

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Цифрова система навігації

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41
спеціальності _____

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Пилипенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Стрембіцький М.О.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 28 » квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

студенту Пилипенку Володимир Васи́льовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Цифрова система навігації

Керівник роботи Хвостівська Лілія Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» 04 2026 року № 4/9-198

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: цифрова система навігації повинна забезпечувати визначення координат, орієнтування за напрямком руху, відображення навігаційної інформації на TFT дисплеї та запис даних маршруту. Пристрій повинен містити мікроконтролерний блок, GNSS-модуль, цифровий магнітометр, карту пам'яті, кнопки керування та автономне живлення від Li-ion акумулятора

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основна частина

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема цифрової системи навігації

2. Схема електрична принципова цифрової системи навігації

3. Друкований вузол цифрової системи навігації

4. Креслення друкованої плати цифрової системи навігації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Барановський В.М., д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 12.03.2026**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих цифрових систем навігації та засобів визначення координат	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми цифрової системи навігації	23.03.2026	
5	Розробка схеми електричної принципової цифрової системи навігації	10.04.2026	
6	Розробка блок-схеми алгоритму роботи мікроконтролера системи навігації	12.04.2026	
7	Опис алгоритму роботи мікроконтролера та функціонування програми цифрової системи навігації	16.04.2026	
8	Розрахунок вузла живлення та основних параметрів цифрової системи навігації	22.04.2026	
9	Вибір компонентної бази для розробленої цифрової системи навігації	02.05.2026	
10	Компонування та трасування друкованої плати цифрової системи навігації	15.05.2026	
11	Розрахунок надійності проектного виробу та параметрів друкованого монтажу	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на цифрову систему навігації	03.06.2026	
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основ охорони праці	09.06.2026	
14	Нормоконтроль	10.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагіат		
17	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Пилипенко В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Хвостівська Л.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Цифрова система навігації». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-80, рис.-43, табл.-4, бібліогр.-27, додат.-14.

Ключові слова: ЦИФРОВА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ, ESP32-S3, GNSS-ПРИЙМАЧ, МАГНІТОМЕТР, АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз завдання щодо розробки портативної цифрової системи навігації та обґрунтовано інженерну доцільність її створення. Здійснено критичний огляд наявних на ринку засобів позиціонування, визначено їхні основні переваги та недоліки. Обґрунтовано вибір апаратної бази для створення автономного пристрою з дисплейним модулем.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми системи. Виконано розрахунок контуру автономного живлення та захисту акумулятора, вибір ключової елементної бази мікроконтролер ESP32-S3, модуль NEO-M10, магнітометр QMC5883L, опис логіки роботи пристрою. Також здійснено компонування друкованого вузла, розрахунок загальної надійності та параметрів друкованого монтажу.

У середовищі САПР Altium Designer виконано топологічне проєктування двохшарової друкованої плати. Додатково розглянуто нормативні вимоги з охорони праці та безпеки життєдіяльності на етапах розробки, налагодження й експлуатації портативного навігаційного пристрою.

ANNOTATION

Topic of the qualification paper: «Digital Navigation System». Bachelor's qualification paper / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // p.-80, fig.-43, tabl.-4, bibliogr.-27, app.-14.

Keywords: DIGITAL NAVIGATION SYSTEM, ESP32-S3, GNSS RECEIVER, MAGNETOMETER, AUTONOMOUS POWER SUPPLY, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER.

The qualification paper substantiates the engineering feasibility and presents the design of a portable digital navigation system. Based on a critical review of existing positioning solutions available on the market, their primary advantages and disadvantages are determined. The selection of the hardware platform for creating an autonomous device equipped with a display module is fully justified.

Structural and schematic electrical diagrams of the system have been developed. The engineering design includes calculations for the autonomous power supply circuit, the battery protection unit, the selection of core components (ESP32-S3 microcontroller, NEO-M10 module, and QMC5883L magnetometer), and a detailed description of the device's operational logic. Furthermore, the printed circuit node layout, overall reliability evaluation, and printed wiring parameters have been calculated.

The topological design of the two-layer printed circuit board was executed within the Altium Designer CAD environment. Additionally, regulatory requirements for occupational health and safety during the development, debugging, and operation stages of the portable navigation device are thoroughly analyzed.

Зміст

Вступ.....	8
1. Основна частина	10
1.1 Аналіз технічного завдання	10
1.2 Аналіз структурної схеми виробу	15
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми системи навігації.....	17
1.3.1 Опис електричної принципової схеми.....	17
1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою.....	20
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази	22
1.4.1 Опис та блок-схема алгоритма роботи мікроконтролера.....	22
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	25
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....	45
1.5.1 Компоновка друкованого вузла	45
1.5.2 Розрахунок надійності проектованого виробу.....	47
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу.....	50
1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати	52
1.6 Висновок до розділу 1.....	54
2. Спеціальна частина.....	55
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання	55
2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.....	56
2.3 Висновок до розділу 2.....	65
3. Охорона праці та безпека життєдіяльності	67
3.1 Надзвичайні ситуації метеорологічного характеру	67

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Пилипенко В.В</i>			Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хвостівська Л.В</i>				6	77
Рецензент		<i>Стрембівський М.О</i>			<i>ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41</i>		
Н. Контр.		<i>Хвостівська Л.В</i>					
Затверд.		<i>Дунець В.Л.</i>					

Цифрова система навігації

3.2 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом	71
3.3 Висновок до розділу 3.....	73
Висновки.....	75
Список використаних джерел.....	77
Додатки.....	80

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

Вступ

Сучасний етап еволюції мобільної електроніки та зростаючий попит на безперебійне просторове орієнтування зумовлюють гостру потребу в автономних індивідуальних пристроях навігації. Розробка мікропроцесорних модулів позиціонування є вкрай перспективним вектором, оскільки такі апаратні рішення дозволяють з високою точністю фіксувати географічні координати, гарантувати безпеку переміщення на недосліджених територіях та повністю нівелювати залежність мандрівника від якості покриття стільникових мереж.

Надійний і точний розрахунок місцеположення відіграє фундаментальну роль у туристичній галузі, логістичних операціях, пошуково-рятувальних заходах та екстремальному спорті. Ефективність роботи навігаційного обладнання визначається кількома ключовими критеріями швидкістю синхронізації з космічними апаратами, мінімальною похибкою обчислення координат, наявністю інтегрованого компаса для визначення азимута у стані спокою, а також показниками енергоавтономності. Експлуатація стандартних смартфонів для вирішення цих завдань часто виявляється недоцільною та ризикованою через швидке виснаження заряду акумулятора, низьку стійкість до агресивного середовища та критичну залежність від інтернет-з'єднання. Це формує об'єктивну необхідність у проектуванні спеціалізованого автономного обладнання.

Хоча сучасний ринок пропонує широкий спектр приладів для супутникового трекінгу, значна частка наявних рішень або страждає від суттєво обмеженого функціоналу, або вирізняється неадекватно завищеною ціною. Бюджетні аналоги переважно здатні лише протоколювати пройдений шлях без можливості локальної візуалізації картографічних даних. З іншого боку, спеціалізовані професійні пристрої характеризуються закритою програмною архітектурою, надмірною для пересічного споживача кількістю опцій та високою собівартістю. Тому розроблення універсального,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

енергоєфективного та фінансово доступного портативного приладу, який поєднує функції прийому геоданих із їх відображенням на графічному дисплеї, є надзвичайно актуальним інженерним завданням.

Практична актуальність дослідження ґрунтується на гострій потребі у створенні малогабаритного та енергонезалежного індивідуального навігатора. Такий пристрій має гарантувати стабільний прийом телеметрії від глобальних супутникових систем, апаратне обчислення магнітного азимута та виведення візуальної інформації без жодної прив'язки до зовнішньої телекомунікаційної інфраструктури.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є комплексне проектування портативної мікроконтролерної системи навігації, оснащеної модулем супутникового зв'язку та графічним інтерфейсом, для повної автоматизації процесу ідентифікації просторових координат і поточного вектора руху.

Відповідно до визначеної мети, у роботі поставлено та вирішено наступні науково-практичні завдання:

- здійснено критичний аналіз існуючих на ринку портативних систем орієнтування та їхніх технічних характеристик;
- проведено раціональний вибір сучасної елементної бази, виходячи з жорстких масогабаритних та енергетичних лімітів;
- налаштовано модуль візуалізації даних на базі TFT-матриці та інтегровано вузол безперебійного живлення від літій-іонного осередку.

Об'єкт дослідження — технологічний процес апаратного визначення географічних координат та графічної візуалізації навігаційних параметрів.

Предмет дослідження — апаратно-програмні засоби та мікроконтролерна архітектура портативної навігаційної системи з автономним енергозабезпеченням.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		9

1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технічного завдання

Основні технічні характеристики виробу

Напруга живлення.....3.3В;
Максимальний струм споживання.....до 500мА;
Робочий частотний діапазон GPS приймача.....1575,42 МГц;
Кількість одночасно оброблюваних каналів супутник... ..72 каналів;
Інтерфейс взаємодії з периферійними пристроями.....UART / I2C;
Габарити.....254x80x20мм;

Технічне завдання орієнтоване на створення автономної портативної системи персональної навігації. Головне призначення пристрою безперервне обчислення географічних координат, апаратне визначення магнітного курсу та локальна візуалізація навігаційних параметрів в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури.

Детальний аналіз початкових вимог підтверджує необхідність імплементації надійної підсистеми збору та потокової обробки телеметрії. Для виконання цього завдання апаратна конфігурація базується на високопродуктивному мікроконтролері. Він відповідає за агрегацію даних із приймача супутникових сигналів та цифрового мікроелектромеханічного магнітометра, формуючи відповідні масиви інформації для виведення на графічний дисплей.

Фундаментальною вимогою до розроблюваної системи є забезпечення повної енергонезалежності. Це реалізується завдяки впровадженню автономного літійового джерела живлення, доповненого інтелектуальним контролером заряду та багаторівневим каскадом захисту від перерозряду й короткого замикання.

Наявність локального TFT-екрана є критично важливою умовою для забезпечення ергономіки пристрою. Дисплей у режимі реального часу

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		10

відображає поточну геопозицію, вектор руху та статус енергосистеми, гарантуючи користувачеві повноцінний моніторинг ситуації без залучення сторонніх мобільних гаджетів.

Синхронізація точного часу в системі виконується автоматично шляхом декодування ефемерид, отриманих безпосередньо від космічних супутників. Такий підхід дозволяє відмовитися від використання окремих мікросхем годинника реального часу, що оптимізує собівартість та спрощує топологію плати.

Огляд актуального ринку геоінформаційного обладнання демонструє його чіткий поділ на три категорії бюджетні GPS-трекери без візуального інтерфейсу, стандартні смартфони з високим енергоспоживанням та дорогі професійні туристичні навігатори. Подібний розподіл беззаперечно доводить інженерну й комерційну доцільність створення збалансованого, компактного та фінансово доступного приладу.

Для обґрунтування доцільності створення власного мікроконтролерного пристрою необхідно проаналізувати наявні на ринку рішення для персонального позиціонування. За функціоналом та ціновим позиціонуванням їх можна розділити на кілька ключових категорій.



Рисунок 1.1 – Портативний міні-навігатор Mini GPS PG03

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		11

Основне завдання таких гаджетів запам'ятати координати стартової локації та вказувати прямий вектор до неї на зворотному шляху. Їхнім головним козирем виступає мініатюрність та доступна ціна. Втім, пристрої позбавлені можливості відображати картографічні дані, оснащуються примітивними монохромними екранами, а розрахунок азимута відбувається виключно програмним шляхом під час руху, що робить їх малоприсадними для повноцінного орієнтування. Розроблюваний пристрій перевершує їх завдяки наявності кольорового TFT-екрана для детального виведення навігаційних параметрів та апаратного магнітометра, що гарантує точне визначення напрямку навіть у стані повного спокою.

Наступною сходинкою еволюції є класичні туристичні трекери початкового рівня, яскравим представником яких слугує Garmin eTrex 10.



Рисунок 1.2 – Туристичний навігатор Garmin eTrex 10

Ця категорія приладів здатна протоколювати пройдений маршрут та відрізняється чудовою автономністю за рахунок використання змінних

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

елементів живлення і високого рівня вологозахисту. Проте суттєвим стримуючим фактором залишається застарілий чорно-білий дисплей, відсутність підтримки кольорової індикації та апаратного датчика магнітного поля компаса. Наш навігатор виграє у цього класу завдяки наявності яскравого графічного інтерфейсу та інтегрованого електронного компаса, забезпечуючи вищий рівень інформативності та зручності при значно нижчій собівартості компонентів.

Флагманський сегмент представлений професійними комплексами наприклад, Garmin GPSMAP 66sr, що орієнтовані на екстремальні експедиції.

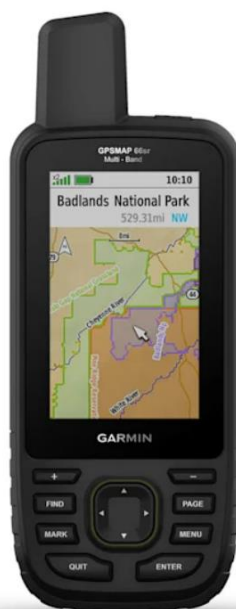


Рисунок 1.3 – Garmin GPSMAP 66sr

Вони пропонують максимальну точність позиціонування, мають кольорові екрани та повний спектр цифрових датчиків. Однак для пересічного користувача їхня купівля часто є нераціональною через надзвичайно високу вартість, значні габарити та перевантажений інтерфейс із надлишковими функціями. На противагу їм, розроблювана мікроконтролерна система оптимізована вона містить ключовий преміальний функціонал високоточний

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		13

GPS та магнітометр, але позбавлена надлишкових програмних модулів, що дозволило зберегти компактні розміри та зробити пристрій у рази дешевшим.

Як альтернативу спеціалізованому обладнанню багато хто розглядає звичайні смартфони з навігаційним програмним забезпеченням.

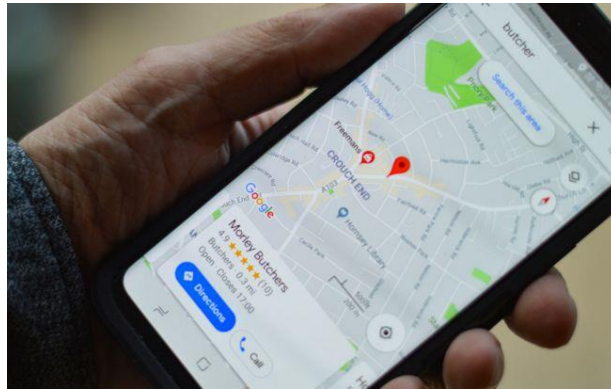


Рисунок 1.4 – Смартфон із навігаційним за стосунком

Це справді найбільш універсальний варіант із деталізованими картами, але у польових умовах він має критичний недолік — надшвидке виснаження заряду акумулятора через роботу екрана та GPS-модуля. Їхня автономність є недостатньою для тривалих походів без доступу до електромережі. Розроблений автономний модуль позбавлений цієї проблеми завдяки енергоефективній мікроконтролерній архітектурі та вузькоспеціалізованому алгоритму роботи, він забезпечує тривалу автономність, залишаючись надійним помічником там, де смартфон швидко втратить заряд.

Підсумовуючи огляд ринку, можна констатувати бюджетні трекери занадто примітивні, смартфони ненадійні в плані енергоспоживання, а професійні туристичні прилади невиправдано дорогі.

Розроблена у проєкті портативна система навігації концептуально заповнює прогалину між цими категоріями. Вона поєднує в собі можливості пристроїв вищого класу кольоровий графічний дисплей, апаратний магнітометр для точного визначення азимута в стані спокою із компактністю та доступною собівартістю. Відкрита архітектура дозволила досягти

оптимального балансу між достатнім функціоналом, високою енергоефективністю та можливістю подальшої модернізації, роблячи розробку повністю інженерно обґрунтованою.

1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

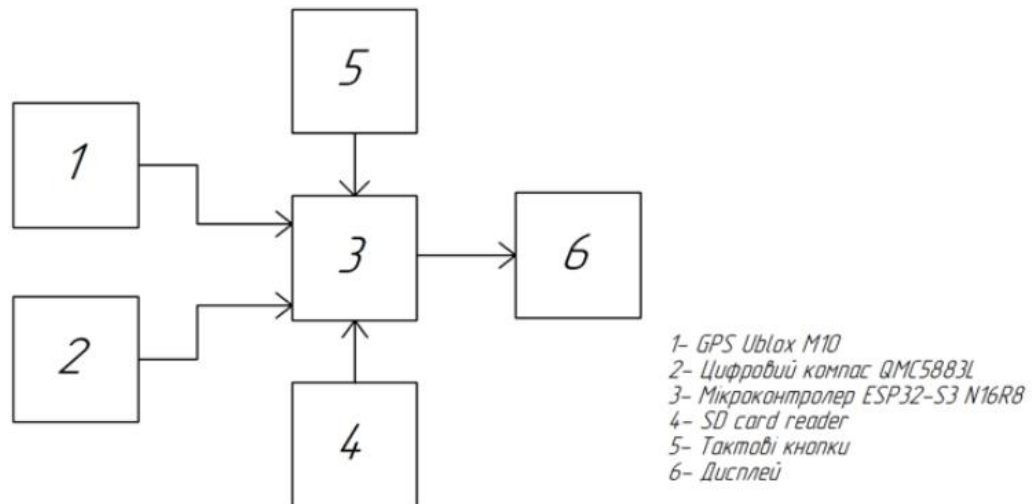


Рисунок 1.5– Структурна схема цифрової системи навігації

Структурна схема портативної системи навігації побудована за модульним принципом, що забезпечує чіткий розподіл функцій між окремими вузлами та їх узгоджену взаємодію. Центральним елементом пристрою є обчислювальний блок на базі мікроконтролера ESP32-S3, який виконує функції збору, обробки та аналізу просторових даних, а також формує інформацію для виведення на екран.

Мікроконтролерний блок виступає ядром системи і забезпечує обмін даними з усіма периферійними модулями. Він здійснює постійне опитування супутникового приймача та цифрового компаса, обробляє отримані масиви даних відповідно до закладених алгоритмів і визначає поточні координати та азимут. Крім того, мікроконтролер організовує відображення інформації на дисплеї та відповідає за керування режимами енергозбереження.

Інформаційною основою роботи системи є блок просторового орієнтування, який включає модуль супутникового зв'язку та цифровий магнітометр. Супутниковий приймач формує пакети даних, що містять інформацію про поточне географічне положення, тоді як магнітометр дозволяє визначити напрямок магнітного поля Землі. Сигнали з цих датчиків надходять до мікроконтролера, де проходять фільтрацію та перетворення у формат, зручний для подальшого аналізу.

Для точної прив'язки до часу та розрахунку параметрів руху використовується підсистема синхронізації реального часу. На відміну від звичайних годинників, цей вузол отримує надточні часові мітки безпосередньо з навігаційних супутників незалежно від стану підключення до Інтернету. Інформація про точний час передається до основного процесора і використовується для оновлення системного годинника, а також для коректного запису точок пройденого маршруту.

Взаємодія з користувачем реалізується через блок візуальної індикації, виконаний на основі кольорового TFT-дисплея. Екран відображає поточні координати, швидкість, напрямок руху, а також стан заряду акумулятора. Формування графічної інформації здійснюється мікроконтролером, який передає відповідні команди та дані на контролер матриці через швидкісний цифровий інтерфейс SPI.

Забезпечення тривалої автономної роботи здійснюється за допомогою блоку керування живленням, до складу якого входить контролер заряду літійового акумулятора. Цей вузол відповідає за безпечну зарядку батареї від USB-порту та плавне перемикання між зовнішнім і внутрішнім джерелами струму. Мікроконтролер постійно відстежує рівень напруги акумулятора, що дозволяє вчасно попередити користувача про необхідність підзарядки або коректно вимкнути пристрій при критичному розряді.

Для збереження маршрутів пересування та можливості оновлення програмного забезпечення в архітектурі приладу передбачено модуль роботи з

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		16

Електрична принципова схема розробленого портативного навігатора складається з кількох взаємопов'язаних функціональних вузлів, кожен з яких побудований на сучасних інтегральних та дискретних компонентах. Ці блоки забезпечують стабільну роботу всієї системи від збору координат до їх відображення та контролю живлення.

