

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні

**Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення**

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка системи аналізу електромагнітних
хвиль радіодіапазону

Виконав: студент II курсу, групи 8.1763

Спеціальності 153 Мікро- та наносистемна технік

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
системи

(код і назва освітньої програми)

Кубасов В.С.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.

Світанько Микола Вікторович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доктор технічних наук, професор кафедри
електричної інженерії та кіберфізичних систем

Каваленко Л.В

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2024 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

(код і назва)

Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи

(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

Критська Т.В.

“ ____ ” _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Кубасову Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження та розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону»

керівник роботи Світанько Микола Вікторович

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

затверджені наказом ЗНУ від 28.02.2024 «361-с»

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи спектроаналіз, MULTISIM, MATLAB, прилад для вимірювання електромагнітних хвиль, атенюатор.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Автоматизовані системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону;

2. Розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

3. Техніко-економічне обґрунтування;

4. Охорона праці та техногенна безпека

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

1 – електромагнітні хвилі 2 – Спектроаналізатори 3 - Структурна схема системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону 4 - Антена детектора радіохвиль 5 - Електрична схема детектора радіохвиль 6 - Моделювання схеми детектора радіохвиль в редакторі Multisim 7 - Модель вимірювального стенду 8 - Обробка результатів експерименту в редакторі MathLab

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світанько М.В., доцент	01.03.2024	01.03.2024
II	Світанько М.В., доцент	01.03.2024	01.03.2024
III	Світанько М.В., доцент	01.03.2024	01.03.2024
IV	Світанько М.В., доцент	01.03.2024	01.03.2024

7 Дата видачі завдання 01 березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	21.10.2024	
2	Розрахункова частина	20.11.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування розробки	20.11.2024	
4	Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки	20.11.2024	
5	Розробка графічної частини роботи	24.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2024	
7	Нормоконтроль	02.12.2024	
8	Попередній захист роботи	05.12.2024	

Студент _____ Кубасов В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Світанько М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Верьовкін Л.Л.
(підпис)

Реферат

Дипломна робота містить 64 сторінки, 22 рисунка, 14 таблиць, 34 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – детектори електромагнітних хвиль радіодіапазону.

Мета роботи – дослідження та розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону.

Завдання роботи – розробити структурну схему пристрою, який буде реєструвати слабкі за інтенсивністю сигнали радіодіапазону; провести моделювання роботи схеми реєстратора слабких радіохвиль за допомогою сучасних САПР електронних схем; розглянути принцип ефективної обробки результатів експерименту по реєстрації частотного складу слабосигнальних радіохвиль.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, MathLab.

Короткий виклад результатів досліджень – розробити структурну схему пристрою, який буде реєструвати слабкі за інтенсивністю сигнали радіодіапазону, схеми реєстратора слабких радіохвиль за допомогою сучасних САПР електронних схем. Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – Іля покращення якості сигналу в умовах високих рівнів шумів рекомендується вдосконалити методи фільтрації шумів.

РАДІОХВИЛІ, СПЕКТРОАНАЛІЗАТОР, АНТЕНА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, PROTEU, SMATHLAB.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.03.2024 р. по 02.12.2024 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1. Радіохвилі	7
1.1 Класифікація за довжиною хвилі.....	9
1.2 Випромінювання і прийом радіохвиль	11
1.3 Поширення радіохвиль	12
1.4 Спектроаналізатори радіохвиль	13
2. Система аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	20
2.1 Структурна схема системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	20
2.2 Вибір антени системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	20
2.3 Електрична схема підсилювача сигналів	22
2.4 Обробка результатів експерименту з реєстрації частотного складу слабосигнальних радіохвиль	23 38
3. Техніко-економічне обґрунтування розробки розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	43
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення розробка електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	43
3.2 Розрахунок витрат на виробництво електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	48
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону	49
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	49
4.2 Виробнича санітарія.....	52

4.3 Електробезпека.....	53
4.4 Пожежна та техногенна безпека об'єкту	54
4.6 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату.....	55
Висновки та рекомендації.....	59
Перелік посилань.....	61

Вступ

Ми живемо у суцільному полі радіохвиль. Це викликає у людей протилежне занепокоєння: наскільки це шкідливо для здоров'я і наскільки кожне нове покоління радіозв'язку небезпечніше за попереднє.

З розвитком і постійним ростом кількості інформації і сервісів поставало і постає питання збільшення швидкості передачі даних. Кожне наступне покоління зв'язку вирішувало завдання із збільшенням об'єму і швидкості передачі даних. Це відбувалося шляхом зміни або модернізації технології (наприклад, модуляції сигналу) і шляхом перерозподілу і використання радіочастотного спектру під нові технології.

Слід враховувати, що радіочастотний спектр має певні особливості: по-перше, він обмежений, тобто, не вистачає радіочастотного ресурсу для всіх технологій, а, по-друге, його характеристики змінюються з ростом робочої частоти [1-4].

Науково-технічний прогрес у цій сфері базується на поєднанні фізичних основ електромагнітних хвиль, сучасних методів цифрової обробки сигналів та новітнього обладнання. Однак існуючі підходи мають обмеження у точності аналізу, швидкодії та універсальності застосування.

Тому, досить актуальним є питання вчасного виявлення випромінювання радіочастотного діапазону, а також аналіз його енергетичного впливу на навколишнє середовище.

1. Радіохвилі

Існує дві фундаментальні форми матерії: речовина і фізичне поле. До фізичних полів належать гравітаційні, електромагнітні поля, поля ядерних сил, а також хвильові (квантові) поля, які відповідають елементарним частинкам. Джерелами всіх фізичних полів є частинки. Джерелами електромагнітного поля є заряджені частинки. Створювані частинками фізичні поля переносять зі скінченною швидкістю їх взаємодію з іншими частинками тієї ж природи [1-4].

Електродинаміка — це наука про властивості електромагнітного поля, його взаємодії із зарядами та зв'язок електричних і магнітних явищ.

Електромагнітне поле (ЕМП) — це особлива форма матерії, що відрізняється неперервним розподілом у просторі (поле зарядів, електромагнітні хвилі) і проявляє дискретність структури (фотони), а також має властивість поширюватись у просторі і впливати на заряджені частинки і тіла (рисунок 1.1) [1-4].

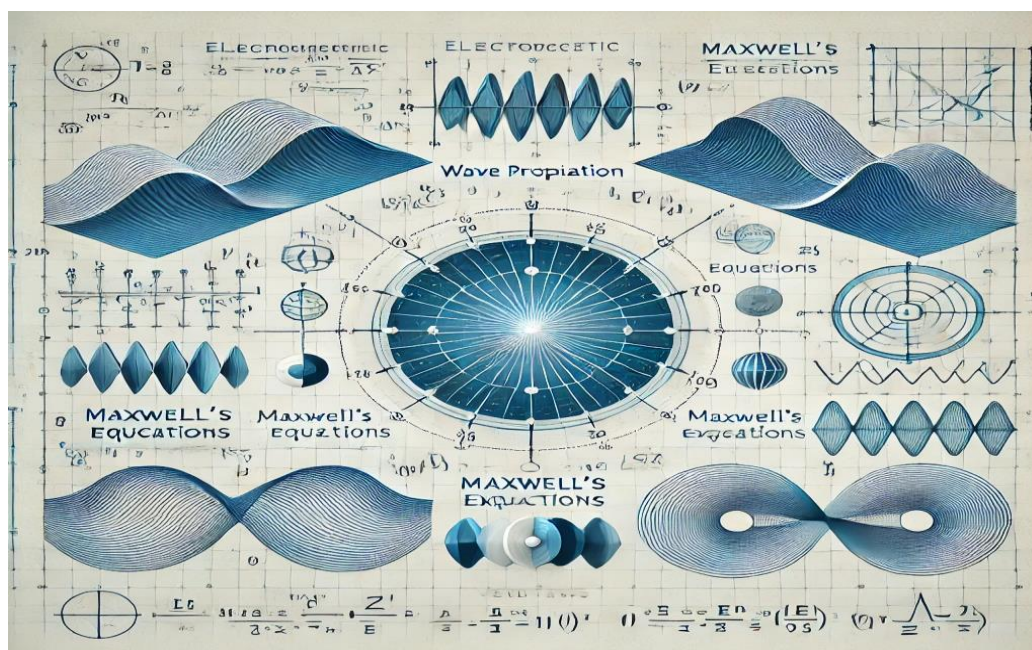


Рисунок 1.1 Електро-магнітне поле

Радіохвилі — діапазон електромагнітних хвиль з довжиною хвилі понад приблизно 1 мм (тобто з частотою нижче 300 ГГц). Як і всі

електромагнітні хвилі, радіохвилі у вакуумі поширюються зі швидкістю світла, а в атмосфері Землі — з трохи меншою швидкістю. Радіохвилі генеруються зарядженими частинками, які рухаються з прискоренням, наприклад змінними в часі електричними струмами. В природі радіохвилі випромінюють блискавки, різні типи астрономічних радіоджерел, а також усі нагріті об'єкти як теплове випромінювання [1-4].

В експериментах Герца (1880-ті) вперше були одержані хвилі з довжиною кілька десятків сантиметрів. В 1895-99 О. Попов вперше використав радіохвилі для бездротового зв'язку. З розвитком радіотехніки розширявся і частотний діапазон хвиль, що можуть бути згенеровані чи сприйняті радіоапаратурою. В природі існують і природні джерела радіохвиль у всіх частотних діапазонах. Наприклад таким джерелом може бути будь-яке нагріте тіло. Також радіохвилі можуть генеруватися деякими природними явищами (блискавка) або космічними об'єктами (нейтронні зірки) [1-4].

Використовуються радіохвилі не лише для власне радіо, але й для локації, дослідження космічних об'єктів, дослідження середовища, в якому вони поширюються, і в радіометеорології.

Радіохвилі були вперше передбачені теорією електромагнетизму, запропонованою в 1867 році шотландським фізиком-математиком Джеймсом Клерком Максвеллом. Його математична теорія, яка зараз називається рівняннями Максвелла, передбачила, що пов'язані електричне та магнітне поля можуть поширюватися в просторі як «електромагнітна хвиля». Максвелл припустив, що світло складається з електромагнітних хвиль дуже короткої довжини хвилі. У 1887 році німецький фізик Генріх Герц продемонстрував реальність електромагнітних хвиль Максвелла, експериментально генеруючи радіохвилі у своїй лабораторії, показавши, що вони виявляють ті самі хвильові властивості, що й світло: стоячі хвилі, заломлення, дифракцію та поляризацію. Італійський винахідник Гульєльмо Марконі розробив перші

практичні радіопередавачі та приймачі близько 1894–1895 років. У 1909 році він отримав Нобелівську премію з фізики за роботу в галузі радіо. Радіозв'язок почав використовуватися в комерційних цілях близько 1900 року. Сучасний термін «*радіохвиля*» замінив оригінальну назву «*хвиля Герца*» приблизно в 1912 році [1-4].

1.1. Класифікація за довжиною хвилі

Радіохвилі довжиною 100-10 км (частота 3-30 кГц) та довжиною 10-1 км (частота 30-300 кГц) називаються наддовгими (НДХ) та довгими (ДХ) хвилями, розповсюджуються у вільному просторі вздовж поверхні Землі і вдень і вночі і мало поглинаються водою. Тому їх використовують, наприклад, для зв'язку з підводними човнами (наддовгі хвилі). Однак, вони сильно слабшають по мірі віддалення від передавача, і тому передавачі повинні бути дуже потужними [1-7].

Хвилі довжиною 1000—100 м (частота 0,3-3 МГц), так звані середні хвилі (СХ), вдень сильно поглинаються іоносферою (верхнім шаром атмосфери, що має велику концентрацію іонів) та швидко слабшають, коли вночі іоносфера їх відбиває. Середні хвилі використовують для радіомовлення, причому вдень можна чути лише близько розташовані станції, а вночі — ще й дуже віддалені.

Хвилі довжиною 100-10 м (частота 3-30 МГц), так звані короткі (КХ), надходять до антени приймача, відбиваючись від іоносфери, причому вдень краще відбиваються коротші, а вночі — довші з них. Для таких радіохвиль можна створювати антени передавачів, котрі випромінюють електромагнітну енергію направлено, фокусують її у вузький промінь, і таким чином збільшувати потужність сигналу, що надходить до антени приймача. На коротких хвилях працює більшість станцій радіозв'язку — суднових, літакових та ін., а також багато станцій радіомовлення.

Радіохвилі довжиною 10 м-0,3 мм (частота 30 МГц-1 ТГц), що називаються ультракороткими (УКХ), не відбиваються і не поглинаються іоносферою, а на кшталт світлових променів, пронизують її і відходять у космос. Тому зв'язок на УКХ можливий лише на таких відстанях, коли антена приймача «бачить» антену передавача, тобто коли немає нічого між антенами, що могло б заступати шлях цим хвилям (гора, будинок, опуклість Землі та ін.). Тому, УКХ використовують в основному для радіорелейного зв'язку, телебачення, супутникового зв'язку, а також в радіолокації.

У таблиці 1.1 представлено піддіапазони радіохвиль [1-7].

