

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

	Ярмаков А.В. (підпис)	Ярмаков А.В. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Дедів І.Ю. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Хвостівська Л.В. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Дозорська О.Ф. (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«28» квітня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ярмакову Андрію Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » 04 2026 року № 4/7-199

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Діапазон робочих частот – 880–960 МГц; 1710–1880 МГц; Тип виявлюваного сигналу – GSM (TDMA); Напруга живлення – 3 В; Струм споживання при максимальній індикації – не більше 20 мА;

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

аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;

розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,

розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,

а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,

розробка компоновки друкованого вузла.

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

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Ярмаков А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ ім. І. Пулюя, ФПТ, РАС-41 // Тернопіль, 2026р. // с. - 67, рис.- 9, бібліог.- 14, додат.- 3.

Ключові слова: ІНДИКАТОР, ВИПРОМІНЮВАННЯ, НАПРУГА ЖИВЛЕННЯ, ПІДСИЛЮВАЧ

В роботі проводиться проектування високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM. Проаналізовано параметри, яким має відповідати індикатор. Далі, проаналізовано принцип організації стандарту GSM та пристрої, які його використовують, проаналізовано варіанти реалізації такого індикатора. Також проаналізовано прототипи індикатора. На основі цього розроблено схему структурну та схему електричну високочутливого індикатора. Також проведено розрахунки елементів та виконано їх вибір. Розроблена схема є багатокаскадним індикатором радіочастотного випромінювання. Вона приймає GSM-сигнал антеною, виділяє його вхідним фільтром, підсилює високочастотним транзистором BFP420, детектує діодом HSMS-2855, обробляє операційними підсилювачами MCP6042 та формує світлову і звукову індикацію за допомогою світлодіодів і мікросхеми 74HC132D. Основна перевага такої схеми – поєднання високої чутливості, автономного живлення, простої індикації та здатності реагувати на імпульсне випромінювання GSM-пристроїв.

Технічні вимоги до індикатора: діапазон робочих частот – 880–960 МГц; 1710–1880 МГц; тип виявлюваного сигналу – GSM (TDMA); напруга живлення – 3 В; стабілізована напруга внутрішніх вузлів – 2,5 В; струм споживання в режимі очікування – не більше 5 мА; струм споживання при максимальній індикації – не більше 20 мА; кількість рівнів світлової індикації – 4.

ANNOTATION

Theme of qualification work: "Highly sensitive radiation indicator for GSM devices". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RAs-41. // Ternopil, 2026 //p. - 67, fig. - 9, bibliog. - 14, appendix- 3.

Keywords: INDICATOR, RADIATION, SUPPLY VOLTAGE, AMPLIFIER.

The work involves designing a highly sensitive radiation indicator for GSM standard devices. The parameters that the indicator must meet are analyzed. Next, the principle of organization of the GSM standard and devices that use it are analyzed, and options for implementing such an indicator are analyzed. Prototypes of the indicator are also analyzed. Based on this, a structural diagram and an electrical diagram of a highly sensitive indicator are developed. Element calculations are also performed and their selection is performed. The developed circuit is a multi-stage radio frequency radiation indicator. It receives a GSM signal with an antenna, isolates it with an input filter, amplifies it with a BFP420 high-frequency transistor, detects it with an HSMS-2855 diode, processes it with MCP6042 operational amplifiers, and generates light and sound indication using LEDs and a 74HC132D microcircuit. The main advantage of such a circuit is a combination of high sensitivity, autonomous power supply, simple indication, and the ability to respond to pulsed radiation from GSM devices.

Technical requirements for the indicator: operating frequency range – 880–960 MHz; 1710–1880 MHz; type of detected signal – GSM (TDMA); supply voltage – 3 V; stabilized voltage of internal nodes – 2.5 V; current consumption in standby mode – no more than 5 mA; current consumption at maximum indication – no more than 20 mA; number of light indication levels – 4.

Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Принцип організації стандарту GSM та пристрої, які його використовують.....	10
1.3 Варіанти реалізації індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM.....	18
1.4 Огляд аналогів індикатора.....	21
1.5 Опис структурної схеми.....	27
1.6 Опис роботи схеми.....	28
1.7 Розрахунок схеми індикатора випромінювання GSM-пристроїв.....	36
1.8 Вибір елементів.....	43
1.9 Розробка друкованої плати та вузла індикатора.....	47
1.10 Висновки до розділу 1.....	56
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	58
2.1 Вплив ультразвуку на організм людини.....	58
2.2 Режим зони надзвичайної екологічної ситуації.....	60
2.3 Висновки до розділу 2.....	62
Висновки.....	63
Список використаних джерел.....	65
Додатки	

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM			Лім	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Ярмаков А.В.							у	6	67	
Перевір.	Дедів І.Ю.							ТНТУ, РА-41			
Н. контр.	Хвостівська Л.В.										
Зат. каф.	Дунець В.Л.										
Рецензент	Дозорська О.Ф.										

Вступ

Актуальність теми. Стрімкий розвиток бездротових телекомунікаційних технологій призвів до значного збільшення кількості джерел електромагнітного випромінювання в навколишньому середовищі. Одними з найбільш поширених джерел радіочастотного випромінювання залишаються пристрої стандарту GSM, які широко використовуються в мобільному зв'язку, системах передачі даних, охоронних комплексах, пристроях дистанційного керування та системах моніторингу. Незважаючи на активне впровадження сучасних стандартів зв'язку четвертого та п'ятого поколінь, мережі GSM продовжують функціонувати в більшості країн світу завдяки їхній надійності, широкому покриттю та сумісності з великою кількістю існуючого обладнання.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває завдання виявлення та контролю джерел електромагнітного випромінювання. Це пов'язано як із необхідністю забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, так і з потребою підвищення рівня інформаційної безпеки. Несанкціоноване використання GSM-передавачів може становити загрозу для конфіденційності інформації, оскільки такі пристрої нерідко застосовуються в складі прихованих систем передавання даних, засобів прослуховування або віддаленого контролю. У зв'язку з цим зростає потреба у створенні високочутливих індикаторів випромінювання, здатних оперативно виявляти наявність активних GSM-пристроїв навіть за низьких рівнів сигналу.

Додатковим фактором актуальності є необхідність проведення моніторингу електромагнітної обстановки в приміщеннях різного призначення: офісах, виробничих об'єктах, навчальних закладах, державних установах та об'єктах критичної інфраструктури. Своєчасне виявлення джерел GSM-випромінювання дозволяє підвищити рівень захищеності інформаційних

систем, запобігти витоку конфіденційних даних та забезпечити контроль роботи радіоелектронних засобів.

Розроблення високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM є важливим також з точки зору розвитку сучасної радіотехнічної апаратури. Застосування сучасних електронних компонентів, високочастотних підсилювачів, селективних фільтрів тощо дає можливість створювати компактні, енергоефективні та доступні пристрої контролю радіочастотного спектра. Такі пристрої можуть використовуватися як у професійній діяльності фахівців з телекомунікацій та радіотехніки, так і в системах технічного захисту інформації.

Актуальність даної теми також обумовлена необхідністю вдосконалення методів виявлення слабких радіосигналів в умовах значного рівня завад та високої щільності радіочастотного спектра. Сучасні умови експлуатації вимагають від індикаторів високої чутливості, швидкодії та надійності роботи, що потребує проведення додаткових досліджень і пошуку нових технічних рішень. Вирішення цих завдань сприятиме підвищенню ефективності засобів контролю радіоефіру та розширенню сфер їх практичного застосування.

Отже, розробка високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM є актуальним завданням, що відповідає сучасним тенденціям розвитку телекомунікаційних систем, засобів радіотехнічного контролю та інформаційної безпеки.

Практичне значення. Результати проєкту можуть бути використані для створення ефективних засобів виявлення джерел GSM-випромінювання, моніторингу електромагнітної обстановки та забезпечення захисту інформації в різних сферах діяльності.

1. Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

В даній роботі потрібно розробити високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM. Розроблюваний індикатор повинен забезпечувати виявлення електромагнітного випромінювання мобільних терміналів стандартів GSM-900 та GSM-1800 і відповідати таким технічним характеристикам:

Діапазон робочих частот – 880–960 МГц; 1710–1880 МГц;

Тип виявлюваного сигналу – GSM (TDMA);

Напруга живлення – 3 В;

Стабілізована напруга внутрішніх вузлів – 2,5 В;

Джерело живлення – батарея постійного струму 3 В;

Струм споживання в режимі очікування – не більше 5 мА;

Струм споживання при максимальній індикації – не більше 20 мА;

Кількість рівнів світлової індикації – 4;

Тип світлової індикації – світлодіодна;

Тип звукової індикації – п'єзоелектрична;

Частота звукового сигналу – близько 4 кГц;

Час готовності після увімкнення – не більше 1 с.

Функціонально індикатор повинен забезпечувати:

- приймання електромагнітного випромінювання в діапазонах GSM-900 та GSM-1800;
- підсилення слабких ВЧ-сигналів за допомогою високочастотного транзисторного каскаду;
- детектування імпульсно-модульованих сигналів стандарту GSM;

- візуальне відображення рівня випромінювання за допомогою чотирьох світлодіодів;
- формування звукового сигналу при досягненні максимального рівня випромінювання;
- стабільну роботу при зміні напруги живлення в межах допустимого діапазону;
- захист від короткочасних імпульсних завад та випадкових спрацьовувань.

Таким чином, індикатор повинен забезпечувати надійне виявлення випромінювання мобільних пристроїв стандартів GSM-900 та GSM-1800, мати низьке енергоспоживання, чотирирівневу світлову індикацію та звукове оповіщення при максимальному рівні прийнятого сигналу, що повністю відповідає вимогам до переносного засобу контролю наявності GSM-випромінювання.

1.2 Принцип організації стандарту GSM та пристрої, які його використовують

GSM – це цифровий стандарт стільникового мобільного зв'язку другого покоління, призначений для передавання голосу, коротких текстових повідомлень SMS, службової сигналізації та пакетних даних через технології GPRS/EDGE. Назва GSM походить від Global System for Mobile Communications, тобто «глобальна система мобільного зв'язку». Основна ідея стандарту полягає в тому, що велика територія покриття поділяється на окремі комірки, або стільники, кожна з яких обслуговується базовою станцією. Абонентський пристрій, наприклад мобільний телефон або GSM-модуль, підключається до найближчої базової станції та через неї отримує доступ до мережі оператора.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		10

GSM належить до систем з комірковою структурою. Це означає, що одна й та сама частота може повторно використовуватися в різних географічно віддалених комірках без значних взаємних завад. Завдяки такому принципу оператор може обслуговувати велику кількість абонентів на обмеженому частотному ресурсі. Кожна базова станція забезпечує радіопокриття певної ділянки території, а мобільний пристрій автоматично переходить від однієї базової станції до іншої під час руху користувача. Такий процес називається handover, або передавання обслуговування.

У стандарті GSM використовується поєднання частотного та часового розділення каналів. Частотне розділення, або FDMA, передбачає поділ виділеного діапазону частот на окремі радіоканали. Ширина одного радіоканалу в GSM становить 200 кГц. Часове розділення, або TDMA, означає, що кожний частотний канал додатково поділяється на 8 часових інтервалів. У кожному такому інтервалі може передаватися інформація окремого абонента або службовий сигнал мережі. Таким чином, один частотний канал може обслуговувати декілька користувачів по черзі, але з дуже високою швидкістю перемикання, непомітною для користувача.

Радіообмін у GSM здійснюється між мобільною станцією та базовою приймально-передавальною станцією. Мобільна станція складається з самого пристрою та SIM-карти. SIM-карта містить унікальні ідентифікаційні дані абонента, зокрема IMSI, ключі автентифікації та інформацію про доступ до мережі. Завдяки SIM-карті мережа може перевірити, чи має користувач право на підключення, а також забезпечити тарифікацію, роумінг та захист доступу.

Передавання інформації в GSM починається з того, що мобільний пристрій після ввімкнення сканує доступні частоти та шукає сигнали базових станцій. Він обирає комірку з достатнім рівнем сигналу, зчитує службову інформацію мережі та виконує процедуру реєстрації. Після цього пристрій перебуває в режимі очікування, але постійно контролює службові канали, щоб отримувати виклики, SMS або команди від мережі. Коли користувач здійснює

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		11

дзвінок або передає повідомлення, пристрій надсилає запит на доступ до мережі, після чого йому виділяється відповідний радіоканал.

Для передавання голосу в GSM аналоговий мовний сигнал спочатку перетворюється в цифрову форму. Далі він стискається мовним кодеком, проходить канальне кодування для підвищення завадостійкості, перемежування, шифрування та модуляцію. Після цього сформований радіосигнал випромінюється антеною мобільного пристрою. На приймальному боці відбувається зворотний процес: сигнал приймається антеною, демодулюється, дешифрується, декодується та перетворюється назад у мовний сигнал.

У класичному GSM використовується модуляція GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying. Вона забезпечує відносно вузький спектр сигналу та добру енергетичну ефективність, що важливо для мобільних пристроїв з живленням від акумулятора. У подальшому розвитку стандарту, зокрема в EDGE, застосовується більш складна модуляція 8-PSK, яка дозволяє передавати більше інформації за той самий часовий інтервал, але вимагає кращої якості радіоканалу.

GSM працює в кількох частотних діапазонах. Найпоширенішими є GSM-900 та GSM-1800. У деяких країнах також використовувалися або використовуються діапазони GSM-850 та GSM-1900. Принцип дуплексного зв'язку полягає в тому, що передавання від мобільного пристрою до базової станції та передавання від базової станції до мобільного пристрою здійснюються на різних частотах. Канал від абонентського пристрою до мережі називається uplink, а канал від мережі до абонентського пристрою – downlink.