Центральним ядром пристрою виступає мікроконтролерний вузол, реалізований на базі високопродуктивного чипа DD1. Саме він виконує роль головного координатора всіх обчислювальних процесів. На відміну від класичних схем на базовій логіці, тактування цього мікроконтролера здійснюється за допомогою прецизійного вбудованого кварцового генератора. Це гарантує стабільне формування тактових імпульсів, які критично необхідні для швидкої паралельної обробки навігаційних даних та безперебійного синхронного обміну інформацією з усіма периферійними датчиками.

Наступним важливим блоком є вузол просторового орієнтування та збору телеметрії. Високочастотний сигнал від навігаційних супутників приймається через мініатюрний роз'єм XS2, проходить первинну фільтрацію через узгоджувальний контур на базі індуктивності L1 і потрапляє на вхід спеціалізованого приймача DD2. Для того, щоб пристрій міг визначати географічний азимут навіть у стані фізичного спокою, у схему інтегровано триосьовий цифровий магнітометр DD3. Цей датчик підключений до мікроконтролера за допомогою цифрової шини I2C. Щоб забезпечити круті фронти імпульсів та стабільні логічні рівні на цій шині, застосовуються підтягуючі резистори R1 та R2.

Особливістю роботи навігаційного каскаду є апаратна підтримка функції «гарячого старту» супутникового приймача після тимчасового вимкнення приладу. Для реалізації цього режиму в схему додано іоністор C5, який виконує роль локального резервного джерела енергії. Під час штатної роботи він постійно заряджається від основної лінії живлення через розв'язуючий діод Шотткі VD1. Якщо зовнішнє живлення зникає, діод миттєво закривається і не

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		18

дає іоністору розряджатися на інші компоненти плати. Завдяки цьому заряду модуль GPS здатний зберігати в пам'яті актуальні ефемериди та підтримувати хід внутрішнього годинника. Це дозволяє приймачу миттєво відновити координати при наступному вмиканні без необхідності тривалого пошуку супутників.

Вузол індикації та керування підсвіткою забезпечує роботу кольорового TFT-дисплея. Для оптимізації енергоспоживання пристрою передбачено апаратний вузол широтно-імпульсної модуляції, який реалізований на Р-канальному MOSFET-транзисторі VT1. Цей транзистор працює у ключовому режимі ШІМ-сигнал з апаратного таймера мікроконтролера подається безпосередньо на його затвор. Програмна зміна шпаруватості коефіцієнта заповнення імпульсів дозволяє плавно регулювати середній струм, що протікає через світлодіоди матриці, тим самим змінюючи яскравість екрана залежно від зовнішнього освітлення.

Підсистема живлення пристрою є багаторівневою і починається з вхідного роз'єму XS1 стандарту USB Type-C. Через нього напруга 5 В надходить на вузол керування зарядом, основою якого є мікросхема DA1. Цей контролер стабілізує струм і напругу під час заряджання автономного літій-іонного акумулятора, що підключається до колодки XP2. Апаратний захист акумулятора реалізовано на базі спеціалізованої мікросхеми DW01S у парі з силовим здвоєним ключем FS8205A. У разі виникнення короткого замикання або падіння напруги на батареї нижче критичного порогу, логіка захисту миттєво закриває транзистори, відключаючи навантаження і захищаючи акумулятор від незворотної деградації.

Для живлення мікроконтролера та чутливої цифрової логіки напруга акумулятора знижується і суворо стабілізується на рівні 3,3 В за допомогою лінійного стабілізатора напруги DA3. Вхідні та вихідні кола цього стабілізатора зашунтовані керамічними конденсаторами C8, C9, C10 та високочастотними ємностями C1, C4. Вони утворюють надійний LC-фільтр,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		19

який ефективно придушує високочастотні завади та згладжує пульсації напруги під час різких стрибків струму, викликаних роботою обчислювального ядра мікроконтролера.

1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Для розрахунку стабілізатора напруги DA3 необхідні наступні початкові дані номінальне значення вихідної напруги $U_{out}=3.3$ В, максимальна вхідна напруга $U_{in}=5$ В, максимальний струм навантаження $I_{max}=0.5$ А. Визначення максимальної розсіюваної потужності на корпусі ІМС здійснюється за формулою:

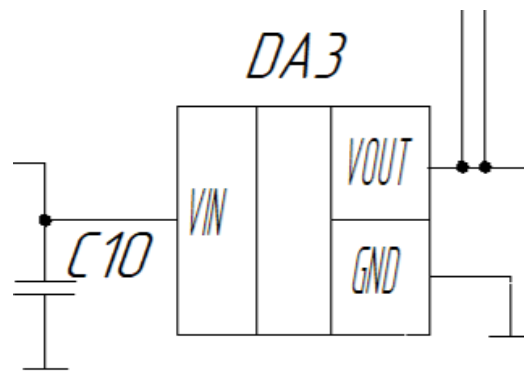


Рисунок 1.7 – Умовне графічне позначення стабілізатора напруги

$$P_{max}=(U_{in} - U_{out}) \times I_{max} \quad (1.1)$$

$$P_{max}=(5 - 3.3) \times 0.5 = 0.85$$

Отримане значення потужності розсіювання вимагає обов'язкового використання мідного полігону друкованої плати в якості тепловідводу.

Наступним кроком є розрахунок вузла заряду акумулятора. Для мікросхеми TP4056 необхідні наступні початкові дані внутрішній опорний коефіцієнт 1200 та необхідний струм заряду. Залежність опору програмуемого резистора визначається виразом:

$$I_{chg} = \frac{1200}{R_{prog}} \quad (1.2)$$

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		20

$$I_{\text{chg}} = \frac{1200}{1} = 1200\text{mA}$$

Згідно з розрахунком, до схеми включено прецизійний резистор R25 номіналом 1,2 кОм.

Для відстеження рівня заряду батареї максимум 4,2 В входом АЦП мікроконтролера розраховано подільник напруги на резисторах R20 та R24. Напруга на вимірювальному піні становить:

$$U_{\text{ADC}} = U_{\text{bat}} \times \frac{R_{24}}{R_{20} + R_{24}} \quad (1.3)$$

$$U_{\text{ADC}} = 4.2 \times \frac{100000}{100000 + 100000} = 2.1 \text{ В}$$

Візуальна індикація стану пристрою реалізована на світлодіодах HL1–HL3. Опір струмообмежувальних резисторів розраховується з огляду на падіння напруги на кристалі $U_{\text{LED}}=2.0\text{В}$ та заданий робочий струм $I_{\text{LED}}=0.005$

$$R = \frac{U_{\text{out}} - U_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}} \quad (1.4)$$

$$R = \frac{3,3 - 2.0}{0,005} = 260 \text{ Ом}$$

Для встановлення на плату обрано найближчий стандартний номінал 220 Ом (резистори R3, R21, R22). Виконаний схемотехнічний аналіз та інженерні розрахунки повністю підтверджують правильність обраних рішень та забезпечують стабільну роботу системи.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Опис та блок-схема алгоритма роботи мікроконтролера

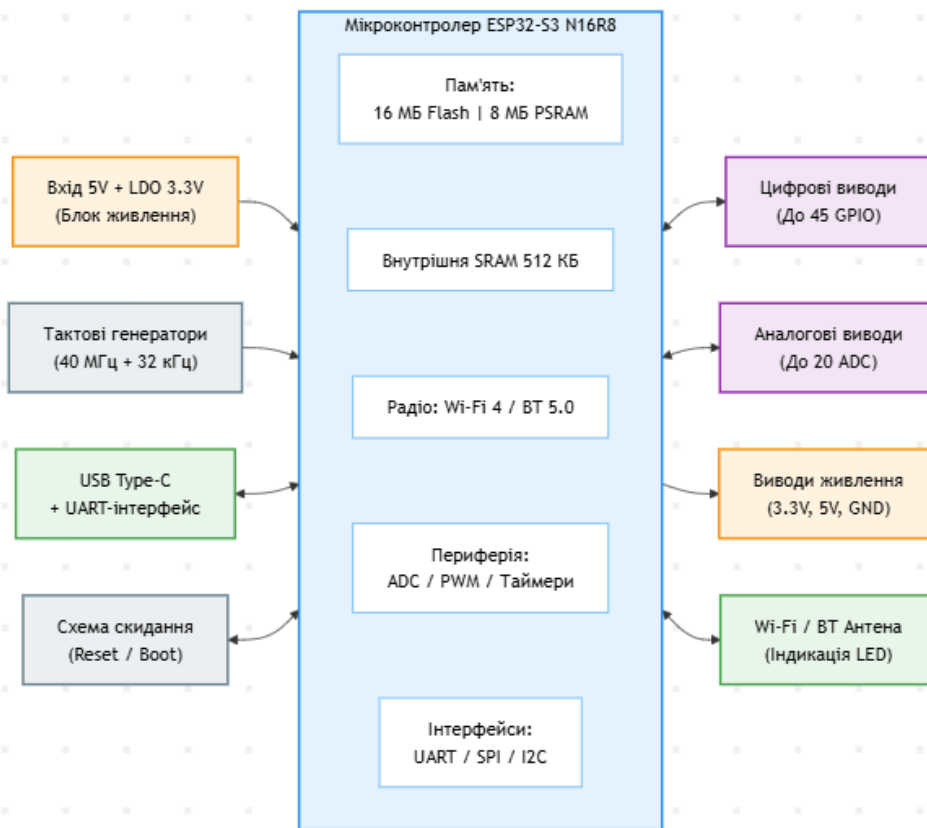


Рисунок 1.8 – Блок-схема ESP32-S3 N16R8

Під час вибору електронних компонентів для навігатора головним завданням було знайти баланс між достатньою обчислювальною потужністю та низьким енергоспоживанням. Пристрій має працювати автономно в польових умовах, тому кожна деталь підбиралася з урахуванням її енергоефективності, доступності на ринку та простоти підключення.

Як головний контролер системи було обрано модуль ESP32-S3 N16R8. На відміну від простіших плат наприклад, Arduino, цей мікроконтролер має два незалежних ядра. Це дозволило розділити задачі на рівні програми одне ядро займається виведенням графіки на екран та роботою меню, а друге паралельно зчитує координати з GPS та записує трек на карту пам'яті. Крім того, модуль

має 16 МБ вбудованої пам'яті та 8 МБ оперативної пам'яті. Такі характеристики є обов'язковими для швидкого завантаження фрагментів офлайн-карт, щоб інтерфейс не "зависав" під час переміщення або масштабування карти користувачем.

Для отримання географічних координат використовується супутниковий GPS-модуль NEO-M10 на базі плати M216Z-D80B. Його перевагою є здатність працювати одночасно з кількома системами навігації GPS, Galileo, GLONASS. Завдяки цьому пристрій швидше знаходить супутники при включенні та не втрачає сигнал у лісі або серед високих будівель.

Оскільки звичайний GPS-модуль може визначати напрямок лише тоді, коли людина рухається, схему було доповнено цифровим компасом QMC5883L. Він підключається до мікроконтролера по шині I2C. Наявність компаса дозволяє правильно повертати карту на екрані та показувати точний азимут навіть тоді, коли користувач просто стоїть на місці, що дуже зручно для пішохідного туризму.

Для відображення карт та меню використовується кольоровий TFT-екран з роздільною здатністю 320x480 пікселів. Цього цілком достатньо для читабельного виведення маршруту та службової інформації. Оскільки навігатор не потребує доступу до Інтернету, всі тайли карт і записані маршрути зберігаються на змінній карті MicroSD. Вона підключена через інтерфейс SPI для швидкого обміну даними. Щоб зекономити заряд батареї, яскравість екрана можна регулювати мікроконтролер генерує ШІМ-сигнал, який через польовий транзистор плавно змінює інтенсивність підсвітки.

Особлива увага приділялася системі живлення, оскільки прилад є портативним. Він працює від літій-іонного акумулятора, який заряджається через роз'єм USB Type-C за допомогою популярної мікросхеми TP4056. Щоб акумулятор не вийшов з ладу через коротке замикання або занадто сильне розрядження, встановлено модуль захисту на мікросхемі DW01S.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		23

Оскільки мікроконтролер і більшість датчиків працюють від напруги 3,3 В, у схемі використано лінійний стабілізатор MCP1826S. Він перетворює напругу батареї у стабільні 3,3 В. Додатково біля стабілізатора встановлені керамічні конденсатори, які згладжують перепади напруги та фільтрують перешкоди, щоб GPS-приймач працював без збоїв.

У результаті використання таких компонентів вдалося створити надійний і функціональний навігатор. Використання поширених на ринку модулів значно здешевило розробку та дозволяє легко замінити будь-яку деталь у разі її поломки.

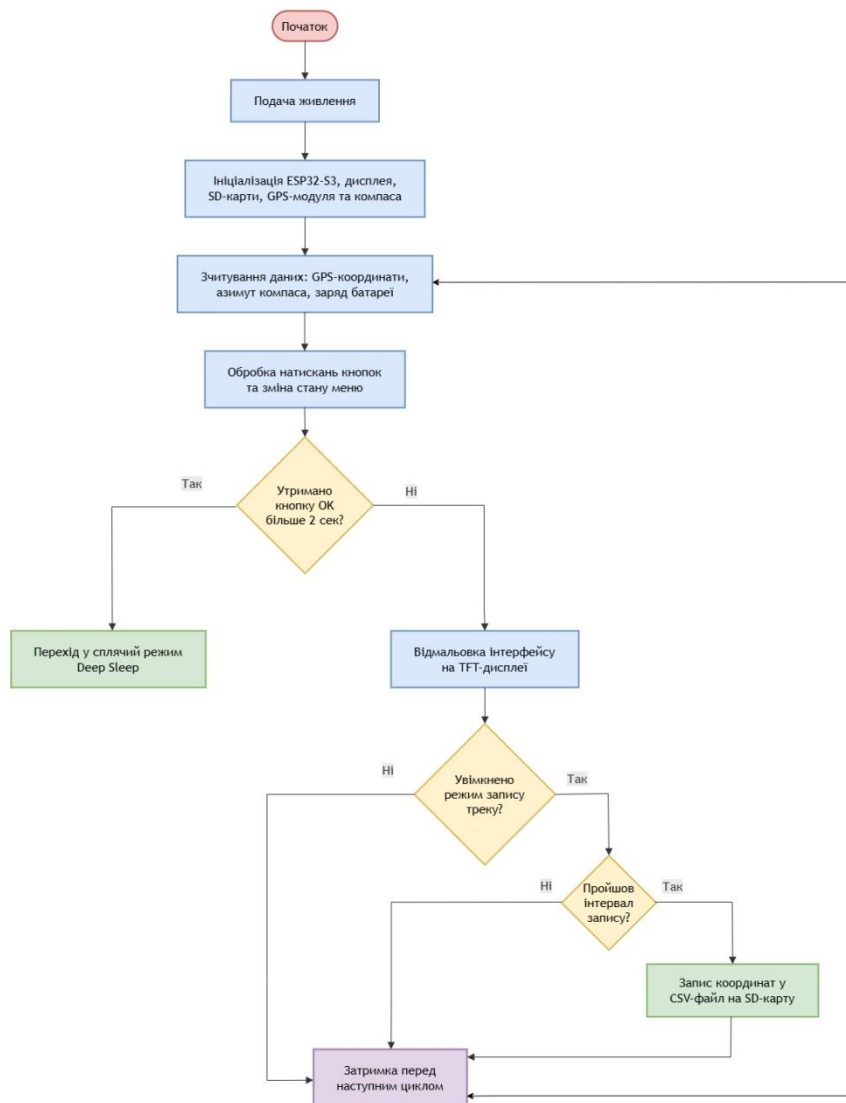
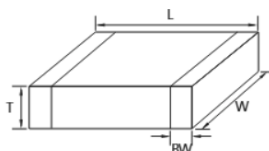


Рисунок 1.9 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера ESP32-S3

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Обрані радіоелектронні компоненти повинні в повному обсязі забезпечувати виконання всіх функціональних завдань пристрою точне визначення географічних координат, безперервну обробку та логування просторових даних, детальну графічну індикацію картографічного матеріалу, а також ефективну стабілізацію та контроль автономного живлення. Під час затвердження конкретних мікросхем та модулів детально аналізувалися їхні номінальні електричні характеристики, енергоспоживання та сумісність цифрових інтерфейсів. Крім того, визначальними критеріями виступали наявність деталей на ринку, їхні габаритні розміри, тип корпусу для монтажу, а також загальна експлуатаційна надійність, яка є обов'язковою умовою для успішного об'єднання всіх вузлів у складі єдиної компактної друкованої плати.



Size Code	EIA Code	Dimension(mm)				
		L	W	T	Thickness Code	BW
05	0402	1.00±0.05	0.50±0.05	0.50±0.05	5	0.25±0.10
10	0603	1.60±0.10	0.80±0.10	0.50-0.0/-0.1(*)	5	0.30±0.20
		1.60±0.10	0.80±0.10	0.80±0.10	8	
21	0805	2.00±0.10	1.25±0.10	0.85±0.10	C	0.5±0.2/-0.3
		2.00±0.10	1.25±0.10	1.15±0.10	M	
		2.00±0.10	1.25±0.10	1.25±0.10	F	
		2.00±0.15	1.25±0.15	1.25±0.15	Q	
		2.00±0.20	1.25±0.20	1.25±0.20	Y	
31	1206	3.20±0.20	1.60±0.20	0.60±0.10(*)	6	0.50±0.30
		3.20±0.15	1.60±0.15	0.85±0.15	C	
		3.20±0.20	1.60±0.20	0.85±0.10(*)	C	
		3.20±0.20	1.60±0.20	1.15±0.10(*)	P	
		3.20±0.15	1.60±0.15	1.25±0.15	F	
		3.20±0.20	1.60±0.20	1.60±0.20	H	

Рисунок 1.10 - Габаритні розміри MLCC-SMD/SMT

Апаратна частина пристрою містить багатошарові керамічні SMD-конденсатори стандарту MLCC у типорозмірах 0805 та 0603. Ці радіоелементи застосовуються для формування контурів фільтрації, розв'язки ліній живлення та стабілізації цифрової логіки. Їхні мініатюрні габарити та стабільні характеристики ідеально відповідають вимогам поверхневого монтажу, дозволяючи виконувати встановлення безпосередньо біля силових контактів

мікроконтролера та датчиків. Завдяки цьому досягається ефективне згладжування пульсацій напруги, надійне блокування високочастотних перешкод і загальне зростання стійкості роботи системи.

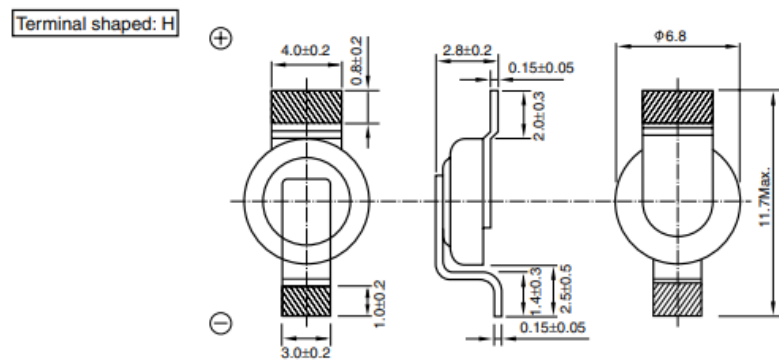


Рисунок 1.11 - Габаритні розміри іоністора

Для забезпечення безперебійного живлення внутрішнього годинника реального часу та збереження ефемерид супутникового приймача при повному знеструмленні системи, до схеми введено іоністор від компанії "Bourns". Інтеграція цього суперконденсатора замість класичних резервних літєвих батарейок обґрунтована його здатністю витримувати сотні тисяч циклів заряду-розряду без деградації структури. Таке рішення гарантує миттєвий «гарячий» старт навігаційного модуля після тимчасового вимкнення пристрою, суттєво зменшуючи час на пошук супутників без необхідності впровадження складних контролерів резервного живлення.

