

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Система контролю переміщення транспортних засобів на базі
GSM-зв'язку

Виконав: студент 4 курсу, групи РАС-41

спеціальності 172 «Електронні комунікації
та радіотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Савчук Б.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Хвостівська Л.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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 Савчуку Борису Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н., доц., завідувач кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення – +12 В; резервне живлення – +9 В; інтерфейс – UART TXD/RXD; навігація – GPS; передавання даних – GSM/GPRS; об'єкт контролю – транспортний засіб; режим роботи – автоматичний моніторинг координат й стану руху.

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

2. Схема електрична принципова

3. Друкований вузол

4. Плата друкована

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності	д.т.н., професор кафедри МТ Барановський В.М.		
Основи охорони праці	к.т.н., доцент кафедри МТ Гурик О.Я.		

7. Дата видачі завдання 28.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення із темою, завданням й вихідними даними до кваліфікаційної роботи	28.04.2026 – 30.04.2026	Виконано
2.	Підбір та систематизація джерел за темою контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку	01.05.2026 – 05.05.2026	Виконано
3.	Аналіз існуючих систем моніторингу транспортних засобів й каналів передавання навігаційних даних	06.05.2026 – 10.05.2026	Виконано
4.	Обґрунтування структурної організації системи контролю переміщення транспортних засобів	11.05.2026 – 14.05.2026	Виконано
5.	Розроблення структурної схеми системи та структурної схеми мобільного контролера	15.05.2026 – 18.05.2026	Виконано
6.	Виконання схемотехнічного проектування мобільного контролера	19.05.2026 – 23.05.2026	Виконано
7.	Розрахунок блоку індикації, блоків узгодження сигналів та інтерфейсних вузлів	24.05.2026 – 28.05.2026	Виконано
8.	Вибір та обґрунтування елементної бази пристрою	29.05.2026 – 01.06.2026	Виконано
9.	Розроблення конструкції друкованого вузла та компонування плати	02.06.2026 – 05.06.2026	Виконано
10.	Розрахунок надійності та оформлення графічного матеріалу	06.06.2026 – 08.06.2026	Виконано
11.	Оформлення розділу «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці»	09.06.2026 – 10.06.2026	Виконано
12.	Нормоконтроль	10.06.2026	Виконано
13.	Перевірка на плагіат	11.06.2026	Виконано
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026	Виконано
15.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Студент

(підпис)

Савчук Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Система контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Савчук Борис Вікторович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра радіотехнічних систем, група РАС-41 // Тернопіль, 2026 // С. 65, рис. – 19, табл. – 1, кресл. – 4, додат. – 3, бібліогр. – 10.

Ключові слова: контролер, структурна схема, функціональна схема, електрична принципова схема, друкований вузол, GSM-зв'язок, транспортний засіб, система контролю переміщення.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку. У межах роботи виконано схемотехнічне та конструкторське проєктування пристрою, сформовано структурні та функціональні рішення, а також визначено основні технічні параметри контролера переміщення ТЗ.

Основні технічні характеристики контролера переміщення ТЗ:

- робочий діапазон частот: 850-970 МГц;
- швидкість передавання даних: до 76,5 біт/с;
- НЖ: 3,5; 12 В;
- споживана потужність: не більше 0,5 Вт;
- час встановлення робочого режиму: не більше 3 с.

У роботі розглянуто основні етапи проєктування телекомунікаційної системи контролю переміщення транспортних засобів, зокрема принципи побудови пристрою, вибір технічних рішень, схемотехнічну реалізацію та конструктивне виконання системи.

Annotation

A vehicle tracking system based on GSM communication // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Savchuk Borys // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Radio Engineering Systems Department, group RAs-41 // Ternopil, 2026 // P. 65, fig. – 19, tabl. – 1, chair. – 4, annexes. – 3, references – 10.

Keywords: controller, block diagram, functional diagram, schematic diagram, printed circuit board, GSM communication, vehicle, motion control system.

This thesis presents a vehicle tracking system based on GSM communication. The work includes the circuit and mechanical design of the device, the development of structural and functional solutions, and the determination of the main technical parameters of the vehicle tracking controller.

Main technical characteristics of the vehicle movement controller:

- Operating frequency range: 850-970 MHz;
- Data transmission rate: up to 76.5 bits/s;
- Supply voltage: 3.5 V; 12 V;
- Power consumption: no more than 0.5 W;
- Time to reach operating mode: no more than 3 s.

This paper examines the main stages of designing a telecommunications system for monitoring the movement of vehicles, including the principles of device construction, the selection of technical solutions, circuit design, and the structural implementation of the system.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ.....	6
1. Основна частина.....	9
1.1. Аналіз технічного завдання	9
1.1.1. Обґрунтування актуальності теми	9
1.1.2. Аналіз інформації.....	18
1.2. Проектування схемотехнічне.....	21
1.2.1. Розроблення й розрахунок структурної схеми виробу	21
1.2.2. Проектування та розрахунок ЕЗ	24
1.2.3. Вибір та обґрунтування елементної бази	37
1.3. Компонівка друкованого вузла пристрою	41
1.3.1. Розроблення компонування й конструкції ДВ.....	41
1.3.2. Оптимізація компонування ДВ.....	46
1.3.3. Розрахунок та забезпечення вимог щодо надійності	52
1.4. Висновки до розділу 1	57
2. Охорона праці та безпека життєдіяльності	59
2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності.....	59
2.2. Питання з основ охорони праці	60
2.3. Висновок до розділу 2	62
Висновки	63
Список використаних джерел	63

					СБВ 2.010.001 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Савчук Б.В.			Система контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Дунець В.Л.								
Консультант								ТНТУ, ФПТ, каф. РТ, гр. РАС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.								
Затверд.		Дунець В.Л.								

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

GPS – (англ. Global Positioning System) – сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері.

GSM – (англ. Global System for Mobile Communications) – міжнародний стандарт для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим ключем.

ГМ – Гальванічна металізація.

ДВ – Друкований вузол.

ДЖ – Джерело живлення.

ДП – Диспетчерський пункт.

ДЦ – Диспетчерський центр.

ЕЗ – Електрична принципова схема.

ЕМ – Електролітичне міднення.

ЕРЕ – Електрорадіоелемент.

ЕХМ – Електрохімічний метод.

ІМС – Інтегральна мікросхема.

КПМ – Комбінований позитивний метод.

МК – Мікроконтролер.

НЖ – Напруга живлення.

ОДП – Одностороння друкована плата.

ПД – Плата друкована.

ПЗ – Програмне забезпечення.

ПЗ – Паяне з'єднання.

ПК – Персональний комп'ютер.

СЗ – Супутниковий зв'язок.

ТД – Технічна документація.

ТЗ – Транспортний засіб.

ТП – Технологічний процес.

ХМ – Хімічна металізація.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Контроль переміщення транспортних засобів (ТЗ) та цінних вантажів є актуальним завданням для транспортних перевізників, логістичних підприємств та організацій, діяльність яких пов'язана із моніторингом рухомих об'єктів. Ефективне розв'язання цього завдання потребує використання технічних засобів, здатних забезпечувати визначення координат, напрямку руху, швидкості переміщення та передавання відповідної інформації до користувача або диспетчерського пункту (ДП).

Розвиток комп'ютеризованих інформаційних систем (ІС) й засобів супутникової навігації забезпечив широке впровадження глобальних навігаційних систем, зокрема GPS. Використання GPS-технологій дало змогу створювати системи, які забезпечують визначення просторового положення об'єкта із достатньою для практичного застосування точністю. Підвищенню точності таких систем сприяло усунення штучного спотворення навігаційних сигналів, що раніше обмежувало можливості цивільного використання GNSS.

На основі GPS-технологій було сформовано окремий клас систем відстеження ТЗ, вантажів та охоронно-сигналізаційних комплексів. Водночас GPS-система забезпечує лише отримання навігаційних даних, тому для створення повноцінної системи моніторингу необхідним є застосування каналів передавання інформації. Із цією метою використовуються різні засоби зв'язку, серед яких найпоширенішими є системи супутникового зв'язку (СЗ) та мережі GSM. Мережі GSM набули значного поширення завдяки широкій зоні покриття, зокрема у великих населених пунктах, на автомагістралях й транспортних маршрутах.

На ринку представлені різні системи контролю переміщення ТЗ, розроблені спеціалізованими підприємствами. Однак значна частина таких рішень характеризується високою вартістю, що обмежує їх доступність для

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

широкого кола споживачів. У зв'язку із цим актуальним є розроблення системи контролю переміщення ТЗ на базі GSM-зв'язку, яка поєднує функціональність, достатню точність передавання інформації, конструктивну простоту та економічну доцільність впровадження.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи контролю переміщення ТЗ на базі GSM-зв'язку із урахуванням вимог до функціональності, надійності, енергоспоживання та вартості технічної реалізації.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання таких завдань:

- аналіз принципів побудови систем контролю переміщення ТЗ;
- обґрунтування вибору GSM-зв'язку як каналу передавання інформації;
- розроблення структурної та функціональної схем пристрою;
- виконання схемотехнічного проектування;
- визначення основних технічних характеристик контролера;
- розроблення конструктивного виконання пристрою.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи для контролю переміщення ТЗ, моніторингу цінних вантажів та підвищення рівня інформаційного забезпечення транспортних перевезень.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Основна частина

1.1. Аналіз технічного завдання

1.1.1. Обґрунтування актуальності теми

Системи контролю переміщення ТЗ застосовуються для моніторингу рухомих об'єктів, підвищення ефективності транспортних перевезень, оптимізації маршрутів, контролю дотримання графіків руху та забезпечення безпеки перевезення вантажів й пасажирів. На ринку представлені технічні рішення різних виробників, зокрема системи моніторингу ТЗ компаній «Навіград», «КУРС», «Планшет 100» та інших розробників.

Система моніторингу й контролю ТЗ компанії «Навіград» призначена для організації контролю використання ТЗ, аналізу роботи водіїв й рухомого складу, виявлення чинників, що знижують ефективність експлуатації транспортного парку, а також автоматизації операцій, пов'язаних із формуванням маршрутів, складанням розкладів руху, паспортизацією маршрутів, контролем дотримання графіків та диспетчерським керуванням ТЗ.

До складу такої системи входять бортові контролери й ДП. Бортові контролери встановлюються на ТЗ та забезпечують накопичення навігаційної інформації, зокрема даних про траєкторію руху, швидкість та напрям переміщення. ДП виконує зчитування, оброблення, аналіз й збереження накопичених даних, формування звітної інформації та візуалізацію переміщення ТЗ на електронній карті. Загальний принцип функціонування системи наведено на рис. 1.1.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1. – Принцип функціонування системи моніторингу ТЗ

Бортовий контролер системи забезпечує реєстрацію навігаційних даних ТЗ, зокрема координат, швидкості й напрямку руху. Передбачено можливість зміни частоти запису інформації на карту пам'яті, індикацію режимів роботи, функціонування у широкому діапазоні НЖ, що дає змогу встановлювати пристрій як на легковий, так й на вантажний ТЗ. Також використовується знімний незалежний модуль пам'яті типу Multimedia Card. Комплектацію бортового контролера наведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. – Комплектація бортового контролера

Програмний комплекс ДП забезпечує опрацювання навігаційної інформації, її збереження, формування звітів й відображення маршруту ТЗ на електронній карті. Структуру програмного комплексу ДП наведено на рис. 1.3.



Рис. 1.3. – Структура програмного комплексу ДП

Для функціонування ДП передбачено використання персонального комп'ютера (ПК), сумісного з IBM PC, з процесором класу 80486 або вищим, який підтримує 32-розрядні застосунки. Як операційне середовище можуть використовуватися Windows 2000, Windows NT або Windows XP. Мінімальний обсяг оперативної пам'яті становить 64 МБ, рекомендований – не менше 128 МБ. Для встановлення програмного забезпечення (ПЗ) необхідно не менше 100 МБ вільного простору на жорсткому диску. Також потрібні монітор із роздільною здатністю VGA або вищою, рекомендовано SVGA чи XGA, маніпулятор типу «миша», а також інтерфейси USB і LPT.

Потенційними користувачами систем моніторингу ТЗ є транспортні компанії, екстрені служби, служби прокату автомобілів, організації, що здійснюють перевезення небезпечних або цінних вантажів, власники особистого транспорту, підприємства громадського й муніципального транспорту, а також служби доставки.

Економічний ефект від упровадження таких систем пов'язаний зі зменшенням витрат палива, зниженням амортизаційних витрат, підвищенням ефективності планування пасажирських й вантажних перевезень, поліпшенням дисципліни персоналу, оперативним розв'язанням конфліктних

ситуацій, а також збільшенням кількості клієнтів й замовлень завдяки підвищенню якості транспортного обслуговування.

Іншим прикладом системи контролю рухомих об'єктів є комплекс технічних засобів «КУРС», розроблений для забезпечення єдиної системи контролю й моніторингу рухомих об'єктів. Система побудована із використанням технологій супутникового визначення координат GPS й геоінформаційних технологій, які забезпечують аналіз даних про місцезнаходження об'єктів. Структурну схему системи «КУРС» наведено на рис. 1.4.

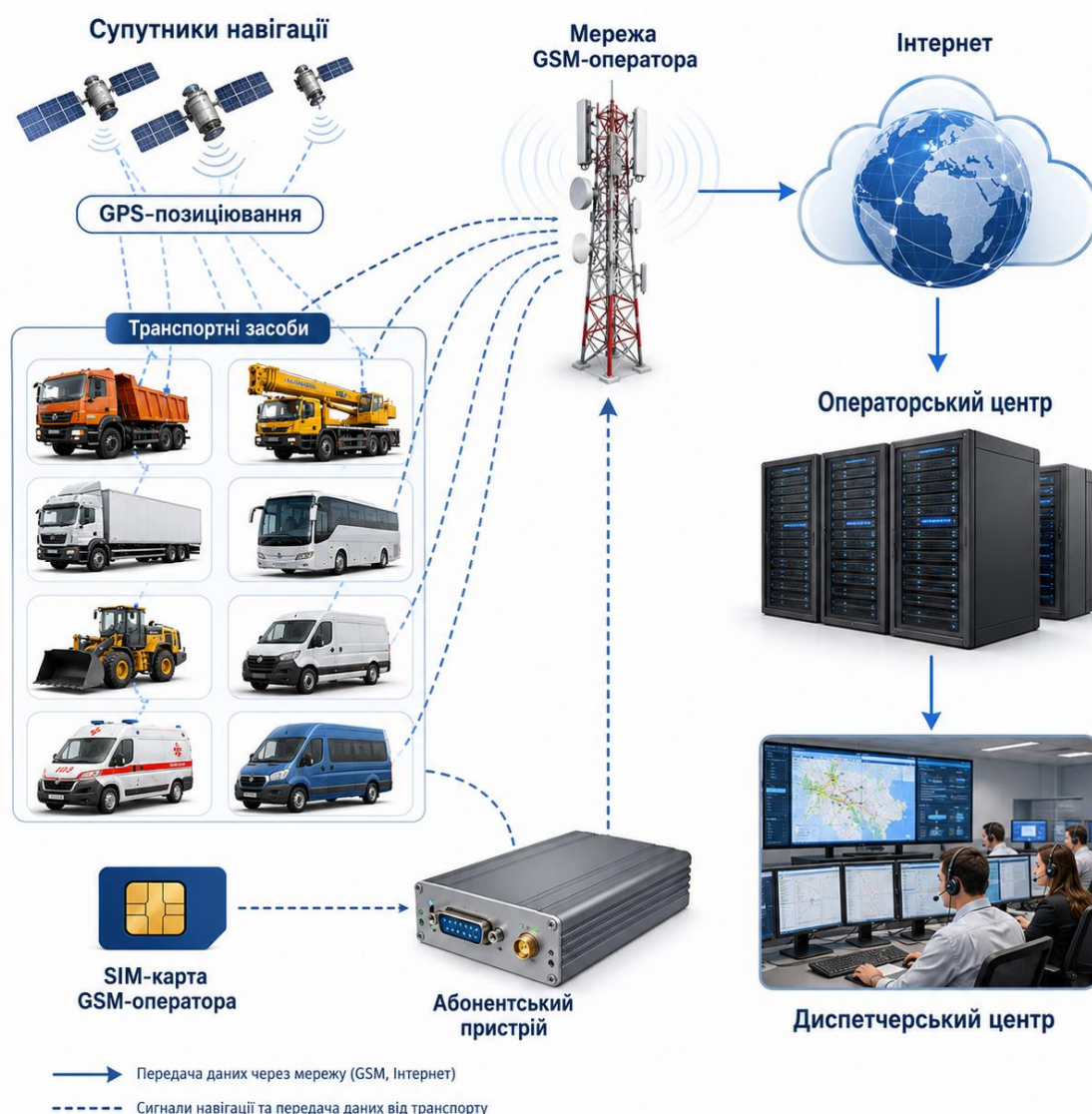


Рис. 1.4. – Структурна схема системи «КУРС»

Для організації зв'язку у системі застосовуються мобільні термінали, що можуть працювати через канали УКХ-зв'язку або GSM-зв'язку. МТ УКХ-зв'язку наведено на рис. 1.5, а МТ GSM-зв'язку – на рис. 1.6.



