гіроскопа-акселерометра MPU6050, на роботу яких підвищена температура всередині корпусу пристрою в процесі заряджання батареї живлення може мати суттєвий вплив. Конфігурація друкованої плати обрана з врахуванням вимог у ТЗ щодо конструктивних параметрів корпусу пристрою.

6 КОРПУС ПРИСТРОЮ

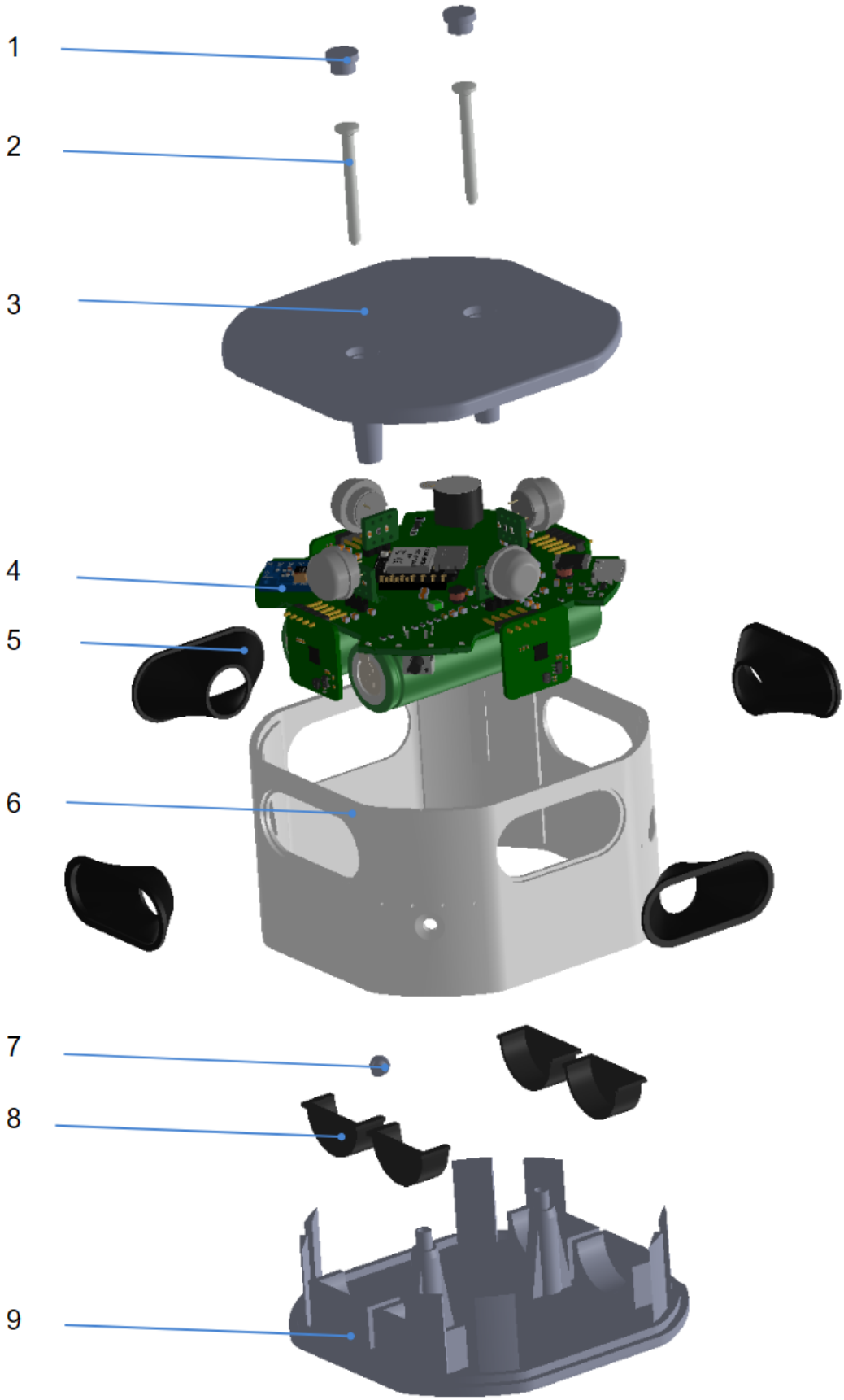


Рисунок 6.1 — Вигляд пристрою з рознесенням складових елементів

Розробка корпусу пристрою виконана у середовищі розробки SolidWorks з урахуванням його функціонального призначення, ергономіки та економічності. На рисунку 6.1 представлено вигляд пристрою з рознесенням його складових. Корпус пристрою складається з нижньої кришки (поз. 9), тубуса (поз. 6), бленд ІЧ-датчиків (поз. 5) та верхньої кришки (поз. 3). Додаткові елементи: ущільнювачі (поз. 8) для акумуляторів батареї живлення, накладка на кнопку (поз. 7) та заглушки (поз. 1) шахт кріплення верхньої кришки. Елементи кріплення — самонарізаючі шурупи К30 х 30 (поз. 2).

На рисунку 6.2 зображено тубус корпусу, на якому виконані: вікна (поз. 10) світлодіодної індикації стану та вибору режимів роботи пристрою, місце з отвором (поз. 11) монтажу накладки (рис. 6.1, поз. 7) кнопки керування пристроєм, отвори для монтажу бленд (поз. 12), місце з отвором для під'єднання вилки зовнішнього перетворювача напруги (USB Type-C) (поз. 13), вікно світлової індикації заряджання батареї (поз. 14).

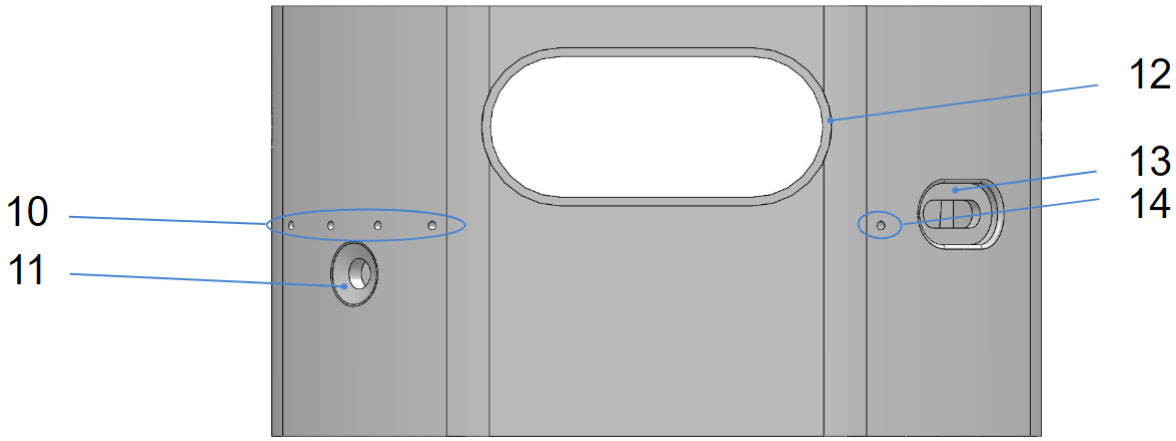


Рисунок 6.2 — Тубус корпусу

Базовим елементом корпусу є його нижня кришка (рис. 6.3), на якій розміщуються бонки (поз. 17) для встановлення, центрування та кріплення електронного модуля, стійки (поз. 15) для його підтримування та тримачі (поз. 16) акумуляторів батареї живлення.