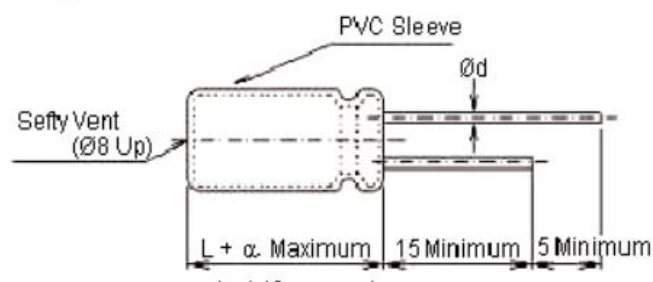


Рисунок 1.12 - Габаритні розміри LP2985-330BVR фірми Texas Instruments

Для ефективного згладжування низькочастотних пульсацій напруги та створення надійного енергетичного буфера у головних колах живлення

застосовано алюмінієвий оксидно-електролітичний конденсатор з радіальними виводами від компанії "Bourns". Вибір класичного наскрізного монтажу для цього елемента зумовлений необхідністю забезпечення максимальної механічної міцності його фіксації на друкованій платі. Оскільки електролітичний конденсатор є найбільш масивним компонентом схеми, вивідний монтаж гарантує стійкість контактів до вібраційних навантажень, які неминуче виникають під час експлуатації портативного пристрою.

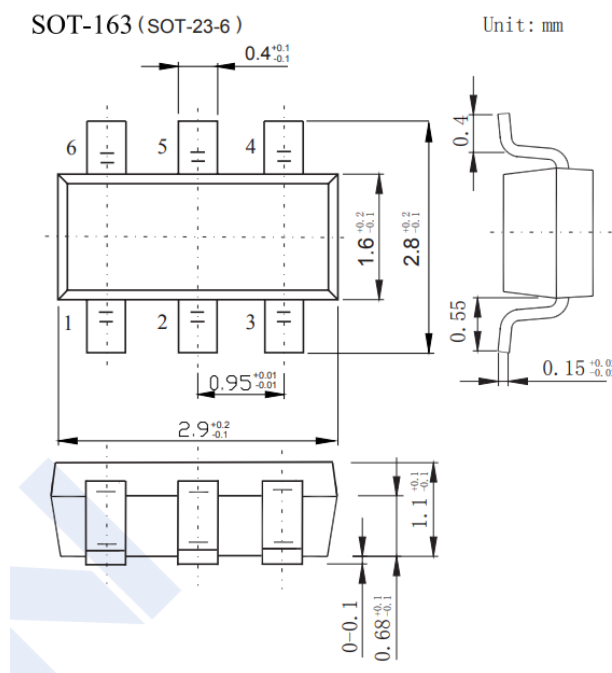


Рисунок 1.13 - Габаритні розміри мікросхеми захисту DW01S "Fortune Semiconductor"

Для запобігання передчасній деградації літій-іонного елемента живлення у пристрої впроваджено інтегральний вузол безпеки, керуючим ядром якого виступає спеціалізована мікросхема DW01S від виробника "Fortune Semiconductor". Доцільність використання саме цього контролера пояснюється його здатністю безперервно моніторити рівень напруги акумулятора та формувати сигнали на миттєве відключення навантаження при критичних відхиленнях. Такий підхід є життєво необхідним для портативної електроніки,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

оскільки базові мікросхеми заряду не відстежують стан батареї під час розряду, а глибока втрата ємності призводить до незворотного руйнування хімічної структури літійового елемента.

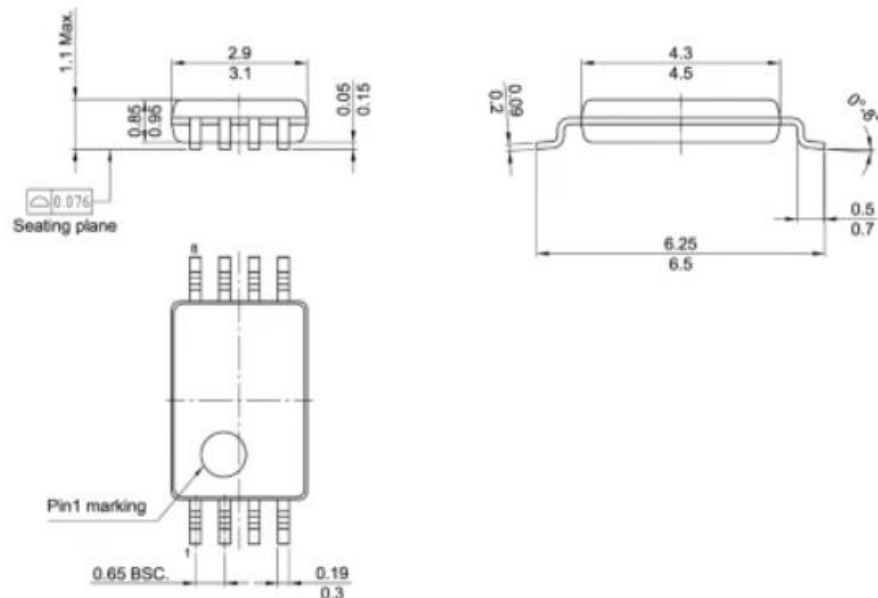


Рисунок 1.14 - Габаритні розміри транзисторної збірки FS8205A "Fortune Semiconductor"

У якості виконавчого комутуючого вузла у контурі захисту акумулятора застосовано транзисторну збірку FS8205A від компанії "Fortune Semiconductor". Рішення інтегрувати саме цей компонент замість двох окремих дискретних транзисторів зумовлене необхідністю мінімізації теплових втрат та загальних габаритів пристрою. Збірка містить два N-канальних MOSFET-транзистори з наднизьким опором відкритого каналу, що дозволяє комутувати значні струми навантаження без помітного падіння напруги. Завдяки високій швидкості реакції ці транзистори миттєво розривають коло живлення при отриманні керуючого сигналу від мікросхеми моніторингу.

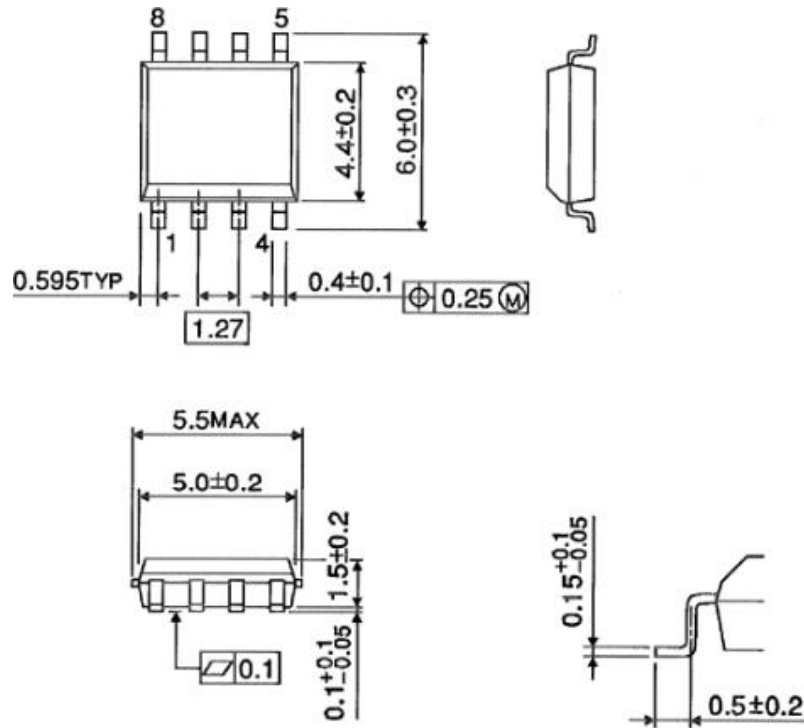


Рисунок 1.15 - Габаритні розміри лінійного контролера заряду TP4056
"NanJing Top Power"

Для забезпечення максимально безпечного, стабільного та ефективного відновлення номінальної ємності автономного літій-іонного акумулятора під час експлуатації, у загальну принципову схему пристрою було інтегровано спеціалізований лінійний контролер заряду TP4056 виробництва компанії "NanJing Top Power". Вибір на користь застосування саме цієї інтегральної мікросхеми логічно зумовлений її підтверженою здатністю повністю самостійно реалізовувати повноцінний та безпечний алгоритм заряду стабільним струмом та постійною напругою (CC/CV) без необхідності залучення обчислювальних ресурсів мікроконтролера або додаткових зовнішніх керуючих кіл і пасивних компонентів. Інтеграція цього вузькоспеціалізованого компонента у підсистему живлення дозволяє не лише якісно оптимізувати фізико-хімічний процес накопичення енергії в елементі живлення, але й суттєво підвищити загальну апаратну надійність приладу в умовах автономної роботи завдяки наявності вбудованого контуру теплового зворотного зв'язку. Цей захисний механізм безперервно аналізує тепловий

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

стан системи та автоматично знижує пропускний струм заряду при наближенні температури напівпровідникового кристала до критичних порогових значень, що у підсумку гарантує стабільно високий рівень експлуатаційної безпеки виробу під час його тривалого підключення до сучасних потужних мережевих адаптерів чи інших зовнішніх джерел струму.

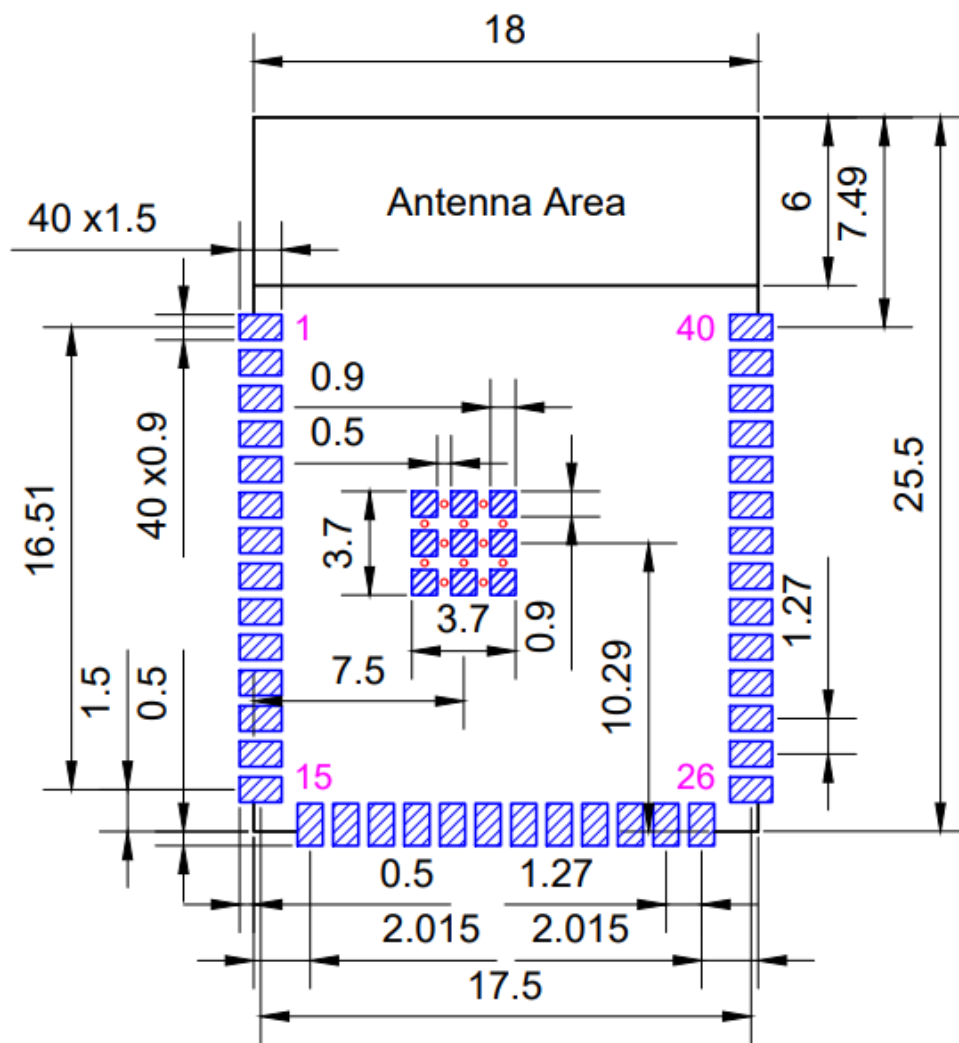
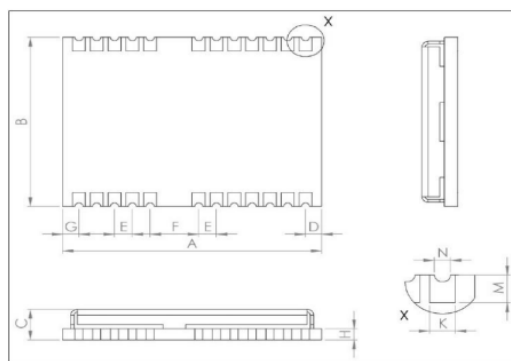


Рисунок 1.16 - Габаритні розміри мікроконтролерного модуля ESP32-S3-WROOM-1 "Espressif Systems"

Головним обчислювальним та координаційним центром розробленої цифрової системи навігації виступає мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 від компанії "Espressif Systems". Вибір саме цієї модифікації N16R8 пояснюється інтегрованими 16 МБ Flash-пам'яті та 8 МБ

оперативної пам'яті PSRAM, які є обов'язковими для швидкого кешування тайлових офлайн-карт великого розміру. Застосування цього високопродуктивного рішення на базі двоядерного процесора архітектури Xtensa 32-bit LX7 зумовлене жорсткою необхідністю паралельної обробки ресурсоемних навігаційних алгоритмів, безперервного парсингу масивів даних від супутникового приймача та швидкого виведення інформації на графічний дисплей. Такий апаратний розподіл дозволив виділити одне ядро під фоновий запис треків, унеможлививши зависання інтерфейсу. Наявність інтегрованого металевого екрана забезпечує надійний захист чутливих внутрішніх ланцюгів від зовнішніх електромагнітних завад, що є критично важливим фактором при роботі поруч із високочастотними радіотрактами. Це особливо актуально в умовах щільного компонування елементів у портативному корпусі, де цифрові шини сусідять з антеною приймача та чутливим цифровим компасом. Крім того, використання готового напівпровідникового модуля замість окремого мікроконтролера дозволяє значно спростити розведення друкованої плати, зводячи до мінімуму кількість необхідних компонентів зовнішньої об'язки.



Symbol	Min.(mm)	Typ.(mm)	Max.(mm)
A	15.8	15.9	16.5
B	12.0	12.1	12.2
C	2.2	2.4	2.6
D	0.9	1.0	1.3
E	1.0	1.1	1.2
F	2.9	3.0	3.1
G	0.9	1.0	1.3
H		0.8	
K	0.7	0.8	0.9
M	0.8	0.9	1.0
N	0.4	0.5	0.6

Рисунок 1.17 - Габаритні розміри супутникового модуля M216Z-D80B

"Ru Vo Microelectronics"

Для безперервного отримання прецизійних геопросторових даних у розроблений пристрій інтегровано навігаційний приймач M216Z-D80B від виробника "Ru Vo Microelectronics". В основі цього модуля лежить сучасний чипсет, який зв'язується з основним мікроконтролером через апаратний інтерфейс UART на оптимальній швидкості 38400 бод, що гарантує передачу масивів координат без втрат. Доцільність застосування саме цього радіочастотного модуля базується на його видатній чутливості до слабких сигналів та здатності здійснювати паралельну обробку телеметрії від кількох незалежних супутникових угруповань. Підтримка одночасного сканування систем GPS, Galileo, GLONASS та BeiDou дає змогу безперервно генерувати достовірні NMEA-повідомлення для подальшого програмного розбору. Така багатоканальна архітектура радикально скорочує час первинного просторового орієнтування та гарантує стабільне утримання координат навіть у складних умовах міської забудови чи під щільним кроновим покривом. Разом з цим, оптимізоване енергоспоживання кристала робить його ідеальним рішенням для тривалої роботи у складі портативного обладнання з автономним живленням. Додатковою перевагою обраної плати приймача є наявність резервного елемента живлення, який зберігає супутниковий альманах в енергонезалежній пам'яті, забезпечуючи миттєвий гарячий старт після виходу пристрою з режиму сну.

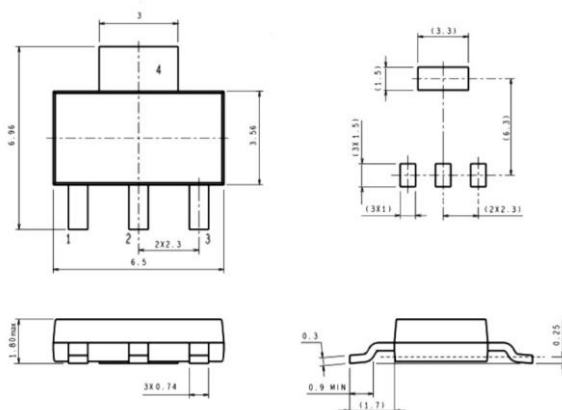


Рисунок 1.18 - Габаритні розміри лінійного стабілізатора MCP1826S-3302E "Microchip Technology"

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		32

Для створення надійного енергетичного контуру з потенціалом 3,3 В, що живить обчислювальне ядро та чутливу цифрову периферію пристрою, у схемі застосовано високоякісний лінійний стабілізатор MCP1826S-3302E виробництва "Microchip Technology". Інтеграція саме цього LDO-регулятора продиктована специфікою динамічного навантаження під час інтенсивної роботи бездротових інтерфейсів мікроконтролер генерує значні імпульсні стрибки струму споживання, які без належної компенсації здатні викликати апаратні збої. На відміну від класичних стабілізаторів минулих поколінь, даний елемент відзначається здатністю жорстко підтримувати номінальний вихідний рівень напруги навіть при мінімальній різниці потенціалів між входом і виходом. Ця властивість є критично важливою для максимального подовження загального часу автономної роботи системи, оскільки дозволяє навігатору стабільно функціонувати навіть при глибокому розряді літійового акумулятора, максимально ефективно використовуючи його залишкову ємність.

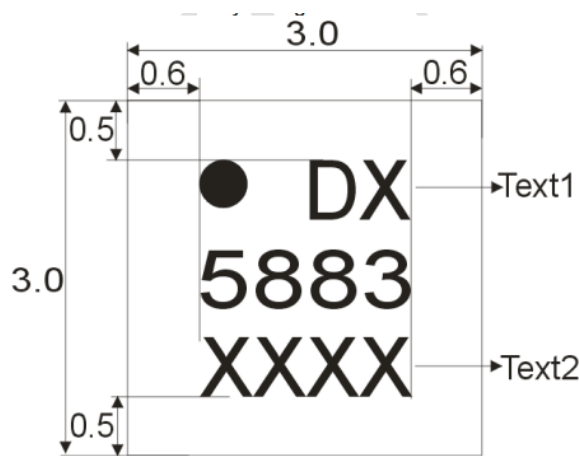


Рисунок 1.19 - Габаритні розміри цифрового магнітометра QMC5883L-TR "QST"

Для суттєвого розширення навігаційних можливостей та забезпечення точної просторової орієнтації пристрою незалежно від швидкості його переміщення у загальну принципovu схему інтегровано цифровий триосьовий магнітометр QMC5883L-TR від компанії "QST". Технічна необхідність використання цього високочутливого мікроелектромеханічного датчика

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		33

безпосередньо зумовлена специфікою роботи супутникових приймачів, які фізично не здатні визначати поточний азимут у статичному положенні або при русі на наднизьких швидкостях. Застосування даного електронного компаса дозволяє системі в режимі реального часу миттєво обчислювати точний магнітний курс об'єкта відносно магнітних полюсів Землі. Інженерний вибір на користь виробу бренду "QST" обґрунтований наявністю інтегрованої системи апаратної температурної компенсації та вбудованого аналого-цифрового перетворювача, що гарантує стабільність показань за різних кліматичних умов. Таке архітектурне рішення зводить до мінімуму потребу у зовнішній аналоговій обв'язці та суттєво розвантажує обчислювальне ядро мікроконтролера, передаючи йому вже відфільтровані та готові до подальшої обробки цифрові масиви даних.

