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 механізмів сканування тепловізійних систем*

Виконав: студент (ка) *II* курсу, групи *8.1764*

Спеціальності *176 Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва освітньої програми)

А. П. Чуприна
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*
Верьовкін Л. .Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, професор, д.т.н.*
Коваленко В. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2025 рік

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ 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 *176 Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Освітня програма *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т. В.
"15" грудня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чуприні Андрію Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *Дослідження та розробка механізмів сканування тепловізійних систем*

керівник проєкту (роботи) *Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"27" лютого 2025 року №313-с*

2. Строк подання студентом проекту (роботи) *12 грудня 2025 року*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Генератор синусоїдальних коливань 5 кГц; генератор експоненціальних імпульсів від 5 до 100 Гц; джерело живлення 36 В.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Дослідження фізичних основ та принципу дії тепловізійних систем. Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток тепловізійних систем. Техніко-економічне обґрунтування розробки генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток. Охорона праці та техногенна безпека.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною матрицею. Структурна схема тепловізора з електронним скануванням. Структурна схема генератора кадрової і рядкової розгорток. Функціональна схема генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток. Моделювання автогенератора Колпітца. Моделювання схеми генератора синусоїдальних імпульсів. Моделювання схеми генератора експоненціальних імпульсів. Схема електрична принципова генератора імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*13.10.2025*
II	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*10.11.2025*
III	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*17.11.2025*
IV	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*23.11.2025*

7. Дата видачі завдання ____*03 березня 2025 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Аналітичний огляд датчиків і детекторів систем інфрачервоної термографії*	*14.09.2025*	
2	*Дослідження принципів побудови механізмів сканування тепловізійних систем*	*18.09.2025*	
3	*Аналіз проблем низької точності вимірювань температури випромінювання з використанням тепловізора*	*13.10.2025*	
4	*Моделювання тепловізорів з електронним скануванням*	*20.10.2025*	
5	*Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток*	*27.10.2025*	
6	*Аналіз схем існуючих генераторів імпульсів кадрової і рядкової розгорток*	*03.11.2025*	
7	*Розробка генератора імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою*	*10.11.2025*	
8	*Техніко-економічне обґрунтування*	*17.11.2025*	
9	*Охорона праці та техногенна безпека*	*23.11.2025*	
10	*Написання пояснювальної записки*	*02.12.2025*	
11	*Оформлення графічного матеріалу*	*08.12.2025*	
12	*Попередній захист дипломної роботи*	*12.12.2025*	
13	*Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи*	*18.12.2025*	

Студент _____ _____*Чуприна А. П.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ _____*Верьовкін Л. .Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л. Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 83 сторінки, 40 рисунків, 14 таблиці, 13 джерел літератури.

Об’єкт дослідження: тепловізійні системи з електронним скануванням.

Мета роботи: розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток тепловізійних систем.

Задачі роботи: провести аналіз механізмів сканування тепловизійніх систем; розробити генератор імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою; провести аналіз функціонування розроблених вузлів в програмному забезпеченні Electronics Workbench.

Методика досліджень: моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0.

Короткий виклад результатів досліджень: розроблений генератор експоненціальних імпульсів від 5 до 100 Гц відрізняється від існуючих генераторів пилкоподібних імпульсів плавністю розгортки та підвищеною ефективністю зняття температурних характеристик; аналіз характеристик генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток показав правильність функціонування генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток відповідно до заданих параметрів.

Результати впроваджень: електронний макет генератора імпульсів пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції: рекомендується для впровадження в тепловізійних системах з електронним скануванням.

ТЕПЛОВІЗОР, НЕОХОЛОДЖУВАНА МАТРИЦЯ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ, РЯДКОВА РОЗГОРТКА, КАДРОВА РОЗГОРТКА, СКАНУВАННЯ

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, мікроелектронних систем та програмного забезпечення, з 03.03.2025 р. по 12.12.2025 р.

Зміст

	Стор.
Вступ ……..	6
1 Дослідження фізичних основ та принципу дії тепловізійних систем ..	8
1.1 Інфрачервона термографія …….	11
1.2 Механізми сканування тепловізийних систем …….	13
1.3 Проблеми низької точності вимірювань температури випромінювання з використанням тепловізора ……...	18
2 Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток тепловізійних систем ……..…	24
2.1 Аналіз механізмів сканування тепловизійніх систем ……	24
2.1.1 Тепловізори з оптико-механічним скануванням ……..	24
2.1.1 Тепловізори з електронним скануванням ……..	30
2.2 Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток ……..	32
2.2.1 Аналіз схем існуючих генераторів імпульсів кадрової і рядкової розгорток ……...	32
2.3 Генератор імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою ...	38
3 Техніко-економічне обґрунтування розробки генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток ……..	59
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток ……	59
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток ……..	63
4 Охорона праці та техногенна безпека ……..	65
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів ……..	65
4.2 Заходи з поліпшення умов праці ……...	66
4.3 Виробнича санітарія ……...	69

4.4 Електробезпека ……... 71
4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека …… 73
4.6 Розрахунок захисного заземлення ……. 74
Висновки та рекомендації …… 78
Перелік посилань …….. 79
Додаток А …….. 81

Вступ

Тепловізори – пристрої, які дозволяють бачити температуру будь-якого об’єкту не залежно від його рівня освітленості. Кожен об’єкт, який має температуру від -40°С до +250°С і потрапляє в об’єктив камери з тепловізійною системою, буде відображений на екрані. За тепловою різницею об'єктів в 0,05 градуси, будується інфрачервона термограма, розшифровка якої говорить оператору про ситуацію в полі зору тепловізійної камери.

Початок розвитку тепловізійної техніки було покладено на початку 60-х років 20-го століття дослідженнями та розробкою приладів за двома основними напрямками: з використанням дискретних приймачів випромінювання спільно з системами сканування (розгортки) зображення і апаратури без механічного сканування на базі двовимірних ІЧ приймачів.

Сьогодні можна умовно виділити чотири покоління розвитку такої техніки [1].

Нульове покоління засноване на застосуванні одиничних охолоджуваних приймачів і двовимірної (малої та кадрової) розгортки за допомогою скануючої оптико-механічної системи;

Перше покоління – на застосуванні малих лінійок приймачів і спрощеної кадрової розгортки; друге покоління – на використанні згрупованих декількох лінійок (з часовою затримкою і накопиченням) і більш низькошвидкісною системою розгортки.

До другого покоління відносять вакуумні прилади з електронним скануванням цілі.

Нове третє покоління тепловізійної техніки засноване на застосуванні фокально-площинних, двовимірних твердотільних багатоелементних (матричних) приймачів випромінювання (МПВ).

В останні роки розвиток тепловізійної техніки йде в основному шляхом застосування неохолоджуваних багатоелементних МПВ, фізичні характерис-

тики яких високі і практично не поступаються системам охолодження. Сучасні тепловізійні системи (ТВС) мають малі вагогабаритні характеристики і енергоспоживання, забезпечують безшумну роботу і високу якість тепловізійного зображення, широкий динамічний діапазон при роботі в режимі мовного телевізійного стандарту, цифрову обробку в реальному масштабі часу, зв'язок з ПЕОМ і т.п. і поділяються на два основні класи [1]: наглядові (пошукові); вимірювальні або радіометричні (термографи). Наглядові (пошукові) ТВС призначені для виявлення, розпізнавання і візуалізації теплових перешкод віддалених тепловипромінюючих об'єктів (цілей). Такі системи можуть доповнюватися різними каналами і містять, як правило, телевізійний канал, канал нічного бачення, канал лазерної локації для виявлення теле- фото-оптики на значних відстанях, вимірювальний канал – лазерний далекомір. Таке доповнення наглядових ТВС дозволяє їм частково виконувати вимірювальні функції.

Вимірювальні (радіометричні) ТВС використовуються переважно для кваліфікованої теплової діагностики різних промислових об'єктів, техніки, будинків, споруд, механізмів тощо. Кожен з цих класів ТВС має свою специфіку практичного застосування і свої експлуатаційні можливості.

Тепловізійні системи знаходять усе більш широке вживання в різних галузях науки і техніки. Розробка конкурентноздатного неохолоджуваного тепловізора, являється актуальним завданням, що стоїть перед вітчизняними розробниками тепловізійних систем.

1 Дослідження фізичних основ та принципу дії тепловізійних систем

Фізичною основою для створення тепловізора послужив ефект, пов'язаний із здатністю деяких з 45 речовин (матеріалів) змінювати свої електричні властивості (зокрема провідність) під впливом електромагнітного випромінювання в інфрачервоному діапазоні (ІЧ) діапазоні [2].

Сучасний тепловізор має досить просту будову і складається з оптичної системи (об'єктива), що фокусує тепловий потік від об'єкта на чутливий елемент (тепловізійну матрицю) – приймач інфрачервоного випромінювання, і електронного блоку обробки (посилення) сигналу, для подання теплової карти (термограми) об'єкта у вигляді, зручному для аналізу [2].

Матриця – це ґратка мініатюрних детекторів, що приймає інфрачервоні сигнали і перетворює їх в електричні імпульси, які після посилення перетворюються у відеосигнал. Найбільш складним елементом у структурі тепловізора є його об’єктив.

Найбільш складним елементом у структурі тепловізорів є його об’єктив. Головною вимогою до об'єктиву тепловізора є прозорість для ІЧ випромінювання. Тому для виготовлення тепловізійних об’єктивів використовується дорогий матеріал – германій, який пропускає тільки потрібний спектр випромінювання. На сьогоднішній день вартість об’єктиву складає приблизно 45 % вартості усієї тепловізійної камери, ще 45 % вартості складає термочутлива матриця. Термочутливі матриці розташовують у фокусі об’єктива. Якість матриці суттєво визначає здатність приладу виконувати свої функції. Матриця тепловізора складається з окремих термочутливих елементів, що змінюють свої електричні властивості пропорційно ступеню їх нагрівання під впливом ІЧ випромінювання об’єктів. Матриця тепловізора складається з окремих термочутливих елементів, що змінюють свої електричні властивості пропорційно ступеню їх нагрівання під впливом ІЧ випромінювання об’єктів.

Існують охолоджувані та неохолоджувані матриці. Охолоджувані матриці чутливіші, дорогі та масивні, адже для охолодження використовуються кріогенні технології, що дозволяють охолоджувати матрицю до температури –210 ºС…–170 ºС. Такі матриці побудовані на основі явища зовнішнього фотоелектричного ефекту, тобто випромінювання електронів під впливом ІЧ випромінювання від об’єктів. При цьому у якості світлочутливої речовини тепловізійної матриці використовують телуриди з вузькозонних напівпровідників [2].

Чутливість охолоджуваної матриці є достатньо високою, адже в результаті охолодження її температура стає значно нижчою температури об’єктів спостереження. Температурна чутливість такої матриці, тобто здатність реєструвати різницю температур, становить від 0,1 ºС на відстанях до 3 км. У результаті формуються зображення високої якості. Недоліками камер з охолоджуваними матрицями є велике енергоспоживання і короткий термін служби кріогенної системи, висока вартість, а також те, що охолодження матриці до робочої температури займає зазвичай кілька хвилин.