Рис. 1.5. – МТ УКХ-зв'язку



Рис. 1.6. – МТ GSM-зв'язку

Комплекс «КУРС» забезпечує диспетчеру можливість спостереження за переміщенням контрольованих рухомих об'єктів у режимі реального часу із використанням електронної карти. Система також підтримує отримання голосових повідомлень, сигналів від тривожної кнопки та підключених сенсорів, а також дистанційний контроль окремих систем рухомого об'єкта.

ПЗ комплексу забезпечує топологічний аналіз обстановки у місцях розташування рухомих об'єктів, аналіз їх взаємного розміщення, планування переміщень, пошук маршрутів, розрахунок часу руху, моніторинг переміщення, аналіз критичних подій, оперативне перепланування маршрутів й формування рекомендацій щодо зміни траєкторії руху. Приклад програмної візуалізації переміщення ТЗ наведено на рис. 1.7.

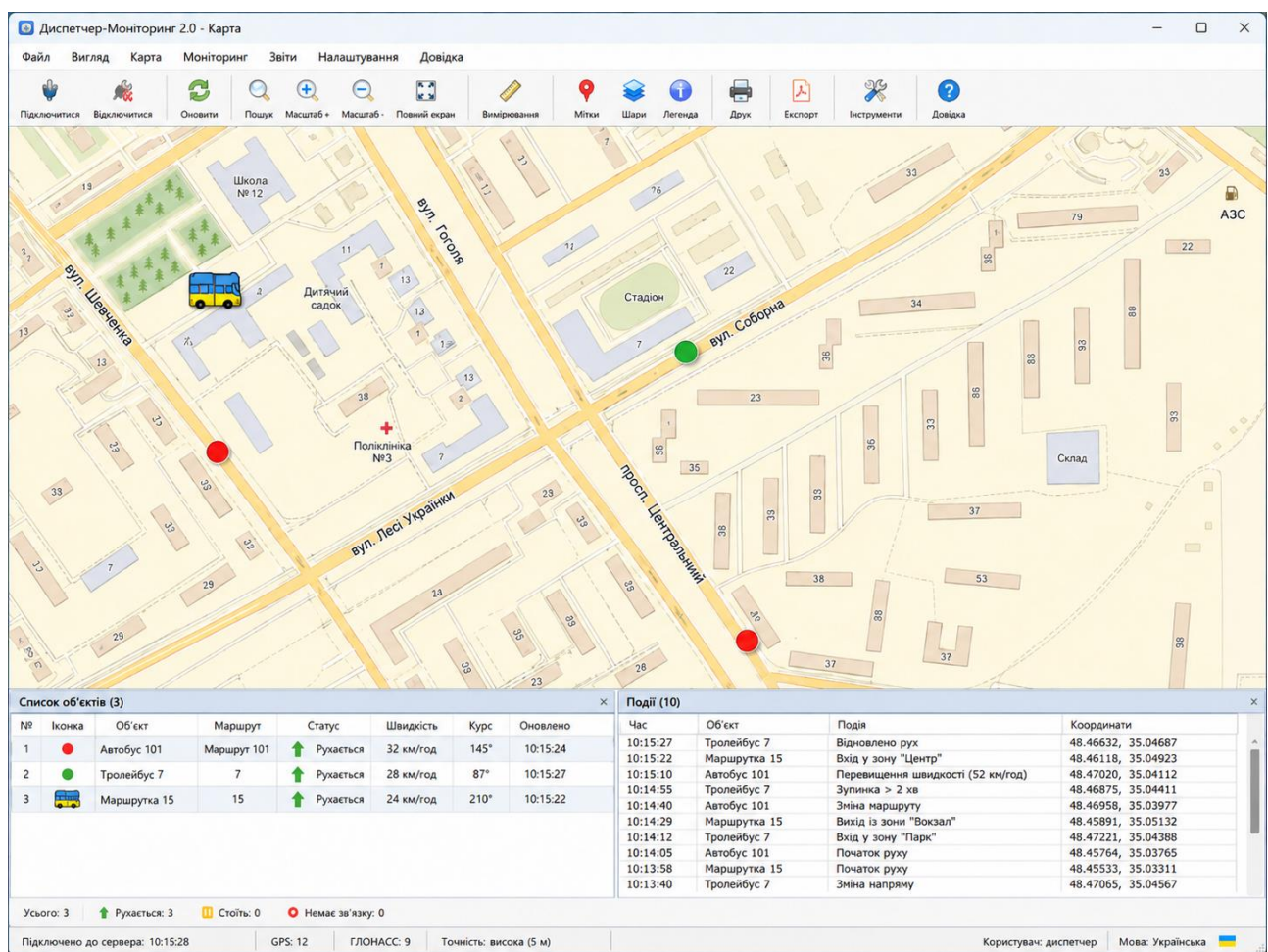


Рис. 1.7. – Програмна візуалізація переміщення ТЗ

Система «КУРС» може використовуватися оперативними службами. Для підрозділів надзвичайних ситуацій вона забезпечує навігаційний супровід ТЗ, моніторинг об'єктів підвищеного ризику, передавання керувальних команд на рухомі об'єкти, оптимізацію маршрутів, контроль перебування ТЗ у визначених районах та відстеження їхнього стану. Для органів правопорядку система може застосовуватися для контролю пересування патрульних автомобілів, маршрутизації оперативного

транспорту й оперативного отримання інформації про екстрені виклики. Для служби екстреної медичної допомоги система забезпечує приймання, оброблення й відображення даних про місцезнаходження та статус виїзних бригад, вибір оптимального варіанта обслуговування виклику, визначення маршруту до місця події та формування експлуатаційних звітів за визначений період.

Окремим прикладом автономної системи моніторингу є система «Планшет 100», призначена для визначення місцезнаходження й стану мобільних об'єктів із подальшим відображенням їх координат на електронних картах ДЦ. Структурну схему системи «Планшет» наведено на рис. 1.8.

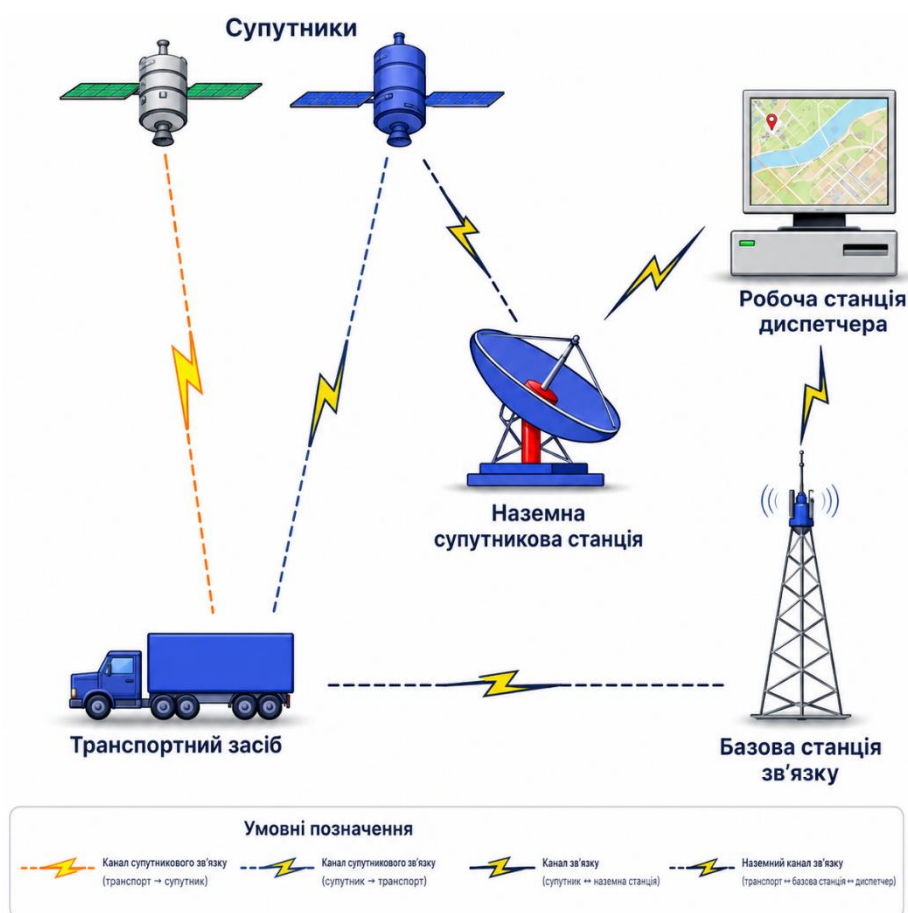


Рис. 1.8. – Структурна схема системи «Планшет»

До складу системи входять бортовий комплект РНТІ – реєстратор навігаційної й телеметричної інформації, канал передавання даних між РНТІ та ДЦ, а також ДЦ на базі ПК зі встановленим ПЗ «Планшет 100КС» й набором електронних карт відповідного регіону. Для передавання даних можуть використовуватися канали GSM, УКХ, УКХ-транкінгового або СЗ.

Реєстратор навігаційної й телеметричної інформації РНТІ є основним бортовим елементом системи «Планшет КС». Його зовнішній вигляд наведено на рис. 1.9.



Рис. 1.9. – Реєстратор навігаційної й телеметричної інформації

РНТІ призначений для визначення координат, часу та параметрів руху мобільного об'єкта, зокрема курсу, швидкості й висоти над рівнем моря. Пристрій забезпечує підключення сенсорів мобільного об'єкта, максимально до восьми сенсорів, а також електронних елементів дистанційного керування, максимально до чотирьох каналів управління. Крім того, РНТІ може підключатися до різних систем передавання даних, зокрема GSM, УКХ, УКХ-транкінгового та СЗ, для обміну навігаційною й телеметричною інформацією з ДЦ.

Система «Планшет» забезпечує визначення місцеположення та параметрів руху об'єкта, зокрема координат, швидкості, напрямку та часу;

визначення стану мобільного об'єкта на основі показників підключених сенсорів; відображення місцезположення об'єктів й стану сенсорів на електронних картах ДЦ; дистанційне керування елементами мобільного об'єкта; двосторонній голосовий зв'язок між мобільним об'єктом й ДЦ; запис історії переміщення у базу даних; формування звітів про рух, дотримання маршруту, зупинки та перевищення швидкості. Оболонку ПЗ моніторингу й контролю наведено на рис. 1.10.

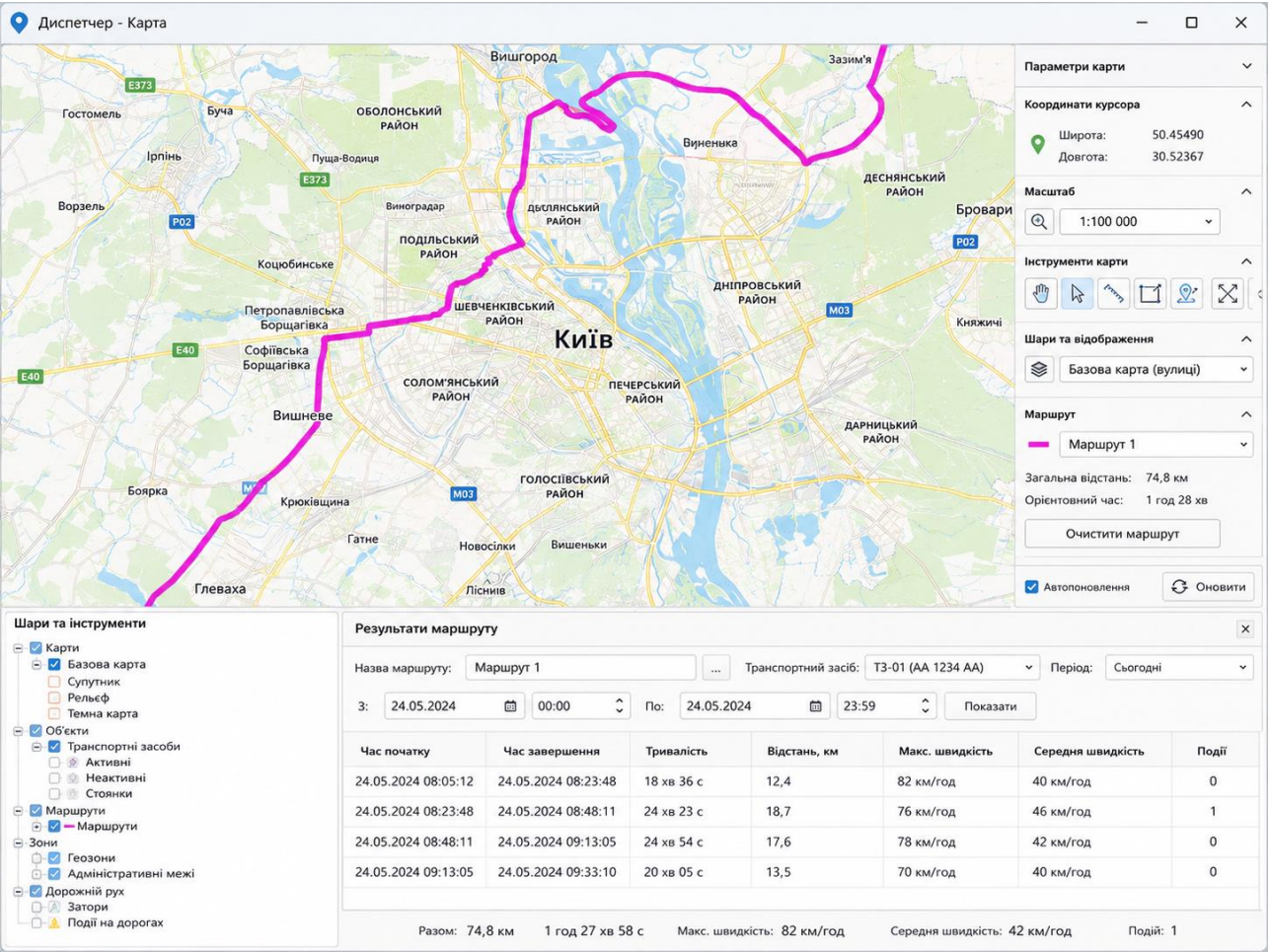


Рис. 1.10. – Оболонка ПЗ моніторингу й контролю системи

Функціональні можливості системи дають змогу оптимізувати маршрути, контролювати графік руху ТЗ, автоматизувати визначення їх місцезположення, здійснювати моніторинг строків доставки вантажів,

підвищувати безпеку перевезень, оперативно реагувати на екстрені ситуації на маршруті й автоматично формувати звіти щодо використання ТЗ.