Архітектура GSM-мережі складається з кількох основних частин. Перша частина – це мобільна станція, тобто абонентський пристрій із SIM-картою. Друга частина – підсистема базових станцій, до якої входять базові приймально-передавальні станції BTS та контролери базових станцій BSC.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		12

BTS безпосередньо здійснює радіозв'язок з мобільними пристроями, а BSC керує групою базових станцій, розподіляє радіоресурси, контролює потужність передавачів і бере участь у процедурі handover. Третя частина – комутаційна підсистема мережі, до якої входять мобільний комутаційний центр MSC, реєстр домашніх абонентів HLR, реєстр часових абонентів VLR, центр автентифікації AuC та реєстр обладнання EIR.

MSC виконує комутацію дзвінків, з'єднує абонентів між собою, забезпечує вихід до інших телефонних мереж і координує роботу з базовими станціями. HLR зберігає постійну інформацію про абонента, його номер, послуги та домашню мережу. VLR містить часову інформацію про абонентів, які перебувають у зоні обслуговування певного MSC. AuC використовується для автентифікації абонента та формування ключів шифрування. EIR призначений для перевірки ідентифікаторів обладнання, наприклад IMEI, і може використовуватися для блокування викрадених або заборонених пристроїв.

Важливим елементом GSM є система службових каналів. Вони потрібні не лише для передавання мовлення або даних, а й для керування роботою мережі. Наприклад, широкомовні канали передають інформацію про параметри комірки, канали доступу використовуються для первинного звернення мобільного пристрою до мережі, а канали керування забезпечують встановлення з'єднання, автентифікацію, виділення ресурсів та супровід виклику. Саме завдяки службовим каналам мобільний пристрій може автоматично знайти мережу, зареєструватися, прийняти вхідний дзвінок або передати SMS.

Під час роботи GSM-пристрій не випромінює постійно сигнал з однаковою потужністю. У режимі очікування він переважно приймає службову інформацію від мережі та лише періодично передає короткі службові сигнали. Активне випромінювання зростає під час реєстрації в мережі, встановлення дзвінка, передавання SMS, пакетної передачі даних,

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						13
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

зміни комірки або погіршення умов приймання. Саме тому індикатор GSM-випромінювання повинен мати високу чутливість і здатність реагувати на короткочасні імпульсні радіосигнали.

З радіотехнічної точки зору сигнал GSM має імпульсний характер, оскільки передавання здійснюється у визначених часових інтервалах TDMA. Це означає, що випромінювання мобільного пристрою виникає короткими пакетами, або burst-сигналами. Така особливість є важливою для побудови індикаторів випромінювання, оскільки пристрій виявлення повинен реагувати не лише на безперервний сигнал, а й на короткі високочастотні імпульси. Для цього в індикаторах можуть використовуватися широкосмугові ВЧ-детектори, підсилювачі радіочастотного сигналу, фільтри діапазону GSM, детектори огибаючої та мікроконтролери для аналізу рівня сигналу.

GSM забезпечує декілька основних послуг. Найперша й основна послуга – голосовий зв'язок. Другою важливою послугою є SMS, тобто передавання коротких текстових повідомлень. Також стандарт підтримує службові повідомлення мережі, переадресацію викликів, визначення номера, роумінг та інші додаткові сервіси. Для передавання даних у GSM були розроблені технології GPRS та EDGE. GPRS забезпечує пакетну передачу даних і дозволяє пристрою залишатися підключеним до мережі без постійного зайняття голосового каналу. EDGE є подальшим розвитком GPRS і забезпечує вищу швидкість передавання за рахунок ефективнішої модуляції.

Незважаючи на появу 3G, 4G та 5G, GSM досі має практичне значення. Його перевагами є велика зона покриття, простота обладнання, низьке енергоспоживання в багатьох режимах, дешевизна модулів, підтримка SMS та достатня надійність для задач моніторингу, сигналізації й телеметрії. Саме тому GSM часто використовується не лише в мобільних телефонах, а й у спеціалізованих пристроях, де не потрібна висока швидкість передавання даних.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		14

До пристроїв, які використовують стандарт GSM, належать насамперед мобільні телефони другого покоління та багатостандартні смартфони, які мають підтримку 2G для дзвінків, SMS або резервного зв'язку. Навіть якщо основне передавання даних у сучасному смартфоні здійснюється через 4G або 5G, у багатьох моделях GSM може використовуватися як допоміжний або резервний режим роботи залежно від мережі оператора.

Окрему групу становлять GSM-модеми. Це пристрої, які підключаються до комп'ютера, контролера або іншої системи та забезпечують передавання SMS, голосу або даних через мережу мобільного оператора. GSM-модеми можуть бути зовнішніми, наприклад у вигляді USB-пристрою, або вбудованими у промислове обладнання.

Дуже поширеними є GSM-модулі, наприклад модулі серій SIM800, SIM900, Quectel, Telit, u-blox та інші. Такі модулі встановлюються в електронні пристрої для забезпечення мобільного зв'язку. Вони мають радіочастотний тракт, контролер, інтерфейси керування, слот або підключення для SIM-карти та антенний вихід. Керування GSM-модулями зазвичай здійснюється за допомогою AT-команд через UART, USB або інший інтерфейс.

GSM широко застосовується в охоронних системах. Наприклад, GSM-сигналізації використовують мобільну мережу для надсилання SMS або здійснення дзвінка власнику в разі спрацювання датчика руху, відкривання дверей, пожежного датчика або тривожної кнопки. Такі системи популярні завдяки тому, що не потребують дротового інтернету та можуть працювати в місцях, де є лише покриття мобільного оператора.

Ще одна важлива сфера застосування – системи GPS/GSM-моніторингу транспорту. У таких пристроях GPS-приймач визначає координати автомобіля, а GSM-модуль передає ці дані на сервер або телефон користувача. Подібні трекери використовуються для контролю автопарків, вантажних перевезень, таксі, громадського транспорту, спецтехніки, приватних

автомобілів, мотоциклів і навіть персонального моніторингу людей або тварин.

GSM використовується також у банкоматах, платіжних терміналах, торговельних автоматах і POS-системах. У таких випадках мобільний зв'язок може застосовуватися для передавання службових даних, фінансових транзакцій, інформації про стан обладнання або повідомлень про несправності. GSM-з'єднання зручне там, де немає стабільного дротового інтернету.

У промисловості GSM-модулі застосовуються в системах телеметрії та віддаленого керування. Вони можуть передавати дані з лічильників електроенергії, газу, води, тепла, датчиків температури, тиску, рівня рідини, стану обладнання тощо. Такі пристрої можуть надсилати інформацію періодично або за певною подією, наприклад у разі аварії чи перевищення допустимого параметра.

GSM використовується в системах «розумного дому» та дистанційного керування. Наприклад, за допомогою GSM-реле можна увімкнути або вимкнути електроприлад, відкрити ворота, запустити опалення, перезавантажити обладнання або отримати повідомлення про стан датчиків. Керування може здійснюватися через SMS, телефонний дзвінок або пакетну передачу даних.

До пристроїв, які можуть використовувати GSM, належать також медичні та соціальні пристрої: тривожні кнопки для літніх людей, переносні пристрої моніторингу, системи виклику допомоги, маячки для контролю місцезнаходження. У таких системах важливими є простота, автономність і можливість передати коротке повідомлення навіть без доступу до Wi-Fi.

GSM може застосовуватися і в сільському господарстві. Наприклад, GSM-контролери використовують для моніторингу теплиць, систем поливу, насосних станцій, електроживлення, температури, вологості та стану

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		16

віддалених об'єктів. Для таких задач GSM є зручним через широке покриття мобільних мереж і можливість роботи в автономному режимі.

Окрему категорію становлять пристрої технічного захисту, контролю та пошуку радіовипромінювання. До них належать індикатори поля, детектори мобільних телефонів, пошукові приймачі, аналізатори спектра та спеціальні засоби виявлення несанкціонованих GSM-передавачів. Такі пристрої використовуються для контролю приміщень, пошуку прихованих передавачів, перевірки режимних об'єктів та оцінювання електромагнітної обстановки.

З погляду теми дипломного проєкту особливий інтерес становить саме випромінювання GSM-пристроїв. Будь-який GSM-пристрій під час обміну з мережею створює електромагнітне поле в радіочастотному діапазоні. Рівень цього поля залежить від потужності передавача, відстані до базової станції, якості покриття, типу антени, режиму роботи та наявності перешкод. Якщо пристрій перебуває далеко від базової станції або сигнал мережі слабкий, він може збільшувати потужність передавання. Якщо умови приймання добрі, потужність може бути зменшена.

Саме тому високочутливий індикатор GSM-випромінювання повинен бути здатним виявляти сигнали в типових діапазонах GSM, реагувати на імпульсний характер передавання, мати достатню вибірковість до потрібного частотного діапазону та відрізнити корисний сигнал від фонових завад. Такий індикатор може бути корисним для контролю наявності активних мобільних пристроїв, пошуку прихованих GSM-модулів, перевірки роботи охоронних і телеметричних систем, а також для навчальних і лабораторних досліджень.

Отже, стандарт GSM є важливою технологією цифрового стільникового зв'язку, яка поєднує коміркову структуру мережі, частотне та часове розділення каналів, цифрову обробку сигналів, автентифікацію абонента, шифрування та підтримку мобільності користувача. Його використовують мобільні телефони, GSM-модеми, охоронні системи, GPS-трекери, платіжні термінали, промислові контролери, системи телеметрії, пристрої розумного

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		17

дому та багато інших електронних систем. Завдяки широкому поширенню GSM-пристроїв розробка високочутливого індикатора їхнього випромінювання є практично важливою задачею.

1.3 Варіанти реалізації індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM

1.3.1. Простий широкосмуговий індикатор радіочастотного поля

Найпростіший варіант реалізації – це широкосмуговий індикатор електромагнітного поля, який реагує на наявність радіочастотного випромінювання в діапазоні GSM. Основними вузлами такого пристрою є антена, ВЧ-детектор, підсилювач постійної напруги та світлова або звукова індикація.

Принцип роботи полягає в тому, що антена приймає електромагнітне випромінювання від GSM-пристрою. Далі сигнал надходить на детектор, побудований, наприклад, на високочастотному діоді Шоткі. Детектор перетворює високочастотний сигнал у напругу, пропорційну рівню прийнятого поля. Після цього сигнал підсилюється операційним підсилювачем і подається на світлодіод, зумер або стрілочний індикатор.

Перевагою такого варіанта є простота схеми, невелика вартість і можливість швидкої практичної реалізації. Недоліком є невисока вибірковість, оскільки пристрій може реагувати не лише на GSM, а й на інші джерела радіовипромінювання: Wi-Fi, Bluetooth, радіостанції, LTE або імпульсні завади.

1.3.2. Індикатор GSM-випромінювання з частотним фільтром

Більш досконалим варіантом є індикатор із входним смуговим фільтром, налаштованим на діапазони GSM-900 або GSM-1800. У цьому випадку структура пристрою містить антену, смуговий фільтр, малOSHумний ВЧ-підсилювач, детектор огибаючої, компаратор і вузол індикації.

Смуговий фільтр пропускає сигнали лише в заданому діапазоні частот і подавляє сигнали інших стандартів. Наприклад, для GSM-900 пристрій може бути орієнтований на діапазон передавання мобільного термінала до базової станції, тобто приблизно 890–915 МГц. Саме цей діапазон є важливим для виявлення активного абонентського GSM-пристрою.

Після фільтрації сигнал підсилюється, детектується та порівнюється з пороговим рівнем. Якщо рівень сигналу перевищує заданий поріг, вмикається індикація. Поріг можна зробити регульованим, що дозволить налаштовувати чутливість пристрою залежно від умов експлуатації.

1.3.3. Індикатор з логарифмічним детектором рівня сигналу

Ще один ефективний варіант – використання спеціалізованого логарифмічного детектора радіочастотного сигналу. Такі мікросхеми призначені для вимірювання рівня ВЧ-сигналів у широкому динамічному діапазоні. На виході логарифмічного детектора формується постійна напруга, яка залежить від потужності вхідного сигналу.

Структурно пристрій може складатися з антени, GSM-фільтра, ВЧ-підсилювача, логарифмічного детектора, мікроконтролера та індикатора. Мікроконтролер вимірює вихідну напругу детектора за допомогою АЦП, обробляє її та відображає результат на світлодіодній шкалі, OLED-дисплеї або LCD-індикаторі.

Перевагою такого рішення є висока чутливість, широкий динамічний діапазон і можливість кількісної оцінки рівня сигналу. Пристрій може не просто показувати факт наявності GSM-випромінювання, а й приблизно оцінювати його інтенсивність. Недоліком є складніша схема та необхідність правильного узгодження ВЧ-тракту.

1.3.4. Індикатор на базі мікроконтролера з цифровою обробкою сигналу

У цьому варіанті аналогова частина пристрою виконує приймання, фільтрацію, підсилення та детектування GSM-сигналу, а мікроконтролер

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		19

відповідає за аналіз сигналу та керування індикацією. Наприклад, можна використати мікроконтролер STM32, AVR або ESP32.

Після детектора на вхід АЦП мікроконтролера надходить сигнал, який відповідає рівню прийнятого випромінювання. Програма мікроконтролера може виконувати усереднення, порогове порівняння, фіксацію короточасних імпульсів, звукову сигналізацію та виведення рівня сигналу на дисплей.