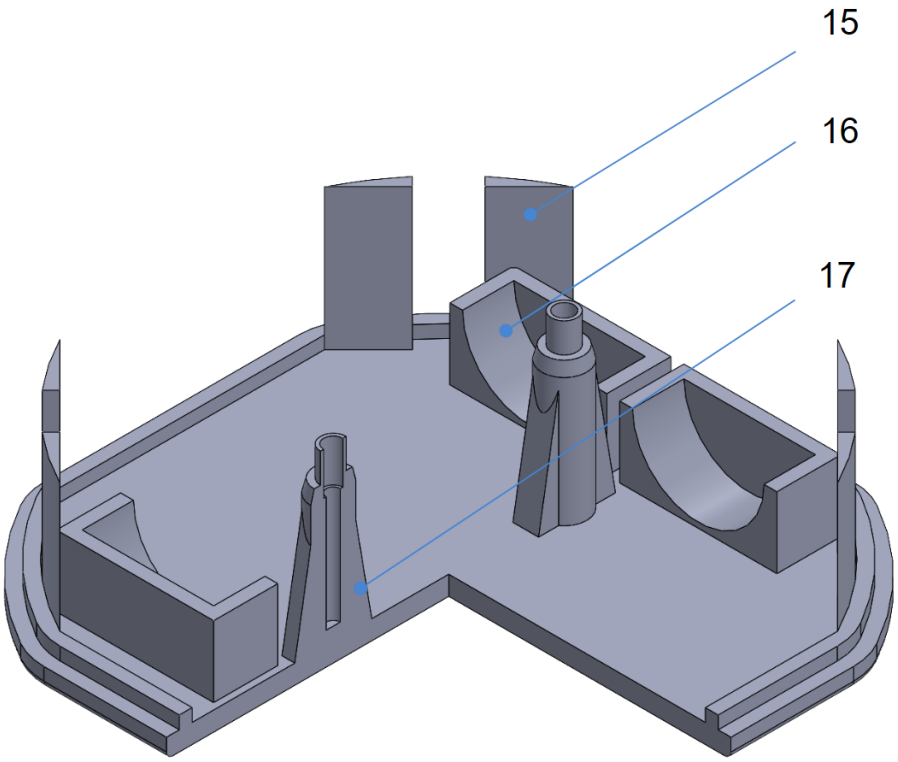
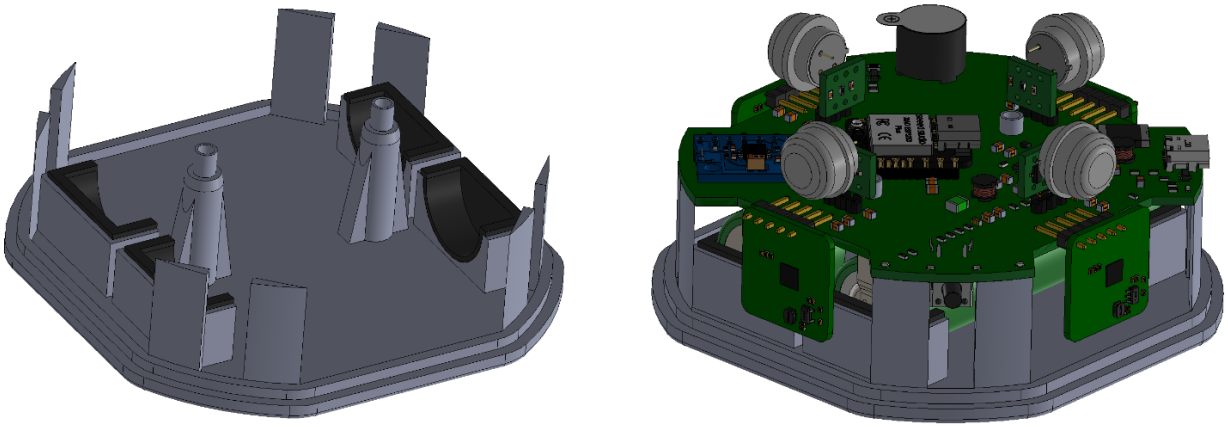


Рисунок 6.3 — Нижня кришка — базовий елемент корпусу

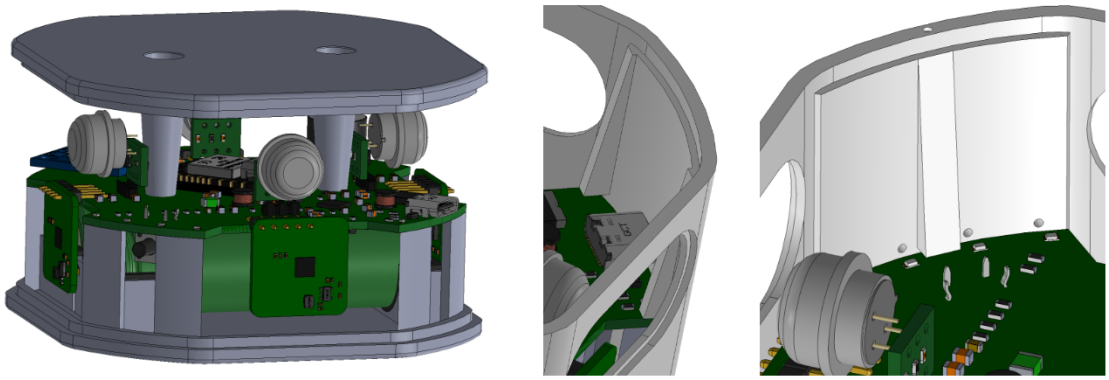
Для компенсації відхилень положення акумуляторів при монтажі та їх надійної фіксації у тримачах використовуються ущільнювачі (рис. 6.1, поз. 8). Також ці ущільнювачі забезпечують більш надійну фіксацію електронного модуля (рис. 6.4).



а) б)

Рисунок 6.4 — Положення електронного модуля при монтажі: а) встановлені ущільнювачі акумуляторів; б) монтажне положення електронного модуля

Фіксація електронного модуля та корпусних елементів усього пристрою здійснюється шляхом з’єднання між собою верхньої та нижньої кришки (рис. 6.5а). Для додаткової фіксації електронного модуля з країв його плати на тубусі передбачені спеціальні виступи (рис. 6.5б, в).



а) б) в)

Рисунок 6.5 — Способи та елементи кріплення електронного модуля: а) загальний вигляд; б) виступи на тубусі для притискання країв плати на стороні USB-гнізда; в) інші притискні виступи на тубусі

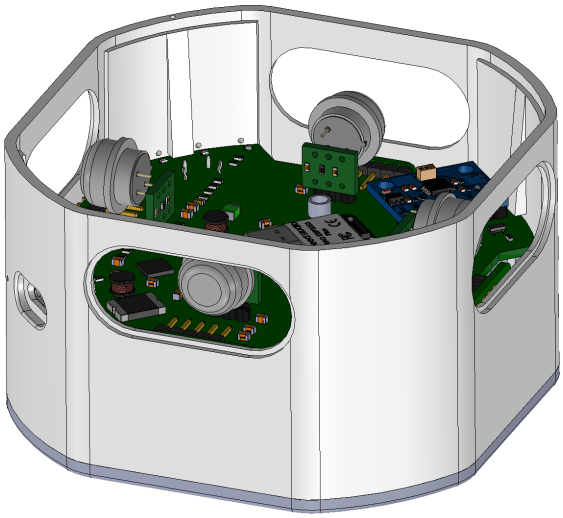


Рисунок 6.6 — Розміщення тубуса після монтажу

Після встановлення (рис. 6.6) тубуса (рис. 6.1, поз. 6) у спеціальні отвори кріпляться бленди ІЧ-датчиків (рис. 6.1, поз. 5) шляхом посадки на силіконовий клей (В7000). Орієнтація для встановлення показана на рисунку 6.7.

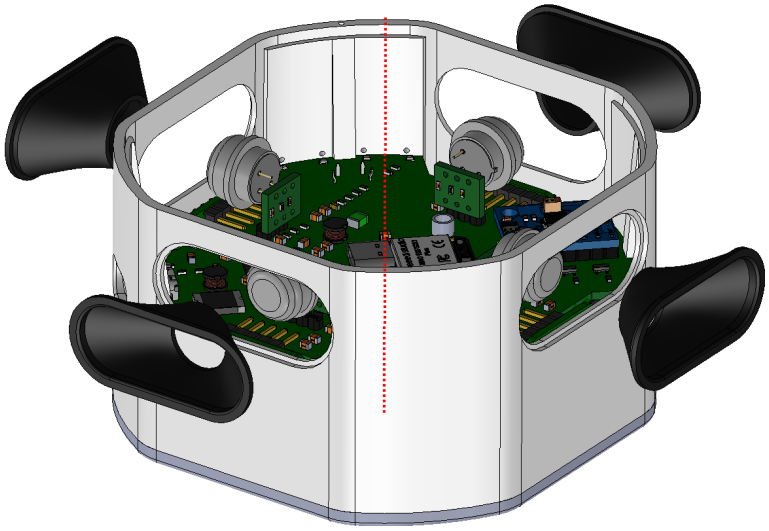


Рисунок 6.7 — Орієнтація бленд ІЧ-датчиків при монтажі

Верхня кришка корпусу накриває тубус зверху (рис. 6.8) і потім з'єднується з нижньою двома шурупами (рис. 6.1, поз. 2), фіксуючи всі елементи пристрою. Збірка пристрою завершується встановленням заглушок (рис. 6.1, поз. 1) шахт кріплення верхньої кришки.