За оцінками автотранспортних підприємств, на яких було впроваджено системи моніторингу, їх застосування може забезпечувати економію палива й паливно-мастильних матеріалів до 20 %, зменшення кількості ТЗ, необхідних для виконання заданого обсягу перевезень, до 25 %, скорочення витрат на телефонний зв'язок між водіями й диспетчером до 50 %, а також зниження страхових внесків на 15-30 % залежно від виду страхування. Крім того, упровадження таких систем сприяє підвищенню дисципліни й відповідальності водіїв і диспетчерського персоналу.

Отже, аналіз наявних технічних рішень свідчить, що системи контролю переміщення ТЗ мають подібну структурну організацію, яка передбачає наявність бортового модуля, каналу передавання даних та ДП. Основними функціями таких систем є визначення координат рухомого об'єкта, передавання навігаційної й телеметричної інформації, її оброблення, збереження, відображення на електронній карті та формування звітів. Водночас висока вартість комплексних промислових систем обмежує їх доступність для окремих категорій користувачів. Це зумовлює доцільність розроблення системи контролю переміщення ТЗ на базі GSM-зв'язку, яка повинна забезпечувати базові функції моніторингу за прийнятною вартості та конструктивної простоти реалізації.

1.1.2. Аналіз інформації

Розроблення системи контролю переміщення ТЗ із використанням GSM-каналу зв'язку належить до напряму створення переносної й стаціонарної електронної апаратури, призначеної для експлуатації у складі рухомих об'єктів й ДП. Оскільки пристрій передбачається використовувати в умовах транспортної експлуатації, його конструктивне виконання повинно відповідати вимогам електробезпеки й забезпечувати належний рівень захисту відповідно до класу II.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатація пристрою повинна здійснюватися відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 15150-82 із врахуванням кліматичного виконання УХЛ категорії 4.2 згідно із ДСТУ ГОСТ 20790. Зазначені нормативні вимоги визначають допустимі умови застосування виробу, зокрема:

- температура середовища експлуатації: від +10 °С до +35 °С;
- відносна вологість повітря: до 80 % за температури +25 °С;
- атмосферний тиск: 750 ± 30 мм рт. ст.

Із конструктивної точки зору пристрій повинен мати ергономічне компонування, зручне для експлуатації й технічного обслуговування. Органи керування доцільно розміщувати на передній панелі, що забезпечує оперативний доступ до них й візуальний контроль режимів роботи. Індикатори стану повинні однозначно відображати поточний режим функціонування пристрою.

Надійність виробу значною мірою визначається вибором електрорадіоелементів (ЕРЕ). Для підвищення експлуатаційної стійкості пристрою необхідно використовувати компоненти із мінімальною інтенсивністю відмов та достатнім ресурсом роботи. Такий підхід дає змогу забезпечити стабільність функціонування системи в умовах тривалої експлуатації.

Основні технічні характеристики пристрою, який є функціональним елементом системи контролю переміщення ТЗ, мають відповідати таким параметрам:

- робочий радіочастотний діапазон: 850-970 МГц;
- час встановлення робочого режиму: не більше 3 с;
- НЖ: 12-14 В;
- споживана потужність: не більше 0,5 Вт;
- тривалість встановлення робочого режиму: не більше 0,1 хв.

До конструкції пристрою висуваються такі вимоги:

- маса: не більше 0,5 кг;

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- габаритна довжина: не більше 280 мм;
- габаритна ширина: не більше 355 мм;
- габаритна висота: не більше 100 мм;
- конструкція повинна забезпечувати доступ до усіх ЕРЕ електричної частини для виконання монтажу, контролю й ТО.

Вимоги до надійності пристрою повинні відповідати положенням ДСТУ ГОСТ 23145-82. Ймовірність безвідмовної роботи модуля має становити не менше 0,9, а нап्राцювання на відмову – не менше 12000 год. Мінімальний строк служби пристрою повинен становити 6 років. Тривалість безперервної роботи – 24 год.

Із економічної точки зору конструкція пристрою повинна забезпечувати раціональне співвідношення функціональних можливостей, надійності й собівартості виготовлення. Зниження собівартості є важливою умовою забезпечення конкурентоспроможності системи на ринку засобів моніторингу транспортних об'єктів.

Отже, під час проєктування системи контролю переміщення ТЗ необхідно враховувати вимоги до умов експлуатації, конструктивного виконання, надійності, енергоспоживання, масогабаритних параметрів й економічної доцільності. Дотримання зазначених вимог забезпечує відповідність пристрою функціональному призначенню й потребам користувача.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Проектування схемотехнічне

1.2.1. Розроблення й розрахунок структурної схеми виробу

Розроблення структурної схеми системи контролю переміщення ТЗ передбачає визначення основних функціональних блоків, характеру взаємодії між ними, способу апаратної реалізації функцій, формату даних, принципів їх буферизації й зберігання. Також на цьому етапі встановлюються особливості введення, виведення й передавання інформації між функціональними вузлами, визначаються вимоги до синхронізації їх роботи та забезпечення необхідної швидкодії системи.

На основі технічних вимог до пристрою сформовано структурну схему системи контролю переміщення ТЗ. Система призначена для визначення координат рухомого об'єкта, передавання отриманих даних через GSM-мережу й подальшого оброблення інформації на ДП.

Мобільні контролери розміщуються на кожному контрольованому рухомому об'єкті, а також використовуються у складі ДП. Структурну схему системи контролю переміщення ТЗ наведено на рис. 1.11.

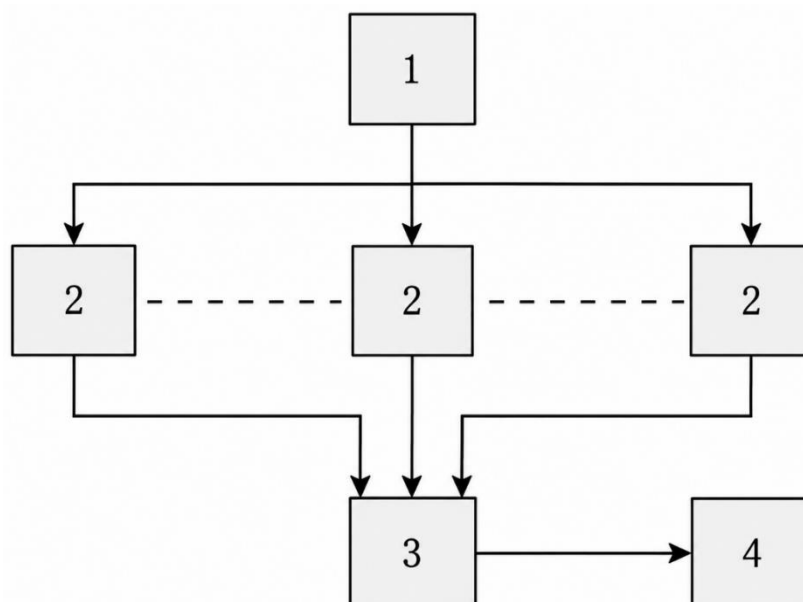


Рис. 1.11. – Структурна схема системи контролю переміщення ТЗ

На структурній схемі системи позначено такі основні елементи:

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1. Супутники GPS-системи.
2. Мобільний контролер.
3. GSM-мережа.
4. ДП.

Принцип роботи системи полягає у прийманні мобільним контролером навігаційних сигналів від супутників GPS-системи. На основі отриманих даних визначається місцеположення рухомого об'єкта. Сформована інформація передається до ДП через GSM-мережу. У ДП дані приймаються, обробляються, ідентифікуються та можуть бути використані для відображення координат об'єкта, аналізу маршруту або формування звітної інформації. Для однозначного розпізнавання кожному контрольованому об'єкту надається індивідуальний ідентифікаційний номер.

Відповідно до структурної схеми системи мобільний контролер повинен забезпечувати виконання таких основних функцій:

- приймання навігаційних й службових даних;
- передавання інформації через GSM-канал зв'язку;
- індикація стану роботи пристрою;
- візуалізація основних параметрів функціонування.

Для реалізації зазначених функцій визначено склад функціональних блоків мобільного контролера й встановлено зв'язки між ними. При цьому враховано вимоги до апаратної реалізації, формату переданих даних, обміну інформацією між вузлами, синхронізації роботи елементів й забезпечення необхідної швидкодії

Структурну схему мобільного контролера наведено на рис. 1.12.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

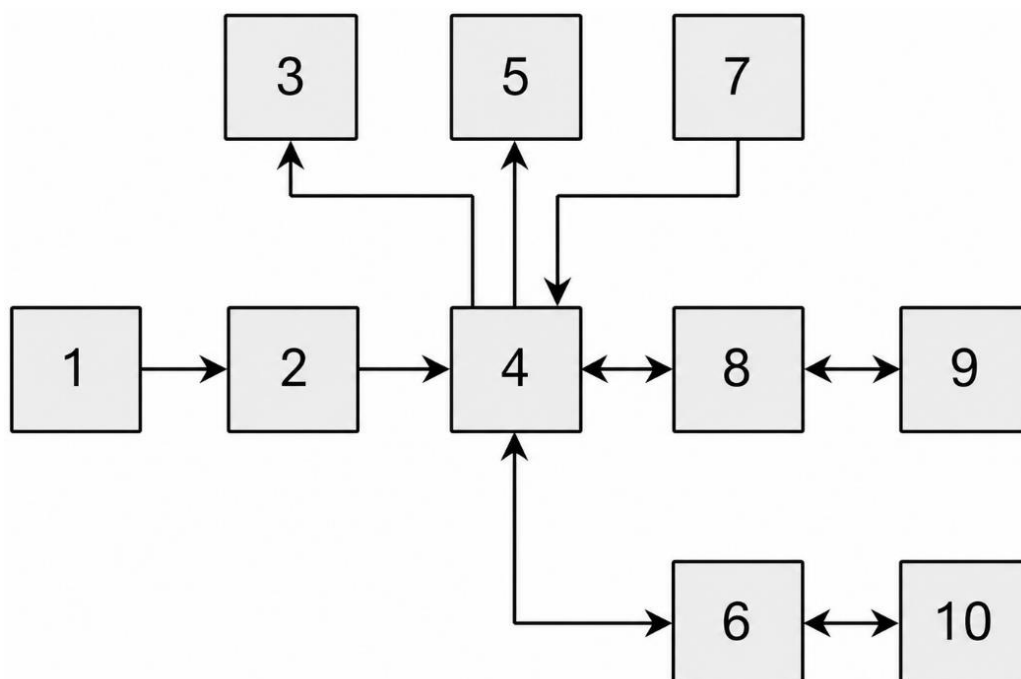


Рис. 1.12. – Структурна схема мобільного контролера

До складу мобільного контролера входять такі функціональні елементи:

1. GPS-модуль.
2. Блок узгодження сигналів.
3. LCD-дисплей.
4. Контролер.
5. Блок індикації.
6. Блок узгодження сигналів.
7. Клавіатура.
8. Інтерфейс RS-232.
9. Персональна електронно-обчислювальна машина.
10. Телефонний GSM-модуль.

GPS-модуль забезпечує приймання навігаційних сигналів й визначення координат місцеположення рухомого об'єкта. Через блок узгодження сигналів отримані дані передаються до контролера, де виконується їх опрацювання й формування повідомлення для подальшого передавання.

Після цього дані через відповідний блок узгодження надходять до телефонного GSM-модуля, який забезпечує передавання інформації на ДП у вигляді SMS-повідомлень.

Поточні координати рухомого об'єкта відображаються на LCD-дисплеї. Стан функціонування пристрою, а також процеси приймання й передавання даних контролюються за допомогою блоку індикації. Клавіатура використовується для вибору або зміни режимів роботи мобільного контролера.

У режимі приймання інформації дані надходять через телефонний GSM-модуль до контролера через блок узгодження сигналів. На LCD-дисплеї відображаються ідентифікаційний номер об'єкта та його координати. Індикація процесів приймання й передавання інформації здійснюється відповідним блоком індикації.

Для подальшого оброблення, збереження або візуалізації отримані дані передаються на персональну електронно-обчислювальну машину через інтерфейс RS-232C. Така структурна організація забезпечує приймання координатної інформації, її первинне опрацювання, передавання через GSM-канал зв'язку та інтеграцію з диспетчерським програмно-апаратним комплексом.

1.2.2. Проектування та розрахунок ЕЗ

Проектування ЕЗ мобільного контролера виконано із урахуванням функціонального призначення системи контролю переміщення ТЗ. Основними завданнями схемотехнічної реалізації є приймання навігаційних даних від GPS-модуля, їх опрацювання мікроконтролером, передавання інформації через GSM-канал зв'язку, відображення поточних параметрів на індикаторних пристроях та забезпечення взаємодії з персональною електронно-обчислювальною машиною.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

GPS-модуль забезпечує приймання навігаційної інформації, зокрема координат місцеположення контролюваного об'єкта.

Через блок узгодження сигналів, реалізований на основі оптопар DA3 й DA5, дані надходять до мікроконтролера CP1.

У мікроконтролері виконується опрацювання отриманих даних й формування інформаційного повідомлення.

Після цього повідомлення через блок узгодження сигналів передається до мобільного телефону, підключеного до роз'єму X5.

Подальше передавання координатної інформації на ДП здійснюється у вигляді SMS-повідомлень.