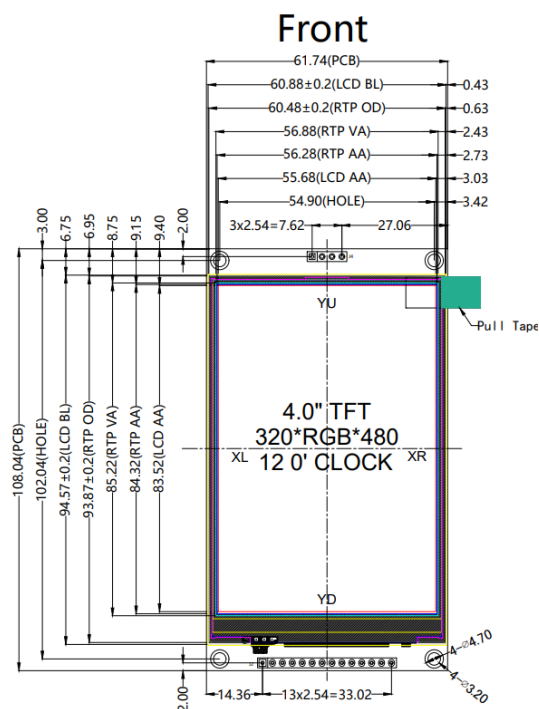


Рисунок 1.20 - Габаритні розміри графічного TFT-дисплея з діагоналлю 4.0" на базі контролера ILI9486

Для якісної візуалізації геопросторових даних, картографічної інформації та забезпечення комфортної інтерактивної взаємодії з користувачем у розробленій системі застосовано кольоровий графічний TFT-дисплей з

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

діагоналлю 4,0 дюйма, побудований на базі спеціалізованого драйвера ІЛІ9486 від компанії "ІЛІТЕК". Доцільність використання саме цього модуля індикації обґрунтована оптимальним співвідношенням фізичних габаритів матриці та її роздільної здатності, що дозволяє чітко виводити високодеталізовані масиви навігаційних параметрів без надмірного навантаження на зір оператора під час тривалого використання приладу. Рішення інтегрувати дисплей саме із послідовним інтерфейсом SPI, а не з класичною паралельною шиною, безпосередньо продиктоване інженерною необхідністю радикальної економії апаратних виводів головного мікроконтролера. Такий схемотехнічний підхід суттєво спрощує загальне трасування друкованої плати, ефективно мінімізує ризик виникнення перехресних завад та залишає вільні канали для підключення додаткової сенсорної периферії, забезпечуючи при цьому цілком достатню пропускну здатність для плавного оновлення графічного інтерфейсу.

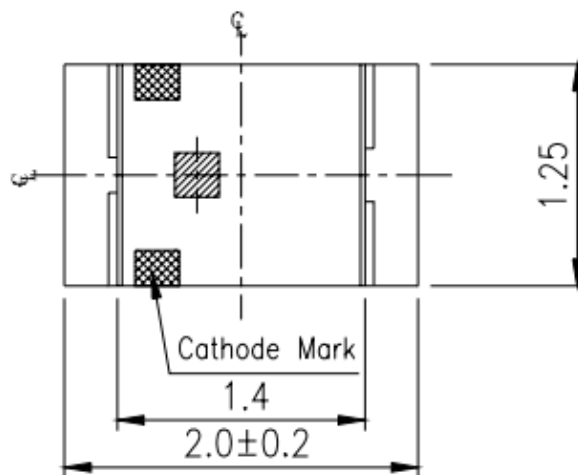


Рисунок 1.21 - Габаритні розміри SMD-світлодіода "Everlight"

Для забезпечення швидкого та інформативного базового візуального зворотного зв'язку з користувачем щодо поточного апаратного стану системи у загальну схему інтегровано напівпровідникові джерела світла у компактному виконанні для поверхневого монтажу від компанії "Everlight". Впровадження саме цих компонентів замість традиційних вивідних індикаторів продиктоване необхідністю максимальної економії вільного простору на друкованій платі в

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

умовах щільного компонування вузлів, а також підвищення загальної стійкості конструкції до вібраційних впливів під час експлуатації. Висока ефективність перетворення електричної енергії у світлове випромінювання при мінімальних робочих струмах робить ці світлодіоди ідеальним інженерним рішенням для портативної апаратури з автономним живленням. Вони дозволяють оператору без включення основного енергозатратного дисплея швидко та безпомилково відстежувати критичні процеси активності контролера заряду акумулятора, наявність стабілізованої напруги на цифровій логіці та статус успішної синхронізації радіочастотного модуля із супутниковими угрупованнями.



Рисунок 1.22 - Габаритні розміри надвисокочастотної SMD-індуктивності "Murata"

Для забезпечення прецизійного узгодження хвильового опору в чутливому радіочастотному тракті супутникової антени до складу загальної принципової схеми введено високочастотну чип-індуктивність для поверхневого монтажу від виробника "Murata". Впровадження цього вузькоспеціалізованого реактивного компонента є критично необхідним інженерним кроком для мінімізації неминучих втрат надвисокочастотного сигналу на шляху від антени до чутливих вхідних каскадів навігаційного модуля. Вибір на користь спеціалізованої продукції даного бренду логічно

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		36

зумовлений її видатною стабільністю номінальних параметрів у гігагерцовому діапазоні та здатністю ефективно фільтрувати паразитні гармоніки і сторонні електромагнітні наводки від сусідніх цифрових шин. Завдяки високому показнику добротності і вкрай низькому активному опору, дана котушка індуктивності сприяє суттєвому покращенню загального співвідношення сигнал/шум, що безпосередньо позитивно впливає на граничну чутливість приймача та швидкість первинного просторового позиціонування пристрою навіть у складних умовах експлуатації.

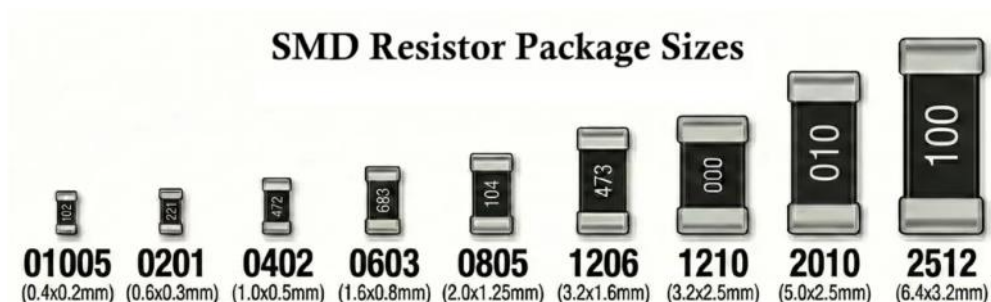


Рисунок 1.23 - Габаритні розміри SMD-резистора

Постійні SMD-резистори цього типу мають низку суттєвих технологічних переваг вони вирізняються надзвичайно компактними розмірами та ідеально адаптовані для автоматизованого поверхневого монтажу, характеризуються низькою вартістю та масовою поширеністю на сучасному ринку електронних компонентів, що значно полегшує їх застосування під час серійного виготовлення апаратури. Незважаючи на загальну простоту конструкції, такі базові пасивні компоненти гарантують стабільні електричні показники та високу надійність при тривалій експлуатації, що робить їх оптимальним інженерним вибором для розробки широкого спектра мікропроцесорних пристроїв, зокрема для організації надійних підтягуючих ланцюгів на цифрових шинах обміну даними та формування точних дільників напруги.

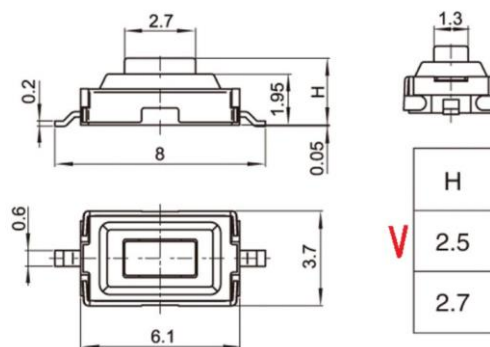


Рисунок 1.24 - Габаритні розміри тактової SMD-кнопки 6,2×3,6 мм

Тактові кнопки поверхневого монтажу цього типу мають низку важливих експлуатаційних та технологічних переваг вони надзвичайно компактні за розмірами, відзначаються чітким тактильним відгуком, що є важливим критерієм ергономіки та зручністю автоматизованого встановлення, що суттєво спрощує їх використання у мініатюрній портативній апаратурі. Попри простоту електромеханічної конструкції, вони забезпечують надійне замикання сигнальних ланцюгів із мінімальним перехідним опором та високим заявленим ресурсом циклів спрацьовування, що робить їх оптимальним вибором для побудови фізичного інтерфейсу керування мікроконтролером та зручної навігації по меню в умовах жорстко обмеженого простору на друкованій платі.

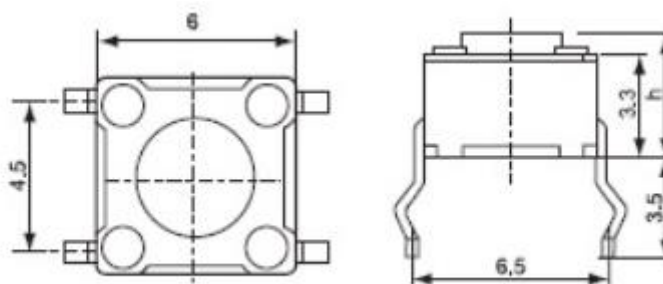


Рисунок 1.25 - Габаритні розміри вивідної тактової кнопки 6×6 мм

Вивідні тактові кнопки цього типу мають низку переваг вони характеризуються підвищеною механічною міцністю кріплення, відзначаються високою стійкістю до інтенсивних натискань та масовою доступністю на ринку, що спрощує їх використання у пристроях повсякденного вжитку. Завдяки класичному наскрізному монтажу їхні контактні виводи надійно впаюються крізь отвори друкованої плати, що ефективно розподіляє фізичне зусилля та запобігає відриву струмопровідних доріжок навіть при грубому натисканні. Попри простоту реалізації, вони забезпечують безвідмовну передачу керуючих сигналів із тривалим терміном експлуатації, формуючи чіткі логічні рівні для мікроконтролера, що робить їх оптимальним вибором для основних елементів взаємодії з користувачем, які піддаються постійним механічним навантаженням.

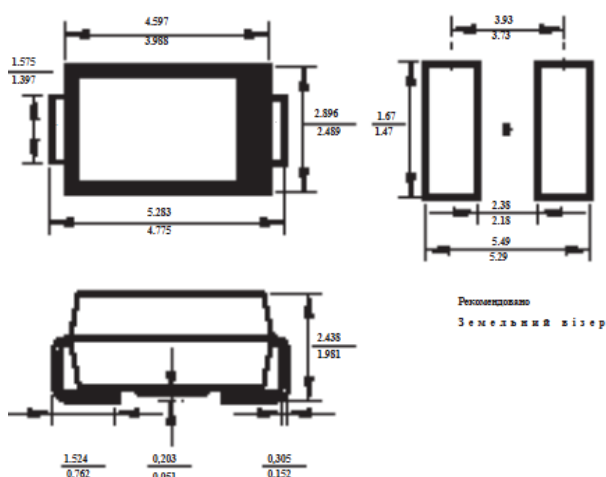


Рисунок 1.26 - Габаритні розміри діода Шотткі 1N5819

Для ефективної ізоляції контурів живлення та надійного блокування небажаних зворотних струмів у розробленій схемі застосовано випрямний діод з бар'єром Шотткі типу 1N5819. Вибір на користь цієї напівпровідникової структури продиктований жорсткою інженерною вимогою щодо мінімізації втрат енергії у портативній апаратурі, де кожен міліампер-година автономного джерела має вирішальне значення. Завдяки надзвичайно низькому прямому

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

падінню напруги, даний елемент дозволяє розв'язати шини без суттєвої просадки робочого потенціалу цифрової логіки. Це є особливо актуальним при спільному використанні кількох ліній живлення, забезпечуючи безперебійну роботу процесора без ризику хибних спрацьовувань детектора зниження напруги. Крім того, притаманна діодам Шотткі висока швидкість перемикання та практична відсутність ефекту накопичення неосновних носіїв заряду гарантують миттєве реагування на будь-які динамічні зміни в енергетичних ланцюгах пристрою, надійно захищаючи інтегральні мікросхеми від паразитних сплесків під час перекомутації.

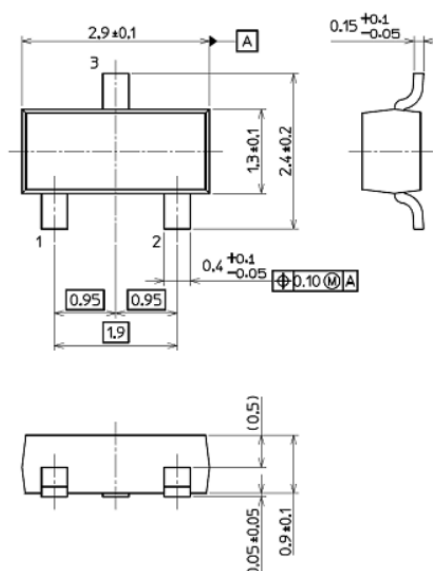


Рисунок 1.27 - Габаритні розміри MOSFET-транзистора AO3401F "Alpha & Omega"

У ролі головного виконавчого елемента для комутації потужних локальних навантажень впроваджено Р-канальний польовий транзистор AO3401F, виготовлений компанією "Alpha & Omega". Цей компонент у мініатюрному корпусі для поверхневого монтажу ідеально підходить для управління ресурсоемними периферійними модулями, дозволяючи системі повністю відключати їхнє живлення для максимального заощадження заряду

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

аккумулятора під час переходу в режим сну. Вибір на користь MOSFET-технології замість традиційних біполярних аналогів є фундаментально обґрунтованим рішенням для апаратури з автономним живленням. Оскільки такий напівпровідник керується виключно потенціалом електричного поля на затворі, він практично не споживає струму від керуючого виводу мікроконтролера, що радикально знижує загальне енергетичне навантаження на обчислювальне ядро. Крім того, завдяки надзвичайно низькому опору відкритого каналу, неминуче падіння напруги на самому ключі під час проходження робочого струму зводиться до абсолютного мінімуму. Застосування транзистора саме від цього виробника гарантує мінімальні втрати потужності під час широтно-імпульсної модуляції, дозволяючи ефективно комутувати значні струми без суттєвого виділення тепла. Такий стабільний температурний режим не лише запобігає локальному перегріву сусідніх чутливих компонентів на друкованій платі, але й суттєво підвищує загальний рівень апаратної надійності всього комплексу.

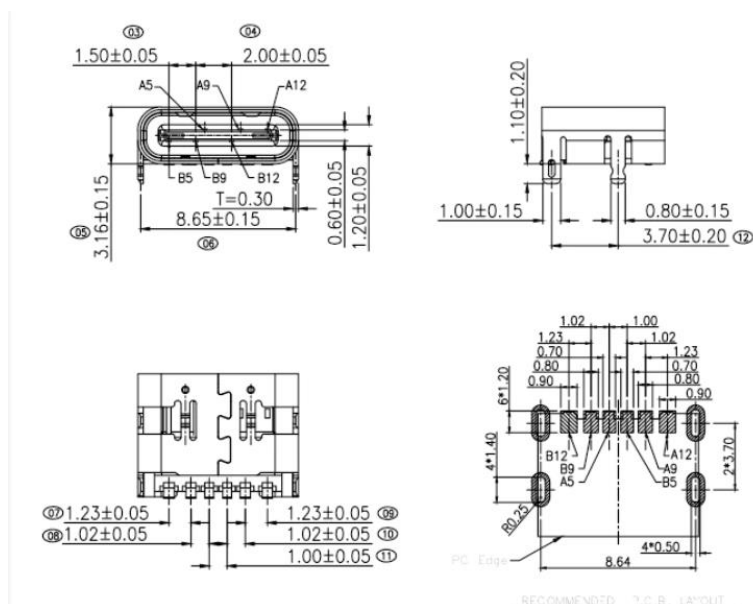


Рисунок 1.28 - Габаритні розміри роз'єма USB Type-C фірми LeT

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Для організації універсального інтерфейсу живлення та забезпечення процесу заряджання інтегрованого літій-іонного акумулятора у пристрої застосовано сучасний роз'єм стандарту USB Type-C. Беззаперечна відмова від застарілих форматів на користь даного конектора продиктована його високою експлуатаційною надійністю та ергономічною доцільністю для кінцевого користувача. Повністю симетрична просторова конструкція контактної групи виключає ризик механічного руйнування порту при спробі неправильного підключення кабелю, що є вкрай важливим показником для приладу, який може експлуатуватися у складних польових умовах. Крім того, посилений суцільнометалевий кожух та оптимізована геометрія струмопровідних ламелей дозволяють конектору безпечно пропускати значні струми без критичного нагрівання, що ідеально узгоджується з енергетичними вимогами вбудованого контролера заряду.

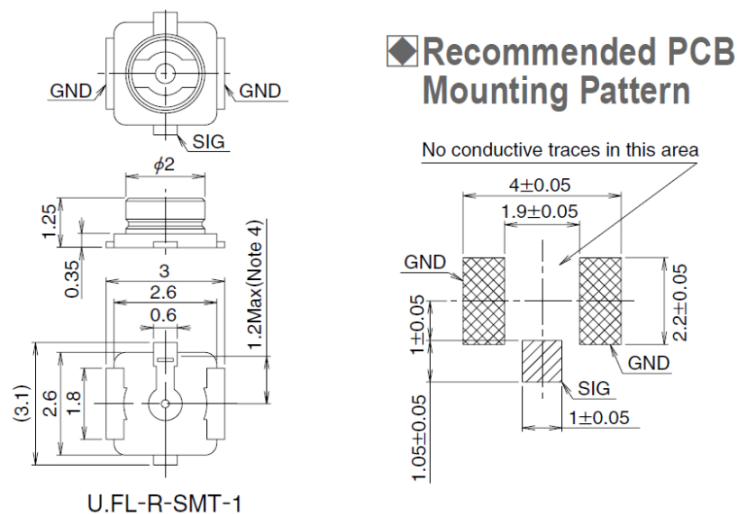


Рисунок 1.29 - Габаритні розміри мікрокоаксіального високочастотного роз'єму U.FL-R-SMT

Для організації надійного мікрохвильового тракту та сполучення супутникового приймача із зовнішньою активною антеною у схемі застосовано мікрокоаксіальний роз'єм стандарту U.FL-R-SMT. Цей компонент,

розрахований на автоматизований поверхневий монтаж, забезпечує оптимальне механічне та електричне з'єднання елементів магістралі без використання громіздких перехідників. Інтеграція саме цього типу конектора зумовлена жорсткими вимогами до мінімізації втрат радіосигналу у гігагерцовому діапазоні. Окрім того, його специфічна конструкція забезпечує високий рівень екранування контактної зони, що суттєво знижує ймовірність проникнення паразитних електромагнітних завад від сусідніх високочастотних цифрових шин. На відміну від масивних різьбових аналогів, застосування ультракомпактного конектора U.FL дозволяє радикально зекономити дефіцитний простір на друкованій платі, зберігаючи при цьому необхідні показники узгодження хвильового опору. Таке інженерне рішення гарантує стабільну передачу надзвичайно слабких сигналів від супутникових угруповань до чутливих вхідних каскадів навігаційного модуля без паразитного загасання та спотворень, що є критично важливим фактором для швидкого та точного просторового позиціонування навіть в умовах обмеженої видимості небосхилу.

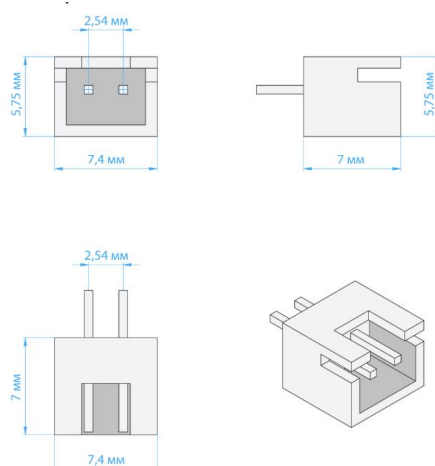


Рисунок 1.30 - Габаритні розміри поляризованого роз'єму живлення JST-
XH-2P

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

Для безпечної та конструктивно надійної інтеграції автономного джерела живлення літій-іонного акумулятора до загальної енергетичної магістралі пристрою застосовано спеціалізований поляризований конектор типу JST-XH-2P. Доцільність використання саме цього стандарту роз'ємного з'єднання замість прямого жорсткого впаювання провідників у плату пояснюється необхідністю забезпечення високої ремонтпридатності виробу та можливістю оперативної заміни батареї без залучення стаціонарного паяльного обладнання. Найважливішою конструктивною перевагою даного конектора є наявність спеціального асиметричного пластикового замка, який на механічному рівні повністю унеможливує помилкове підключення з порушенням полярності, що за інших умов могло б призвести до критичного пробою та миттєвого виходу з ладу всієї чутливої напівпровідникової бази. Крім того, інтегрований механізм фрикційної фіксації штекера у відповідному гнізді гарантує надійне утримання контактної пари навіть за умов інтенсивних вібраційних навантажень, що є невід'ємним фактором безпечної експлуатації портативної навігаційної апаратури.