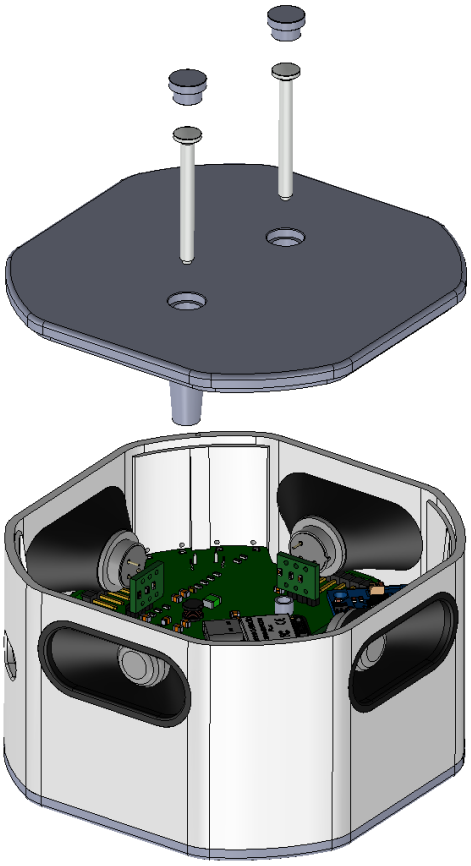


Рисунок 6.8 — Монтаж верхньої кришки та фінальна збірка пристрою

Загальний вигляд пристрою представлено на рисунку 6.9



Рисунок 6.9 — Загальний вигляд пристрою

6.1 Висновки за розділом 6

Корпус пристрою розроблено з урахуванням його відповідності конструктивним параметрам згідно з ТЗ, вимогам класу захисту від зовнішніх чинників (IP42), а також принципам ергономічності та технологічності збирання. Завдяки використанню мінімальної кількості елементів кріплення конструкція забезпечує надійну фіксацію електронного модуля та елементів живлення, що є вагомою перевагою для мобільного пристрою. На зовнішній частині тубуса розміщено елементи керування та світлової індикації. Геометрія верхньої та нижньої кришок виконана симетричною, що забезпечує можливість стійкого встановлення пристрою на будь-яку з них. Для інфрачервоних датчиків SB312 у корпусі додатково передбачені бленди чорного кольору, які підвищують якість детектування основного корисного променя за рахунок фільтрації паразитного випромінювання та бічних теплових завад.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання проєкту було розроблено універсальний автономний мобільний пристрій, придатний для використання як у системах керування побутовою автоматизацією, так і виконання функції охоронного сповіщувача. У розробці використано переваги радарної FMCW-технології, проте, це вимагало певного підходу з погляду її застосування. Оскільки радіохвилі частоти 24 ГГц мають значну проникну здатність, що може призводити до реагування пристрою на людей за межами контрольованого периметру, була запозичена ідея одночасного використання мікрохвильових та інфрачервоних датчиків в охоронних сповіщувачах. Як радарний сенсор було обрано модуль LD2410S, оскільки він має режим очікування і передбачає періодичність імпульсів з певною затримкою, що на два порядки зменшує споживання в порівнянні з аналогами.

У процесі роботи над проєктом було проведено ряд досліджень для з'ясування можливості використання чотирьох радарних модулів та ІЧ-сенсорів з осями зон контролю через 90°. Таким чином ортогональне розміщення чотирьох модулів LD2410S вирішило завдання утворення кругової зони контролю на 360° у горизонтальній площині. Завдяки отриманим результатам доведено, що радари не створювали завад один одному, що не призводило до хибних спрацювань. Це доводить вірність прийнятих технічних рішень.

Загалом мікрохвильові пристрої не відносяться до енергоефективних, але аналіз існуючих рішень вказав на наявність окремих моделей радарних модулів, як-от LD2410S (Hi-Link) та Rd-03L V2 (Ai-Thinker), спрямованих саме на застосування в автономних системах.

Для можливості реєстрації механічного впливу на об'єкт, що охороняється, додано гіроскоп-акселерометр MPU6050.

Обробка сигналів сенсорів пристрою та керування режимом його живлення здійснюється за допомогою мікроконтролера ESP32-S3 Plus. Як показав проведений аналіз роботи пристрою, основними споживачами енергії наразі є керуючий контролер ESP32-S3 Plus та гіроскоп-акселерометр MPU6050.

Перевагами розробленого пристрою можна вважати детектування руху та присутності. При цьому остаточний результат такого детектування та рішення про статус події приймається безпосередньо керуючим контролером на основі вихідних сигналів з сенсорних модулів, що значно розширює межі застосування запропонованої інтелектуальної системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Тлумачний словник української мови. Інститут мовознавства ім. О.О. Потебні Національної академії наук України. URL: https://www.inmo.org.ua/sum.html?wrd=Датчик (дата звернення 12.02.2026)
2. ДСТУ 3960–2000 Системи тривожної сигналізації. Системи охоронної і охоронно-пожежної сигналізації. Терміни та визначення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53295 (дата звернення 12.02.2026)
3. IEC 62047-1:2016-01. Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions. URL: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/21482/dbc987deb91547f7a466f7e9f7462638/IEC-62047-1-2016.pdf (дата звернення 12.02.2026)
4. Smart Home Security Devices Market Size, Share and Outlook - Growth Analysis Report and Forecast Trends (2026-2035). URL: https://www.marketresearch.com/Expert-Market-Research-v4220/Smart-Home-Security-Devices-Size-44455718/ (дата звернення 22.04.2026)
5. Security, Privacy and Trust for Smart Mobile-Internet of Things (M-IoT): A Survey. URL: https://arxiv.org/abs/1903.05362 (дата звернення 22.04.2026)
6. 2026 Home Security Market Report | SafeHome.org. URL: https://www.safehome.org/resources/home-security-industry-annual/ (дата звернення 22.04.2026)
7. Best Apartment and Renter Security Systems in 2026. URL: https://www.security.org/home-security-systems/best/apartment/ (дата звернення 22.04.2026)
8. Travel Security Alarm | Protect Your Luggage & Hotel Room | Simtek. URL: https://www.simtek.io/pages/travel (дата звернення 22.04.2026)
9. 12 tech and CX trends for airlines and airports in 2026. URL: https://www.futuretravelexperience.com/2026/01/12-technology-and-cx-

trends-that-can-enhance-airline-and-airport-operations-in-2026/ (дата звернення 22.04.2026)

10. Portable Home Security Guide 2026 | Compare Options. URL: https://www.tattletale.com/security-insights/portable-home-security-your-complete-comparison-guide-2026/ (дата звернення 22.04.2026)
11. Honeywell Intellisense DT-6100STC URL: https://www.chicago-hvac.com/product/honeywell-intellisense-dt6100stc-100-x-20-dual-tec-pir-motion-sensor/ (дата звернення 12.02.2026)
12. Elecbee Microwave Radar Sensor SK-700 URL: https://www.elecbee.com/en/product-detail/microwave-radar-sensor-switch-ac220-240v-ceiling-installation-stairs-distance-adjustable_23772 (дата звернення 12.02.2026)
13. HandsOnTech RCWL-0516 URL: https://handsontec.com/index.php/product/rcwl-0516-microwave-radar-motion-detector/ (дата звернення 12.02.2026)
14. HaiWang HW-MS03 URL: https://www.szhaiwang.com/HW-MS03-Microwave-Sensor-Module-Motion-Sensor-LED-Switch-with-10m-Distance-pd515733668.html (дата звернення 12.02.2026)
15. Hi-Link HLK-LD2410B. URL: https://www.hlktech.net/index.php?id=1183 (дата звернення 12.02.2026)
16. Ajax MotionProtect Plus Jeweller. URL: https://ajax.systems/products/specs/motionprotect-plus-jeweller/ (дата звернення 12.02.2026)
17. Bosch ISC-BDL2-W12G. URL: https://cdn.adiglobaldistribution.us/pim/Original/10046/Upload_DS-BDL2_ProductManual.pdf (дата звернення 12.02.2026)
18. Dahua DHI-ARD2231-W2. URL: https://material.dahuasecurity.com/uploads/cpq/prm-os-srv-res/smart/datasheetzipfiles/ARD2231-W2_S0_datasheet_20230306.pdf (дата звернення 12.02.2026)

19. Hikvision DS-PDCL12DT-EG2. URL: https://www.hikvision.com/en/products/Alarm-Products/wired-intrusion-alarm/general-wired-detectors/ds-pdcl12dt-eg2/ (дата звернення 12.02.2026)
20. Hikvision DS-PDD12P-EG2-WB. URL: https://assets.hikvision.com/prd/public/all/doc/m000039126/DS-PDD12P-EG2-WB_Datasheet_20250421.pdf (дата звернення 12.02.2026)
21. Hikvision DS-PDC10DM-VG3 URL: https://assets.hikvision.com/prd/public/all/doc/m000050015/UD26904B-B-Baseline_DS-PDC10DM-VG3-Curtain-Detector_User-Manual_V1-0_202207.pdf?key=1e36b55f97506662bc7cd8467dc30391&time=1762165756979 (дата звернення 12.02.2026)
22. Lifesmart URL: https://cblifesmart.de/product/lifesmart-human-presence-sensor-mir-he200-advanced-millimeter-wave-radar-for-multi-state-detection/ (дата звернення 12.02.2026)
23. Аско-Укрем ДР-700С. URL: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/mikrokhvilovi_datchiki_rukhu/41359/ (дата звернення 12.02.2026)
24. Aeotec TriSensor ZWA005. URL: https://aeotec.freshdesk.com/support/solutions/articles/6000195461-trisensor-technical-specification- (дата звернення 12.02.2026)
25. Lifesmart LS235W. URL: https://lifesmartaustralia.com.au/products/smart-sensors-2/smart-motion-sensors/motion-sensor-pro/ (дата звернення 12.02.2026)
26. Aeotec ZWA012. URL: https://aeotec.com/products/aeotec-door-window-sensor-7-pro/ (дата звернення 12.02.2026)
27. Ajax DoorProtect Plus Jeweller https://ajax.systems/products/doorprotectplus/ (дата звернення 12.02.2026)
28. TUODI IBM386-WB. URL: https://www.alibaba.com/product-detail/Wakes-up-the-Computer-Display-Screen_1601544930508.html (дата звернення 12.02.2026)