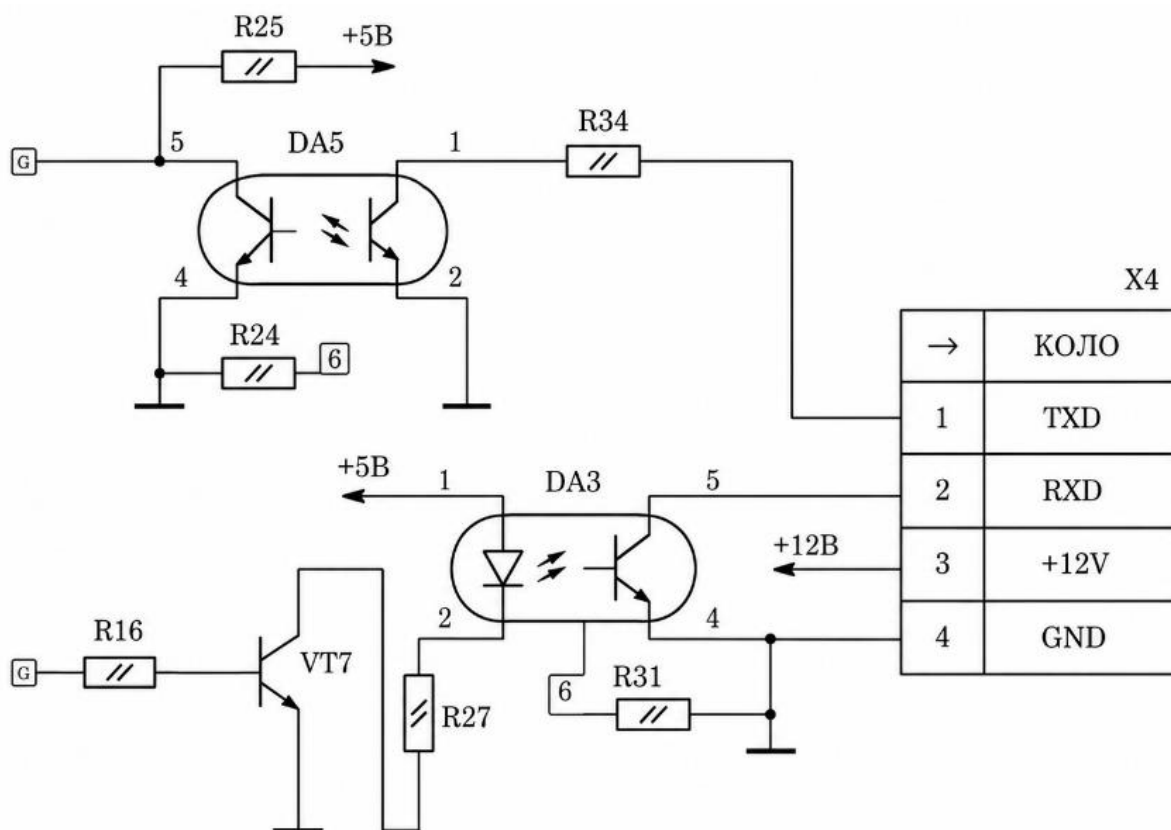
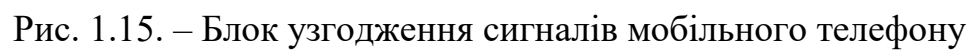


Рис. 1.13. – Блок узгодження сигналів GPS-модуля



Поточні координати об'єкта відображаються на LCD-дисплеї. Стан роботи мобільного контролера контролюється за допомогою блоку індикації, побудованого на транзисторних ключах VT1-VT4. Зміна режимів роботи пристрою здійснюється за допомогою клавіатури.

У режимі приймання інформації дані надходять від мобільного телефону до мікроконтролера через відповідний блок узгодження сигналів. На LCD-дисплеї відображаються ідентифікаційний номер об'єкта та його координати. Процеси приймання й передавання даних візуально контролюються за допомогою блоку індикації. Отримана інформація може передаватися на персональну електронно-обчислювальну машину через інтерфейс RS-232C.

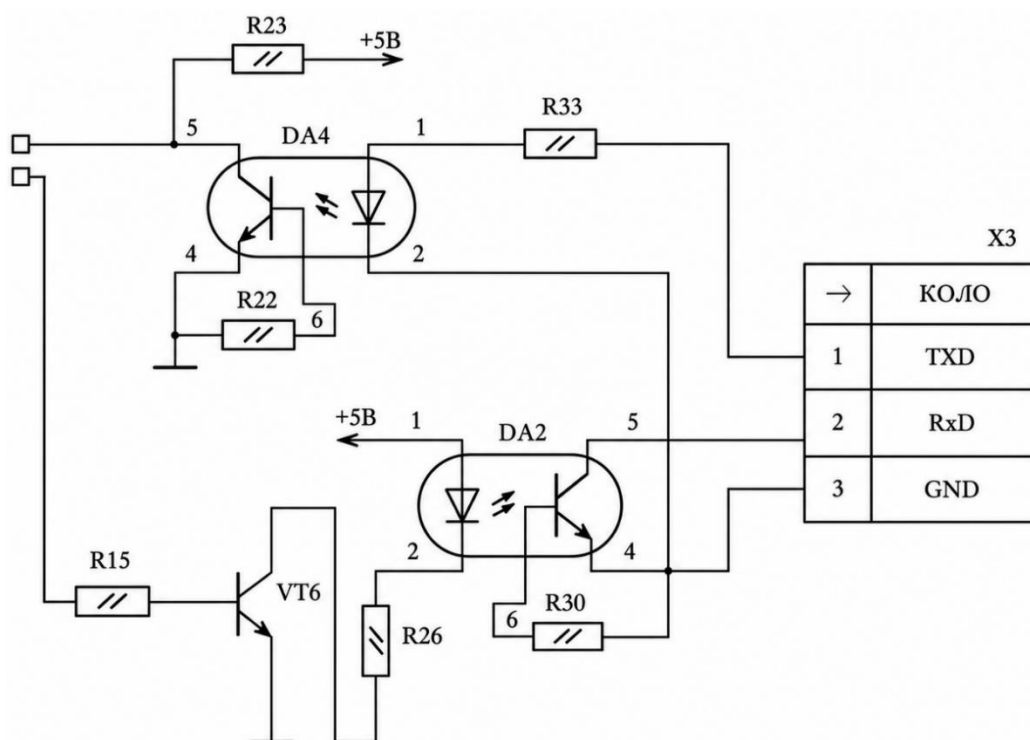


Рис. 1.16. – Інтерфейс RS-232C

Розрахунок блоку індикації.

Блок індикації містить чотири функціонально однакові вузли, що працюють у ключовому режимі на транзисторах VT1-VT4, увімкнених за схемою зі спільним емітером. У коло навантаження транзисторних ключів

включено світлодіоди Н1, Н2, Н3, Н4 й Н5, які забезпечують візуальну індикацію режимів роботи пристрою.

Оскільки вузли індикації мають однакову структуру, розрахунок виконується для одного типового вузла, до складу якого входять резистори R2 й R8, транзистор VT1 та світлодіод Н1. Схему вузла індикації наведено на рис. 1.17.

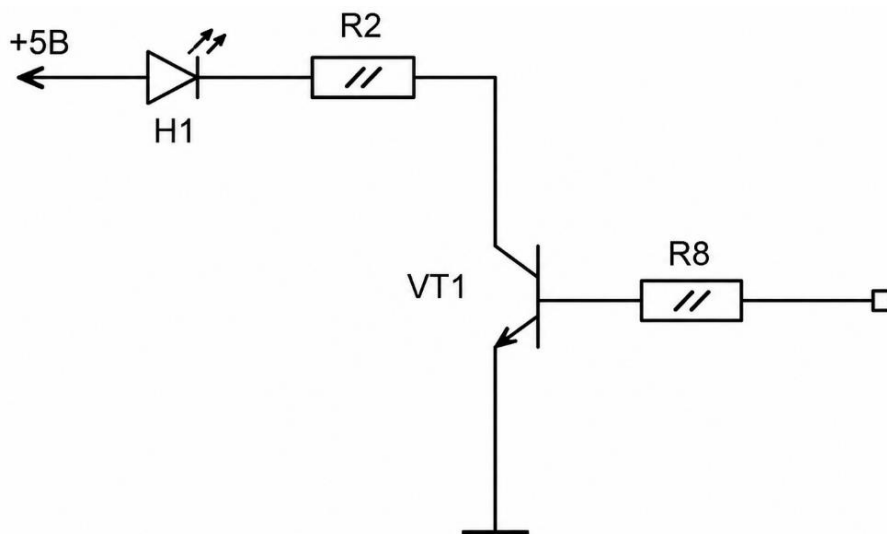


Рис. 1.17. – Вузол індикації

Для забезпечення нормального режиму світіння струм світлодіода приймається приблизно 5 мА. За НЖ 5 В, падіння напруги на транзисторному ключі 0,4 В та падіння напруги на світлодіоді 2 В опір резистора R2 визначається за формулою:

$$R_2 = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{світлодіода}} - U_{VT1}}{I_{\text{світлодіода}}}, \quad (1.1)$$

де $U_{\text{ж}}$ – НЖ;

$U_{\text{світлодіода}}$ – падіння напруги на світлодіоді;

U_{VT1} – падіння напруги на транзисторному ключі;

$I_{\text{світлодіода}}$ – робочий струм світлодіода.

Після підстановки вихідних даних отримане значення округлюється до найближчого стандартного номіналу. Для резисторів R2-R5 приймається номінал 270 Ом.

Для визначення номіналу базового резистора R8 попередньо обчислюється базовий струм транзистора VT1:

$$I_{6VT1} = \frac{I_{K.VT1}}{\beta_{VT1}}, \quad (1.2)$$

де $I_{K.VT1}$ – струм колектора транзистора, $I_{K.VT1} = I_{\text{світлодіода}} = 10 \text{ мА}$;
 β_{VT1} – коефіцієнт передавання струму транзистора, $\beta_{VT1} = 600$.

$$I_{6VT1} = \frac{0,010 \text{ А}}{600} = 16,6 \text{ мкА}.$$

Із метою забезпечення надійного насичення транзистора у ключовому режимі базовий струм приймається із запасом, тобто більшим за розрахункове значення. Номінал резистора R8 визначається за формулою:

$$R_8 = \frac{U_{\text{вих.МК}}}{I_{6VT8}}, \quad (1.3)$$

де $U_{\text{вих.МК}}$ – вихідна напруга порту мікроконтролера.

За результатами розрахунку для базових резисторів R8-R11 приймається стандартний номінал 91 кОм. Як транзисторні ключі VT1-VT4 доцільно використати транзистори типу КТ3102Б.

Отже, для блоку індикації прийнято такі елементи:

- транзистори VT1-VT4 – КТ3102Б;
- резистори R2-R5 – 270 Ом;
- резистори R8-R11 – 91 кОм.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок інтерфейсу та блоку узгодження GPS-модуля.

Інтерфейс узгодження сигналів GPS-модуля містить два типи формувачів рівнів сигналу. Їх призначення полягає в узгодженні електричних рівнів між GPS-модулем, мікроконтролером та іншими функціональними вузлами пристрою. Основним елементом формувачів є оптопара, яка забезпечує гальванічне розділення та підвищує завадостійкість схеми.

Перший тип формувача рівня сигналу містить резистори R15, R26, R30, транзистор VT6 й оптопару DA2. Його схему наведено на рис. 1.18.

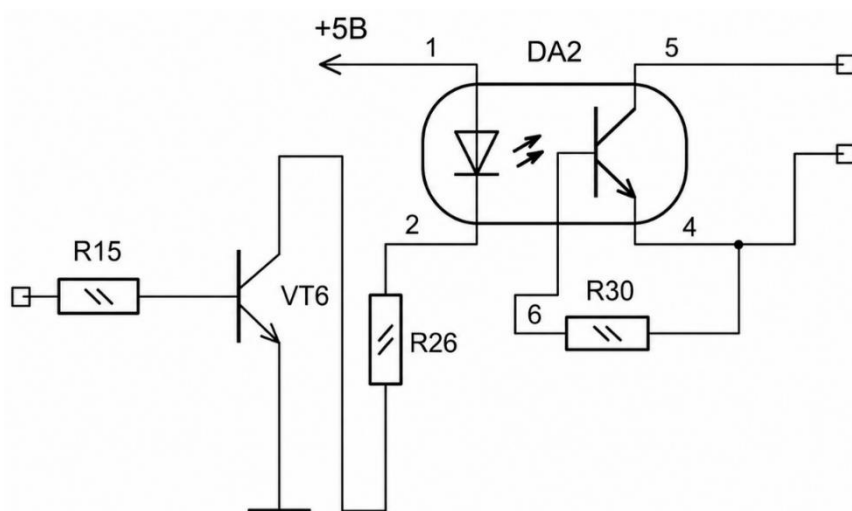


Рис. 1.18. – Формувач рівня першого типу

Вихідними даними для розрахунку є:

- вхідний струм порту мікроконтролера – 33,2 мкА;
- вхідна напруга – 3 В;
- струм світлодіода оптопари – приблизно 10 мА;
- НЖ – 5 В;
- падіння напруги на транзисторному ключі – 0,4 В;
- падіння напруги на світлодіоді оптопари – 2 В.

Опір резистора R26, який обмежує струм світлодіода оптопари, визначається за формулою:

$$R_{26} = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{світлодіода}} - U_{VT6}}{I_{\text{світлодіода}}} = \frac{5 \text{ В} - 2 \text{ В} - 0,4 \text{ В}}{0,010 \text{ А}} = 260 \text{ Ом}, \quad (1.4)$$

де $U_{\text{ж}}$ – НЖ;

$U_{\text{світлодіода}}$ – падіння напруги на світлодіоді оптопар;

U_{VT6} – падіння напруги на транзисторі;

$I_{\text{світлодіода}}$ – струм світлодіода оптопар.

За результатами розрахунку приймається стандартний номінал резистора R26 – 270 Ом.

Базовий струм транзистора VT6 визначається за співвідношенням:

$$I_{6VT6} = \frac{I_{K.VT6}}{\beta_{VT6}} = \frac{0,010 \text{ А}}{600} = 16,6 \text{ мкА} \quad (1.5)$$

де $I_{K.VT6}$ – струм колектора транзистора, $I_{K.VT6} = I_{\text{світлодіода}} = 10 \text{ мА}$;

β_{VT6} – коефіцієнт передавання струму транзистора, $\beta_{VT6} = 600$.

Для забезпечення стійкого ключового режиму базовий струм приймається із запасом. Номінал резистора R15 визначається за формулою:

$$R_{15} = \frac{U_{\text{вих.МК}}}{I_{6VT15}} = \frac{3}{33,2 * 10^{-6}} = 90,4 \text{ кОм}, \quad (1.6)$$

де $U_{\text{вих.МК}}$ – вихідна напруга порту мікроконтролера.

За результатами розрахунку для резистора R15 приймається номінал 91 кОм. Резистор R30 відповідно до паспортних даних оптопар АОТ128В приймається номіналом 100 кОм.

Для формувача першого типу прийнято такі елементи:

- транзистор VT6 – КТ3102Б;
- оптопара DA2 – АОТ128В;
- резистор R15 – 91 кОм;

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- резистор R26 – 270 Ом;
- резистор R30 – 100 кОм.

Другий тип формувача рівня сигналу містить резистори R33, R23, R22 та оптопару DA4. Його схему наведено на рис. 1.19.

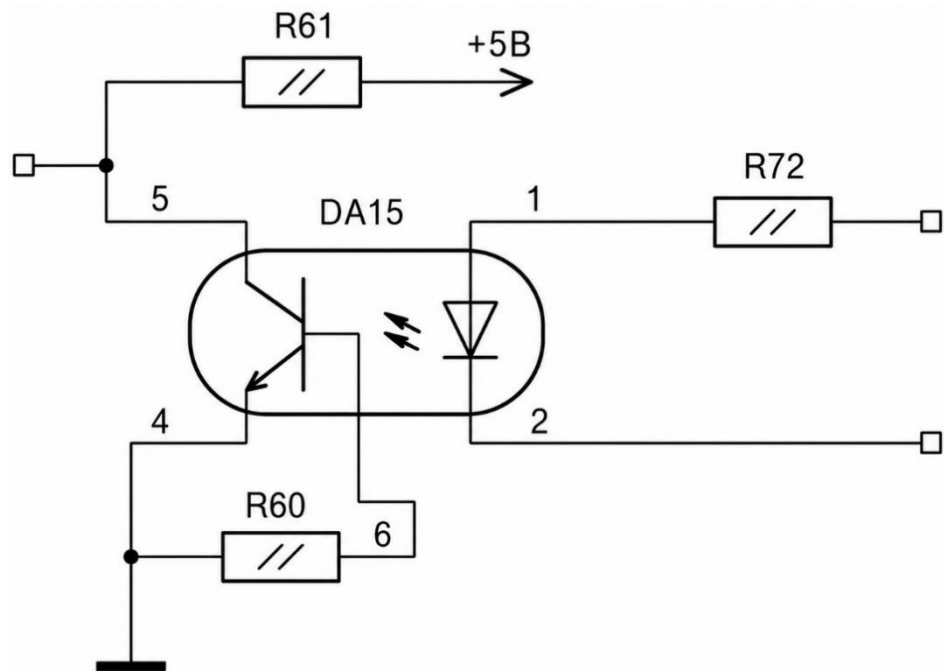


Рис. 1.19. – Формувач рівня другого типу

Вихідні дані для розрахунку:

- вхідний струм – 10 мА;
- вихідний струм – 1 мА;
- рівень логічного «0» на вході – від +5 В до +12 В;
- рівень логічної «1» на вході – від +5 В до –12 В;
- вихідний струм – 33,2 мкА;
- падіння напруги на світлодіоді оптопар – 2 В.