Такий індикатор може мати кілька режимів роботи: режим максимальної чутливості, режим пошуку джерела, режим фіксації пікового значення та режим калібрування. Для зручності можна реалізувати індикацію у вигляді шкали з 5–10 світлодіодів або числового значення на дисплеї.

Перевага цього варіанта полягає в гнучкості. Програмно можна змінювати пороги спрацювання, алгоритми фільтрації та тип індикації. Недоліком є більша складність розробки, оскільки необхідно поєднати аналогову ВЧ-частину з цифровою обробкою.

1.3.5. Селективний індикатор для окремих діапазонів GSM-900 та GSM-1800

Для підвищення точності можна реалізувати індикатор, який окремо контролює діапазони GSM-900 і GSM-1800. У такому пристрої використовуються два вхідні канали або перемикаючий фільтр. Один канал налаштований на GSM-900, інший – на GSM-1800.

Кожен канал може містити власний смуговий фільтр, ВЧ-підсилювач і детектор. Сигнали з обох каналів надходять на мікроконтролер, який визначає, у якому діапазоні зафіксовано випромінювання. Результат можна виводити на дисплей у вигляді повідомлень: «GSM-900», «GSM-1800» або «сигнал не виявлено».

Такий варіант є більш професійним і дозволяє не лише виявляти випромінювання, а й приблизно визначати робочий діапазон пристрою. Це корисно для аналізу електромагнітної обстановки та пошуку активних GSM-модулів.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		20

1.3.6. Індикатор із спрямованою антеною для пошуку джерела випромінювання

Якщо метою є не лише виявлення GSM-сигналу, а й пошук його джерела, доцільно використати спрямовану антену. Наприклад, це може бути малогабаритна логоперіодична антена, рамкова антена або антена типу «хвильовий канал».

Принцип роботи полягає в тому, що оператор переміщує індикатор у просторі та спостерігає за зміною рівня сигналу. Максимальний рівень сигналу вказує напрямок на джерело випромінювання. Такий пристрій може бути корисним для пошуку прихованих GSM-передавачів, модулів сигналізації або несанкціонованих пристроїв передавання даних.

Перевагою є можливість локалізації джерела сигналу. Недоліком є залежність результату від відбиттів радіохвиль у приміщенні, положення антени та наявності інших джерел випромінювання.

1.3.7. Індикатор на основі SDR-приймача

Найбільш функціональним варіантом є використання SDR-приймача, тобто програмно-визначуваного радіо. У цьому випадку приймання GSM-сигналу виконується широкосмуговим приймачем, а аналіз спектра здійснюється програмно.

SDR-рішення дозволяє переглядати спектр сигналів, визначати частотний діапазон, рівень сигналу та характер випромінювання.

Перевагою є висока інформативність і можливість аналізу різних стандартів зв'язку. Недоліками є більша вартість, складність програмної частини та залежність від обчислювального пристрою.

1.4 Огляд аналогів індикатора

Проаналізуємо декілька схем, які є прототипами індикатора. Схема першого індикатора (рис. 1.1) поля є підсилювачем постійного струму на

операційному підсилювачі з каскадом УВЧ і ВЧ детектором. На вході УВЧ встановлений фільтр високих частот L1, C2, L2, C3, який обрізає сигнали з частотою нижче 10 МГц, інакше прилад починає реагувати на фон електропроводки та інші перешкоди. Підсилювач ВЧ виконаний за схемою із загальним емітером, режим виставляється резистором R1 так, щоб на колекторі VT1 була напруга, рівна половині напруги живлення.

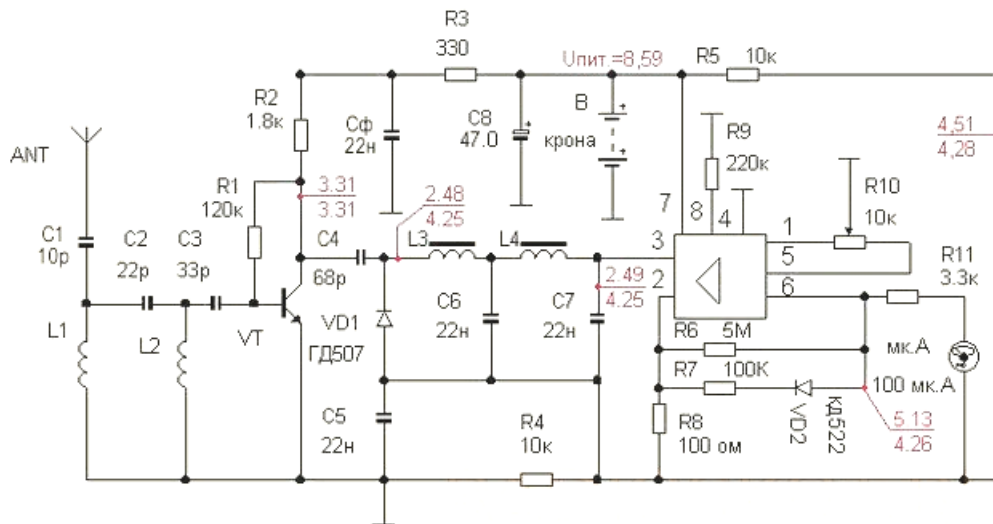


Рисунок 1.1 – Схема прототипа

Через конденсатор C4 сигнал надходить на діодний детектор VD1 тут необхідно застосовувати НВЧ діод. Випрямлений сигнал надходить на вхід ОП через фільтр L3, L4, C6, C7, який перешкоджає попаданню на вхід ОП ВЧ складової. Операційний підсилювач працює від однополярного живлення, тому для його нормальної роботи за допомогою ділянки на R4; R5 створена штучна "середня точка". Підсилення мікросхеми визначається відношенням R6/R8 за малих сигналів на вході. При збільшенні напруги на виводі мікросхеми 6 до 0,6 вольт відбувається відкривання діода VD2 і в ланцюг зворотного зв'язку підсилювача підключається резистор R7, що зменшує підсилення і робить шкалу приладу лінійною. Резистором R10 здійснюється встановлення шкали приладу на 0. VT1 - НВЧ транзистор, наприклад КТ399.

Наступна схема (рис. 1.2) є допрацьованою конструкцією, застосування додаткового ОП дозволило виключити резисторний дільник напруги і поліпшити характеристики приладу.

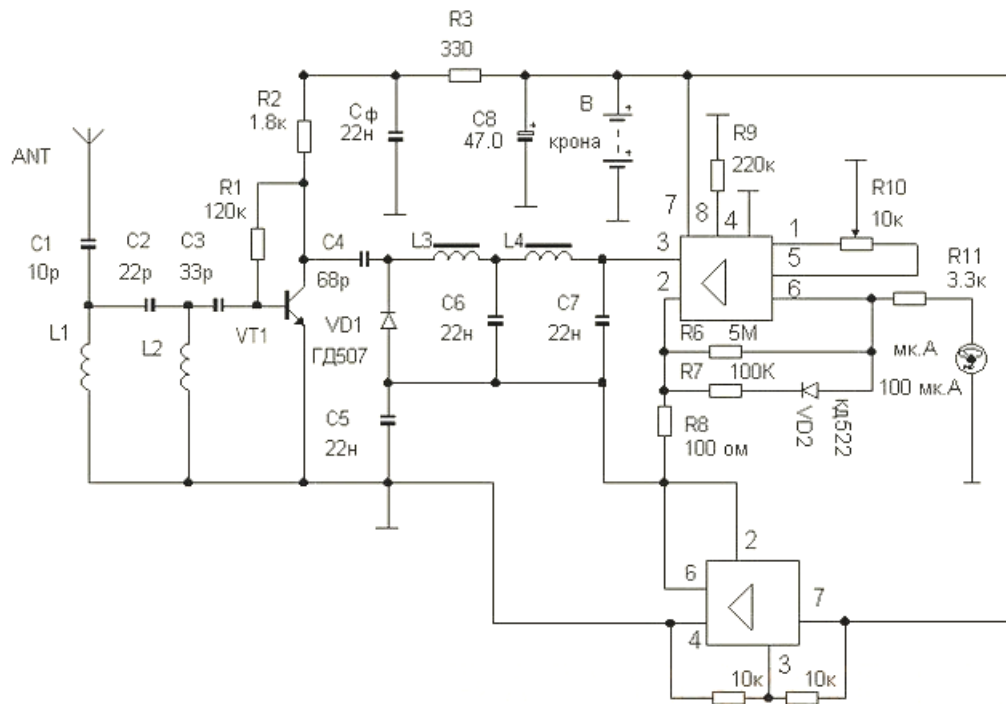


Рисунок 1.2 – Удосконалена схема прототипу

Наступний індикатор призначений для визначення наявності працюючого стільникового телефону, а також різних «жучків», що працюють як стільникові телефони (рис. 1.3). Схема складається з дипольної антени, високочастотного детектора та вимірювача рівня продетектованого сигналу.

При роботі стільникового телефону передавач випромінює сигнал на частоті близько 900 MHz. Сигнал несучої модульований цифровим сигналом, адже всю інформацію стільниковий телефон передає в цифровій формі.

Дипольна антена налаштована на частоту 900 MHz, вони приймає сигнал передавача стільникового телефону, що знаходиться поруч, і на дроселі L1 виділяється деяка змінна ВЧ-напруга. Вона детектується

високочастотним діодом VD1 і на конденсаторі C1 виділяється імпульсний сигнал, яким була модульована несуча.

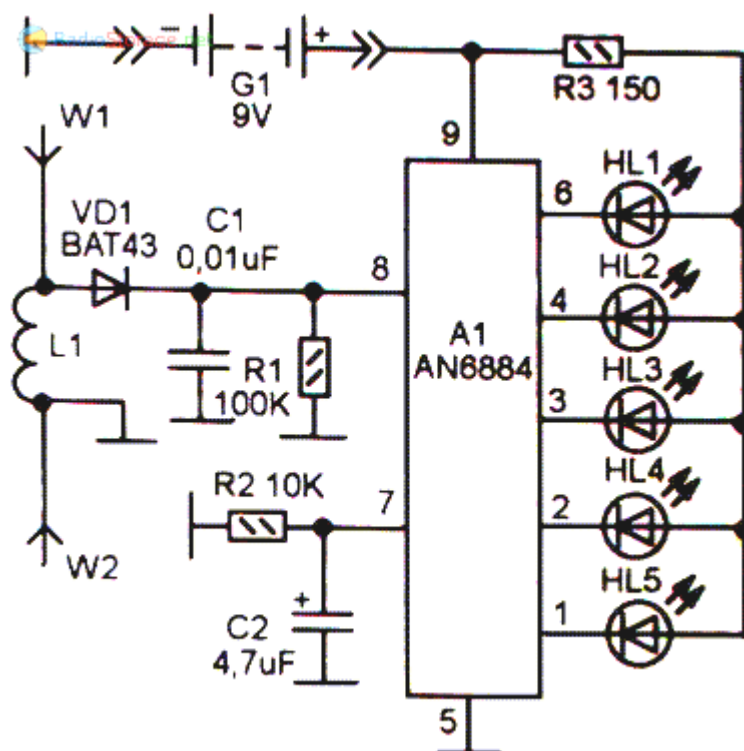


Рисунок 1.3 – Принципова схема світлодіодного індикатора роботи мобільних телефонів, побудована на AN6884.

Продетектований сигнал надходить на вхід мікросхеми A1. Це полікомпараторна мікросхема, що містить підсилювач та п'ять компараторів із вихідними каскадами, розрахованими на роботу зі світлодіодами. Мікросхема призначена для роботи як індикатор НЧ-сигналу. Тут вона працює за своїм прямим призначенням.

Сигнал з виходу детектора надходить на вивід 8 A1 через нього на вхід попереднього підсилювача мікросхеми. На виході підсилювача є ще один детектор, зовнішніми елементами якого є коло R2-C2. При прийомі сигналу мобільного телефону на конденсаторі C2 виділяється деяка постійна напруга. Ця напруга далі надходить на схему з п'яти компараторів із різними рівнями спрацювання.

Рівні спрацювання компараторів перебувають у логарифмічній залежності. На їх виходах є ключові вихідні каскади з обмежувачами струму, вони розраховані на роботу з індикаторними світлодіодами. Чим потужніший сигнал, тим більше світлодіодів світиться.

Розглянемо тепер інший детектор випромінювання GSM телефонів. Цей пристрій може виявляти сигнали GSM в діапазоні близько 900 МГц. Оскільки сигнал закодований у цифровій формі, він може виявити лише активність сигналу, його наявність. Навушники тут використані для того, щоб почути приблизну форму сигналів, що детектуються.