Таблиця 1.1 Піддіапазони радіохвиль

Піддіапазони радіохвиль		
Піддіапазон	Довжина хвилі, м	Частота коливань, Гц
Наддовгі хвилі	Більша 10^4	Менша $3 \cdot 10^4$
Довгі хвилі	$10^4 — 10^3$	$3 \cdot 10^4 — 3 \cdot 10^5$
Середні хвилі	$10^3 — 10^2$	$3 \cdot 10^5 — 3 \cdot 10^6$
Короткі хвилі	$10^2 — 10$	$3 \cdot 10^6 — 3 \cdot 10^7$
Метрові хвилі	$10 — 1$	$3 \cdot 10^7 — 3 \cdot 10^8$
Дециметрові хвилі	$1 — 10^{-1}$	$3 \cdot 10^8 — 3 \cdot 10^9$
Сантиметрові хвилі	$10^{-1} — 10^{-2}$	$3 \cdot 10^9 — 3 \cdot 10^{10}$
Міліметрові хвилі	$10^{-2} — 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{10} — 3 \cdot 10^{11}$
Субміліметрові хвилі	$10^{-3} — 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{11} — 3 \cdot 10^{12}$

1.2 Випромінювання і прийом радіохвиль

На рисунку 1.2 представлена схема напівхвильової дипольної антени для прийому радіохвиль [1-7].

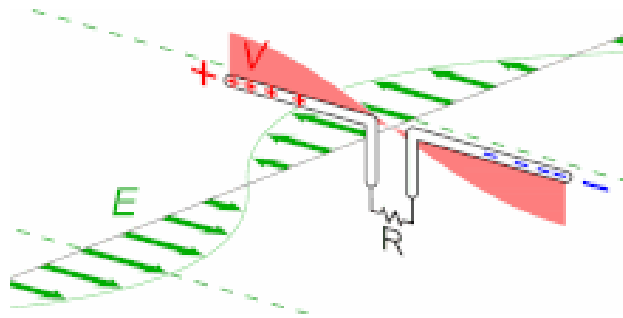


Рисунок 1.2 - Схема напівхвильової дипольної антени

Антенa складається з двох металевих стрижнів, з'єднаних з приймачем R . Електричне поле (E , зелені стрілки) вхідної хвилі штовхає електрони в стрижнях вперед і назад, заряджаючи кінці по черзі позитивно (+) і негативно (-). Оскільки довжина антени становить половину довжини хвилі, коливальне поле індукує стоячі хвилі напруги (V , представлене червоною смугою) і струму в стрижнях. Коливальні струми (чорні стрілки) протікають по лінії передачі та через приймач (позначений опором R).

Радіохвилі випромінюються зарядженими частинками під час їх прискорення. Природні джерела радіохвиль включають радіошум, створений блискавкою та іншими природними процесами в атмосфері Землі, а також астрономічні джерела радіохвиль у космосі, такі як Сонце, галактики та туманності. Усі теплі об'єкти випромінюють високочастотні радіохвилі (мікрохвилі) як частину випромінювання чорного тіла [1-7].

Радіохвилі створюються штучно змінними в часі електричними струмами, що складаються з електронів, які рухаються у металевому провіднику спеціальної форми, який називається антеною. Електронний пристрій під назвою радіопередавач подає коливальний електричний струм

до антени, а антена випромінює потужність у вигляді радіохвиль. Радіохвилі приймаються іншою антеною, приєднаною до радіоприймача. Коли радіохвилі потрапляють на приймальну антену, вони рухають електрони в металі, створюючи маленькі коливальні струми, які реєструються приймачем.

З точки зору квантової механіки, як і інше електромагнітне випромінювання, наприклад світло, радіохвилі можна розглядати як потоки незаряджених елементарних частинок, які називаються фотонами. В передаючій антені електрони випромінюють енергію окремими порціями, які називаються радіофотонами, а в приймальній антені електрони поглинають енергію як радіофотони. Антена є когерентним випромінювачем фотонів, як лазер, і всі радіофотони знаходяться в фазі [8-10]. Однак за формулою Планка-Ейнштейна енергія окремих радіофотонів надзвичайно мала^[3], від 10^{-22} до 10^{-30} джоулів, і навіть у передавачі дуже малої потужності антена випромінює величезну кількість фотонів за секунду. Тому випромінювання та поглинання радіохвиль зазвичай розглядають як неперервний класичний процес, що описується рівняннями Максвелла. Відомим винятком, коли випромінювання і поглинання радіохвиль доводиться розглядати з квантової точки зору, є радіолінії окремих атомів і молекул в радіоастрономії [8-10].

1.3 Поширення радіохвиль

В однорідному середовищі радіохвилі поширюються прямолінійно зі сталою для даного середовища швидкістю — так зване вільне поширення. Близьким до вільного є поширення радіохвиль в космічному просторі [8-10].

На поширення в атмосфері і в товщі Землі, при відсутності спрямовуючих систем типу хвилеводів, впливають електродинамічні властивості атмосфери і земної кори, кривина земної поверхні і нерівності її

рельєфу. Вплив атмосфери зумовлюється наявністю в ній плазми, в її верхніх шарах, та речовин, в основному кисню і водяної пари, що сильно поглинають сантиметрові й міліметрові радіохвилі; вплив земної кори — збудженням у ній радіохвилею електричного струму, на що витрачається частина енергії хвилі. Кривина земної поверхні і нерівності її рельєфу є причиною дифракції радіохвиль. Помітно дифрагують лише наддовгі та довгі радіохвилі. Коротші радіохвилі поширюються прямолінійно й огинають земну поверхню внаслідок відбивання від іоносфери, яка є відбивним середовищем для радіохвиль від наддовгих до коротких. Короткі радіохвилі, багаторазово відбиваючись від іоносфери і поверхні Землі, поширюються у своєрідному сферичному радіохвилеводі, стінками якого є нижня границя іоносфери і земна поверхня. Такі хвилі здатні забезпечувати радіозв'язок між найвіддаленішими пунктами Землі [8-10]..

З відбиванням радіохвиль від іоносфери пов'язане і явище завмирання радіосигналу, що пояснюється наявністю в ній зон з неоднаковими густиною й електричним зарядом. Для метрових і дециметрових хвиль іоносфера практично прозора. На цих хвилях підтримується зв'язок з літальними апаратами, які перебувають за межами іоносфери. Завдяки прозорості іоносфери для таких хвиль виявлено радіовипромінювання від неземних джерел, що дало поштовх розвитку радіоастрономії [8-10].

1.4 Спектроаналізатори радіохвиль

Наразі електромагнітні хвилі радіодіапазона для попереднього аналізу на інтенсивність і частотний склад проводять за допомогою сертифікованих пристроїв – спектроаналізаторів. На рисунку 1.3 представлено портативний спектральний/векторний мережевий аналізатор SHA850A [11]

Типовий робочий час 4 години

Вага 3,2 кг



**Діапазон частот від 9 кГц
до 3,6 ГГц / 7,5 ГГц**

GPS-локація і реєстрація

Рисунок 1.3 - Портативний спектральний/векторний мережевий аналізатор SHA850A

SIGLENT SHA850A, портативний портативний аналізатор спектру та кабельно-антенний аналізатор, є потужним і гнучким інструментом для польових і зовнішніх радіочастотних застосувань.

З діапазоном частот до 7,5 ГГц аналізатор забезпечує надійні автоматичні вимірювання та кілька режимів роботи. Аналізатор спектру, включаючи вбудований підсилювач і незалежне джерело сигналу, високу швидкість сканування, високу чутливість, може здійснювати моніторинг трансляції, сканування потужності каналу, визначення бездротових перешкод, моніторинг потужності, електромагнітну сумісність та інші функції. Тестер кабелів і антен із вбудованим модулем зсуву напруги постійного струму з функцією векторного аналізу мережі 1-шлях-2-порт може вимірювати TDR, VSWR, налагодження відповідності портів, вимірювання внесених втрат,

налагодження баштового підсилювача, визначення місця пошкодження кабелю, Smith діаграма тощо.

Функції

- Діапазон частот аналізатора спектру від 9 кГц до 3,6 ГГц/7,5 ГГц
- Тестовий діапазон частот кабелю та антени від 100 кГц до 7,5 ГГц, аналіз відстані до несправності та часової області
- Векторний аналізатор мережі (опція) Діапазон частот від 100 кГц до 7,5 ГГц, зміщення до 32 В постійного струму (опція)
- -165 дБм/Гц відображений середній рівень шуму (тип.)
- -104 дБн/Гц при 1 ГГц, зсув 10 кГц SSB Фазовий шум (тип.)
- Динамічний діапазон 114 дБ у режимі VNA (тип.)
- Джерело з повною пропускнуою здатністю (опція) і стандартний попередній підсилювач
- Режим аналізу модуляції аналогового та цифрового сигналу (опція)
- Advanced Measurement Kit з водоспадною діаграмою (опція)
- GPS-приймач і GPS-реєстрація (опція)
- Опція вимірювання потужності каналу, ACPR, гармонік і TOI
- Типовий робочий час 4 години, вага нетто 3,2 кг, мультисенсорний екран 8,4 дюйма

У таблиці 1.2 представлено технічні характеристики спектроаналізатора SHA850A.

Таблиця 1.2 Технічні характеристики спектроаналізатора SHA850A

	Діапазон частот	Дозвіл смуги пропускання (RBW)	Фазовий шум	Загальна точність амплітуди	Загальна точність амплітуди
SHA851A	9 кГц~3,6 ГГц	1 Гц ~ 3 МГц, у послідовності 1-3-10	-104 дБн/Гц	±0,7 дБ	-165 дБм/Гц
SHA852A	9 кГц~7,5 ГГц	1 Гц ~ 3 МГц, у послідовності 1-3-10	-104 дБн/Гц	±0,7 дБ	-165 дБм/Гц

На рисунку 1.4 представлено спектроаналізатор TinySA Ultra [12]



Рисунок 1.4 - Спектроаналізатор TinySA Ultra

Портативний аналізатор спектра з діапазоном частот від 100 кГц до 6 ГГц. Цей пристрій оснащений чотири дюймовим сенсорним резистивним кольоровим дисплеєм, який відображає повний діапазон частот при 450 точках сканування, і має в комплекті акумуляторну батарею, що забезпечує до двох годин роботи в портативному режимі. Крім того, аналізатор працює у двох режимах: нормальному та ультра режимі. На додачу, TinySA Ultra має безліч вбудованих опцій конфігурації, зокрема, смуговий фільтр та ступеневий вхідний атенюатор. Максимальний вхідний рівень TinySA становить +6 дБм. Коли tinySA Ultra не використовується як аналізатор спектру, його можна також використовувати як генератор сигналів синусоїдальної або прямокутної форми. Аналізатором можна повністю керувати за допомогою ПК через USB-кабель. Він також оснащений автоматичним самотестуванням та самокалібруванням за допомогою вбудованого генератора сигналів.

Технічні характеристики

- Частотний діапазон від 100 кГц до 800 МГц у звичайному режимі та до 6 ГГц у режимі ULTRA
- Вхідний опір 50 Ом, коли атенюатор включений на 10dB або більше

- Регульований ручний або автоматичний вхідний атенюатор сигналів з діапазоном від 0 dB до 31 dB і кроком 1 dB
- Максимальний вхідний рівень сигналів +10 dBm з вимкненим атенюатором
- Максимальний короткочасний рівень +20 dBm з включеним атенюатором 30 dB
- Рекомендована максимальна вхідна потужність +5 dBm з атенюатором, що працює в автоматичному режимі
- Для максимально коректних вимірювань дотримуйтесь рівня сигналу на вході не вище -25dBm
- Точка компресії для вимірювання інтермодуляційних спотворень 3 порядку (IP3) +15dBm з вимкненим атенюатором
- Точка компресії в 1dB на -1dBm з вимкненим атенюатором
- Роздільна здатність детектора потужності 0,5 dB. Лінійність залежно від частоти +/-2 dB
- Абсолютна точність детектора рівня потужності після калібрування +/- 2 dB
- Вбудований МШУ на 20dB LNA з рівнем шуму 5dB
- Найнижчий помітний сигнал без LNA на частоті 30 МГц при використанні смуги пропускання з роздільною здатністю 30 кГц -102 dBm
- Найнижчий помітний сигнал з LNA на частоті 30 МГц при використанні смуги пропускання роздільної здатності 200 Гц -145 dBm
- Точність частоти, що дорівнює обраній роздільній здатності смуги пропускання
- Фазовий шум -90dB/Hz на зміщенні 100 кГц і -120dB/Hz на зміщенні 1 МГц
- Динамічний діапазон при використанні смуги пропускання з роздільною здатністю 30 кГц 70 dB
- Дозволяючі фільтри 0.2, 1, 3, 10, 30, 100, 300, 600 і 850 кГц

- Дозвіл сканування 51, 101, 145, 290 або 450 точок
- Швидкість сканування понад 1000 точок за секунду
- Автоматична оптимізація фактичних точок сканування для забезпечення охоплення всього діапазону сканування незалежно від вибраного дозволу смуги пропускання
- Вихід на навушники для прослуховування демодульованого сигналу (тільки АМ)

Генератор стандартних сигналів:

- Синусоїдальний сигнал з рівнем гармонік менше -40dB в діапазоні від 100 кГц до 800 МГц
- Рівень вихідного сигналу з кроком 1dB в діапазоні від -113dBm до -18dBm
- До 800 МГц можна вибрати 2 варіанти точності генерації за вихідним сигналом:
 - 1) Чистий сигнал: меандр аж до 4.4ГГц з грубим налаштуванням частоти та низькою точністю рівнів вихідного сигналу
 - 2) Високоточний режим: максимальне придушення гармонік до 5.4ГГц з гарною роздільною здатністю по частоті аж до 800МГц, точні рівні сигналів на виході генератора
- Точність вихідного рівня +/- 2 dB до 800 МГц в діапазоні від -72 dBm до -18 dBm, менша точність нижче -72 dBm, ще менша точність нижче -110 dBm
- Діапазон частот від 44Hz до 800 МГц
- Окремі налаштування за модулюючим сигналом для АМ і FM від 50 Гц до 5 кГц (АМ) або 1 кГц (FM) або режим ГЧЧ у вибраному діапазоні
- Глибина модуляції від 10% до 100%
- Девіація частоти FM від 1 кГц до 300 кГц
- Калібрувальний генератор: генератор меандру з рівнем виходу - 35.6dBm. Підключений до виходу CAL. Частоти фіксовані 1 МГц, 2 МГц, 4 МГц, 10 МГц, 15 МГц або 30 МГц

Характеристики батареї:

- Час зарядки приблизно 1 годину при струмі 500мА.
- Час роботи на повністю зарядженому акумуляторі приблизно 2 години.