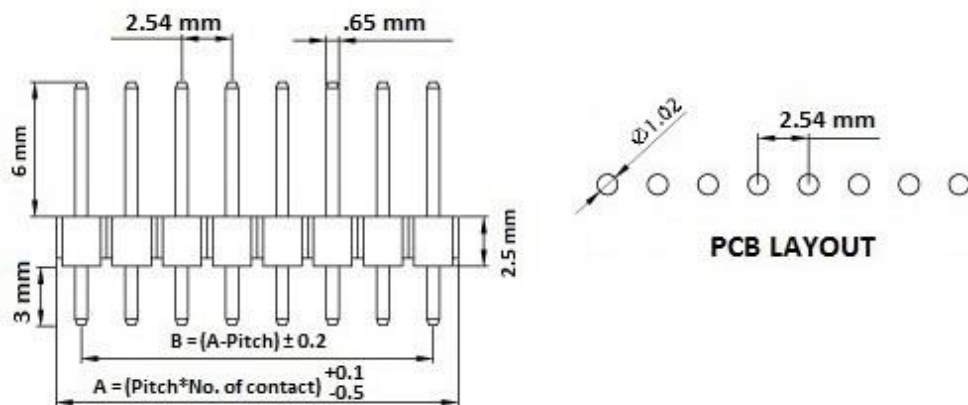


Рисунок 1.31 - Габаритні розміри однорядного штирового конектора

Для забезпечення прямого апаратного доступу до сервісних інтерфейсів мікроконтролера та реалізації можливості внутрішньосхемного оновлення мікропрограмного забезпечення прошивки у схемі застосовано стандартний однорядний штировий конектор для наскрізного монтажу з кроком 2,54 мм.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Використання саме такого відкритого типу роз'ємного з'єднання є оптимальним інженерним рішенням для налагоджувальних та сервісних цілей. Він гарантує надійний електричний контакт при підключенні зовнішніх програматорів або USB-UART конвертерів, мінімізуючи при цьому займану площу на друкованій платі. Попри загальну простоту електромеханічної конструкції, даний роз'єм характеризується високою стійкістю до багаторазових циклів підключення, що є критично важливим на етапі активного тестування програмного коду та калібрування навігаційної системи.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Фізичні габарити друкованої плати розраховувалися на основі загальної кількості радіодеталей, типів їхніх корпусів та обраної технології монтажу. Оскільки цифрова система навігації є переносним приладом, головним завданням стало забезпечення максимальної щільності компоновки. Під час проєктування витримано необхідні ізоляційні відстані між чутливим радіотрактом, швидкісними шинами даних та силовими лініями для уникнення електромагнітних завад. Крім того, враховано ергономіку розташування елементів керування, слота для карти пам'яті та посадкового місця під розпайку дисплея.

Оптимальним варіантом контуру плати обрано класичний прямокутник. Такий формат є найбільш раціональним для серійного виробництва та автоматизованого поверхневого монтажу. Проста геометрична форма без складних внутрішніх вирізів чи нестандартних виступів значно полегшує фрезерування текстоліту, знижує загальну вартість виготовлення та гарантує зручну фіксацію готового електронного вузла в корпусі пристрою.

На основній друкованій платі безпосередньо розміщуються центральний мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 з елементами

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		45

обв'язки, супутниковий приймач M216Z-D80B, цифровий триосьовий магнітометр QMC5883L-TR, лінійний стабілізатор напруги MCP1826S-3302E, контролер заряду акумулятора TP4056, комутаційні MOSFET-ключі AO3401F, випрямні діоди Шотткі та пасивні SMD-компоненти. Крім того, на платі монтуються тактові кнопки інтерфейсу користувача, слот для карти пам'яті MicroSD та інтерфейсні роз'єми для підключення кольорового графічного TFT-дисплея з діагоналлю 4,0 дюйма. Таке інтегроване компонування дозволяє об'єднати всі ключові вузли системи в межах єдиного компактного друкованого вузла без використання громіздких міжплатних шлейфів.

Габаритні розміри ДП на початковому етапі проєктування жорстко не задавалися, а оптимізувалися з огляду на ергономіку портативного приладу. Їх остаточне значення було визначено після розміщення всіх апаратних модулів та трасування електричних з'єднань у середовищі САПР. Нижня межа площі плати обмежувалася конструктивними розмірами 4,0-дюймового дисплея та площею, необхідною для розведення високочастотного радіотракту антени, обчислювального центра та контурів захисту живлення. Під час компонування ДП враховувалися такі топологічні вимоги.

Мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 доцільно розміщувати ближче до центральної частини плати. Це дозволяє оптимізувати довжину сигнальних провідників високошвидкісних шин SPI до дисплея і карти пам'яті, а також цифрових інтерфейсів I2C та UART до магнітометра і супутникового приймача.

Елементи обв'язки, зокрема фільтруючі та блокувальні керамічні конденсатори, підтягувальні SMD-резистори, а також високодобротна чип-індуктивність Murata в радіочастотному тракту, розміщуються максимально близько до відповідних виводів інтегральних мікросхем та роз'єму антени U.FL. Таке компонування забезпечує стабільну роботу цифрової та радіочастотної частин пристрою та мінімізує вплив паразитних наведень і шумів.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		46

Вузол живлення та комутації, до складу якого входять контролер заряду TP4056, LDO-стабілізатор MCP1826S та польовий транзистор AO3401F, розташовується поблизу вхідного поляризованого роз'єму JST-XH-2P. Це дозволяє мінімізувати довжину силових провідників, знизити рівень імпульсних завад по шинах живлення і забезпечити стабільність напруги 3,3 В для всієї системи.

Конектори та органи керування, зокрема 1x5 штировий роз'єм для прошивки, мікрокоаксіальний роз'єм U.FL-R-SMT та тактові кнопки, розташовуються переважно по краях ДП. Це забезпечує зручність підключення зовнішніх елементів, спрощує сервісне обслуговування пристрою та оптимізує доступ до інтерфейсів через прорізи в корпусі.

За результатами фінального компоунання, трасування та узгодження з геометрією пристрою, приймаються габаритні розміри ДП 254 × 80 мм, при цьому максимальна висота профілю плати з урахуванням змонтованих елементів та дисплея не перевищує 20 мм загальні габарити конструктивного вузла становлять 254 × 80 × 20 мм. Така площа забезпечує вільне розведення всіх провідників без надмірного ущільнення друкованого рисунка, що гарантує надійність виготовлення плати в межах стандартних класів точності.

Для надійної та жорсткої фіксації ДП у корпусі передбачаються монтажні отвори, розташовані поблизу кутів та вздовж довгих сторін плати, що зумовлено її лінійною протяжністю. Їх розміщення виконується з дотриманням технологічних відступів від краю ДП, щоб кріпильні елементи не перетиналися з друкованими провідниками, полігонами заземлення та контактними площадками. Спеціальні складні вирізи або пази в платі не передбачаються, що додатково спрощує технологічний процес виготовлення.

1.5.2 Розрахунок надійності проектного виробу

Під час розробки електронних пристроїв обов'язковим етапом є оцінка їхньої надійності здатності зберігати працездатність протягом заданого часу в

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		47

установлених умовах. Для портативної навігаційної системи цей параметр є критичним, оскільки пристрій розрахований на автономну роботу і повинен безвідмовно обчислювати координати, отримувати дані із супутників та виводити картографічну інформацію.

Розрахунок надійності виконується за елементною базою пристрою. Вважається, що всі компоненти з'єднані послідовно з точки зору надійності, тобто відмова будь-якого основного елемента неминуче призведе до порушення роботи всього навігаційного приладу. Інтенсивність відмов у розрахунковій таблиці приймається за довідковими значеннями для нормальних умов експлуатації.

Розрахунок сумарної інтенсивності відмов проводиться за формулою де:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i, \quad (1.5)$$

N_i — кількість груп однотипних елементів у схемі;

λ_i — базова експлуатаційна інтенсивність відмов, 10⁻⁶/год;

λ_{Σ} — кількість елементів типу в пристрої

Таблиця 1.1 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

Група елементів	Кількість	$N_i \cdot \lambda_i$
Мікроконтролерний модуль	1	0,15
Навігаційний приймач	1	0,2
Магнітометр	1	0,1
Дисплей TFT 4.0"	1	0,5
Стабілізатор напруги	1	0,05
Контролер заряду	1	0,05
Мікросхема захисту	1	0,05
Транзисторна збірка	1	0,05
Польовий транзистор	1	0,03
Діод Шотткі	1	0,02
Світлодіоди SMD	3	0,06
Резистори SMD	26	0,13
Конденсатори керамічні	14	0,14
Іоністор	1	0,05

Конденсатор електrolітичний	1	0,05
Індуктивність SMD	1	0,02
Тактові кнопки	5	0,5
Конектори та роз'єми	4	0,2
Паяні з'єднання	200	0,2
Всього		2,55

За результатами обчислень, загальна інтенсивність відмов спроектованого приладу дорівнює:

$$\lambda_{\Sigma} = 2,55 \cdot 10^{-6} \text{1/год,}$$

Розрахунок середнього часу наробітку на відмову виконується за виразом:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 392156 \text{ год,} \quad (1.6)$$

Відповідно, отримане значення середнього часу наробітку на відмову для даного пристрою складає 392156 год.

Імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу обчислюється так:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t} \quad (1.7)$$

Для часу роботи $t = 1000$ год: $P(1000) = 0,997$.

Для часу роботи $t = 5000$ год: $P(5000) = 0,987$.

Для часу роботи $t = 10000$ год: $P(10000) = 0,975$.

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Під час проектування друкованої плати портативної навігаційної системи параметри монтажу розраховувалися з огляду на габаритні обмеження, обрану елементну базу та умови польової експлуатації приладу.

Для виготовлення плати обрано двосторонню конструкцію 3-го класу точності. Це забезпечує необхідну щільність компонування мікроконтролера та радіомодулів і дозволяє виконати трасування без використання дорогих високоточних технологій.

Матеріалом основи слугує перевірений часом двосторонній фольгований склотекстоліт марки FR-4 товщина 1,5 мм, шар міді 35 мкм. Він відзначається високою механічною міцністю, стійкістю до вібрацій та низьким показником вологопоглинання.

Для сигнальних ліній мінімальна ширина провідників становить 0,25 мм, що повністю відповідає 3-му класу точності. Ширина шин живлення та ланцюгів заземлення збільшена від 0,6 мм і більше для мінімізації падіння напруги та забезпечення стабільного струмового навантаження від літійового акумулятора.

Мінімальний зазор кліренс між струмопровідними елементами становить 0,25 мм. Оскільки цифрова логіка пристрою працює від напруги 3,3 В, а вхідна лінія заряду обмежена 5 В такий проміжок гарантує абсолютну електричну надійність та відсутність пробойів.

Для наскрізного монтажу інтерфейсних роз'ємів та конекторів живлення передбачені отвори діаметром 1,1 мм із контактними площадками 2,0 мм. Для окремих вивідних елементів діаметр отворів становить 0,9 мм площадки 1,8 мм. Міжшарові перехідні отвори виконані діаметром 0,7 мм із площадками 1,6 мм, що гарантує цілісність металізації.

Оскільки схема базується переважно на технології поверхневого монтажу SMD з частковим використанням ТНТ-компонентів, усі посадкові

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		50

місця footprints сформовані у середовищі САПР Altium Designer у суворій відповідності до технічних специфікацій виробників.

Таблиця 1.2 - Прийняті параметри друкованого монтажу

Параметр	Прийняте значення
Тип ДП	двостороння
Клас точності ДП	3-й
Метод виготовлення	комбінований позитивний
Матеріал основи	СФ-2-35 / FR-4
Товщина основи ДП	1,5 мм
Товщина мідної фольги	35 мкм
Ширина провідників кіл живлення та заземлення	0,6 мм
Мінімальна ширина сигнальних провідників	0,25 мм
Діаметр монтажного отвору для конекторів	1,1 мм
Діаметр монтажного отвору для окремих вивідних елементів	0,9 мм
Діаметр перехідного отвору	0,7 мм
Діаметр КП для отвору 1,1 мм	2,0 мм
Діаметр КП для отвору 0,9 мм	1,8 мм
Діаметр КП для перехідного отвору 0,7 мм	1,6 мм
Мінімальна відстань між провідниками	0,25 мм
Мінімальна відстань між КП і провідником	0,25 мм
Мінімальна відстань між двома КП	0,25 мм
Мінімальна відстань від краю ДП до провідного рисунка	1,0 мм

1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Для портативної мікроконтролерної системи навігації використовується двостороння друкована плата, виготовлена на основі фольгованого склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм із товщиною мідної фольги 35 мкм. Цей матеріал відзначається високою механічною міцністю, відмінними діелектричними властивостями, стійкістю до температурних навантажень під час паяння та низьким рівнем вологопоглинання. Такі характеристики є критично важливими для навігаційного приладу, призначеного для автономної експлуатації в польових умовах із можливими різкими перепадами температур та впливом атмосферної вологи.

Друкована плата спроектована у двосторонньому виконанні, оскільки схема щільно інтегрує обчислювальне ядро ESP32-S3, супутниковий приймач, магнітометр, багаторівневий вузол живлення та роз'єми для підключення TFT-дисплея. Наявність двох провідникових шарів дозволяє раціонально скомпонувати електронні компоненти, мінімізувати довжину високочастотних сигнальних ліній, оптимізувати трасування цифрових шин та уникнути використання небажаних дровових перемичок. Перехід між шарами реалізується через металізовані перехідні отвори.

Виготовлення друкованої плати починається з підготовки заготовки з фольгованого склотекстоліту, яка розкрояється відповідно до затверджених габаритних розмірів 254×80 мм. Її поверхня ретельно очищується від механічних забруднень, оксидної плівки та жирових слідів, оскільки якість підготовки поверхні безпосередньо впливає на точність формування провідникового рисунка та результати хімічного травлення.

Перенесення топології провідників на мідну поверхню плати здійснюється фотохімічним методом. На фольгу наноситься шар світлочутливого фоторезисту, після чого через підготовлений фотошаблон виконується експонування рисунка. У процесі проявлення на платі фіксуються захищені ділянки, які формують майбутні сигнальні лінії та полігони.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		52

Наступним технологічним етапом є хімічне травлення. Незахищені ділянки мідної фольги розчиняються, залишаючи на текстоліті виключно необхідні друковані провідники, контактні площадки та інші елементи топології. Після травлення залишки захисного шару фоторезисту видаляються, а плата ретельно промивається та висушується.

Далі виконується свердління монтажних і перехідних отворів. Для встановлення конекторів живлення, роз'ємів дисплея та вивідних кнопок формуються отвори відповідних діаметрів. З метою забезпечення надійного електричного контакту між верхнім та нижнім шарами плати всі перехідні отвори підлягають обов'язковій хіміко-гальванічній металізації.

Поверх сформованих провідників наноситься захисна паяльна маска. Вона ізолює мідні доріжки від окиснення, запобігає виникненню випадкових коротких замикань припоем та захищає плату від зовнішніх механічних пошкоджень. Відкритими залишаються виключно контактні площадки, призначені для паяння. Для даного навігатора це має принципове значення, оскільки у схемі застосовуються мініатюрні SMD-компоненти, мікросхеми з малим кроком виводів та щільна обв'язка мікроконтролера.

На завершальній стадії наноситься маркування. На поверхні плати фіксуються позиційні позначення елементів, вказується полярність діодів і електролітичних конденсаторів, нумерація роз'ємів та службові написи. Маркування критично спрощує складальні операції, візуальний контроль та сервісне обслуговування друкованого вузла.

Готова плата обов'язково проходить контроль якості. Перевіряється дотримання геометричних допусків, цілісність провідникового рисунка, відсутність мікрозамикань між сусідніми провідниками та якість металізації отворів. Особлива увага під час тестування приділяється цілісності високочастотного радіотракту антени, лініям швидкісних шин SPI/I2C та силовим колам керування літій-іонним акумулятором.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		53

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було виконано аналіз технічного завдання на розробку портативної мікроконтролерної системи навігації. Визначено основні технічні характеристики пристрою, його призначення, умови польової експлуатації та функціональні можливості. Встановлено, що розроблювана система повинна забезпечувати точне обчислення географічних координат, апаратне визначення магнітного азимута, локальну візуалізацію даних на екрані та тривалу автономну роботу від акумулятора.

Розроблено структурну схему пристрою та описано взаємодію основних функціональних вузлів. Центральним елементом системи є мікроконтролерний блок ESP32-S3, який здійснює обробку даних із супутникового приймача та магнітометра, керування підсистемою живлення та виведення інформації на дисплей. Така структура дозволяє реалізувати швидкодіючий інтерфейс та забезпечити зручність користування портативним приладом.

Проведено опис електричної принципової схеми, розглянуто роботу вузлів живлення та захисту акумулятора, мікроконтролерного керування, індикації, радіочастотного прийому та цифрового компаса. Виконано розрахунок окремих вузлів схеми, зокрема лінійного стабілізатора напруги та струмів заряду, що підтвердило доцільність використання вибраних компонентів у складі пристрою.

Також здійснено вибір і обґрунтування компонентної бази. Для реалізації пристрою обрано сучасні та енергоефективні SMD-компоненти, які забезпечують необхідну продуктивність, технологічність виготовлення та можливість подальшого обслуговування. Розглянуто компоновання друкованого вузла, визначено основні параметри друкованого монтажу (3-й клас точності) та прийнято конструктивні рішення, що забезпечують компактність плати, мінімізацію наведень у радіотракті та зручність підключення дисплея.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		54

2. Спеціальна частина

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання

Для розробки портативної мікроконтролерної системи навігації виникає потреба у застосуванні сучасних систем автоматизованого проектування, що охоплюють електронну та конструкторську складові розробки. Їх впровадження підвищує точність робіт, мінімізує імовірність апаратних помилок і полегшує формування технічної документації.

Проектування друкованої плати у цій роботі здійснюється за допомогою програмного комплексу Altium Designer. Ця САПР є одним із найпоширеніших інструментів для топологічного трасування та конструювання електронної апаратури різного рівня складності.

Робота в середовищі Altium Designer дає змогу раціонально розмістити елементну базу на платі, виконати розведення електричних ланцюгів, а також автоматично перевірити коректність з'єднань і відсутність топологічних порушень (DRC-контроль). Програма гарантує гнучке редагування плати, оперативну зміну компонування та точний контроль розмірів провідників і контактних площадок.

Важливою перевагою Altium Designer виступає функція 3D-візуалізації процесу трасування, що сприяє максимально щільному розташуванню компонентів. Для портативного навігаційного приладу це відіграє ключову роль, дозволяючи мінімізувати габарити корпусу, полегшити складальний монтаж і забезпечити стабільну роботу апаратури.

Підготовка креслень у межах роботи реалізується у графічному середовищі AutoCAD. Ця система орієнтована на виконання точних технічних креслень і є базовим інструментом при випуску конструкторської документації.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		55

За допомогою AutoCAD розробляються схема електрична принципова, креслення самої друкованої плати та складальне креслення готового вузла. Програмний пакет допомагає оформлювати всі графічні документи у суворій відповідності до чинних нормативних стандартів.

Сильною стороною AutoCAD є підтримка графічних побудов будь-якої складності з чітким дотриманням заданих масштабів, розмірних ліній та умовних позначень. Крім того, інструментарій системи забезпечує швидке коригування креслень, що полегшує внесення правок на будь-якій стадії розробки.

Спільне використання Altium Designer та AutoCAD дає змогу об'єднати алгоритми якісного трасування плат із підготовкою повного набору технічних документів в єдиний цикл. Це суттєво підвищує продуктивність проектування та гарантує отримання всіх графічних матеріалів, необхідних для фізичного виготовлення пристрою і захисту кваліфікаційної роботи.

2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.

