

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В. Л.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Олійнику Костянтину Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних

Керівник роботи Хвостівська Лілія Володимирівна к.т.н. доц. кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Робочий діапазон частот: 310 МГц – 800 МГц, швидкість передачі даних: до 76,5 кбіт/с, напруга живлення: 3, 5, 12 В, потужність споживання: не більше 1,2 Вт, час встановлення робочого режиму: не перевищує 3 с.

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

1. Розрахункова частина

2. Спеціальна частина (САПР)

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

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

1. Структурна схема приладу

2. Схема електрична принципова

3. Креслення друкованої плати

4. Складальне креслення друкованого вузла

Вступ

У сучасному світі швидкість, надійність та безпека передачі даних є критичними факторами для функціонування телекомунікаційних систем. Постійне зростання обсягів інформації, що передається в реальному часі, а також посилення інтеграції бездротових технологій у промислові та побутові мережі створюють умови для розробки нових, більш ефективних засобів радіозв'язку. Попри розвиток глобальних мереж, локальні радіомодемні рішення залишаються незамінними завдяки своїй автономності, низькій затримці та можливості розгортання в умовах відсутності дротової інфраструктури.

Актуальність використання радіомодемів зумовлена їхньою здатністю забезпечувати стабільний канал зв'язку між віддаленими вузлами системи, що є критично важливим для автоматизованих систем управління, телеметрії та інтернету речей (IoT). Сучасні радіомодеми не лише повинні забезпечувати достатню швидкість передачі даних, але й вирізнятися енергоефективністю, компактністю та завадостійкістю, що дозволяє інтегрувати їх у різні технічні середовища.

У межах цієї кваліфікаційної роботи реалізовано проект радіомодема для телекомунікаційних систем передачі даних, який базується на використанні сучасних високоефективних трансиверів та мікроконтролерного управління. Пристрій розроблено з урахуванням сумісності аналогових та цифрових компонентів, що гарантує компактність конструкції та надійність передачі сигналу.

Об'єктом роботи є система бездротової передачі даних, побудована на основі радіомодема, мікроконтролера та засобів радіочастотної комунікації. Основний принцип її роботи полягає у модуляції, передачі та коректному прийомі цифрових даних у заданому частотному діапазоні.

Предметом роботи є схема електрична принципова пристрою, алгоритми обробки сигналу та методика проектування радіотехнічного вузла.

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні ефективного технічного рішення для побудови мереж передачі даних. Ось основні сфери застосування:

Промислова автоматизація — забезпечення бездротового зв'язку між датчиками та контролерами в умовах виробництва для дистанційного моніторингу процесів.

Системи телеметрії — збір та передача показників з віддалених об'єктів, де прокладання кабельних ліній є економічно недоцільним.

Сільське господарство — використання в системах «розумного поля» для обміну даними між метеостанціями та центральним вузлом.

Розумні будинки та безпека — інтеграція в системи охорони та управління домашньою автоматикою для підвищення рівня мобільності та зручності взаємодії з обладнанням.

Таким чином, розроблений у рамках кваліфікаційної роботи бакалавра радіомодем представляє сучасне, функціональне рішення, яке поєднує в собі високу надійність передачі даних, технологічну ефективність та широкі можливості для подальшої масштабованості.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

1.1.1 Обґрунтування актуальності теми

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних технологій та систем промислової автоматизації нерозривно пов'язаний із концепцією «Інтернету речей» (IoT) та Індустрії 4.0. Однією з головних тенденцій у цих галузях є масовий перехід від традиційних дротових ліній зв'язку до бездротових технологій передачі даних. Це зумовлено потребою у підвищенні мобільності обладнання, зниженні витрат на монтаж та обслуговування кабельної інфраструктури, а також необхідністю збору даних з важкодоступних або рухомих об'єктів.

Попри стрімкий розвиток високошвидкісних бездротових мереж (Wi-Fi, 4G/5G), у багатьох завданнях телеметрії, диспетчеризації та автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) їх використання є економічно та технічно недоцільним. Такі системи часто вимагають не високої швидкості, а насамперед — високої надійності, енергоефективності, стійкості до промислових завод та здатності радіосигналу проникати крізь перешкоди (залізобетонні стіни, металеві конструкції).

Саме тому для організації локальних мереж збору даних (наприклад, у системах розумного дому, обліку енергоресурсів, охоронних системах та промисловій автоматизації) найвищу ефективність демонструють вузькосмугові радіомодеми, що працюють у субгігагерцовому ISM-діапазоні (зокрема 433 МГц та 868 МГц). Радіохвилі цього діапазону характеризуються значно кращою дифракцією (здатністю огинати перешкоди) та меншим згасанням у середовищі порівняно з поширеними стандартами 2.4 ГГц (Bluetooth, Wi-Fi), що дозволяє забезпечити більшу дальність зв'язку при мінімальній потужності передавача.

Крім того, на багатьох підприємствах досі експлуатується величезний парк надійного, але технологічно застарілого обладнання (промислові контролери,

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

датчики, верстати), яке підтримує обмін даними лише через класичні послідовні інтерфейси, такі як RS-232. Модернізація такого обладнання шляхом повної заміни є надзвичайно дорогавартісною.

З огляду на це, розробка апаратної платформи спеціалізованого радіомодема, який виступатиме «прозорим» бездротовим мостом для стандарту RS-232 і матиме надійну гальванічну розв'язку інтерфейсних ліній, є надзвичайно затребуваною інженерною задачею. Такий пристрій дозволить легко інтегрувати існуюче дротове обладнання в сучасні бездротові телекомунікаційні мережі з мінімальними капіталовкладеннями.

Отже, тема кваліфікаційної роботи бакалавра, присвячена розробці радіомодема для телекомунікаційних систем передачі даних, є своєчасною, практично значущою та безумовно актуальною для потреб сучасної індустрії та сфери телекомунікацій.

1.1.2 Аналіз існуючих радіомодемів та обґрунтування напрямку розробки

Світовий ринок обладнання для систем M2M (Machine-to-Machine) та промислового Інтернету речей пропонує широкий спектр пристроїв для бездротової передачі даних. Для правильного позиціонування власної розробки необхідно провести аналіз існуючих технічних рішень та виявити їхні переваги й недоліки в контексті побудови локальних телекомунікаційних систем.

Усі комерційні пристрої бездротової передачі даних, які сьогодні застосовуються в промисловості, можна умовно поділити на три великі категорії:

1. Радіомодеми стільникових мереж (GSM/GPRS/LTE/NB-IoT)

До цієї категорії належать пристрої від виробників типу Teltonika, Sierra Wireless, Simcom (рисунок 1.1).

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд типового промислового LTE-радіомодема

Переваги: Необмежена дальність зв'язку (за умови наявності покриття оператора), висока швидкість у мережах 4G.

Недоліки: Повна залежність від інфраструктури та тарифної політики мобільного оператора зв'язку (постійна абонентська плата). Крім того, такі рішення є вразливими до глушіння (РЕБ) та не підходять для побудови повністю автономних, закритих від зовнішнього світу локальних систем безпеки чи диспетчеризації підприємства.

2. Готові промислові радіомодеми УКХ-діапазону

Класичними представниками є високопотужні радіомодеми компанії SATEL (Фінляндія) та Pacific Crest (рисунок 1.2). Вони працюють на ліцензованих або ISM частотах (433/868 МГц) і використовують прозорий канал зв'язку.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11



Рисунок 1.2 – Промисловий радіомодем УКХ-діапазону

Переваги: Висока надійність, велика вихідна потужність (до кількох десятків ват), стійкість до екстремальних умов експлуатації, наявність інтерфейсів RS-232/RS-485.

Недоліки: Надзвичайно висока вартість (від \$300 до \$1500 за одиницю). Використання таких пристроїв для локальних завдань (наприклад, передача даних з цеху в диспетчерську на відстань 200–500 метрів) є економічно абсолютно невиправданим. Крім того, вони мають закриті (пропрієтарні) протоколи, що унеможлиблює їхній компонентний ремонт чи модернізацію силами замовника.

3. Вбудовувані радіомодулі (XBee, LoRa, nRF)

Це мініатюрні готові плати (наприклад, від Digi International або Semtech), які легко інтегруються в інші пристрої (рисунок 1.3).

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

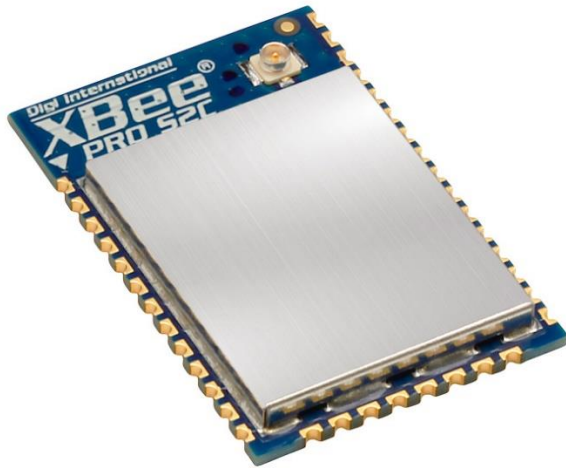


Рисунок 1.3 – Вбудований радіомодуль стандарту Xbee

Переваги: Низька вартість самого модуля, мініатюрність, підтримка складних мережових топологій (Mesh).

Недоліки: Самі по собі ці модулі не є закінченими пристроями (модемами). Для підключення до стандартного промислового обладнання з портом RS-232 їм потрібна додаткова плата-перехідник з перетворювачем логічних рівнів, стабілізатором живлення та гальванічною ізоляцією. Технологія LoRa, хоч і має велику дальність, відрізняється дуже низькою швидкістю передачі (від сотень біт за секунду) та великими затримками, що не підходить для протоколів реального часу.

Обґрунтування власної розробки

Проведений аналіз показує, що на ринку існує певний розрив між надто дорогими готовими промисловими радіомодемами та дешевими безкорпусними модулями, які неможливо напряму підключити до промислового обладнання.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є створення пристрою, який заповнить цю нішу. Розробка власного радіомодема на базі високоінтегрованого трансивера CC1000 та мікроконтролера AT89C2051 дозволяє отримати повноцінний промисловий пристрій за собівартістю компонентів.

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Обрана архітектура пропонує наступні концептуальні переваги:

- Прозорість каналу: Використання частотної маніпуляції (FSK) без складних надбудов дозволяє передавати дані стандарту RS-232 "як є", без суттєвих затримок, що ідеально підходить для опитування контролерів (наприклад, за протоколом Modbus RTU).
- Апаратна завершеність: Наявність на борту вбудованого блоку живлення (від мережі 220 В) та вузла оптронної гальванічної розв'язки дозволяє підключати модем до коштовного обладнання без ризику його пошкодження.
- Економічна доцільність: Розроблений пристрій забезпечує базовий функціонал промислових радіомодемів класу SATEL, але його вартість на порядок нижча, що робить його ідеальним вибором для модернізації локальних систем телекомунікацій на підприємствах із обмеженим бюджетом.

Отже, проєктування власного радіомодема з урахуванням сучасних вимог схемотехніки є технічно обґрунтованим рішенням, яке має значний комерційний та впроваджувальний потенціал.

1.1.3 Аналіз вимог технічного завдання

Технічне завдання на розробку радіомодема для телекомунікаційних систем передачі даних є основоположним документом, який визначає межі інженерного пошуку, критерії вибору елементної бази та ключові конструктивно-технологічні рішення. Проєктування радіоелектронних засобів такого класу вимагає комплексного підходу, оскільки пристрій поєднує в собі високочастотний аналоговий тракт, швидкісну цифрову обчислювальну частину на базі мікроконтролера та інтерфейсні вузли зв'язку із термінальним обладнанням.

Для обґрунтування структури пристрою та параметрів його каскадів проведено детальний аналіз кожної технічної вимоги кваліфікаційної роботи бакалавра.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

1. Робочий діапазон частот (310 МГц – 800 МГц).

Зазначений діапазон охоплює значну частину ультракоротких радіохвиль (УКХ / UHF), куди входять і цивільні некомерційні смуги частот (ISM-діапазони, зокрема 433 МГц та 868 МГц). Вибір цього спектра є оптимальним для побудови локальних телекомунікаційних мереж малого та середнього радіусу дії. Радіохвилі sub-GHz діапазону мають високу проникну здатність крізь залізобетонні та цегляні перешкоди, а також характеризуються значно меншим затуханням в атмосфері порівняно з високочастотними діапазонами 2,4 ГГц чи 5 ГГц.

З інженерної точки зору, вимога перекриття такого широкого діапазону (від 310 до 800 МГц) виключає можливість використання простих автогенераторів із фіксованою частотою. Це зумовлює необхідність застосування інтегрального високочастотного трансивера (у даному проекті — мікросхеми CC1000) із вбудованим високостабільним синтезатором частот на основі фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ / PLL). Керування частотою в такому випадку реалізується програмно шляхом зміни коефіцієнтів ділення у регістрах трансивера через послідовний інтерфейс мікроконтролера.

Крім того, робота в UHF-діапазоні висуває жорсткі вимоги до проектування антенно-фідерного тракту. Необхідно передбачити розрахунок вихідного LC-фільтра нижніх частот та вузла узгодження імпедансів (звичайно на рівні 50 Ом) для мінімізації коефіцієнта стоячої хвилі (КСХ) та пригнічення вищих гармонік, що випромінюються в ефір.

2. Швидкість передачі даних (до 76,5 кбіт/с).

Пропускна здатність на рівні 76,5 кбіт/с є класичним стандартом для вузькосмугових систем невисокої щільності інформаційного потоку. Такої швидкості цілком достатньо для передачі пакетів даних телеметрії, телекерування, зчитування показників із віддалених датчиків або обміну текстовими командами між терміналами.

Обмеження швидкості до 76,5 кбіт/с дозволяє відмовитися від складних

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

багатопозиційних методів модуляції (таких як QAM) на користь більш завадостійкої та простішої в апаратній реалізації частотної маніпуляції (FSK) або її оптимізованого варіанту із фільтрацією Гаусса (GFSK). Модуляція FSK забезпечує високу стійкість до амплітудних завад, які часто виникають у промислових зонах через роботу електродвигунів та силових комутаційних апаратів.

Для обробки такого потоку даних у реальному часі не потрібні надпотужні 32-бітні ARM-процесори. Обчислювальної потужності класичного 8-розрядного мікроконтролера архітектури MCS-51 (наприклад, AT89C2051) із тактовою частотою в кілька мегагерц буде цілком достатньо для програмної реалізації протоколів канального рівня, формування пакетів, підрахунку контрольних сум (CRC) та управління приймачем/передавачем.

3. Напруга живлення (3, 5, 12 В).

Вимога наявності трьох різних номіналів напруги живлення однозначно вказує на те, що пристрій є неоднорідним за своєю схемотехнічною структурою. Кожен рівень напруги виконує свою специфічну функцію:

- 3В (або 3,3 В) є номінальною напругою для низьковольтних високочастотних мікросхем. Саме таку напругу потребує серцевина трансивера CC1000. Зниження напруги живлення радіочастотної частини дозволяє суттєво зменшити рівень власних шумів пристрою та знизити виділення тепла високочастотним каскадом.
- 5В — це промисловий стандарт для живлення цифрових логічних мікросхем середнього ступеня інтеграції та базових мікроконтролерів (зокрема AT89-серії). Ця напруга забезпечує високу завадостійкість цифрових шин на друкованій платі та необхідний рівень струму для керування світлодіодними індикаторами стану.
- 12В необхідна для забезпечення функціонування зовнішніх ліній зв'язку та буферних каскадів. Зокрема, фізичний інтерфейс RS-232 для передачі сигналів логічного нуля та одиниці використовує двополярні рівні напруги

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

(від -12 В до +12 В). Також вища напруга може застосовуватися для живлення вхідних каскадів гальванічної розв'язки.

Така триканальна схема вимагає проектування комбінованого або багатоканального джерела живлення. Для запобігання проникненню високочастотних імпульсних завад від цифрової частини у чутливий приймальний тракт радіомодема, блоки живлення для 3 В та 5 В повинні мати якісну фільтрацію (LC-фільтри) та індивідуальні лінійні або малошумні LDO-стабілізатори.

4. Потужність споживання (не більше 1,2 Вт).

Заданий ліміт потужності у 1,2 Вт свідчить про високі вимоги до енергетичної ефективності пристрою. Якщо розрахувати максимальний сумарний струм споживання по шині 5 В, він не повинен перевищувати 240 мА. Це накладає обмеження на вибір елементної бази — усі допоміжні мікросхеми та буферні елементи повинні належати до CMOS-серій із мінімальним статичним струмом споживання.

Найбільшими споживачами енергії у схемі є вихідний підсилювач потужності трансивера в режимі передачі (TX) та світлодіоди оптронів гальванічної розв'язки під час активного обміну даними. Для виконання цієї вимоги в алгоритмі роботи мікроконтролера необхідно передбачити режими динамічного керування живленням (Power-down або Idle режими), які переводять трансивер у стан глибокого сну в періоди відсутності інформаційного кадру в ефірі.

5. Час встановлення робочого режиму (не перевищує 3 с).

Даний параметр регламентує динамічні характеристики пристрою під час його холодного старту (увімкнення в мережу). Протягом трьох секунд у пристрої мають послідовно відбутися такі процеси:

- Перехідні процеси у вторинних джерелах живлення та вихід на стабільні рівні напруг 3 В, 5 В та 12 В.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

- Спрацювання апаратної схеми скидання мікроконтролера (Power-on Reset) та стабілізація частоти його кварцового резонатора.
- Виконання стартової ініціалізації мікрокоду, конфігурування внутрішніх регістрів введення-виведення.
- Послідовне завантаження конфігураційних бітів у трансивер CC1000 через трипровідну шину керування (PDATA, PCLK, PALE).
- Вхідження в режим синхронізації (Lock) внутрішнього синтезатора частоти ФАПЧ радіомодуля.

Оскільки всі ці процеси на сучасній елементній базі тривають від кількох мілісекунд до кількох десятків мілісекунд, часовий запас у 3 секунди є цілком достатнім і дозволяє пристрою гарантовано вийти на робочий режим без ризику втрати перших пакетів даних.