Комплектація:

- TinySA Ultra (з акумулятором 3000mAh) – 1 шт.
- USB Type-C дата кабель – 1 шт
- Кабель 30cm ALSR100SMA – 2 шт
- Перехідник SMA female -SMA female - 1 шт
- Телескопічна антена – 1 шт
- Ремінець зі стилусом – 1 шт
- Карта пам'яті 32GB MicroSD card – 1 шт.

Представлені системи аналізу випромінювання радіохвиль є досить дорогими (від 10 тис грн. до 100 тис. грн.). Здешевлення такої системи можливе за рахунок виготовлення системи не у комплексній реалізації, а у вигляді окремих блоків, пов'язаних функціонально.

Тому, метою дипломної роботи є дослідження та розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону.

Для досягнення мети у роботі потрібно виконати такі завдання:

- 1) на підставі аналізу існуючих систем обрати найбільш ефективну;
- 2) розробити структурну схему пристрою, який буде реєструвати слабкі за інтенсивністю сигнали радіодіапазону;
- 3) провести моделювання роботи схеми реєстратора слабких радіохвиль за допомогою сучасних САПР електронних схем;
- 4) розглянути принцип ефективної обробки результатів експерименту по реєстрації частотного складу слабосигнальних радіохвиль;
- 5) провести техніко-економічний розрахунок системи, що розробляється;
- 6) розробити заходи із норм дотримання умов безпеки праці та техногенної безпеки.

2. Система аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

2.1 Структурна схема системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

На підставі проведеного у розділі 1 аналізу існуючих систем, пропонується структурна схема системи, яка предсталена на рисунку 2.1.

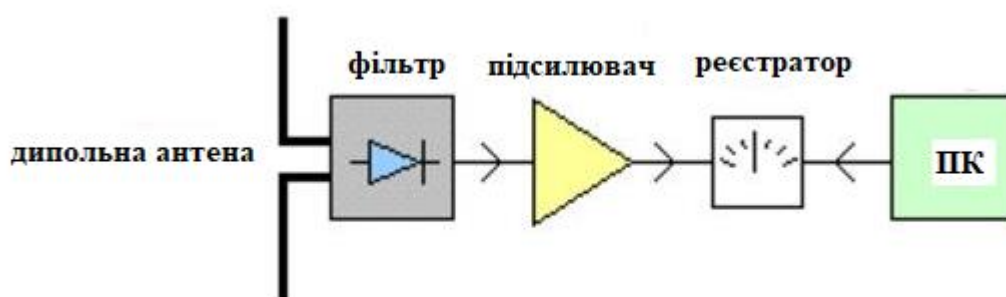


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

Структурна схема включає дипольну антену, фільтр сигналів, підсилювач, реєструючий пристрій, блок обробки вимірювань (персональний комп'ютер).

2.2 Вибір антени системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

Як будь-яку інженерну конструкцію, антену можна характеризувати за допомогою цілого ряду загально-технічних та економічних показників, до числа яких потрібно віднести габарити, складність конструкції, вартість виготовлення, надійність роботи, довговічність і т.п. Однак вказані показники не характеризують антену з точки зору специфічних функцій, виконуваних нею, як частиною радіотехнічної системи того чи

іншого призначення [13-16].

Будь-яка антена повинна виконувати дві функції.

Перша функція полягає в перетворенні енергії електромагнітного поля, пов'язаної з хвилями, що розповсюджуються в лінії передачі, або струмами генератора НВЧ, в енергію електромагнітних хвиль, що поширюються у вільному просторі (для передавальної антени) [13-16].

Приймальна антена повинна виконувати зворотне перетворення.

Друга функція полягає у випромінюванні радіохвиль переважно в одному заданому напрямку із заданою поляризацією (режим передачі) або виділення на фоні завад корисних сигналів, які приходять із заданого напрямку та мають визначену поляризацію (режим прийому) [13-16].

На рисунку 2.2 представлено основні стандартні типи приймальних антен радіохвиль

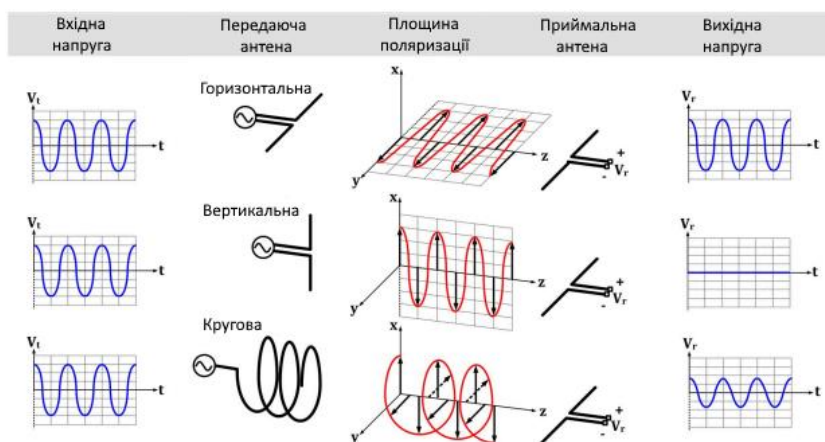


Рисунок 2.2 - Основні стандартні типи приймальних антен радіохвиль

Для розробки обираємо всеспрямовану антену типу диполь, яка використовується у квадрокоптерах (рисунок 2.3) [13-16].

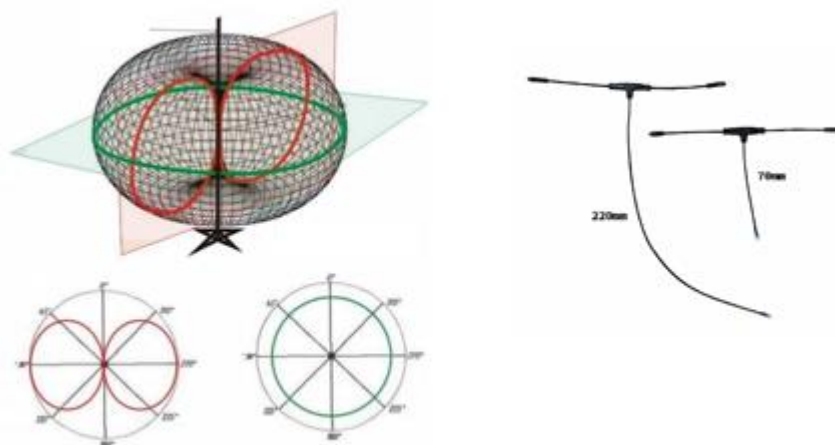


Рисунок 2.3 - Всеспрямована антена типу диполь

2.3 Електрична схема підсилювача сигналів

Проаналізуємо схеми детекторів радіохвиль і оберемо найбільш ефективну для розроблюваного пристрою.

На рисунку 2.4 представлена схема детектора із індикацією на двох світлодіодах [17-20].

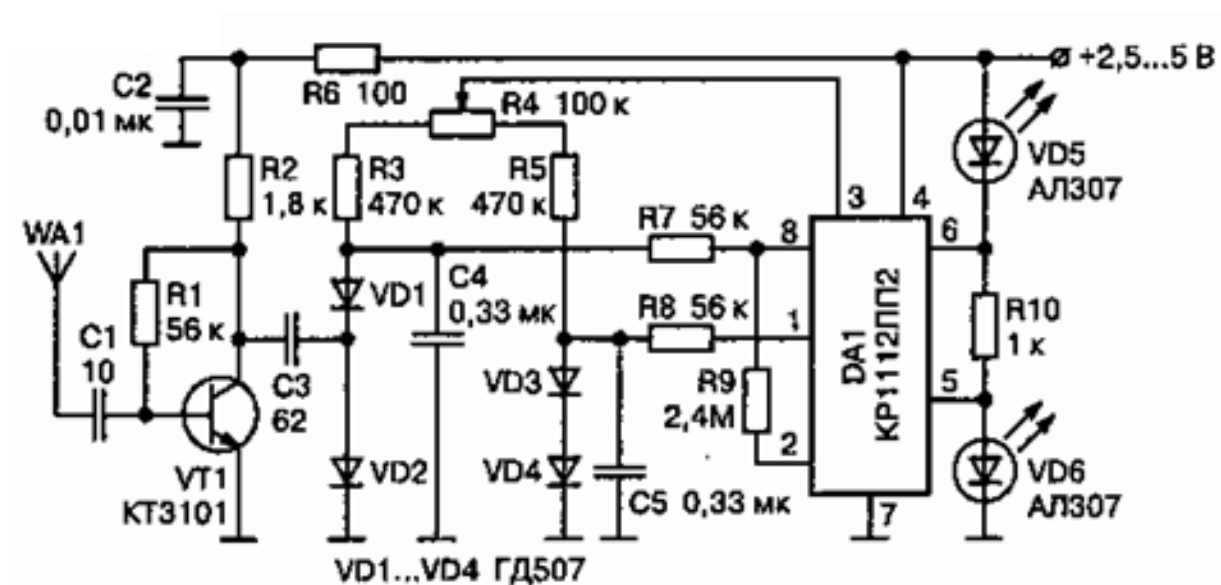


Рисунок 2.4 - Схема детектора із індикацією на двох світлодіодах.

Основу цього пристрою становить мікросхема DA1 типу КР1112ПП2. Ця мікросхема включає пристрій визначення балансу електричного моста з індикацією. Мікросхема має вбудоване джерело опорної напруги.

Сигнал, що наводиться в антені, посилюється широкопasmовим аперіодичним підсилювачем високої частоти транзисторі VT1 типу КТ3101. Посилена змінна напруга високої частоти через конденсатор С3 надходить у діоднорезистивний міст на діодах VD1-VD4 типу ГД507 та резисторах R3-R5. Від джерела опорної напруги (виведення 3 мікросхеми DA1) через резистори R3-R5 і діоди VD1-VD4 протікає невеликий (приблизно кілька мікроампер) прямий струм, який покращує умови детектування та збільшує чутливість детектора [17-20].

У випрямленні вимірюваної змінної напруги беруть участь тільки діоди VD1 і VD2, а два інших - VD3, VD4 - утворюють сусіднє плече моста, на якому створюється початкова напруга, що балансує міст, і одночасно служать для його термокомпенсації.

Всі діоди повинні підбиратися з найближчими вольт-амперними характеристиками. Конденсатор С4 фільтрує змінну складову випрямленої напруги. Резистор R4 служить для точного балансування моста. При хорошому балансуванні пристрій буде реагувати тільки на напругу, що є результатом випрямлення сигналу, що вимірюється.

Випрямлена напруга і напруга, що балансує міст через резистори R7 і R8 надходять на входи підсилювача постійного струму, розташованого в мікросхемі DA1 [17-20].

В залежності від стану балансу моста сигнал індикації надходить на один із світлодіодів VD5 або VD6 (типу АЛ307).

Нарисунку 2.5 представлено схему індикатора поля.