Одним із найважливіших і невід'ємних етапів підготовки до безпосереднього трасування друкованої плати є процес створення спеціалізованої бібліотеки електронних компонентів, який у даній кваліфікаційній роботі виконувався з використанням широкого інструментарію програмного середовища Altium Designer. Для забезпечення повної відповідності обраної сучасної елементної бази вимогам розроблюваної портативної системи навігації, було проведено комплекс робіт зі створення нових, а також глибокого редагування існуючих стандартних умовних графічних позначень. Крім того, були ретельно спроектовані відповідні посадкові місця для кожного елемента, що супроводжувалося встановленням жорстких логічних та фізичних зв'язків між схемними символами на принциповій електричній схемі та їхніми топологічними відображеннями.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		56

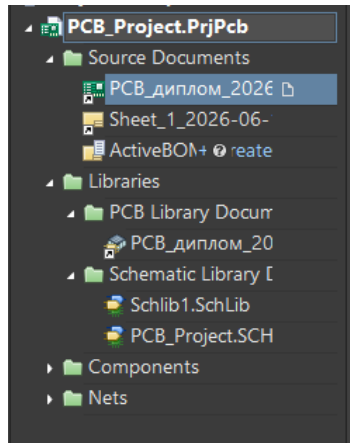


Рисунок 2.1 - Структура проекту цифрової системи навігації

У складі розроблюваного проекту було використано спеціалізовані бібліотеки схемних символів та відповідних їм посадкових місць, які є критично необхідними для подальшого безпомилкового створення електричної принципової схеми та наступного трасування друкованої плати. Зазначені бібліотечні елементи створювалися з суворим урахуванням фактичної сучасної елементної бази портативного навігаційного пристрою. Зокрема, до інтегрованої бібліотеки було внесено такі ключові компоненти, як обчислювальний мікроконтролерний модуль ESP32-S3, високоточний супутниковий приймач NEO-M10, цифровий магнітометр, мікросхеми контролера заряду та захисту літій-іонного акумулятора, різноманітні пасивні SMD-компоненти обв'язки, елементи індикації, а також комутаційні роз'єми для підключення дисплея типу TFT та іншої периферії.

Під час безпосереднього створення умовних графічних позначень для кожного окремого радіоелемента особлива і прискіплива увага приділялася максимально точній та правильній нумерації виводів, коректному призначенню їхніх назв, а також чіткому визначенню їхніх специфічних електричних типів відповідно до офіційної технічної документації від заводів-виробників.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		57

Для складних інтегральних мікросхем та навігаційних модулів були чітко задані та розмежовані виводи силового живлення, сигнальні входи та виходи, швидкісні лінії цифрових інтерфейсів передачі даних таких як I2C, SPI, UART та спеціальні службові сигнали керування.

Таблиця 2.1 - Перелік компонентів бібліотеки

Назва компонента	Назва посадкового місця	Тип елемента	Позиційне позначення
TP4056	SOP-8 / ESOP-8 відповідно до корпусу	Normal	DA1
DW01S	SOT-23-6	Normal	DA2
FS8205A	SOP-8 / TSSOP-8 відповідно до корпусу	Normal	DA3
ESP32-S3-WROOM-1	ESP32-S3-WROOM-1 Module	Normal	DD1
M216Z-D80B	GNSS_Module_M216Z-D80B	Normal	DD2
MCP1826S-3302E	SOT-223	Normal	DD3
QMC5883L-TR	QFN/LGA відповідно до корпусу	Normal	DD4
TFT Display 4.0" ILI9486 SPI	TFT_ILI9486_Module	Normal	HG1
LED-SMD Green 0805	LED_0805	Normal	HL1, HL2
LED-SMD RED 0805	LED_0805	Normal	HL3
Inductor-SMD 0402	L_0402	Normal	L1

Продовження таблиці 2.1

RES-0805	R_0805	Normal	R1–R5, R7–R25
RES-0603	R_0603	Normal	R6
MLCC 0603	C_0603	Normal	C3, C6, C7
MLCC 0805	C_0805	Normal	C1, C2, C4, C5, C8–C12
ALU-ELEC 25V 470uF	CAP_ELEC_RADIAL / SMD відповідно до моделі	Normal	C14
Supercapacitor 3.3V 0.22F	SUPERCAP_SMD	Normal	C13
KEY-SMD 6.2×3.6	KEY_SMD_6.2x3.6	Normal	SA1, SA5
KEY-TH 6×6	KEY_TH_6x6	Normal	SA2–SA4
1N5819	DIODE_SMD відповідно до корпусу	Normal	VD1
AO3401F	SOT-23	Normal	VT1
USB Type-C	USB_TYPE_C_SMD	Normal	XS1
U.FL-R-SMT	UFL_R_SMT	Normal	XS2
X2.54-5P	CONN_2.54_5P	Normal	XP1
JST-XH-2P	JST_XH_2P	Normal	XP2
+3.3V	-	Power	PWR
VBAT	-	Power	PWR
GND	-	Power	GND

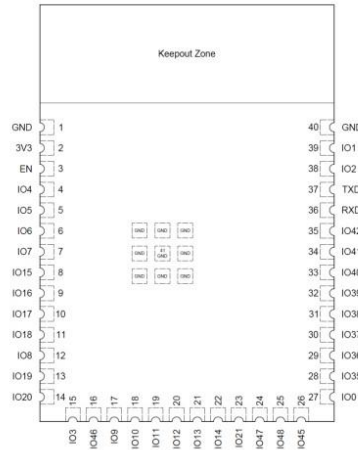


Рисунок 2.2 –Вигляд та розміри модуля ESP32-S3-WROOM-1

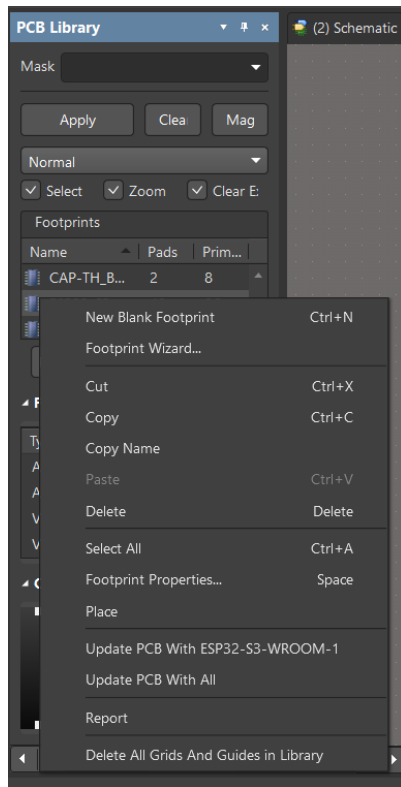


Рисунок 2.3 – Створення нового компонента в бібліотеці посадкових місць

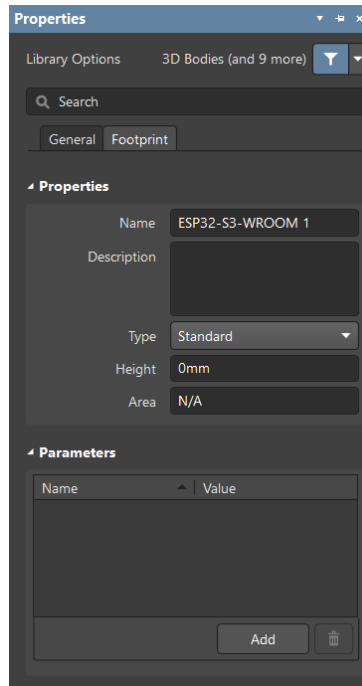


Рисунок 2.4 – Вікно з параметрами компонента в бібліотеці посадкових місць

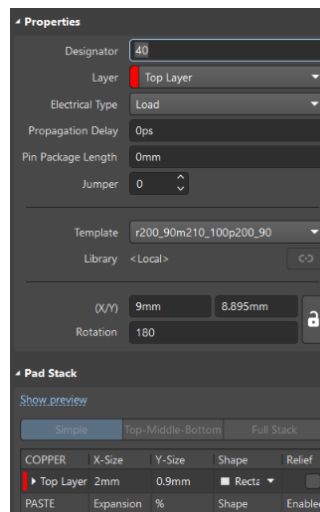


Рисунок 2.5 – Вікно властивостей контактної площадки при створенні посадочного місця компонента

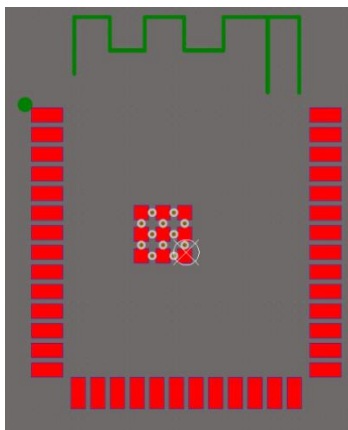


Рисунок 2.6 – Розміщення контактних площадок посадкового місця

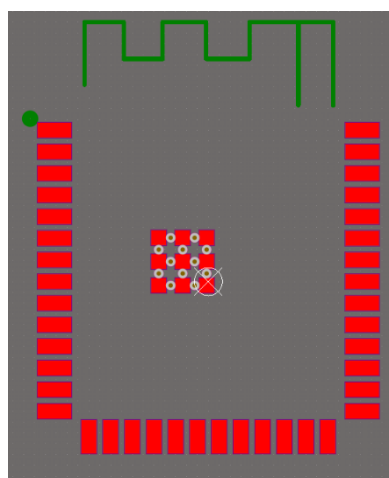


Рисунок 2.7 – Створення шовкографії посадкового місця

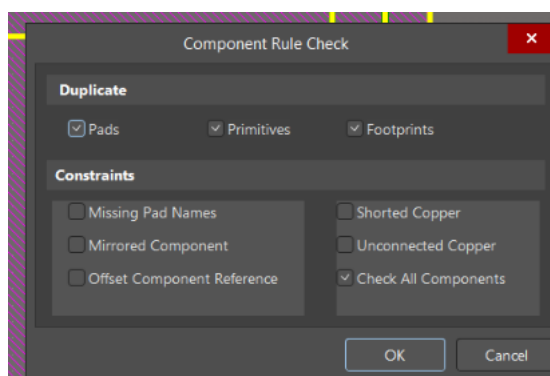


Рисунок 2.8 – Вікно перевірки посадкового місця компонента

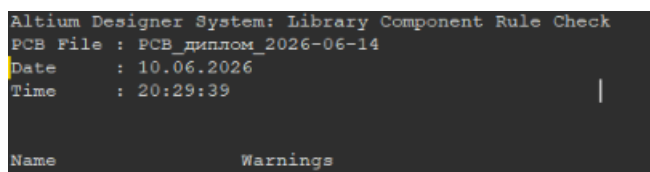


Рисунок 2.9 – Результати перевірки посадкового місця компонента

Після успішного завершення створення умовних графічних позначень і відповідних їм посадкових місць було виконано критично важливу процедуру упаковки виводів електронних компонентів. Для кожного окремого бібліотечного елемента було жорстко прив'язано відповідне топологічне посадкове місце, ретельно перевірено загальну кількість контактів, коректність нумерації виводів і повну фізичну відповідність розробленої footprint-моделі її схемному символу.

Наступним логічним етапом проектування стало безпосереднє створення електричної принципової схеми портативної системи навігації у спеціалізованому редакторі Schematic програмного середовища Altium Designer. Для побудови даної схеми використовувались інтегровані бібліотечні компоненти, створені та перевірені у попередньому підрозділі. На робочому полі схеми раціонально розміщено центральний мікроконтролерний обчислювальний вузол, підсистему автономного живлення із контролем заряду акумулятора, супутниковий приймач, цифровий магнітометр, елементи керування, а також схему безпосереднього підключення TFT-дисплея.

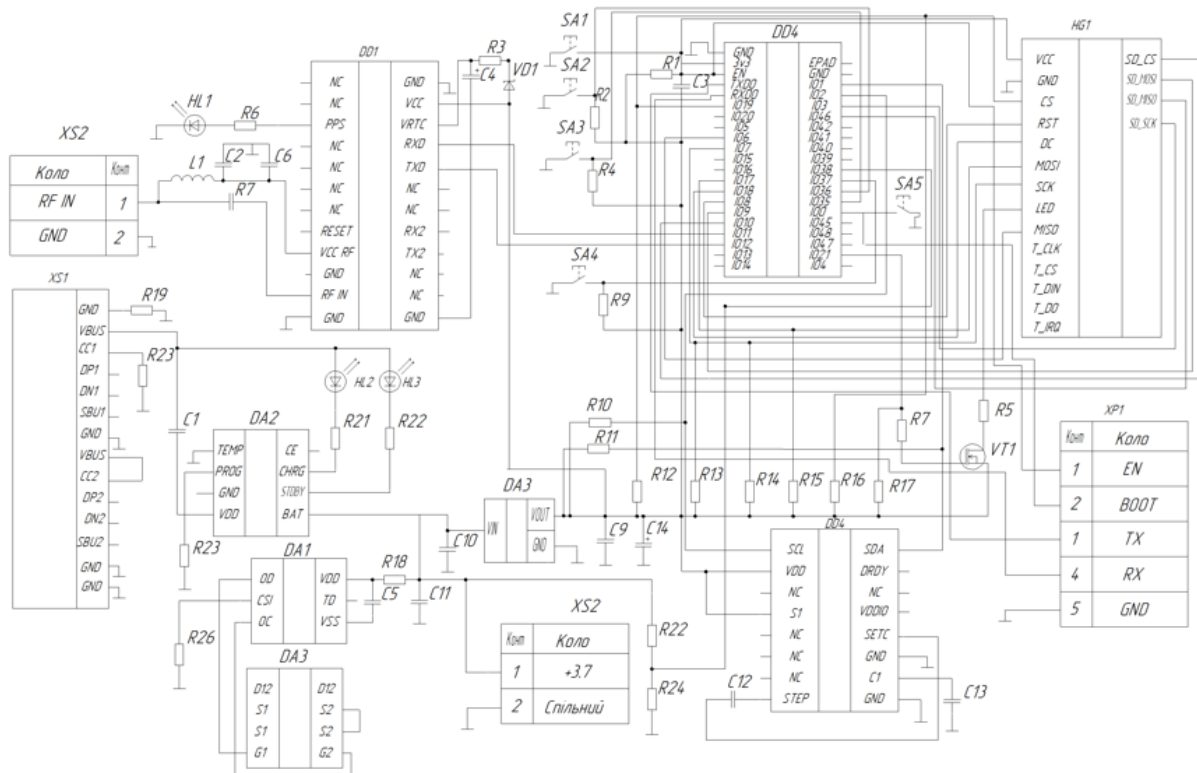


Рисунок 2.10 - Загальний вигляд електричної принципової схеми

Після формування принципової схеми проєкт пройшов автоматизовану перевірку на дотримання електричних правил. Цей крок дав змогу знайти та виправити недоліки у підключенні ліній живлення, призначенні контактів та загальній схемотехніці. Успішні результати тестування підтвердили готовність документації до перенесення в топологічний редактор.

На наступній стадії розробки базу компонентів було експортовано у середовище проєктування друкованих плат Altium Designer. Тут задавалися фізичні межі пристрою, здійснювалося позиціонування деталей, налаштовувалися технологічні обмеження та виконувалося безпосереднє розведення доріжок.

Компоненти розташовували з огляду на логіку їхньої роботи та необхідність мінімізації довжини сигнальних ліній. Мікроконтролерний модуль разом із базовою обв'язкою зайняв центральну зону плати. Підсистему живлення, приймач супутникових сигналів, магнітометр та матрицю екрана згруповано так, щоб максимально спростити трасування і процес подальшої пайки.

Топологічне розведення реалізовано у двох шарах. Лицьовий бік задіяно переважно для монтажу поверхневих елементів, фіксації дисплея та прокладання основних сигнальних маршрутів. Зворотний шар слугує для допоміжних з'єднань, обходу перешкод і формування силових контурів. Електричний контакт між шарами забезпечується через систему металізованих отворів.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		64

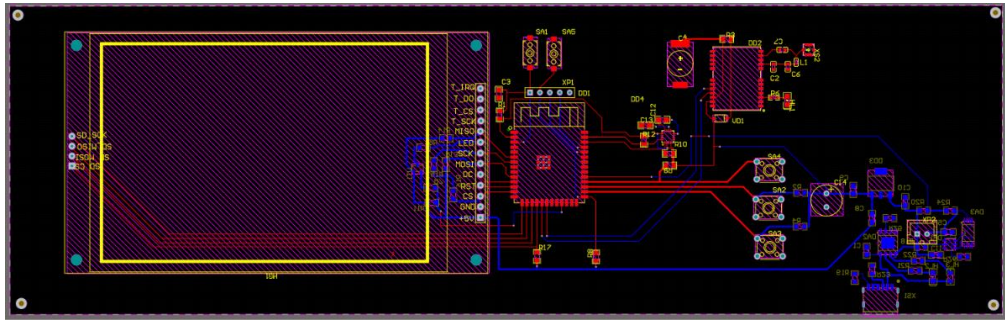


Рисунок 2.11 – Результат трасування друкованої плати у Altium Designer

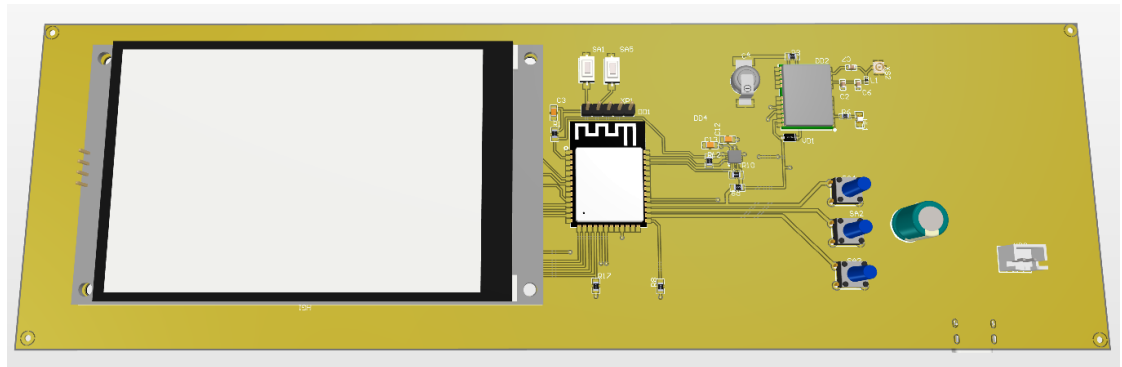


Рисунок 2.12 – 3Д вигляд друкованої плати у Altium Designer

2.3 Висновок до розділу 2

Другий розділ присвячено обґрунтуванню вибору програмного забезпечення для розробки апаратної частини портативної системи навігації. Основним інструментом моделювання стало середовище Altium Designer, можливості якого дозволили реалізувати весь спектр інженерних завдань від підготовки схемотехніки та трасування провідників до фінального аналізу проєктних обмежень і генерації об'ємної моделі.

Під час проєктування було сформовано персональну базу радіоелементів, де для кожного компонента визначено графічний символ, топологічне посадкове місце та логічні зв'язки між ними. Побудована принципова схема пройшла автоматизований контроль на дотримання електричних правил, що гарантувало коректність комутації сигнальних ліній та шин розподілу енергії.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		65

Заключна стадія розробки полягала у двошаровому розведенні доріжок та просторовому позиціонуванні елементів. Елементну базу групували з огляду на захист від перешкод, мінімальну протяжність зв'язків та зручність наступного ручного чи автоматичного складання. Отримана тривимірна модель підтвердила фізичну сумісність інтегрованих модулів і стала основою для підготовки конструкторських креслень.

У підсумку, у межах цього розділу повністю завершено комп'ютерне конструювання електронного вузла навігатора. Отримані результати підтвердили доцільність та високу ефективність використання обраного програмного забезпечення для реалізації таких проєктів.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		66

3 Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

3.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек під час експлуатації цифрової системи навігації

Цифрова система навігації є портативним електронним пристроєм, який використовується для визначення координат, орієнтування за напрямком руху, відображення інформації на TFT-дисплеї та запису навігаційних даних на карту пам'яті. До складу пристрою входять мікроконтролер ESP32-S3, GNSS-модуль M216Z-D80B, цифровий магнітометр QMC5883L-TR, TFT-дисплей ІІІ9486, вузол заряду Li-Ion акумулятора на TP4056, захист акумулятора на DW01S та FS8205A, стабілізатор напруги MCP1826S-3302E, кнопки керування, USB Type-C і антенний роз'єм U.FL.

Особливість такого пристрою полягає в тому, що його відмова впливає не тільки на працездатність електронної схеми, але й на дії користувача. Якщо навігатор неправильно визначає координати, втрачає сигнал, вимикається через розряд акумулятора або показує некоректний напрямок, користувач може прийняти помилкове рішення щодо подальшого руху. Тому для даного дипломного проекту доцільно розглядати ризик як кількісну оцінку небезпек, що виникають під час експлуатації цифрової системи навігації.