Додаткові схемотехнічні вимоги (на основі аналізу схеми):

Оскільки радіомодем інтегрується в телекомунікаційні мережі, де довжина з'єднувальних кабелів до терміналів (eOM, промислових контролерів) може бути значною, існує високий ризик виникнення різниці потенціалів між заземленнями пристроїв, а також впливу наведених електромагнітних перешкод.

Аналіз принципової схеми показує, що для захисту внутрішнього ядра пристрою (мікроконтролера та радіотракту) від руйнування лінійні інтерфейсні сигнали (TxD, RxD, RTS, CTS) проходять через каскад оптронної гальванічної розв'язки. Це технічне рішення повністю ізолює контур заземлення комп'ютера від контуру заземлення радіомодема, що суттєво підвищує загальну надійність та завадостійкість телекомунікаційної системи в цілому.

Висновок: Проведений аналіз вихідних даних підтверджує технічну можливість реалізації радіомодема на запропонованій елементній базі (мікроконтролер AT89C2051 та трансивер CC1000). Усі вимоги ТЗ узгоджуються між собою, а закладені параметри швидкості, частоти та енергоспоживання дозволяють створити конкурентоспроможний, надійний та ефективний пристрій для бездротових систем передачі даних.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.2. Розробка та опис структурної схеми

На основі проведеного аналізу технічного завдання та виявлених вимог до функціональності пристрою розроблено структурну схему радіомодема. Структурна схема визначає основні функціональні вузли пристрою, їхнє цільове призначення, а також топологію взаємозв'язків та інформаційних потоків між ними.

Проектування архітектури радіомодема базується на модульному принципі, що дозволяє розділити цифрову обчислювальну частину, високочастотний аналоговий тракт, блоки захисту інформаційних ліній та систему вторинного електроживлення. Такий підхід забезпечує мінімізацію взаємних завад, спрощує процес налагодження та підвищує загальну надійність функціонування телекомунікаційного обладнання.

Структурна схема розробленого радіомодема наведена на рисунку 1.4.

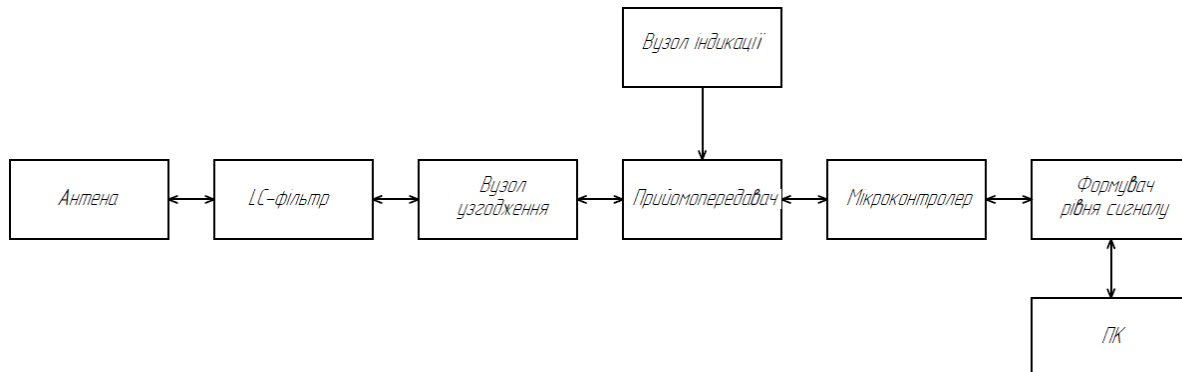


Рисунок 1.4 – Структурна схема радіомодема

До складу розробленої структурної схеми радіомодема входять такі основні функціональні блоки:

- Антенa.
- LC-фільтр.
- Вузол узгодження.
- Приймoпередaвач.

- Вузол індикації.
- Мікроконтролер.
- Формувач рівня сигналу.
- ПК (персональний комп'ютер або інше термінальне обладнання).

(Примітка: для забезпечення роботи всіх перелічених модулів у системі також передбачено блок вторинного електроживлення, який формує стабільні напруги з первинної мережі, проте на структурній схемі він умовно не показаний для спрощення відображення інформаційних потоків).

Розглянемо детально призначення кожного з вищезазначених блоків та характер їхньої взаємодії в межах розробленої архітектури:

- Мікроконтролер є керуючим ядром усього радіомодема. На цей вузол покладено завдання програмного забезпечення алгоритмів роботи пристрою: ініціалізація та конфігурування внутрішніх регістрів прийомопередавача, контроль стану ліній зв'язку, буферизація потоків даних, формування інформаційних пакетів із підрахунком контрольних сум (CRC), а також декодування прийнятих з ефіру пакетів.
- Прийомопередавач (реалізований на базі високочастотного трансивера CC1000) є містком між цифровою частиною пристрою та аналоговим радіоефіром. У режимі передачі він приймає від мікроконтролера цифровий потік даних, здійснює його частотну маніпуляцію (FSK) та підсилює ВЧ-сигнал до необхідного рівня. У режимі прийому він виділяє з ефіру слабкий сигнал, демодулює його та перетворює назад у бінарний потік для мікроконтролера.
- Вузол узгодження та LC-фільтр підключаються безпосередньо між прийомопередавачем та антеною. Вузол узгодження забезпечує рівність вихідного імпедансу мікросхеми трансивера з хвильовим опором антени (50 Ом), що необхідно для максимальної передачі потужності. Зі свого боку, LC-фільтр відіграє роль фільтра нижніх частот, який ефективно

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

пригнічує вищі гармоніки та побічні випромінювання.

- Антена — це електродинамічний пристрій, що відповідає за безпосереднє випромінювання сформованого радіосигналу в ефір та вловлювання електромагнітних хвиль від віддаленого пристрою.
- Вузол індикації призначений для візуального контролю режимів роботи радіомодема користувачем. Він реалізований на базі світлодіодів і сигналізує про поточний стан пристрою (наприклад, процес передачі/прийому пакетів даних або наявність живлення).
- Формувач рівня сигналу є сполучною ланкою між внутрішньою схемою модема та зовнішнім ПК. Цей блок виконує дві функції: гальванічну ізоляцію (за допомогою оптронів) для захисту пристрою від протікання вирівнювальних струмів та перенапруг, а також амплітудне узгодження логічних рівнів мікроконтролера (0...5 В) з двополярним промисловим стандартом RS-232 (-12...+12 В).

Опис логіки взаємодії вузлів (напрямок потоків даних):

При передачі даних: Інформаційні сигнали від ПК надходять на формувач рівня сигналу, де трансформуються за напругою та проходять оптичну ізоляцію. Далі вони потрапляють на мікроконтролер, який обробляє дані, формує пакет і передає його на прийомопередавач. Той генерує високочастотний завадостійкий сигнал, який послідовно проходить через вузол узгодження та LC-фільтр, після чого випромінюється антеною в ефір. Поточний режим роботи паралельно відображається вузлом індикації.

При прийомі даних: Слабкий радіосигнал з антени проходить через LC-фільтр та вузол узгодження до прийомопередавача, де демодулюється. Отриманий цифровий потік зчитується мікроконтролером. У разі успішної перевірки цілісності пакета, чисті дані через формувач рівня сигналу відправляються на ПК до кінцевого користувача.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Таким чином, розроблена структура забезпечує виконання всіх вимог технічного завдання та створює передумови для стабільної бездротової передачі інформації.

1.3. Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми

Електрична принципова схема (ЕЗ) є основним конструкторським документом, який визначає повний склад радіоелектронних компонентів пристрою та всі електричні зв'язки між ними. Вона є базисом для розробки топології друкованої плати та складання специфікації.

Повна схема електрична принципова розробленого радіомодема наведена на рисунку 1.5.

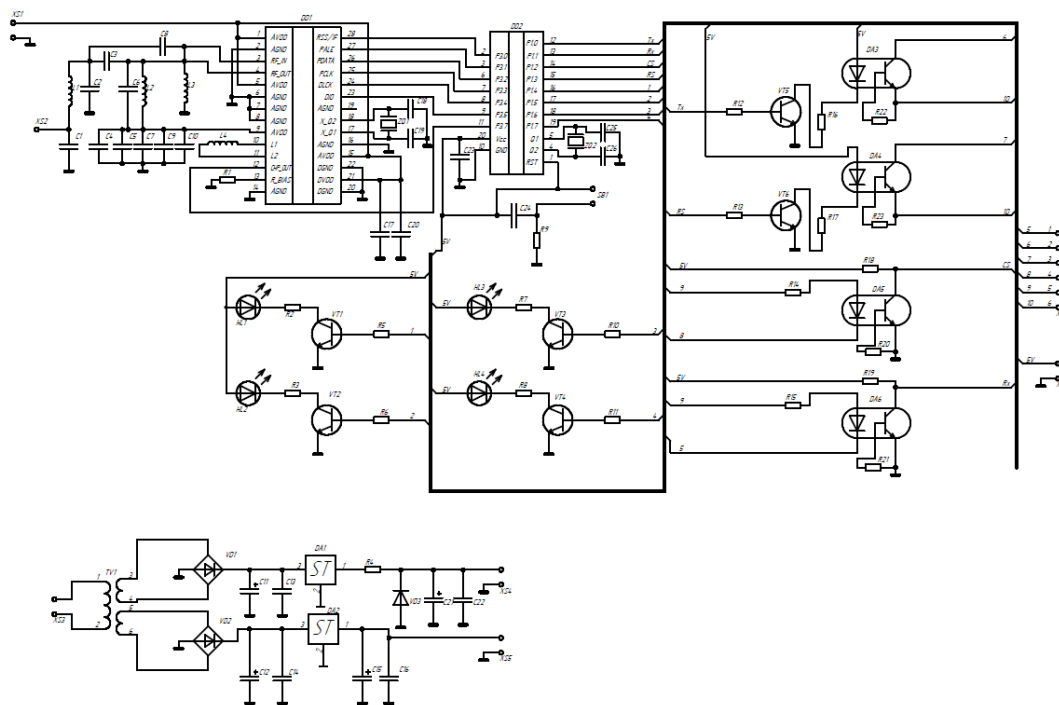


Рисунок 1.5 – Схема електрична принципова радіомодема

Як видно з наведеної схеми, апаратна частина пристрою логічно поділена на кілька взаємопов'язаних контурів.

Головним обчислювальним ядром пристрою є 8-розрядний

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

мікроконтролер DD2 (AT89C2051). Його тактування забезпечується зовнішнім кварцовим резонатором ZQ2 з обв'язкою з конденсаторів C25, C26. Для забезпечення коректного запуску мікроконтролера при подачі живлення або примусового перезавантаження передбачено ланцюг скидання (Reset), до складу якого входять кнопка SB1, конденсатор C24 та резистор R9.

Мікроконтролер DD2 керує роботою високочастотного трансивера DD1 (CC1000) за допомогою цифрових ліній інтерфейсу. Трансивер має власний високостабільний кварцовий генератор ZQ1. До його високочастотних виводів (RF_IN, RF_OUT) підключено складний пасивний антенно-узгоджувальний тракт, що складається з індуктивностей L1–L4 та конденсаторів C1–C10. Цей LC-фільтр формує необхідну частотну характеристику та узгоджує імпеданс мікросхеми з антеною, яка підключається до клем XS1/XS2.

Зв'язок радіомодема із зовнішнім термінальним обладнанням реалізовано через контур гальванічної розв'язки. Оптрони DA3–DA6 виконують роль бар'єру, що оптично передає сигнали (Tx, Rx та керуючі лінії) між мікроконтролером і роз'ємом XS6. Для забезпечення необхідного струму світіння внутрішніх світлодіодів оптронів застосовано буферні каскади на транзисторах VT5, VT6.

Для візуального моніторингу стану пристрою (індикація живлення, прийому або передачі даних) передбачено вузол індикації. Він реалізований на світлодіодах HL1–HL4, керування якими здійснюється через транзисторні ключі VT1–VT4.

Живлення всіх компонентів радіомодема забезпечується аналоговим блоком живлення (нижня частина схеми). Напруга від електромережі через роз'єм XS3 надходить на понижувальний трансформатор TV1. Далі дві незалежні вторинні обмотки живлять діодні мости VD1, VD2, напруга з яких згладжується електролітичними конденсаторами C11, C12. Стабілізація напруги на необхідних рівнях (для живлення цифрової логіки, РЧ-тракту та ліній інтерфейсу) здійснюється лінійними стабілізаторами DA1, DA2. Захисні діоди (наприклад, VD3) та керамічні шунтуючі конденсатори гарантують відсутність високочастотних пульсацій на шинах живлення.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

$$C_{\Phi} = \frac{I_{\text{нав}}}{U * f_{\text{п}}} \quad (1.1)$$

де $I_{\text{нав}}$ — максимальний струм навантаження. Сумарне споживання мікроконтролера AT89C2051, трансивера CC1000 та світлодіодів оптронів становить орієнтовно 0,25 А.

U — максимально допустима амплітуда пульсацій напруги на вході стабілізатора. Для нормальної роботи мікросхеми серії 7805 (DA1) прийmemo $U = 1,5\text{В}$

$f_{\text{п}}$ — частота пульсацій випрямленої напруги. Для двонапівперіодного випрямляча при частоті мережі 50 Гц ця частота становить 100 Гц.

Підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$C_{\Phi} = \frac{0,25}{1,5 * 100} = 0,00166 \text{ Ф} = 1660 \text{ мкФ}$$

Згідно з номінальним рядом Е6, обираємо найближчий більший стандартний номінал ємності — 2200 мкФ на робочу напругу не менше 16 В (наприклад, 2200 мкФ / 25 В). Для забезпечення точного рівня напруги та захисту від короткого замикання в якості DA1 та DA2 застосовуються інтегральні лінійні стабілізатори напруги (наприклад, серії L7805 та L7812). Для придушення високочастотних завад паралельно до електролітичних конденсаторів встановлюються керамічні шунтуючі конденсатори (С14, С16) ємністю 0,1 мкФ.

Розрахунок вузла оптронної гальванічної розв'язки

Для захисту мікроконтролера від зовнішніх електромагнітних наведень та уникнення замкнених контурів заземлення, інтерфейсні лінії повністю ізолювані.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

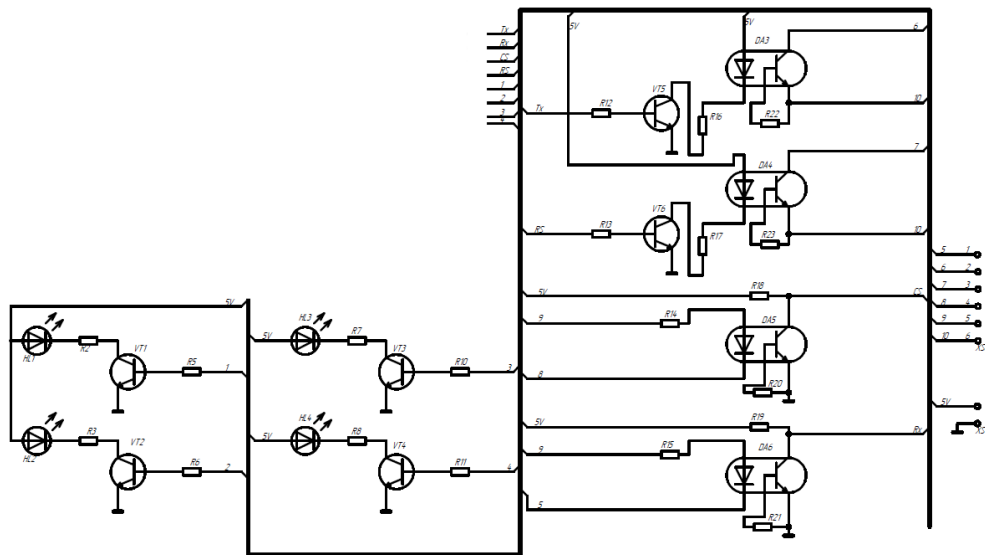


Рисунок 1.7 – Фрагмент електричної схеми: вузол формувача рівня сигналу

Як видно зі схеми, лінії (TxD, RxD, RTS, CTS) ізолювані за допомогою оптронів (DA3–DA6). Для коректної роботи оптрона (наприклад, типу PC817 або 4N35) необхідно розрахувати опір струмообмежувального резистора (R11, R12, R13, R14) у колі випромінюючого інфрачервоного світлодіода.

Опір розраховується на основі закону Ома:

$$R = \frac{U_{\text{живл}} - U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}} \quad (1.2)$$

де $U_{\text{живл}}$ — напруга живлення логічного рівня, що подається на світлодіод (у нашому випадку 5 В).

$U_{\text{пр}}$ — пряме падіння напруги на світлодіоді оптрона. Згідно з документацією на стандартні оптрони, воно становить близько 1,2 В.

$I_{\text{пр}}$ — номінальний прямий струм світлодіода, необхідний для надійного відкриття фототранзистора. Оптимальне значення для стабільної роботи становить 10 мА (0,01 А).

Для забезпечення тактування (AT89C2051) на виводах XTAL1 та XTAL2 підключено кварцовий резонатор Z1. Робоча частота резонатора обирається кратною стандартним швидкостям передачі даних (UART baud rate). Оптимальним вибором є кварц на частоту 11.0592 МГц. Для надійного запуску внутрішнього генератора до виводів кварцу підключаються два навантажувальні конденсатори ємністю по 22 пФ – 33 пФ, з'єднані з загальним проводом (GND).

Ланцюг апаратного скидання (Reset) реалізований за допомогою RC-ланки (конденсатор C24 та резистор R6). При увімкненні живлення струм заряду конденсатора формує на виводі RST мікроконтролера імпульс високого рівня, що ініціалізує повернення всіх регістрів процесора у вихідний стан. Для забезпечення тривалості імпульсу скидання понад необхідні 10 мс, типовими є номінали: $C = 10 \text{ мкФ}$ та $R = 8.2 \text{ кОм}$.

Вузол радіочастотного трансивера CC1000

Радіотракт побудовано навколо мікросхеми однокристального UHF трансивера DD1 (CC1000).