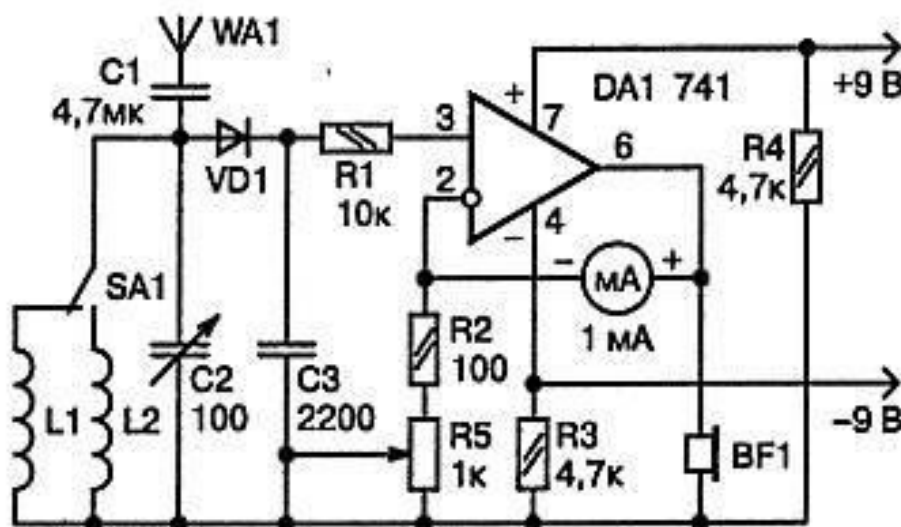


Рисунок 2.5 – Схема індикатора поля

Перевагою схеми є її простота. Але цій схемі притаманний дуже великий недолік, саме низька фільтрація на вході [17-20].

Через низьку фільтрацію на вході індикатор реагує навіть на електричну проводку в приміщенні, до того ж він має дуже низьку чутливість (близько 50 мВ), тому малопотужні передавачі знаходити важко.

Розглянемо роботу принципової схеми. Сигнал, прийнятий антеною WA, детектується діод VD1, а виділений низькочастотний сигнал посилюється мікросхемою DA1. Живлення мікросхеми однополярне. Коефіцієнт посилення регулюється змінним резистором R5. На виході пристрою підключено стрілочний індикатор для візуального контролю рівня та випромінювання або головні телефони для роботи в режимі монітора.

Стрілка вимірювальна головка повинна бути зі струмом повного відхилення 1 мА і опором рамки не менше 1 кОм. Мікросхему бажано використовувати з польовими транзисторами на вході, таку як K140УД8 [17-20].

Діод VD1 повинен бути обов'язково германієвий, типу Д9, ГД 507. Антена WA - медий провід довжиною 30 см.

На рисунку 2.6 представлена схема індикатора поля на ІМС з логікою[17-20].

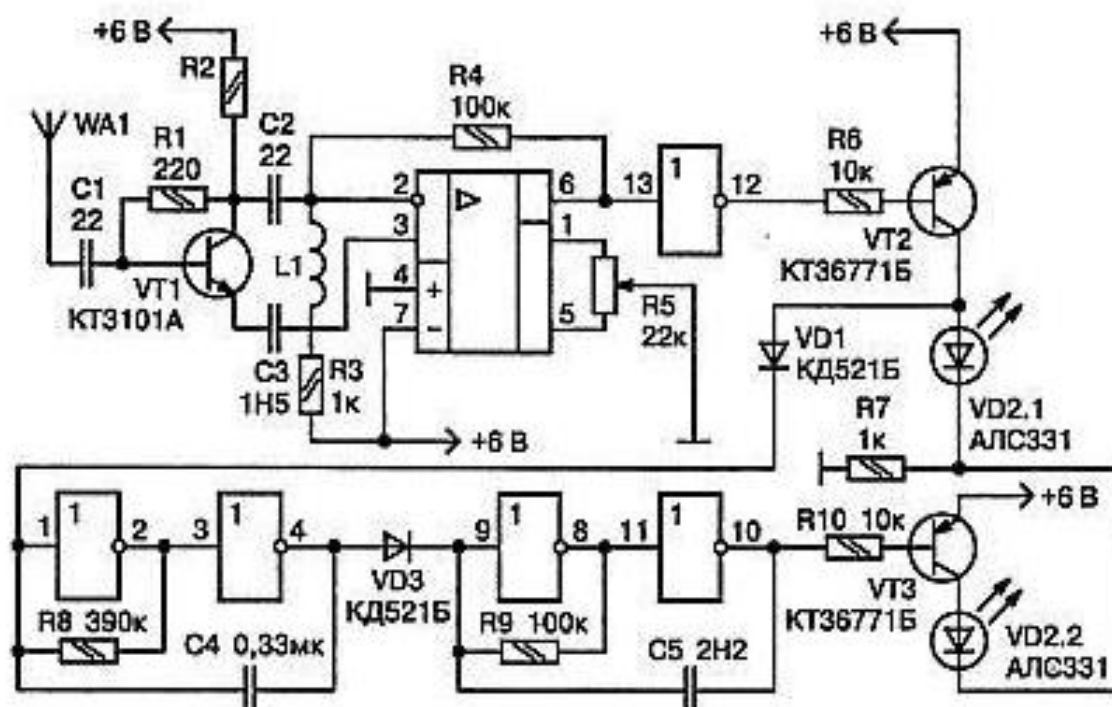


Рисунок 2.6 – Схема індикатора поля на ІМС з логікою

Робоча частота становить 20-1300 МГц, чутливість - 1 мВ, межі локалізації лежать у межах 0,05-7 м. Напруга живлення 4,5-9, а струм споживання не перевищує 8 мА. Прилад має телескопічну антену [17-20].

Цей пристрій призначений для локального пошуку радіозакладок. Його відмінними рисами є:

- простота повторення;
- надійність;
- малі габарити.

І цей прилад має недолік — трохи реагує на сторонні випромінювання радіоефіру від телерадіопередавальних станцій, радіотелефонів. Але цей недолік з лишком компенсується простотою та дешевизною індикатора.

Вхідний сигнал, наведений телескопічною антеною, надходить на вхідний підсилювач ВЧ, побудований на транзисторі VT1, і далі через фільтр C1, L1, C3 на детектор-компаратор DA1 [17-20].

Поріг включення компаратора встановлюється резистором R5. Сигнал компаратора з виходу 6 через інвертор DD1.3 і VT2 ключ управляє генератором прямокутних імпульсів на елементах DD1.4, DD1.5 з частотою 1 Гц, який, у свою чергу, включає генератор звукової частоти на DD1.1, DD1.2.

Світлодіод VD1 - двоколірний:

- VD1.1 сигналізує про включення живлення зеленим світлом;
- VD2.2 сигналізує про виявлення джерела радіовипромінювань червоним світлом.

Налаштування приладу полягає у виборі ОУ DA1 з можливо більшим коефіцієнтом посилення.

Відстань, на якій індикатор повинен стійко реагувати, маючи антену довжиною 30 см, на радіопередавач потужністю 1 мВт має бути не менше 50 см.

Транзистор КТ3101 можна замінити на КТ371, КТ368 з коефіцієнтом посилення не менше ніж 150. Операційний підсилювач - К140УД608, К140УД708.

Світлодіод АLC331 можна замінити звичайними, типу АLC307, включивши їх замість VD1.1 і VD1.2. Котушка індуктивності має 19 витків, намотаних у ряд на будь-якому резисторі МЛТ 0,125, проводом ПЕЛ-0,1.

На рисунку 2.7 представлена схема широкополосного детектора поля [17-20].

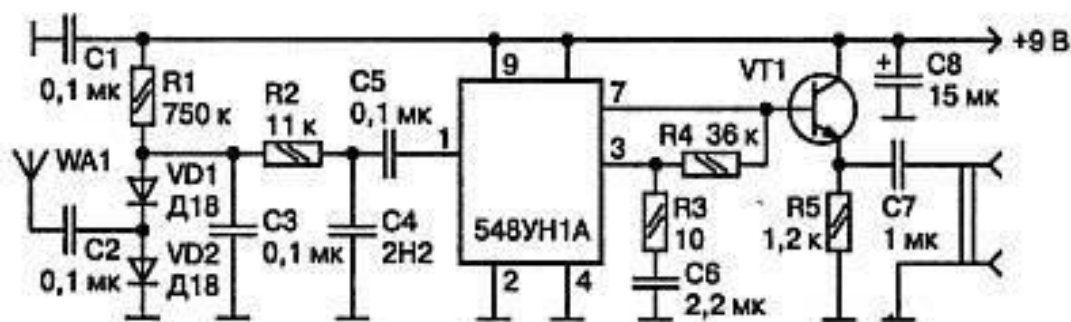


Рисунок 2.7 – Схема широкополосного детектора поля

Цей детектор дозволяє знайти зафіксувати поля, що працюють на частотах від кількох десятків кілогерц до 500 мегагерц. Антена – шматок дроту, довжиною близько 40 см. Вихід на навушники від плеєра (низькоомні). Живлення від батареї «Крона».

На рисунку 2.8 представлена схема малогабаритного детектора [21-29].

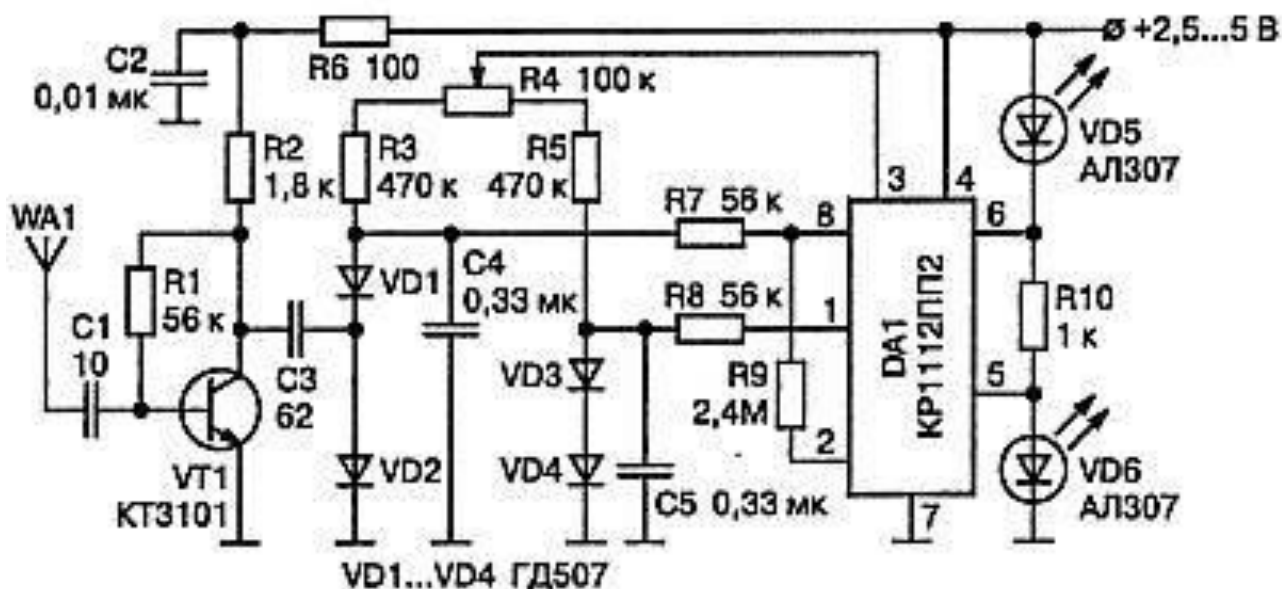


Рисунок 2.8 – Малогабаритний детектор

Схема з індикацією на двох світлодіодах відрізняється малими габаритами, малою кількістю деталей, що використовуються і, разом з тим, досить високою чутливістю.

Основу цього пристрою становить мікросхема DA1 типу KP1112ПП2. Ця мікросхема включає пристрій визначення балансу електричного моста з індикацією. Мікросхема має вбудоване джерело опорної напруги.

Сигнал, що наводиться в антені, посилюється широкопasmовим аперіодичним підсилювачем високої частоти транзисторі VT1 типу KT3101. Посилена змінна напруга високої частоти через конденсатор C3 надходить у діодно-резистивний міст на діодах VD1-VD4 типу ГД507 та резисторах R3-R5.

Від джерела опорної напруги (виведення 3 мікросхеми DA1) через резистори R3-R5 і діоди VD1-VD4 протікає невеликий (приблизно кілька

мікроампер) прямий струм, який покращує умови детектування та збільшує чутливість детектора [21-29].

У випрямленні вимірюваної змінної напруги беруть участь тільки діоди VD1 і VD2, а два інших - VD3, VD4 - утворюють сусіднє плече моста, на якому створюється початкова напруга, що балансує міст, і одночасно служать для його термокомпенсації.

Всі діоди повинні підбиратися з найближчими вольт-амперними характеристиками.

Конденсатор C4 фільтрує змінну складову випрямленої напруги. Резистор R4 служить для точного балансування моста. При хорошому балансуванні пристрій буде реагувати тільки на напругу, що є результатом випрямлення сигналу, що вимірюється.

Випрямлена напруга і напруга, що балансує міст через резистори R7 і R8 надходять на входи підсилювача постійного струму, розташованого в мікросхемі DA1.

В залежності від стану балансу моста сигнал індикації надходить на один із світлодіодів VD5 або VD6 (типу АЛ307) [21-29]:

- при балансі моста (відсутність сигналу) включений світлодіод VD5;
- за наявності сигналу (порушення балансу моста) увімкнено світлодіод VD6.

Як діоди VD1—VD4 можна використовувати будь-які високочастотні діоди. Як джерело живлення використовується джерело постійного струму напругою 2,5-5 В.

На рисунку 2.9 представлена схема детектор радіохвиль з чутливістю частот до 500 МГц [21-29].