Струм світлодіода оптопар приймається рівним приблизно 10 мА, що відповідає вимогам нормальної роботи ключа оптопар АОТ128В. Опір резистора R33 визначається із урахуванням вхідної напруги й падіння

напруги на світлодіоді оптопар. За результатами розрахунку приймається стандартний номінал R33 – 1 кОм.

Резистор R22 згідно із паспортними даними оптопар AOT128B приймається номіналом 100 кОм. Номінал резистора R23 визначається за формулою:

$$R_{23} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{\text{вих}}} = \frac{5}{1 * 10^{-3}} = 5 \text{ кОм}, \quad (1.7)$$

де $U_{\text{ж}}$ – напруга на ділянці кола;

$I_{\text{вих}}$ – розрахунковий струм.

За результатами розрахунку приймається стандартний номінал R23 – 5,1 кОм.

Для формувача другого типу прийнято такі елементи:

- оптопара DA4 – AOT128B;
- резистор R33 – 1 кОм;
- резистор R23 – 5,1 кОм;
- резистор R22 – 100 кОм.

Оскільки блок узгодження GPS-модуля за структурою відповідає розглянутому інтерфейсу, для нього приймаються аналогічні схемотехнічні рішення та такі номінали елементів:

- оптопари DA3 і DA5 – AOT128B;
- резистори R24 і R31 – 100 кОм;
- резистор R34 – 1 кОм;
- резистор R25 – 5,1 кОм;
- резистор R27 – 270 Ом;
- резистор R16 – 9,1 кОм;
- транзистор VT7 – KT3102Б.

Розрахунок блоку узгодження мобільного телефону.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок узгодження мобільного телефону призначений для узгодження електричних рівнів між виходом мікроконтролера та входом мобільного телефону, а також для забезпечення передавання сигналів у зворотному напрямку. Схема блоку побудована на двох транзисторних ключах VT8 й VT9, увімкнених за схемою зі спільним емітером.

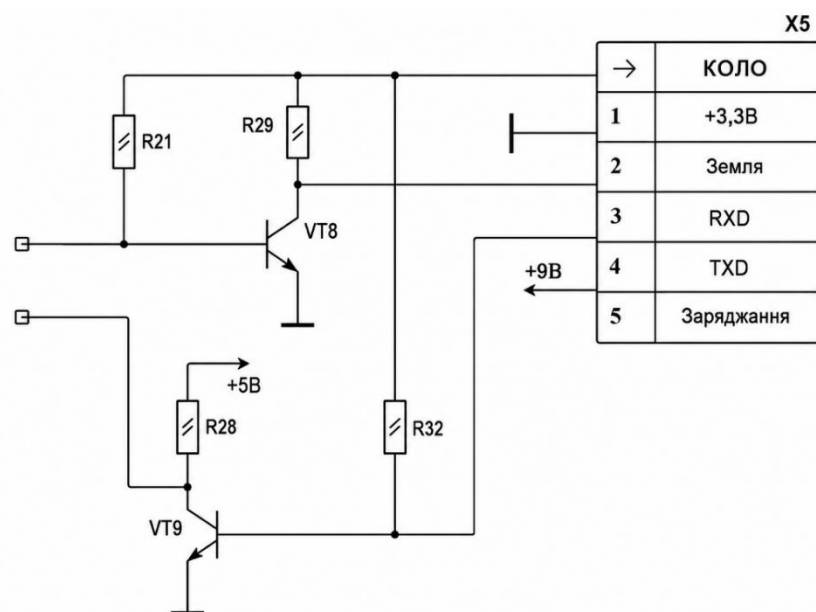


Рис. 1.20. – Вузол узгодження мобільного телефону

Транзисторний ключ є функціональним вузлом дискретної схемотехніки, призначеним для комутації струмів або потенціалів у навантаженні. У таких схемах транзистор працює у двох основних станах: закритому, що відповідає режиму відсічення, та відкритому, що відповідає режиму насичення. Перехід між цими станами відбувається під дією вхідного керувального сигналу.

У ключовому режимі транзистор забезпечує комутацію електричного кола за рахунок зміни вихідного опору: у відкритому стані опір є малим, а в закритому – великим. Основними параметрами транзисторного ключа є швидкодія, тривалість фронтів вихідних сигналів, опір у відкритому та закритому станах, споживана потужність, завадостійкість, стабільність

порогових рівнів перемикання та надійність роботи за умов зміни параметрів елементів та ДЖ.

Розрахунок транзисторного ключа виконується із метою забезпечення надійного відкриття та закривання транзистора у заданому діапазоні вхідних сигналів, а також досягнення необхідної швидкодії та рівня підсилення. Оскільки ключі VT8 й VT9 є однотипними, розрахунок виконується для одного транзисторного ключа, а отримані результати застосовуються для обох вузлів.

Тип транзистора вибирається із урахуванням необхідної швидкодії, амплітуди вихідної напруги, допустимого температурного діапазону та електричних параметрів схеми. Для реалізації ключа приймається транзистор КТ3102Б.

НЖ колекторного вибирається відповідно до заданої амплітуди вихідного сигналу. При цьому повинна виконуватися умова, за якої НЖ не перевищує допустимих параметрів транзистора та забезпечує необхідний рівень вихідного сигналу.

Колекторний струм насичення обмежується допустимим статичним струмом колектора та зворотним струмом колекторного переходу. Опір колекторного резистора визначається за формулою:

$$R_K \geq \frac{U_K}{I_K} = \frac{U_K}{0,8 * I_{K.MAX}} = \frac{3,3}{0,8 * 0,1} = 41,25 \text{ Ом}, \quad (1.8)$$

де U_K – напруга в колекторному колі;

I_K – колекторний струм.

За результатами розрахунку приймається номінал колекторного резистора 100 Ом.

Зворотний струм колекторного переходу визначається для максимальної робочої температури із врахуванням його значення за температури 20 °С. Опір резистора у базовому колі вибирається із умови

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення режиму відсічення закритого транзистора за максимальної температури. За результатами розрахунку приймається номінал 9,1 кОм.

Базовий струм, необхідний для переведення транзистора в режим насичення, визначається з урахуванням коефіцієнта передавання струму:

$$I_{\text{бн}} = \frac{I_{\text{кн}}}{\beta} = \frac{0,08}{600} = 0,13 \text{ мА.} \quad (1.9)$$

Опір резистора в колі бази визначається за амплітудою вхідного керувального сигналу та необхідним значенням базового струму:

$$R_{32} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{S * I_{\text{бн}} + \frac{U_{\text{В}}}{R_{\text{Н}}}}, \quad (1.10)$$

де $U_{\text{ВХ}}$ – амплітуда вхідного керувального сигналу;

$I_{\text{бн}}$ – базовий струм транзистора.

Коефіцієнт насичення вибирається із урахуванням тривалості перехідного процесу, середнього часу життя неосновних носіїв заряду у базі транзистора та заданої швидкодії ключа. За результатами розрахунку приймається значення, достатнє для забезпечення надійного ключового режиму.

Відповідно до проведених розрахунків для блоку узгодження мобільного телефону прийнято такі елементи:

- транзистори VT8 й VT9 – КТ3102Б;
- резистори R28 й R29 – 9,1 кОм;
- резистори R21 й R23 – 5,1 кОм.

У цьому підрозділі виконано схемотехнічне проектування ЕЗ мобільного контролера системи контролю переміщення ТЗ. Було визначено принцип взаємодії GPS-модуля, мікроконтролера, GSM-модуля, LCD-дисплея, блоку індикації, клавіатури й інтерфейсу RS-232C.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконано розрахунок блоку індикації, формувачів рівнів сигналу, блоку узгодження GPS-модуля й блоку узгодження мобільного телефону. За результатами розрахунків обґрунтовано вибір транзисторів типу КТ3102Б, оптопар типу АОТ128В й номіналів резистивних елементів. Запропоновані схемотехнічні рішення забезпечують узгодження електричних рівнів, передавання навігаційних даних, індикацію режимів роботи та взаємодію мобільного контролера із ДП через GSM-канал зв'язку.

1.2.3. Вибір та обґрунтування елементної бази

Вибір елементної бази є одним із ключових етапів схемотехнічного проєктування електронного пристрою, оскільки від коректності добору компонентів залежать працездатність, надійність, довговічність, ремонтпридатність й собівартість виробу. Помилки під час вибору елементів можуть мати різні наслідки: від негайного виходу пристрою із ладу під час першого ввімкнення до поступового зниження ресурсу роботи апаратури в процесі експлуатації.

Найбільш критичними є помилки, пов'язані із перевищенням гранично допустимих електричних або теплових параметрів компонентів. До таких параметрів належать струм, напруга, частота, температура, допустима потужність розсіювання та інші характеристики, що задаються виробником у технічній документації (ТД). Зазначені параметри зазвичай є взаємозалежними, тому вибір елементів повинен виконуватися з урахуванням повного комплексу експлуатаційних й режимних умов.

Під час добору компонентів для електронного пристрою необхідно враховувати такі основні чинники:

- електричні параметри елемента;
- допустимі режими роботи;
- рівень електричного навантаження;
- показники безвідмовності;

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- ресурс й довговічність;
- масогабаритні характеристики;
- конструктивне виконання;
- спосіб монтажу;
- ремонтпридатність;
- вартість;
- доступність й стандартизацію елементної бази.

До базових пасивних елементів електронних схем належать резистори, конденсатори та діоди. Для пасивних компонентів характерним є те, що струм через елемент визначається прикладеною напругою та його електричними параметрами. У розроблюваному пристрої як резистивні елементи було вибрано постійні резистори типу С2-33 та змінний резистор типу СПЗ-196.

Під час вибору резисторів основну увагу було приділено допустимій потужності розсіювання, номінальному опорі, точності, температурній стабільності, габаритним розмірам й способу монтажу. Також було враховано умови роботи резисторів у складі функціональних вузлів пристрою, їх електричне навантаження, показники надійності, масу, конструктивне виконання й економічну доцільність застосування. У схемі пристрою передбачено використання 31 постійного резистора та одного змінного резистора.

Після вибору резистивних елементів було здійснено добір конденсаторів. Тип конденсатора визначався відповідно до його функціонального призначення у схемі, зокрема для фільтрації, розв'язки, стабілізації режимів живлення або формування часових параметрів сигналів. Конкретні номінали вибиралися за ємністю, робочою напругою, допустимими відхиленнями, температурною стабільністю, габаритними параметрами та умовами монтажу.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розроблюваного пристрою було вибрано керамічні конденсатори типу К10-17 та електролітичні конденсатори типу К50-35. Загалом у схемі застосовано 6 керамічних й 5 електролітичних конденсаторів. Керамічні конденсатори доцільно використовувати у колах височастотної фільтрації та розв'язки, тоді як електролітичні конденсатори застосовуються переважно в колах живлення для згладжування пульсацій й стабілізації напруги.

Крім резисторів й конденсаторів, до складу пасивної та напівпровідникової елементної бази пристрою включено два діоди й два стабілітрони. Діоди використовуються для формування необхідних напрямків протікання струму, захисту кіл й випрямлення сигналів, а стабілітрони – для стабілізації напруги та обмеження її рівня в окремих вузлах схеми.

Активні елементи відрізняються від пасивних здатністю керувати струмом у колі під дією керувального сигналу. До таких компонентів належать транзистори, оптопари та інтегральні мікросхеми (ІМС). У розроблюваному пристрої було використано 8 кремнієвих транзисторів типу КТ3102Б й один польовий транзистор типу ВUZ50С.

Транзистори КТ3102Б застосовуються як ключові елементи в колах індикації й узгодження сигналів. Їх вибір обґрунтовується достатніми електричними параметрами, придатністю до роботи у ключовому режимі, доступністю, невеликими габаритами й можливістю використання у малопотужних електронних пристроях. Польовий транзистор ВUZ50С використовується у вузлі, де потрібне керування струмом за допомогою напруги на затворі та забезпечення відповідних параметрів комутації.

Окрему групу елементної бази становлять ІМС. Вони виконують функції логічного опрацювання сигналів, керування режимами роботи, стабілізації, підсилення, формування або перетворення сигналів. У сучасних електронних пристроях особливе значення мають програмовані

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролери (МК), які забезпечують реалізацію алгоритмів роботи пристрою за допомогою вбудованої пам'яті та ПЗ.

Для реалізації функціональних вузлів мобільного контролера було вибрано такі інтегральні компоненти:

- оптопара DA1 – ILD5;
- оптопари DA2–DA5 – AOT128B;
- логічна мікросхема DD1 – K561ЛН2;
- МК СР1 – АТmega32.

Оптопари застосовуються для гальванічного розділення кіл й узгодження електричних рівнів сигналів між функціональними вузлами. Їх використання дає змогу підвищити завадостійкість пристрою й зменшити ризик пошкодження МК внаслідок впливу зовнішніх електричних завад. Логічна МК K561ЛН2 використовується для реалізації логічних перетворень сигналів. МК АТmega32 є центральним керувальним елементом пристрою, який забезпечує приймання, опрацювання, формування й передавання інформаційних повідомлень, а також керування індикацією й режимами роботи мобільного контролера.

Додатково до складу елементної бази було включено трансформатор типу ТОТ4 й кварцовий резонатор Z1 типу РК-02МД-Г. Трансформатор використовується для забезпечення необхідних параметрів живлення або узгодження електричних кіл, а кварцовий резонатор призначений для формування стабільної тактової частоти роботи мікроконтролера.

Вибір активних й пасивних компонентів має ітераційний характер, оскільки після попереднього добору елементів необхідно перевіряти їх відповідність електричним, конструктивним, експлуатаційним й економічним вимогам. У процесі вибору елементної бази враховувалися дані довідникової літератури, технічні описи серійних компонентів й параметри, наведені у паспортній документації виробників.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання вибраних компонентів обґрунтовується їх доступністю, стандартизованістю, уніфікованістю, невеликою масою, прийнятними габаритними розмірами, достатньою надійністю й економічною доцільністю. Стандартизація елементної бази спрощує монтаж, ремонт, заміну компонентів й подальше ТО пристрою.

Отже, для реалізації мобільного контролера було сформовано елементну базу, яка забезпечує виконання основних функцій пристрою, зокрема приймання й опрацювання навігаційних даних, узгодження сигналів, передавання інформації, індикацію режимів роботи та стабільне функціонування електронних вузлів. Обрані компоненти відповідають вимогам до надійності, ремонтпридатності, масогабаритних параметрів й собівартості виробу.

1.3. Компоновка друкованого вузла пристрою

1.3.1. Розроблення компоновання й конструкції ДВ

Розроблюваний пристрій передбачено виконати на односторонній друкованій платі (ОДП). Проектування плати друкованої (ПД) повинно здійснюватися відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 23751-86 із урахуванням технологічних методів її виготовлення, зокрема комбінованого, позитивного та електрохімічного, або напівадитивного, способів.