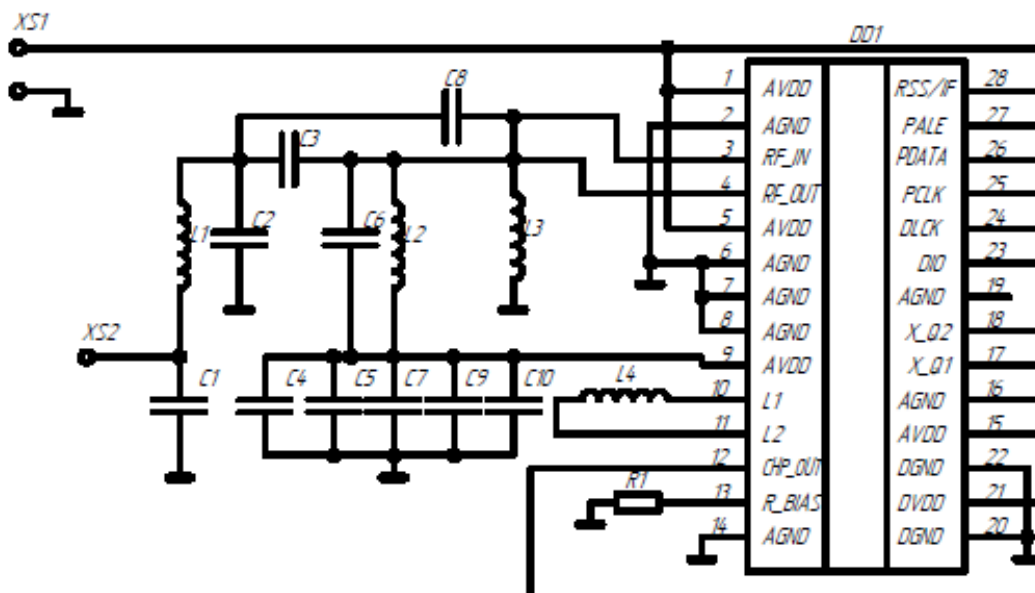


Рисунок 1.9 – Фрагмент електричної схеми: прийомопередавач

Обв'язка цієї мікросхеми вимагає високої точності, оскільки вона працює на частотах до 800 МГц. Взаємодія з мікроконтролером відбувається по трипроводній цифровій шині конфігурації (PDATA, PCLK, PALE) та лініях передачі/прийому даних (DIO, DCLK).

Для тактування внутрішніх синтезаторів частоти трансивера застосовується окремий високостабільний кварцовий резонатор. Аналоговий високочастотний вихід трансивера підключається до антени (X1) через узгоджувальний LC-контур (елементи L, L2, C2, C4, C6, C7, C9, C10). Цей контур виконує функцію ФНЧ (фільтра нижніх частот) та трансформатора імпедансів. Розрахунок цих компонентів виконується на основі рівнянь Сміта (Smith chart) для забезпечення хвильового опору тракту рівно 50 Ом. Точні номінали індуктивностей (зазвичай у межах десятків наногенрі, нГн) та ємностей (одиниці пікофарад, пФ) обираються строго відповідно до рекомендацій виробника (Texas Instruments) для конкретного робочого піддіапазону частот (наприклад, для 433 МГц).

Завдяки ретельно підібраним номіналам обв'язки трансивера забезпечується максимальна ефективність випромінювання та чутливість прийому, що гарантує надійність роботи телекомунікаційної системи в цілому.

1.4. Вибір і обґрунтування компонентної бази

Надійність, довговічність та стабільність технічних характеристик радіомодема в умовах експлуатації значною мірою залежать від правильно підбраної елементної бази. Вибір електронних компонентів для даної кваліфікаційної роботи бакалавра здійснювався на основі аналізу технічного завдання, розрахованих електричних режимів роботи вузлів, а також з урахуванням технічних характеристик компонентів, економічної доцільності та забезпечення електромагнітної сумісності.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

Вибір центрального мікроконтролера



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд мікроконтролера AT89C2051

Основним обчислювальним ядром радіомодема обрано 8-розрядний мікроконтролер AT89C2051 (архітектура MCS-51) виробництва компанії Microchip (Atmel).

Основними технічними характеристиками, що зумовили цей вибір, є:

- Обсяг пам'яті: 2 КБ вбудованої Flash-пам'яті програм та 128 байт оперативної пам'яті (RAM), що достатньо для реалізації стека протоколів.
- Робоча частота: підтримка тактової частоти до 24 МГц (у проекті використовується 11,0592 МГц для мінімізації похибки швидкості UART).
- Периферія: наявність повнодуплексного апаратного послідовного порту (UART), двох 16-бітних таймерів-лічильників та 15 ліній вводу/виводу.
- Напруга живлення: від 2,7 В до 6,0 В, що ідеально узгоджується із шиною живлення +5 В цифрової частини схеми.

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Вибір елементів гальванічної розв'язки



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд оптрона гальванічної розв'язки

Для гальванічної ізоляції інтерфейсних ліній обрано транзисторні оптопари типу PC817 (або аналоги, наприклад 4N35). Вони забезпечують надійне електричне розділення контурів заземлення мікроконтролера та термінального обладнання.

Технічні параметри обраних оптронів:

- Напруга ізоляції: до 5000 В (RMS), що повністю захищає пристрій від високовольтних наведень на лініях зв'язку.
- Коефіцієнт передачі струму (CTR): від 50% до 600%, що гарантує надійне відкриття вихідного фототранзистора навіть при малих струмах керування.
- Максимальний прями́й струм світлодіода: 50 мА (у робочому режимі модема використовується лише 10 мА, що подовжує термін служби оптрона).

Вибір пасивних компонентів (резисторів та конденсаторів)

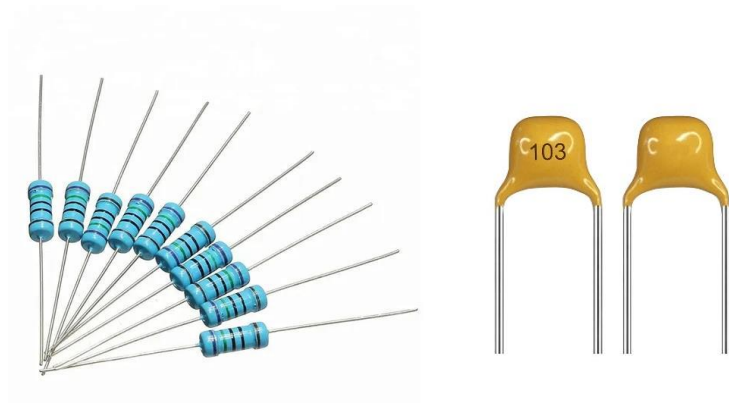


Рисунок 1.13 – Компоненти пасивної бази: резистори MFR та керамічні конденсатори

Згідно зі специфікацією до проекту, в якості постійних резисторів (R1–R22) обрано вивідні металоплівкові резистори серії MFR (виробництва Yageo).

Їхні основні характеристики:

- Потужність розсіювання: 0,5 Вт (що забезпечує багаторазовий запас міцності).
- Допустиме відхилення (допуск): $\pm 5\%$.
- Низький рівень теплових шумів та висока температурна стабільність, що є критично важливим для кіл обв'язки трансивера SS1000.

Конденсатори у схемі представлені керамічними багатошаровими компонентами з номінальною напругою 50 В:

- Діелектрик C0G (NP0): використаний для ємностей від 2,2 нФ до 33 нФ та пікофарадних номіналів (30 пФ). Характеризується нульовим температурним коефіцієнтом ($0 \pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$). Це означає, що при нагріванні пристрою ємність не змінюється, і резонансна частота радіотракту та кварцового генератора залишається ідеально стабільною.
- Діелектрик X7R: використаний для блокувальних конденсаторів по шинах живлення (0,1 мкФ). Відрізняється високою питомою ємністю та ефективним придушенням високочастотних завад.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Вибір компонентів блоку живлення

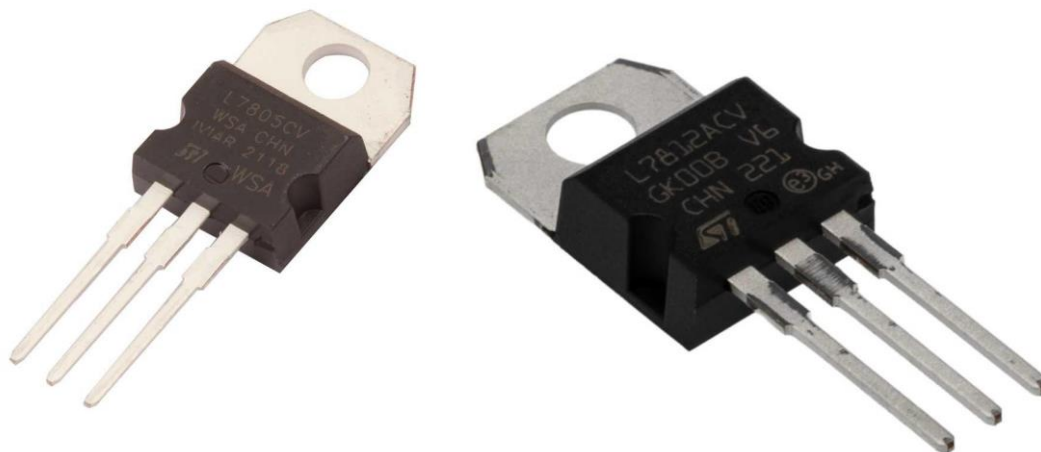


Рисунок 1.14 – Лінійний стабілізатор напруги серії LM78xx (корпус TO-220)

Для стабілізації напруги застосовано інтегральні лінійні стабілізатори серії LM7805 (для формування напруги +5 В цифрової частини) та LM7812 (для шини +12 В інтерфейсу RS-232).

Технічні переваги застосування серії LM78xx:

- Максимальний вихідний струм: до 1,5 А (у нашому проекті споживається менше 0,3 А, тому стабілізатори працюватимуть у дуже легкому температурному режимі).
- Захист: вбудований термозахист (Thermal Shutdown) та захист від струмів короткого замикання.
- Відсутність імпульсних завад: на відміну від DC-DC перетворювачів, лінійні стабілізатори не генерують високочастотних перешкод, що гарантує високу чутливість приймача CC1000.

Вибір кварцових резонаторів (генераторів тактових частот)

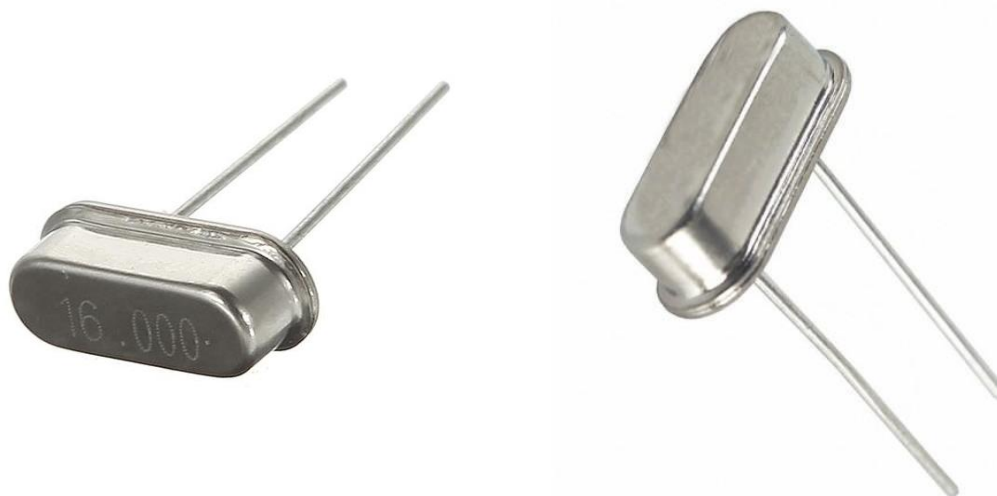


Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд кварцового резонатора

Для забезпечення точного тактування мікроконтролера та роботи внутрішнього синтезатора частот трансивера у схемі застосовано високостабільні кварцові резонатори в металевих корпусах типу HC-49/S (або їхні SMD-аналоги).

Для тактування мікроконтролера AT89C2051 обрано резонатор на частоту 11,0592 МГц. Вибір цієї частоти є класичним рішенням у телекомунікаціях, оскільки вона ділиться внутрішніми лічильниками процесора без залишку для отримання стандартних швидкостей UART (9600, 19200, 115200 біт/с), що зводить до нуля похибку передачі даних.

Ключові технічні характеристики обраних кварцових резонаторів:

- Точність налаштування (Frequency Tolerance): ± 20 ppm при 25°C.
- Температурна стабільність: не гірше ± 30 ppm у діапазоні температур від -40°C до +85°C, що гарантує стабільність несучої частоти радіоканалу взимку і влітку.
- Навантажувальна ємність (Load Capacitance): 18...22 пФ, що ідеально узгоджується з обраними керамічними конденсаторами (C0G) з обв'язки.

- Еквівалентний послідовний опір (ESR): не більше 40 Ом, що гарантує швидкий та надійний запуск генератора при включенні живлення.

Типові розміри HC-49/S

- Довжина: ~11.5 – 12.7 мм
- Ширина: ~4.5 – 5.0 мм
- Висота: ~3.5 – 5.0 мм
- Крок ніжок: 2.54 мм
- Кількість виводів: 2 (неполярний)

Вибір індуктивностей для антенного тракту



Рисунок 1.16 – Високочастотні чип-індуктивності для радіотракту

Робота на ультракоротких хвилях висуває жорсткі вимоги до якості котушок індуктивності (L1, L2 та інші), що входять до складу узгоджувального LC-контурі трансивера. У проекті застосовано спеціалізовані високочастотні чип-індуктивності (SMD дроселі, наприклад, серії LQW від Murata).

Їхні основні технічні параметри:

- Номінальна індуктивність: одиниці та десятки наногенрі (нГн), обрані строго за таблицями узгодження від Texas Instruments.
- Допустиме відхилення: $\pm 2\%$ або $\pm 5\%$, що дозволяє точно узгодити вихідний опір трансивера з антеною (50 Ом) без ручного підлаштування.

- Добротність (Q-фактор): понад 40 на частоті 433/868 МГц, що забезпечує мінімальні активні втрати корисного сигналу під час передачі.
- Частота власного резонансу (SRF): понад 3 ГГц. Це гарантує, що на робочій частоті трансивера індуктивність поводитиметься саме як котушка, а не як паразитна ємність.
- Активний опір (DCR): менше 0,2 Ом.

Вибір дискретних напівпровідникових приладів (транзисторів та діодів)

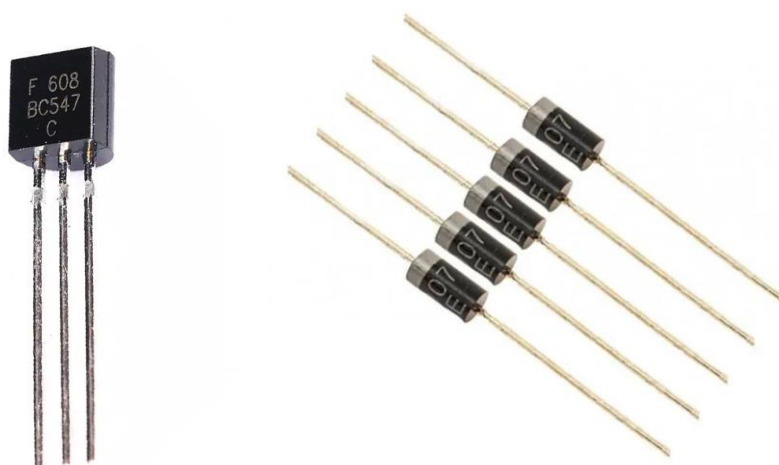


Рисунок 1.17 – Дискретні напівпровідникові прилади: транзистор та випрямний діод

Для реалізації буферних каскадів зовнішнього інтерфейсу (після оптронів) застосовано кремнієві біполярні транзистори загального призначення типу BC547 (NPN) та BC557 (PNP).

Їхні технічні характеристики:

- Максимальна напруга колектор-емітер V_{CE0} : 45 В, що ідеально підходить для комутації двополярних 12-вольтових сигналів інтерфейсу RS-232.
- Максимальний струм колектора I_C : 100 мА.
- Коефіцієнт підсилення по струму h_{FE} : 110...800, що дозволяє керувати транзисторами за допомогою мікрострумів від оптронів.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- Гранична частота f_T : 300 МГц, що забезпечує ідеально рівні та круті фронти цифрових імпульсів.
- Для випрямлення змінної напруги від трансформатора у блоці живлення застосовано надійні випрямні діоди серії 1N4007.
- Максимальна зворотна напруга V_{RRM} : 1000 В (захищає схему від високовольтних сплесків у мережі 220 В).
- Прямий струм I_F : 1 А (модем споживає менше 0,3 А, тому діоди працюють з трикратним запасом надійності).

Вибір електромеханічних та комутаційних компонентів (роз'ємів)



Рисунок 1.18 – Електромеханічні компоненти: ВЧ-роз'єм SMA та інтерфейсна колодка

Надійність контакту апаратної частини із зовнішнім світом критично залежить від якості застосованих роз'ємів.

Антенний роз'єм (X1): Обрано високочастотний коаксіальний роз'єм типу SMA (для монтажу на плату).

- Хвильовий опір: рівно 50 Ом.
- Робочий діапазон частот: від постійного струму (DC) до 18 ГГц.
- Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ): не більше 1,15, що означає практично нульове відбиття радіосигналу на з'єднанні.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- Має надійну різьбову фіксацію, що запобігає від'єднанню антени від вібрацій.

Інтерфейсні роз'єми (X2, XS3-XS5): Використовуються стандартизовані штирьові конектори (PLS/BLS) або гвинтові клемні колодки з кроком 2,54 мм чи 5,08 мм.

- Перехідний опір контакту: не більше 20 мОм.
- Максимальний робочий струм: до 3 А на контакт.
- Забезпечують швидкий монтаж пристрою та надійну фіксацію кабелів зв'язку та живлення.