У безпеці життєдіяльності ризик розглядають як поєднання ймовірності виникнення небезпечної події та тяжкості її наслідків [1], [2]. Такий підхід дозволяє не обмежуватися загальним переліком небезпечних факторів, а встановити, які з них найбільше впливають на безпечність використання пристрою.

Для оцінки ризику використано залежність:

де R — рівень ризику;

P — імовірність виникнення небезпечної події;

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		67

S — тяжкість можливих наслідків.

Для практичної оцінки приймаємо п'ятибальну шкалу. Імовірність P оцінюється від 1 до 5, де 1 — малоімовірна подія, а 5 — подія, яка може виникати часто. Тяжкість наслідків S також оцінюється від 1 до 5, де 1 — незначний вплив на роботу пристрою, а 5 — критичний наслідок для користувача або електронного вузла. За добутком P та S визначається загальний рівень ризику.

Таблиця 3.1 – Шкала оцінювання рівня ризику

Значення R	Рівень ризику	Характеристика
1–4	Низький	Подія не має значного впливу на безпечність використання пристрою
5–9	Середній	Подія погіршує роботу системи, але не завжди створює критичну ситуацію
10–16	Підвищений	Подія може призвести до помилкових дій користувача або пошкодження вузла
17–25	Високий	Подія створює небезпечну ситуацію і потребує обов'язкового усунення причин

Для цифрової системи навігації основні небезпеки можна поділити на три групи інформаційні, електричні та експлуатаційні. Інформаційні небезпеки пов'язані з неправильним визначенням координат, азимута або стану маршруту. Електричні небезпеки виникають у вузлі живлення, заряджання та захисту акумулятора. Експлуатаційні небезпеки пов'язані з механічним пошкодженням плати, роз'ємів, кнопок або дисплея.

Найважливішим інформаційним ризиком є втрата або спотворення GNSS-даних. Така ситуація виникає при слабкому сигналі супутників, екрануванні антени будівлями, деревами, рельєфом місцевості або при

розміщені антенного тракту близько до джерел електромагнітних завад. У проєкті цей ризик зменшено за рахунок використання окремого GNSS-модуля M216Z-D80B та антенного роз'єму U.FL. Високочастотна частина плати розміщена окремо від вузла заряду і цифрових ліній, що знижує вплив завад на приймач.

Другим суттєвим ризиком є помилка визначення напрямку за допомогою магнітометра QMC5883L-TR. Цей елемент реагує на магнітне поле, тому на його покази можуть впливати металеві предмети, сильні струмові лінії, магніти та електромагнітні завади. Щоб зменшити такий ризик, магнітометр розміщено на платі окремо від силового вузла, USB Type-C, акумуляторного кола та провідників із підвищеним струмом. Це рішення покращує достовірність показів електронного компаса.

Окрема група ризиків пов'язана з Li-Ion акумулятором. Для портативної електроніки акумулятор є зручним джерелом живлення, але неправильний режим заряду, коротке замикання або перегрів можуть пошкодити плату й корпус пристрою. У даній схемі заряд акумулятора виконується через TP4056, а захист реалізований на DW01S та FS8205A. Таке схемне рішення обмежує аварійні режими, пов'язані з перезарядом, перерозрядом і перевантаженням акумулятора. Додатково застосовано стабілізатор MCP1826S-3302E та фільтрувальні конденсатори, які зменшують просідання напруги під час роботи цифрової частини.

Небезпека від ураження електричним струмом у цьому пристрої є низькою, оскільки система живиться від Li-Ion акумулятора та USB-інтерфейсу, а робочі напруги належать до низьковольтного діапазону. Проте низька напруга не усуває ризики короткого замикання, локального нагрівання доріжок, пошкодження акумулятора або роз'єму живлення. Тому при трасуванні плати силові лінії живлення та заряду виконуються збільшеною шириною, а в місцях підвищеного струму використовуються мідні полігони.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		69

Середній рівень ризику мають помилки магнітометра, відмова дисплея, втрата даних на карті пам'яті та механічне пошкодження плати. Ці ситуації не завжди створюють пряму небезпеку, але можуть знизити надійність використання пристрою. Для їх зменшення важливе правильне компонування плати, надійне кріплення вузла в корпусі, контроль якості паяння та перевірка працездатності пристрою після складання.

Під час експлуатації цифрової системи навігації користувач контролює не лише координати та напрямок руху, а й стан самого пристрою. На дисплеї доцільно передбачити відображення рівня заряду акумулятора, стану GNSS-прийому, активності запису треку та службових повідомлень про помилки. Це зменшує ймовірність прихованої відмови, коли пристрій уже працює нестабільно, але користувач ще не бачить явних ознак несправності.

У разі перегріву корпусу, запаху перегрітого пластику, нестабільної роботи дисплея, самовільного перезавантаження або пошкодження акумуляторного роз'єму експлуатацію пристрою припиняють. Пристрій від'єднують від USB-заряджання, вимикають і перевіряють стан плати, акумулятора та роз'ємів. Такий порядок дій знижує ймовірність подальшого пошкодження вузла живлення та відповідає загальним вимогам безпечної експлуатації електронної апаратури [3], [4].

Оскільки цифрова система навігації може використовуватись у польових умовах, користувач не покладається тільки на один електронний засіб орієнтування. Навіть справний портативний пристрій має обмеження залежність від заряду акумулятора, якості супутникового сигналу, видимості екрана та стійкості корпусу до механічних впливів. Тому безпечна експлуатація передбачає попереднє заряджання акумулятора, перевірку роботи GNSS-приймача, контроль показів компаса та збереження резервних способів орієнтування.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		70

Таким чином, ризик як кількісна оцінка небезпек дозволяє визначити найбільш критичні місця цифрової системи навігації ще на етапі проєктування. Для даного пристрою основними є ризики втрати навігаційної інформації, відмови автономного живлення, пошкодження акумулятора та порушення роботи інтерфейсу користувача. Застосовані технічні рішення — захист Li-Ion акумулятора, стабілізація живлення, рознесення функціональних вузлів на друкованій платі, окремий антенний тракт, індикація стану та надійне кріплення плати — знижують рівень цих ризиків і підвищують безпечність використання цифрової системи навігації.

3.2 Оцінка майбутнього фізичного та психологічного навантаження на людину, яка обслуговує пристрій

Цифрова система навігації є портативним пристроєм, з яким користувач взаємодіє безпосередньо під час руху або контролю маршруту. У такому випадку безпечність експлуатації залежить не тільки від надійності електронної частини, а й від зручності користування дисплеєм, кнопками керування та індикацією стану пристрою.

До основних елементів взаємодії з користувачем належать TFT-дисплей ІЛ19486, кнопки керування SA1–SA5, світлодіодна індикація HL1–HL3, USB Type-C для заряджання та програмний інтерфейс, на якому відображаються координати, напрямок руху, стан GNSS-прийому, рівень заряду акумулятора і службові повідомлення. Саме ці елементи створюють зорове, моторне та психологічне навантаження на користувача.

Фізичне навантаження при роботі з пристроєм є помірним. Воно пов'язане з утриманням корпусу, натисканням кнопок, перенесенням навігатора та підключенням зарядного кабелю. Оскільки плата має видовжену форму 254×80 мм, дисплей займає основну частину лицьової панелі, а кнопки

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		71

винесені в окрему зону. Таке компонування зменшує ймовірність випадкового натискання та не перекриває екран рукою під час роботи.

Ергономічні вимоги до технічних пристроїв передбачають відповідність форми, розмірів і розташування органів керування можливостям людини, яка працює з обладнанням [5], [6]. Для даної цифрової системи навігації це означає, що користувач повинен швидко змінювати режими роботи, переглядати основні параметри та контролювати стан пристрою без зайвих дій.

Найбільше навантаження припадає на зір, оскільки основна інформація виводиться на TFT-дисплей. При роботі з екранними пристроями важливими є достатній розмір символів, контрастність, зручне розміщення інформації та відсутність зайвого перевантаження екрана [7]. Для навігатора доцільно відображати на головному екрані тільки основні дані: координати, напрямок руху, рівень заряду, стан GNSS-сигналу та режим запису маршруту. Додаткові параметри краще винести в окремі меню.

Психологічне навантаження виникає через те, що користувач приймає рішення на основі даних пристрою. Якщо GNSS-сигнал нестабільний, компас показує неточний напрямок або заряд акумулятора швидко зменшується, користувач може втратити впевненість у правильності маршруту. Для зменшення такого навантаження інтерфейс повинен чітко повідомляти про втрату супутникового сигналу, низький заряд, помилку карти пам'яті або інші несправності.

Також враховується, що пристрій може використовуватись не тільки в приміщенні, а й на відкритій місцевості. На роботу користувача впливають освітлення, температура, вологість, пил, вібрація та можливі механічні удари. Тому друкований вузол розміщується в корпусі, плата фіксується через кріпильні отвори, а роз'єми та кнопки залишаються доступними без відкривання пристрою.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		72

Для зниження навантаження на користувача в конструкції цифрової системи навігації передбачено розділення дисплейної зони та зони керування, використання окремих кнопок для основних дій, індикацію стану живлення та можливість швидко оцінити працездатність пристрою. Перед тривалим використанням користувач перевіряє заряд акумулятора, роботу дисплея, реакцію кнопок, наявність GNSS-сигналу та правильність відображення напрямку.

У разі сильного нагрівання корпусу, нестабільної роботи дисплея, самовільного перезавантаження або пошкодження роз'єму заряджання експлуатацію пристрою припиняють. Навігатор від'єднують від USB-кабелю, вимикають і перевіряють стан акумулятора, плати та роз'ємів. Такий порядок дій зменшує ризик пошкодження електронної частини та відповідає загальним вимогам безпечної експлуатації електронної апаратури [3], [8].

Отже, фізичне та психологічне навантаження на користувача цифрової системи навігації можна оцінити як допустиме. Основними факторами навантаження є зчитування даних з дисплея, контроль кількох параметрів одночасно та відповідальність за вибір маршруту. Раціональне розміщення дисплея, кнопок, індикаторів і службових повідомлень зменшує втомлюваність користувача та підвищує безпечність експлуатації пристрою.

3.2 Висновок до розділу 3

У третьому розділі проведено комплексний аналіз питань безпеки життєдіяльності під час експлуатації портативної цифрової системи навігації. За допомогою кількісної оцінки ризиків визначено ключові інформаційні, електричні та експлуатаційні небезпеки. Встановлено, що застосовані схемотехнічні рішення, зокрема апаратний захист літій-іонного акумулятора на базі спеціалізованих мікросхем та просторове рознесення чутливого

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		73

антенного тракту від силових ліній, ефективно зводять до мінімуму ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Також здійснено оцінку фізичного та психологічного навантаження на користувача приладу. Завдяки продуманій ергономіці друкованої плати, чіткому розділенню зони TFT-дисплея та органів керування, фізична втомлюваність під час взаємодії з пристроєм є мінімальною. Разом з тим, оптимізований програмний інтерфейс, який виводить лише критично важливі навігаційні дані та сповіщення про стан живлення, суттєво знижує зорове напруження та психологічний дискомфорт користувача у польових умовах.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що спроектований навігаційний пристрій відповідає вимогам безпечної експлуатації електронної апаратури. Закладені на етапі проєктування конструктивні рішення гарантують надійну роботу системи та безпеку користувача за умови дотримання базових правил експлуатації.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		74

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено портативну мікроконтролерну систему навігації. Цей апарат забезпечує автономне визначення координат та обчислення магнітного азимута в польових умовах, що значно спрощує орієнтування на місцевості.

На початковому етапі проведено аналіз технічного завдання та сформульовано основні вимоги до пристрою. Було визначено, що апаратура має стабільно приймати супутникові сигнали, вимірювати параметри магнітного поля, виводити дані на екран та працювати в автономному режимі.

З огляду на сформовані вимоги побудовано структурну схему приладу, яка відображає зв'язки між всіма ключовими вузлами: мікроконтролером, супутниковим приймачем, цифровим магнітометром, модулем візуалізації та блоком живлення. Така організація структури забезпечує чітку та узгоджену взаємодію всіх компонентів пристрою.

Спроектовано електричну принципову схему навігаційної системи. Вона включає обчислювальне ядро, каскад стабілізації напруги, контури захисту літій-іонного акумулятора та елементи індикації. Розрахунок параметрів лінійного стабілізатора повністю підтвердив правильність обраної схемотехніки.

Обґрунтовано вибір елементної бази для реалізації проєкту. Основними компонентами стали мікроконтролер ESP32-S3, супутниковий модуль NEO-M10, електронний компас, контролер заряду та TFT-дисплей. Затверджені радіодеталі є доступними та повністю забезпечують виконання заданих функцій.

Опрацьовано конструктивні рішення щодо форми, розмірів та компонування друкованого вузла. Плата виконана двосторонньою, із застосуванням сучасних SMD-компонентів та безпосереднім розпаюванням екрана на текстоліт. Це дозволило мінімізувати габарити корпусу, спростити монтаж та підвищити надійність приладу.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		75

Комп'ютерне конструювання плати здійснювалося в середовищі Altium Designer. У процесі роботи створено локальну бібліотеку елементів, посадкові місця, трасовано провідники та згенеровано тривимірну модель. САПР дозволила виконати перевірку правил проєктування та оцінити ергономіку пристрою перед виробництвом.

У блоці охорони праці розглянуто потенційні небезпечні фактори під час польової експлуатації та заходи захисту електронних вузлів. Визначено, що для безпечної роботи навігатора необхідно захищати плату від вологи, забезпечити надійну ізоляцію акумулятора та дотримуватися правил обслуговування техніки.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		76

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи радіоелектроніки". Ч.1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 - Радіоелектронні апарати : . / . — Тернопіль : ТНТУ , 2014 — 89 с.
2. Програма для розробки схем "Altium Designer".
3. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів" для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / укл. : Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. - 109 с.
4. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів" для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 109 с.
5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Л.В.Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 63 с.
6. Дунець В.Л., Хвостівський М.О., Свєрстюк А.С., Хвостівська Л.В. Математичне та алгоритмічно-програмне забезпечення опрацювання електрокадіосигналів при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2022. 136 с.
7. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами / Л. Хвостівська, М. Хвостівський, В. Дунець, І. Дедів // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 48–57.
8. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		77

вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка.
– Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С.
83-89. – ISSN 2227-8842.

9. Галаган Р.М. Комп'ютерне проектування електронних схем.
Комп'ютерний практикум. / К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 420 с.

10. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. –
[Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с.
URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937.

11. ДСТУ 2.702:2013 «Єдина система конструкторської документації.
Правила виконання електричних схем (ДСТУ 2.702-2011, IDT). URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892.

12. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586.

13. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних
процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90096.

14. ДСТУ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації.
Основні написи (ДСТУ 2.104-2006, IDT). З Поправками (ІПС № 5 2007), (ІПС
№ 6-2007), (ІПС № 8-2007), (ІПС № 5-2008). URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=55417.

15. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне
посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01.
Вид. офіц. Київ : Книжк. палата України ім. Ів. Федор., 2015. 26 с. URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64411.

16. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Київ : Центр
учбової літератури, 2020. 276 с.

17. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності : підручник / В.В. Зацарний.
Київ : Каравела, 2023. 344 с.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		78

18. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності : підручник. 2-е вид. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 448 с.

19. Кодекс цивільного захисту України від 01.07.2013 року.

20. ДСТУ ETSI EN 303 413:2021 Супутникові земні станції та системи. Приймачі глобальної навігаційної супутникової системи. Радіобладнання. Характеристики та методи вимірювання.

21. ДСТУ EN 62368-1:2017 Обладнання аудіо, відео, інформаційних та комунікаційних технологій. Частина 1. Вимоги щодо безпеки.

22. Андрейчук Н.І. Охорона праці : навч. посіб. / Н.І. Андрейчук, Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Львів : Видавництво Львівська політехнік, 2021. 276 с.

23. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид., перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга - Богдан, 2018. 240 с.

24. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-те вид., випр. і доп. Київ : Знання, 2018. 302 с.

25. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ.

26. Закон України «Про охорону праці» від 21 листопада 2002 року, зі змінами і доповненнями.

27. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		79

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ 28 ” квітня _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:
«Цифрова система навігації»

Узгоджено:
Керівник роботи
Хвостівська Л.В. _____
“ _____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАС-41
Пилипенко В.В. _____
“ _____ ” _____ 2026р.

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Цифрова система навігації»

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/7-198 від “28” квітня 2026 р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Пилипенко Володимир Васильович. групи РАС-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є проектування телекомунікаційної цифрової системи навігації, що включає в себе:

- проектування схемотехнічного рішення для цифрової системи навігації;
- синтез програмного забезпечення центрального мікроконтролерного модуля;
- розрахунок і вибір елементів для оптимальної роботи цифрової системи навігації;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати цифрової системи навігації.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1 Живлення пристрою повинно здійснюватися від автономного джерела - акумулятора формату 18650 з можливістю підключення зовнішнього живлення через інтерфейс USB Type-C.

4.1.2 Максимальна споживана потужність пристрою повинна становити не більше 1,5 Вт.

4.1.3 Пристрій повинен забезпечувати роботу в радіочастотних діапазонах 1575,42 МГц GPS L1, Galileo E1 та 1602 МГц ГЛОНАСС L1.

4.1.4 Для приймання навігаційного сигналу повинна використовуватися зовнішня активна керамічна антена з хвильовим опором 50 Ом.

4.1.5 Навігаційні параметри пристрою повинні забезпечувати точність визначення координат до 1,5 м та точність визначення магнітного азимута $\pm 2^\circ$.

4.1.6 Час гарячого старту навігаційного модуля не повинен перевищувати 2 с, час холодного старту - до 50 с.

4.1.7 Внутрішній обмін даними між цифровими вузлами повинен здійснюватися через інтерфейси I2C для компаса та UART для GNSS-модуля.

4.1.8 Загальна маса пристрою з акумулятором та антеною повинна становити не більше 150 г, а остаточні габаритні розміри та маса уточнюються в процесі розробки конструкції корпусу.

4.2 Технічні вимоги

4.2.1 У схемі пристрою повинна бути передбачена контактна колодка для підключення зовнішнього USB-UART програматора з метою прошивки та налагодження мікроконтролера.

4.2.2 Перехід у режим програмування повинен здійснюватися апаратно за допомогою тактових кнопок BOOT та RESET.

4.2.3 Пристрій повинен зберігати стабільну працездатність у робочому температурному діапазоні від -10 °С до +60 °С.

4.2.4 Кліматичні умови експлуатації пристрою повинні відповідати вимогам ДСТУ 15150:2016.

4.2.5 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу при відносній вологості повітря до 80 % за температури $t = +25$ °С.

4.3 Правила приймання

4.3.1 Під час перевірки розробленого пристрою необхідно проконтролювати працездатність навігаційного модуля, точність визначення координат та магнітного азимута.

4.3.2 Обов'язковій перевірці підлягає стабільність переходу мікроконтролера в режим програмування через контактну колодку за допомогою кнопок BOOT та RESET.