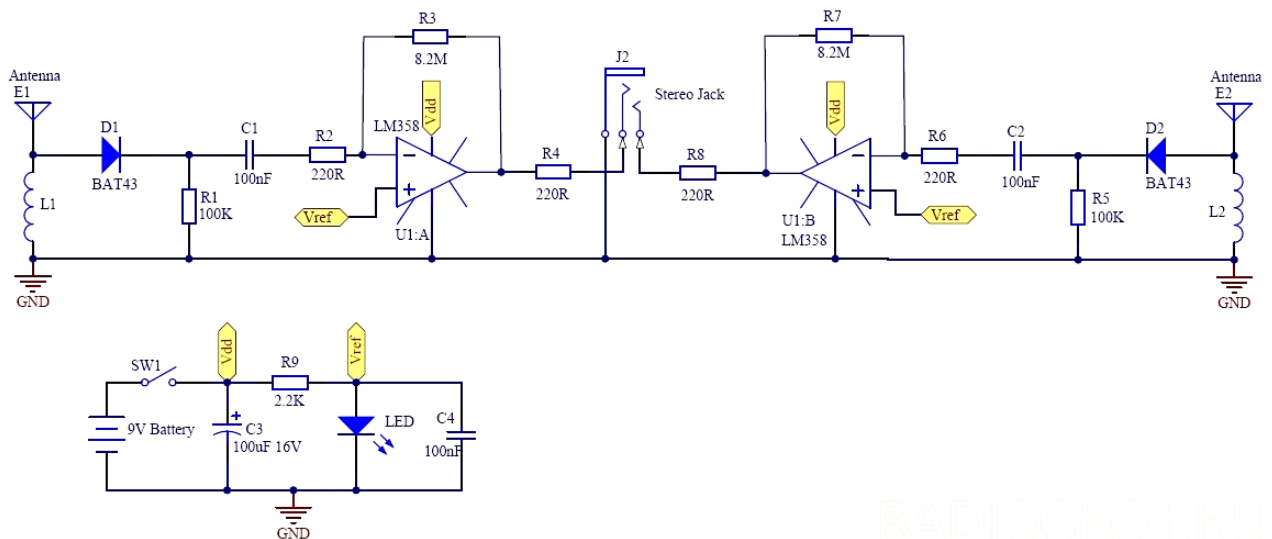


Рисунок 1.4 – Схема детектора випромінювання GSM телефонів

Принципова схема містить два окремі блоки детектора. Кожен детектор складається з дипольної антени, дроселя та діода. Антена приймає сигнали GSM, потім невелика кількість енергії індукується у дроселі. Діод демодулює сигнал та передає на мікросхему. Діоди повинні бути тільки Шоткі або НВЧ германієві діоди. Оскільки пряме падіння напруга на діоді з кремнію високе - він не дасть пристойного результату. Операційний підсилювач LM358 підсилює отриманий сигнал. Схема складається із двох операційних підсилювачів, підключених до загального джерела живлення. Номінал

резисторів R3 та R7 визначає коефіцієнт посилення ОП. Якщо номінали резисторів перевищують 10 МОм, то збільшується рівень шуму. Якщо вони знижуються до 1 М – стає важче почути сигнал.

Наступною є схема індикатора випромінювання від телефону GSM з радіусом виявлення до 10 м. Схема пристрою показана на рис. 1.5. Прийом сигналу ведеться на широкосмугову напівхвильову антену, що складається з двох вібраторів W1 та W2.

Прилад виконаний за схемою приймача прямого підсилення та містить підсилювач радіочастоти (ПРЧ), детектор та звуковий індикатор. Сигнал, наведений у приймальні антени, підсилюється ПРЧ і надходить на детектор. Продетектований сигнал відкриває електронний ключ, зібраний на транзисторі VT2, а він у свою чергу включає звуковий сигналізатор HA1 - зазвучить сигнал.

За допомогою індикатора вдається визначати режими роботи стільникового телефону. Коли стільниковий телефон входить у мережу, індикатор подає короткі звукові сигнали, а під час виклику абонента і під час розмови з ним звуковий сигнал звучить безперервно.

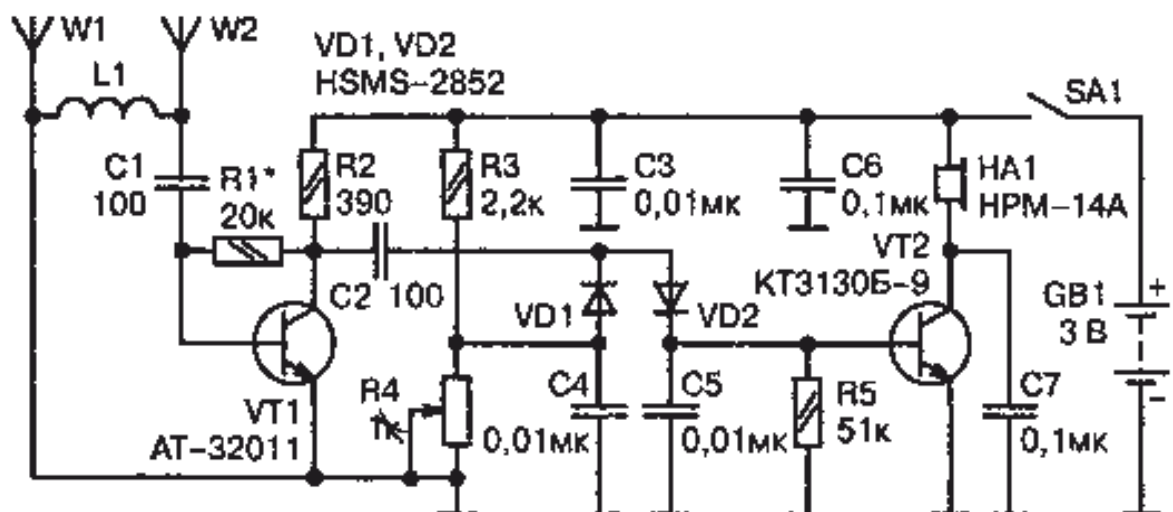


Рисунок 1.5 – Індикатор випромінювання мобільного телефону в діапазоні НВЧ

1.5 Опис структурної схеми

Власне структурна схема індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM наведена на рис. 1.6.

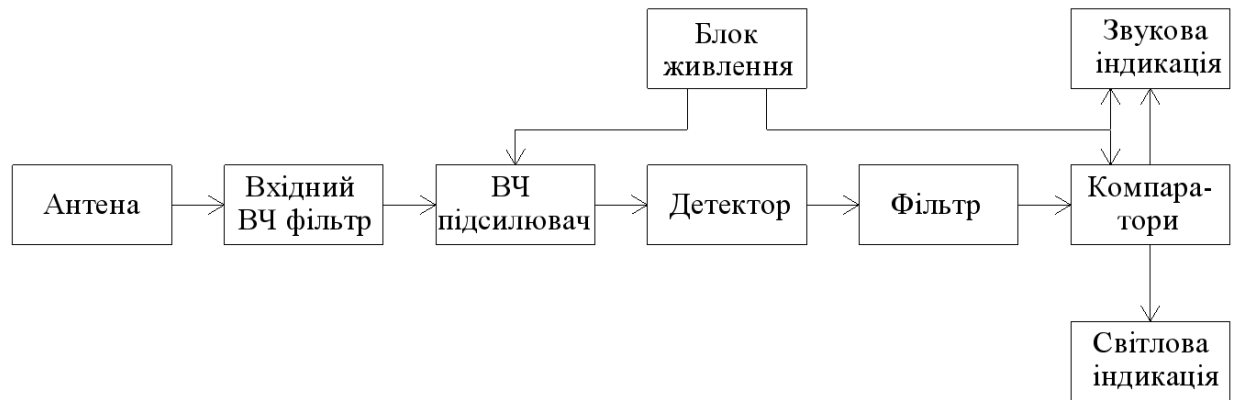


Рисунок 1.6 – Схема структурна індикатора

Схема складається з таких функціональних вузлів:

1) Антенa. Приймає електромагнітне випромінювання GSM-пристроїв у діапазонах 900 та 1800 МГц. Також перетворює енергію електромагнітного поля у високочастотний електричний сигнал.

2) Вхідний високочастотний фільтр. Забезпечує попередню селекцію сигналів, послаблює сторонні радіочастотні завади та підвищує вибірковість пристрою, узгоджує антену з підсилювачем.

3) Високочастотний підсилювач. Підсилює слабкі сигнали, прийняті антенною, забезпечує підвищення чутливості індикатора, працює в діапазоні надвисоких частот GSM.

4) Детектор ВЧ-сигналу. Виконує випрямлення високочастотного сигналу, перетворює радіочастотний сигнал у постійну напругу, пропорційну його амплітуді.

5) Фільтр нижніх частот. Згладжує імпульсний сигнал після детектора, формує повільно змінну напругу, придатну для подальшої обробки.

6) Блок компараторів. Порівнює рівень сигналу з декількома пороговими значеннями, формує сигнали керування світловою та звуковою індикацією, реалізує багаторівневу оцінку інтенсивності випромінювання.

7) Світлова індикація. Відображає рівень прийнятого сигналу. Чим більша кількість активних світлодіодів, тим сильніше випромінювання GSM-пристрою.

8) Звукова індикація. Генерує звуковий сигнал при виявленні випромінювання. Частота або тривалість сигналів може змінюватися залежно від рівня прийнятого сигналу.

9) Блок живлення. Забезпечує стабілізовану напругу живлення 2,5 В, захищає схему від коливань напруги джерела живлення, живить усі функціональні вузли пристрою.

1.6 Опис роботи схеми

На основі проведеного аналізу було розроблено схему електричну, що показана на рис. 1.7.

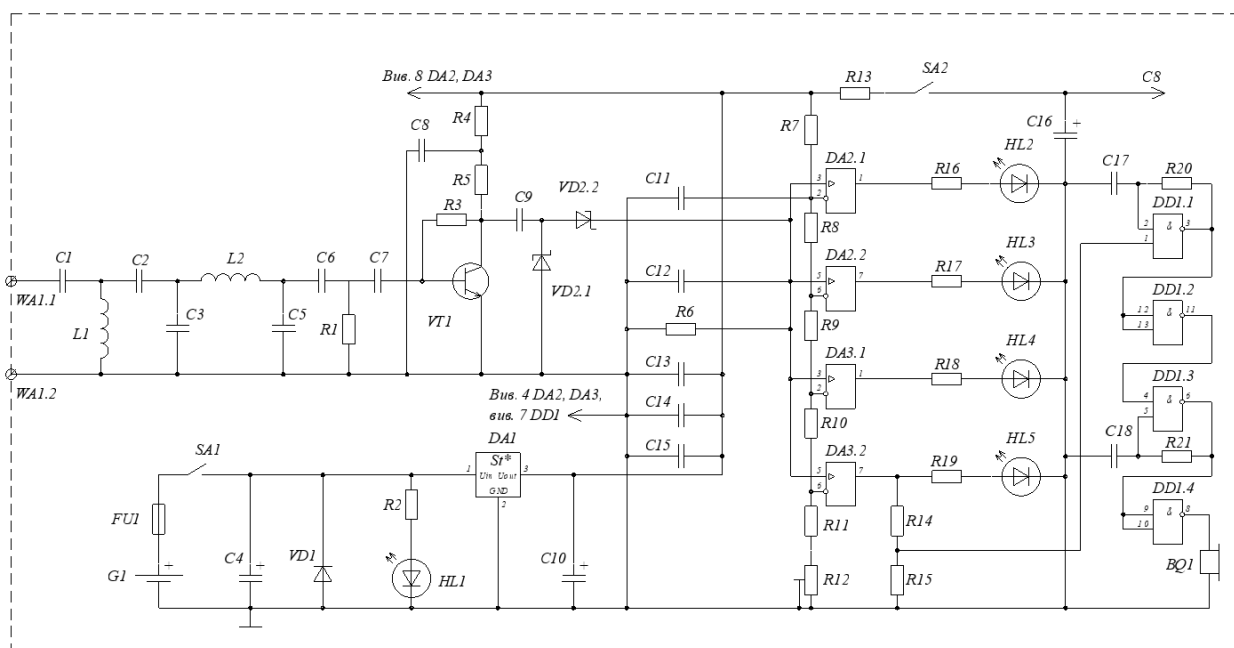


Рисунок 1.7 – Схема електрично проєктованого індикатора

Ця схема призначена для виявлення електромагнітного випромінювання радіочастотних пристроїв, зокрема пристроїв стандарту GSM. Під час роботи мобільний телефон, GSM-модем, GSM-сигналізація або інший GSM-модуль періодично випромінює радіосигнал у відповідному частотному діапазоні. Схема приймає цей сигнал антеною, підсилює його, детектує, перетворює у низькочастотну або постійну напругу, а потім відображає рівень прийнятого сигналу за допомогою світлодіодної та звукової індикації.

Особливістю GSM-сигналу є його імпульсний характер. Передавання в GSM здійснюється короткими пакетами, тому індикатор повинен реагувати не лише на безперервне радіочастотне поле, а й на короткі імпульси.

На лівій частині схеми розміщено вхідний радіочастотний тракт. До точок WA1.1 і WA1.2 підключається антена. Вона приймає електромагнітне випромінювання від GSM-пристрою та перетворює його у високочастотну напругу.

Призначення елементів вхідного тракту.

WA1.1, WA1.2 – виводи антени. Через ці точки в схему надходить прийнятий радіочастотний сигнал.

C1, C2 – розділові та узгоджувальні конденсатори вхідного кола. Вони пропускають високочастотну складову сигналу та не допускають проходження постійної напруги між антеною і наступними каскадами. Також ці конденсатори беруть участь у формуванні частотної характеристики входу.

L1, L2 – індуктивності вхідного селективного кола. Разом із конденсаторами вони формують коливальні або фільтрувальні ланки, які покращують проходження сигналів потрібного діапазону та послаблюють небажані частоти.

C3, C5 – конденсатори, підключені до загальної шини. Вони разом з L1 і L2 утворюють фільтр, який виконує частотну селекцію. Такий фільтр зменшує вплив сторонніх сигналів поза робочим діапазоном.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		29

C6, C7 – розділові ВЧ-конденсатори. Вони передають змінний високочастотний сигнал далі на підсилювач, але ізолюють попередні та наступні каскади за постійним струмом.