Висновок до підрозділу

Проведений аналіз та підбір усіх груп елементів — від високотехнологічних інтегральних мікросхем до пасивних і комутаційних деталей — підтверджує, що розроблена схема є збалансованою. Компоненти мають необхідний запас за потужністю, напругою (діоди на 1000 В) та температурною стабільністю (± 30 ppm для кварцу, C0G кераміка), що гарантує безвідмовну роботу телекомунікаційного радіомодема протягом усього терміну експлуатації.

1.5. Компоновка друкованого вузла пристрою

Проектування друкованої плати (ДП) є одним із найважливіших етапів розробки радіоелектронної апаратури, оскільки від якості трасування та просторового розміщення компонентів безпосередньо залежить працездатність пристрою, його завадостійкість та відповідність вимогам електромагнітної сумісності (ЕМС).

Особливістю розробленого радіомодема є наявність на одній платі трьох принципово різних за своєю фізикою блоків: високочастотного аналогового тракту (з робочими частотами до 800 МГц), цифрової обчислювальної частини та блоку живлення з лініями зовнішнього інтерфейсу. Це вимагає суворого

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

дотримання правил функціонального зонування.

Конструктивні параметри та матеріали друкованої плати

В якості основи для друкованого вузла обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки FR-4 товщиною 1,5 мм. Товщина мідної фольги на шарах становить стандартні 35 мкм. Вибір двосторонньої плати з металізацією перехідних отворів зумовлений необхідністю створення суцільного полігону загального проводу (GND) на нижньому шарі. Цей полігон діє як ефективний електромагнітний екран і є обов'язковою вимогою від виробника для нормальної роботи високочастотного трансивера CC1000.

Згідно з технічними вимогами до креслення, крок координатної сітки під час проектування та розстановки компонентів прийнято рівним 1,25 мм, що відповідає чинним стандартам конструювання радіоапаратури.

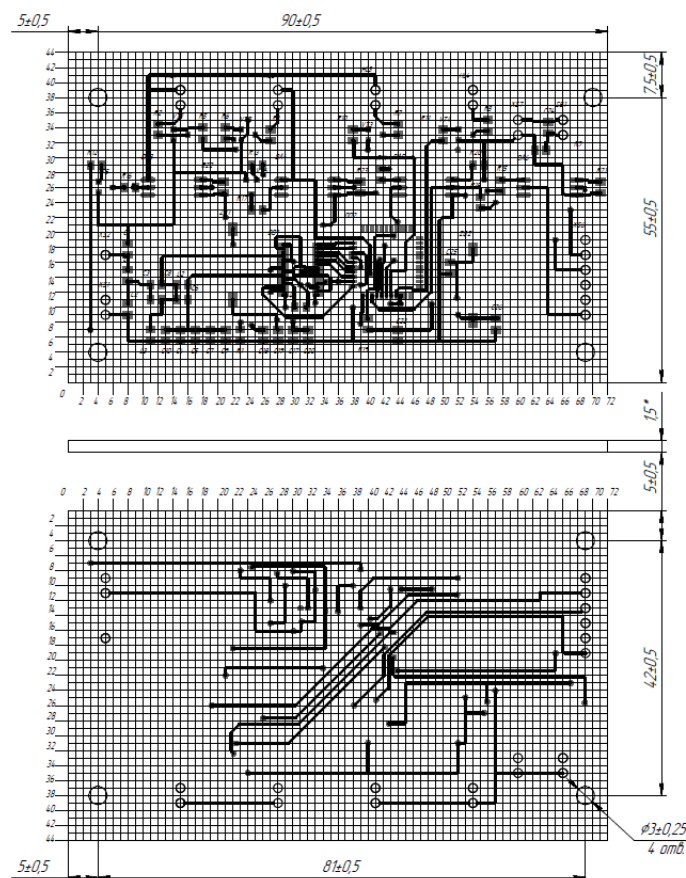


Рисунок 1.19 – Топологія провідників друкованої плати (верхній та нижній шари)

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Функціональне зонування та електромагнітна сумісність

Для запобігання взаємному впливу каскадів та самозбудженню, площу друкованої плати умовно розділено на кілька ізольованих зон.

- Високочастотна зона (РЧ-тракт): Мікросхема трансивера CC1000 (DD1) та елементи антенного узгодження (індуктивності L1–L3, ємності C1–C10) розміщені максимально компактно. Довжина провідників у цій зоні зведена до абсолютного мінімуму для усунення паразитних індуктивностей та ємностей. Антенний роз'єм X1 винесено на самий край плати для безперешкодного підключення зовнішньої антени. Під цією зоною на нижньому шарі залишено суцільний полігон міді.
- Цифрова зона: Керуючий мікроконтролер AT89C2051 розміщено в центральній частині плати. Кварцовий резонатор Z1 встановлено впритул до його виводів XTAL1/XTAL2. Блокувальні керамічні конденсатори по живленню розташовані на відстані не більше 2–3 мм від виводу VCC мікроконтролера, що гарантує ефективне пригнічення імпульсних завад під час перемикання логічних вентилів процесора.
- Зона гальванічної розв'язки: Оптрони (DA3–DA6) утворюють фізичний «бар'єр» між внутрішньою схемою модема та зовнішнім інтерфейсом RS-232. Для забезпечення електричної безпеки та унеможливлення високовольтного пробою, під корпусами оптронів витримано ізоляційний зазор, де заборонено прокладання будь-яких струмопровідних доріжок.
- Зона живлення: Діодні мости VD1, VD2 та лінійні стабілізатори напруги LM7805/LM7812 винесені на протилежний край плати. Таке рішення запобігає нагріванню термочутливих елементів радіотракту від тепла, що виділяється силовими компонентами. Провідники шин живлення +5 В та +12 В виконані потовщеними доріжками для зменшення їхнього активного опору.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

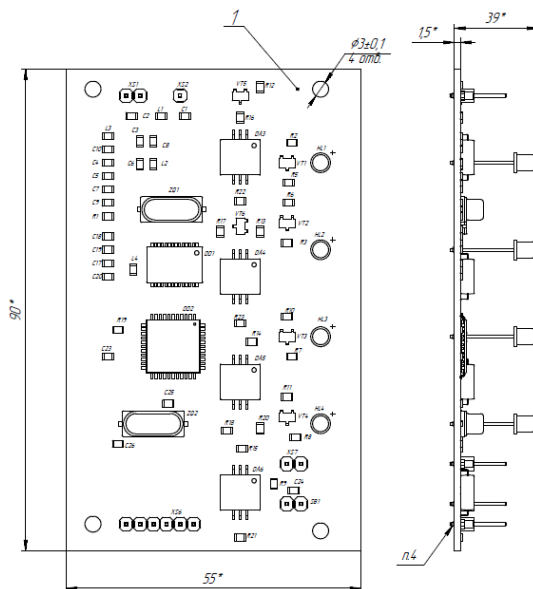


Рисунок 1.20 – Складальне креслення друкованого вузла (компоновка елементів)

Технологічні вимоги до монтажу

Згідно з розробленими складальними кресленнями друкованого вузла, монтаж радіоелементів здійснюється за змішаною технологією.

Мікросхема трансивера CC1000 (у мініатюрному корпусі для поверхневого монтажу), високочастотні SMD-індуктивності та частина керамічних конденсаторів монтується на поверхню плати. Для їхньої фіксації застосовується високоякісна паяльна паста SAC305 "Mechanic", що забезпечує ідеальний контакт на високих частотах.

Вивідні компоненти, серед яких мікроконтролер, електролітичні конденсатори, металоплівкові резистори серії MFR (R1–R22) та клемні колодки, встановлюються у металізовані отвори. Відповідно до технологічного процесу, виводи компонентів згинаються під кутом 30° та обрізаються в межах контактних площадок. Пайка цих елементів виконується свинцево-олов'яним припоєм ПОС-61.

Після завершення всіх монтажних робіт, очищення плати від залишків флюсу та проведення візуального контролю, готовий друкований вузол покривається електроізоляційним лаком АК-133. Це фінальне покриття

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

забезпечує надійний захист друкованих провідників і контактів від впливу вологи, пилу та запобігає їхньому окисненню в умовах промислової експлуатації пристрою.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено повний цикл схемотехнічного та конструкторського проектування апаратної частини радіомодема для телекомунікаційних систем передачі даних. На основі аналізу технічного завдання та сучасних методів побудови радіоелектронної апаратури було прийнято ряд оптимальних інженерних рішень.

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

- Розроблено структурну схему пристрою. Визначено ключові функціональні вузли системи, серед яких: блок вторинного електроживлення, керуючий мікроконтролер, вузол оптронної гальванічної розв'язки зовнішніх інтерфейсів та приймально-передавальний високочастотний радіотракт.
- Спроектовано електричну принципову схему. Проведено розрахунки критично важливих параметрів електронних компонентів (ємностей фільтрів живлення, струмообмежувальних резисторів оптопар), що гарантує стабільну роботу модема у визначених режимах.
- Здійснено обґрунтований вибір елементної бази. В якості головного обчислювального ядра обрано надійний мікроконтролер AT89C2051, а для реалізації бездротового каналу зв'язку — високоінтегрований субгігагерцовий трансивер CC1000. Застосування термостабільних керамічних конденсаторів (C0G) та високоточних металоплівкових резисторів (MFR) забезпечує завадостійкість та температурну стабільність виробу.

					OKB 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Розроблено компоновку друкованого вузла. Спроектовано топологію двосторонньої друкованої плати на базі матеріалу FR-4 із дотриманням вимог електромагнітної сумісності (ЕМС) та функціонального зонування (фізичне розділення високочастотної, цифрової та силової частин). Визначено технологічні вимоги до змішаного монтажу компонентів.

Отже, спроектована апаратна база повністю відповідає вимогам технічного завдання. Запропоновані схемотехнічні та конструкторські рішення забезпечують високу надійність пристрою в умовах промислової експлуатації і створюють необхідне підґрунтя для переходу до наступного етапу — розробки програмного забезпечення радіомодема.

2 Спеціальна частина

2.1 Обґрунтування використання та вибору САПР для проектування

Сучасний процес розробки радіоелектронної апаратури є складним і багатогранним завданням. Зростання щільності монтажу та використання мініатюрних SMD-компонентів роблять практично неможливим виконання якісного трасування плат "вручну". Саме тому невід'ємною складовою розробки є використання систем автоматизованого проектування (САПР).

Використання САПР на етапі розробки радіомодема дозволяє:

- Мінімізувати вплив "людського фактора" та уникнути помилок при з'єднанні виводів мікросхем.
- Автоматично контролювати дотримання технологічних зазорів та ширини провідників (DRC – Design Rule Check).
- Генерувати стандартні виробничих файли (Gerber, NC Drill) для автоматизованого виготовлення плат.

Для виконання графічної та схемотехнічної частини даної кваліфікаційної

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

роботи бакалавра було обрано пакет програм DipTrace. Цей вибір обґрунтований інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, наявністю великих вбудованих бібліотек компонентів та повною підтримкою стандартів конструювання. Комплекс DipTrace має потужний інструмент для трасування друкованих плат (PCB Layout), який чудово справляється з розведенням як цифрових, так і високочастотних аналогових кіл.

2.2 Етапи проектування друкованої плати в САПР

Процес розробки друкованої плати радіомодема у середовищі DipTrace складався з кількох послідовних етапів, кожен з яких є критично важливим для забезпечення правильної роботи майбутнього пристрою.

Етап 1. Передача списку з'єднань та розміщення компонентів

Після створення електричної принципової схеми у модулі Schematic, список з'єднань (Netlist) було автоматично імпортовано у модуль PCB Layout. На цьому етапі всі компоненти були представлені у вигляді посадкових місць (Footprints) із відповідними контактними площадками, з'єднаними тонкими лініями зв'язків (Ratlines). Згідно з правилами функціонального зонування, компоненти були згруповані та розміщені на контурі плати розміром 90x55 мм.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

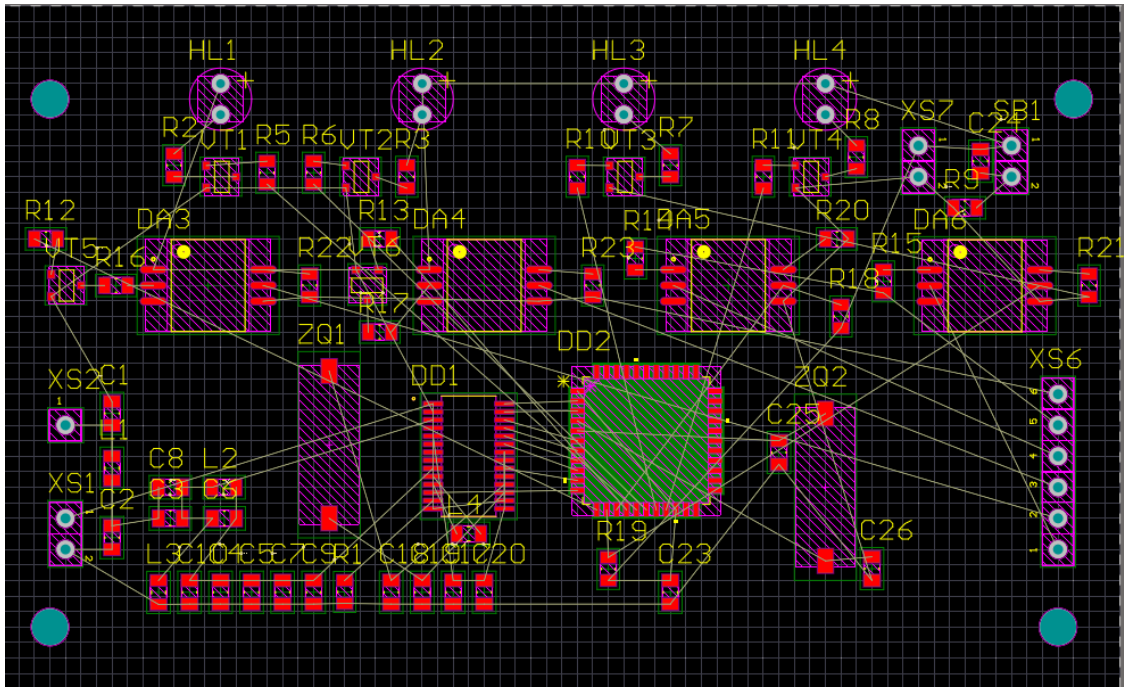


Рисунок 2.1 – Розміщення компонентів та відображення ліній електричних зв'язків (Ratlines) у DipTrace

Етап 2. Трасування провідників (Routing)

Після затвердження компоновки розпочався найскладніший етап — трасування провідників. Оскільки плата є двосторонньою, трасування виконувалося на двох шарах: верхньому (Top) та нижньому (Bottom).

Спочатку було розведено найбільш критичні високочастотні кола трансивера SS1000 на верхньому шарі. Ширина сигнальних доріжок була обрана з урахуванням допустимої щільності струму та технологічних можливостей виробництва.

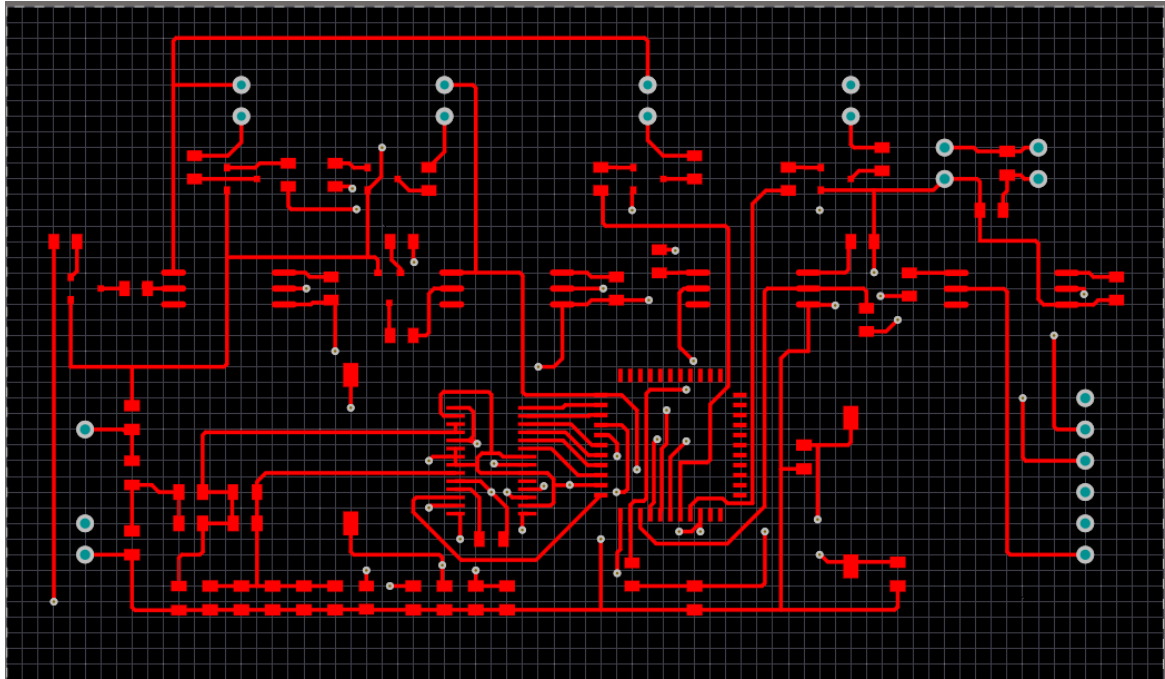


Рисунок 2.2 – Топологія провідників верхнього шару (Top Layer)

Після розведення радіотракту було виконано трасування цифрових ліній мікроконтролера та кіл живлення з активним використанням перехідних отворів (Vias) для переходу між шарами. Шини живлення +5 В та +12 В були виконані потовщеними лініями для мінімізації падіння напруги.