Неохолоджувані матриці, у свою чергу, на порядок дешевші у виготовленні, компактніші, але ціною цього є їх понижена чутливість. Неохолоджуваною матрицею є пластина, яка складається з безлічі мікроболометрів. В основі роботи мікроболометрів лежить явище внутрішнього фотоефекту (фотопровідність), тобто вони реєструють зміну опору чутливого елементу під впливом ІЧ випромінювання об’єктів. Таким чином, кожен окремий мікроболометр являє собою окремий піксель матриці. Чим більша кількість мікроболометрів у матриці, тим чіткіше буде зображення, але й складніше та дорожче сам прилад. Їх перевага – вони починають працювати одразу після включення, мають тривалий термін служби і низьке споживання енергії, простота і відносна дешевизна.

За принципом дії залежно від типу чутливого елемента приймачі ІЧ випромінювання поділяються на [3]: болометричні, піроелектричні, термоелектричні та фотонні. У сучасних тепловізорах використовуються болomет-

ричні і фотонні приймачі ІЧ діапазону. Болометр являє собою резистор, у якого змінюється опір залежно від потужності падаючого на нього теплового потоку. З елементарних болометрів формуються болометричні матриці. Найбільшого поширення знаходять болометричні матриці на оксиді ванадію і на аморфному кремнії. Такі матриці не потребують охолодження. Спектральна чутливість таких матриць однакова і знаходиться у діапазоні від 1 до 14 мкм. Болометричні матриці відрізняються порівняно великою неоднорідністю параметрів і характеристик елементарних мікроболометрів в матриці, нелінійністю їх характеристик, високим рівнем шумів і низькою, порівняно з фотонними приймачами, здатністю виявляти об’єкти. Для суттєвого поліпшення якості зображення в тепловізійних системах на основі мікроболометричних матриць потрібні спеціальні алгоритми калібрування, усереднення, накопичення, заміщення дефектних елементів матриці, компенсації шумів, підвищення контрасту. Їм також потрібні спеціальні засоби компенсації власного теплового випромінювання та обробки вимірюваних значень. Постійна часу болометрів змінюється від до (менша для матриць на основі аморфного кремнію і більша для матриць на основі оксиду ванадію). Головною перевагою неохолоджуваних мікроболотометричних матриць є відсутність охолодження і однакова спектральна чутливість в діапазоні, що застосовується. Приймачі на основі фотоефекту, що представляють найбільший комерційний інтерес, випускаються в основному на базі антимоніду індію (InSb), (кадмій – ртуть-телур) HgTeCa, PbSe. Приймачі на базі InSb, PbSe працюють у діапазоні 3–5 мкм, а приймачі на базі HgTeCa – у діапазоні 8–14 мкм. Головним недоліком приймачів на основі фотоефекту є необхідність охолодження до низьких температур (як правило, з використанням рідкого азоту), що створює певні обмеження при використанні у віддалених малонаселених місцях. Спектральна чутливість таких приймачів на 1–2 порядки вище болометричних, проте вони мають обмежений спектральний діапазон чутливості з явно вираженим максимумом. Постійна часу приймачів на основі фотоефекту змінюється від до , тобто їх можна застосовувати для термографування рухомих об'єктів. Незва-

жаючи на більш низьку чутливість, неохолоджувані мікроболометричні матриці отримали найбільше застосування для використання в тепловізорах, оскільки такі тепловізори практично завжди готові до роботи і відсутні вимоги щодо безпеки при роботі з рідким азотом. Принцип роботи тепловізорів полягає у тому, що вони "бачать" не відбите інфрачервоне випромінювання, а власне випромінювання людей і предметів. Кожне нагріте тіло випускає теплове випромінювання, інтенсивність і спектр якого залежать від властивостей тіла і його температури. Принцип дії тепловізора такий [2]: інфрачервоне (теплове) випромінювання від об'єкта спостереження через оптичну систему передається на приймач, що являє собою неохолоджувану матрицю термодетекторів. Далі отриманий відеосигнал за допомогою електронного блока вимірювання, реєстрації і математичної обробки оцифровується і відображається на екрані комп'ютера або дисплеї тепловізора. Тобто фізична картина фотоефекту така: ІЧ фотони, потрапляючи на поверхню вузькозонного напівпровідника (HgCdTe, InSb), переводять носіїв заряду зі зв'язаного стану у вільний. Їх кількість пропорційна інтенсивності теплового випромінювання об'єкта. Матриця фотоелектричних детекторів, яка встановлена у тепловізорі, обов'язково повинна охолоджуватися, інакше власні теплові коливання ґратки напівпровідника викликають настільки інтенсивне вивільнення носіїв заряду, що на його фоні генерація носіїв ІЧ випромінювання стає просто непомітною. Теплова картинка об’єкта, що відображається на екрані, може бути у вигляді монохромного або кольорового зображення [4].

1.1 Інфрачервона термографія

Інфрачервона термографія, теплове зображення або теплове відео - це науковий спосіб отримання термограми - зображення в інфрачервоних променях, що показує картину розподілу температурних полів. Термографічні камери або тепловізори виявляють випромінювання в інфрачервоному діапа-

зоні електромагнітного спектра (приблизно 900–14000 нанометрів або 0,9–14 μм) і на основі цього випромінювання створюють зображення, які дозволяють визначити перегріті або переохолоджені місця які можливо побачити на рисунку 1.1.

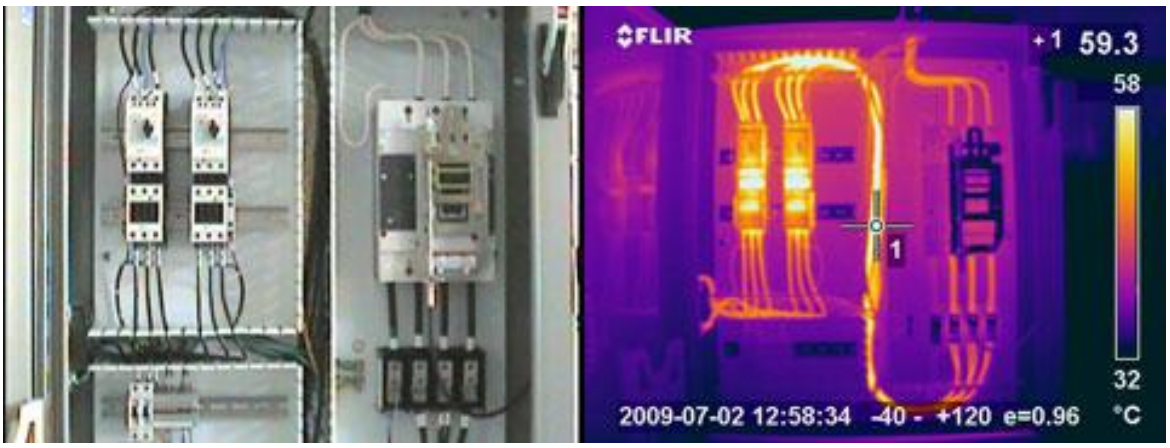


Рисунок 1.1 – Зображення об’єкту за допомогою тепловізора

Так як інфрачервоне випромінювання вилучається всіма об'єктами, що мають температуру, згідно з формулою Планка для випромінювання чорного тіла, термографія дозволяє «бачити» навколишнє середовище з або без бачимого світла. Величина випромінювання, що випускається об'єктом, збільшується з підвищенням його температури, тому термографія дозволяє бачити відмінності в температурі. На тепловізорі теплі об'єкти видно краще, ніж охолоджені до температури навколишнього середовища; люди і теплокровні тварини легше помітні в навколишньому середовищі, як вдень, так і вночі.

Як результат, просування використання термографії може бути приписано військовим і службам безпеки. Будь-яке тіло з температурою, відмінною від абсолютного нуля, є джерелом інфрачервоного (теплового) випромінювання, відкритого ще в 1800 році Вільямом Гершелем.

Наявність безпосереднього зв'язку інтенсивності теплового випромінювання тіла з його температурою, обґрунтованої в законах теплового випромінювання Стефана-Больцмана, Планка, Вина, дозволило здійснювати дистанційне вимірювання (контроль) температури шляхом реєстрації тепло-

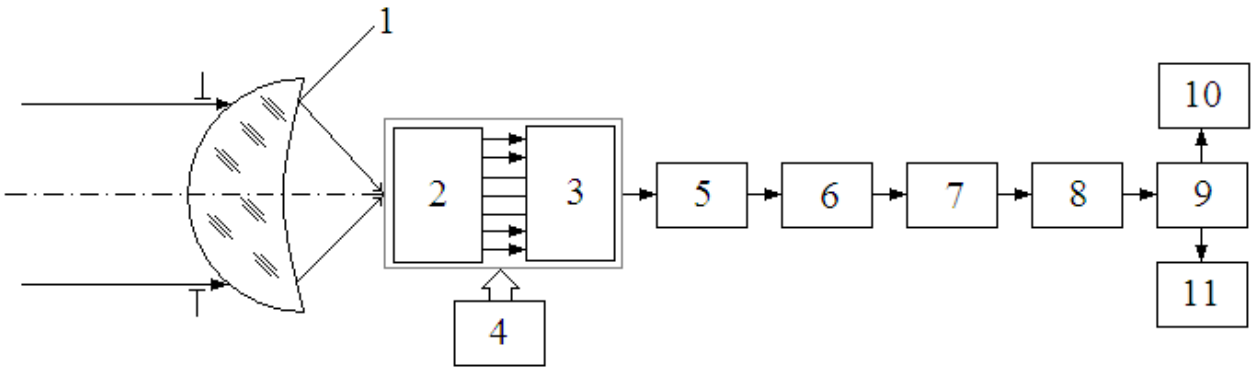
вого випромінювання. Ця область техніки отримала назву термографія (або теплобачення).

1.2 Механізми сканування тепловізійних систем

Ще з початку розвитку тепловізійних приладів намітилися дві тенденції. До першої групи приладів відносяться тепловізори, в яких для перетворення оптичного сигналу ІЧ діапазону в електричний сигнал використовується принцип оптико-механічного сканування (ОМС), а до другої групи приладів – тепловізори з електронним скануванням.

У тепловізорах першого типу використовуються одноелементні або багатоелементні ІЧ приймачі випромінювання (ПВ) миттєвої дії, а в тепловізорах другого типу у якості ПВ використовуються ІЧ відікони, пірікони, а зараз уже й матричні приймачі випромінювання, так звані фокальні матриці, що працюють у режимі накопичення зарядів і базуються на різних фізичних явищах. Більшість сучасних тепловізійних приладів побудовані за першим принципом, але у зв'язку з успіхами в технології виробництва матричних приймачів випромінювання з'явилися прилади без оптико-механічного сканування, які перевершують прилади першого типу за споживчими властивостями [3]. На рисунку 1.2 представлена узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ матрицею.

Фокальні матриці виготовляються як функціонально закінчені фотоприймачі (ФП), що включають систему охолодження, підсилювачі, мультиплексор, коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів, аналого-цифровий перетворювач, блоки цифрової обробки і формувач вихідних сигналів. Сигнали з виходу такого ФП можуть передаватися на відеоконтрольний пристрій (ВКП) телевізійного типу або у цифровому вигляді в блоки цифрової обробки. На рисунку 1.3 представлена узагальнена функціональна схема тепловізора з системою ОМС.