R1 – вхідний резистор навантаження/узгодження. Він задає режим входу підсилювача, формує опір для прийнятого сигналу та впливає на стабільність роботи ВЧ-тракту.

Уся ця частина схеми виконує роль антенно-фільтрувального вузла. Її завдання – прийняти GSM-сигнал, частково відфільтрувати його та передати на високочастотний підсилювач.

Високочастотний підсилювач на транзисторі VT1.

Центральним елементом першого активного каскаду є транзистор VT1 – це високочастотний малошумний біполярний транзистор, придатний для роботи на частотах до декількох гігагерц.

Призначення VT1. VT1 виконує функцію малошумного ВЧ-підсилювача. Сигнал, прийнятий антеною, має дуже малу амплітуду, особливо якщо джерело випромінювання знаходиться на певній відстані. Тому перед детектуванням його необхідно підсилити.

Після проходження через вхідний фільтр сигнал надходить на базу транзистора VT1. На колекторі формується підсилений високочастотний сигнал, який через наступні елементи подається на детектор.

Елементи зміщення і стабілізації VT1.

R3, R4, R5 – резистори зміщення транзистора. Вони задають робочу точку VT1, тобто такі постійні напруги і струми, за яких транзистор працює в активному режимі та може підсилювати слабкий ВЧ-сигнал.

C8 – фільтрувальний або блокувальний конденсатор у колі живлення/зміщення. Він шунтує високочастотні завади на загальну шину та запобігає проникненню ВЧ-сигналу в кола живлення.

C9 – розділовий конденсатор між ВЧ-підсилювачем і детектором. Він передає підсилений високочастотний сигнал на детектор VD2, але не пропускає постійну складову з колектора транзистора.

Таким чином, каскад на VT1 підвищує чутливість усього індикатора. Без цього каскаду схема могла б реагувати лише на дуже сильні сигнали поблизу джерела випромінювання.

Після підсилення сигнал надходить на вузол детектування, побудований на діодній збірці VD2 – це високочастотний детекторний діод Шотткі. Такі діоди мають малу бар'єрну напругу, малу ємність переходу та добре працюють із сигналами надвисоких частот. Вони часто застосовуються у ВЧ-детекторах, вимірювачах рівня сигналу, індикаторах поля та приймальних трактах.

VD2 перетворює високочастотний GSM-сигнал у напругу нижчої частоти або постійну складову. Іншими словами, він виконує функцію детектора огибаючої.

GSM-сигнал має імпульсну структуру, тому після детектування на виході з'являються імпульси напруги, які відповідають моментам передавання GSM-пристрою. Ці імпульси вже можна підсилювати операційними підсилювачами та аналізувати як звичайний низькочастотний сигнал.

Додаткові елементи детектора.

C11, C12, C13, C14, C15 – конденсатори фільтрації та зв'язку після детектора. Вони згладжують імпульсну напругу, формують часову характеристику індикатора та передають сигнал на входи операційних підсилювачів.

R6 – резистор у колі формування сигналу після детектора. Він може виконувати роль навантаження детектора, елемента розряду конденсаторів або частини RC-ланки, що задає інерційність індикації.

Після цього вузла радіочастотний сигнал уже не обробляється як ВЧ-сигнал. Далі схема працює з напругою, яка відповідає рівню прийнятого випромінювання.

У нижній частині схеми розміщений вузол живлення. Джерелом живлення є G1, а через вимикач SA1 напруга подається на стабілізатор.

DA1 – це малоспоживний лінійний стабілізатор напруги з вихідною напругою 2,5 В.

DA1 формує стабільну напругу живлення для чутливих електронних вузлів схеми. Це дуже важливо, оскільки зміна напруги живлення може викликати зміну порогів спрацювання, нестабільність підсилення або помилкові спрацювання індикатора.

G1 – джерело живлення, наприклад батарея або акумулятор.

FU1 – запобіжник. Захищає схему від надмірного струму у випадку короткого замикання або несправності.

SA1 – вимикач живлення. Вмикає або вимикає пристрій.

C4 – фільтрувальний конденсатор на вході живлення. Зменшує пульсації та імпульсні завади від джерела живлення.

VD1 – захисний діод. Може виконувати захист від переполюсовки живлення або імпульсних перенапруг.

R2, HL1 – індикатор увімкнення живлення. Коли живлення подано, через резистор R2 проходить струм світлодіода HL1, і він світиться. R2 обмежує струм через HL1.

C10 – вихідний фільтрувальний конденсатор стабілізатора DA1. Забезпечує стійку роботу стабілізатора та згладжує напругу живлення.

Підсилення та порогова обробка сигналу.

Мікросхема DA2 MCP6042-I/SN містить два операційні підсилювачі: DA2.1 і DA2.2. MCP6042 – це малоспоживний CMOS операційний підсилювач, придатний для роботи від низької напруги живлення. У цій схемі

він використовується для підсилення сигналу після детектора та формування порогових рівнів індикації.

Операційний підсилювач DA2.1 отримує сигнал після детектора через розділово-фільтрувальні елементи. Працює як компаратор.

R8 – резистор у колі DA2.1. Задає рівень спрацювання першого компаратора.

R7 – резистор у верхньому колі, пов'язаний із виходом/входом DA2.1. Використовується як елемент формування порогу.

R13 – резистор у колі керування/порога, пов'язаний із SA2. Його можна розглядати як елемент налаштування чутливості або режиму роботи.

SA2 – перемикач режиму.

R16, HL2 – вихідна індикація каналу DA2.1. Коли на виході DA2.1 з'являється достатня напруга, через резистор R16 вмикається світлодіод HL2. R16 обмежує струм світлодіода.

Другий операційний підсилювач DA2.2 працює аналогічно, але з іншим порогом або іншим рівнем підсилення.

Мікросхема DA3 MCP6042-I/SN також містить два операційні підсилювачі: DA3.1 і DA3.2.

Вони утворюють ще два канали порогової обробки сигналу. Разом DA2 і DA3 можуть створювати багаторівневий індикатор рівня GSM-випромінювання.

Мікросхема DD1 містить чотири логічні елементи NAND із тригером Шмітта. У схемі вони позначені як DD1.1, DD1.2, DD1.3, DD1.4.

Тригер Шмітта має дві важливі властивості:

- він перетворює повільно змінну або імпульсну напругу у чіткий цифровий сигнал;
- має гістерезис, тобто різні пороги вмикання і вимикання, що зменшує помилкові спрацювання.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		33

У цій схемі DD1 використовується для формування чітких імпульсів керування звуковим сигналізатором BQ1.

Після операційних підсилювачів сигнал може мати неідеальну форму: повільне наростання, шум, короткі імпульси. Елементи DD1 очищують цей сигнал і формують логічні рівні, придатні для керування подальшим навантаженням.

C17, C18 – часозадавальні конденсатори. Вони виконують затримку спрацювання, розтягування коротких імпульсів, формування генератора звукової частоти.

R20, R21 – резистори в колах DD1. Разом із C17 і C18 формують RC-ланки, які задають тривалість імпульсів або частоту генерації.

BQ1 – звуковий випромінювач. Він подає звуковий сигнал при виявленні GSM-випромінювання або при досягненні певного рівня сигналу.

Частина елементів DD1 формує генератор звукової частоти, а інша частина дозволяє вмикати цей генератор лише тоді, коли виявлено достатній рівень сигналу.

У схемі є декілька світлодіодів:

HL1 – індикатор живлення. Світиться при ввімкненні пристрою.

HL2, HL3, HL4, HL5 – індикатори рівня прийнятого сигналу. Вони підключені до виходів операційних підсилювачів через обмежувальні резистори R16–R19.

Принцип роботи індикації такий:

- якщо сигнал відсутній або дуже слабкий – HL2–HL5 не світяться;
- якщо сигнал слабкий, але перевищує перший поріг – загоряється HL2;
- при збільшенні рівня сигналу загоряється HL3;
- ще сильніший сигнал вмикає HL4;
- максимальний або близький до джерела сигнал вмикає HL5.

Таким чином оператор може не лише побачити факт наявності GSM-випромінювання, а й приблизно оцінити його інтенсивність.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34

Роботу всієї схеми можна описати послідовно.

Спочатку антена WA1 приймає радіочастотне випромінювання від GSM-пристрою. Вхідний LC-фільтр на елементах C1, C2, C3, L1, L2, C5, C6, C7 виділяє корисну високочастотну складову та подавляє частину сторонніх сигналів.

Далі сигнал надходить на базу транзистора VT1. Транзистор підсилює слабкий ВЧ-сигнал. Підсилений сигнал через C9 подається на детектор VD2.

Детектор випрямляє високочастотний сигнал і формує напругу, пропорційну рівню прийнятого випромінювання. Ця напруга фільтрується конденсаторами C11–C15 і надходить на операційні підсилювачі DA2 та DA3.

Операційні підсилювачі порівнюють сигнал із заданими рівнями або підсилюють його до величини, достатньої для індикації. Залежно від рівня сигналу вмикаються світлодіоди HL2–HL5.

Крім світлової індикації, сигнал надходить на логічні елементи DD1. Вони формують цифрові імпульси та керують звуковим випромінювачем BQ1. У результаті при виявленні активного GSM-пристрою користувач отримує світловий і звуковий сигнал.

Роль схеми саме як GSM-індикатора. GSM-пристрої випромінюють сигнал короткими імпульсами, особливо під час реєстрації в мережі, встановлення дзвінка, передавання SMS, передавання даних через GPRS/EDGE, періодичного обміну службовою інформацією з базовою станцією, погіршення якості зв'язку, коли пристрій підвищує потужність передавання.

Якщо піднести до пристрою активний мобільний телефон або GSM-модуль, під час передавання сигналу повинні спрацювати світлодіоди HL2–HL5 і, за наявності відповідного режиму, звуковий випромінювач BQ1. Чим ближче джерело випромінювання або чим більша його потужність, тим сильнішою буде індикація.

Основна перевага такої схеми – поєднання високої чутливості, автономного живлення, простої індикації та здатності реагувати на імпульсне випромінювання GSM-пристроїв.

1.7 Розрахунок схеми індикатора випромінювання GSM-пристроїв

Пристрій призначений для індикації наявності електромагнітного випромінювання мобільних пристроїв стандарту GSM. Сигнал, наведений в антені WA1, надходить на ВЧ-вхідний контур, підсилюється транзистором VT1 типу BFP420, детектується діодом Шотткі VD2 типу HSMS-2855, після чого постійна складова сигналу порівнюється з декількома порогами компараторами DA2, DA3. Результат відображається світлодіодами HL2–HL5 та звуковим випромінювачем BQ1.

Живлення пристрою здійснюється від джерела G1 напругою $U_{\text{ж}} = 3 \text{ В}$. Стабілізована напруга після DA1 $U_{\text{ст}} = 2,5 \text{ В}$.

Розрахунок стабілізатора живлення DA1

Для DA1 використано MCP1700T-2502E/TT з вихідною напругою $U_{\text{out}} = 2,5 \text{ В}$.

Вхідна напруга $U_{\text{in}} = 3 \text{ В}$.

Падіння напруги на стабілізаторі $\Delta U = U_{\text{in}} - U_{\text{out}} = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ В}$.

Приймемо максимальний струм споживання аналогової частини $I_{\text{ан}} = 5 \text{ мА}$.

Потужність, що розсіюється DA1:

$$P_{DA1} = \Delta U \cdot I_{\text{ан}} = 0,5 \cdot 0,005 = 0,0025 \text{ Вт} = 2,5 \text{ мВт}.$$

Отримане значення значно менше допустимої потужності для корпусу SOT-23, тому тепловий режим DA1 є нормальним.

Конденсатори C4 та C10 забезпечують фільтрацію живлення/ Прийmemo
C4=C10=10 мкФ

Для HL1 використовується світлодіод HL-308U57GS. Прийmemo:

$$U_{FHL1} = 2,1 \text{ В}, \quad I_{HL1} = 2 \text{ мА}.$$

Опір R2:

$$R2 = \frac{U_{\text{ж}} - U_F}{I} = \frac{3 - 2,1}{0,002} = 450 \text{ Ом}$$

Обираємо стандартний номінал $R2 = 470 \text{ Ом}$

Фактичний струм:

$$I_{HL1} = \frac{3 - 2,1}{470} = 1,91 \text{ мА}.$$

Вхідний ВЧ-фільтр.

Сигнал GSM надходить з антени WA1 через розділові конденсатори C1, C2 та фільтр L1, L2, C3, C5. Схема повинна пропускати частоти GSM:

$$f_1 \approx 900 \text{ МГц}, \quad f_2 \approx 1800 \text{ МГц}.$$

Резонансна частота LC-контуру:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		37

Для діапазону 900 МГц при виборі $C3 = 3,3$ пФ індуктивність становить:

$$L1 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$$

$$L1 = \frac{1}{(2\pi \cdot 900 \cdot 10^6)^2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-12}} \approx 9,5 \text{ нГн.}$$

Обираємо стандартний номінал $L1 = 10$ нГн.

Для діапазону 1800 МГц при:

$$C5 = 1,5 \text{ пФ}$$

$$L2 = \frac{1}{(2\pi \cdot 1800 \cdot 10^6)^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-12}} \approx 5,2 \text{ нГн.}$$

Обираємо $L2 = 5,6$ нГн.

Розділові ВЧ-конденсатори $C1 = C2 = C6 = C7 = 10$ пФ.

Їх реактивний опір на частоті 900 МГц:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 900 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-12}} \approx 17,7 \text{ Ом}$$

Це достатньо малий опір для проходження ВЧ-сигналу.