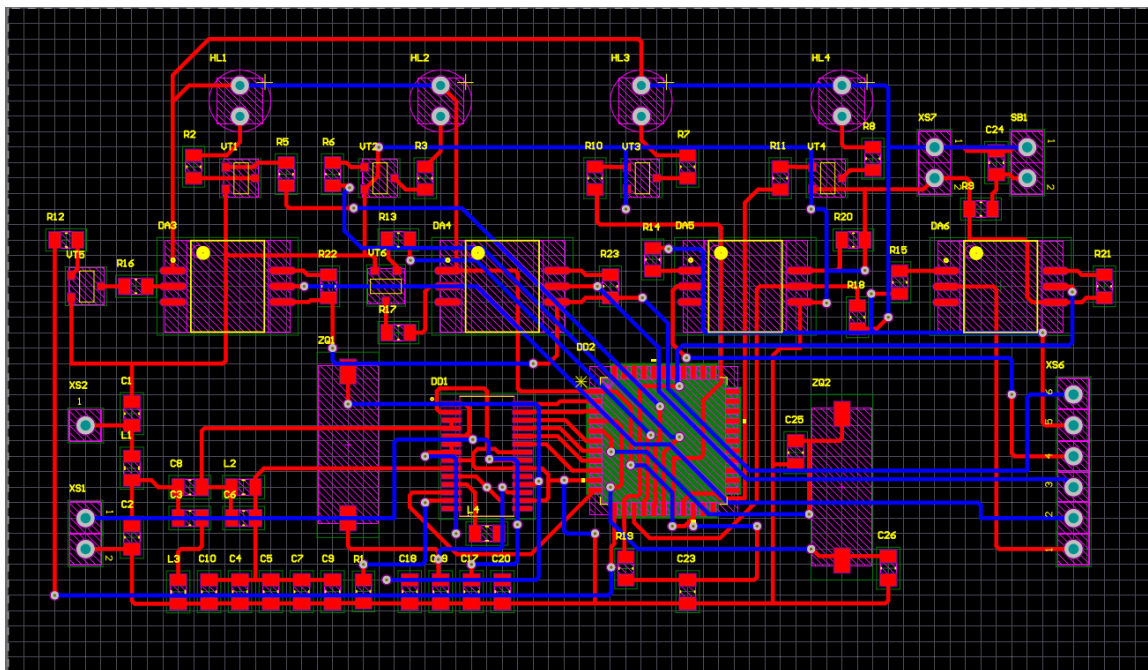


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд двостороннього трасування друкованої плати

конструювання.

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

- Обґрунтовано вибір середовища проектування. Для виконання конструкторської частини роботи було обрано систему наскрізного автоматизованого проектування DipTrace. Цей вибір довів свою ефективність завдяки наявності потужного автотрасувальника, інтегрованих бібліотек електронних компонентів та системи перевірки правил проектування (DRC) у реальному часі.
- Здійснено трасування друкованого вузла. У редакторі PCB Layout успішно розроблено топологію двосторонньої друкованої плати розміром 90x55 мм. Під час розведення було суворо дотримано правил електромагнітної сумісності (EMC): високочастотний тракт трансивера CC1000 ізольовано від цифрової частини, мінімізовано довжину сигнальних ліній та сформовано суцільний полігон загального проводу (GND) для екранування.
- Проведено 3D-моделювання пристрою. За допомогою вбудованого модуля тривимірної візуалізації створено реалістичну 3D-модель радіомодема. Це дозволило на етапі віртуального конструювання перевірити відсутність механічних колізій між радіоелементами, оцінити реальні габарити виробу та підтвердити його готовність до встановлення у захисний корпус.
- Підготовлено виробничу документацію. Проект повністю завершений на програмному рівні. Отримана топологія готова до експорту у стандартні виробничі формати (Gerber та NC Drill) для подальшого автоматизованого виготовлення плат на спеціалізованих підприємствах.

Таким чином, завдання автоматизованого проектування конструкції радіомодема виконано в повному обсязі, а розроблений друкований вузол повністю відповідає вимогам технічного завдання та стандартам конструювання радіоелектронної апаратури.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

3 Безпека життєдіяльності та охорона праці

Будь-який процес розроблення, налагодження та подальшої експлуатації радіоелектронної апаратури (РЕА), зокрема радіомодемів для телекомунікаційних систем, нерозривно пов'язаний із взаємодією людини з технікою та навколишнім середовищем. Головним завданням цього розділу є ідентифікація потенційних небезпек, що виникають на всіх етапах життєвого циклу виробу, та розробка комплексу заходів, спрямованих на збереження здоров'я персоналу, забезпечення пожежної безпеки та мінімізацію негативного впливу на екологію згідно з чинним законодавством України.

3.1 Безпека життєдіяльності: Аварійні, пожежні та екологічні ризики під час експлуатації радіомодема

Радіомодем є складним електронним пристроєм, який живиться від електромережі змінного струму (через понижувальний трансформатор) та містить компоненти, що генерують електромагнітні поля. Експлуатація такого обладнання супроводжується низкою техногенних ризиків, які класифікуються на аварійні, пожежні та екологічні.

Аналіз аварійних ризиків та заходи їх запобігання

Основною причиною аварійних ситуацій під час експлуатації радіомодема є небезпека ураження електричним струмом та вихід з ладу компонентів внаслідок перенапруги. Незважаючи на те, що внутрішня схема радіомодема працює від безпечної зниженої напруги (5 В та 12 В), первинне коло блоку живлення підключається до побутової або промислової мережі 220 В.

Відповідно до чинного ДСТУ EN 62368-1:2017 «Обладнання аудіо, відео, інформаційних та комунікаційних технологій. Вимоги щодо безпеки», для запобігання електротравматизму та аварійним режимам передбачено такі заходи:

- Електрична ізоляція: Використання понижувального трансформатора з надійною гальванічною розв'язкою між первинною та вторинною

					OKB 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

обмотками. Опір ізоляції між струмопровідними частинами мережі 220 В та металевими елементами корпусу має становити не менше 2 МОм.

- Захист від надструмів: Встановлення плавких запобіжників у первинному колі живлення, які миттєво розривають ланцюг у разі короткого замикання або пробою діодного моста.
- Захисне заземлення: Якщо корпус радіомодема виконується з металу (для екранування від радіозавад), він обов'язково підключається до контуру захисного заземлення (клас захисту I). Заземлення відводить небезпечний потенціал у землю при пробіі ізоляції на корпус.
- Гальванічна розв'язка інтерфейсів: Застосування оптронів (наприклад, РС817) на лініях RS-232, що унеможлиблює пошкодження зовнішнього комп'ютерного обладнання у разі аварії в самому модемі.

Пожежна безпека під час експлуатації

Пожежні ризики радіомодема пов'язані з можливим тепловим пробоем напівпровідникових елементів, перегрівом лінійних стабілізаторів напруги (серії LM7805/LM7812) та струмовими перевантаженнями трансформатора. У разі ігнорування правил теплоотводу, температура компонентів може перевищити температуру займання ізоляційних матеріалів.

Організація пожежної безпеки ґрунтується на вимогах Кодексу цивільного захисту України та «Правил пожежної безпеки в Україні» (НАПБ А.01.001-2014).

Для мінімізації пожежних ризиків у проєкті реалізовано наступні заходи:

- Конструктивні заходи: Як основа для друкованої плати обрано склотекстоліт марки FR-4. Відповідно до міжнародних стандартів, цей матеріал має клас вогнестійкості UL94 V-0 (самоzagасання протягом 10 секунд після віддалення джерела вогню; не утворює палаючих крапель).
- Теплові заходи: Для лінійних стабілізаторів напруги передбачено використання алюмінієвих радіаторів, що запобігає їхньому нагріванню понад допустимі 60–70 °С. Корпус радіомодема проєктується з вентиляційними отворами для забезпечення природної конвекції повітря.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

- Схемотехнічні заходи: Використання мікросхем із вбудованим термозахистом (Thermal Shutdown). У разі перевищення критичної температури кристала, мікросхема автоматично припиняє подачу струму до охолодження.

Екологічні ризики та утилізація

Екологічна небезпека від експлуатації та подальшої утилізації РЕА стає дедалі актуальнішою. Друковані плати, електронні компоненти, пластикові корпуси та припої містять токсичні речовини (свинець, кадмій, бромовані антипірени). Потрапляння цих речовин у ґрунт або атмосферу (при спалюванні) завдає непоправної шкоди екосистемі.

Згідно з новим Законом України «Про управління відходами» (№ 2320-IX, введений в дію у 2023 році), а також вимогами європейських директив RoHS (обмеження небезпечних речовин) та WEEE (відходи електричного та електронного обладнання), які імплементуються в Україні, передбачено наступні заходи екологічної безпеки:

- Безсвинцева технологія: Під час монтажу компонентів на виробництві рекомендується використовувати безсвинцеві припої (наприклад, сплав SAC305: олово-срібло-мідь) замість традиційного свинцево-олов'яного ПОС-61. Це суттєво знижує токсичність виробу.
- Маркування для утилізації: На корпусі виробу обов'язково наноситься знак «перекреслений сміттєвий контейнер», що забороняє утилізацію радіомодема разом із побутовими відходами.
- Процедура переробки: Після закінчення терміну експлуатації (або при незворотному виході з ладу) радіомодем підлягає передачі ліцензованим підприємствам з утилізації електронних відходів. Там проводиться демонтаж, сепарація металів (мідь, золото з контактів) та безпечна переробка пластикових і склотекстолітових деталей.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.2 Охорона праці: Захист персоналу від впливу електромагнітного випромінювання

Під час розроблення, налагодження (тестування радіотракту) та експлуатації радіомодема на персонал діє специфічний шкідливий виробничий фактор — електромагнітне випромінювання (ЕМВ) радіочастотного діапазону. Оскільки трансивер СС1000 працює в діапазонах ультрависоких частот (УВЧ: 433 МГц або 868 МГц), питання захисту інженерів і техніків є критично важливим.

Характеристика небезпеки електромагнітних полів (ЕМП)

Біологічна дія ЕМП УВЧ діапазону на організм людини має подвійний характер: термічний (нагрівання тканин через поглинання енергії поля) та нетермічний (інформаційний). Тривалий вплив радіовипромінювання навіть малої потужності без належного захисту може призвести до функціональних розладів центральної нервової та серцево-судинної систем, підвищеної втомлюваності, головного болю, порушення сну та погіршення зору.

Базовим нормативним документом, що регламентує безпеку під час роботи з джерелами ЕМП в Україні, є «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» (ДСН 3.3.6.096-2002), затверджені Наказом МОЗ України, а також загальний Закон України «Про охорону праці». Відповідно до ДСН 3.3.6.096-2002, для частот понад 300 МГц нормованим параметром є поверхнева густина потоку енергії (ГПЕ, Вт/м²) та енергетичне навантаження (ЕН) за робочу зміну.

Для забезпечення безпеки персоналу під час проектування та налагодження радіомодема застосовується комплекс інженерно-технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів.

Інженерно-технічні заходи захисту

Основний принцип технічного захисту від ЕМП — мінімізація

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

випромінювання у робочу зону інженера:

- Застосування еквівалентів антен (Dummy Loads): Під час лабораторного налагодження передавача трансивера СС1000, вимірювання його потужності та налаштування спектру суворо забороняється використовувати реальні випромінюючі антени. Замість них до ВЧ-виходу (роз'єм SMA) підключається узгоджене поглинаюче навантаження (еквівалент антени) з хвильовим опором 50 Ом. Це дозволяє проводити всі необхідні вимірювання, повністю виключивши випромінювання електромагнітних хвиль у простір лабораторії.
- Екранування: Якщо випробування вимагають роботи з реальною антеною (наприклад, вимірювання чутливості приймача "по повітрю"), плату розміщують у спеціальних екранованих боксах (клітках Фарадея). Корпус самого радіомодема також може виконуватися з алюмінієвого сплаву або пластику з внутрішнім струмопровідним напиленням, що утримує електромагнітне поле всередині виробу та запобігає його впливу на оператора в процесі експлуатації.
- Рациональне розміщення: Робоче місце інженера-регулювальника проектується таким чином, щоб джерело ЕМП (навіть малопотужне) знаходилося на максимально можливій відстані від тіла працівника (використання принципу «захист відстанню»), оскільки напруженість поля падає пропорційно квадрату відстані).

Організаційні та санітарно-гігієнічні заходи

Окрім технічного оснащення, безпека персоналу регулюється строгими організаційними процедурами відповідно до чинного законодавства:

- Захист часом: Відповідно до ДСН 3.3.6.096-2002, якщо рівень ЕМП на робочому місці перевищує гранично допустимі рівні (ГДР) для 8-годинної зміни, час перебування персоналу в зоні опромінення суворо обмежується. Тривалість роботи з увімкненим радіопередавачем регламентується внутрішніми інструкціями з охорони праці.

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- Маркування та знаки безпеки: Робочі зони, де проводиться налагодження радіобладнання, повинні позначатися попереджувальними знаками («Обережно! Електромагнітне випромінювання» згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019) для запобігання доступу сторонніх осіб.
- Медичні огляди: Згідно зі статтею 17 Закону України «Про охорону праці» та Наказом МОЗ України № 246 (Порядок проведення медичних оглядів працівників), персонал, який систематично працює з джерелами ЕМВ (інженери-електронщики, регулювальники РЕА), зобов'язаний проходити попередній (під час прийому на роботу) та періодичні медичні огляди за участю невропатолога, офтальмолога та терапевта для своєчасного виявлення професійних захворювань.

3.3 Висновки до розділу 3

Аналіз умов експлуатації та розроблення радіомодема підтверджує, що пристрій несе потенційні ризики: електричні, пожежні, екологічні, а також загрозу опромінення персоналу електромагнітними полями.

Проте, закладені в конструкцію апаратні рішення (застосування вогнестійких матеріалів, елементів захисту від надструмів), дотримання вимог екологічної директиви RoHS та впровадження жорстких інженерних і санітарних заходів (використання еквівалентів антен, екранування, обмеження часу роботи) згідно з сучасними нормативно-правовими актами України (ДСТУ EN 62368-1:2017, ДСН 3.3.6.096-2002), повністю нівелюють зазначені ризики. Спроектований пристрій та процес його розроблення можна вважати повністю безпечними як для людини, так і для навколишнього середовища.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Висновки

Підсумком виконання кваліфікаційної роботи бакалавра стала комплексна розробка апаратної платформи радіомодема, призначеного для використання у телекомунікаційних мережах обміну даними. Робота охопила весь цикл інженерного створення радіоелектронного пристрою: від початкового концептуального обґрунтування до підготовки повноцінної виробничої документації. Спроектвана схемотехнічна модель, що базується на взаємодії обчислювального мікроконтролерного ядра та високочастотного приймально-передавального тракту, забезпечує стабільну передачу цифрової інформації бездротовим каналом.

Завдяки детально проведеним розрахункам режимів роботи функціональних вузлів вдалося сформувати оптимальну компонентну базу. Інтеграція спеціалізованого трансивера CC1000 та перевіреного мікроконтролера AT89C2051, у поєднанні з високостабільними пасивними елементами, гарантує стійкість системи до температурних коливань та промислових завад. Окрему увагу було приділено питанням безпеки, що дозволило закласти в конструкцію рішення, які нівелюють ризики електротравматизму, пожежної небезпеки та впливу електромагнітного випромінювання на персонал під час експлуатації.

Вирішення задачі просторового компонування здійснювалося із залученням сучасного середовища автоматизованого проектування DipTrace. Створена двостороння топологія друкованої плати враховує суворі норми електромагнітної сумісності: здійснено фізичне розмежування аналогових і цифрових кіл, мінімізовано довжину сигнальних трактів та застосовано суцільне екранування. Додаткова 3D-візуалізація друкованого вузла дозволила уникнути конструктивних помилок на віртуальному етапі та підтвердила правильність обраних габаритних рішень.

Отримані результати підтверджують, що створений радіомодем вирізняється високим рівнем технологічності, цілком задовольняє вимоги

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

вихідного технічного завдання і є повністю готовим до впровадження у реальні промислові системи телекомунікацій.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

Список використаних джерел

1. Бойко В. І. Мікропроцесорна техніка: підручник / В. І. Бойко, А. М. Зінковський. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. — 405 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21435>.
2. Директива 2011/65/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 8 червня 2011 року про обмеження використання певних небезпечних речовин в електричному та електронному обладнанні (RoHS) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>.
3. Директива 2012/19/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 4 липня 2012 року про відходи електричного та електронного обладнання (WEEE) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>.
4. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електронний ресурс] : Затв. наказом МОЗ України від 18.12.2002 № 476. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1411-02>.
5. ДСТУ EN 62368-1:2017. Обладнання audio-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій. Частина 1. Вимоги щодо безпеки [Електронний ресурс] : чинний від 2018-12-01. — Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74235.
6. Дунець В.Л., Хвостівський М.О., Сверстюк А.С., Хвостівська Л.В. Математичне та алгоритмічно-програмне забезпечення опрацювання електрокадіосигналів при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2022. 136 с.
7. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] : від 02.10.2012 № 5403-VI. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

					ОКВ 2.000.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

8. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами / Л. Хвостівська, М. Хвостівський, В. Дунець, І. Дедів // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 48–57.
9. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 109 с.
10. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Л.В.Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 63 с.
11. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Дунець В.Л., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021, 72 с.
12. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014 [Електронний ресурс] : затв. Наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1410-14>.
13. Про охорону праці [Електронний ресурс] : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
14. Про управління відходами [Електронний ресурс] : Закон України від 20.06.2022 № 2320-ІХ. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>.
15. Розвиток математичного моделювання трафіку комп’ютерних мереж / М. О. Хвостівський, Г. М. Осухівська, Л. В. Хвостівська, Д. В. Величко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.