Електрохімічний метод (ЕХМ) забезпечує високу точність формування струмопровідного рисунка та дає змогу підвищити щільність монтажу. Однак для розроблюваного пристрою пріоритетним критерієм є експлуатаційна надійність друкованого вузла (ДВ). З огляду на це доцільним є застосування комбінованого позитивного методу (КПМ), який забезпечує достатню міцність зчеплення провідників з основою ПД. Додатковим чинником вибору цього методу є його поширеність у виробничій практиці підприємства-замовника.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічний процес (ТП) виготовлення ПД КПМ складається з послідовності взаємопов'язаних операцій: вхідного контролю фольгованого діелектрика, отримання заготовок, формування базових й монтажних отворів, хімічної й гальванічної металізації (ГМ), нанесення фоторезисту, формування провідникового рисунка, травлення міді, оплавлення покриття, обрізання ПД за контуром, маркування та консервації.

Вхідний контроль фольгованого діелектрика типу СФ-1-35Г здійснюється із метою перевірки його відповідності нормативним вимогам. На цьому етапі контролюються геометричні розміри листа, стан поверхні, міцність зчеплення мідної фольги із діелектричною основою у вихідному стані й після впливу розплавленого припою, гальванічних розчинів й технологічних середовищ. Контроль проводиться відповідно до ДСТУ ГОСТ 10316-78. Під час візуального огляду визначається наявність проколів, здуттів, розшарувань, механічних пошкоджень й інших дефектів поверхні. Зовнішній вигляд діелектрика повинен відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 23752-83.

Міцність зчеплення фольги із діелектриком оцінюється за зусиллям, необхідним для відриву фольги від основи. Додатково визначаються технологічні властивості матеріалу, зокрема штампувальність й придатність до свердління. Штампувальність характеризує здатність матеріалу оброблятися без утворення сколів на краях отворів й тріщин у перемичках між ними. Придатність до свердління встановлюється пробною механічною обробкою із подальшим аналізом якості стінок отворів. Виготовлення шліфа просвердленого отвору дає змогу виявити пропалювання, оплавлення, надмірну шорсткість або наявність виступаючих волокон, які можуть ускладнювати подальшу металізацію.

Отримання заготовок виконується шляхом розкрою листового фольгованого діелектрика із припуском за контуром. Ширина технологічного поля приймається 10 мм. Різання листів може здійснюватися дисковою

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

фрезою з охолодженням стисненим повітрям, роликowymi ножицями або гільйотинними ножицями. Застосування гільйотинного різання є технологічно доцільним, оскільки забезпечує підвищення продуктивності, зменшує утворення пилу у виробничому приміщенні та скорочує кількість відходів матеріалу.

Формування базових отворів необхідне для точної фіксації заготовки під час подальших ТО. Фіксуючі та технологічні отвори виконуються пробиванням або свердлінням із застосуванням спеціального оснащення, що забезпечує необхідну точність позиціонування.

Свердління отворів, які підлягають металізації, виконується у кондукторі спіральним свердлом із твердого сплаву з кутом при вершині 130°. Процес свердління здійснюється без застосування охолоджувальної рідини. Монтажні отвори доцільно виконувати на верстатах із числовим програмним керуванням типу SHMOP або ALPHA-Z, конструкція яких передбачає масивну гранітну основу для зменшення впливу виробничих вібрацій.

Верстати для свердління повинні забезпечувати частоту обертання шпинделя не менше 1000 об/хв, биття свердла не більше 0,02 мм, безступінчасте регулювання швидкості й необхідну дискретність координатних переміщень. Стінки отворів після свердління повинні бути гладкими, без задирок, розшарувань, опіків, вм'ятин діелектрика, слідів інструмента, мастильних речовин й стружки. Вісь отвору повинна бути перпендикулярною до зовнішньої поверхні ПД.

Хімічна й попередня ГМ ДП виконується на спеціалізованій лінії хімічної металізації (ХМ). Підготовка поверхні монтажних отворів передбачає видалення слідів попередніх ТО, знежирення поверхні ПД, підтравлювання діелектрика в отворах із застосуванням сірчаної кислоти й фтористого водню, промивання у проточній воді, сенсibiliзацію й активацію.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сенсибілізація здійснюється у розчині двохлористого олова протягом 5-7 хв із подальшим промиванням у дистильованій воді. У результаті цієї операції на поверхні стінок отворів адсорбується плівка іонів двохлористого олова, яка виконує функцію відновника для паладію. Активація проводиться у водному розчині двохлористого паладію й аміаку протягом 4-8 хв. Під час активації на поверхні підкладки формується тонкий шар металевого паладію, який забезпечує подальше осадження міді.

Хімічне міднення полягає у відновленні міді на активованих поверхнях із розчину, що містить солі міді, нікелю, формалін, соду й інші компоненти. Унаслідок цієї операції на поверхні ПД й в отворах утворюється електропровідне покриття завтовшки 0,25-0,5 мкм, яке є основою для подальшого гальванічного нарощування міді.

Гальванічне міднення застосовується для збільшення товщини шару міді, отриманого під час ХМ, до 5-8 мкм, а також для формування провідникового рисунка із товщиною міді в отворах до 25 мкм. Осадження покриттів здійснюється у гальванічних ваннах із використанням сірчаноокислих, борфтористоводневих або інших електролітів.

Перед гальванічним нарощуванням металу виконується підготовка поверхні металізованих заготовок, яка включає знежирення, підтравлювання, промивання й сушіння. Після цього проводиться контроль якості підготовленої поверхні.

Формування рисунка провідників здійснюється із застосуванням сухого плівкового фоторезисту СПФ-2-40. Фоторезист являє собою тонку полімерну плівку, яка під дією ультрафіолетового випромінювання переходить у нерозчинний стан. Під час експонування через фотошаблон на поверхні ПД формується зображення майбутнього провідникового рисунка. Подальше проявлення виконується на струминних установках, під час чого неекспоновані ділянки фоторезисту видаляються.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Електролітичне міднення (ЕМ) й нанесення покриття «олово-свинець» здійснюється на автоматизованій лінії типу «Blazer». Технологічна послідовність включає знежирення, підтравлювання, міднення, активацію й електролітичне осадження сплаву «олово-свинець». Під час ЕМ на незахищені резистивною маскою зовнішні поверхні осаджується шар міді завтовшки не менше 25 мкм.

Металізовані ділянки покриваються захисним шаром сплаву «олово-свинець» завтовшки близько 15 мкм. Це покриття захищає провідниковий рисунок під час подальшого травлення плати та забезпечує належну паяність контактних поверхонь.

Після завершення електролітичного осадження виконується видалення сухого плівкового фоторезисту на спеціалізованій установці. Після зняття фоторезисту плати промиваються у дистильованій воді.

Травлення міді є процесом хімічним, видалення незахищених ділянок мідної фольги із поверхні діелектрика. Процес включає попереднє очищення й власне травлення, яке виконується на струминній лінії. Струминне травлення забезпечує високу продуктивність й якість оброблення, оскільки поверхня ПД постійно контактує зі свіжим травильним розчином, що подається через сопла. Такий метод дає змогу отримати провідниковий рисунок з високою роздільною здатністю.

Після травлення міді на пробільних ділянках може спостерігатися ефект нависання покриття «олово-свинець» над краями провідників. Для усунення цього дефекту виконується оплавлення покриття на установці інфрачервоного опромінення УІКО-92. Під час короткочасного нагрівання температура сплаву перевищує температуру плавлення, унаслідок чого змінюється його кристалічна структура. Під дією сил поверхневого натягу розплавлений сплав концентрується в межах провідника, що підвищує якість захисного покриття.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрізання ПД за контуром виконується після формування провідникового рисунка. Така послідовність ТП зумовлена тим, що травильний розчин у разі передчасного обрізання може проникати у структуру діелектрика, спричиняти зниження опору ізоляції й створювати передумови для коротких замикань. Зовнішній контур плати формується фрезеруванням.

Маркування ПД виконується для забезпечення зручності монтажу, контролю й подальшого ТО. На поверхню ПД наносяться умовні позначення елементів, шифр ПД, заводський номер й дата виготовлення. Таке маркування забезпечує ідентифікацію ДВ та спрощує процес складання виробу.

Консервація ПД здійснюється із застосуванням флюсу ФКСП. Флюс наноситься на поверхню ПД й у отвори методом розпилення у спеціалізованих камерах. Ця операція призначена для захисту контактних поверхонь від окиснення та забезпечення їх придатності до подальшого монтажу й паяння.

Отже, для виготовлення ОДП розроблюваного пристрою доцільно застосувати КПМ, який забезпечує достатню точність формування провідникового рисунка, міцність зчеплення металізованих ділянок з діелектричною основою, технологічну сумісність із виробничими процесами та необхідний рівень надійності ДВ.

1.3.2. Оптимізація компонування ДВ

ТП виготовлення розроблюваного пристрою є сукупністю взаємопов'язаних виробничих операцій, спрямованих на перетворення вихідних матеріалів, ДП та комплектувальних елементів у готовий функціональний виріб. Під час розроблення ТП необхідно забезпечити раціональне поєднання технологічної ефективності, економічної доцільності, якості складання й надійності кінцевого виробу.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вимог єдиної системи технологічної підготовки виробництва доцільним є використання типових технологічних маршрутів, процесів та операцій. Застосування унікального або високовартісного обладнання допускається лише у випадках, коли це обґрунтовано технологічними або економічними чинниками. Перевага повинна надаватися стандартному різальному, монтажному й вимірювальному інструменту, а також сучасним формам організації виробництва, зокрема поточковим лініям, груповим ТП й груповим налагодженням. Робочий ТП складання ДВ доцільно формувати на основі типового процесу.

Типовий ТП складання типового елемента заміни містить такі основні операції:

- підготовка навісних ЕРЕ;
- установлення елементів на ПД;
- формування електричних з'єднань;
- контроль монтажу й функціональних параметрів вузла;
- консервація готового виробу.

Комплектувальна операція передбачає отримання зі складу всіх необхідних виробів відповідно до комплектувальної карти. До комплекту входять ПД, ІМС, транзистори, резистори, конденсатори, роз'єми та інші елементи. У технологічній документації (ТД) фіксується дата видачі комплектувальних виробів зі складу, після чого елементи розміщуються у відповідній технологічній тарі.

Вхідний контроль ІМС, транзисторів та ПД виконується із метою виявлення механічних пошкоджень, дефектів маркування й функціональних несправностей. На поверхні елементів не повинно бути тріщин, вм'ятин, відколів, розшарувань або інших дефектів. Перевіряється наявність товарного знака, позначення підприємства-виробника, маркування та ключа для визначення першого виводу ІМС. Працездатність ІМС, транзисторів й резисторів перевіряється на контрольно-перевірочному стенді, оскільки

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відмова окремого елемента може спричинити порушення роботи усього пристрою.

Необхідність вхідного контролю зумовлена можливістю недостатньої перевірки комплектувальних елементів на попередніх етапах виробництва, тривалим зберіганням готових виробів на складі й ризиком пошкодження компонентів під час транспортування.

Розконсервація ПД виконується шляхом промивання у ванні зі спиртобензиновою сумішшю для видалення консервувального мастила з її поверхні. Для очищення металізованих отворів використовується спеціальний стрижень зі органічного скла діаметром 0,6 мм. Після очищення проводиться візуальний контроль ПД із застосуванням збільшувального скла.

Діелектрична основа ПД повинна бути монолітною, однорідною, без здуття, розшарувань й локальних дефектів. Колір діелектрика має бути рівномірним, без різких меж між окремими ділянками поверхні. Шар металізації повинен бути щільним, рівномірним, без наскрізних протравлень, тріщин, нерівностей й звужень провідників нижче мінімально допустимої ширини. Наскрізні металізовані отвори повинні бути чистими й вільними від сторонніх включень.

Підготовка до лудіння є важливою операцією, оскільки якість паяного з'єднання (ПЗ) значною мірою залежить від стану поверхонь, що з'єднуються. Для отримання міцного й стабільного контакту необхідно забезпечити змочуваність поверхонь флюсом й припоєм. На цей параметр впливають властивості матеріалу, мікрогеометрія поверхні, наявність органічних забруднень, оксидних плівок, жирових залишків й корозійних продуктів.

Підготовка поверхонь ПД здійснюється ХМ. Паяні поверхні ПД обробляються спиртобензиновими або спиртофреоновими сумішами шляхом занурення у відповідну ванну. Після цього виводи промиваються у теплій проточній воді.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лудіння полягає у нанесенні на з'єднуванні поверхні ПД тонкого шару припою. Покриття повинно бути суцільним, без тріщин, пор й сторонніх включень. Лудіння виводів усіх ЕРЕ здійснюється шляхом занурення у рідкий флюс ФКС, а потім у ванну з розплавленим припоєм ПОС-61. Тривалість лудіння становить 1 с.

Установлення ЕРЕ на ПД передбачає подачу елементів у зону монтажу, їх орієнтацію відносно монтажних отворів або контактних майданчиків й фіксацію у визначеному положенні. Залежно від характеру виробництва та конструктивних особливостей ПД монтаж може виконуватися ручним, механізованим чи автоматизованим способом. Автоматизований монтаж доцільний у великосерійному виробництві, а механізований – за високої щільності компонування. Для розроблюваного пристрою раціональним є ручне складання, яке також забезпечує можливість оперативного візуального контролю.

ЕРЕ встановлюються на ПД відповідно до складального креслення у такій послідовності: резистори, конденсатори, ІМС, провідники й елементи трансформаторного вузла. Для ІМС виконується підгинання лише двох діагонально розташованих виводів. Під час монтажу мікросхем необхідно забезпечити відведення статичної електрики від монтажного обладнання, зокрема шляхом використання заземленого браслета. На завершальному етапі встановлюються транзистори із радіаторами, які припаюються до ПД відповідно до складального креслення. Трансформатори закріплюються за допомогою гвинтів, гайок й шайб.

Підготовча операція після встановлення елементів передбачає обрізання виводів ЕРЕ й роз'єму за допомогою бокорізів. Обрізання повинно виконуватися так, щоб не пошкодити ПЗ, контактні майданчики та провідниковий рисунок ПД.

Нанесення флюсу на виводи елементів здійснюється для покращення умов паяння. Флюс забезпечує розчинення або руйнування оксидних плівок

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на поверхні металу та припою, зменшує поверхневий натяг розплавленого припою на межі метал-припій-флюс й сприяє формуванню якісного ПЗ.

Для монтажного паяння доцільно використовувати безкислотні флюси, зокрема каніфольні склади. Залишки каніфольного флюсу не є гігроскопічними, мають діелектричні властивості й не спричиняють корозійного впливу на ПЗ. У ТП передбачено використання флюсу ФСК, який є розчином соснової каніфолі в етиловому спирті.

Процес паяння контактних з'єднань включає фіксацію з'єднаних елементів, нагрівання поверхонь ПД до заданої температури протягом обмеженого часу, введення у зону паяння необхідної кількості флюсу й припою, розплавлення припою із забезпеченням змочування поверхонь ПД, а також охолодження з'єднання без взаємного зміщення деталей.

Якість паяння значною мірою залежить від марки припою. Припій повинен мати необхідні електричні характеристики, забезпечувати витіснення флюсу, формувати із основним металом з'єднання достатньої механічної міцності, а також мати відповідну густину, коефіцієнт теплового розширення й корозійну стійкість. Припій ПОС-61 є близьким до евтектичного складу, характеризується низькою температурою плавлення, вузьким температурним інтервалом кристалізації й достатньою корозійною стійкістю. Тривалість витримки за температури припою 240 °C становить 1-6 с. Під час паяння необхідно підтримувати сталий рівень припою у ванні й контролювати чистоту його поверхні, видаляючи оксидну плівку із-за потреби.