Розрахунок каскаду на VT1. Транзистор BFP420 використовується як ВЧ-підсилювач/детекторний попередній каскад. Для малопотужного індикатора приймаємо струм колектора $I_C = 1$ мА.

Колекторний резистор R3 при живленні 2,5 В:

$$R3 = \frac{U_{ст} - U_{CE}}{I_C}.$$

Прийmemo $U_{CE} = 1,5 \text{ В.}$

Тоді:

$$R3 = \frac{2,5 - 1,5}{0,001} = 1000 \text{ Ом}$$

Обираємо $R3 = 1 \text{ кОм}$

Базове зміщення задається подільником $R4, R5$. Для кремнієвого ВЧ-транзистора $U_B \approx 0,65 \text{ В.}$ Напруга на базі:

$$U_B = U_{ст} \cdot \frac{R5}{R4 + R5}.$$

Прийmemo $R5 = 100 \text{ кОм.}$ Тоді:

$$R4 = R5 \left(\frac{U_{ст}}{U_B} - 1 \right)$$

$$R4 = 100 \cdot 10^3 \left(\frac{2,5}{0,65} - 1 \right) \approx 285 \text{ кОм}$$

Обираємо стандартний номінал $R4 = 300 \text{ кОм, } R5 = 100 \text{ кОм.}$

Фактична напруга бази:

$$U_B = 2,5 \cdot \frac{100}{300 + 100} = 0,625 \text{ В.}$$

Детектор ВЧ-сигналу на VD2. Діод VD2 HSMS-2855 виконує амплітудне детектування ВЧ-сигналу. Детектор формує постійну напругу:

$$U_{\text{дет}} \approx k \cdot U_{\text{ВЧ}},$$

де k – коефіцієнт перетворення детектора, який залежить від рівня сигналу, частоти та навантаження.

Для фільтрації детектованої напруги використовується RC-ланка R6, C11–C15. Стала часу:

$$\tau = R6 \cdot C_{\Sigma}.$$

Прийmemo:

$$R6 = 100 \text{ кОм}$$

$$C11 = C12 = C13 = C14 = C15 = 0,1 \text{ мкФ}$$

Сумарна ємність:

$$C_{\Sigma} = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ мкФ}$$

Тоді:

$$\tau = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 0,05 \text{ с.}$$

Отже, індикатор не реагує на одиничні короткі імпульсні завади, але реагує на характерні пачки GSM-випромінювання.

Розрахунок порогового вузла DA2, DA3. Операційні підсилювачі MCP6042-I/SN використовуються як компаратори рівня. Порогові напруги формуються подільником R7–R12.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Для рівномірної шкали приймаємо:

$$R7 = R8 = R9 = R10 = R11 = R12 = 100 \text{ кОм}$$

Загальний опір:

$$R_{\Sigma} = 6 \cdot 100 \text{ кОм} = 600 \text{ кОм}$$

Струм подільника:

$$I_{\text{под}} = \frac{U_{\text{ст}}}{R_{\Sigma}} = \frac{2,5}{600 \cdot 10^3} = 4,17 \text{ мкА}$$

Падіння напруги на одному резисторі:

$$\Delta U = I_{\text{под}} \cdot R = 4,17 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3 = 0,417 \text{ В.}$$

Пороги компараторів:

$$U_1 = 0,417 \text{ В,}$$

$$U_2 = 0,834 \text{ В,}$$

$$U_3 = 1,251 \text{ В,}$$

$$U_4 = 1,668 \text{ В.}$$

Таблиця 1.1 – Таблиця індикації

Рівень	Умова спрацювання	Індикація
1	$U_{\text{дет}} > 0,417 \text{ В}$	HL2
2	$U_{\text{дет}} > 0,834 \text{ В}$	HL3
3	$U_{\text{дет}} > 1,251 \text{ В}$	HL4
4	$U_{\text{дет}} > 1,668 \text{ В}$	HL5 + BQ1

Розрахунок резисторів світлодіодів HL2–HL5. Для червоних світлодіодів приймаємо:

$$U_F = 1,8 \text{ В}, \quad I = 2 \text{ мА.}$$

Опір:

$$R = \frac{U_{\text{ж}} - U_F}{I} = \frac{3 - 1,8}{0,002} = 600 \text{ Ом}$$

Обираємо стандартний номінал:

$$R_{16} = R_{17} = R_{18} = R_{19} = 620 \text{ Ом}$$

Фактичний струм:

$$I = \frac{3 - 1,8}{620} = 1,94 \text{ мА.}$$

Розрахунок генератора звукової сигналізації DD1, BQ1

Мікросхема DD1 74HC132D містить елементи NAND із тригерами Шмітта. На елементах DD1.1–DD1.4 реалізовано генератор для п'єзовипромінювача BQ1 FT-27T-4.0A1.

Робоча частота BQ1:

$$f = 4 \text{ кГц.}$$

Для генератора на тригері Шмітта:

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						42
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$f \approx \frac{1}{1,4RC}.$$

Прийmemo:

$$C17 = C18 = 10 \text{ нФ}.$$

Тоді:

$$R = \frac{1}{1,4 \cdot 4000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} \approx 17,9 \text{ кОм}$$

Обираємо R20=R21=18 кОм

Фактична частота:

$$f = \frac{1}{1,4 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} \approx 3,97 \text{ кГц}.$$

1.8 Вибір елементів

Під час розроблення високочутливого індикатора вибір елементної бази здійснювався з урахуванням таких вимог:

- робота в діапазоні частот 900–1800 МГц;
- висока чутливість приймального тракту;
- низьке енергоспоживання;
- компактність конструкції;
- можливість поверхневого монтажу;
- доступність компонентів на ринку електронних виробів;

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						43
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

- висока надійність та стабільність параметрів.

Вибір стабілізатора напруги DA1.

У схемі використовується лінійний стабілізатор напруги DA1=MCP1700T-2502E/TT виробництва Microchip Technology.

Основні характеристики стабілізатора:

Вихідна напруга 2,5 В;

Максимальний струм навантаження 250 мА;

Струм власного споживання 1,6 мкА;

Dropout Voltage 178 мВ;

Корпус SOT-23.

Основною перевагою MCP1700 є малий власний струм споживання, що дозволяє суттєво збільшити час автономної роботи пристрою.

Мала напруга падіння (Low Dropout) $U_{drop} \approx 0.18$ В дозволяє використовувати елементи живлення з напругою, близькою до номінальної вихідної напруги.

Крім того, стабілізатор характеризується низьким рівнем шумів, що особливо важливо для високочастотного приймального тракту.

Отже, використання MCP1700T-2502E/TT забезпечує стабільне живлення схеми при мінімальному енергоспоживанні.

Для реалізації багаторівневої індикації використано два двоканальні операційні підсилювачі

DA2,DA3=MCP6042-I/SN

Основні характеристики MCP6042:

Напруга живлення 2,5–6 В;

Струм споживання одного ОП 230 мкА;

Смуга пропускання 14 кГц;

Корпус SOIC-8.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		44

У даній схемі операційні підсилювачі використовуються не для підсилення ВЧ-сигналу, а як компаратори рівня постійної напруги після детектора.

Основними перевагами MCP6042 є:

- робота від напруги 2,5 В;
- можливість роботи поблизу нульового потенціалу;
- Rail-to-Rail режим;
- низьке споживання струму;
- невелика кількість зовнішніх компонентів.

Завдяки наявності двох операційних підсилювачів в одному корпусі для реалізації чотирьох порогів індикації достатньо лише двох мікросхем. Це дозволяє зменшити габарити друкованої плати та знизити вартість пристрою.

Вибір логічної мікросхеми DD1

У схемі застосовано мікросхему DD1=74НС132D, яка містить чотири логічні елементи NAND з тригером Шмітта на вході.

Основні параметри:

Напруга живлення 2–6 В;

Кількість елементів 4;

Тип входів Schmitt Trigger;

Споживання одиниці мкА;

Корпус SOIC-14.

Мікросхема використовується для формування звукового сигналу та логічної обробки інформації. Наявність тригера Шмітта забезпечує високу завадостійкість, чітке перемикання, відсутність спотворень при малих змінах сигналу, стабільну роботу генератора.

Порівняно зі звичайними логічними елементами серії НС використання 74НС132 значно покращує стабільність роботи при малих швидкостях зміни вхідного сигналу.

Вибір високочастотного транзистора VT1.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		45

Для побудови високочастотного підсилювача використано біполярний NPN-транзистор VT1=BFP420 виробництва Infineon Technologies.

Основні характеристики:

Тип транзистора NPN;

Гранична частота 25 ГГц;

Коефіцієнт шуму менше 1 дБ;

Коефіцієнт підсилення до 19 дБ;

Корпус SOT-343.

Основною причиною вибору BFP420 є його робота в діапазоні надвисоких частот. Гранична частота транзистора становить 25 ГГц, що у десятки разів перевищує робочу частоту GSM. Тому коефіцієнт підсилення залишається високим навіть на частотах понад 1 ГГц.

Крім того, BFP420 характеризується дуже низьким коефіцієнтом шуму <1 дБ, що є критично важливим для приймання слабких сигналів від віддалених GSM-пристроїв. Таким чином, BFP420 є оптимальним вибором для побудови високочутливого ВЧ-підсилювача.

Вибір детекторного діода VD2.

Для детектування високочастотного сигналу використано діодну збірку VD2=HSMS-2855 виробництва Broadcom (Avago).

Основні характеристики:

Тип Діод Шотткі;

Бар'єрна напруга 150–250 мВ;

Ємність переходу 0,3 пФ;

Робоча частота до декількох ГГц;

Корпус SOT-23.

Діоди Шотткі мають значно меншу пряму напругу порівняно зі звичайними кремнієвими діодами. Для HSMS-2855 $U_F \approx 0.15 \dots 0.25$ В, що дозволяє ефективно детектувати дуже слабкі сигнали.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

Мала ємність переходу $C_j \approx 0.3$ пФ забезпечує роботу на частотах понад 1 ГГц без суттєвих втрат. Крім того, HSMS-2855 спеціально розроблений для RF-детекторів, вимірювачів поля, GSM-індикаторів, приймачів НВЧ-діапазону.

Отже, використання HSMS-2855 дозволяє отримати максимальну чутливість індикатора.

Таким чином, обрана елементна база повністю відповідає вимогам до високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM. Використання стабілізатора MCP1700 забезпечує мінімальне енергоспоживання, операційних підсилювачів MCP6042 – формування багаторівневої індикації, логічної мікросхеми 74HC132 – реалізацію звукового оповіщення, високочастотного транзистора BFP420 – підсилення слабких радіосигналів, а діодної збірки HSMS-2855 – ефективне детектування сигналів у діапазонах GSM-900 та GSM-1800. Сукупність зазначених характеристик дозволяє забезпечити високу чутливість, низьке енергоспоживання та компактність розробленого пристрою.

1.9 Розробка друкованої плати та вузла індикатора

Дальше проведено розробку топології друкованої плати. Її габарити. 45x55 мм. Плата одностороння. Використаний поверхневий монтаж SMD. Працює на частотах до 900 МГц. Застосовані корпуси SOIC-8, SOT-23, 0603 та 0805. Присутні високочастотні кола антени, підсилювача BFP420 та детектора HSMS-2855.

Площа плати визначається:

$$S = 45 \cdot 55$$

$$S = 2475 \text{ мм}^2$$

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

або

$$S = 24.75 \text{ см}^2$$

Для даного пристрою доцільно використати склотекстоліт FR-4.
Основні параметри:

$$\varepsilon_r = 4.3...4.8$$

$$\tan \delta = 0.02$$

Товщина основи $h = 1.5 \text{ мм}$.

Товщина міді $t = 35 \text{ мкм}$.

Цього достатньо для струмів менше 100 мА.

Розрахунок мінімальної ширини провідників.

Для внутрішніх кіл споживання струму дуже мале. Максимальний струм:

$$I_{max} = 30 \text{ мА}$$

Для зовнішнього шару плати IPC-2221:

$$W = \left(\frac{I}{k \cdot (\Delta T)^{0.44}} \right)^{\frac{1}{0.725}}$$

де

$$k = 0.048$$

$$\Delta T = 10^\circ \text{C}$$

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48

Після підстановки отримаємо $W \approx 0.08$ мм. Але технологічно доцільно прийняти $W = 0.25$ мм для сигнальних доріжок. Для ланцюгів живлення $W = 0.4...0.5$ мм.

Розрахунок опору друкованого провідника

Питомий опір міді $\rho = 0.0175$ Ом $\cdot$ мм²/м.

Нехай:

$$l = 40 \text{ мм}$$

$$W = 0.25 \text{ мм}$$

$$t = 35 \text{ мкм} = 0.035 \text{ мм}$$

Площа перерізу:

$$A = W \cdot t$$

$$A = 0.25 \cdot 0.035$$

$$A = 0.00875 \text{ мм}^2$$

Опір доріжки:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{0.04}{0.00875}$$

$$R \approx 0.08 \text{ Ом}$$

Втрати напруги при струмі 30 мА:

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		49

$$U = IR$$

$$U = 0.03 \cdot 0.08$$

$$U = 2.4 \text{ мВ}$$

Що є незначним.

Розрахунок високочастотної доріжки.

Оскільки схема працює на частоті $f = 900 \text{ МГц}$, довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6}$$

$$\lambda = 0.333 \text{ м}$$

$$\lambda = 333 \text{ мм}$$

Критична довжина провідника:

$$l_{\text{кр}} = \frac{\lambda}{10}$$

$$l_{\text{кр}} = 33.3 \text{ мм}$$

Тому всі ВЧ-з'єднання між WA1, L1, L2, VT1, VD2 необхідно робити коротшими за 30 мм, що виконано на даній платі.