4.3.3 Контролю підлягає працездатність схеми живлення та контролера заряду акумулятора 18650 при підключенні через інтерфейс USB Type-C.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема цифрової системи навігації;
- електрична принципова цифрової системи навігації;
- блок-схема алгоритму роботи центрального мікроконтролерного модуля
- друкована плата цифрової системи навігації;
- друкований вузол цифрової системи навігації.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026
3	Розробка структурної схеми системи	23.03.2026
4	Розробка схеми електричної принципової системи	10.04.2026
5	Розробка блок-схеми алгоритму роботи мікроконтролерного модуля	12.04.2026
6	Розробка програмного забезпечення мікроконтролерного модуля	16.04.2026
7	Розрахунок основних вузлів схеми системи	22.04.2026
8	Вибір компонентної бази для розроблюваної системи	02.05.2026
9	Компоновка друкованого вузла системи	15.05.2026
10	Створення допоміжної документації	26.05.2026
11	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	03.06.2026
12	Нормоконтроль	09.06.2026
13	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
14	Перевірка роботи на антиплагіат	17.06.2026
15	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Первінне застосування

Додатковий №

Підп. і дата

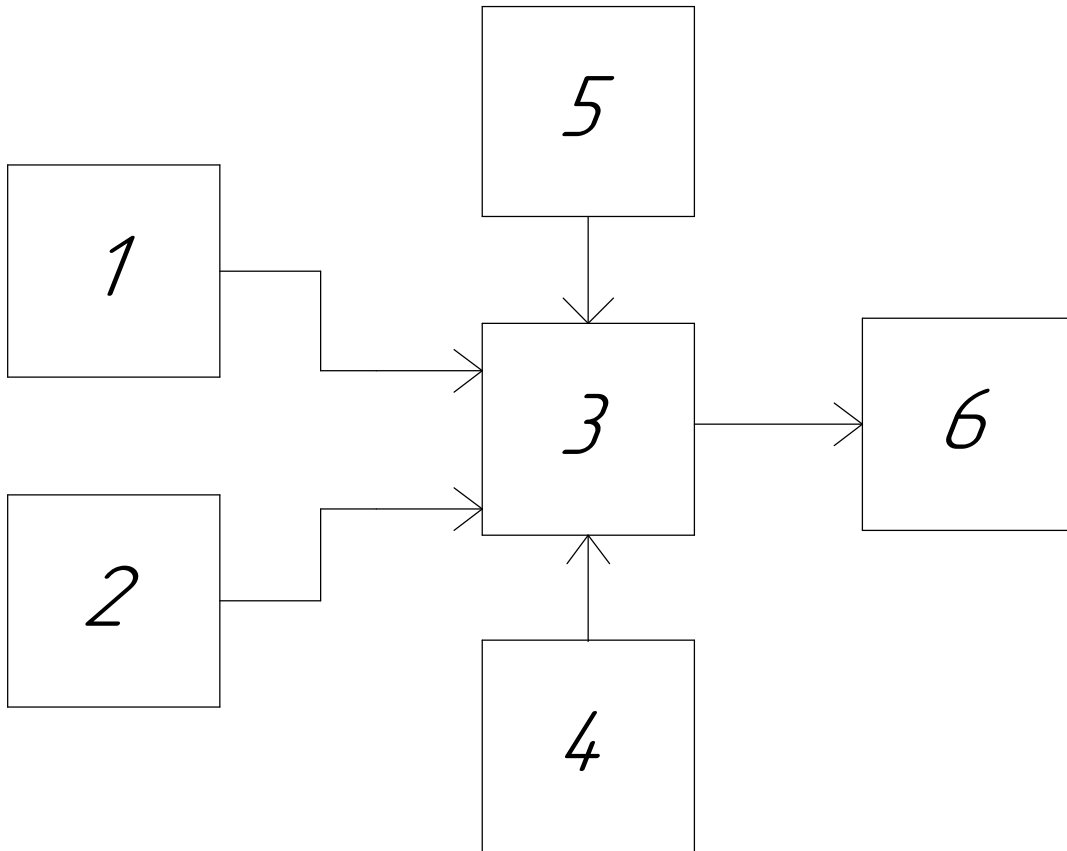
Інв. № докл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № др.

ПВВ 2.899.001 Е1

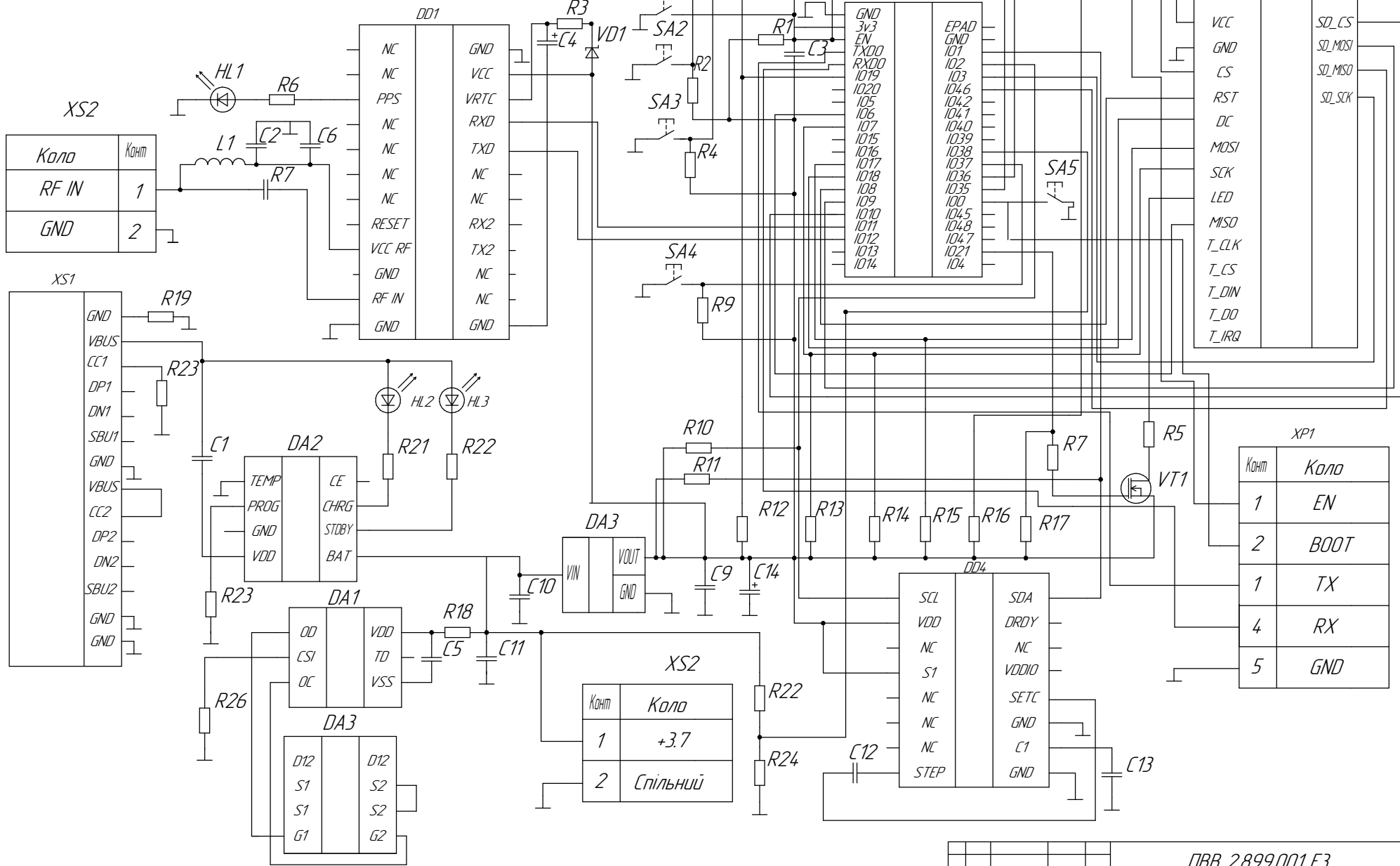


- 1- GPS Ublox M10
- 2- Цифровий компас QMC5883L
- 3- Мікроконтролер ESP32-S3 N16R8
- 4- SD card reader
- 5- Тактові кнопки
- 6- Дисплей

ПВВ 2.899.001 Е1

				ПВВ 2.899.001 Е1			
Змн.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата	Лит.	Вага	Масштаб
Розроб.		Пилипенко В.В.					
Перевір.		Хвостівська Л.В.					
Реценз.		Стрембівський М.О.					
Н.контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					
Цифрова система навігації					Арк.	Аркциві	1
					ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		

ПВВ 2.899.001 ЕЗ



Коло	Конт
RF IN	1
GND	2

Коло	Конт
RF IN	1
GND	2

Конт	Коло
1	+3.7
2	Спільний

Конт	Коло
1	EN
2	BOOT
1	TX
4	RX
5	GND

ПВВ 2.899.001 ЕЗ				Лист	Вага	Масштаб
Зм./Лист	№ док.	Підпис	Дата	Цифрова система навігації		
Розроб	Лиліченко В.В.					
Перевір	Хвостська Л.В.			Арк.	Архивів	1
Реценз	Степанський М.О.			ТНТУ ім. І. Пулюя		
Нконтр	Хвостська Л.В.			група РАС-4.1		
Затверд	Дунець В.І.			Формат А2		

Першине застосування
Додатковий №
Підп. і дата
Ім'я № змін.
Зам. ім'я №
Підп. і дата
Ім'я № змін.

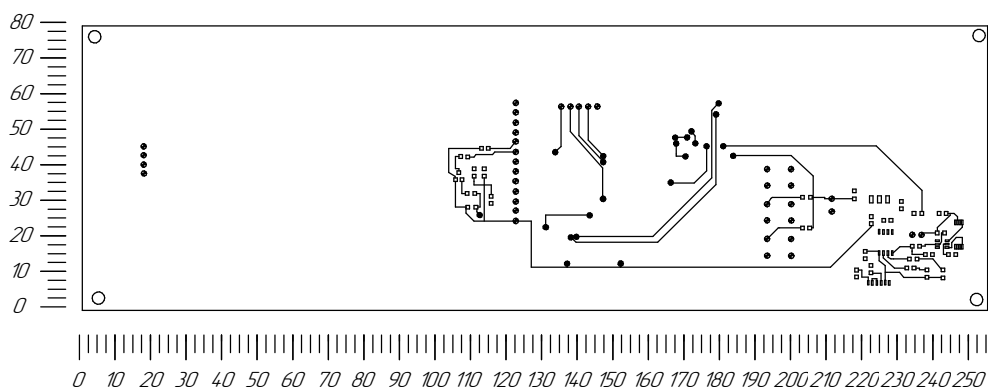
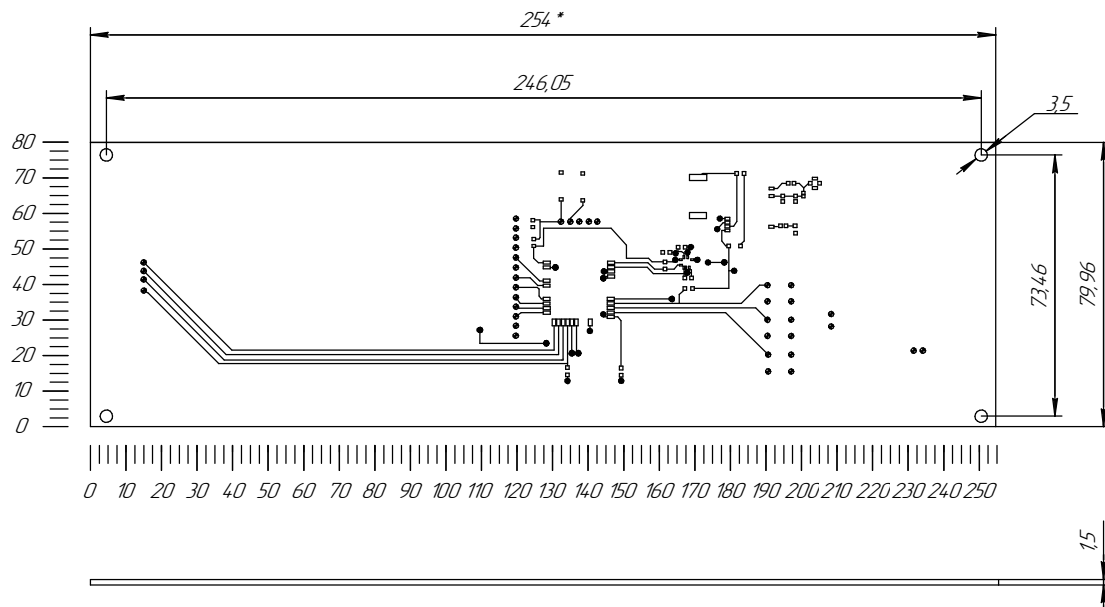
Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Конденсатори</u>			
C1	MLCC-SMD/SMT 50V 0.1uFX7R0805 ±10% "KEMET"	1	
C2	MLCC-SMD/SMT 50V 100nFX7R0603±10% "KEMET"	1	
C3	MLCC-SMD/SMT 16V 0.2uFX5R0805±10% "KEMET"	1	
C4	Supercapacitor-SMD/SMT 3.3V 0.22F "Seiko Instr."	1	
C5	MLCC-SMD/SMT 50V 0.1uFX7R0805±10% "KEMET"	1	
C6	MLCC-SMD/SMT 16V 10uFX5R0805±10% "KEMET"	1	
C7-C9	MLCC-SMD/SMT 16V 100uFX5R0603±10% "KEMET"		
C10	MLCC-SMD/SMT 16V 4.7uFX5R0805±10% "KEMET"	1	
C11	MLCC-SMD/SMT 16V 10uFX5R0805±10% "KEMET"	1	
C12	MLCC-SMD/SMT 16V 0.22uFX5R0805±10% "KEMET"	1	
C13	MLCC-SMD/SMT 16V 4.7uF X5R 0805±10% "KEMET"	1	
C14	ALU-ELEC 25V 470uF ±20% "HITANO"	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DA1	DW01S „Fortune Semiconductor”	1	
DA2	TP4056 „NanJing Top Power”	1	
DA3	FS8205A „Fortune Semiconductor”	1	
DD1	ESP32-S3-WROOM-1 „Espressif Systems”	1	
DD2	M216Z-D80B „Ru Bo Microelectronics”	1	
DD3	MCP1826S-3302E „Microchip Technology”	1	
DD4	QMC5883L-TR „QST”	1	
HG1	TFT Display 4.0" ILI9486 SPI "ILITEK"	1	
<u>Світлодіоди</u>			
HL1,HL2	LED-SMD/SMT Green 0805 "Everlight"	2	

ПВВ 2.899.001 ПЕ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Пилипенко В.В				Цифрова система навігації Перелік елементів	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хвостівська Л.В						1	3
Реценз.	Стрембійський М.О					ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Н. Контр.	Хвостівська Л.В							
Затверд.	Дунець В.Л							

Таблиця отворів

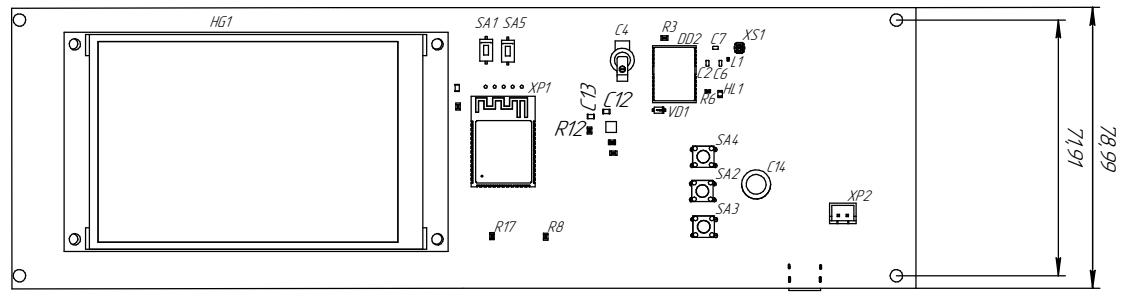
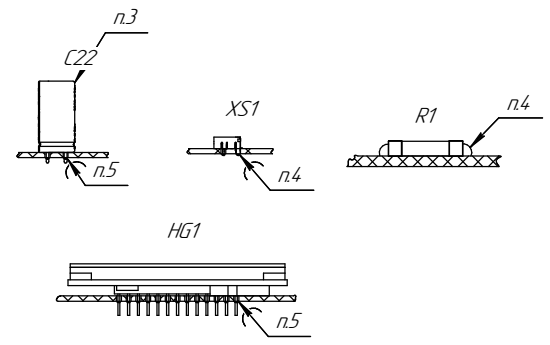
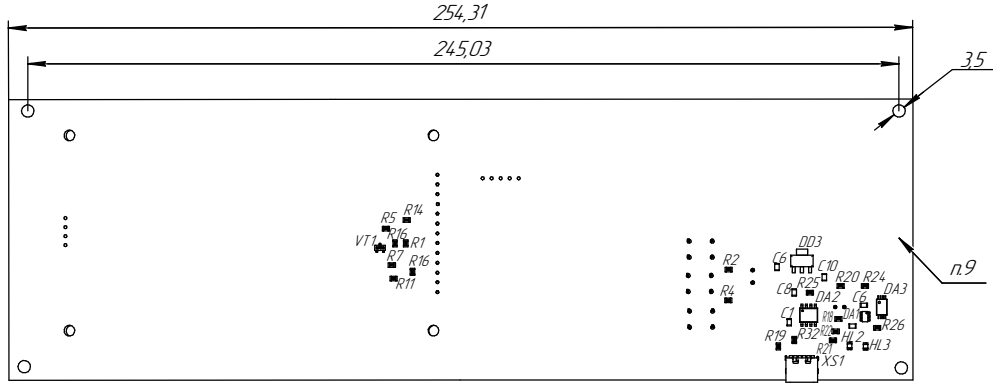
Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
⊙	0,9	1,2	з метал.	29
●	0,6	0,3	з метал.	19
○	1,2	2,4	з метал.	4



- *Розмір для довідок
- Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ 23572 група жорсткості 2, клас точності 3 ДСТУ 23571, крок координатної сітки 2.5мм.
- Плату виконати камбінованим позитивним способом.
- Конфігурація друкованих провідників згідно креслення.
- Параметри отворів див. таблицю 1.
- Табрувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною, У1Т429-02-890-88 шрифт 2,5-Пр3 ДСТУ 26.020-80.

ПВВ 7.103.001 СК				Літ.	Вага	Масштаб
Змі лист	№ док-м.	Підпис	Дата	11	0,15	1:1
Розроб	Лиліченко В.В.					
Перевір	Хвостівська Л.В.			Арк	Архів	1
Реценз	Середський М.О.			ТНТУ ім. І. Пулюя		
Нконтр	Хвостівська Л.В.			РАС-41		
Затверд	Дунець В.Л.			ГФ1-35-15 ГОСТ 10316-78		

ПВВ 2.899.001 СК



1. *Розмір для довідок
2. Підготовку до монтажу виконати згідно ДСТУ2779
3. Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ2783
- Елементи встановити відповідно до зображених варіантів на кресленні
4. Встановлення SMD-елементів виконати згідно з документацією виробників.
5. Пайка елементів виконувати у відповідності з ОСТ4ГО.054.267.
- Паяти припоєм ПОС-61 ДСТУ 2784.
6. Паста КРТ-8 ОСТ21831-65
7. Різьбові з'єднання стопорити емаллю ПФ-115
8. Маркувати номером, датою, літеру зміни ПФ-115.
9. Друкований вузол покрити лаком УР-231 ТУ 6-21-14-90
10. Елементи схеми позначенням показані умовно

Перфінше застосування

Листівка №

Підп. і дата

Ім'я № д/б/п

Зам. ім'я №

Підп. і дата

Ім'я № др.

ПВВ 2.899.001 СК

				Цифрова система навігації		
Змі/Лист	№ док.м.	Підпис	Дата	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб	Пилипенко В.В.				0,15	1:1
Перевір	Хвостівська Л.В.					
Реценз	Степанівський М.О.					
Н-контр	Хвостівська Л.В.					
Затверд	Дунець В.Л.					
				Арк	Аркцифр	1
				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		

Форм.	поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>		
A2		ПВВ 2.899.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4		ПВВ 2.899.001 ПЕ	Перелік елементів	3	
A2		ПВВ 2.899.001 СК	Вузол друкований	1	
			<u>Деталі</u>		
	1	ПВВ 7.103.001	Плата друкована		
			<u>Інші вироби</u>		
			<u>Конденсатори</u>		
	5		MLCC-SMD/SMT 50V 100nF		
			X7R 0603 10% "KEMET"	1	С2
	6		MLCC-SMD/SMT 50V 0.1uF		
			X7R 0805 10% "KEMET"	2	С1, С5
	7		MLCC-SMD/SMT 16V 0.2uF		
			X5R 0805 10% "KEMET"	1	С3
	8		MLCC-SMD/SMT 16V 0.22uF		
			X5R 0805 10% "KEMET"	1	С12
	9		MLCC-SMD/SMT 16V 4.7uF		
			X5R 0805 10% "KEMET"	1	С10, С13
	10		MLCC-SMD/SMT 16V 10uF		
			X5R 0805 10% "KEMET"	2	С6, С11
	11		MLCC-SMD/SMT 16V 100uF		
			X5R 0603 10% "KEMET"	3	С7-С9
	12		ALU-ELEC 25V 470uF ±20% "HITANO"	1	С14

					ПВВ 2.899.001					
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	Специфікація друкованого вузла					
Разроб.	Пилипенко В.В.							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хвостівська Л.В.								1	3
Реценз.	Стрембідський М.О.							ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		
Н.контр.	Хвостівська Л.В.									
Затверд.	Дунець В.Л.									