29. Continuous Wave Radar. URL: https://www.radartutorial.eu/02.basics/Continuous%20Wave%20Radar.en.html (дата звернення 12.02.2026)
30. FMCW Radar. URL: https://www.geeksforgeeks.org/electronics-engineering/fmcwr-radar/ (дата звернення 12.02.2026)
31. PMCW Radar. URL: https://radarsimx.com/2019/05/24/pmcw-radar/ (дата звернення 12.02.2026)
32. IEEE P802.15-09-0276-00-0006. URL: https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/09/15-09-0276-00-0006-csem-fm-uwb-proposal.pdf (дата звернення 12.02.2026)
33. Hans-Juergen Pirch, Frank Leong. Introduction to Impulse Radio UWB Seamless Access Systems. URL: https://www.firaconsortium.org/sites/default/files/2020-04/fira-introduction-impulse-radio-uwb-wp-en.pdf (дата звернення 12.02.2026)
34. Ai-Thinker Rd-03L V2 24G Human Presence sensor URL: https://openelab.io/products/ai-thinker-24g-human-presence-sensor (дата звернення 12.02.2026)
35. Novelda X4F103. URL: https://stdappsweb.blob.core.windows.net/staticweb/X4F103/docs/X4F103_HW/doc/X4F103_datasheet_revA.pdf?sp=r&st=2024-07-16T12:46:55Z&se=2030-01-01T21:46:55Z&spr=https&sv=2022-11-02&sr=b&sig=bnKiYg2yKHW2uAw%2BOZ7BSm%2FZTTmAHb%2B5hB3ikhh84qk%3D (дата звернення 12.02.2026)
36. Acconeer XM125. URL: https://developer.acconeer.com/download/xm125-datasheet/ (дата звернення 12.02.2026)
37. RCWL-0516 Microwave Radar Motion Detector. URL: https://www.handsontec.com/dataspecs/sensor/radar-sensor.pdf (дата звернення 12.02.2026)

38. Hi-Link Radar Module. URL: https://www.hlktech.net/index.php?id=product&cate=RadarModule (дата звернення 12.02.2026)

39. Aqara Presence Sensor FP2. URL: https://us.aqara.com/products/presence-sensor-fp2?_pos=1&_sid=b0f38530f&_ss=r (дата звернення 12.02.2026)

40. Minew MSR01. URL: https://www.minew.com/product/msr01-millimeter-wave-radar-sensor/ (дата звернення 12.02.2026)

41. Zeerkeer Portable Pocket Alarm. URL: https://www.amazon.se/-/en/Zeerkeer-Portable-Pocket-Starts-Seniors/dp/B07G357FR8 (дата звернення 12.02.2026)

42. Simtek StealthALERT. URL: https://www.simtek.io/pages/safes (дата звернення 12.02.2026)

43. MP2332C. URL: https://www.monolithicpower.com/en/documentview/productdocument/index/version/2/document_type/Datasheet/lang/en/sku/MP2332CGTL/document_id/12659/ (дата звернення 12.02.2026)

44. IP2326 v1.2 ChipSourceTek. URL: https://www.chipsourcetek.com/DataSheet/IP2326_V1.2.pdf (дата звернення 12.02.2026)

45. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. URL: https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/sensor/mortion-inertial/imu/data_sheet/mpu-6000-datasheet1.pdf (дата звернення 12.02.2026)

46. Seeed Studio XIAO ESP32-S3 Plus. URL: https://www.seeedstudio.com/Seeed-Studio-XIAO-ESP32S3-Plus-p-6361.html (дата звернення 12.02.2026)

47. ICL1112 Datasheet. URL: https://edworks.co.kr/wp-content/uploads/2023/11/ICL1112_Datasheet_Rev.1.1_20230910.pdf (дата звернення 12.02.2026)

48. SB312 PIR-Sensor. URL: https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/Sensors/PIR-SB312/resources/SB312.pdf (дата звернення 12.02.2026)

49. NCR18650G. URL: https://www.plsbattery.com/uploads/file/panasonic-ncr18650g-3.6v-3550mah-8a-li-ion-battery-cell.pdf (дата звернення 12.02.2026)

50. SI2333. URL: https://www.mccsemi.com/pdf/products/SI2333(SOT-23).pdf (дата звернення 12.02.2026)

51. IRLML2502. URL: https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/1087/IRLML2502.pdf (дата звернення 12.02.2026)

52. HYT-1205. URL: https://www.lcsc.com/datasheet/C7544829.pdf?spm=wm.sxq.inf.ggs&lcsc_vid=E1JeBlBTR1ZdXwJSRVdXV1dREwdZBVEFE1VeAwJUEwIxVlNRT1ZbVFFVR1RZUzsOAxUeFF5JWAUbBA8CAgIFAAtIFA4DSA%3D%3D (дата звернення 12.02.2026)

53. BD4860G. URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bd48xxg-e-746174.pdf (дата звернення 12.02.2026)

54. Онлайн-калькулятор для розрахунку ширини провідних трас. URL: https://resources.altium.com/p/using-ipc-2152-calculator-designing-standards (дата звернення 12.02.2026)

55. Онлайн-симулятор виготовлення друкованих плат. URL: https://cart.jlcpcb.com/quote?stencilLayer=2&stencilWidth=100&stencilLength=100&stencilCounts=5&plateType=1&spm=Jlcpcb.Homepage.1010 (дата звернення 12.02.2026)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою ПРЕ
_____ Андрій Мовчанюк
«___» _____ 2026 р.

«УЗГОДЖЕНО»
Керівник проекту
_____ Сергій ПЕРЕГУДОВ
«___» _____ 2026 р.

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону

РЕ22.464445.001 ТЗ

2026 року

А.1 НАЗВА, ШИФР ТА ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ

Назва проекту: «**Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону**».

Шифр проекту: РЕ22.464445.001.

Підстава для виконання: завдання кафедри ПРЕ, затверджене наказом факультету №1989-с.

А.2 ВИКОНАВЦІ ЗАВДАННЯ

Виконавець – Гров О. О., гр. РЕ-22, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

А.3 МЕТА ВИКОНАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ

Розробка мобільного автономного пристрою з наступними можливостями:

1) виявлення руху та присутності людини в межах зони контролю з охопленням 360° в горизонтальній площині;

2) виявлення фізичного впливу на пристрій (переміщення, вібрації);

3) вибір наперед визначених режимів для різних умов роботи: вузол керування побутовою автоматизацією, охоронний сповіщувач, контактний датчик, датчик відчинення (дверей);

4) реакція на подію в залежності від встановленого режиму роботи: передача даних на приймальний вузол або команд на виконавчі пристрої або передача даних на вузол прийому тривожних сповіщень через систему бездротової передачі даних (Wi-Fi).

А.4 СКЛАД РОЗРОБЛЮВАНОГО ПРИСТРОЮ

Основні складові пристрою:

1) обчислювальний модуль;

2) радарна підсистема (масив радарних модулів з частотою 24 ГГц);

3) оптико-електронна підсистема (масив ІЧ-сенсорів)

4) підсистема детектування лінійного або кругового зміщення пристрою (MEMS-модуль з акселерометром і гіроскопом);

5) підсистема живлення (Li-ion батарея з системою захисту від перезаряду/перерозряду).

А.5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

А.5.1 Вимоги призначення

Живлення: забезпечується внутрішнім акумулятором (Li-ion батарея) з можливістю його заряджання від електромережі через перетворювач напруги з підтримкою USB-C Power Delivery (~100-240 В, 50-60 Гц на напругу 9-12 В, 1,5-2А постійного струму).

Номінальна напруга живлення функціонального блоку: +3,3 В.

Споживана потужність: не більше 1 Вт.

Метод керування: контактним способом за допомогою кнопки.

Індикація: світлова (чотири світлодіода для кожного режиму та один для стану блока живлення), звукова.

Метод сповіщення про подію: пріоритетний — дистанційний через мережу Інтернет по протоколу MQTT; локальний — звукова сигналізація.

Ефективний радіус пристрою: 4 м.

А.5.2 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Кліматичне виконання — УХЛ 4 (згідно ГОСТ 15150-69).

Захист від механічних пошкоджень — М28 (згідно ГОСТ 17516.1-90).

Ступінь захисту оболонки — IP42 (згідно ДСТУ IEC 60529:2019).

А.5.3 Вимоги надійності

Пристрій повинен бути відновлюваним і ремонтопридатним згідно ДСТУ 2470-94. Середній час безвідмовної роботи не менше 30000 годин (~3,5 роки) без врахування роботи блоку живлення.

А.5.4 Вимоги до конструкції

Форма корпусу: циліндрична або наближена до неї.

Особливості конструкції: наявність 4-х ортогональних отворів, достатніх для встановлення лінз Френеля діаметром до 12мм; пряма стінка корпуса завтовшки до 2мм навпроти радарних модулів для мінімізації впливу її кривизни на функціональність радарного сенсора.

Розмір корпусу (з можливістю коригування): діаметр до 100 мм, висота до 55 мм, товщина стінки до 3 мм .

Маса: не більше 300 г.

Конструкція передбачає встановлення на пласку поверхню.

А.5.5 Вимоги технологічності

Вимоги до виробничої, експлуатаційної та ремонтної технологічності згідно ГОСТ 14.201-83.

А.5.6 Вимоги уніфікації та стандартизації

Використовувати уніфіковану та стандартизовану елементну базу. Перевага надається компонентам поверхневого монтажу.

А.5.7 Вимоги дизайну, ергономіки та технічної естетики

Допустимий колір корпусу: світло-сірий (код RAL 7035), білий (код RAL 9010). Поверхня корпусу має бути матовою.