Розрахунок паразитної індуктивності доріжки.

Для друкованих провідників $L \approx 1 \text{ нГн/мм}$. Для доріжки довжиною $l = 10 \text{ мм}$ одержимо $L_p \approx 10 \text{ нГн}$.

На частоті 900 МГц:

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						50
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi \cdot 900 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-9}$$

$$X_L \approx 56.5 \text{ Ом}$$

Тому ВЧ-доріжки повинні бути максимально короткими.

Розрахунок паразитної ємності.

Для плати FR-4 паразитна ємність складає приблизно 0.5...1 пФ/см.

Для доріжки довжиною 20 мм одержимо $C_p \approx 0.2 \text{ пФ}$.

На частоті 900 МГц:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_C \approx 884 \text{ Ом}$$

Вплив невеликий, але вхідний контур його вже відчуває.

Така топологія забезпечує мінімальні паразитні параметри та відповідає вимогам до високочастотних пристроїв, що працюють у діапазоні GSM-900. Для зменшення впливу паразитної індуктивності всі високочастотні з'єднання виконані максимально короткими, що дозволяє забезпечити високу чутливість індикатора випромінювання.

В результаті проведених розрахунків та із застосуванням САПР P-CAD було розроблено креслення друкованої плати, що наведене на рис. 1.8.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

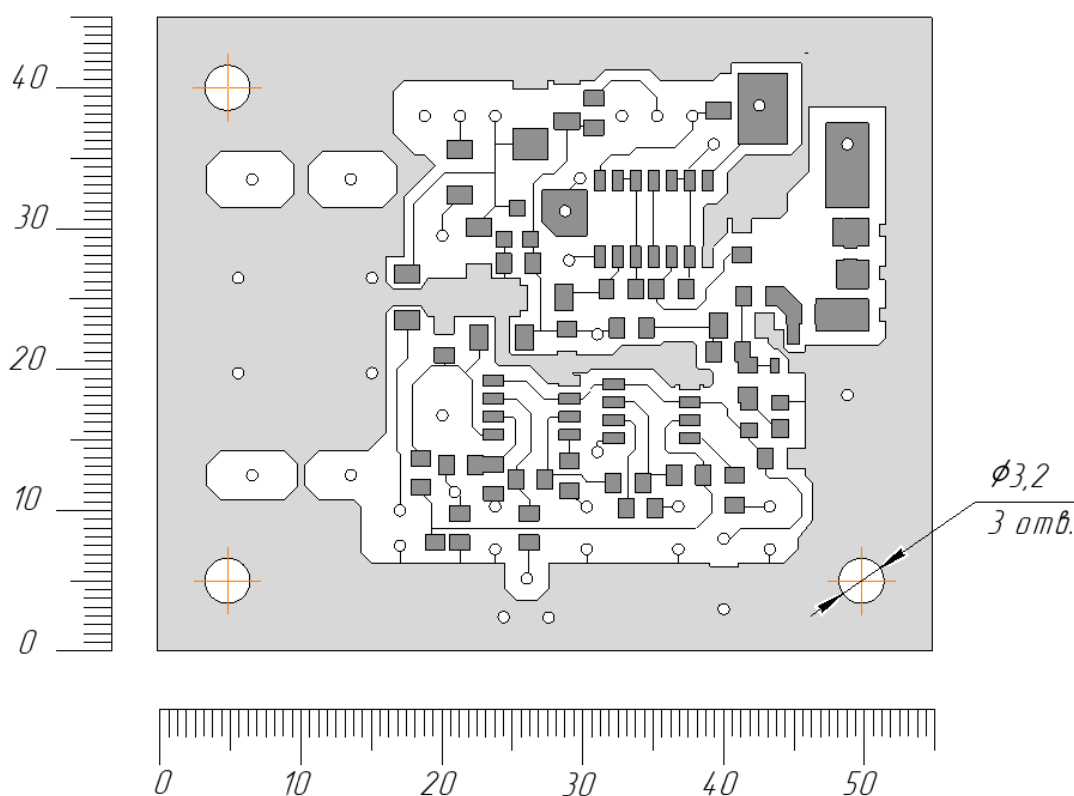


Рисунок 1.8 – Креслення друкованої плати проєктованого індикатора

Друкований вузол індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM розроблено на основі принципової електричної схеми та реалізовано у вигляді односторонньої друкованої плати з використанням технології поверхневого монтажу (SMD) та монтажу в отвори. Конструкція друкованого вузла забезпечує компактність пристрою, високу механічну надійність та мінімальний вплив паразитних параметрів на роботу високочастотних кіл.

На рис. 1.9 наведено монтажне креслення друкованого вузла, яке містить розташування всіх радіоелементів та конструктивних елементів пристрою.

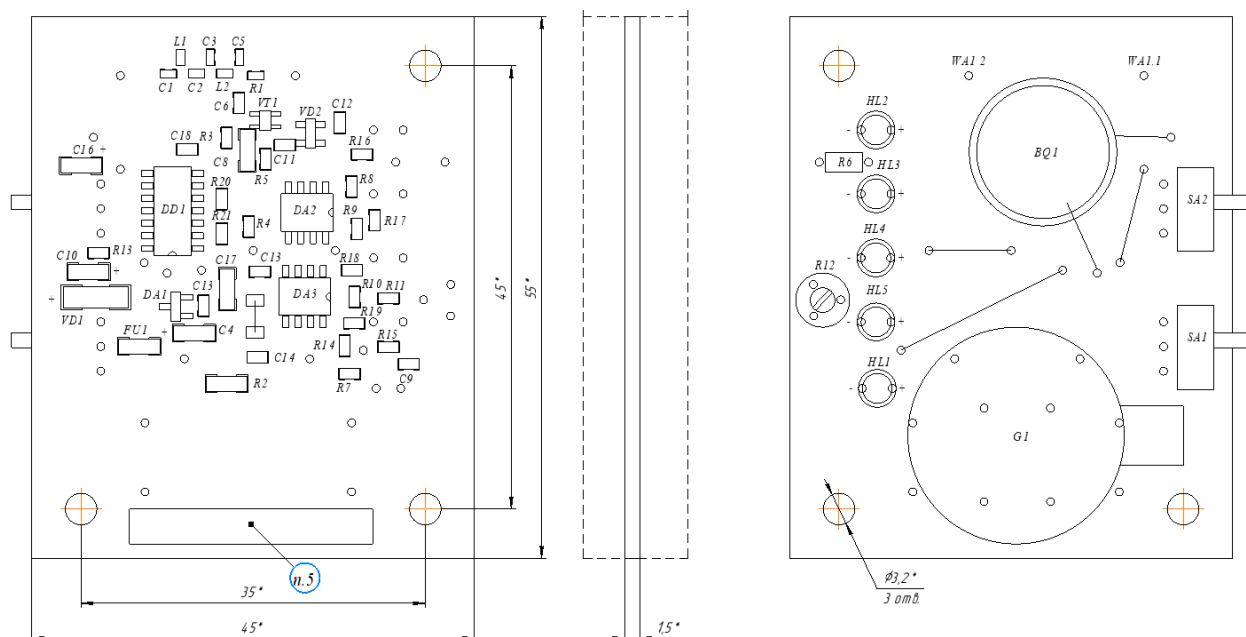


Рисунок 1.9 – Компоновка плати індикатора

Для виготовлення плати використано фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм з товщиною мідної фольги 35 мкм.

У кутах плати передбачено три монтажні отвори для кріплення друкованого вузла до корпусу пристрою. Таке рішення забезпечує механічну жорсткість конструкції та стійкість до вібрацій і ударних навантажень.

Розміщення елементів на друкованому вузлі

Під час компонування друкованого вузла особлива увага приділялася мінімізації довжини високочастотних з'єднань між антеною, вхідним контуром, підсилювачем та детектором.

У верхній частині друкованого вузла розміщено елементи високочастотного тракту:

- антенний вхід WA1;
- котушки індуктивності L1 та L2;
- конденсатори C1–C7;
- високочастотний транзистор VT1;
- детекторний діод VD2.

Таке розташування дозволяє зменшити паразитні індуктивності та ємності друкованих провідників, що особливо важливо при роботі на частотах GSM-900 та GSM-1800.

Безпосередньо біля транзистора VT1 розміщено елементи його кола зміщення та розв'язки: R3–R5; C8; C11; C12.

Мінімальна відстань між елементами високочастотного тракту забезпечує максимальний коефіцієнт підсилення та стабільність роботи пристрою.

У центральній частині плати встановлено операційні підсилювачі: DA2; DA3.

Поруч із ними розташовані елементи формування порогових рівнів: R8–R12; R14–R19; C13–C15.

Таке компонування дозволяє мінімізувати довжину сигнальних з'єднань між виходом детектора та входами компараторів.

Оскільки аналогова частина працює з низькорівневими сигналами, її розташовано на певній відстані від цифрових елементів для зменшення впливу комутаційних завад.

Логічна мікросхема DD1 розташована в лівій центральній частині плати.

Поруч знаходяться елементи звукового генератора: R20; R21; C17; C18.

Таке рішення дозволяє локалізувати цифрові імпульсні струми та запобігти їх проникненню у високочастотний тракт.

У нижній частині друкованого вузла розміщено: стабілізатор напруги DA1; конденсатори фільтрації C4 та C10; захисний діод VD1; запобіжник FU1; світлодіод індикації живлення HL1.

Подібне компонування забезпечує короткі струмові шляхи між джерелом живлення та стабілізатором і знижує рівень пульсацій живильної напруги.

На зворотному боці плати розташовані елементи інтерфейсу користувача: світлодіоди HL2–HL5; звуковий випромінювач BQ1; вимикач

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		54

живлення SA1; перемикач режимів SA2; батарея живлення G1; контакти антени WA1.1 та WA1.2.

Розміщення індикаторних світлодіодів в один вертикальний ряд дозволяє реалізувати зручну шкалу рівня випромінювання GSM-пристроїв.

Світлодіоди відображають потужність прийнятого сигналу за чотирирівневим принципом:

HL2 – мінімальний рівень;

HL3 – середній рівень;

HL4 – підвищений рівень;

HL5 – максимальний рівень.

Безпосередньо над джерелом живлення встановлено звуковий випромінювач BQ1, який забезпечує додаткову звукову індикацію виявлення випромінювання.

Переважає більшість елементів друкованого вузла виконана у корпусах поверхневого монтажу.

Застосування SMD-компонентів дозволило:

- зменшити габаритні розміри пристрою;
- підвищити щільність монтажу;
- скоротити довжину провідників;
- зменшити паразитні індуктивності та ємності;
- покращити високочастотні характеристики пристрою;
- підвищити технологічність виготовлення.

Особливо важливим використання SMD-монтажу є для високочастотного тракту, оскільки навіть незначне збільшення довжини виводів може призвести до погіршення параметрів на частотах близько 900 МГц.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		55

1.10 Висновки до розділу 1

В розділі проаналізовано параметри, яким має відповідати індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM. Насамперед було проаналізовано принцип організації стандарту GSM та пристрої, які його використовують. Також відзначено актуальність розроблення такого індикатора. Далше було проаналізовано варіанти реалізації такого індикатора, зокрема на основі широкосмугового індикатора радіочастотного поля, індикатора GSM-випромінювання з частотним фільтром, індикатора з логарифмічним детектором рівня сигналу, індикатора на базі мікроконтролера з цифровою обробкою сигналу, селективного індикатора для окремих діапазонів GSM, індикатора із спрямованою антеною для пошуку джерела випромінювання, індикатора на основі SDR-приймача. Також проаналізовано прототипи індикатора. На основі цього розроблено схему структурну та схему електричну високочутливого індикатора. Також проведено розрахунки елементів та виконано їх вибір. Розроблена схема є багатокаскадним індикатором радіочастотного випромінювання. Вона приймає GSM-сигнал антеною, виділяє його вхідним фільтром, підсилює високочастотним транзистором BFP420, детектує діодом HSMS-2855, обробляє операційними підсилювачами MCP6042 та формує світлову і звукову індикацію за допомогою світлодіодів і мікросхеми 74HC132D. Основна перевага такої схеми – поєднання високої чутливості, автономного живлення, простої індикації та здатності реагувати на імпульсне випромінювання GSM-пристроїв.

Далше було проведено проектування топології друкованої плати та друкованого вузла, що оформлені у вигляді відповідних креслень. Розроблена топологія забезпечує мінімальні паразитні параметри та відповідає вимогам до високочастотних пристроїв, що працюють у діапазоні GSM-900. Для зменшення впливу паразитної індуктивності всі високочастотні з'єднання

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		56

виконані максимально короткими, що дало можливість забезпечити високу чутливість індикатора випромінювання.

Під час компонування друкованого вузла забезпечено функціональне розділення високочастотної, аналогової, цифрової та силової частин пристрою. Застосування поверхневого монтажу дозволило суттєво зменшити паразитні параметри з'єднань та забезпечити стабільну роботу індикатора в діапазонах GSM-900 і GSM-1800. Розташування елементів відповідає вимогам до високочастотних пристроїв та забезпечує необхідну чутливість, надійність і технологічність конструкції.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		57

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Вплив ультразвуку на організм людини

Електромагнітне випромінювання в оптичній області, що примикає з боку коротких хвиль до видимого світла і має довжину хвиль в діапазоні 200...400 нм, називають ультрафіолетовим випромінюванням (УФВ). Вплив його на людину оцінюють еритемною дією (почервоніння шкіри, що приводить через 48 годин до її пігментації - засмазі).