1 – оптична система;

2 – фокальна матриця з підсилювачами;

3 – мультиплексор;

4 – система охолодження;

5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів;

6 – аналого-цифровий перетворювач;

7 – цифровий коректор неоднорідності;

8 – коректор непрацюючих осередків;

9 – формувач зображення;

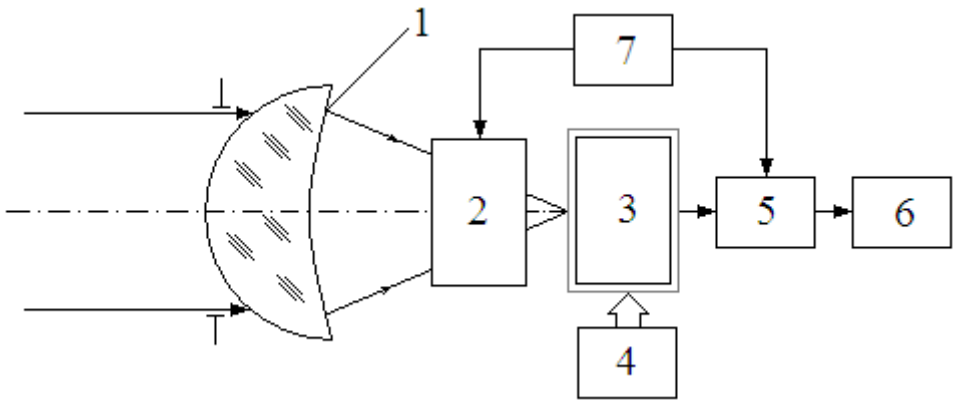
10 – дисплей;

11 – цифровий вихід

Рисунок 1.2 - Узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною матрицею

Система ОМС, у загальному випадку, повинна забезпечувати огляд простору предметів – сканування, як у напрямку рядків (по горизонту), так і по кадру (у вертикальному напрямку).

Існує безліч схем скануючих тепловізорів, які розрізняються методами сканування, обробки сигналів і подання вихідного зображення. Ці відмінності загалом обумовлені топологією ПВ, що використовуються в тих чи інших приладах. Зокрема, в тепловізорах з системами ОМС можуть використовуватися одноелементні, а також багатоелементні ПВ у вигляді лінійок або матриць.



1 – оптична система;

2 – блок оптико-механічного сканування;

3 – приймач випромінювання;

4 – система охолодження;

5 – електронний тракт;

6 – пристрій відеоконтролю;

7 – система синхронізації

Рисунок 1.3 – Узагальнена функціональна схема скануючого тепловізора

Крім цього, у якості пристрою відеоконтролю, крім ТВ-моніторів, які широко застосовуються, використовуються різного роду пристрої з лінійками світлодіодів та оптико-механічними системами розгортки [5].

Розрізняють такі методи сканування простору предметів і розгортки при формуванні вихідного зображення: послідовне, паралельне і паралельно-послідовне. При послідовному скануванні або розгортці здійснюється зміна напрямку візирної осі і перетворення сигналу по черзі уздовж кожного рядка зображення з наступним переходом на кожний наступний рядок. Таке сканування або розгортка можуть здійснюється при використанні одноелементних ПВ або світлодіодів, а також ПВ або світлодіодів у вигляді лінійок, елементи яких орієнтовані уздовж рядка.

При паралельному скануванні або розгортці площі ПВ або лінійки світло діодів, орієнтованих перпендикулярно до напрямку руху візирної осі.

При паралельно-послідовному скануванні або розгортці використовуються ПВ і лінійки світлодіодів у вигляді матриць, а огляд поля проводиться послідовно по зонах.

Відповідно до найбільш доцільних поєднань типів сканування, обробки сигналів та розгортки тепловізійні прилади з системами ОМС будують на основі наступних чотирьох основних принципів:

– паралельне сканування, паралельна обробка відеосигналів і паралельна розгортка;

– паралельне сканування, паралельна обробка сигналів з наступним їх перетворенням (мультиплексуванням) для виведення зображення на ТВ-монітор;

– паралельно-послідовне сканування і розгортка з паралельною обробкою сигналів;

– послідовна обробка сигналів з перетворенням сигналу для виведення на ТВ- монітор.

Існує широкий ряд моделей тепловізорів та програмного забезпечення для розв’язання різноманітних проблем забезпечення безпеки. На ринку доступні моделі наступних класів: ручні, ближньої дії (до 500 метрів), середньої (до 5 кілометрів) і далекої (більше 5 кілометрів). Окремим класом стоять комплексні системи, поєднані з CCD-сенсором, GPS, лазерним далекоміром і т.п. Сьогодні на ринку систем телеспостереження доступна широка лінійка продуктів, починаючи від портативних ручних тепловізорів для бригад оперативного реагування до далекодіючих комплексних систем з дистанцією детектування 50 км.

Прилади з ультраширокими (180°) полем зору здатні перекривати дистанцію в 400 м і детектувати вторгнення з відстані в 200 м. Завдяки своїм характеристикам їх можна застосовувати у якості альтернативи класичним системам охорони периметра. Крім того, такі прилади мають усі переваги тепловізійного методу охорони.

Слід зазначити, що тепловізійна техніка має ряд переваг і властивих тільки їй можливостей, а саме:

- виявлення віддалених тепловипромінюючих об’єктів (або цілей) незалежно від рівня природної освітленості, а також, до певної міри, теплових або інших перешкод (диму, дощу, туману, снігу, пилу і т.п.);

- можливість цілодобового спостереження;

- безшумність і пасивний принцип роботи; - велика швидкодія, малі габарити й енергоспоживання;

Фотоемульсійні пластини та елементи із зовнішнім фотоефектом застосовуються у ближній та середній областях – відповідно у локальних (пірометри, що порівнюють яскравості об’єкта вимірювання та еталонного нагрітого тіла) та несканувальних приймачах. Теплові приймачі, як правило, не застосовують у локальних, а лише у сканувальних системах, що працюють у середній та далекій областях сприйняття.

Оптико-механічні пристрої для сканування досить інерційні, оскільки засновані на коливальному або обертальному русі порівняно великих оптичних деталей; тепловізори з оптико-механічними сканувальними пристроями більш чутливі, ніж з фотоелектронними сканувальними пристроями, так як в перших ширина смуги частот підсилювачів фотоструму може бути обрана досить вузькою. Як ПІ в тепловізорах з оптико-механічними сканувальними пристроями застосовують фоторезистори, чутливі в інфрачервоній області спектра (InSb, HgCdTe і ін.). При цьому розрізняють тепловізори з одноелементна приймачем і двовимірним скануванням і тепловізори з лінійним багатоелементних приймачем і одновимірним скануванням. Другим варіантом в даний час віддається перевага, хоча зміна чутливості від елемента до елементу погіршує якість одержуваного зображення.

1.3 Проблеми низької точності вимірювань температури випромінювання з використанням тепловізора

Основною проблемою вимірювання температури (ВТ) за інфрачервоним випромінюванням (ІЧВ) за допомогою тепловізорів є низька точність ВТ поверхні об'єкта дослідження. Зумовлена вона впливом факторів навколишнього середовища, дію яких на результати вимірювання важко врахувати. Значний вплив на точність вимірювань виникає у результаті необхідності введення апріорної інформації у систему тепловізора про параметри проведення дослідження, значення яких суб'єктивно вибираються спеціалістом з неруйнівного контролю (НК). Зокрема, низька точність результатів тепловізійного дослідження зумовлена впливом:

- випромінювальних властивостей поверхні об'єкта дослідження;
- фонове випромінення (ФВ) сторонніх об'єктів;
- пропусканням проміжного середовища.

При цьому відхилення від дійсного значення температури може значно перевищувати значення похибки засіба вимірювальної техніки (ЗВТ) і становити сотні градусів [2]. Вплив цих факторів на потік випромінення, що сприймається оптичною системою тепловізора в робочих умовах його експлуатації, можна описати так:

$$\Phi(\lambda,T)=\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}(\tau_w(\lambda,T_{amb.})\cdot\varepsilon_o(\lambda,T)\cdot C_1\lambda^{-5}(e^{\frac{C_2}{\lambda T_o}}-1)^{-1})d\lambda+ \\ +\left(\tau_w(\lambda,T_{amb.})\cdot(1-\varepsilon_o(\lambda,T)\cdot\Phi_w(\lambda,T_f)\right),$$

де $\tau_w(\lambda, T_{amb.})$ – коефіцієнт пропускання проміжного середовища (КППС) в робочий умовах; $\varepsilon_0(\lambda, T)$ – коефіцієнт випромінення (КВ) поверхні об'єкта дослідження; $\Phi_w(\lambda,T_f)$ – потік ФВ.

Узагальнена схема вплив цих факторів на оптично-приймальну систему (ОПС) тепловізора у робочих умовах представлена на рисунку 1.4.

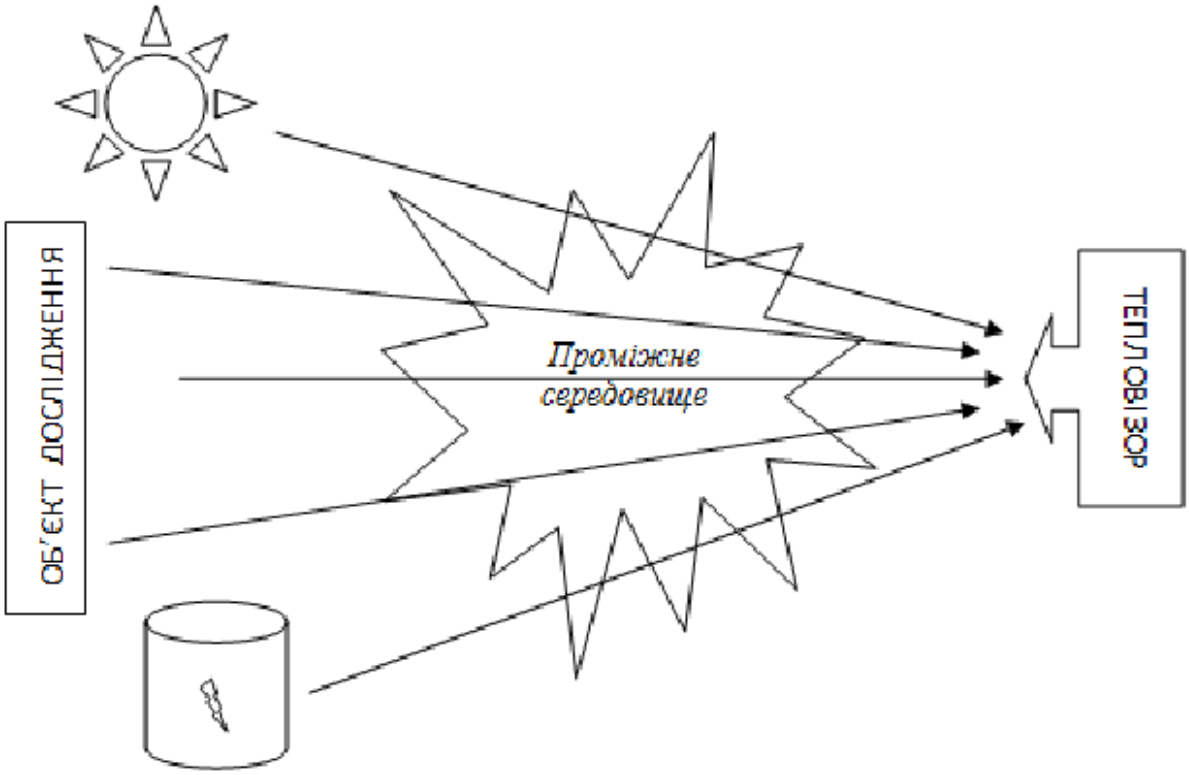


Рисунок 1.4 – Схема проведення ВТ за ІЧВ у реальних умовах експлуатації

Також значний вплив на результати має суб'єктивна складова похибки, що зумовлена правильністю виконання процедур вимірювань, розуміння фізичних основ дослідження, введення необхідних поправок на випромінювальні властивості складних за формою та матеріалом об'єктів, вибору значень параметрів, що вводяться у систему тепловізора оператором (рис. 1.5).