- 16.Рябенський В. М. Схемотехніка електронних систем : підручник / В. М. Рябенський, В. Я. Жуйков, В. Д. Гулий. — Київ : Знання, 2015. — 650 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://znannia.com.ua/book/sxemotexnika-elektronnyx-system>.
- 17.Стеглов В. К. Проектування телекомунікаційних мереж : підручник / В. К. Стеглов, Л. М. Беркман. — Київ : Техніка, 2002. — 792 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.technika.kiev.ua/books/proektuvannya-telekomunikacijnih-merezh>.
- 18.Ткаченко В. А. Електронна та мікропроцесорна техніка : навч. посібник / В. А. Ткаченко. — Харків : НТУ «ХПІ», 2019. — 264 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/123456789/28451>.
- 19.Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. — Т. 4, Вип. 1. — Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. — С. 83-89. — ISSN 2227-8842.
- 20.1N4001 - 1N4007 General Purpose Rectifiers. Datasheet [Electronic resource]. — ON Semiconductor, 2012. — Mode of access: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/1n4001-d.pdf>.
- 21.AT89C2051 8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash. Datasheet [Electronic resource]. — Atmel Corporation, 2008. — Mode of access: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0265.pdf>.
- 22.BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN Epitaxial Silicon Transistor. Datasheet [Electronic resource]. — Fairchild Semiconductor, 2002. — Mode of access: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>.
- 23.CC1000 Single Chip Very Low Power RF Transceiver. Datasheet [Electronic resource]. — Texas Instruments, 2015. — Mode of access: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1000.pdf>.

					<i>ОКВ 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

24. DipTrace PCB Design Software. User Manual [Electronic resource]. — Novarm Ltd, 2023. — Mode of access: <https://diptrace.com/books/tutorial.pdf>.
25. IPC-2221B. Generic Standard on Printed Board Design [Electronic resource]. — IPC International, 2012. — 170 p. — Mode of access: <https://shop.ipc.org/ipc-2221b-english-p>.
26. 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.
27. Khvostivskyi M.O., Khvostivska L.V., Dediv I.Yu., Dediv L.Ye. Intelligent computer network traffic forecasting system based on synphase data processing. Visnyk of Kherson National Technical University. 2025. Vol. 1 No. 3(94). P.486-492. ISSN 2078-4481.
28. L7800 series. Positive voltage regulators. Datasheet [Electronic resource]. — STMicroelectronics, 2021. — Mode of access: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>.
29. Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyi, Vasyl Dunetc, Iryna Dediv. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2022. P.314-318. ISSN 1613-0073.
30. Mathematical modelling of daily computer network traffic. Khvostivskyi, M., Osukhivska, H., Khvostivska, L., Lobur T., Velychko D., Lupenko, S., Hovorushchenko, T. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021, Ternopil. 16 November 2021 до 18 November 2021. CEUR Workshop Proceedings. Том 3039, P.107-111.
31. PC817X Series. High Density Mounting Type Photocoupler. Datasheet [Electronic resource]. — Sharp Microelectronics, 2016. — Mode of access:

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/pc817xn_e.pdf.

32.Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Analysis of electricity consumption using the component method of periodically correlated random processes. INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL Computer Systems and Information Technologies, (3), 2025. P.74–82. ISSN 2710-0766.

					<i>OKB 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедру РТ
_____к.т.н. Дунець В.Л.
“_____”_____2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: « Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Хвостівська Л. В. _____
“_____”_____2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Олійник К. В. _____
“_____”_____2026р.

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № ___ від “___” ___ 20__ р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Олійник Костянтин Віталійович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка радіомодема для телекомунікаційних систем передачі даних, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального приладу;
- вибір компонентної бази розроблювального приладу;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи приладу;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати приладу

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Робочий діапазон частот: 310 МГц – 800 МГц;

4.1.2. Швидкість передачі даних: до 76,5 кбіт/с;

4.1.3. Напруга живлення: 3, 5, 12 В;

4.1.4. Потужність споживання: не більше 1,2 Вт;

4.1.5. Час встановлення робочого режиму: не перевищує 3 с.;

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема приладу;
- електрична принципова схема приладу;
- друкована плата приладу;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

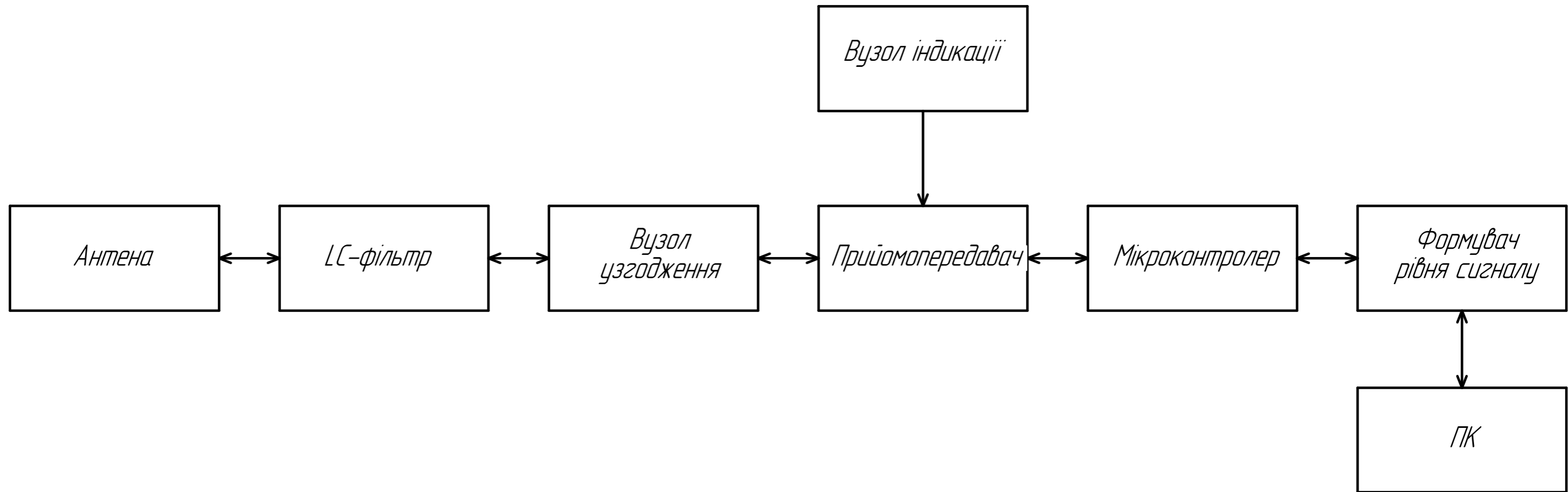
Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Розробка структурної схеми приладу	
4	Розробка схеми електрично принципової	
5	Розрахунок основних вузлів у схемі приладу	
6	Вибір компонентної бази приладу	
7	Компоновка друкованого вузла	
8	Створення допоміжної документації	
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	
10	Нормоконтроль	
11	Перевірка роботи на анти плагіат	
12	Попередній захист КР	
13	Захист КР	

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

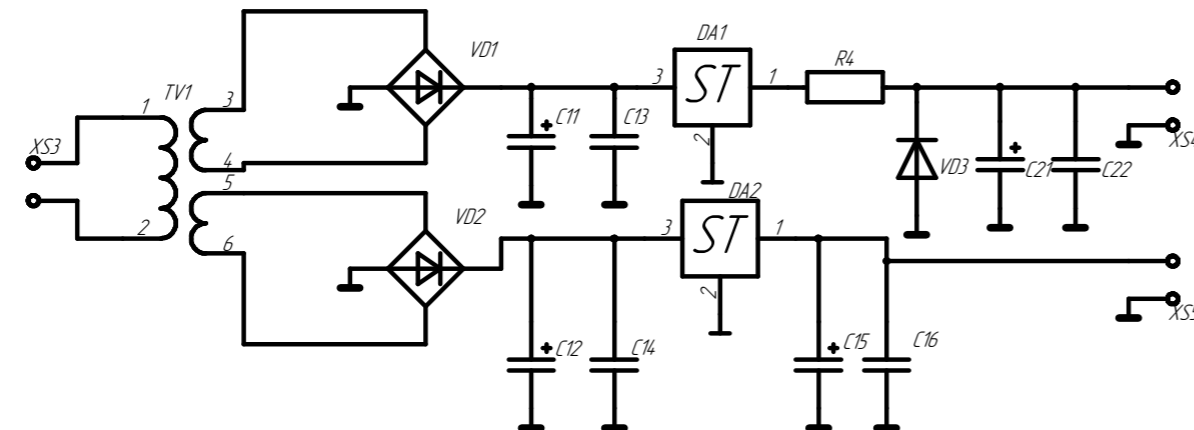
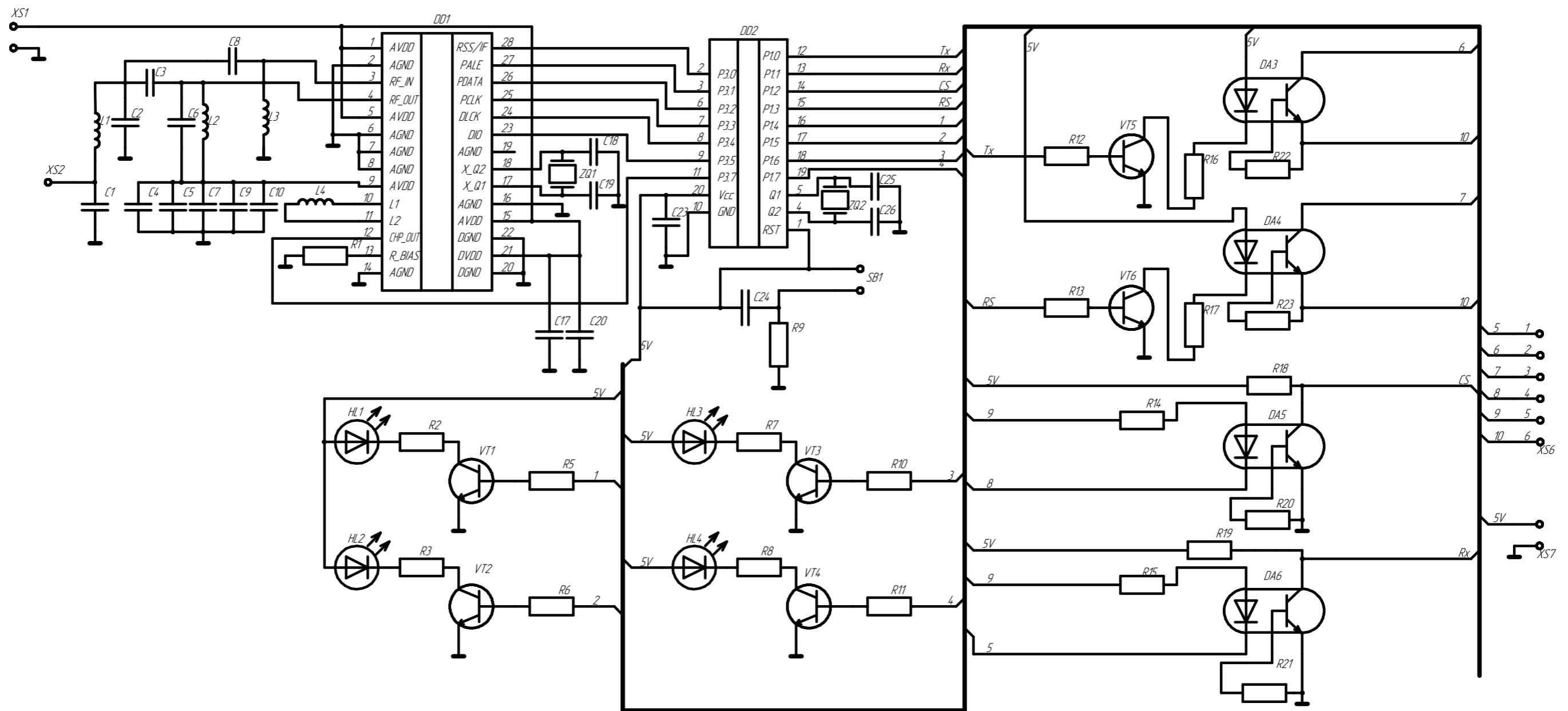
7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення



					ОКВ 2.000.001 Е1		
					Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних Схеми електрична структурна		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив		Олійник К.В.				-	
Перев.		Хвостівська Л.В.					
Т.контр.					Аркцш	Аркцшів	1
Н.контр.					ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Затв.					гр. РА-41		

Копіював

Формат А3



					OKB 2.000.001 E3			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних Схеми електрична принципова	Лит.	Маса	Масштаб
Розробив	Олійник К.В.							
Перев.	Хвостівська Л.В.					Аркцш	Аркцшів	1
Т.контр.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Н.контр.						гр. РА-41		
Затв.					Формат А3			

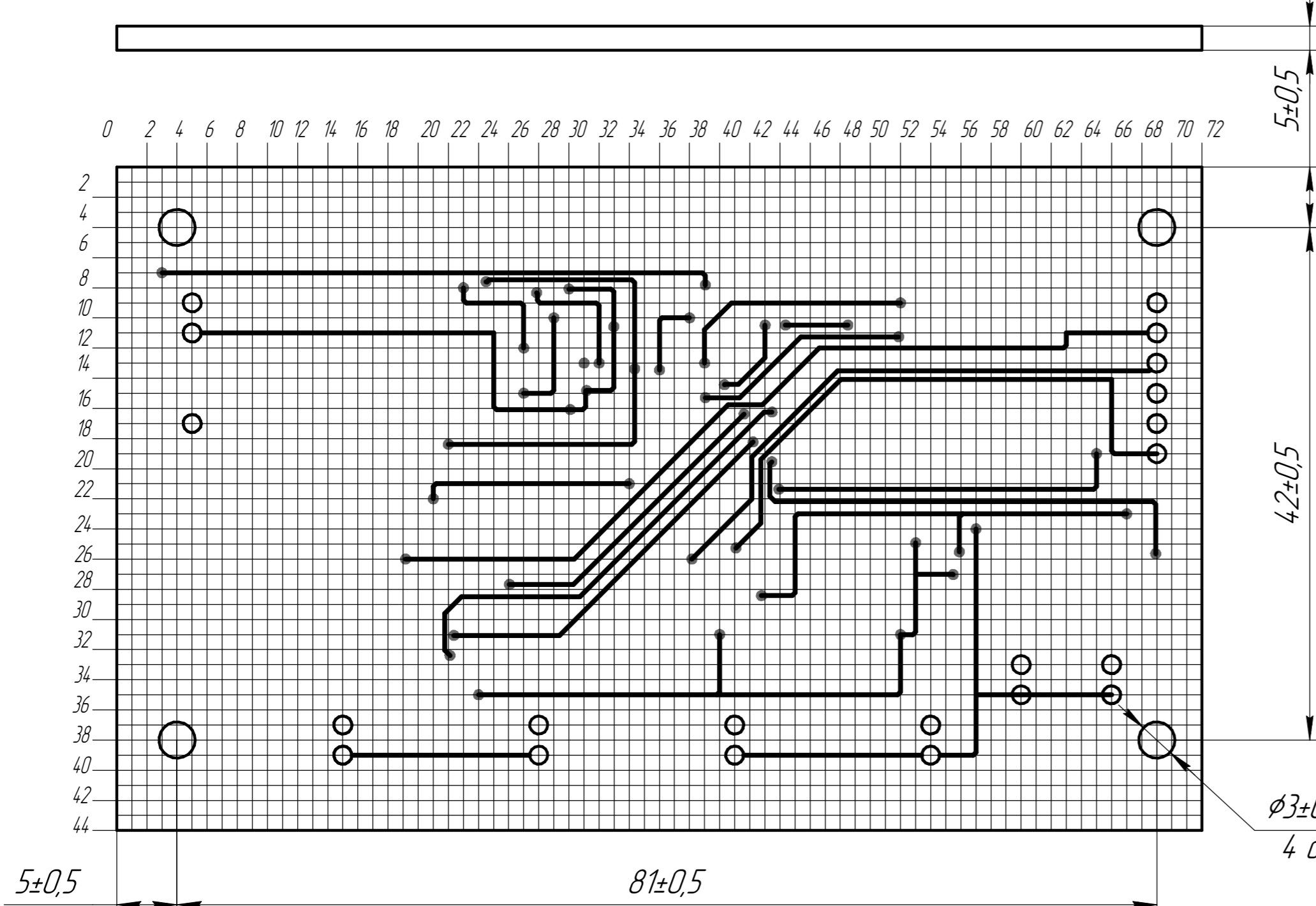
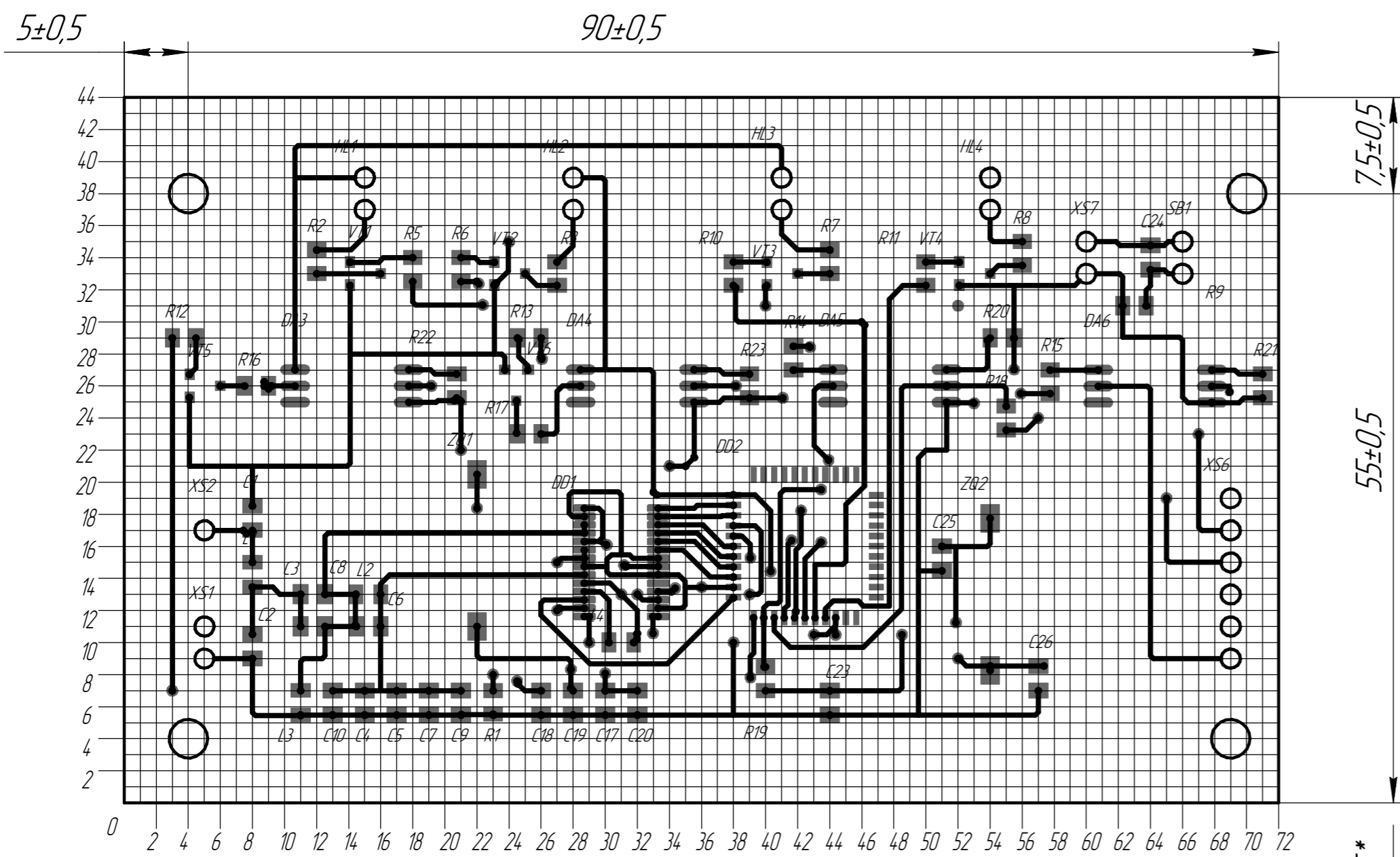
Копіював