Після завершення паяння необхідно видалити залишки флюсу й технологічні забруднення, які можуть спричинити корозію або зниження опору ізоляційних матеріалів. Очищення виконується послідовним зануренням вузла у ванну зі спиртобензиновою сумішшю, а потім у ванни з гарячою й холодною водою. Тривалість витримки у кожній ванні становить приблизно 1 хв.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль якості паяння здійснюється візуальним методом із застосуванням збільшувального скла. Паяна поверхня ПД повинна бути блискучою, рівною, без здуттів, раковин, тріщин, гострих виступів й надлишків припою. Виявлені дефекти усуваються за допомогою паяльника й флюсу ФКС шляхом локального нанесення флюсу й видалення надлишкового припою.

Маркування виконується для ідентифікації виробу й забезпечення простежуваності виробничого процесу. На блок наноситься номер пристрою, дата виготовлення, а також код цеху чи підприємства-виробника. Відповідні відомості фіксуються у технічному паспорті виробу.

Перевірка працездатності здійснюється на спеціально розроблених випробувальних стендах. У разі виявлення несправності для локалізації дефекту використовується осцилограф, за допомогою якого часові діаграми роботи схеми у контрольних точках порівнюються з еталонними. У картці відмови зазначаються встановлені під час первинного аналізу причини несправності й оцінюється їх вплив на роботу інших елементів схеми. У технічному паспорті фіксуються дата відмови, причина несправності та елементи, що підлягають заміні. Повторне ввімкнення пристрою допускається лише після усунення дефекту.

Вторинний монтаж передбачає демонтаж ЕРЕ, що вийшли з ладу або були виявлені як несправні під час перевірки. Загальна кількість таких елементів не повинна перевищувати 5,5 % від кількості встановлених компонентів; у разі перевищення цього показника ПД підлягає бракуванню. Повторне паяння замінених ЕРЕ виконується вручну. Тривалість контакту паяльника з виводами ЕРЕ не повинна перевищувати 3 с, а повторний нагрів допускається не раніше ніж через 15 с.

Очищення місць повторного паяння здійснюється за допомогою щетинного пензля й спиртобензинової суміші. Це забезпечує видалення залишків флюсу, припою й технологічних забруднень з поверхні ПД.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідний контроль пристрою призначений для встановлення відповідності виробу заданим фізичним, конструктивним й електричним параметрам. Усі ЕРЕ повинні бути припаяні без перекосів, механічних пошкоджень й порушень монтажного положення. На зовнішній поверхні ПД не допускаються вм'ятини, подряпини, розшарування й інші дефекти, здатні вплинути на якість й надійність роботи пристрою.

Лакування ПД виконується для зменшення впливу кліматичних чинників й підвищення корозійної стійкості ДВ. Для захисного покриття застосовується лак УР-231. Сушіння здійснюється гарячим повітрям із-за температури 40-60 °С. Після завершення сушіння ПД розміщується у технологічній тарі й упаковується.

Усі ЕРЕ монтуються на ДВ, виготовленій з односторонньо фольгованого склотекстоліту. Виводи ІМС устанавлюються у відповідні монтажні отвори, загинаються й припаюються із боку друкованих провідників. До транзистора VT2 кріпиться ребристий радіатор, а до транзистора VT4 – окремий радіатор, що забезпечує відведення тепла від елементів, які працюють у тепловонавантажених режимах.

Отже, оптимізація компонування й технології складання ДВ передбачає застосування типового ТП, раціональної послідовності монтажних операцій, якісного вхідного й вихідного контролю, коректного режиму паяння, очищення, лакування й функціональної перевірки. Запропонований підхід забезпечує технологічність виготовлення, ремонтпридатність, електричну надійність й стабільність роботи розроблюваного пристрою.

1.3.3. Розрахунок та забезпечення вимог щодо надійності

Надійність електронного пристрою є одним із визначальних показників його експлуатаційної придатності. Вона залежить від надійності окремих елементів, якості конструктивного виконання, технології виготовлення, умов експлуатації й рівня електричних навантажень у схемі. Інтенсивність відмов елементів зростає за несприятливих умов роботи, зокрема при підвищенні

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури, перевищенні допустимих електричних режимів, впливі вологи, механічних навантажень або нестабільності ДЖ.

Оцінювання впливу режимів роботи на надійність ЕРЕ здійснюється з використанням коефіцієнтів навантаження. Коефіцієнт навантаження визначається як відношення фактичного значення параметра до його номінального або допустимого значення. Для резисторів у розроблюваній схемі номінальна потужність становить $P_n = 0,125$ Вт, а фактична потужність розсіювання – $P_\phi = 0,05$ Вт. Тоді коефіцієнт навантаження за потужністю визначається за формулою:

$$K_P = \frac{P_\phi}{P_n} = \frac{0,05}{0,125} = 0,4. \quad (1.11)$$

Для конденсаторів номінальна робоча напруга становить $U_n = 20$ В, а фактична напруга в схемі – $U_\phi = 5$ В. Коефіцієнт навантаження за напругою дорівнює:

$$K_U = \frac{U_\phi}{U_n} = \frac{5}{20} = 0,25. \quad (1.12)$$

Отримані значення свідчать, що елементи працюють із запасом за основними електричними параметрами. Це позитивно впливає на довговічність пристрою, оскільки зі збільшенням коефіцієнта навантаження інтенсивність відмов елементів, як правило, зростає.

Кількість ЕРЕ схеми та їхні базові інтенсивності відмов наведено у таблиці 1.1.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1

Елементи схеми та їхні характеристики надійності

Назва елемента	Кількість	$\lambda_0, 1/\text{год}$	$n \cdot \lambda_0, 1/\text{год}$
Кварцовий резонатор	1	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Роз'єм	5	$0,05 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$
Кнопка	5	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор електролітичний	5	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор керамічний	6	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Резистор постійний	31	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$37,2 \cdot 10^{-6}$
Транзистор кремнієвий	8	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$16,0 \cdot 10^{-6}$
Трансформатор	1	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Діод	2	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Стабілітрон	2	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Резистор змінний	1	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$
Котушка	2	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Транзистор польовий	1	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$
ІМІ	8	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$20,0 \cdot 10^{-6}$
Світлодіод	4	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Запобіжник	2	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
ПЗ	306	$0,01 \cdot 10^{-6}$	$3,06 \cdot 10^{-6}$
ПД	1	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$
Усього			$99,36 \cdot 10^{-6}$

Сумарна інтенсивність відмов ЕРЕ схеми визначається як сума інтенсивностей відмов усіх ЕРЕ:

$$\lambda = \sum \lambda_i = 99,436 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}. \quad (1.13)$$

Середнє напрацювання на відмову визначається за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.14)$$

Після підстановки значення сумарної інтенсивності відмов отримано:

$$T_{\text{сер}} = 10064,4 \text{ год.}$$

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ймовірність безвідмовної роботи залежить не лише від фізичних властивостей елементної бази, а й від заданого часу роботи t_p , протягом якого виріб повинен функціонувати без відмов. Для експоненціального закону розподілу відмов ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda t_p}.$$

Для часу роботи $t_p = 9000$ год:

$$P(t) = e^{-99,436 \cdot 10^{-6} \cdot 9000} = 0,411.$$

Отримане значення означає, що за заданого інтервалу експлуатації частина виробів, яка збереже працездатність без відмов, становитиме приблизно 0,411 від загальної кількості.

Надійність апаратури визначається кількістю використаних ЕРЕ, їх інтенсивністю відмов, режимами роботи й якістю конструктивно-технологічного виконання. На етапі проєктування, коли фактичні режими роботи ще можуть уточнюватися, виконується орієнтовний розрахунок надійності за довідковими значеннями інтенсивності відмов й передбачуваними умовами експлуатації. Такий розрахунок дає змогу оцінити правильність вибраної схеми, елементної бази та конструкції пристрою.

Для підвищення надійності може застосовуватися резервування. Розглянуто вплив навантажувального та ненавантажувального резервування з кратністю $m = 1$. За початкового значення ймовірності безвідмовної роботи $P(t) = 0,411$ ймовірність безвідмовної роботи при навантажувальному резервуванні визначається як:

$$P_{\text{навант.}}(t) = 1 - (1 - P(t))^2 = 1 - (1 - 0,411)^2 = 0,653. \quad (1.15)$$

Для ненавантажувального резервування:

$$P_{\text{ненавант.}}(t) = P(t) \left(1 + \frac{t_p}{T_{\text{сер}}} \right) = 0,411 \left(1 + \frac{9000}{10064,6} \right) = 0,778. \quad (1.16)$$

Отже, резервування підвищує ймовірність безвідмовної роботи виробу. При цьому ненавантажувальне резервування забезпечує вищий приріст надійності порівняно з навантажувальним, оскільки резервний елемент не працює до моменту відмови основного.

Для порівняння визначено, яку інтенсивність відмов й середнє напрацювання на відмову повинен мати нерезервований виріб для досягнення аналогічних значень $P(t)$.

Для $P(t) = 0,778$:

$$\lambda_1 = -\frac{\ln P(t)}{t_p} = -\frac{\ln 0,778}{9000} = 2,79 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}, \quad (1.17)$$

$$T_{\text{сер1}} = \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{2,79 \cdot 10^{-5}} = 35852,46 \text{ год.}$$

Для $P(t) = 0,653$:

$$\lambda_2 = -\frac{\ln P(t)}{t_p} = -\frac{\ln 0,653}{9000} = 4,73 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}, \quad (1.18)$$

$$T_{\text{сер2}} = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{4,73 \cdot 10^{-5}} = 21117,93 \text{ год.}$$

Результати розрахунку свідчать, що навантажувальне й ненавантажувальне резервування забезпечують підвищення надійності пристрою, однак супроводжуються збільшенням маси, габаритів, складності конструкції й собівартості. Подібного ефекту можна досягти також шляхом

зниження інтенсивності відмов ЕРЕ приблизно у кілька разів, що може бути реалізовано через полегшення режимів роботи, вибір надійнішої елементної бази, зменшення теплових навантажень й підвищення якості ТП.

Надійність апаратури також залежить від дотримання встановлених умов експлуатації, своєчасного профілактичного обслуговування, якісного ремонту, контролю монтажу й стабільності виробничих процесів. Високий рівень надійності забезпечується за рахунок автоматизації й механізації виробництва, зменшення кількості ручних операцій, застосування ІМС, мікрозбірок й стандартизованих компонентів.

Отже, проведений розрахунок показав, що сумарна інтенсивність відмов пристрою становить $99,436 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, середнє напрацювання на відмову – 10064,4 год, а ймовірність безвідмовної роботи протягом 9000 год – 0,411. Для підвищення цього показника доцільно застосовувати елементи з меншою інтенсивністю відмов, забезпечувати роботу компонентів із запасом за електричними параметрами, удосконалювати тепловий режим й підвищувати якість монтажу та контролю.

1.4. Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто основні етапи проектування контролера переміщення ТЗ з використанням GPS- та GSM-каналів зв'язку. Було виконано аналіз технічного завдання, обґрунтовано актуальність розроблення системи контролю переміщення ТЗ, визначено основні функціональні вимоги до пристрою та проаналізовано наявні технічні рішення.

На основі сформульованих вимог було розроблено структурну схему системи, яка передбачає використання GPS-модуля для визначення координат рухомого об'єкта, GSM-каналу для передавання інформації та ДП

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для приймання й оброблення даних. На базі структурної схеми було розроблено ЕЗ мобільного контролера.

У межах схемотехнічного проєктування було виконано розрахунок основних вузлів ЕЗ, зокрема блоку індикації, інтерфейсних вузлів, блоку узгодження GPS-модуля й блоку узгодження мобільного телефону. За результатами розрахунків було обґрунтовано вибір елементної бази, яка забезпечує виконання функцій приймання, опрацювання, індикації й передавання координатної інформації.

У конструкторській частині було розглянуто технологію виготовлення ДВ, вибрано метод виготовлення ПД, описано основні етапи ТП складання, контролю, паяння, очищення, маркування й захисного покриття ПД. Також було виконано розрахунок показників надійності пристрою й визначено основні напрями її підвищення.

Отже, результати підтверджують технічну можливість реалізації контролера переміщення ТЗ на основі GPS/GSM-технологій. Запропоновані схемотехнічні й конструкторські рішення забезпечують виконання функціональних вимог до пристрою, а також створюють основу для подальшого виготовлення, налагодження та експлуатаційного використання системи.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Охорона праці та безпека життєдіяльності

2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності

При розробці підсилювача потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором особлива увага приділяється ергономіці конструкції, що безпосередньо впливає на зручність і безпеку використання пристрою в побутових умовах. Форм-фактор корпусу, розміщення органів керування, індикації та підключення виконано з урахуванням анатомічних, антропометричних і психофізіологічних особливостей людини, яка взаємодіє з пристроєм.

Основні ергономічні вимоги реалізовано через:

- застосування симетричного розміщення елементів управління, що дозволяє однаково комфортно керувати пристроєм як правшам, так і лівшам.
- індикацію звукового сигналу реалізовано за допомогою світлодіодної стрічки, розташованої у фронтальній частині корпусу на рівні очей користувача. Це забезпечує швидке візуальне сприйняття змін аудіосигналу без необхідності слухового контролю, що особливо зручно під час демонстрацій.
- захищені кути та ребра корпусу, що знижує ризик випадкових травм при транспортуванні або установці.
- герметичну поверхню корпусу, яка не має відкритих технологічних прорізів і запобігає проникненню пилу, сторонніх предметів або випадковому контакту з елементами схеми.

Пристрій розрахований на експлуатацію у закритих сухих приміщеннях з температурним діапазоном +10...+35 °С та відотною вологістю до 75% при +25 °С. Рівень освітлення, необхідний для комфортного сприйняття візуальної індикації, повинен бути не менше 300 лк відповідно до ДСТУ ISO

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6385:2005 [28]. При цьому контрастність між стрічкою та фоном підсилює сприйняття і знижує втомлюваність очей.

Використання мікроконтролера в схемі дозволило реалізувати адаптивні алгоритми зміни яскравості індикації, що мінімізує ризик подразнення зору при довготривалому перегляді. Частота оновлення світлодіодів перевищує 60 Гц, що усуває ефект мерехтіння та супроводжуючий дискомфорт. Конструкція дає змогу користувачу перебувати в полі індикації в межах оптимального кута зору без ризику втоми зорового аналізатора. 63 Зм Арк № докум Підпис Дат а Арк ПДО 2.032.001 ПЗ Висота встановлення пристрою обрана з урахуванням середнього положення сидячого користувача – на рівні 1,0–1,2 м від підлоги (відповідно до ДСТУ ISO 6385:2005) [10]. Це дозволяє забезпечити оптимальний кут зору на світлодіодну матрицю візуалізатора.

2.2. Питання з основ охорони праці

Підсилювач потужності та елементи візуалізатора працюють від низьковольтного джерела живлення з вихідною напругою до 24 В, що відповідає вимогам безпечного електроживлення до електроустановок з напругою до 1000 В постійного струму. Як нормативний документ прийнято ДСТУ EN 61140:2016 "Захист від ураження електричним струмом".

Живлення пристрою реалізовано через зовнішній адаптер, який відповідає класу безпеки II з подвійною ізоляцією, що виключає пряме підключення до мережі 220 В.