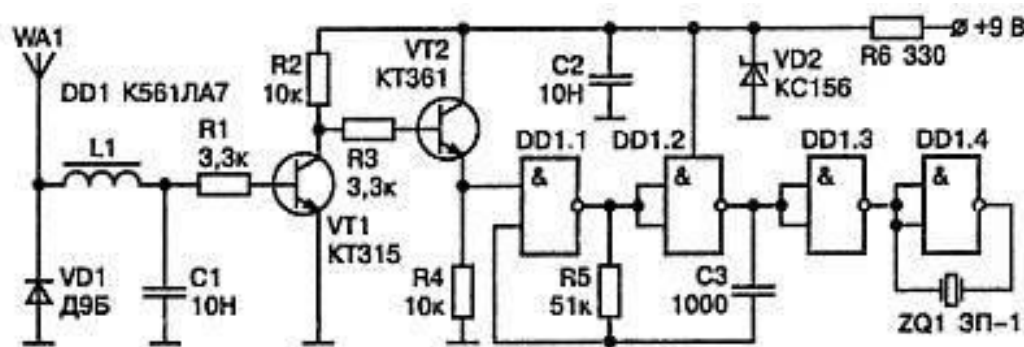


Рисунок 2.9 Детектор радіохвиль з чутливістю частот до 500 МГц

Налаштувати детектор можна шляхом зміни довжини телескопічної приймальної антени. Телескопічна приймальна антена сприймає високочастотні електромагнітні коливання в діапазоні до 500 МГц, які детектуються потім діодом VD1 типу Д9Б.

Схема працює в такий спосіб. Високочастотна складова сигналу фільтрується дроселем L1 і конденсатором C1. Низькочастотний сигнал надходить через резистор R1 на базу транзистора VT1 типу КТ315, що призводить до відкриття останнього і, як наслідок, відкриття транзистора VT2 типу КТ361.

При цьому на резистори R4 з'являється позитивна напруга, близька до напруги живлення, яке сприймається логічним елементом DD1.1 мікросхеми DD1 типу К561ЛА7 як рівень логічної одиниці.

При цьому включається генератор імпульсів на елементах DD1.1, DD2.2, R5 та C3, з виходу якого імпульси з частотою 2 кГц надходять на вхід буферного каскаду на елементах DD1.3, DD1.4.

Живиться детектор від джерела струму напругою 9 через параметричний стабілізатор на елементах VD2, R6 [21-29].

У детекторі використовуються резистори типу МЛТ-0Д25. Діод VD1 можна замінити на ГД507 або будь-який германієвий високочастотний. Транзистори VT1 та VT2 можуть бути замінені на КТ3102 та КТ3107, відповідно. Стабілітрон VD2 може бути будь-яким із напругою стабілізації 4,7-7,0 В. П'єзокерамічний перетворювач ZQ1 можна замінити на ЗП-22. Індуктивність L1 - 1 мГн.

На рисунку 2.10 представлена схема низькочастотного індикатора радіохвиль [21-29].

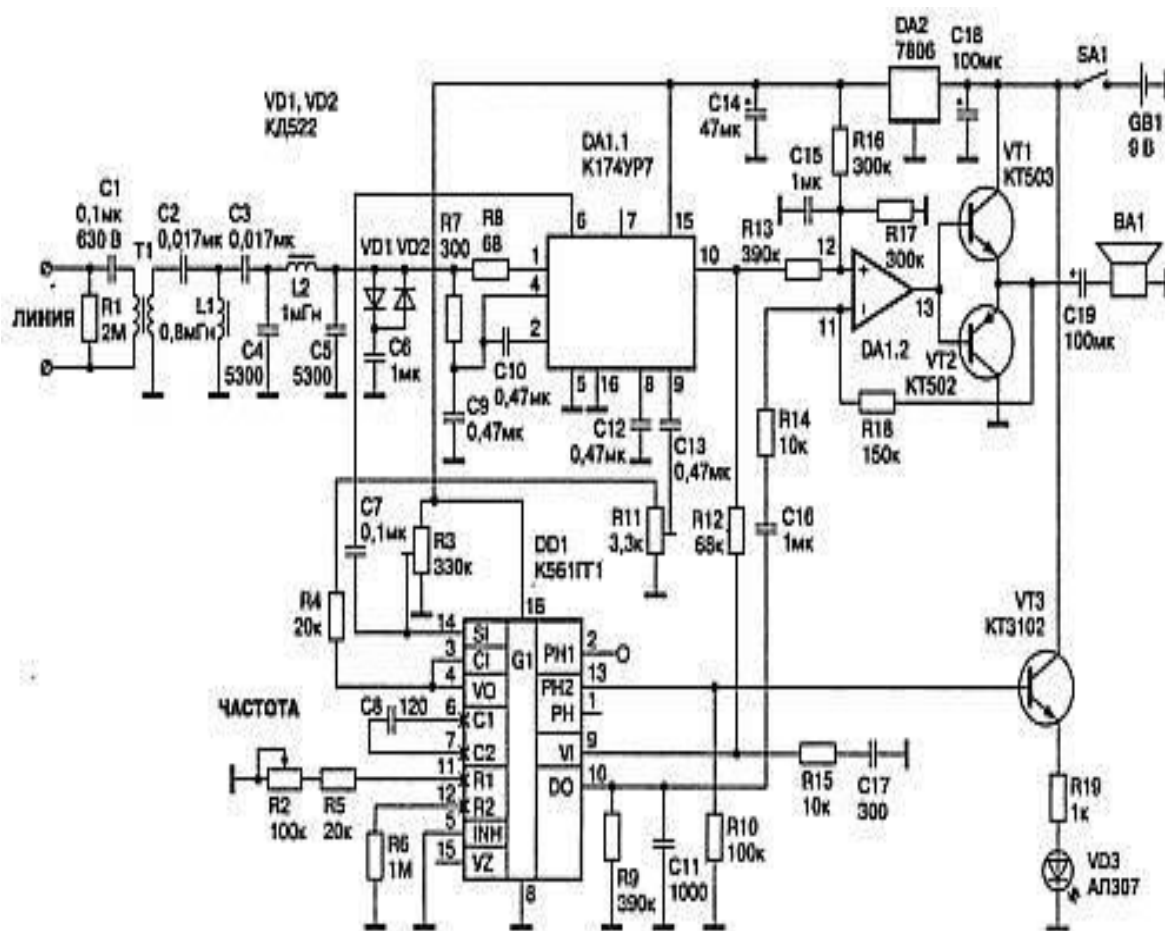


Рисунок 2.10 - Низькочастотний індикатор радіохвиль

Після трансформатора включений смуговий фільтр із частотами зрізу 30-100 кГц. Фільтр складається з послідовно включених фільтра високих частот C2, C3, L1 і фільтра низьких частот C4, C5, L2. Фільтри виконані на пасивних елементах, так як в досліджуваних лініях може бути висока змінна напруга інших частот (як, наприклад, електричної мережі) [21-29].

Далі вся виділена смуга частот посилюється внутрішнім підсилювачем-обмежувачем мікросхеми DA1. Ланцюжок VD1, VD2, C6 служить захисту мікросхеми від високовольтних імпульсів. Посилений та обмежений сигнал демодулюється частотним детектором з ФАПЛ. Петля фазового

автопідстроювання частоти включає генератор керований напругою зі складу мікросхеми DD1 і фазовий детектор зі складу мікросхеми DA1 [21-29].

З виходу 10 DA1 через пропорційно-інтегруючий фільтр на R12, R15, C17 сигнал керування надходить на вхід ГУНа. до фазового детектора внутрішніми ланцюгами DA1.

Фазові детектори зі складу DD1 не використовуються при демодуляції звуку, один з них тільки управляє світлодіодом індикації VD3 через повторювач на транзисторі VT3. Використання фазового детектора мікросхеми DA1 в петлі ФАПЧ дозволяє отримати більш якісне детектування звуку.

Демодулированный звуковий сигнал через внутрішній і стоковий повторювач (вихід 10) мікросхеми DD1 надходить на підсилювач низької частоти, виконаний на ОУ DA3 і транзисторах VT1, VT2. Відношення резисторів R18, R14 визначає його величину посилення. До виходу УНЧ підключено малогабаритний динамік BA1. Частотна селекція вхідного сигналу здійснюється ФАПЧ демодулятор, його центральна частота перебудовується змінним резистором R2 від 25 до 125 кГц.

У зв'язку з тим, що посилення піддається вся робоча смуга частот, на виході УНЧ завжди є шум - сильний за відсутності сигналу, слабкий при сильному вхідному сигналі. Це сприяє утворенню зворотного зв'язку за присутності передавача.

Індикаторний світлодіод VD3 блимає без сигналу. При виявленні сигналу переходить через загаслений і запалений стан при перебудові частотою резистором R2. Або залишається в одному з цих станів, якщо петля ФАПЧ утримує налаштування за сильного сигналу.

Індикатор виявляє всіх 8 км його дальності дії. Індикатор також дозволяє визначати присутність відеосигналу в лінії цифрового сигналу з частотною модуляцією. Досліджувана лінія може бути будь-якою двопровідною лінією (телефонна лінія, лінія комп'ютерної мережі, лінія електропостачання 220 і т. п.). Обмеження накладає величина пробивної напруги, яка визначається якістю

ізоляції між обмотками трансформатора Т1 і допустимою напругою конденсатора С1.

Вимоги до елементів схеми невеликі: конденсатор С1 обов'язково має бути високовольтним, С2-С5 складаються з кількох, що мають стандартні номінали.

Трансформатор Т1 та котушки L1, L2 намотані на феритових кільцях 20x10x5 проникністю 2000НН. Т1 має по 70 витків у кожній обмотці, L1 - 24 витки, L2 - 27 витків.

Обмотки трансформатора ізолювані один від одного шаром лакотканевої або фторопластової ізоляції. За бажання намотувальні дані котушок і трансформатора можна перерахувати для сердечників меншого розміру. Індикатор живиться від дев'ятивольтової батареї через інтегральний стабілізатор DA2 [21-29].

Налаштування індикатора зводиться до встановлення підстроєним резистором R3 меандру на виведенні 2 DD1 і резистором R11 найменш спотвореного звукового сигналу на виході УНЧ. Це краще зробити за наявності вхідних сигналів.

На рисунку 2.11 представлено індикатор напруженості електро-магнітного поля [21-29].

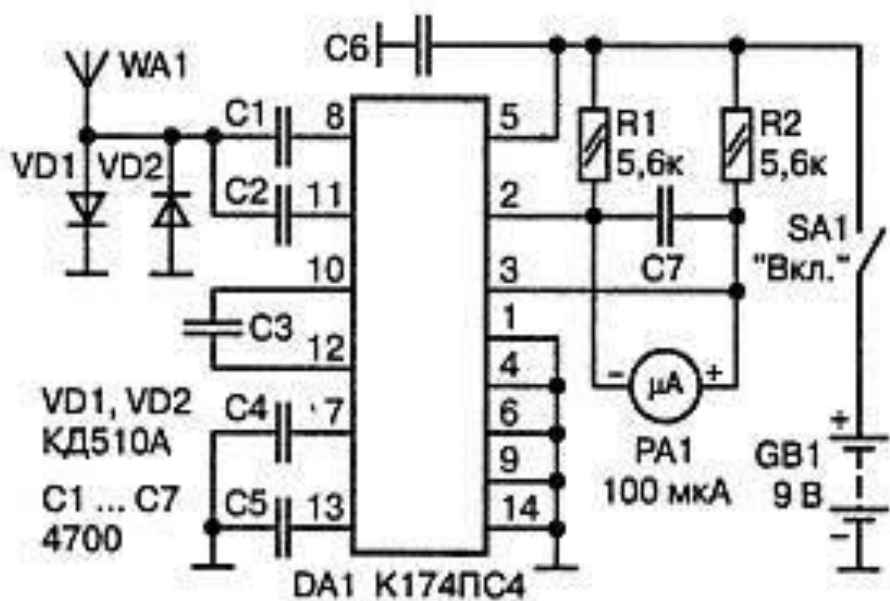


Рисунок 2.11 – Індикатор напруженості електро-магнітного поля

В індикаторі відсутній звичайний амплітудний детектор, оскільки його функції виконує мікросхема К174ПС4 - перемножувач сигналів, що широко використовується радіоаматорами в змішувачах радіоприймачів, конвертерах і т.д.

У вихідному сигналі мікросхеми є:

- Постійна складова;
- Змінна складова подвоєної частоти;
- Постійна складова пропорційна квадрату вхідної напруги.

Тому покази мікроамперметра РА1, підключеного до виходу мікросхеми, будуть пропорційні потужності сигналу, що випромінюється антеною.

Змінну складову легко придушити, встановивши С7 конденсатор достатньої ємності. Діоди VD1, VD2 служать захисту вхідних ланцюгів мікросхеми від потужних сигналів.

Живиться пристрій від батареї напругою 9 В (Крона, Корунд, Ніка) і споживає струм приблизно 1,5 мА. Працездатність зберігається при зменшенні напруги живлення до 6 ст. Максимальний струм через мікроамперметр РА1 обмежений резисторами R1, R2.