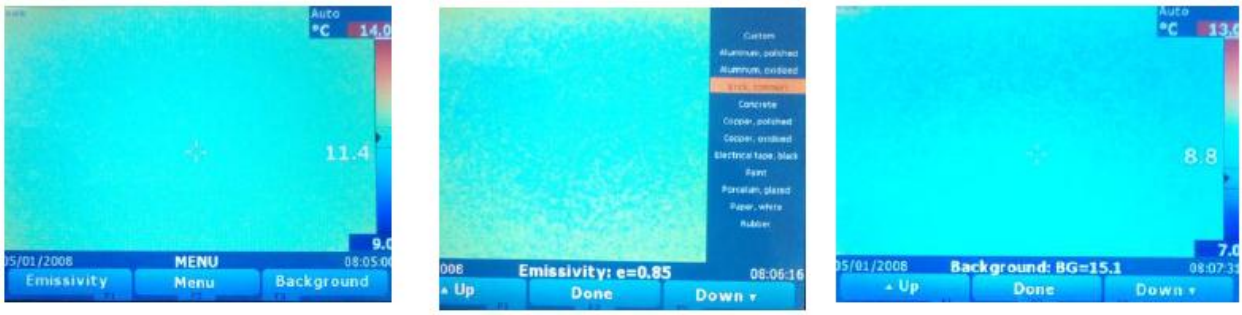


Рисунок 1.5 – Зображення дисплею тепловізора із можливістю вибору параметрів проведення тепловізійного дослідження

Тому важливе значення має рівень кваліфікації та підготовки персоналу, який працює з тепловізором. Адже основним завданням тепловізійного дослідження є не отримання якісного зображення – термограми, а коректних значень температури теплового поля (ТП) об’єкта дослідження, тобто розподілу температури (РТ), що дозволить провести кількісних аналіз результатів тепловізійного дослідження.

Відповідно, щоб забезпечити можливість підвищення точності ВТ за ІЧВ, необхідно вимірювати значення цих факторів та вводити поправки при опрацюванні вихідного сигналу тепловізора.

Існуючі методи їх визначення зводяться в основному до теоретичної оцінки, що часто ґрунтуються на використанні табличних даних, проведенні вимірювань за умов, коли мінімізується вплив даних факторів, або ж експериментальному визначенні кожного з них у лабораторних умовах, що не дозволяє відтворити реальні умови вимірювань. Їх застосування не забезпечує високоточного ВТ за ІЧВ у реальних умовах у будь-який момент часу. Розглянемо детально кожен із зазначених факторів та існуючі практичні методи визначення їх значень. Щодо впливу випромінювальних властивостей поверхні об’єкта дослідження, то основною причиною істотної їх дії на точність ВТ, є насамперед відсутність в умовах вимірювань достовірної інформації про значення КВ поверхні об’єкта дослідження. При цьому, часто упускається той факт, що КВ характеризує не конкретний матеріал, а стан та властивості поверхні об’єкта дослідження в даних умовах. Водночас при вимірюваннях в основному користуються апріорною інформацією, запропонованою програмним забезпеченням тепловізора, що передбачає використання табличних даних про значення КВ саме для конкретних матеріалів. Методи визначення значення КВ умовно поділяються на прямі (на основі кількості енергії) та непрямі (на основі закону Кірхгофа за відбивною чи поглинальною здатністю) [3]. Обидва типи передбачають одночасне визначення температури досліджуваного об’єкта. До основних із них відносимо: метод «чорного тіла», метод «плями», метод багатоспектральної корекції випромінювальних харак-

теристик поверхні, метод «пірометра», спектроболометричний метод, метод «підсвітки», метод вимірювання в поляризованому світлі, метод оптичних сталих, метод поглинання, тестові методи [3]. Проте, спільним недоліком усіх цих методів є те, що вони передбачають визначення КВ лише для певних об’єктів за конкретно визначених умов. Водночас жоден із них не дозволяє врахувати значення ФВ, що формує значення температури досліджуваного об’єкта, а відповідно і значення КВ, що визначається експериментальним шляхом. Також у робочих умовах може бути присутнім інтенсивне сонячне випромінення та інші потужні джерела випромінення, зокрема, об’єкти з істотно відмінною температурою від температури об’єкта дослідження. При цьому значення КВ досліджуваного об’єкта відмінне від 1, тому згідно закону Кірхгофа для непрозорих об’єктів присутньою є здатність до відбивання ФВ, що діє на поверхню об’єкта дослідження [3]. Величину ФВ можуть формувати випромінення сторонніх об’єктів (зокрема, Сонця [2], освітлювальних приладів, систем кондиціонування та опалення, об’єктів дослідження з температурою, відмінною від температури об’єкта дослідження, і т.д.), випромінення інших частин об’єкта дослідження з відмінною температурою та випромінення проміжного середовища [3]. Водночас при проведення вимірювань у системі тепловізора передбачено введення значення лише температури навколишнього середовища («background temperature»). Тому доцільним є врахування саме значення потоку відбитого ФВ на значення вихідного сигналу тепловізора. До основних методів коректування впливу фону відносять: метод ефективних яскравостей [3], використання при вимірюваннях поляризаційного радіометра, двохкутовий метод корекції (кути візирування 0° та 60°), метод безпосереднього визначення ФВ, диференційний метод [1]. Кожен із представлених методів має свої недоліки: перший та третій не дозволяють розраховувати ФВ для об’єктів із різнорідною поверхнею, другий, четвертий та останній вимагають використання додаткового обладнання, та жоден із запропонованих методів не дозволяє врахувати сумарне значення ФВ, що потрапляє на ОПС тепловізора від усіх його складових. Окрім того, у ро-

боті [3] представлені способи зменшення впливу ФВ, а саме: екранування поверхні об’єкта дослідження, збільшення КВ поверхні досліджуваного об’єкта за рахунок, наприклад, покривання фарбою чи шаром матеріалу із більшим значенням КВ, проведення вимірювань за умови, коли температура ФВ наближається до температури об’єкта дослідження. Проте, ці способи мають обмежену сферу застосування. Комбінування вищезазначених методів визначення ФВ та способів зменшення його впливу, можуть сприяти істотному зменшенню величини методичної похибки, проте доцільним було б розроблення такого методу, що передбачав би врахування сумарного потоку ФВ, властивого даним умовам при перетворенні вихідного сигналу у значення температури. Останнім впливним фактором визначено пропускання проміжного середовища, адже часто дослідження проходять на відкритому повітрі або у приміщеннях із підвищеною вологістю, із забрудненим чи загазованим повітрям тощо. Внаслідок цього виникає необхідність врахування можливості послаблення випромінення, а відповідно і зростання значення методичної 33 похибки. Значення КППС повинно враховувати поглинання та розсіювання середовища, у якому проводиться вимірювання. Серед існуючих методів визначення КППС виділимо наступні: метод розрахунку передавальної функції атмосфери, метод багатоспектральної корекції, різновисотні методи дослідження підстилаючої поверхні, багатокутові методи огляду підстилаючої поверхні [2]. Незважаючи на їх різноманітність, найнадійнішим є експериментальне визначення в конкретних умовах. Таким чином, достовірно знаючи параметри, які визначають результат функції перетворення вихідного сигналу окремого приймача випромінення (ПВ) матриці тепловізора у значення точкової температури, можна істотно підвищити точність результатів ВТ за ІЧВ в реальних умовах. Саме тому виникає потреба у розробці такого методу ВТ та градієнту температури (ГТ) за ІЧВ, що забезпечуватиме визначення та врахування значення даних впливаючих факторів потоку випромінення, яке потрапляє на окремий приймач матриці ПВ тепловізора, з метою підвищення точності вимірювання не лише ГТ, окремого значення то-

чкової температури, але і РТ поверхні загалом. Це дозволить також виключити суб'єктивну складову похибки, зумовлену необхідністю оператора вибирати та вводити значення параметрів проведення дослідження. Отже, ефективність застосування тепловізорів у промисловості та медицині залежить не тільки від їх метрологічних характеристик, програмного забезпечення при опрацюванні результатів дослідження, але й від можливості врахування вищерозглянутих впливаючих факторів та реалізації на цій основі методики ВТ та ГТ за ІЧВ.

Метою роботи являється розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток тепловізійних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз механізмів сканування тепловизійніх систем;

- розробити генератор імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою;

- провести аналіз функціонування розроблених вузлів в програмному забезпеченні Electronics Workbench.

2 Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток тепловізійних систем

Не дивлячись на значні досягнення в розробці твердотілих приймачів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання і, зокрема, неохолоджуваних матриць, піроелектричні відикони (ПЕВ) в даний час залишаються одними з найбільш доступних вітчизняних ІЧ-датчиків, на основі яких можливе створення сучасних тепловізорів широкого вживання для вирішення практичних завдань діагностики і візуалізації теплових полів в медицині, промисловості, енергетиці, будівництві, на транспорті і в інших галузях.

Основними перевагами тепловізора, побудованого на основі ПЕВ, є: відсутність охолоджування приладу, компактність, зручність в експлуатації, можливість використання стандартної телевізійної апаратури для візуалізації отримуваного зображення і відносно низька собівартість. Піровідикони застосовуються для візуалізації об'єктів, перш за все в далекому ІЧ-діапазоні (8,14 мкм).

2.1 Аналіз механізмів сканування тепловизійніх систем

2.1.1 Тепловізори з оптико-механічним скануванням

Для здобуття видимого зображення тепловипромінюючого об'єкту в тепловізорах з оптико-механічним скануванням здійснюють розкладання (розгортку) об'єкту на деяке число елементарних майданчиків. Кожен такий майданчик (елемент розкладання), є найменшою деталлю, яку може відтворити дана система. Аналіз потужності теплового випромінювання окремих елементів виробляється приймачем зображення (ПЗ), з виходу якого послі-

довно в часі знімаються сигнали, які міст інформацію про тепловипромінюючий об'єкт і фон, що оточує його. Таким чином, двовимірний розподіл яскравостей в просторі об'єктів в результаті сканування перетвориться в одновимірний розподіл напруги на резисторі навантаження ПЗ [1].