Колір світлодіодів: 4 зелених та 1 червоний (відтінок залежить від обраної моделі світлодіодів).

Роз’єми: USB Type-C для живлення пристрою.

А.5.8 Вимоги експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Умови експлуатації відповідають кліматичному виконанню УХЛ 4 (згідно ГОСТ 15150-69). Місце встановлення: сухе приміщення, відсутність

прямих сонячних променів та джерела тепла. Відсутність можливості самостійного розбирання корпусу пристрою користувачем.

А.5.9 Вимоги безпеки життя, здоров'я, майна громадян та охорони довкілля

При виготовленні та використанні пристрою керуватися положеннями, зазначеними в ДСТУ 7237:2011 та ДСТУ ISO 14001:2015. Утилізація має відбуватися згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773-2001.

А.5.10 Вимоги сумісності

Пристрій має відповідати вимогам до електромагнітної сумісності згідно ДСТУ 2793-94.

А.5.11 Вимоги до транспортування і зберігання

Допускається зберігання в діапазоні від +1°С до +40°С та відносній вологості від 5% до 80% (без конденсації).

Допускається транспортування всіма видами критого транспорту з дотриманням вимог пакування. Не допускаються різкі удари та вібрації.

А.5.12 Вимоги до якості і технічного рівня

Має відповідати міжнародним стандартам ISO 9001:2015.

А.6 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПКВ

Матеріали та компоненти для виготовлення пристрою повинні бути сертифіковані на території України. Виготовлення корпусу допускається з наступних матеріалів: АБС-пластик або поліпропілен, наповнений тальком (10% або 20%).

А.7 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Консервування не передбачається. При пакуванні пристрій має бути загорнутий в бульбашко-повітряну плівку і поміщений в картонну коробку

разом з інструкцією з експлуатації. Пристрій повинен мати незмивне маркування, що містить модель/артикул та параметри живлення.

А.8 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлення документації має відбуватися відповідно до вимог Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

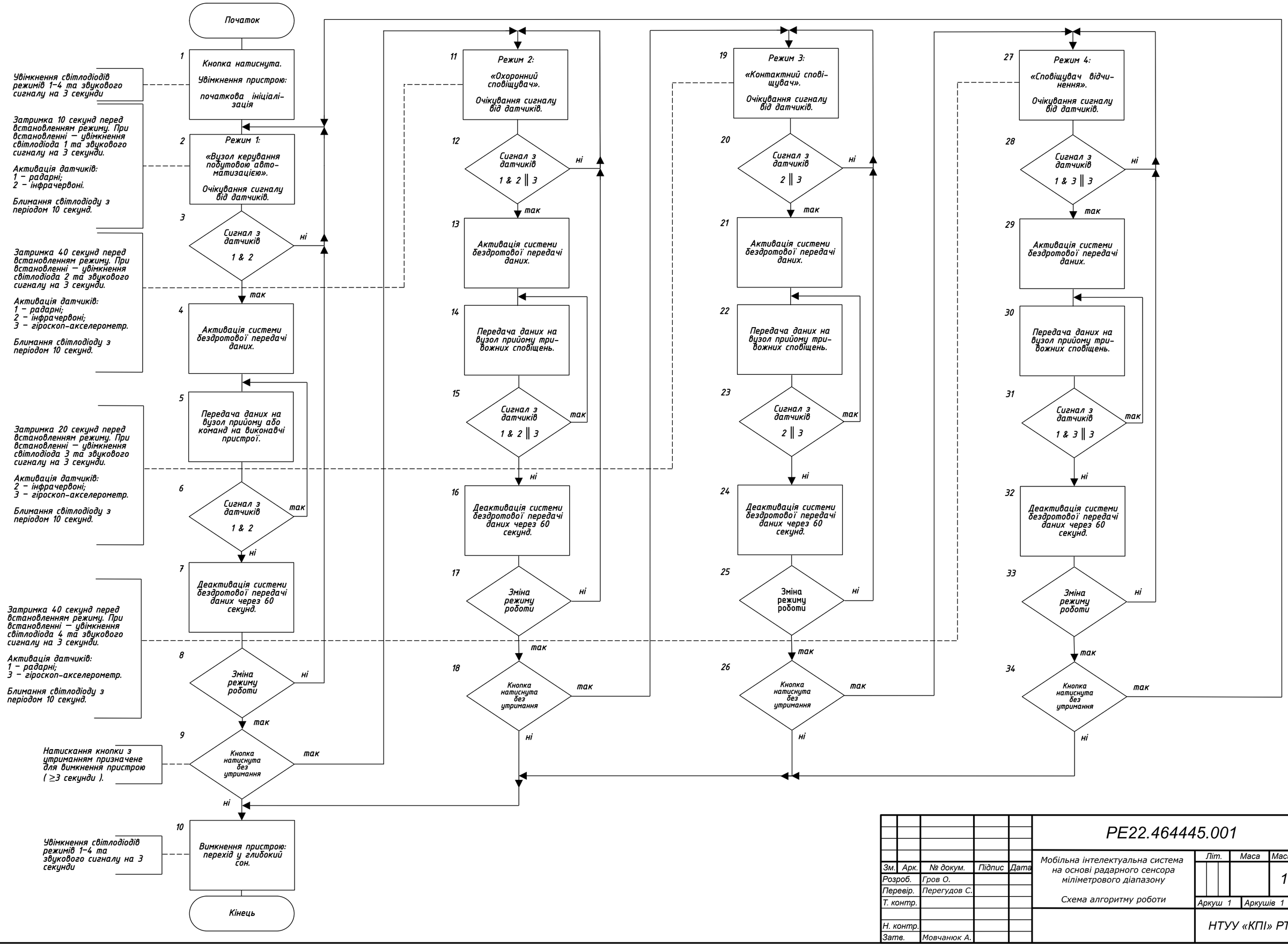
Склад конструкторської документації: текстова частина (пояснювальна записка, специфікація на пристрій, специфікація на модуль електронний, перелік елементів) та графічна документація (схема структурна, схема електрична принципова, схема алгоритму роботи, складальний кресленик модуля електронного, кресленик друкованої плати).

ДОДАТОК Б СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ПРИСТРІЙ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				Документація		
A4			РЕ22.464445.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
A3			РЕ22.464445.001 СК	Складальний кресленик		
				Складальні одиниці		
A4		4	РЕ22.464445.001 ПЗ	Модуль електронний	1	
A3		1	РЕ22.464445.001 СК			
				Деталі		
A4		9	РЕ22.464445.001 ПЗ	Кришка нижня тубуса	1	
A4		6	РЕ22.464445.001 ПЗ	Тубус	1	
A4		3	РЕ22.464445.001 ПЗ	Кришка верхня тубуса	1	
A4		5	РЕ22.464445.001 ПЗ	Бленда ІЧ-датчика	4	
A4		7	РЕ22.464445.001 ПЗ	Накладка на кнопку	1	
A4		8	РЕ22.464445.001 ПЗ	Ущільнювач акумулятора батареї	4	
A4		1	РЕ22.464445.001 ПЗ	Заглушка кришки верхньої тубуса	2	
				Інші вироби		
A4		2	РЕ22.464445.001 ПЗ	Гвинт самонарізний для пластику	2	
				PT K30 × 30 WN1412 EJOT		
				Матеріали		
				Клей герметик універсальний B7000	5	г

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕ22.464445.001 СП		
Розроб.		Гров О.			Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону Специфікація	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 1
Перевір.		Перегудов С.					
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.		Мовчанюк А.					

ДОДАТОК В СХЕМА АЛГОРИТМУ РОБОТИ



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PE22.464445.001		
Розроб.		Гров О.			Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Перегудов С.						1:1
Т. контр.					Схема алгоритму роботи	Аркуш 1	Аркушів 1	
Н. контр.						НТУУ «КПІ» РТФ		
Затв.		Мовчанюк А.						

ДОДАТОК Г СПЕЦИФІКАЦІЯ НА МОДУЛЬ ЕЛЕКТРОННИЙ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				Документація		
А3			РЕ22.464445.001 СК	Складальний кресленик		
А2			РЕ22.464445.001 Е3	Схема електрична принципова		
А2			РЕ22.464445.001	Схема алгоритму роботи		
А4			РЕ22.464445.001 ПЕ3	Перелік елементів		
				Деталі		
А3		1	РЕ22.464445.001	Плата друкована	1	
				Інші вироби		
				Звуковий п'єзоелектричний	1	ВА1
				випромінювач, 3,3 В, 85 дБ		
				Конденсатор 0,1 мкФ ±10%, 25 В	9	С1–С9
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	5	С10–С14
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	2	С15, С16
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	1	С17
				Конденсатор 10 пФ ±5%, 50 В	1	С18
				Конденсатор 0,1 мкФ ±10%, 25 В	1	С19
				Конденсатор 1 мкФ ±10%, 25 В	1	С20
				Конденсатор 0,1мкФ ±10%, 25 В	1	С21
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	1	С22
				Конденсатор 6,8 нФ ±10%, 50 В	1	С23
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	1	С24
				Конденсатор 0,1 мкФ ±10%, 25 В	1	С25
				Конденсатор 10 мкФ ±10%, 25 В	1	С26
				Конденсатор 0,1 мкФ ±10%, 25 В	2	С27, С28
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	1	С29
				Конденсатор 0,1 мкФ ±10%, 25 В	1	С30
				Конденсатор 22 мкФ ±10%, 25 В	1	С31

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Гров О.		
Перевір.		Перегудов С.		
Реценз.				
Н. контр.				
Затверд.		Мовчанюк А.		