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	<i>Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі</i>		
	<i>даних</i>		
	<i>Конденсатори</i>		
C1	30нФ COG 50B	1	X7R
C2	30нФ COG 50B	1	X7R
C3	5,6нФ COG 50B	1	X7R
C4	33нФ COG 50B	1	X7R
C5	2,2нФ COG 50B	1	X7R
C6	1нФ COG 50B	1	X7R
C7	1нФ COG 50B	1	X7R
C8	8,2нФ COG 50B	1	X7R
C9	220нФ COG 50B	1	X7R
C10	220нФ COG 50B	1	X7R
C11	K50-35-16B-100мкФ	1	СарХоп
C12	K50-35-16B-100мкФ	1	СарХоп
C13	1мкФ COG 50B	1	X7R
C14	1мкФ COG 50B	1	X7R
C15	K50-35-16B-100мкФ	1	СарХоп
C16	K50-35-16B-100мкФ	1	СарХоп
C17	1мкФ COG 50B	1	X7R
C18	1мкФ COG 50B	1	X7R
C19	1нФ COG 50B	1	X7R
C20	33нФ COG 50B	1	X7R
C21	33нФ COG 50B	1	X7R
C22	33нФ COG 50B	1	X7R
C23	0,1мкФ COG 50B	1	X7R
C24	1мкФ COG 50B	1	X7R

OKB 2.000.001 ПЕЗ

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата				
Розробив		Олійник К.В.			Радіомодем для телекомунікаційних систем передачі даних	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Хвостівська Л.В.				н	1	3
Рецензор						ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.				гр. РА-41		
Затвер.		Дунець В.Л.						

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка	
C25	0,1мкФ COG 50В	1	X7R	
C26	0,1мкФ COG 50В	1	X7R	
<i>Резистори</i>				
R1	82 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R2	270 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R3	270 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R4	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R5	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R6	8,2кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R7	270 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R8	270 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R9	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R10	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R11	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R12	91 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R13	1 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R14	1 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R15	270кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R16	270 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R17	5,1 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R18	5,1 Ом±5% 0.5Вт	1	MFR	
R19	100 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R20	100 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R21	100 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
R22	100 кОм±5% 0.5Вт	1	MFR	
<i>Мікросхеми</i>				
DA1	LM7805	1		
DA2	LM7805	1		
<i>OKB 2.000.001 ПЕЗ</i>			Арк 2	
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

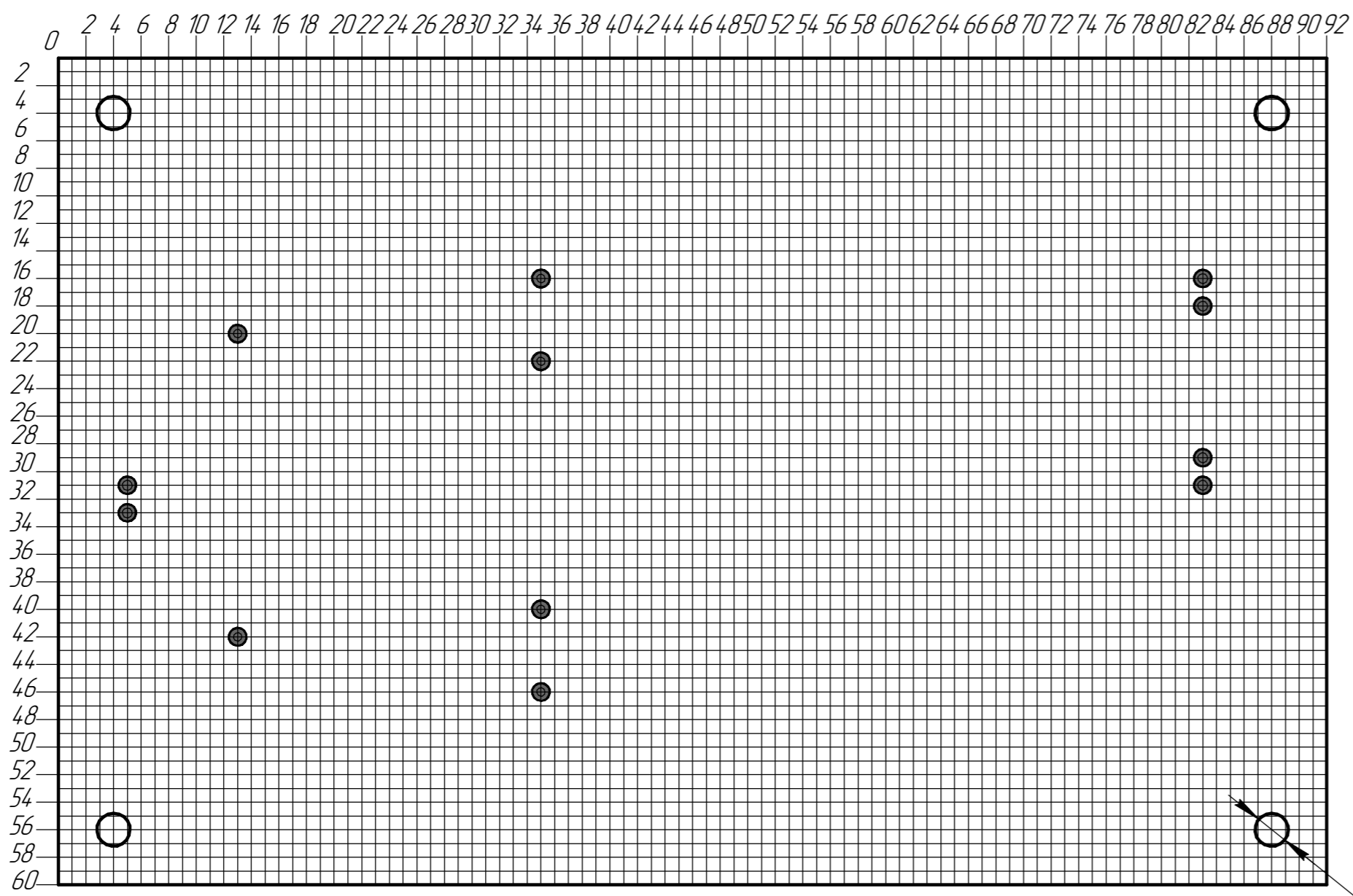
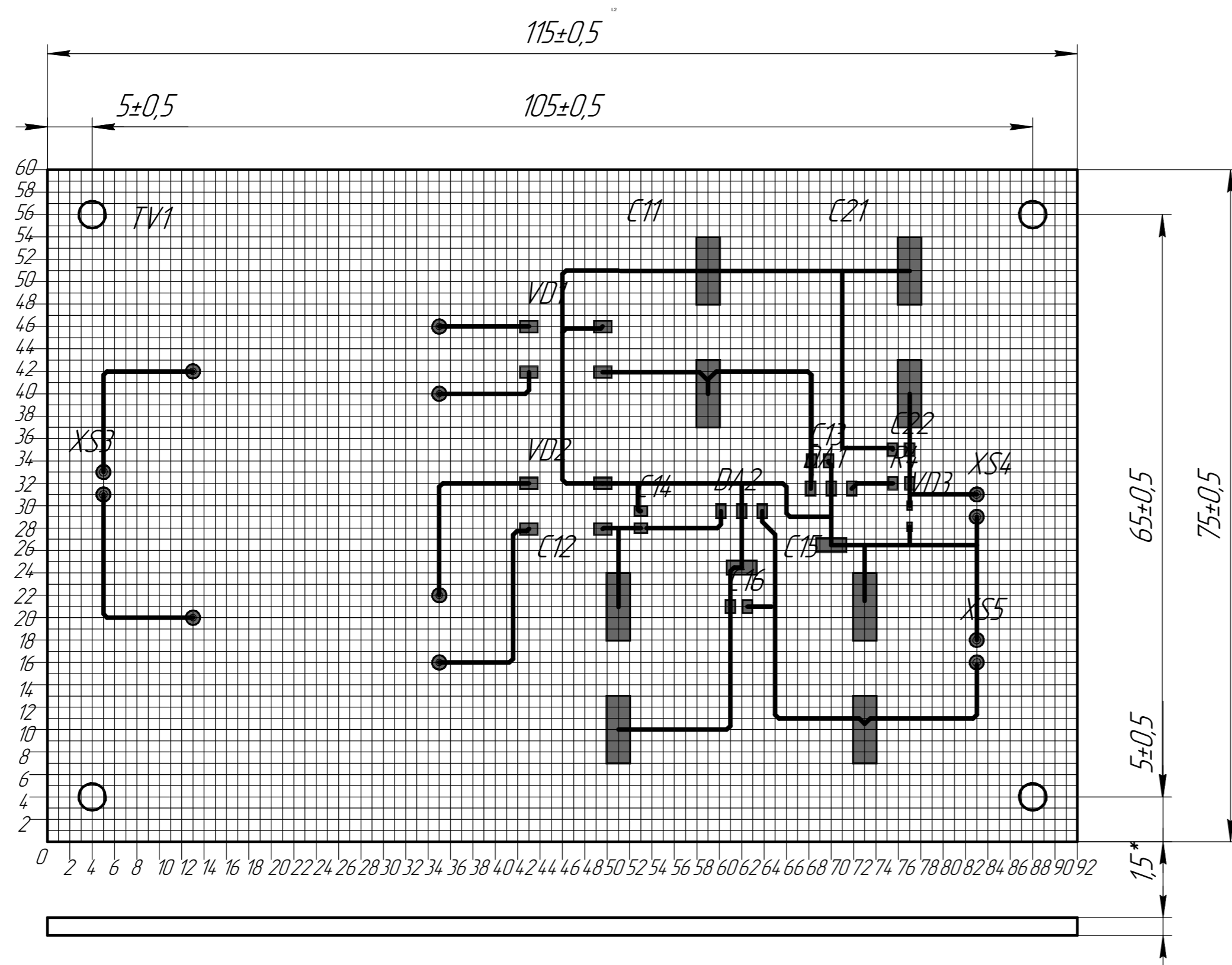


Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	К-ть отворів
○	0,9	1,5	металіз.	21
●	0,3	0,7	металіз.	54
■	-	1,3x1	-	164
▬	-	1x2	-	88

- *Разміри для довідок;
- Клас точності 3
- Крок координатної сітки 1,25 мм.
- Плату виготовляти електрохімічним методом.
- Параметри отворів-див.Таблицю отворів.
- Мінімальна ширина друкованих провідників 0,4 мм
- Мінімальна відстань між друкованими провідниками 0,3 мм.
- Плату маркувати фарбою ТН ПФ-01 біла ТУ 29-02-889-88 шрифтом 2,5 ПР. 41.
- Контактні площадки покрити припоєм ПОС-40

					ОКВ. 2.000.001			
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підп.	Дата	Плата друкована	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Опінж К.В.						0,2	2,51
Перев.	Хвостська Л.В.					Арк.		Архівів 1
Т.контр.					СФ-2-35-ІКП	ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Н.контр.						гр. РА-41		
Затв.					Формат А2			



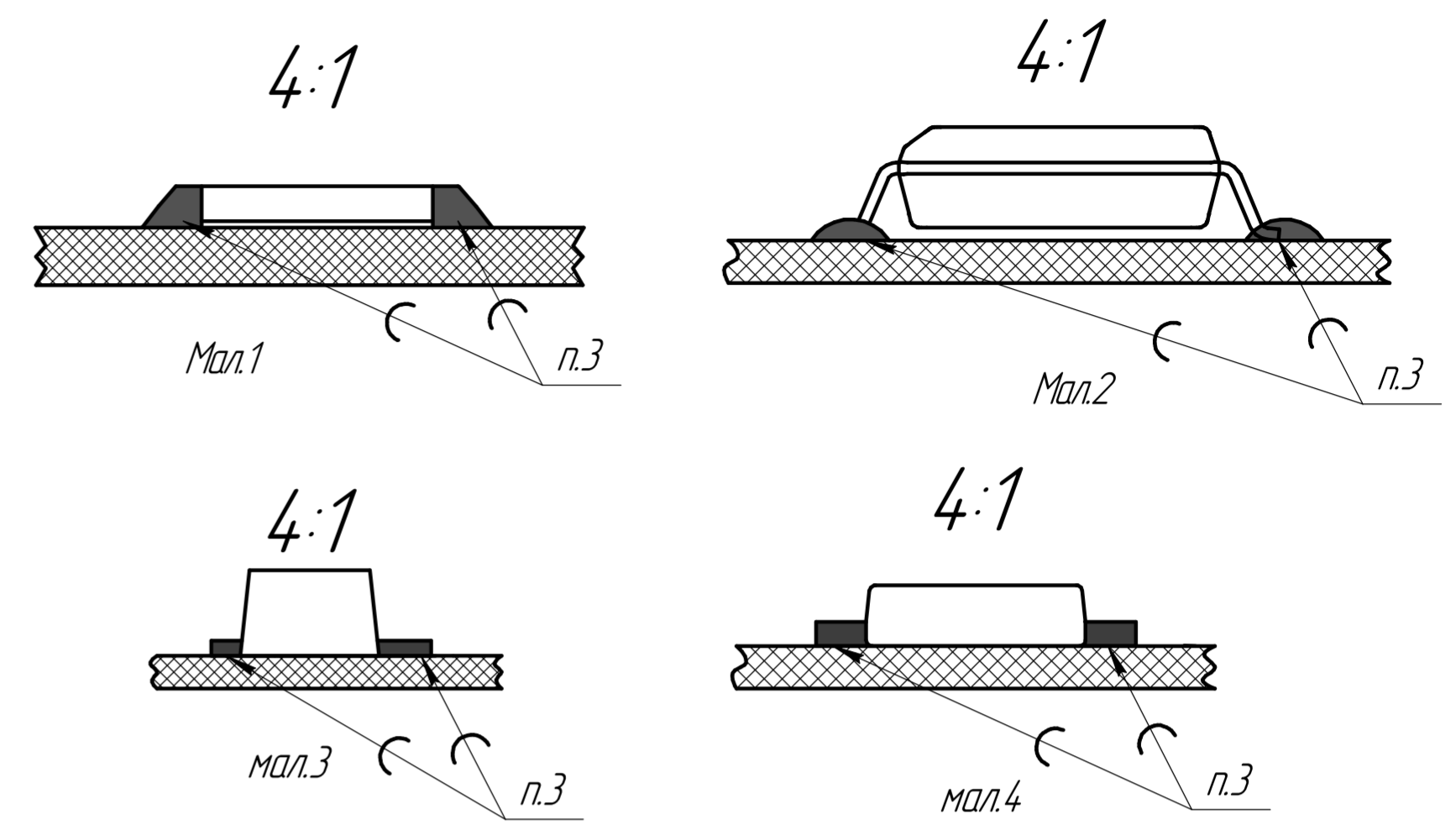
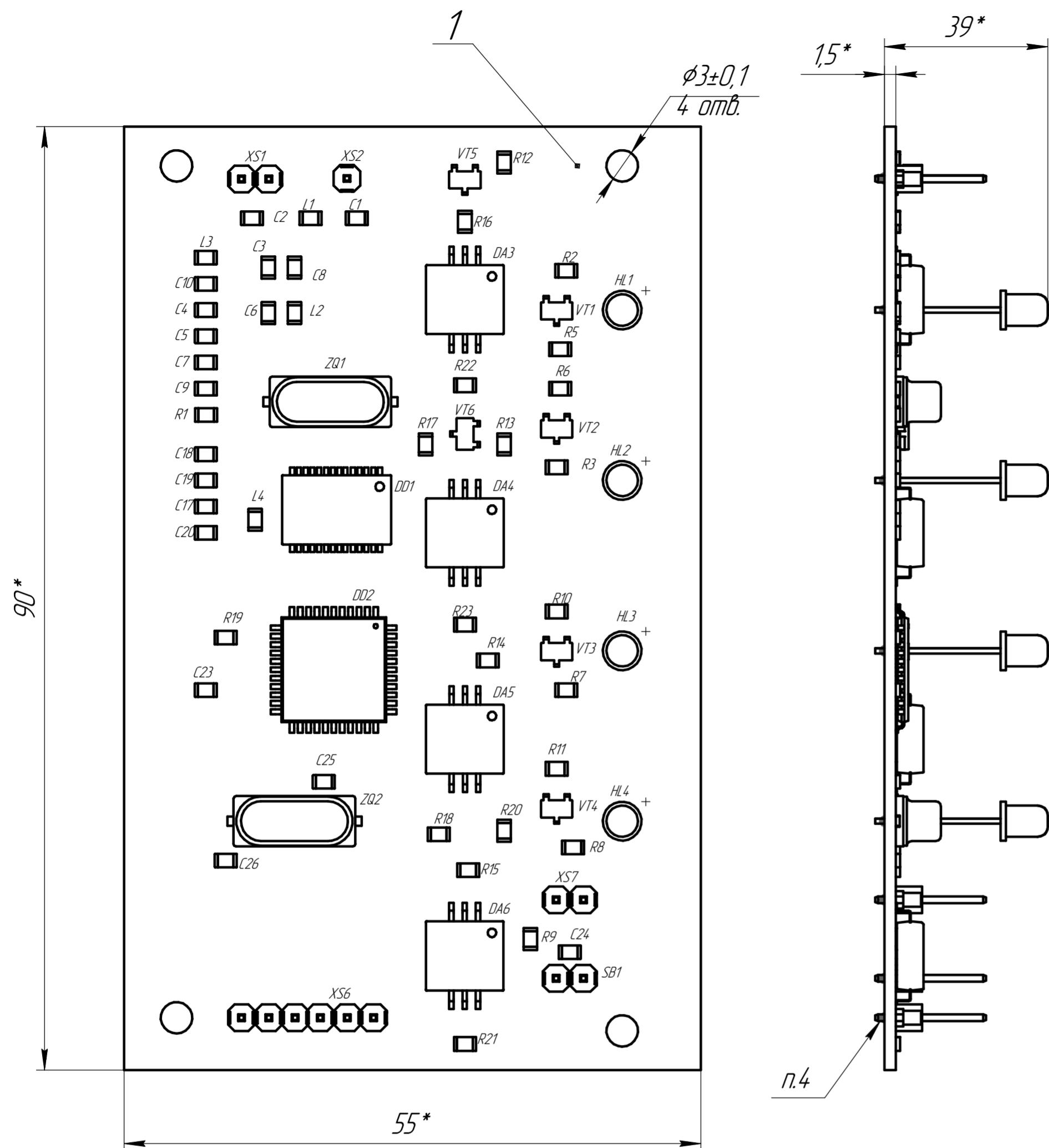
$\phi 3 \pm 0,1$
4 отв.

Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	К-ть отворів
○	0,9	1,5	металіз.	12
■	-	1,3x1	-	27
▬	-	2,5x7	-	8

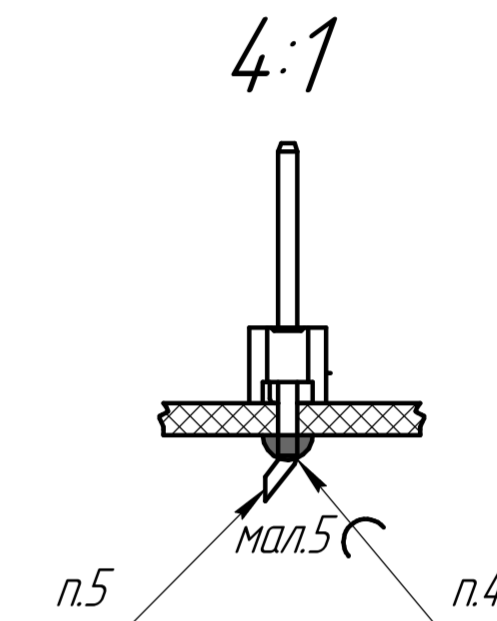
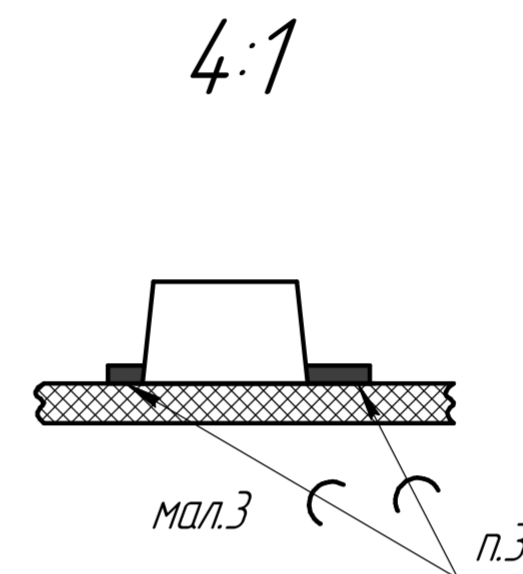
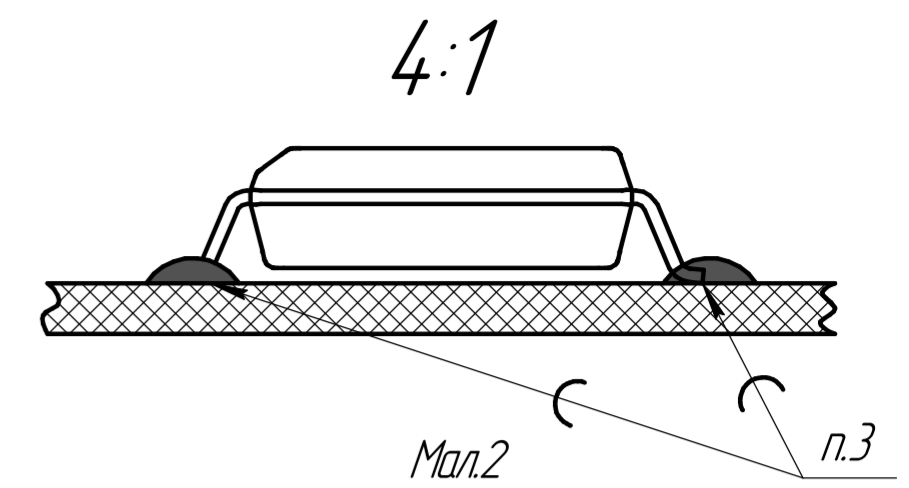
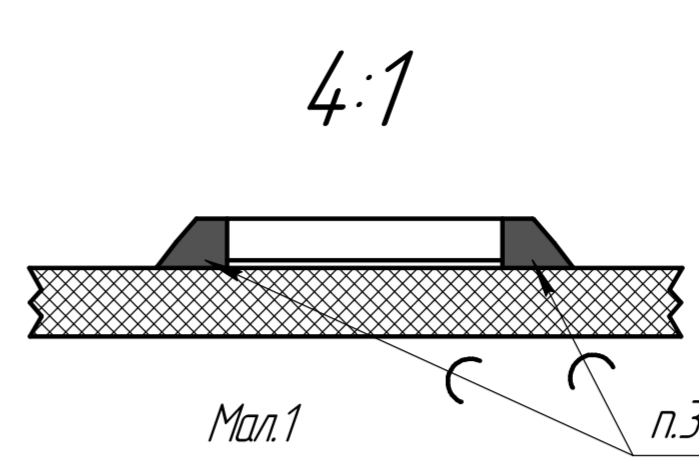
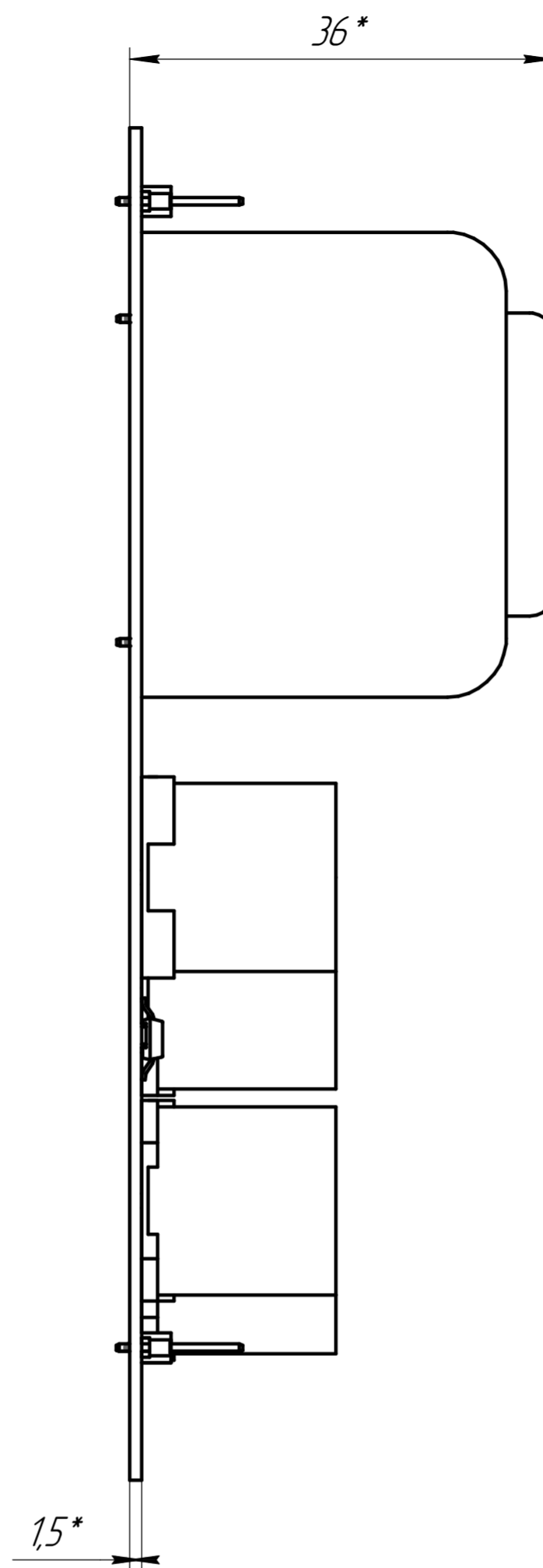
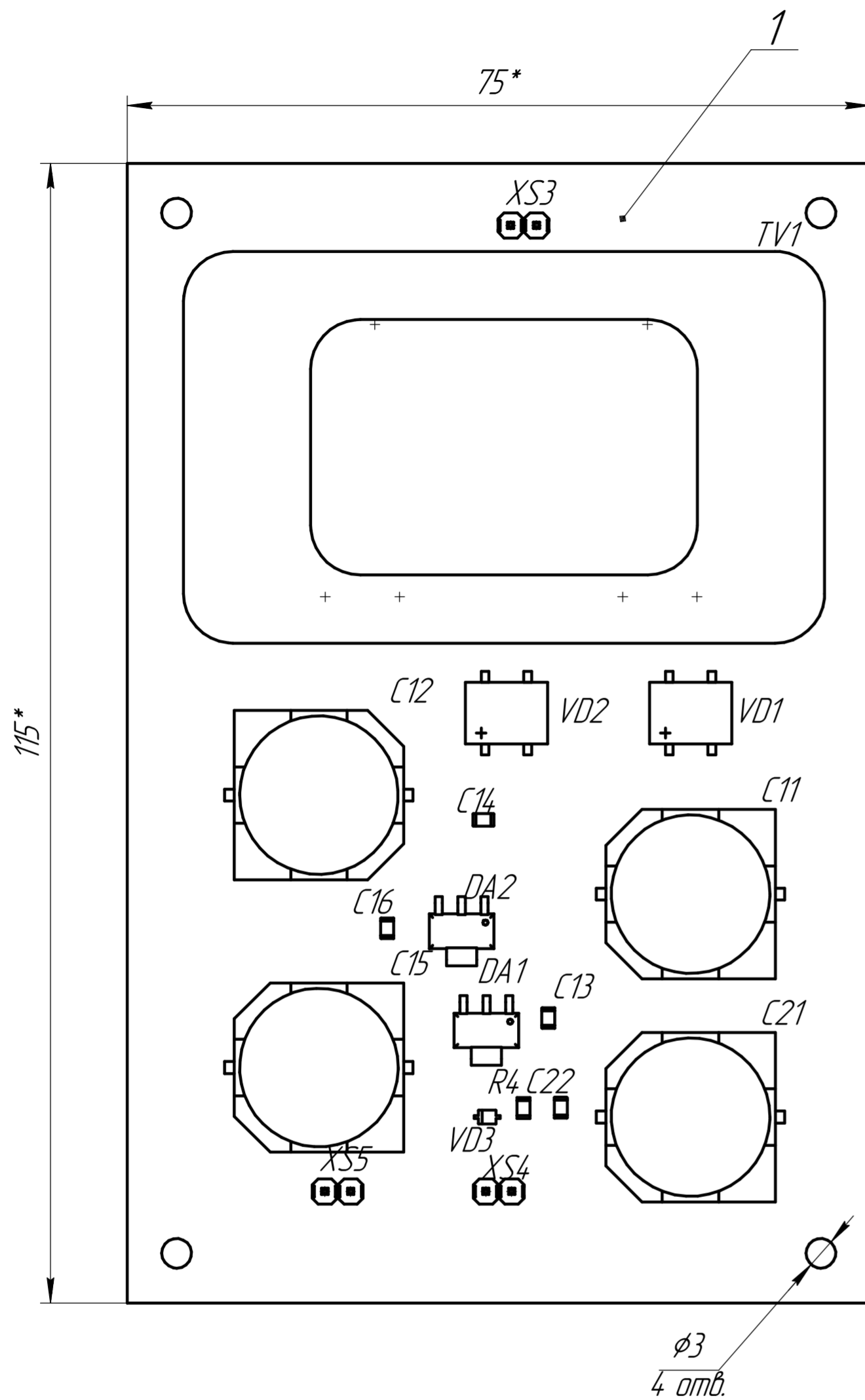
- *Розміри для довідок;
- Клас точності 3
- Крок координатної сітки 1,25 мм.
- Плату виготовляти електрохімічним методом.
- Параметри отворів-див.Таблицю отворів.
- Мінімальна ширина друкованих провідників 0,4 мм
- Мінімальна відстань між друкованими провідниками 0,3 мм.
- Плату маркувати фарбою ТН ПФ-01 біла ТУ 29-02-889-88 шрифтом 2,5 ПР. 41.
- Контактні площадки покрити припоєм ПОС-40

					ОКВ 2.000.002			
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підп.	Дата	Плата друкована	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Опінж К.В.						0,2	251
Перев.	Хвостська Л.В.					Арк.		Архівів 1
Т.контр.					СФ-2-35-ІКП	ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Н.контр.						гр. РА-41		
Затв.					Формат А2			



1. * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R1-R20 згідно мал.1; конденсатори C1-C3, C8-C24, згідно мал.1; мікросхему DA3-DA6, DD1-DD2 згідно мал.2; транзистор VT1-VT4 згідно мал.3; резонатори ZQ1-ZQ2 згідно мал.4;
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС-61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрыти лаком АК-133
7. Позначення елементів показано умовно

					ОКВ 2.000.001 СК			
Эм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Вузол друкований радіомодему	Лит.	Маса	Масштаб
Разроб.	Опичж К.В.						0,4	1:1
Перев.	Львівська ЛВ				Складальне креслення			
Т.контр.					Арк.	Архивів	1	
Н.контр.					ТНТУ, ФПТ каф. РТ			
Затв.					гр. РА-41			
								Формат А2



1. * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R4 згідно мал.1; конденсатори C13-C4, C16, C22, згідно мал.1; діодні мости VD1-VD2, згідно мал.2; мікросхеми DA1-DA2 згідно мал.3; роз'єми XS3-XS5 згідно мал.4;
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС-61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрити лаком АК-133
7. Позначення елементів показано умовно

					OKB 2.000.002 СК			
Зм.	Арк.	№ докум.	Ліст.	Дата	Вузол друкований блоку живлення	Літ.	Маса	Масштаб
Разроб.	Опичук К.В.						0,6	1:1
Перев.	Хвостівська Л.В.				<small>Складальне креслення</small>			
Т.контр.					Арк.	Архивів	1	
Н.контр.					ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41			
Затв.					Формат А2			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			КОВ 2.000.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			КОВ 2.000.001 ПЕЗ	Перелік елементів		
A2			КОВ 2.000.001 СК	Вузол друкований		
A2			КОВ 2.000.002 СК	Вузол друкований		
				<u>Деталі</u>		
A2			КОВ 2.000.001	Плата друкована		
A2			КОВ 2.000.002	Плата друкована		
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		30нФ COG 50В	2	С1, С2
		3		5,6нФ COG 50В	1	С3
		4		33нФ COG 50В	4	С4, С20, С21, С22
		5		2,2нФ COG 50В	1	С5
		6		1нФ COG 50В	3	С6, С7, С19
		7		8,2нФ COG 50В	1	С8
		8		220нФ COG 50В	2	С9, С10
				К50-35-16В-100мкФ	4	С11, С12, С15, С16
		9		1мкФ COG 50В	5	С13, С14, С17, С18, С24
		10		0,1мкФ COG 50В	3	С23, С25, С26

OKB 2.000.001

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		Олійник К,В,			Радіомодем для телекомунікацій- них систем передачі даних Специфікація		
Перевір.		Хвостівська Л					
Н Контр.					Літ.	Аркцш	Аркцшів
Затверд.					Н	1	3
					ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.	
				<u>Резистори</u>			
		11		82 кОм±5% 0.5Вт	1	R1	
		12		270 Ом±5% 0.5Вт	5	R2, R3, R7, R8, R16	
		13		91 кОм±5% 0.5Вт	6	R4, R5, R9, R10, R11, R12	
		14		8,2кОм±5% 0.5Вт	1	R6	
		15		1 кОм±5% 0.5Вт	2	R13, R14	
		16		270кОм±5% 0.5Вт	1	R15	
		17		5,1 Ом±5% 0.5Вт	2	R17, R18	
		18		100 кОм±5% 0.5Вт	4	R19, R20, R21, R22	
				<u>Мікросхеми</u>			
		19		LM7805	2	DA1, DA2	
		20		РС817	4	DA3, DA4, DA5, DA6	
		21		СС1000	1	DD1	
		22		АТ89S8252	1	DD2	
				<u>Котушки</u>			
		23		15 нГн-10%-0805	1	L1	
		24		39 нГн-10%-0805	1	L2	
		25		20 нГн-10%-0805	1	L3	
		26		56 нГн-10%-0805	1	L4	
				<u>Трансформатор</u>			
		27		Трансформатор Talema 62052, 230 В / 2412 В, 15	2	T1	
				<u>Діодний міст і стабілітрон</u>			
		28		DB107	2	VD1, VD2	
				OKB 2.000.001			Арк. 2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