Сигнали з приймача передаються по одному каналу в індикатор видеоконтрольного пристрою (ВКП), який перетворить їх у видиме зображення. Найчастіше як індикатор ВКП використовують електронно-променеву трубку (кінескоп). Оскільки в кожен момент часу на екрані кінескопа відтворюється лише один елемент зображення, закон руху електронного променя кінескопа має бути ідентичний закону розгортки, що досягається вживанням синхронізуючих елементів.

Принцип дії тепловізора з оптико-механічним скануванням полягає в наступному (рис.2.1).

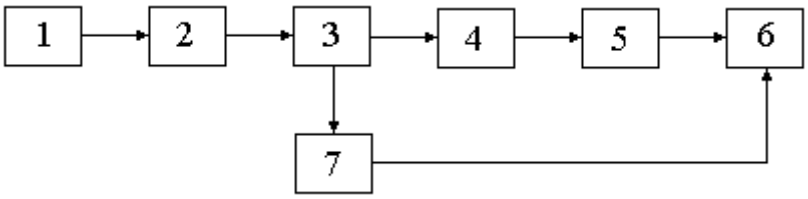


Рисунок 2.1 – Спрощена схема тепловізора з оптико-механічним скануванням

Теплове випромінювання об'єкту 1 і фону, що оточує його, пройшовши через шар атмосфери, який розділяє тепловізор і спостережуваний об'єкт, фокусується об'єктивом 2 на чутливий майданчик ПЗ 4. Скануючий пристрій 3 здійснює розгортку об'єкту, послідовно направляючи на ПЗ зображення різних елементів об'єкту. Після посилення і перетворення телевізійного сигналу підсилювачем 5, сигнал подається в індикатор ВКП 6, який формує видиме зображення об'єкту або записує сигнал яким-небудь реєстратором. У ВКП поступають також синхронізуючі сигнали від елементів 7, зв'язуючих ВКП із скануючим пристроєм.

Одним з головних елементів тепловізорів з оптико-механічним скануванням, що визначає їх температурну чутливість і максимальну дальність дії, є приймач інфрачервоного випромінювання. У тепловізорах застосовують два види приймачів: одноелементні і багатоелементні. Чутливі елементи приймачів являють собою фоторезистори, провідність яких змінюється під дією падаючого на них випромінювання. Найбільш поширені в тепловизійній апаратурі плівкові (PBS, PbSe) і монокристалічні (InSb, HgCdTe) фоторезистори. Чутливість цих приймачів значно зростає з пониженням температури чутливого шару, тому останній охолоджують до температури 77...195 °С, використовуючи для цього спеціальні пристрої, що охолоджують (кріостати, термоелектричні холодильники, пристрої, засновані на ефекті Джоуля-Томсона, і ін.).

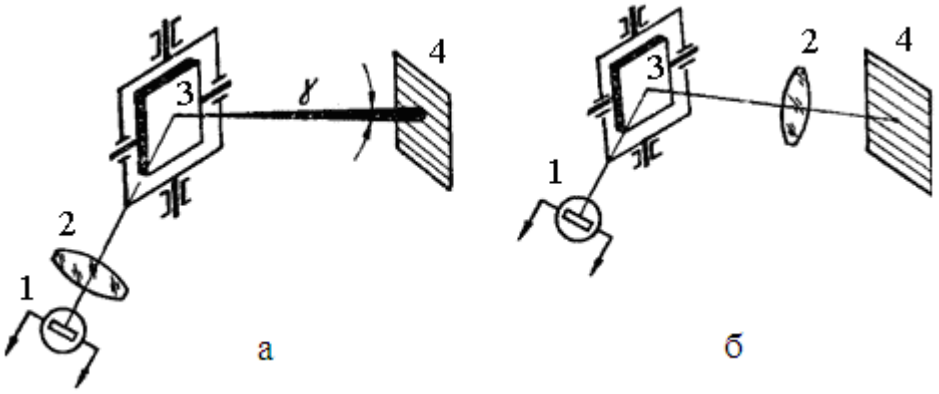
У оптико-механічних скануючих пристроях сканування виробляється шляхом зміни напряму оптичної вісі приладу. При цьому загальне поле огляду послідовно аналізується миттєвим полем зору оптичної системи приладу [2].

Траєкторії сканування можуть бути найрізноманітнішими (спіральна, розеткова, прямокутна, циклоїдна і ін.). У тепловізорах зазвичай застосовують телевізійну розгортку: оптична вісь переміщається з постійною швидкістю по двох взаємно перпендикулярних напрямах. Рух по горизонталі створює рядкову розгортку. Прокреслювані при цьому лінії називаються рядками. В результаті переміщення по вертикалі, що створюється кадровою розгорткою, всі рядки розташовуються одна під інший. За один період кадрової розгортки відбувається передача нерухомого зображення, званого кадром.

Сканування плоскими дзеркалами, що коливаються. Для сканування теплового поля прямокутної форми при одноелеметному ПЗ застосовують плоске дзеркало, що здійснює коливальні рухи відносно двох взаємно перпендикулярних вісей. Зміна положення дзеркала досягається за допомогою різних електромеханічних і електромагнітних приводів. В процесі сканування

миттєве поле зору приладу рухається в площині розташування спостережуваного об'єкту, утворюючи телевізійний растр.

Дзеркало розміщують або до об'єктиву в паралельному пучку променів (рис. 2.2 а), або за об'єктивом в пучку, що сходиться (рис. 2.2 6). У першому випадку досягається висока якість зображення, але при цьому розміри дзеркала, що коливається, мають бути великими і вимоги до якості виготовлення його відзеркалювальної поверхні – жорсткими.



1 — приймач зображення;

2 — об'єктив;

3 — скануюче дзеркало;

4 — поле огляду

а - розміщення в паралельному пучку променів;

б - розміщення в пучку променів, що сходиться

Рисунок 2.2 - Скануючі пристрої з дзеркалом, що коливається

Відрядкове сканування за допомогою плоского дзеркала, що коливається, наводить до відхилення растру від прямокутного, якщо дзеркало розташоване під деяким кутом γ до оптичної вісі (рис. 2.3 а). Приймаючи за кількісну характеристику цього відхилення найбільшу відносну зміну розмірів, відповідну краю поля зору ($\alpha = \alpha_{max}$), отримаємо [3]:

$$\frac{\Delta y}{y}=\frac{y_{max}-y_0}{y_0}=\frac{\left(\frac{L_0}{\cos\beta_{max}}\right)tg\alpha_{max}-\left(\frac{L_0}{\cos 0}\right)tg\alpha_{max}}{\left(\frac{L_0}{\cos 0}\right)tg\alpha_{max}}=\frac{1}{\cos\beta_{max}}-1,$$

де α_{max} и β_{max} – максимальні кути повороту дзеркала відносно вісей ОХ і ОУ відповідно; L_0 = 00. При невеликих значеннях β_{max} спотворення поля зору dy/y < 1...3 %.

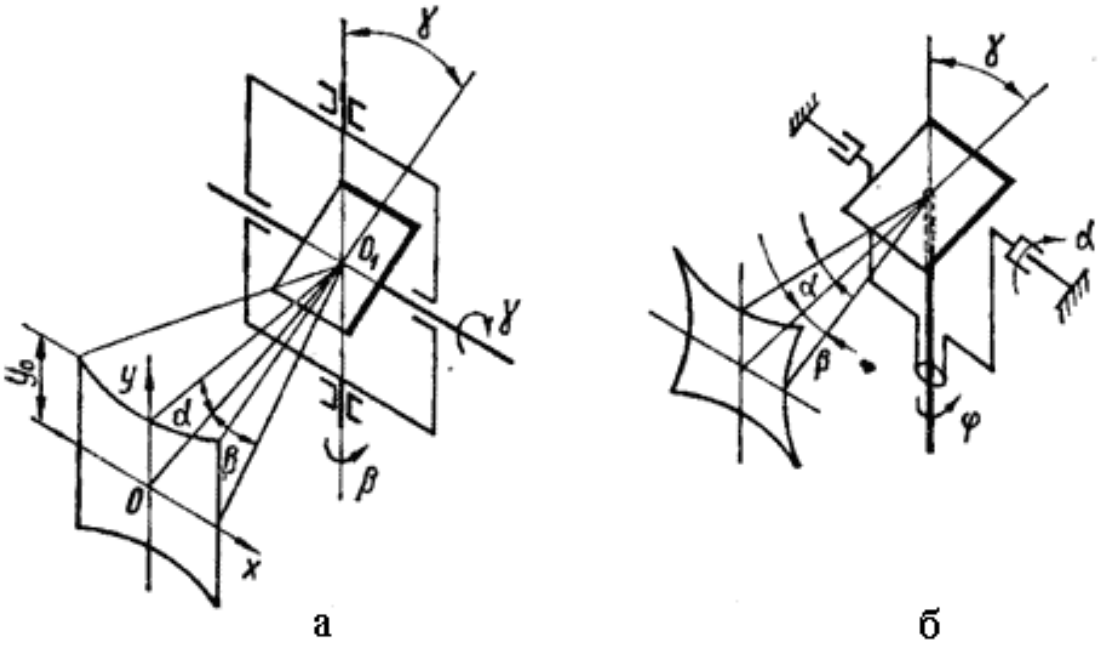
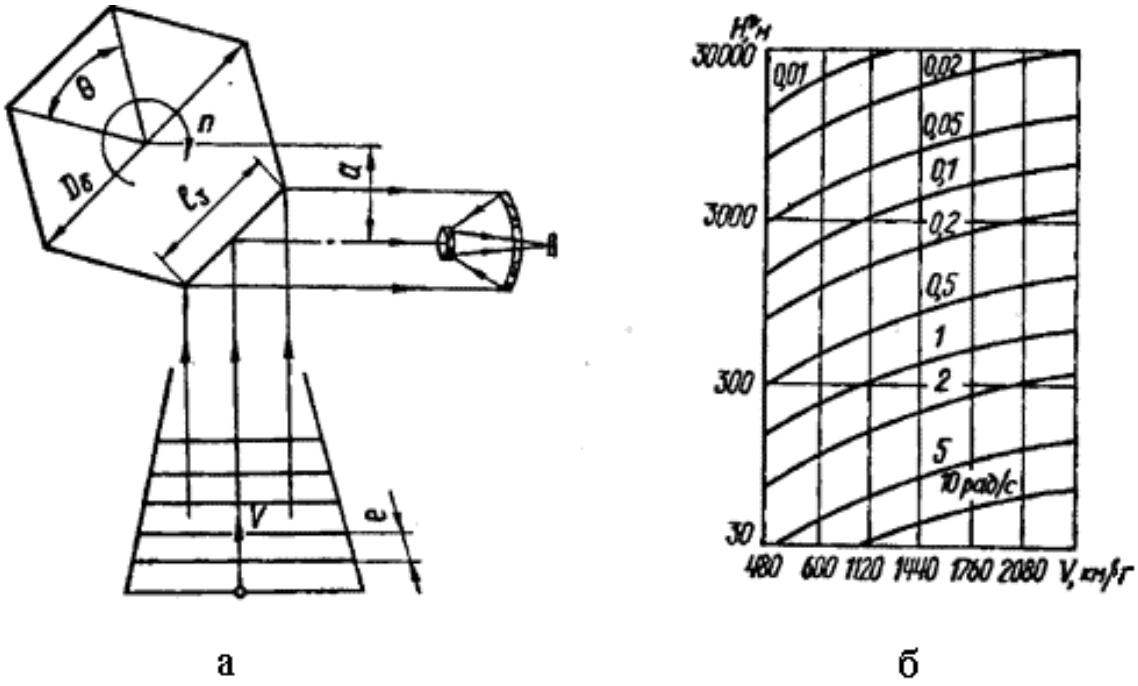


Рисунок 2.3 - Форма растру при відрядковому скануванні плоским дзеркалом (а) і плоским дзеркалом, жорстко закріпленим на вісі (б)

Скануюче плоске дзеркало може бути жорстко закріплене на вісі під кутом 45°, так що сканування уздовж рядка забезпечується поворотами дзеркала відносно цієї вісі на кут ±φ, а сканування по кадру – поворотом дзеркала разом з віссю, на якій воно закріплене, на кут ±γ (рис. 2.3 б). В цьому випадку форма растру близька до трапеції. При $\beta \le +10°$ і $\gamma \ge 2{,}5°$ викривлення рядків у верхній і нижній частинах растру складає 3 %, а викривлення кутових розмірів кожного рядка не перевищує 5 %.