РЕ22.464445.001 СП

Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону
Модуль електронний
Специфікація

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	4

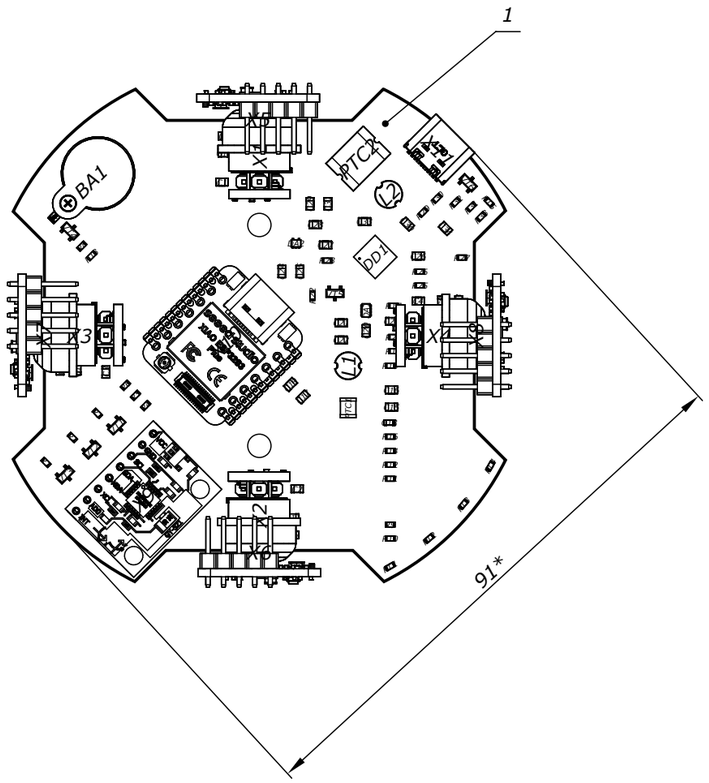
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				Конденсатор 10 мкФ ±10%, 25 В	3	C32–C34
				Мікросхема MP2332C SOT583	1	DA1
				Мікросхема BD4860G VSOF5	1	DA2
				Мікросхема TL431 SOT23	1	DA3
				Мікросхема IP2326 QFN24	1	DD1
				Акумулятор Li-ion NCR18650G,	2	G1, G2
				3,6 В, 3400 мА·год		
				Світлодіод +1,9 В – +2,1 В, 0,020 А,	4	HL1–HL4
				зелений		
				Світлодіод +1,9 В – +2,1 В, 0,005 А,	1	HL5
				червоний		
				Котушка індуктивності	1	L1
				4.7мкГ ±20%, 72 мОм, 2,5А		
				Котушка індуктивності	1	L2
				2.2мкГ ±20%, 47 мОм, 2,6А		
				Запобіжник самовідновлюваний	1	PTC1
				0,75 А, 16 В		
				Запобіжник самовідновлюваний	1	PTC2
				2А, 24 В		
				Резистор 100 кОм ±1%, 0,1 Вт	3	R1–R3
				Резистор 180 Ом ±1%, 0,1 Вт	3	R4–R6
				Резистор 110 Ом ±1%, 0,125 Вт	1	R7
				Резистор 180 Ом ±1%, 0,1 Вт	1	R8
				Резистор 64,9 Ом ±1%, 0,1 Вт	4	R9–R12
				Резистор 100 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R13
				Резистор 10 кОм ±5%, 0,1 Вт	1	R14

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				Резистор 13 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R15
				Резистор 40,2 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R16
				Резистор 20 кОм ±5%, 0,1 Вт	1	R17
				Резистор 20 Ом ±5%, 0,1 Вт	1	R18
				Резистор 5,1 кОм ±5%, 0,1 Вт	2	R19, R20
				Резистор 60,4 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R21
				Резистор 100 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R22
				Резистор 68 кОм ±5%, 0,1 Вт	1	R23
				Резистор 100 Ом ±5%, 0,1 Вт	1	R24
				Резистор 120 кОм ±5%, 0,1 Вт	2	R25, R26
				Резистор 60,4 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R27
				Резистор 100 Ом ±5%, 0,25 Вт	1	R28
				Резистор 0,47 Ом ±5%, 0,1 Вт	1	R29
				Резистор 5,1 кОм ±5%, 0,1 Вт	1	R30
				Резистор 887 Ом ±1%, 0,1 Вт	1	R31
				Резистор 100 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R32
				Резистор 16 кОм ±1%, 0,1 Вт	1	R33
				Резистор 10 кОм ±5%, 0,1 Вт	1	R34
				Кнопка тактова вивідна 90°,	1	SB1
				12 В, 0,05 А, OFF–(ON)		
				Транзистор SI2333 SOT23	3	VT1–VT3
				Транзистор IRLML2502 SOT23	1	VT4
				Транзистор SI2333 SOT23	1	VT5
				Транзистор IRLML2502 SOT23	1	VT6
				З'єднувач штирьовий «пін хедер»,	4	X1–X4
				тип М, 3×2,54 мм		
				З'єднувач штирьовий «пін хедер»,	4	X5–X8
				тип М, 5×2,54 мм		
				З'єднувач штирьовий «пін хедер»,	1	X9

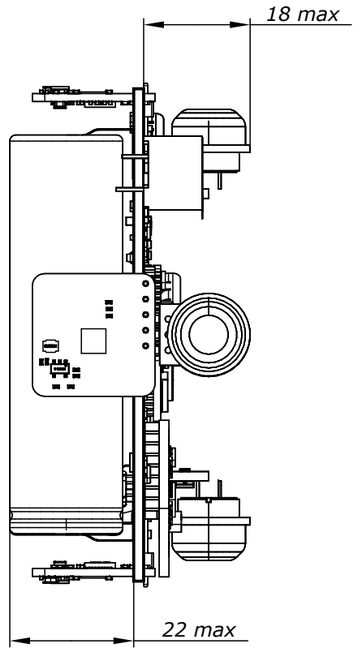
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				тип М, 8×2,54 мм		
				З’єднувач штирьовий «пін хедер»,	2	X10
				тип М, 13×1,27 мм		
				Гніздо USB4105-GF-A, USB 2.0,	1	X11
				Type-C, 48 В, 5 А		
				Модуль інфрачервоного датчика	4	
				SB312, Senba		
				Модуль радарного датчика	4	
				LD2410S, Hi-Link		
				Модуль гіроскопа-акселерометра	1	
				MPU6050		
				Модуль контролера	1	
				ESP32-S3 Plus, Seeed Studio		
				Матеріали		
				Припій безсвинцевий		
				SAC 305 ISO 9453 2014		

ДОДАТОК Д СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК МОДУЛЯ ЕЛЕКТРОННОГО

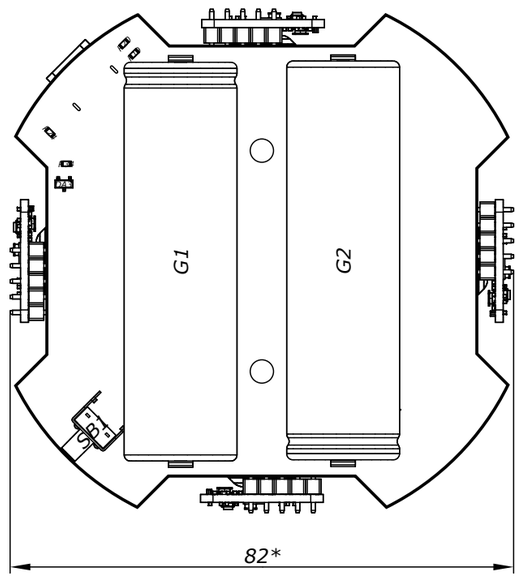
Вигляд зверху



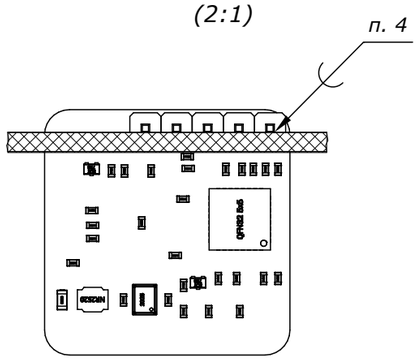
Вигляд зліва



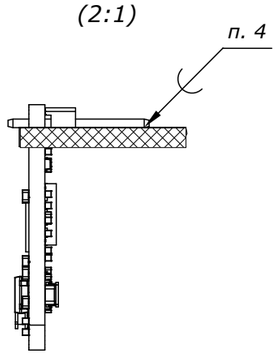
Вигляд знизу



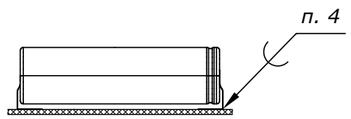
Монтаж модулів
на позиціях X5-X8
(2:1)