Усі струмоведучі частини розміщено в герметичному корпусі з деревоволокнистої плити (ДВП) товщиною 3 мм, що є діелектричним матеріалом і додатково ізолює електричні вузли. Ступінь захисту корпусу оцінюється на рівні IP20 згідно з ДСТУ EN 60529:2014. Пристрій не має

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовнішніх металевих частин, які можуть опинитися під напругою, що не передбачає потреби у заземленні.

Під час стендового тестування, яке виконується у лабораторних умовах, передбачено використання додаткового захисту у вигляді:

- захисного ізоляційного килимка під місцем встановлення пристрою;
- обмеження доступу до внутрішніх елементів за допомогою пломб або маркування «Не відкривати під напругою»;
- використання понижувального трансформатора класу безпеки II для захисту персоналу від випадкового ураження при несправності адаптера.

З метою запобігання тепловому навантаженню дротові з'єднання виконані на основі мідного багатожильного проводу з перерізом не менше 0,35 мм², відповідно до ДСТУ EN 60228:2015 [10].

Для захисту мікроконтролера від електростатичних розрядів передбачено заземлення через антистатичний браслет. Компоненти електромонтажу виконано з матеріалів категорії UL94-V0 – це клас вогнестійкості полімерів, що характеризується самозагасанням протягом 10 секунд після припинення дії полум'я. Відповідну характеристику описано у [10].

Випробування пристрою в умовах надлишкової вологості не планується. Проте всі з'єднання оброблено силіконовим компаундом для запобігання короткому замиканню у разі випадкового потрапляння вологи. Такий рівень ізоляції дозволяє зберігати експлуатаційну безпеку без використання герметичного корпусу. В умовах домашнього використання це забезпечує додаткову безпеку без необхідності застосування герметичного корпусу.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Висновок до розділу 2

У процесі розробки системи контролю переміщення транспортних засобів на базі GSM-зв'язку враховано ключові аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці. Особлива увага приділялася ергономії, електробезпеці та інженерно-психологічним характеристикам конструкції, які прямо впливають на комфорт та безпеку користувача під час експлуатації пристрою в побутових умовах.

Завдяки продуманому розміщенню органів керування, використанню безпечних матеріалів і конструктивній ізоляції усунено ризики ураження електричним струмом та механічних травм.

Здійснений розрахунок освітленості підтвердив відповідність робочої зони нормативним вимогам щодо рівня яскравості. Використані елементи живлення та електромотажу відповідають вимогам чинних стандартів з електробезпеки. Матеріали корпусу забезпечують базову механічну і електричну ізоляцію.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було здійснено основні етапи розроблення контролера моніторингу переміщення автотранспортних засобів на базі GSM-зв'язку.

Перед початком проєктування проведено порівняльний аналіз існуючих аналогів контролерів моніторингу автотранспорту, що використовують GPS/GSM канали зв'язку. На основі отриманих результатів обґрунтовано актуальність розроблення запропонованого пристрою.

Першим етапом проєктування стало схемотехнічне проєктування, у межах якого розроблено структурну схему контролера, а також спроектовано та виконано розрахунок електричної принципової схеми.

Другим етапом було конструкторське проєктування, під час якого на основі принципової електричної схеми та розрахунків електричних вузлів обґрунтовано вибір елементної бази, а також проведено розрахунки, спрямовані на забезпечення необхідного рівня надійності пристрою.

У розділі, присвяченому охороні праці, розглянуто питання про заходи захисту від ураження електричним струмом.

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» уклад.: Дунець В.Л., Хвостівський М.О. Дедів І.Ю. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р. – 72с
2. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с
3. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892.
4. Офіційний сайт Altium Designer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.altium.com>.
5. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.
6. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57
7. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль :

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
2017. - 336 с.

8. Yurii Palianytsia, Vasyl Dunets, Liliia Khvostivska. Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment. CEUR Workshop Proceedings. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Ternopil 22 November 2023 до 24 November 2023. Том 3628, с. 208-220.

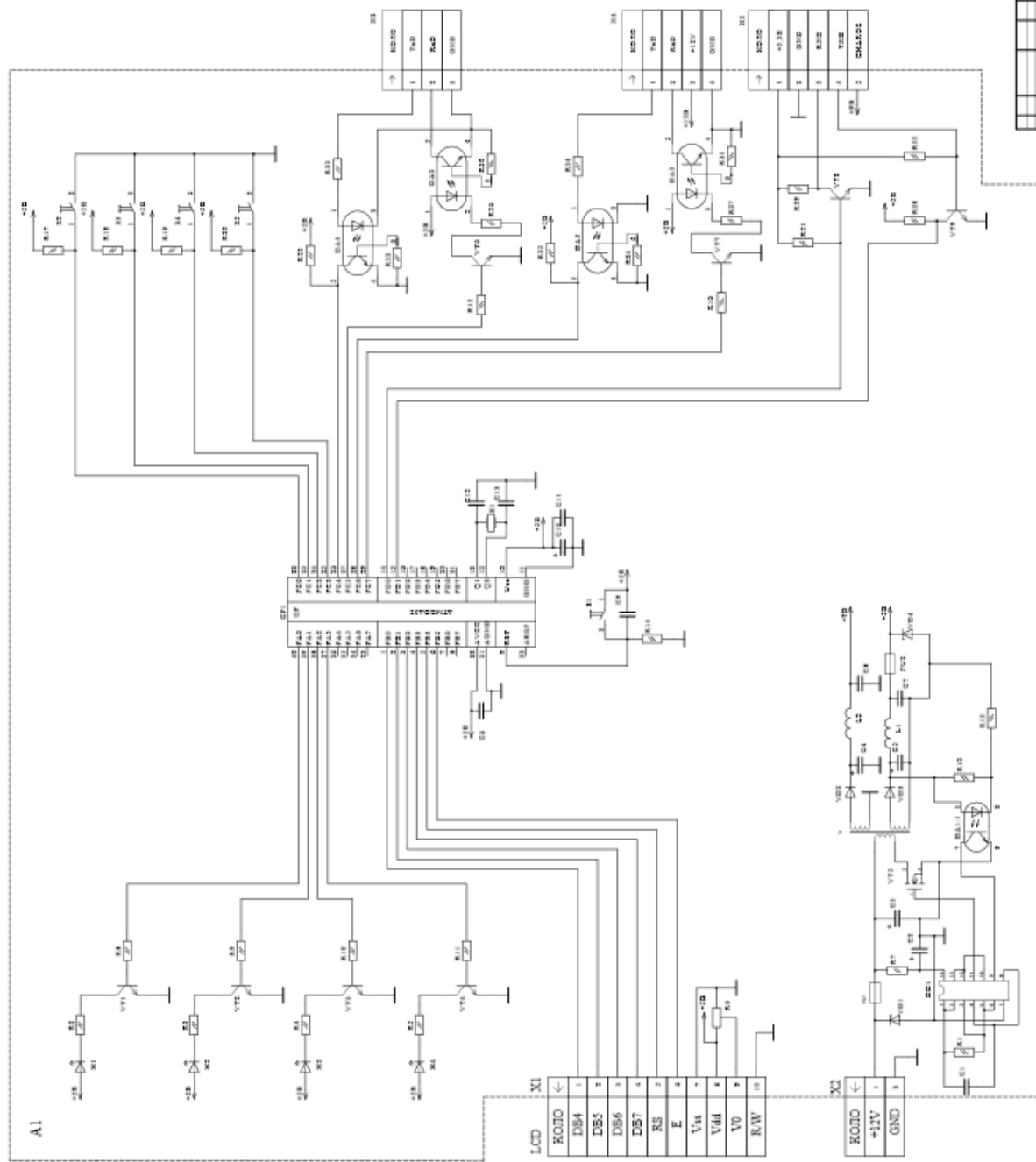
9. Dual-Polarization Yagi Antenna for Meter Wavelength Range. Khymych H., Dunets V., Duda S., Palaniza Y., Kornieiev K. Radioelectronics and Communications Systems. Allerton Press Inc. United States. 2023. Volume 66. Issue 11, pp. 609–615.

10. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. - К.: Основа, 2017, с. 437.

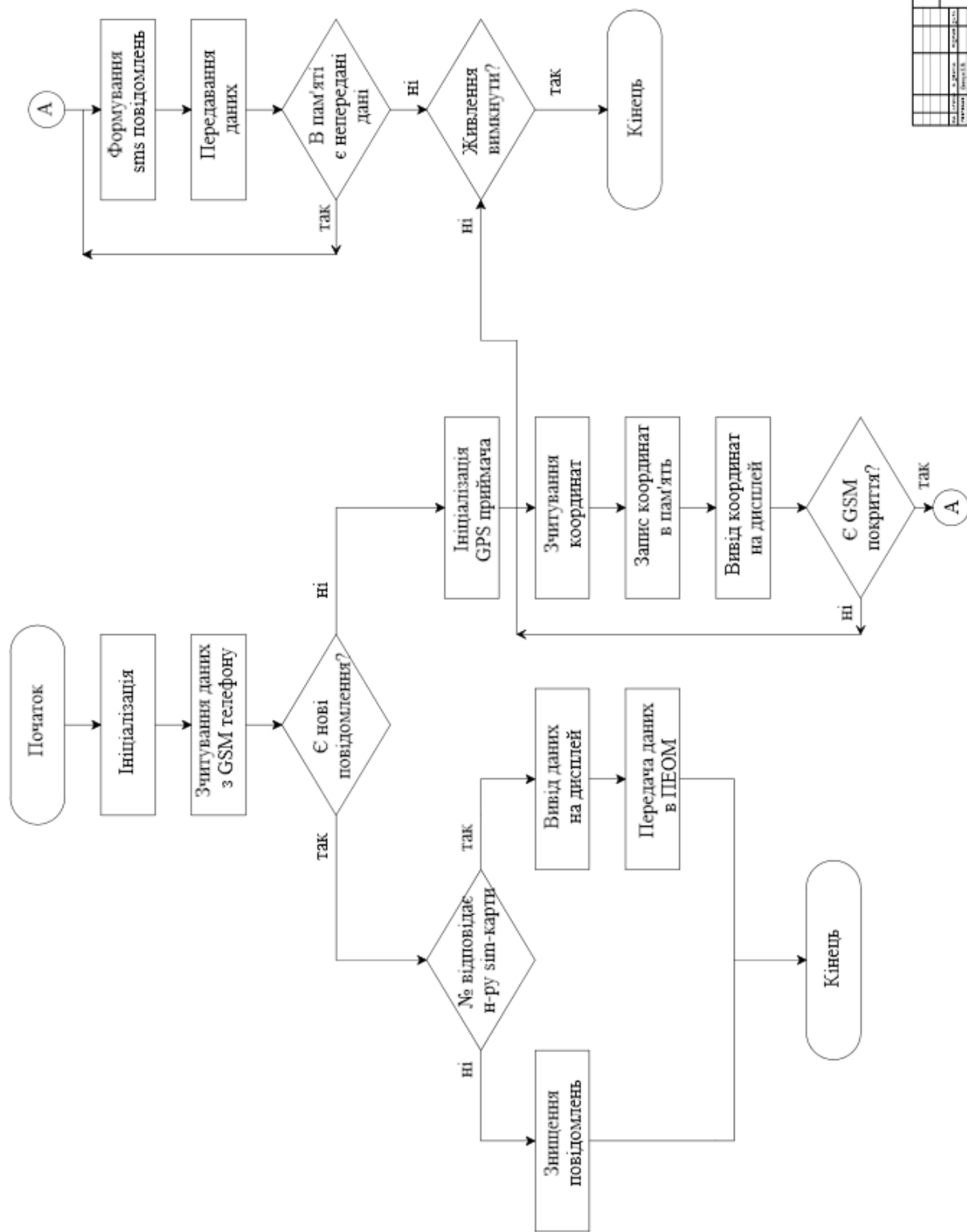
					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					СБВ 2.010.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



CSB 2.041.010.000 E3			
№	Изм.	Дата	Исполнитель
1	1	2010.01.10	И.И.И.
Разработчик: И.И.И.			
Проверщик: И.И.И.			
Утвержден: И.И.И.			
Исполнитель: И.И.И.			
Исполнение: И.И.И.			
Исполнитель: И.И.И.			
Исполнение: И.И.И.			
Исполнитель: И.И.И.			
Исполнение: И.И.И.			



Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	K10-17-3Г—1000nФ	1	
C2,C3	K50-35-12В-100мкФ±5%	2	
C4, C5	K50-35-12В-100мкФ±5%	2	
C6	K10-17-3Г—0,1мкФ	1	
C7,C8	K10-17-3Г—1мкФ	2	
C9	K10-17-3Г—0,1мкФ	1	
C10	K10-17-3Г—0,1мкФ	1	
C11	K10-17-3Г—0,1мкФ	1	
C12	K10-17-3Г—7nФ	1	
C13	K10-17-3Г—7nФ	1	
	Резистори		
R1	C2-23-0.125-4,7кОм±5%	1	
R2	СПЗ-196-1кОм±10%	1	
R3	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R4	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R5	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R6	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R7	C2-23-0.125-1кОм±5%	1	
R8	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	
R9	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	
R10	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
R11	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	
R12	C2-23-0.125-2,2кОм±5%	1	
R13	C2-23-0.125-1кОм±5%	1	
R14	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R15	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	
R16,R32	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	2	
R17	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R18	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R19	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R20	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R21	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R22	C2-23-0.125-100кОм±5%	1	
R23	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R24	C2-23-0.125-100кОм±5%	1	
R25	C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	
R26	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R27	C2-23-0.125-270Ом±5%	1	
R28,R29	C2-23-0.125-9,1кОм±5%	2	
R30, R31	C2-23-0.125-100кОм±5%	2	
	Мікросхеми		
DA1	ILD5	1	
DA2- DA5	KP142EH5 бк0.348.290 ТУ	1	
DD1	K561ЛН2	1	
CP1	ATMEGA32 (ATMEL)	1	
		1	
	Трансформатор		
T1	TOT4	1	

Поз. познач.		Найменування			Кіл.	Примітка	
		Діод і стабілізатор					
VD1		KC518A			1		
VD2, VD3		КД212А			2		
VD4		KC156A			1		
		Транзистор					
VT1		BUZ50C			1		
VT2-VT8		КТ3102Б			8		
		Світлодіод					
H1-H4		АЛ307Б			4		
		Котушки					
L1		20 нГн, 10%			1		
L2		15 нГн, 10%			1		
		Перемикач					
S1- S5		KM-150			5		
		Роз'єм					
X1		PLSR-10			1		
X2		PLSR-2			1		
X3		PLSR-3			1		
X4		PLSR-4			1		
X5		PLSR-5			1		
					СБВ 2.010.000 ПЕ		Арк.
							3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

[illegible]

[illegible]

[illegible]

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				C2-23-0.125-9,1кОм±5%	2	R28, R29
				ОЖ0. 467. 104 ТУ		
				C2-23-0.125-100кОм	2	R30, R31
				ОЖ0. 467. 104 ТУ		
				C2-23-0.125-9,1кОм±5%	1	R32
				ОЖ0. 467. 104 ТУ		
				Мікросхеми		
				ILD5	1	DA1
				KP142EH5	4	DA2- DA5
				бк0.348.290 ТУ		
				K561ЛН2	1	DD1
				ATMEGA32	1	CP1
				(ATMEL)		
				Трансформатор		
				TOT4	1	T1
				Діод і стабілізатор		
				KC518A	1	VD1
				КД212А	2	VD2, VD3
				KC156A	1	VD4
				Транзистор		
				BUZ50C	1	VT1
				КТ3102Б	6	VT2-VT8
				Світлодіод		
				АЛ307Б	4	H1-H4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СБВ 2.010.000	
					3	

[illegible]