У пристрої можна застосувати практично будь-який малогабаритний стрілочний індикатор зі струмом повного відхилення стрілки від 50 до 150 мкА. На частоті 28 МГц чутливість пристрою (мінімальний сигнал, що реєструється) був 2-3 мВ, а залежність показань від вхідної напруги мала квадратичний характер.

Завдяки атому прилад чутливіший до змін напруженості поля, що дозволяє точніше налаштовувати антенно-фідерні тракти. Так, наприклад, при зміні напруги на вході пристрою в 14 рази (3 дБ) показання індикатора збільшуються вдвічі.

Замість зазначеної на схемі К174ПС4 припустимо застосувати мікросхеми К174ПС1, К174ПС2. Крім діодів КД510А, підійдуть КД522Б, КД503Б, Конденсатори - КЛС, КД, К10-І7, КМ, резистори - МЛТ, С2-33,

Вимикач - будь-який малогабаритний, краще движковий на два положення [21-29].

На рисунку 2.12 представлена схема детектора поля із п'ятирівневою світлодіодною шкалою [21-29].

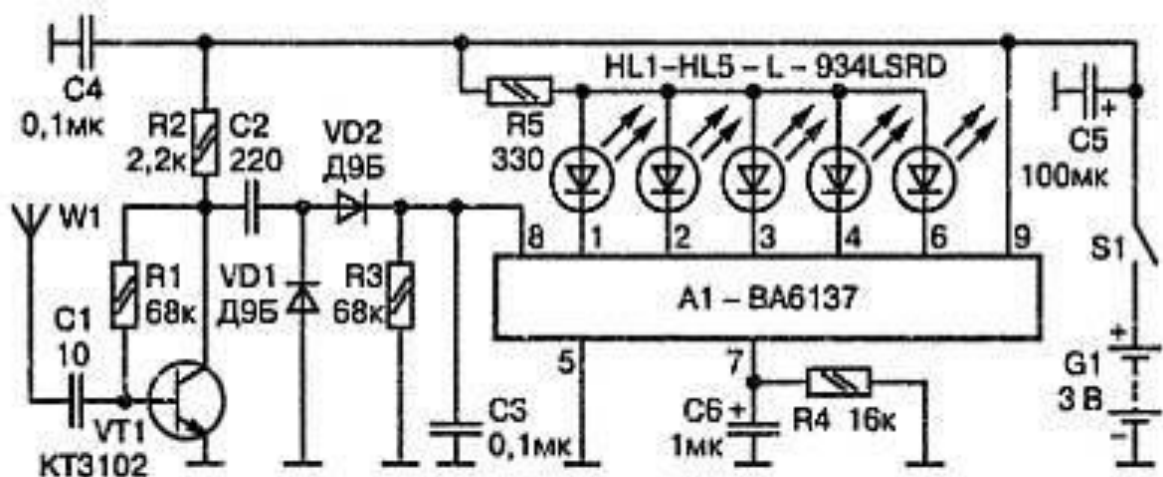


Рисунок 2.12 - Схема детектора поля із п'ятирівневою світлодіодною шкалою

Індикатор може контролювати напруженість полів із частотою до 1000 МГц. АЧХ індикатора не вимірювалося, оскільки його функція не вимірювати рівень ВЧ поля в абсолютних значеннях, а демонструвати його рівень та зміну цього рівня в умовних одиницях.

Однак за наявності необхідної апаратури можна зробити відповідні таблиці. Принаймні він впевнено реагує:

- на сигнал СВ-радіостанції, що працює в діапазоні 27 МГц;
- на сигнал стільникового телефону, що працює на більш високих частотах.

ВЧ-сигнал наводиться в антені W1 і надходить на підсилювальний каскад VT1. Тут працює відносно низькочастотний транзистор КТ3102. Можливо, використовуючи транзистор типу КТ368, КТ381 можна поліпшити роботу індикатора на ВЧ. На виході підсилювального каскаду включено детектор на германієвих діодах VD1 і VD2 [21-29].

На конденсаторі СЗ виділяється стала напруга, величина якого пропорційна напруженості ВЧ поля. Ця напруга вимірюється шкальним індикатором на ІМС полікомпараторної ВА6137, призначеної для роботи в індикаторах рівня. Рівень напруженості поля оцінюють за лінійною шкалою із п'яти світлодіодів HL1—HL5.

Індикатор живиться від джерела з двох послідовно включених гальванічних елементів. Роль корпусу відіграє пластмасовий футляр для зубної щітки. точками для монтажу мікросхеми А1.

Роль антени грає складна телескопічна антена (з поворотним шарніром) радіо або магнітоли.

Шарнір закріплений з бічної частини корпусу так, що у складеному положенні антена розташована паралельно корпусу. Для роботи її розгортають на 180° (або інший кут) та витягують на потрібну довжину. Чутливість можна регулювати, змінюючи довжину антени.

При налагодженні передавача індикатор розташовують на певній відстані від його антени, величина якого залежить від потужності та зміна потужності випромінювання оцінюють при світлодіодній шкалі. За потреби індикатор видаляють або наближають до антени передавача. Індикатор доцільно використовувати при налагодженні передавачів потужністю трохи більше 0,5 Вт. В іншому випадку він виявляється занадто чутливим навіть зі складеною антеною і його доводиться далеко виносити.

Якщо потрібно індикувати значну потужність випромінювання, можна передбачити вимикач, що відключає живлення від УВЧ на транзисторі VT1.

Замість антени можна підключити об'ємну котушку діаметром близько 100 мм із трьох витків товстого намотувального дроту. Один кінець котушки підключають замість W1, а другий на загальний мінус живлення. Не виключений варіант і зі змінними контурами, що перебудовуються, на різні частотні ділянки (вийде хвилемір)

Після детального аналізу існуючих схем детекторів радіохвиль обираємо схему, яка представляє собою просту конструкцію із мінімальним набором

елементів, заміну яким можна знайти на вітчизняному ринку електронних компонентів. Схему представлено на рисунку 2.13[21-29].

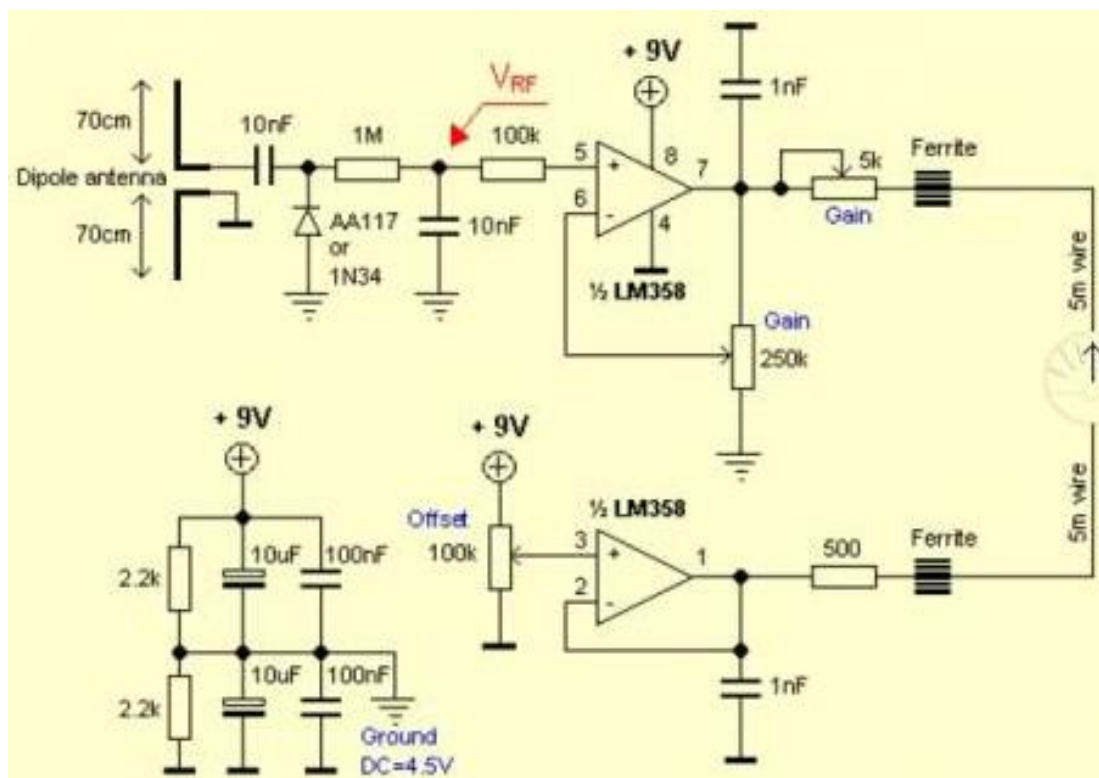


Рисунок 2.13 – Електрична схема детектора радіохвиль на операційному підсилювачі

У роботі проведено моделювання роботи схеми в редакторі Multisim. Результати моделювання представлено на рисунку 2.14 [30].

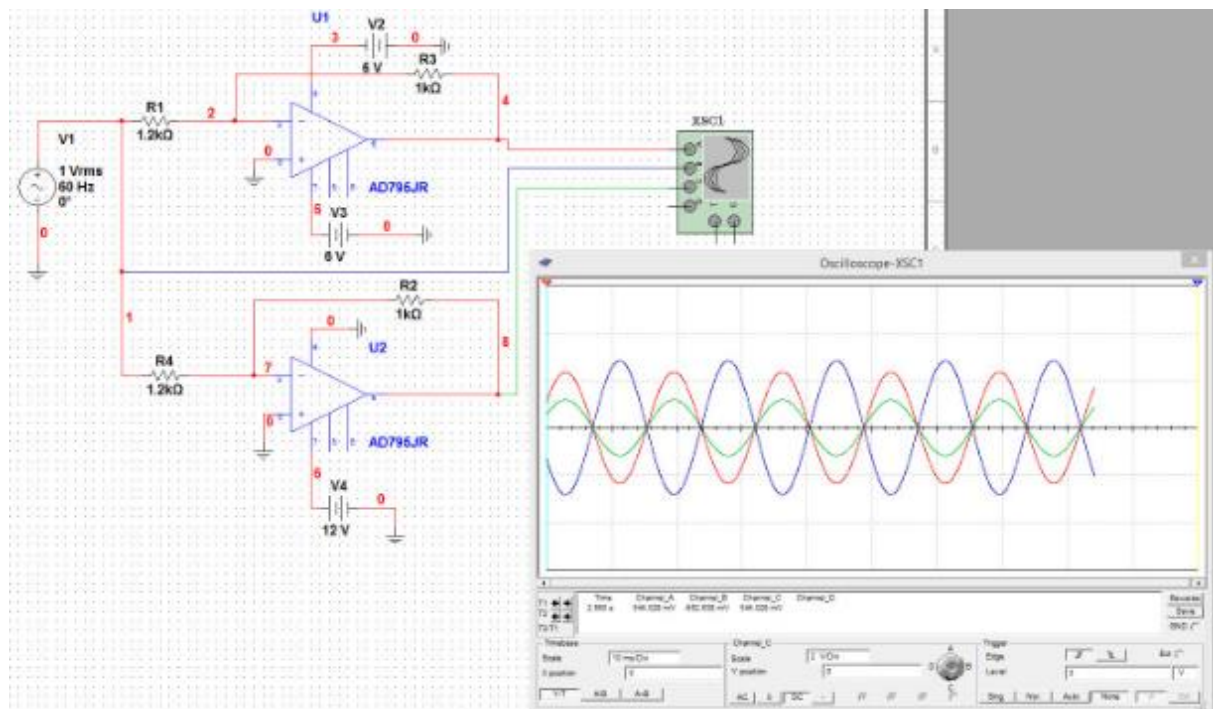


Рисунок 2.14 – Результати моделювання схеми детектора радіохвиль в редакторі Multisim

Результати моделювання добре узгоджуються із розрахунками.