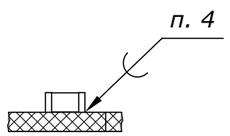
Монтаж модулів
на позиціях X5-X8
(2:1)



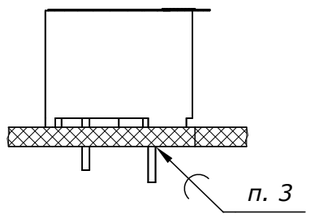
Монтаж комірок
джерела живлення G1, G2
(1:2)



Монтаж SMD-компонентів
(2:1)



Монтаж вивідних компонентів
та модулів на позиціях X1-X4, X9, X10
(2:1)



1. * Розмір для довідок.
2. Позначення елементів показані умовно, відповідають схемі електричній принциповій РЕ22.464445.001 Е3 та переліку елементів РЕ22.464445.001 П3.
3. Монтаж вивідних компонентів та модулів на позиціях X1–X4, X9, X10 виконати припоєм Sn96,5Ag3Cu0,5 (SAC305) згідно з ДСТУ EN ISO 9453:2019 відповідно до вимог IPC-A-610, клас 2. Після пайки виступ виводів над паяним з'єднанням (галтеллю припою) повинен становити від 0,2 до 0,5 мм.
4. Монтаж SMD-компонентів та модулів на позиціях X5–X8, комірок внутрішнього джерела живлення G1, G2 виконати паяльною пастою Sn96,5Ag3Cu0,5 (SAC305) ДСТУ EN ISO 9453:2019 згідно IPC-A-610, клас 2.

					РЕ22.464445.001 СК	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону Модуль електронний Складальний кресленик	Літ. / Маса / Масштаб: 1:1
Розроб.		Гров О.				
Перевір.		Перегудов С.				Аркуш 1 / Аркушів 1
Т. контр.						НТУУ "КПІ" РТФ
Н. контр.						
Затв.		Мовчанюк А.				

Копіював

Формат А3

Перв. застосування

Довідк. №

Підп. и дата

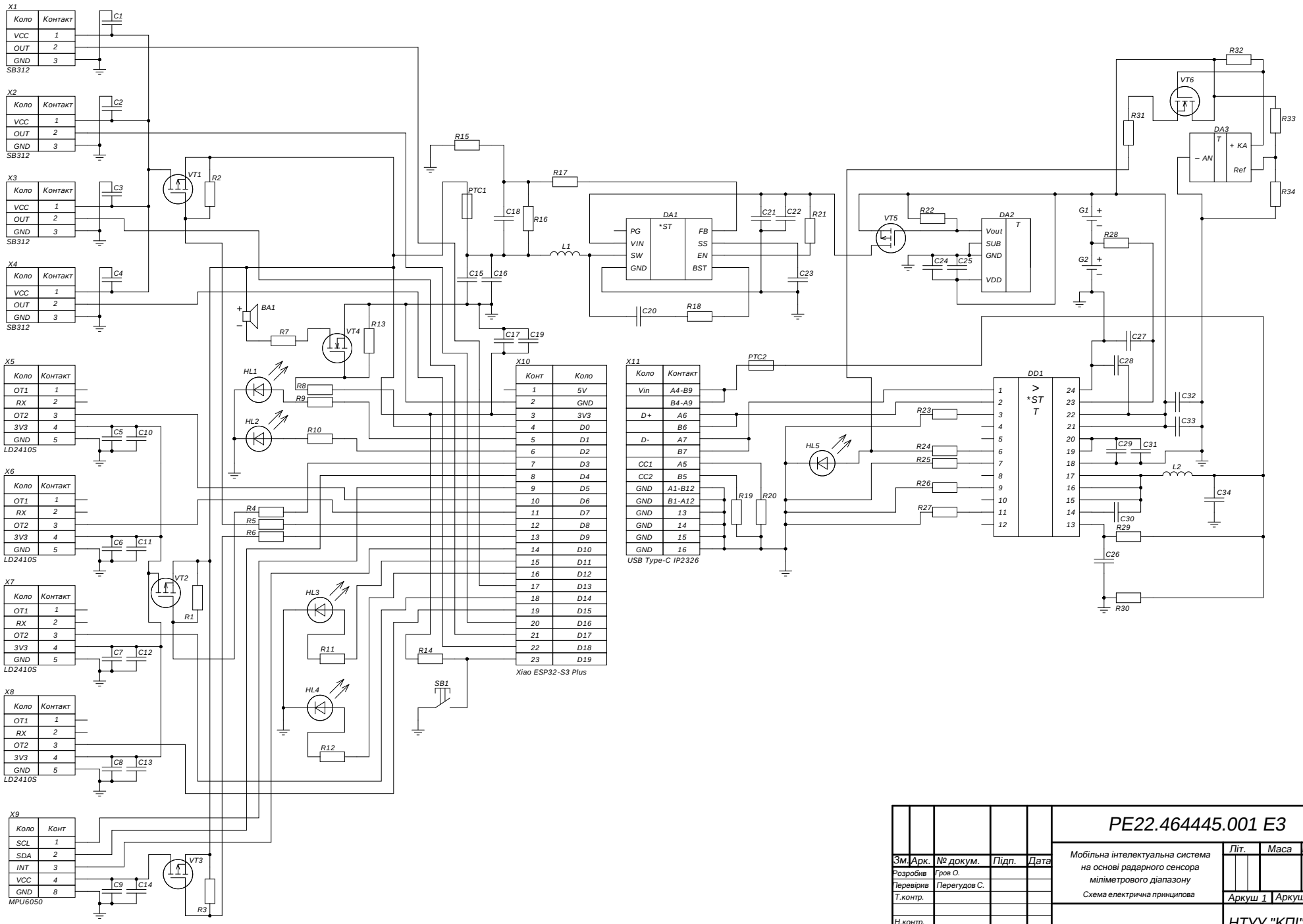
Інв. № оріг.

Зам. інв. №

Підп. и дата

Інв. № оріг.

ДОДАТОК Е СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	РЕ22.464445.001 Е3		
Розробив		Гров О.			Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону	Літ.	Маса	Масштаб
Перевірив		Перегудов С.						
Т.контр.					Схема електрична принципова	Аркуш 1	Аркушів 1	
Н.контр.						НТУУ "КПІ" РТФ		
Затв.		Мовчанюк А.						

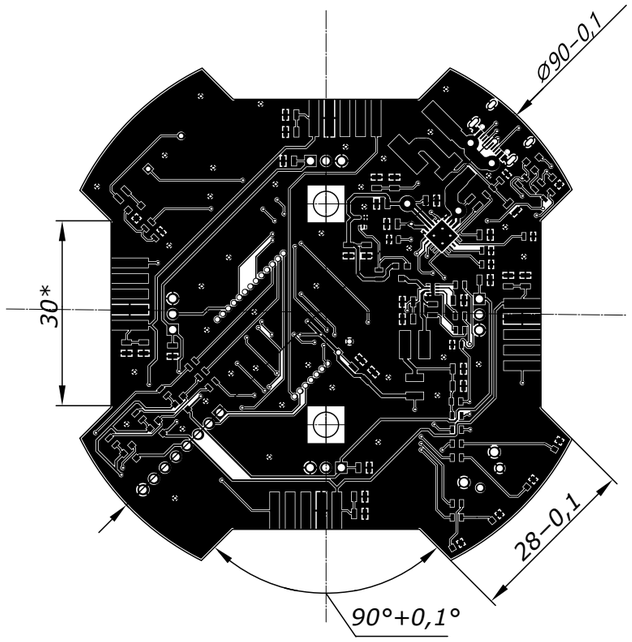
ФайлDIPLOM_A2_E3.SchDoc | Копіював | Формат А2

Перв. застосування | Довідк. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Зам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № оріг.

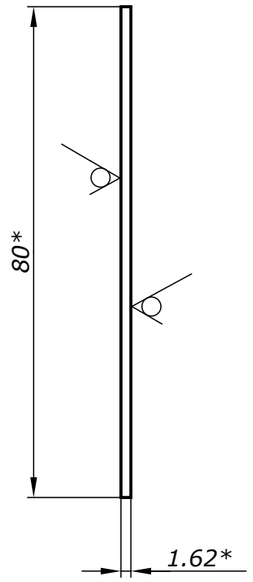
ДОДАТОК Ж ПЛАТА ДРУКОВАНА

Ra 6.3

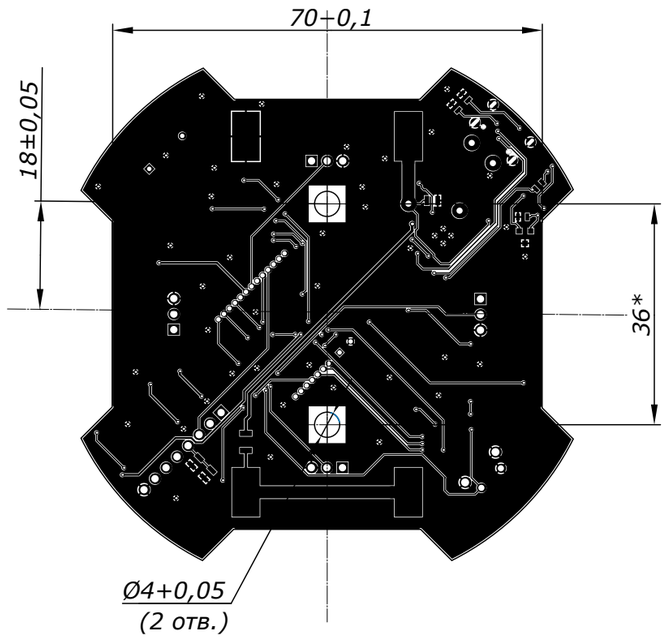
Вигляд зверху

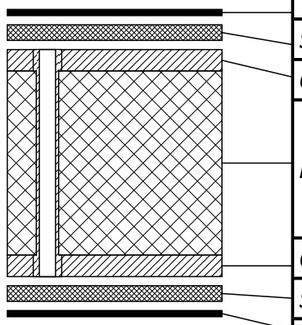


Вигляд зліва



Вигляд знизу





Матеріал	Шар	Товщина, мм
	Маркування (верх)	
SM-001	Паяльна маска	0,025
CF-004	Металізація	0,035
FR-4	Діелектрик	1,5
CF-004	Металізація	0,035
SM-001	Паяльна маска	0,025
	Маркування (низ)	
Загальна товщина		1,62