В разі використання багатоелементне (лінійного) ПЗ конструкція скануючого пристрою з плоским дзеркалом спрощується, оскільки в цьому ви-

падку дзеркало повинне здійснювати коливальний рух лише відносно однієї вісі в на рисунку 2.4. У приведеній схемі фокусування випромінювання здійснюється дзеркальним об'єктивом, що має діаметр 100 мм, фокусна відстань 250 мм і пляма залишкової аберації 250 мкм.



а б

Рисунок 2.4 - Схема скануючого пристрою з дзеркальним барабаном, що обертається (а), і графіки зміни відношення V/H (б)

Сканування по горизонталі виробляється дзеркалом діаметром 150 мм, що коливається з власною частотою 20 Гц. Частота коливань визначається моментом інерції дзеркала і жорсткістю крутильної пружини, на якій воно підвішене. При коливаннях дзеркала неконтактний датчик видає сигнал зворотного зв'язку, відповідний переміщенню дзеркала. Цей сигнал після посилення подається на обмотку електромагніту, що впливає на легку залізну арматуру, прикріплену до дзеркала. Фаза сигналу зворотного зв'язку вибрана так, щоб забезпечувалися незгасаючі коливання дзеркала.

Загальний недолік скануючих пристроїв з плоскими дзеркалами, які коливаються – обмеження частоти розгортки із-за ударів в крайніх положеннях дзеркала. Дзеркальний барабан має ширші сфери вживання.

Недоліки розглянутої системи рядкового огляду простору визначаються залежністю частоти обертання дзеркального барабана від швидкості польоту носія при заданому коефіцієнті перекриття рядків і необхідністю обертання з великою швидкістю великорозмірних оптичних елементів. Окрім цього, випромінюючі об'єкти знаходяться на різних відстанях від носія в межах точки зору, що наводить до відмінності сигналів від однакових об'єктів, розташованих в різних місцях зони огляду.

2.1.1 Тепловізори з електронним скануванням

Електронна розгортка полягає в періодичному русі електронного променя електронно-променевої трубки по її теплочутливій мішені, потенційний рельєф якої відповідає яскравості оптичного зображення спостережуваного об'єкту. При цьому потенціал елементарного майданчика мішені, на якій в даний момент знаходиться промінь, перетвориться в електричний імпульс. Сукупність імпульсів, пропорційних енергетичній яскравості елементів зображення спостережуваного об'єкту, утворює сигнал зображення або відеосигнал.

При використанні рядкової розгортки з прямокутним кадром розгортка всієї площі мішені передавальної телевізійної трубки утворюється в результаті руху променя по двох взаємно перпендикулярним напрямам: по горизонталі – уздовж вісі x і по вертикалі – уздовж вісі y (рис. 2.5). Прокреслювані променем паралельні лінії (при русі уздовж вісі x) називаються рядками; при русі електронного променя уздовж вісі y всі рядки розташовуються одна під інший, утворюючи так званий телевізійний растр [3].

Рух променя від початку до кінця рядка утворює прямий хід променя. Для підготовки до розгортки наступного рядка необхідний зворотний хід променя, тобто його повернення від кінця попереднього рядка до початку наступного.

У передавальній камері тепловізора з електронним скануванням зображення спостережуваного об'єкту проектується за допомогою оптичної системи на мішень телевізійної передавальної трубки типа відикон, чутливою до короткохвильового інфрачервоного випромінювання, яка перетворює електронне зображення у відеосигнал (рис. 2.6).

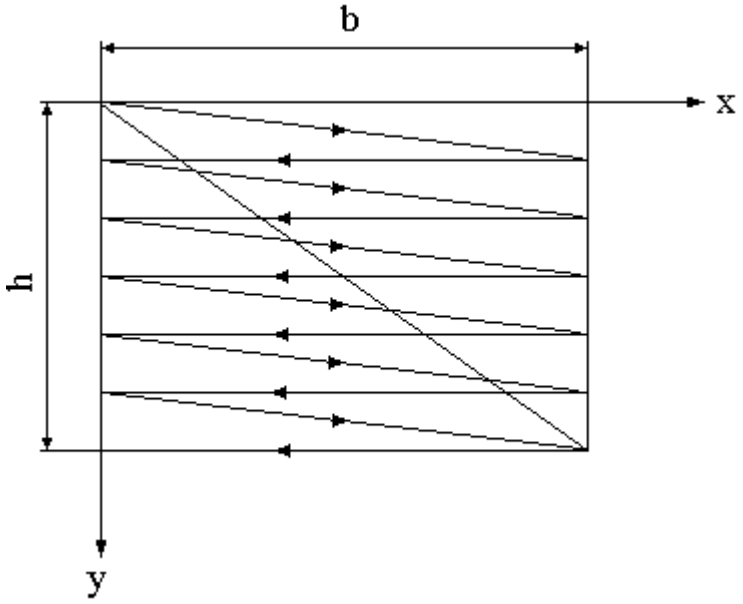
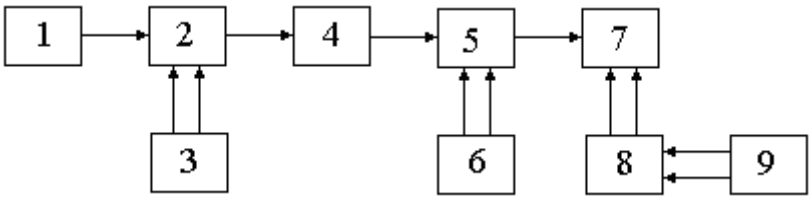


Рисунок 2.5 - Схема утворення телевізійного растру



1 - оптична система; 2 - блок передавальної телевізійної трубки; 3 - блок кадрової і рядкової розгорток передавальної трубки; 4 - попередній підсилювач відеосигналу; 5 - відеотракт; 6 - генератор синхронізуючих імпульсів; 7 - блок приймальної телевізійної трубки; 8 - блок кадрової і рядкової розгорток приймальної трубки; 9 - блок синхронізації

Рисунок 2.6 - Структурна схема тепловізора з електронним скануванням

Для розгортки зображення на відхиляючу систему трубки подаються напруга пилкоподібної форми рядкової і кадрової частот, розгортки, що виробляються блоком. Узгодження в часі руху електронного променя по екрану приймальної трубки з рухом променя по мішені передавальної трубки здійснюється за допомогою синхронізуючих імпульсів, що подаються вчасно зворотного ходу променя. При цьому системи розгортки передавальної і приймальної трубок повинні працювати синхронно і синфазно.

2.2 Розробка генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток

2.2.1 Аналіз схем існуючих генераторів імпульсів кадрової і рядкової розгорток

Схема генераторів кадрової і рядкової розгорток тепловізорів з електронним скануванням, різних модифікацій, складається з генератора високої частоти, генератора регульованої низької частоти, модулятора, підсилювача, комутатора для здобуття різних режимів, блоку живлення (рис. 2.7).

Генератор високої частоти генерує напругу синусоїдальної форми частотою 5000 Гц.

Генератор низької частоти генерує напругу синусоїдальної форми фіксованих частот 30; 50; 70; 100 і 150 Гц. У модуляторі напруга частотою 5000 Гц модулюється напругою низької частоти. Модульована напруга поступає на підсилювач з двотактним виходом, а потім в блок передавальної телевізійної трубки. За допомогою електронного комутатора виробляється перемикання відповідних кіл для здобуття необхідного роду роботи, які забезпечуються у випрямленому режимі з позитивною або негативною полярністю.

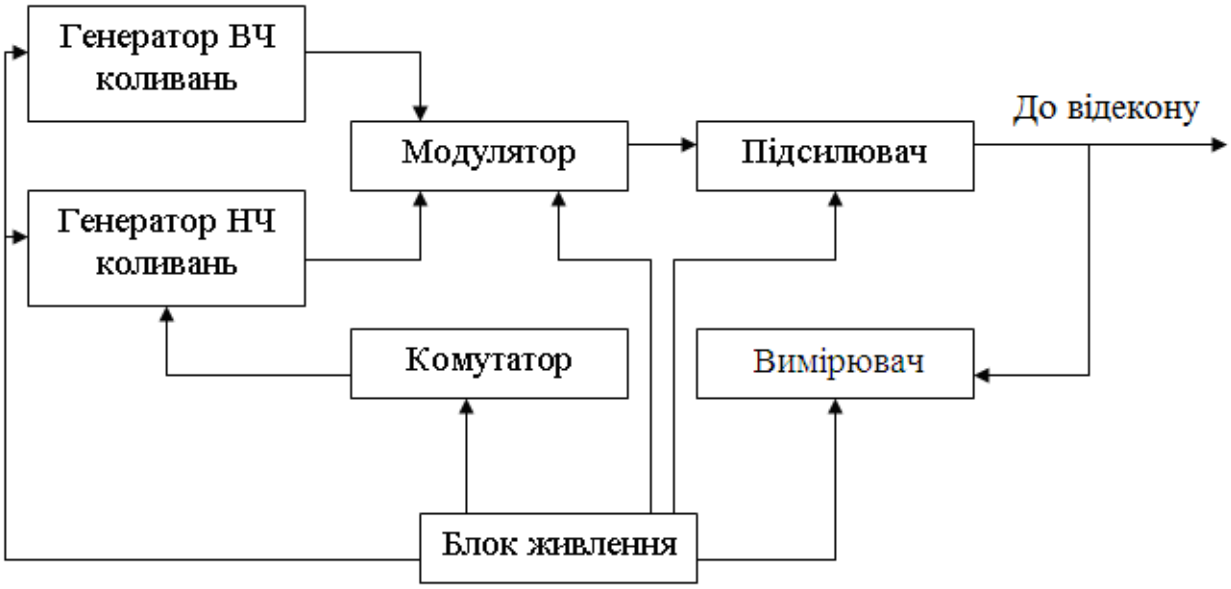


Рисунок 2.7 - Структурна схема генератора кадрової і рядкової розгорток

Генератор високої частоти складається з схеми LC з автотрансформаторним зворотним зв'язком і заземленим колектором (рис. 2.8)..