Проблема ультрафіолетового випромінювання як виробничого та екологічного чинника обумовлена широким використанням джерел постачання в народному господарстві, збільшенням рівнів сонячного випромінювання у зв'язку зі зменшенням озонового шару, зростанням кількості захворювань, зокрема злоякісних і доброякісних пухлин шкіри, та інших порушень стану здоров'я, що викликаються ультрафіолетовою радіацією.

При тривалій відсутності УФВ в організмі розвивається «світлове голодування». Тому воно необхідно для нормальної життєдіяльності людини. Однак, при тривалому впливі великих доз УФВ можуть наступити серйозні поразки очей і шкіри. Зокрема, це може призвести до розвитку раку шкіри, кератитів (запалень рогівки) і помутніння кришталика очей (фотокератиту, який характеризується прихованим періодом від 0,5 до 24 годин). Для профілактики несприятливих наслідків, викликаних дефіцитом УФВ, використовують сонячне випромінювання, влаштовуючи солярії, інсоляцію приміщень, а також застосовуючи штучні джерела УФВ.

На промислових підприємствах джерелами ультрафіолетових випромінювань є дуга електрозварювання, ртутно-кварцові лампи, лазери, інші прилади та установки. Формування й вплив на працюючих оптичного випромінювання в ультрафіолетовій області відбувається при електрогазозварювальних процесах, на роботах з плазменними технологіями

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		58

(різка металу, напилювання, наплавлення металу), при використанні різних світильників та випромінювачів з кварцовими, ртутними, галогенними лампами, інших спектральних джерел. У різних галузях економіки та народного господарства широке застосування знаходять такі сучасні технології, як ультрафіолетове сушіння, установки для знезараження повітря, поверхонь та води, різні медичні та інші випромінювачі (перукарське устаткування, манікюрні лампи, солярії та інші).

Професіональному впливу УФВ піддаються електрогазозварювальники, копіювальники друкованих форм, працівники тепличних господарств, медичний персонал (фізіотерапевти, стоматологи, педіатри) та інші працівники, обслуговуючі різні джерела ультрафіолетового випромінювання. З іншого боку, при дорожніх, сільськогосподарських, будівельних та інших видах робіт, виконуваних на свіжому повітрі, відбувається вплив на працюючих природного УФ-випромінювання, як складової сонячної радіації. Окремо слід виділити групу працівників різних професій (звані "прихвачувальники"), які виконують спільні зі зварником роботи з фіксації деталей великогабаритних конструкцій в останній момент накладення первинного шва. Ці роботи виконують самі зварювальники (різних спеціальностей), і працівники інших професій - слюсарі механозбиральних робіт, монтажники та інші. Особливість таких робіт - короткочасність використання зварювальної дуги, її "імпульсний" характер під час "прихвачування" деталей зварювальної конструкції. Зазначені роботи, необхідно виконувати в окулярах із захисними фільтрами.

При впливі надлишкового ультрафіолетового випромінювання можливий розвиток низки захворювань і патологічних станів, насамперед, із боку органу зору, серед яких найчастіше відзначаються катаракта чи помутніння кришталика очі, запалення роговиці (кератит), слизових оболонок (фотоофтальмія). УФ-переопромінювання може призвести до хвороб шкірних покривів: запалювальне почервоніння шкіри чи еритема, прискорення

старіння шкіри, алергічні реакції, пухлини шкіри, в тому числі злоякісні (рак шкіри, меланома).

До засобів колективного захисту від УФВ відносяться різні пристрої (огорожувальні, вентиляційні, автоматичного контролю і сигналізації, дистанційного управління), а також знаки безпеки. Індивідуальний захист від УФВ здійснюють різними екранами: фізичними (у вигляді різних предметів, що поглинають, розсіюють або відображають промені) і хімічними (хімічні речовини та захисні креми, що містять інгредієнти, які поглинають УФВ). Для захисту також використовують виготовлений із тканини (попліну та ін) спеціальний одяг, окуляри із захисними фільтрами. Повний захист від УФВ усіх хвиль забезпечує флінтглас (скло, що містить окис свинцю) товщиною 2 мм. При влаштуванні приміщень враховують, що відображуюча властивість різних оздоблювальних матеріалів для УФВ і видимого світла різна.

2.2 Режим зони надзвичайної екологічної ситуації

Режим зони надзвичайної екологічної ситуації - це особливий правовий режим, який може тимчасово запроваджуватися в окремих місцевостях у разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій і спрямовується для попередження людських і матеріальних витрат, відвернення загрози життю і здоров'ю громадян, а також усунення негативних наслідків надзвичайної екологічної ситуації.

Запровадження відповідного правового режиму передбачає виділення державою (або органами місцевого самоврядування) додаткових фінансових та інших матеріальних ресурсів, достатніх для нормалізації екологічного стану і відшкодування завданих збитків, запровадження спеціального режиму поставок продукції для державних потреб, реалізації комплексних та цільових програм громадських робіт.

Законодавство про зону надзвичайної екологічної ситуації становлять:

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		60

- Закон України від 25 червня 1991 року "Про охорону навколишнього природного середовища";

- від 14 грудня 1999 року "Про аварійно-рятувальні служби";

- від 16 березня 2000 року "Про правовий режим надзвичайного стану";

- від 13 липня 2000 року "Про зону надзвичайної екологічної ситуації";

- а також прийняті відповідно до них нормативно-правові акти.

Підставами для оголошення окремої місцевості зоною надзвичайної екологічної ситуації можуть бути:

- значне перевищення гранично допустимих норм показників якості навколишнього природного середовища, визначених законодавством;

- виникнення реальної загрози життю та здоров'ю великої кількості людей або заподіяння значної матеріальної шкоди юридичним, фізичним особам чи навколишньому природному середовищу внаслідок надмірного забруднення навколишнього природного середовища, руйнівного впливу стихійних сил природи чи інших факторів;

- негативні зміни, які сталися у навколишньому природному середовищі на значній території і які неможливо усунути без застосування надзвичайних заходів з боку держави, або які суттєво обмежують чи виключають можливість проживання населення і провадження господарської діяльності на відповідній території;

- значне збільшення рівня захворюваності населення внаслідок негативних змін у навколишньому природному середовищі. Окрема місцевість України оголошується зоною надзвичайної екологічної ситуації Указом Президента України, затвердженим Верховною Радою України за пропозицією Ради національної безпеки і оборони України або за поданням Кабінету Міністрів України.

В такому Указі Президента України має бути зазначено:

- обставини, що стали причиною та обґрунтуванням необхідності оголошення окремої місцевості зоною надзвичайної екологічної ситуації;

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		61

- межі території, на якій вона оголошується;
- заходи щодо організаційного, фінансового та матеріально-технічного забезпечення життєдіяльності населення в такій зоні;
- основні заходи, що запроваджуються для подолання наслідків надзвичайної екологічної ситуації;
- обмеження на певні види діяльності в цій зоні;
- час, з якого окрема місцевість оголошується зоною надзвичайної екологічної ситуації;
- строк, на який ця територія оголошується такою зоною.

За наявності достатніх підстав у межах зони надзвичайної екологічної ситуації може бути введений правовий режим надзвичайного стану в порядку, встановленому відповідним законом із запровадженням додаткових заходів.

Юридичні та фізичні особи, винні у порушенні правового режиму в зоні надзвичайної екологічної ситуації, несуть відповідальність згідно з законами України.

2.3 Висновки до розділу 2

В розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано вплив ультразвуку на організм людини, також режими зони надзвичайної екологічної ситуації.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		62

Висновки

В кваліфікаційній роботі виконано проєктування високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM.

Проаналізовано параметри, яким має відповідати індикатор. Далше було проаналізовано принцип організації стандарту GSM та пристрої, які його використовують. Також відзначено актуальність розроблення такого індикатора. Далше було проаналізовано варіанти реалізації такого індикатора, зокрема на основі широкосмугового індикатора радіочастотного поля, індикатора GSM-випромінювання з частотним фільтром, індикатора з логарифмічним детектором рівня сигналу, індикатора на базі мікроконтролера з цифровою обробкою сигналу, селективного індикатора для окремих діапазонів GSM, індикатора із спрямованою антеною для пошуку джерела випромінювання, індикатора на основі SDR-приймача. Також проаналізовано прототипи індикатора. На основі цього розроблено схему структурну та схему електричну високочутливого індикатора. Також проведено розрахунки елементів та виконано їх вибір. Розроблена схема є багатокаскадним індикатором радіочастотного випромінювання. Вона приймає GSM-сигнал антеною, виділяє його вхідним фільтром, підсилює високочастотним транзистором BFP420, детектує діодом HSMS-2855, обробляє операційними підсилювачами MCP6042 та формує світлову і звукову індикацію за допомогою світлодіодів і мікросхеми 74HC132D. Основна перевага такої схеми – поєднання високої чутливості, автономного живлення, простої індикації та здатності реагувати на імпульсне випромінювання GSM-пристроїв.

Далше було проведено проєктування топології друкованої плати та друкованого вузла, що оформлені у вигляді відповідних креслень. Розроблена топологія забезпечує мінімальні паразитні параметри та відповідає вимогам до високочастотних пристроїв, що працюють у діапазоні GSM-900. Для

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		63

зменшення впливу паразитної індуктивності всі високочастотні з'єднання виконані максимально короткими, що дало можливість забезпечити високу чутливість індикатора випромінювання.

Під час компонування друкованого вузла забезпечено функціональне розділення високочастотної, аналогової, цифрової та силової частин пристрою. Застосування поверхневого монтажу дозволило суттєво зменшити паразитні параметри з'єднань та забезпечити стабільну роботу індикатора в діапазонах GSM-900 і GSM-1800. Розташування елементів відповідає вимогам до високочастотних пристроїв та забезпечує необхідну чутливість, надійність і технологічність конструкції.

Проведено аналіз безпеки життєдіяльності, основ охорони праці.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		64

Список використаних джерел

1. Malmstadt, Enke and Crouch, Electronics and Instrumentation for Scientists, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1981, ISBN 0-8053-6917-1, Chapter 3.
2. Allen, Phillip E.; Holberg, Douglas R. (2002). CMOS Analog Circuit Design. ISBN 978-0-19-511644-1.
3. Universal power adapter and charger solution for mobile terminals and other hand-held ICT devices. International Telecommunication Union. 2011-06-13.
4. The Shocking Truth About Transformerless Power Supplies. Hackaday. April 4, 2017. Archived from the original on April 16, 2022.
5. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.
6. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.
7. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [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, pp. 48-57 [in Ukrainian].
8. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		65

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.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

9. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

10. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів, І. Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. /Категорія В/ 2019. Вип. 79. С. 78-84. doi: 10.20535/RADAP.2019.79.78-84.

11. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.56-64.

12. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Матеріали та основи технології електронних апаратів» : для студентів напряму підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати" / укл. : В. Г. Дозорський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 47 с.

13. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		66

14. Ткачук Р. А. 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.

					ЯАВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		67

ДОДАТКИ

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

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв
стандарту GSM»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Дедів І.Ю. _____

“ ____ ” _____ 2026 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РА-41

Ярмаков А.В. _____

“ ____ ” _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Високочутливий індикатор випромінювання пристроїв стандарту GSM”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-199 від 28.04.2026 р.).

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Ярмаков А.В. групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка високочутливого індикатора випромінювання пристроїв стандарту GSM, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- Діапазон робочих частот – 880–960 МГц; 1710–1880 МГц;
- Тип виявлюваного сигналу – GSM (TDMA);
- Напруга живлення – 3 В;
- Стабілізована напруга внутрішніх вузлів – 2,5 В;
- Джерело живлення – батарея постійного струму 3 В;
- Струм споживання в режимі очікування – не більше 5 мА;
- Струм споживання при максимальній індикації – не більше 20 мА;
- Кількість рівнів світлової індикації – 4;

- Тип світлової індикації – світлодіодна;
- Тип звукової індикації – п'єзоелектрична;
- Частота звукового сигналу – близько 4 кГц;
- Час готовності після увімкнення – не більше 1 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 пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Отримання завдання на виконання роботи	28.04.2026
2	Аналіз отриманого завдання	05.05.2026
3	Виконання розділу 1	15.05.2026
4	Виконання розділу 2	26.05.2026
5	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2026
6	Оформлення презентаційного матеріалу	04.06.2026
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	06.06.2026
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
9	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
BQ1	Випромінювач FT-27T-4.0AI	1	
	Конденсатори		
	0603N0R5C50		
	TCM0J106M8R-02		
C1,C2,C6,C7	0603N0R5C50-10пФ	4	
C3	0603N0R5C50-3,3нФ	1	
C4,C10,C16	TCM0J106M8R-02-10мкФ-6,3В	3	
C5	0603N0R5C50-0,68пФ	1	
C8,C11-C15	0603N0R5C50-100нФ	6	
C9	0603N0R5C50-100пФ	1	
C17,C18	0603N0R5C50-10нФ	2	
	Мікросхеми		
DA1	MCP1700T-2502E/TT	1	
DA2,DA3	MCP6042-I/SN	2	
DD1	74HC132D	1	
	Світлодіоди		
HL1	HL-308U57GC	1	
HL2,HL3	RL30-PR344S	2	
HL4	GNL-3014UEC	1	
HL5	RL30-UY544S	1	
L1	Дросель ЯАВ 4.7.001 10 нГн	1	
L2	Дросель ЯАВ 4.7.002 5,6 нГн	1	

[illegible]

[illegible]

[illegible]