Для проведення експерименту була зібрана модель аналізатора, яка представлена на рисунку 2.15

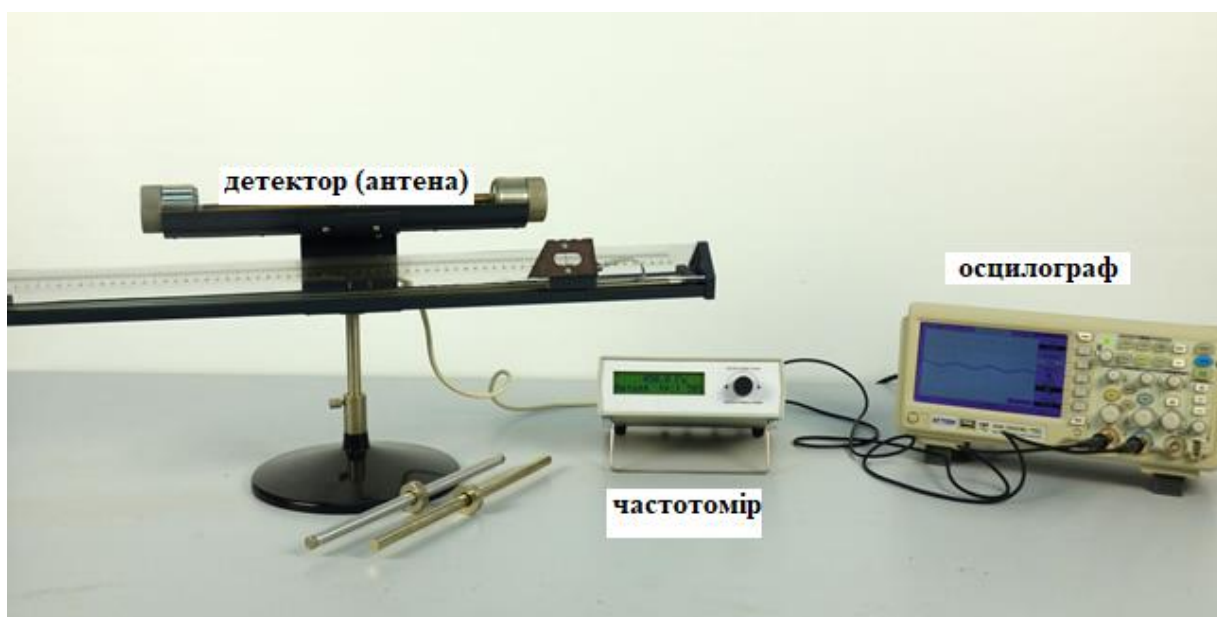


Рисунок 2.15 – Модель аналізатора

2.4 Обробка результатів експерименту з реєстрації частотного складу слабосигнальних радіохвиль

Однією з основних цілей проведених досліджень було порівняння теоретичних передбачень з реальними експериментальними даними. Теоретичні моделі базуються на ряді припущень, які враховують ідеальні умови (відсутність шумів, ідеальні антенні характеристики тощо). Водночас експериментальні умови завжди мають багато факторів, які можуть впливати на результати, таких як перешкоди, шуми, поглинання хвиль різними матеріалами та інші.

- Порівняння інтенсивності сигналу: У більшості випадків спостерігалось, що експериментальні результати дещо відрізнялися від теоретичних, оскільки реальні умови передбачають втрати сигналу внаслідок поглинання та дифракції хвиль. Це призводило до зменшення інтенсивності сигналу в порівнянні з теоретичною моделлю.
- Порівняння частотного спектру: Спектр сигналів, отриманий у експериментах, також виявив певні відхилення від теоретичних даних,

особливо у випадках, коли сигнал зазнавав впливу шумів та перешкод. Теоретичні розрахунки в таких ситуаціях не могли в повній мірі врахувати комплексний вплив реальних умов навколишнього середовища.

- Порівняння втрат сигналу: Теоретичні моделі, які передбачають ідеальні умови для поширення хвиль, часто недооцінюють вплив різних матеріалів на поглинання сигналу. У експериментах, коли хвилі проходили через різні матеріали або відбивалися від них, спостерігалися значні втрати сигналу, що також не завжди корелювалося з теоретичними розрахунками.

Зібрані дані дозволяють виділити кілька основних закономірностей у поведінці електромагнітних хвиль.

- Вплив відстані на інтенсивність сигналу: Як і передбачалося теоретично, зростання відстані між передавачем і приймачем веде до зменшення інтенсивності сигналу (відповідно до закону зворотного квадрату). Проте в реальних умовах цей ефект підсилюється наявністю різних перешкод, таких як будівлі, дерева чи інші об'єкти, які змінюють траєкторію поширення хвиль і можуть викликати додаткові втрати.
- Шуми і перешкоди: Наявність шумів і перешкод негативно впливає на якість сигналу, і це проявляється в значному погіршенні співвідношення сигнал/шум. В особливості, зростання рівня перешкод у певних частотних діапазонах може суттєво знизити точність передачі даних.
- Інтерференція хвиль: У випадках, коли сигнал зазнає відбиття від поверхонь, спостерігається явище інтерференції, яке може посилювати або ослаблювати сигнал в залежності від фази відбитих хвиль.
- Запропонована система аналізу електромагнітних хвиль була розроблена для обробки та інтерпретації сигналів, зокрема для вимірювання їх інтенсивності, частотного спектру та інших параметрів. Оцінка ефективності цієї системи включає кілька аспектів:

- Точність: Результати, отримані за допомогою системи аналізу, відповідають очікуваним значенням з високою точністю, особливо коли мова йде про вимірювання основних параметрів сигналу, таких як амплітуда, частота та потужність. Враховуючи можливі відхилення, запропонована система є достатньо точною для застосування в умовах реальних експериментів.
- Швидкодія: Система показала високу швидкість обробки даних, особливо при використанні програмного забезпечення, такого як MATLAB та Python, для обробки великих обсягів сигналів. Це дозволяє оперативно отримувати результати та швидко адаптувати систему для різних умов.
- Надійність: Система показала свою надійність під час численних тестів, однак при наявності сильних перешкод чи шумів в середовищі вимірювання необхідно застосовувати додаткові алгоритми фільтрації для покращення результатів.
- Рекомендації для покращення технічних характеристик системи:

Оптимізація алгоритмів фільтрації: Для покращення якості сигналу в умовах високих рівнів шумів рекомендується вдосконалити методи фільтрації шумів, зокрема використовуючи більш складні алгоритми обробки сигналів, наприклад, адаптивні фільтри та методи спектрального аналізу.

Покращення чутливості приймачів: Розробка антен з вищим коефіцієнтом підсилення та кращою спрямованістю може допомогти зменшити втрати сигналу та підвищити ефективність передачі на великих відстанях.

- Пропозиції для подальших досліджень:

Дослідження впливу нових матеріалів на поширення хвиль: Оскільки сучасні технології все частіше використовують нові матеріали для покриття та конструкцій, важливо вивчати, як ці матеріали впливають на електромагнітні хвилі, особливо в частотних діапазонах, що використовуються для 5G та інших високошвидкісних технологій.

Аналіз нових типів перешкод: З огляду на розвиток технологій Інтернету речей (IoT) та інших бездротових систем, необхідно досліджувати нові типи

перешкод і впливи на якість сигналу, такі як взаємодія з мікросхемами, електронними приладами та мережами.

Моделювання в умовах багатоканальних систем: Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку та моделювання багатоканальних систем, де одночасно передаються кілька сигналів на різних частотах, що допоможе оптимізувати використання спектра та зменшити перешкоди.

Проведений аналіз результатів у системі MathLab представлено на рисунку 2.16[30]

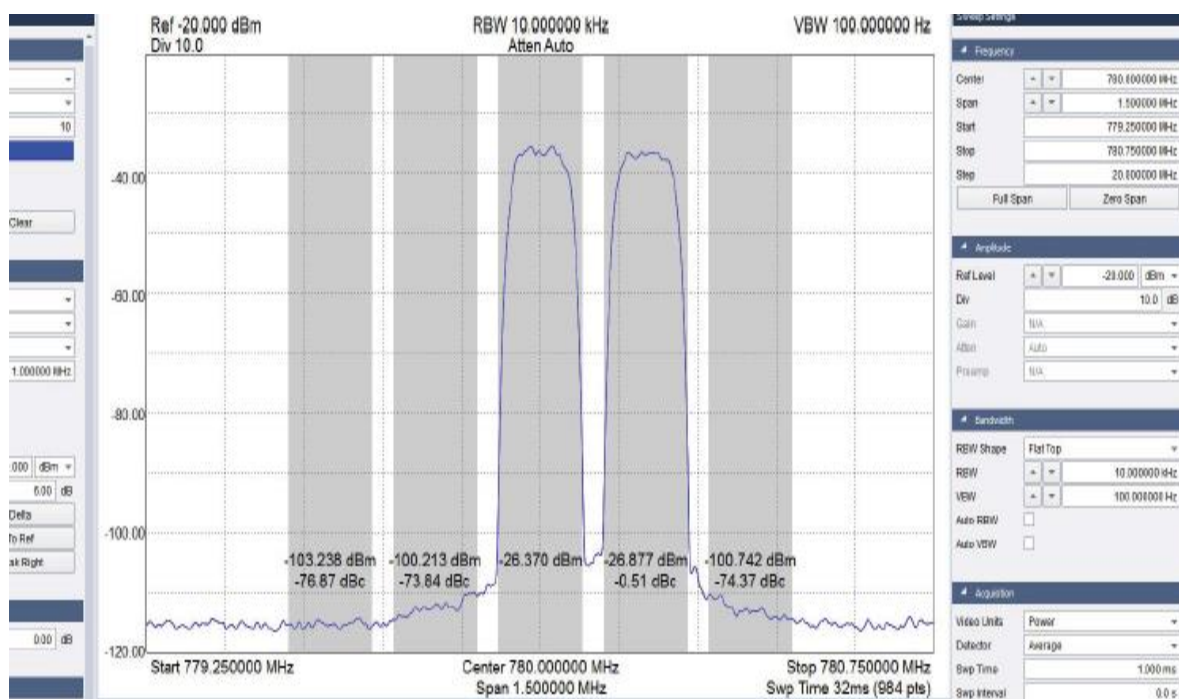


Рисунок 2.16 - Аналіз результатів у системі MathLab

Одержані результати є основою для подальшого вдосконалення як теоретичних моделей, так і практичних систем аналізу сигналів, що має велике значення для розвитку бездротових технологій, телекомунікацій та радіозв'язку.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

- 1) запропоновано структурну схему системи, яка значно зменшить вартість системи;
- 2) для розробки обираємо всеспрямовану антену типу диполь, яка використовується у квадрокоптерах;
- 3) для детектора радіохвиль обираємо схему, яка представляє собою просту конструкцію із мінімальним набором елементів, заміну яким можна знайти на вітчизняному ринку електронних компонентів;
- 4) моделювання електричної схеми детектора у середовищі САПрелектронної техніки добре узгоджуються із розрахунками;
- 5) проведено порівняння теоретичних передбачень з реальними експериментальними даними. Проведений аналіз результатів у системі MathLab підтвердив точність розрахунків.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки розробка системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення розробка електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді модуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напilenням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [31].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [31].

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії [31]:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
Σ							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). [31]

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
Σ					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
Σ					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
Σ					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [31].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації електричних схем системи аналізу

електромагнітних хвиль радіодіапазону, з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12.
Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 819,40 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво електричних схем

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Мікросхема LM358	шт.	4	30,80	123,20
Мікросхема MAX4254	шт.	1	56,20	56,20
Конденсатор	шт.	4	15	60
Високовольтний діод	шт.	5	8	40
Резистор	шт.	37	10	370
Всього				649,40

Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Фольгований текстоліт 100 × 100	шт.	1	50,00	50,00
Травильник	уп.	1	60,00	60,00
Трафарет	шт.	2	30,00	60,00
Всього				170,00

4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем системи аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виконання завдань дипломної роботи планується в дослідницькій лабораторії кафедри ЕІСПЗ Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ. Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення інженерної академії належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте використання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [32-34].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

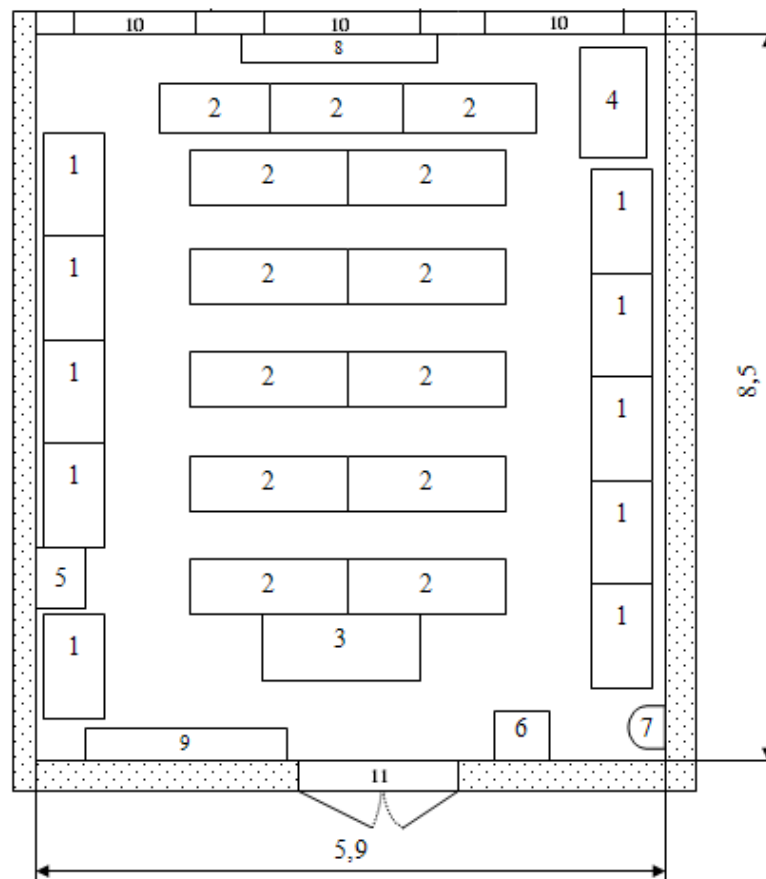
У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирково-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

В даному розділі як об'єкт дослідження розглянуто приміщення в якому проводяться лабораторні роботи та роботи з відео термінальними пристроями. План приміщення наведено на рисунку 4.1 [32-34].