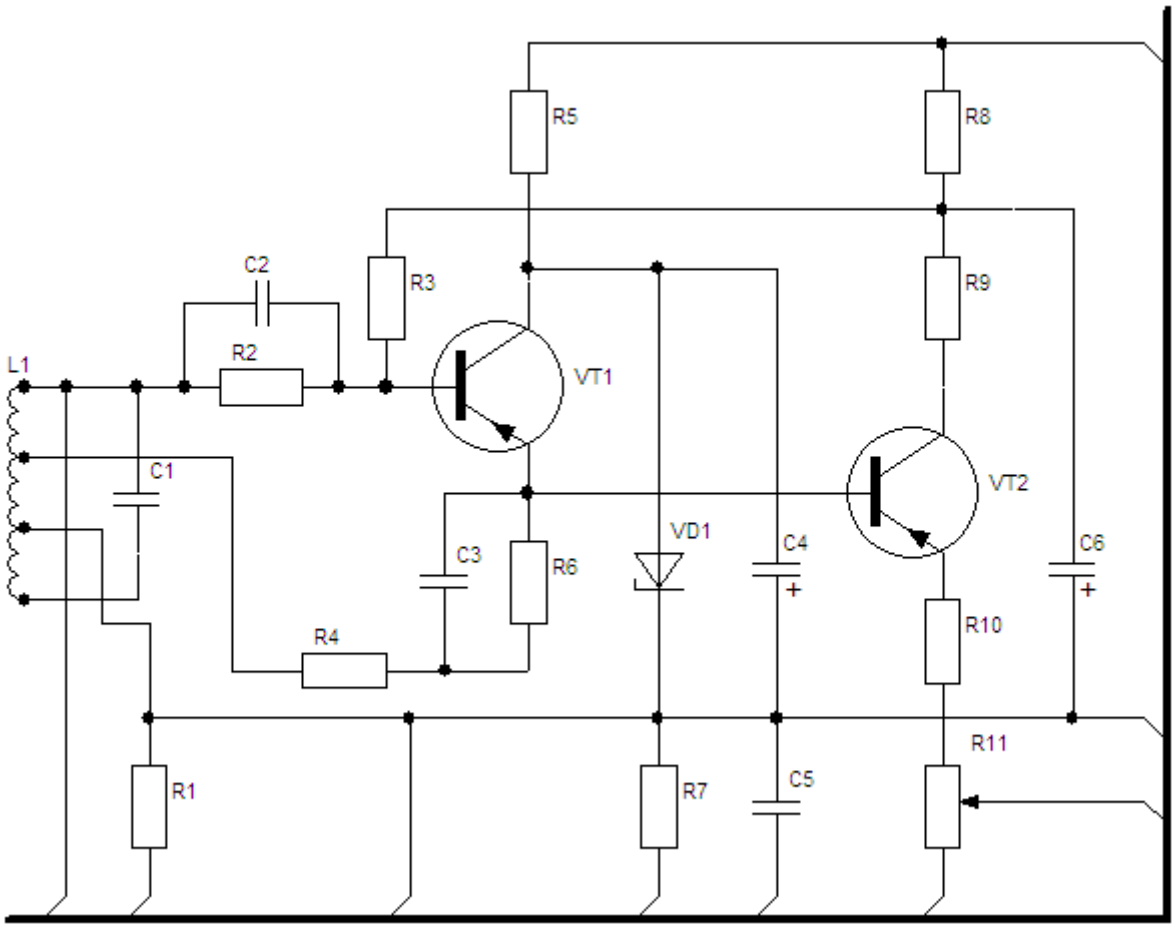


Рисунок 2.8 - Схема генератора високої частоти

Схема генератора з фазоінверсним підсилювачем зібрана на двох транзисторах VT1 і VT2. Для зменшення впливу розкиду динамічних параметрів транзисторів застосований резистор R4, який є опором зворотному зв'язку по змінному струму, що покращує форму напруги, що генерується, підвищує стабільність частоти і робить схему генератора малочутливою до розкиду параметрів транзисторів.

Резистор R6 в колі емітера і резистор R2 нижнього плеча дільника зсуву підключені до відведень індуктивності контура L1. Ці резистори по змінному струму зашунтовані конденсаторами С2 і С3. Режим серій і пауз здійснюється шляхом почергового замикання і розмикання частини витків (відведення 1 і 2) котушки індуктивності генератора. Замикання викликає зрив генерації. Стабілізація колекторної напруги транзистора VT1 здійснюється за допомогою кремнієвого стабілітрона VD1.

Вихідний сигнал генератора поступає на модулятор з дільника напруги, включеного в коло емітера транзистора VT2. Амплітуда встановлюється за допомогою потенціометра R11.

Генератор низької частоти (рис. 2.9) зібраний по RC-схемі і містить фазуюче коло, підсилювач і коло зворотного зв'язку. Як фазуюче коло вибраний Г-подібний чотириполюсник, включений в коло позитивного зворотного зв'язку. Зміна частоти здійснюється одночасним перемиканням опорів в послідовній і паралельній гілці фазуючого кола (резистори R1...R10). За допомогою перемикача В1 фазуюче коло і коло зворотного зв'язку утворюють міст Віна, в одну з діагоналей якого включений вхід, а в іншу - вихід підсилювача. Підсилювач виконаний на трьох транзисторах VTI, VT2 і VT3. Перший і третій каскади підсилювача виконані за схемою із загальним емітером і працюють як підсилювачі напруги. Другий каскад (що погоджує) виконаний за схемою із загальним колектором. Зв'язок між каскадами безпосередній. Зворотний зв'язок з останнього каскаду на перший, утворений резисторами R11, R12 і R22, визначає напругу зсуву всього підсилювача.

Для збільшення вхідного опору першого каскаду в коло зворотного зв'язку включений конденсатор С4. Кремнієвий стабілітрон VD1, включений в коло емітера другого каскаду, дозволяє погоджувати перший і третій каскади по постійній складовій.

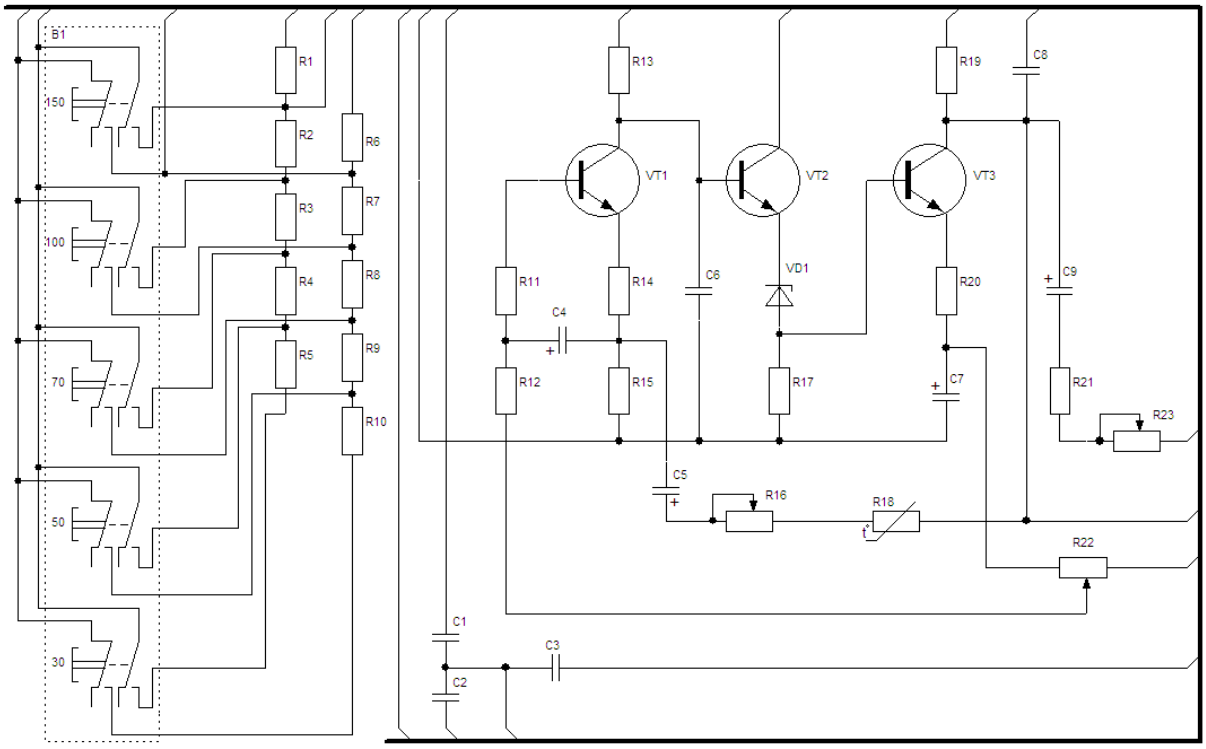


Рисунок 2.9 - Схема генератора низької частоти

З колектора останнього транзистора VT3 сигнал через перехідний конденсатор С9, обмежуючий резистор R21 і потенціометр калібрування модуляції R23, подається на вихідний дільник напруги. Сигнал з дільника подається на вхід модулятора. Коефіцієнт модуляції визначається амплітудою напруги цього сигналу.

Для здобуття синусоїдально-модульованої напруги служить модулятор (рис. 2.10), зібраний за схемою подвійної колекторної модуляції з постійним збудженням.

Модулятор складається з двох каскадів. На транзисторі VT1 зібраний підсилювач низької частоти, а на транзисторі VT2 – модулятор.

На базу транзистора підсилювача низької частоти через коло, що коректує і складається з резистора R1 і конденсатора С2, поступає з дільника на-

пруга низької частоти. Колекторним навантаженням транзистора VT1 є резистор R5. Цей резистор включений послідовно в колекторне коло, транзистора модулятора VT2, на базу якого подається високочастотний сигнал.