Рисунок 1 - Структура шарів друкованої плати

1. * Розмір для довідок.
2. Плату виготовити у відповідності до вимог IPC-6011, клас 2.
3. Плату виготовити методом металізації наскрізних отворів.
5. Структура шарів друкованої плати наведена на рисунку 1.

					PE22.464445.001	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону	Літ. / Маса / Масштаб
Розроб.		Гров О.				1:1
Перевір.		Перегудов С.			Плата друкована	Аркуш 1 / Аркушів 1
Т. контр.						
Н. контр.					FR-4 35/35 1,5	НТУУ "КПІ" РТФ
Затв.		Мовчанюк А.				

Копіював

Формат А3

Перв. застосування

Довідк. №

Підп. и дата

Інв. № оріг.

Зам. інв. №

Підп. и дата

Інв. № оріг.

ДОДАТОК И ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Поз. позн.	Позначення	Кільк.	Примітки
	Звукові випромінювачі		
BA1	HYT-1205, Huayu Electronic	1	
	Конденсатори		
C1–C9	C0805B104K250NT (0,1 мкФ ±10%, 25 В), Hitano	9	
C10–C14	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	5	
C15, C16	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	2	MP2332C
C17	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	ESP32
C18	B37940K5100J60 (10 пФ ±5%, 50 В), EPCOS	1	MP2332C
C19	C0805B104K250NT (0,1 мкФ ±10%, 25 В), Hitano	1	ESP32
C20	CL21B105KAFNNNE (1 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	MP2332C
C21	C0805B104K250NT (0,1мкФ ±10%, 25 В), Hitano	1	MP2332C
C22	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	MP2332C
C23	C0805B682K500NT (6,8 нФ ±10%, 50 В), Hitano	1	MP2332C
C24	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	BD4860GW
C25	C0805B104K250NT (0,1 мкФ ±10%, 25 В), Hitano	1	BD4860GW
C26	GRM21BR61E106KA73L (10 мкФ ±10%, 25 В), Murata	1	IP2326
C27, C28	C0805B104K250NT (0,1 мкФ ±10%, 25 В), Hitano	2	IP2326
C29	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	IP2326
C30	C0805B104K250NT (0,1 мкФ ±10%, 25 В), Hitano	1	IP2326
C31	CL21A226MAQNNNE (22 мкФ ±10%, 25 В), Samsung	1	IP2326
C32–C34	GRM21BR61E106KA73L (10 мкФ ±10%, 25 В), Murata	3	IP2326
	Мікросхеми		
DA1	MP2332C (SOT583), MPS	1	
DA2	BD4860G (VSOF5), ROHM Semiconductor	1	
DA3	TL431 (SOT23), Texas Instruments	1	
DD1	IP2326 (QFN24), ChipSourceTek	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕ22.464445.001 ПЕ		
Розроб.		Гров О.			Мобільна інтелектуальна система на основі радарного сенсора міліметрового діапазону	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 3
Перевір.		Перегудов С.					
Реценз.						НТУУ «КПІ» РТФ	
Н. контр.					Перелік елементів		
Затверд.		Мовчанюк А.					

Поз. позн.	Позначення	Кільк.	Примітки
	Джерела живлення		
G1, G2	NCR18650G (3,6 В, 3400 мА·год), Panasonic	2	
	Світлодіодні індикатори		
HL1–HL4	7017X15 (+1,9 В – +2,1 В, 0,020 А, зелений), CML	4	
HL5	7017X1 (+1,9 В – +2,1 В, 0,005 А, червоний), CML	1	
	Котушки індуктивності		
L1	CD53-4R7M (4.7мкГ ±20%, 72 мОм, 2,5А), DMBJ	1	MP2332C
L2	CD43-2R2M (2.2мкГ ±20%, 47 мОм, 2,6А), DMBJ	1	IP2326
	Запобіжники самовідновлювані		
PTC1	MicroASMDCH075F (0,75 А, 16 В), Littelfuse	1	
PTC2	AHS200F/24 (2 А, 24 В), Littelfuse	1	
	Резистори		
R1–R3	RC0603FR-100KR (100 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	3	
R4–R6	WR06X1800FTL (180 Ом ±1%, 0,1 Вт), Walsin	3	
R7	RC0805FR-110R (110 Ом ±1%, 0,125 Вт),Hitano	1	BA1, ESP32
R8	WR06X1800FTL (180 Ом ±1%, 0,1 Вт), Walsin	1	BA1, ESP32
R9–R12	RC0603FR-64R9 (64,9 Ом ±1%, 0,1 Вт), Hitano	4	HL1 – HL4, ESP32
R13	RC0603FR-100KR (100 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	1	BA1, ESP32
R14	RC0603JR-0710KL (10 кОм ±5%, 0,1 Вт), Yageo	1	SB1, ESP32
R15	RC0603FR-0713KL (13 кОм ±1%, 0,1 Вт), Yageo	1	MP2332C
R16	RC0603FR-40K2R (40,2 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	1	MP2332C
R17	MCR03EZHJ203 (20 кОм ±5% 0,1, Вт), ROHM S.	1	MP2332C
R18	RC0603JR-20R (20 Ом ±5% 0,1, Вт), Hitano	1	MP2332C
R19, R20	RC0603JR-5K1R (5,1 кОм ±5%, 0,1 Вт), Hitano	2	IP2326
R21	MCR03ERTF-6043 (60,4 кОм ±1%, 0,1 Вт), ROHM S.	1	MP2332C
R22	RC0603FR-100KR (100 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	1	
R23	RC0603JR-68K0 (68 кОм ±5%, 0,1 Вт), Hitano	1	IP2326v
R24	RC0603JR-100R (100 Ом ±5%, 0,1 Вт), Hitano	1	IP2326, HL5

Поз. позн.	Позначення	Кільк.	Примітки
R25, R26	RC0603JR-120K (120 кОм ±5%, 0,1 Вт), Hitano	2	IP2326
R27	RC0603FR-60K4R (60,4 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	1	IP2326
R28	RC1206JR-100R (100 Ом ±5%, 0,25 Вт), Hitano	1	IP2326
R29	RC0603JR-0R47 (0,47 Ом ±5%, 0,1 Вт), Hitano	1	IP2326
R30	RC0603JR-5K1R (5,1 кОм ±5%, 0,1 Вт), Hitano	1	IP2326
R31	RC0603FR-07887RL (887 Ом ±1%, 0,1 Вт), Yageo	1	TL431
R32	RC0603FR-100KR (100 кОм ±1%, 0,1 Вт), Hitano	1	TL431
R33	RC0603FR-0716KL (16 кОм ±1%, 0,1 Вт), Yageo	1	TL431
R34	RC0603JR-0710KL (10 кОм ±5%, 0,1 Вт), Yageo	1	TL431
	Кнопки		
SB1	TS6606-7.0-180 (12 В, 0,05 А, OFF–(ON)), KLS	1	
	Транзистори		
VT1–VT3	SI2333 (12 В, 6 А, SOT-23), MCC	3	
VT4	IRLML2502 (20 В, 0,6 А, SOT-23), UMW	1	BA1
VT5	SI2333 (12 В, 6 А, SOT-23), MCC	1	VT5 — BD4860GW
VT6	IRLML2502 (20 В, 0,6 А, SOT-23), UMW	1	VT6
	З'єднувачі		
X1–X4	З'єднувач штирьовий «пін хедер», тип М, 3×2,54 мм	4	SB312
X5–X8	З'єднувач штирьовий «пін хедер», тип М, 5×2,54 мм	4	LD2410S
X9	З'єднувач штирьовий «пін хедер», тип М, 8×2,54 мм	1	MPU6050
X10	З'єднувач штирьовий «пін хедер», тип М, 13×1,27 мм	2	ESP32-S3 Plus
X11	Гніздо (USB4105-GF-A, USB 2.0, 48 В, 5 А), GCT	1	IP2326
	Модулі		
	SB312, Senba	4	X1-X4
	LD2410S, Hi-Link	4	X5-X8
	MPU6050, TDK	1	X9
	ESP32-S3 Plus, Seeed Studio	1	X10