1 - стіл комп'ютерний, 2 - стіл аудиторний, 3 - стіл викладача, 4 - установка Холла, 5 - шафа силова, 6 - сейф, 7 - умивальник, 8 - спліт система, 9 - дошка аудиторна, 10 - вікно, 11 - двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць

Приміщення, в якому знаходяться відео термінальні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;
- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога бетонна, обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [32-34].

В даному приміщенні діють такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищений рівень вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації;
- підвищені чи знижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря;
- небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів;
- недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла;

Також присутні небезпечні та шкідливі психофізіологічні фактори, до яких належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Одним із заходів є підвищення комфортності роботи шляхом раціоналізації параметрів робочого місця та робочого приміщення з ергономічної точки зору [32-34].

Обсяг приміщення на одного працюючого за санітарними нормами має становити не менше 20 м^3 , а площа приміщення – не менше 6 м^2 . Ширина основних проходів у приміщенні повинна становити не менше 1,5 м. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м, висота – не менше 2,2 м. Дане приміщення має обсяг $V=188,06 \text{ м}^3$, а площу $S=50,15 \text{ м}^2$. Таким чином наше приміщення не відповідає нормам з ергономічної точки зору.

Для зменшення впливу психофізіологічних факторів складено правильний графік трудового дня, встановлено необхідний час перерв, темп та ритм роботи, які необхідні для зменшення дії на організм людини фізичних зусиль, що в свою чергу дозволяють захистити людину від перевтомлення та втрати здоров'я [32-34].

4.2 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, [32-34].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року, та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Оптимальні норми температури для холодної пори року $21-23^\circ\text{C}$, для теплої складає $22-24^\circ\text{C}$.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В даному приміщенні є два види вентиляції:

- природна (аерація через вікна і двері);
- примусова (приточно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщенні є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не 40-60%, що відповідає оптимальним нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення лабораторних робіт. Всі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

В нашому приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі [32-34].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_n = 300 \text{лк}$ (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 10 мм).

4.3 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом є приміщенням без підвищеної небезпеки [32-34].

Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою.

Причини ураження електричним струмом [32-34].

1. Пошкодження устаткування.
2. Пошкодження ізоляції.

3. Коротке замикання на землю або на корпус.

4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

4.4 Пожежна та техногенна безпека об'єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [32-34].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [32-34]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою.

Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщенні є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустановки. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при однобічному розташуванні дверей,
- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот менше 45 см і виступи, винятком порогів в дверних отворах. Висота дверей у просвіті на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

4.5 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі

елементів на плату

Для місцевого освітлення (у складі комбінованого освітлення) слід використовувати світильники з непрозорими відбивачами. Світильники місцевого освітлення слід розташовувати так, щоб їх елементи, що світять, не потрапляли прямо у поле зору працівників як даного так і інших робочих місць [32-34].

Вираження для освітленості даної точки “а” поверхні спостережуваного об'єкту визначається виразом [32-34]:

$$E_a = \frac{J_{ce}}{\lambda_{ca}^2} \cos \gamma_{ca}.$$

Тут J_{ce} – сила світла, що випромінюється світильником, кд/м²; l_{ca} – довжина шляху світлового променя від елемента, що світить, до точки “а” спостережуваного об’єкту, м; γ_{ca} – кут, що утворюється світловим променем в напрямі від елемента, що світить, до точки “а” і нормаллю до спостережуваної поверхні в точці “а”, рад. Розташування світильника на робочому місці показане на рисунку 4.2.

У точці “а” світильник місцевого освітлення повинен створювати освітленість, рівну нормативному значенню для місцевого освітлення (в даному випадку 180 лк), з відхиленням в межах –10% ... +20%.

Визначимо силу світла, потрібну від світильника місцевого освітлення:

$$x_{ce} = 20\text{см}; y_{ce} = 10\text{см}; z_{ce} = 20\text{см}; x_a = 20\text{см}; y_a = 30\text{см}$$

$$l_{ca}^* = \sqrt{(x_{ce} + x_a)^2 + (y_{ce} + y_a)^2} = 56,6\text{см}$$

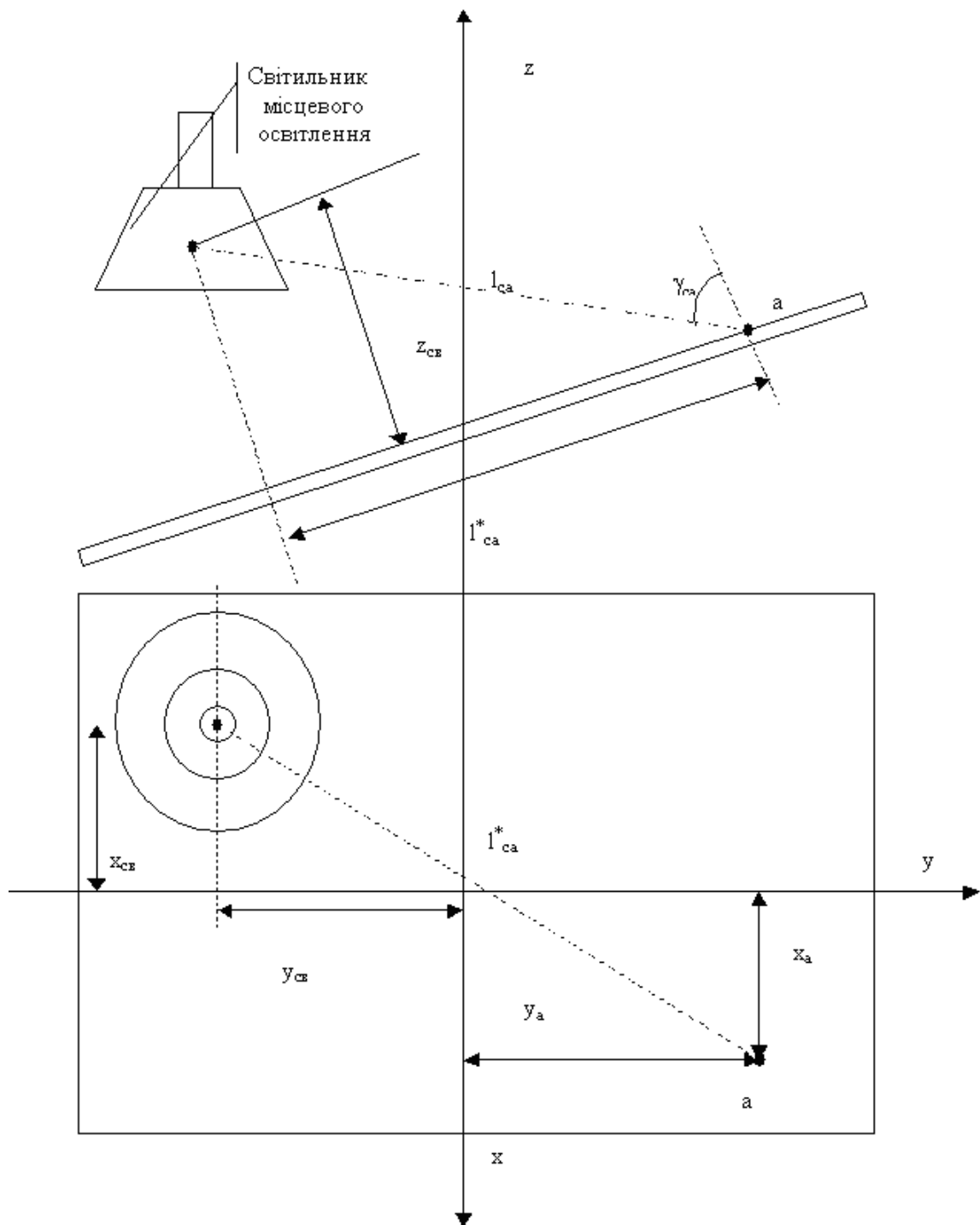


Рисунок 4.2 – Розташування світильника місцевого освітлення

$$l_{ca} = \sqrt{l_{ca}^{*2} + z_{ce}^2} = 60 \text{ см}$$

$$\gamma_{ca} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{z_{ce}}{l_{ca}}\right) = 1,231 \text{ рад}$$

У світильнику використовується лампа розжарювання, тому для вибору лампи світильника місцевого освітлення по величині створюваного світлового потоку проведемо розрахунок [32-34]:

$$\Omega_{св} = 2\pi \left\{ 1 - \cos \left[\arctg \left(\frac{d_{св}}{2h_{л}} \right) \right] \right\} = 4,14$$

$$\Phi_{л} = E_{норм.м} \cdot l_{св.а.}^2 \cdot \frac{4\pi}{\cos \gamma_{са}} \left[1 + \chi_{св} \rho_{св} \left(\frac{4\pi}{\Omega_{св}} - 1 \right) \right]^{-1} = 796$$

З таблиці вибираємо лампу розжарювання типа БК-215-225-60 потужністю 60 Вт [32-34].

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами виконання роботи можна зробити наступні висновки:

1) розглянуті схеми систем реєстрації та аналізу електромагнітних хвиль радіодіапазону мають високу вартість (від 10 тис грн. до 100 тис. грн.). Здешевлення такої системи можливе за рахунок виготовлення системи не у комплексній реалізації, а у вигляді окремих блоків, пов'язаних функціонально;

2) запропоновано структурну схему системи, яка значно зменшить вартість системи;

3) для розробки обираємо всеспрямовану антену типу диполь, яка використовується у квадрокоптерах;

4) для детектора радіохвиль обираємо схему, яка представляє собою просту конструкцію із мінімальним набором елементів, заміну яким можна знайти на вітчизняному ринку електронних компонентів;

5) моделювання електричної схеми детектора у середовищі САПР електронної техніки добре узгоджуються із розрахунками;

6) проведено порівняння теоретичних передбачень з реальними експериментальними даними. Проведений аналіз результатів у системі MathLab підтвердив точність розрахунків.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках мікроелектронних інформаційних систем слабких електромагнітних полів та сигналів електромагнітних хвиль радіодіапазону;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Перелік посилань

1. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 1. Основи теорії електромагнітного поля: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2009. — 286 с.
2. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2010. — 435 с.
3. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Збірник задач: навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 88 с.
4. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 54 с.
5. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Лабораторний практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / О. М. Купрій та ін.; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 93 с.
6. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Методичні вказівки та завдання розрахунково-графічної роботи: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / О. М. Купрій, В. І. Найдено; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 25 с.
7. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Збірник задач для модульних контрольних робіт: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 34 с.

8. Прикладна електродинаміка інформаційних систем / А. С. Андрущак, З. Ю. Готра, О. С. Кушнір. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 304 с.
9. Технічна електродинаміка. Конспект лекцій / Укл. В.В. Пілінський, П.В. Попович. — Київ : Національний Технічний Університет України “КПІ”, 2006. — 224 с.
10. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. — Львів: «Бескид Біт», 2003. — 352 с.
11. Матеріали сайту E-test URL : <https://gtest.com.ua/uk/SHA850A-analizator-spektru.html> (дата звернення: 10.09.2024).
12. Матеріали сайту crewshop URL : <https://crewshop.ua> (дата звернення: 10.09.2024).
13. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers: An Applications Based Introduction. Oxford: Newnes, 2004.
14. Micropower Voltage Reference Precision, Single Supply Op Amp URL : https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/lt-journal-article/ltmag_v05n4_dec95.pdf (дата звернення: 10.01.2023).
15. Giordano, Nicholas. College Physics: Reasoning and Relationships (англ.). — Cengage Learning, 2009. — P. 421—424.
16. Possel, Markus Waves, motion and frequency: the Doppler effect. Einstein Online, Vol. 5. Max Planck Institute for Gravitational Physics, Potsdam, Germany (2017).
17. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. Видавництво «Політехніка», 2004. — Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. — 272 с.: іл. Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. — 272 с.: іл.
18. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: Підручник. 2-ге вид. — К.: Каравела, 2007. — 296 с.

19. Lei Lin, Benkang Chang. New apparent distance-detecting equation for low-lighting level imaging system // Optical Engineering. 1998 Vol.37. №7 p. 1902–1913.
20. Дмитрів В. Т. Схемотехніка систем керування. Навчальний посібник. Львів : СПОЛОМ, 2019. 636с.
21. Борисенко О. А. Цифрова схемотехніка: підручник. Суми : Сумський державний університет, 2016. 200 с.
22. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.
23. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
24. Гельжинський І. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Марусенкова Т. А. Мікросхемотехніка: підручник. Львів : Ліга - Прес, 2015. 492 с.
25. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.
26. Лукашук Л. О. Схемотехніка логічних та послідовнісних схем : навч. посіб. Львів : Видавництво Нац. університету «Львівська політехніка», 2004. 116 с.
27. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л., Небеснюк О. Ю., Ніконова А. О. Аналогова схемотехніка. Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму для студентів ЗДІА за спеціальністю «Мікро- та наноелектроніка», денної та заочної форм навчання Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 118 с.
28. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л. Аналогова схемотехніка. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 48 с.
29. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.

30. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988.

31. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук. Тернопіль, 2014. 272 с.

32. Бегун В. В., Наumenко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. 328 с.

33. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

34. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.