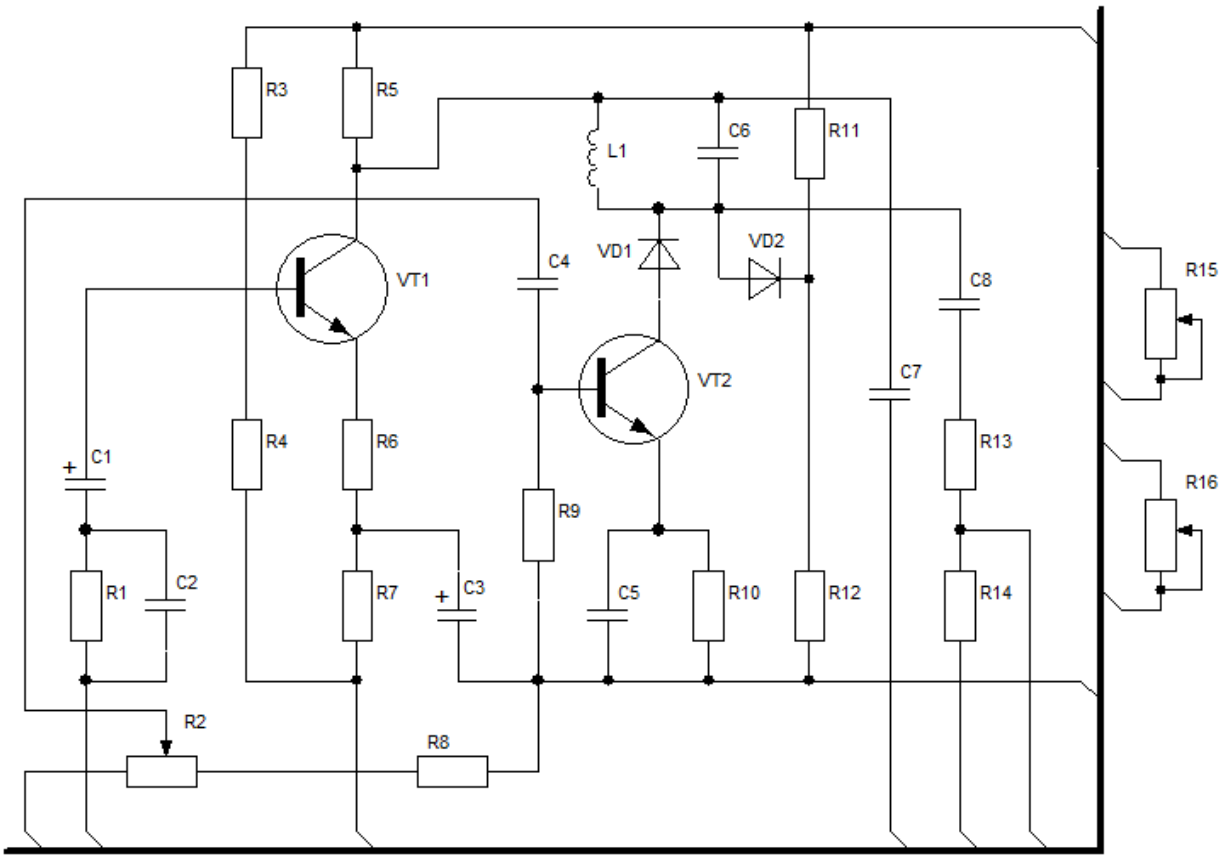


Рисунок 2.10 – Схема модулятора

Унаслідок приєднання колекторного кола транзистора VT2 і резистора R5 генератора низької частоти живлення модулятора здійснюється напругою, що змінюється за законом низької частоти. Конденсатор С7 являється блокуючим для високої частоти. У коливальному контурі модулятора, що складається з котушки індуктивності L1 і конденсатора С8, виникають синусоїдально-модульовані коливання.

Сигнал з виходу модулятора, тобто з контура L1 і С8, через дільник напруги, що складається з резисторів R13, R14 і R16, поступає на вхід підсилювача. Плавне регулювання вихідного сигналу здійснюється потенціометром R16, ступінчасте перемикання здійснюється замиканням частини дільника - резистора R14. Одночасно відбувається перемикання діапазону міліамперметра.

Підсилювач, призначений для посилення напруги, що поступає з модулятора, забезпечує струм до 80 мА (рис. 2.11). Вихідний опір підсилювача складає 250 Ом.

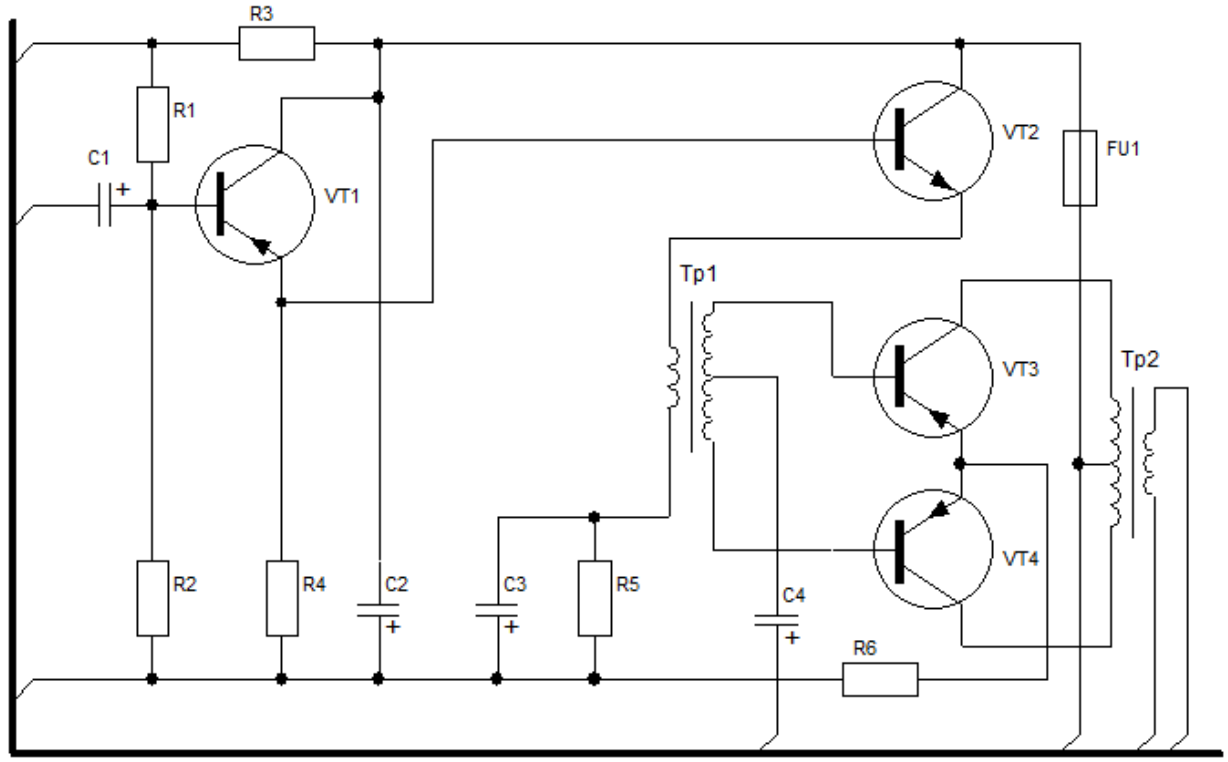


Рисунок 2.11 - Схема підсилювача

Підсилювач зібраний за двокаскадною схемою з трансформаторним виходом. Перший каскад є емітерним повторювачем, виконаний на складеному транзисторі VT1 і VT2. Каскад призначений для узгодження вихідного опору модулятора з вхідним опором підсилювача. Емітерним навантаженням каскаду служить трансформатор Тр1, за допомогою якого здійснюється перехід до двотактного крайового каскаду. Крайовий двотактний каскад зібраний на транзисторах VT3 і VT4 і працює в режимі АВ. Трансформатор Тр2 виконаний з підвищеною ізоляцією.

Електронні компоненти розташовані на трьох платах: комутуючого пристрою, генератора і джерела живлення.

2.3 Генератор імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою

Генератор імпульсів повинен складатися з наступних основних блоків (рис. 2.12):

- генератора синусоїдальних коливань 5 кГц;
- генератор експоненціальних імпульсів від 5 до 100 Гц;
- модулятора;
- ключа;
- перетворювача напруги;
- підсилювача.

Генератор 5 кГц виробляє синусоїдальну напругу стабільної амплітуди, яка поступає на один з входів модулятора. На другий вхід модулятора подається напруга експоненціальної форми з генератора, частота якого змінюється в межах від 5 до 100 Гц.

На виході модулятора формується високочастотний сигнал 5 кГц з низькочастотною огинаючою, яка повторює пилкоподібну форму генератора 5...100 Гц [4, 5]. Сформований сигнал поступає на ключ, для здобуття імпульсів з шпаруватістю «1:1», «1:2», «1:3», які поступають на вхід підсилювача і посилюються до необхідного рівня.

Серед генераторів синусоїдальних коливань найбільш поширеними є LC- і RC-генератори.

Генератори LC-типа мають порівняно високу стабільність частоти коливань, стійко працюють при значних змінах параметрів транзисторів, забезпечують здобуття коливань, що мають малий коефіцієнт гармонік. У генераторах LC-типа форма вихідної напруги вельми близька до гармонійної. Це обумовлено досить хорошими властивостями коливального контура, що фільтрує. Базові схеми LC-генераторів показані на рисунку 2.13 [6].

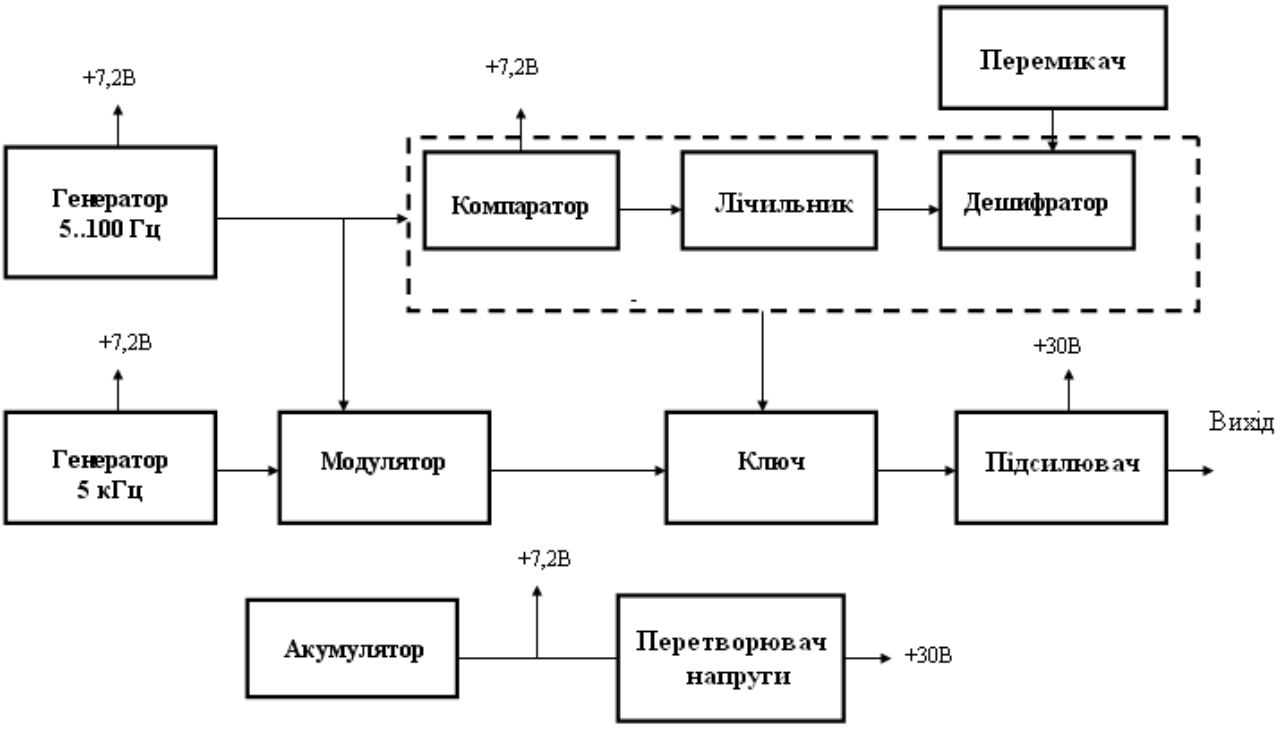
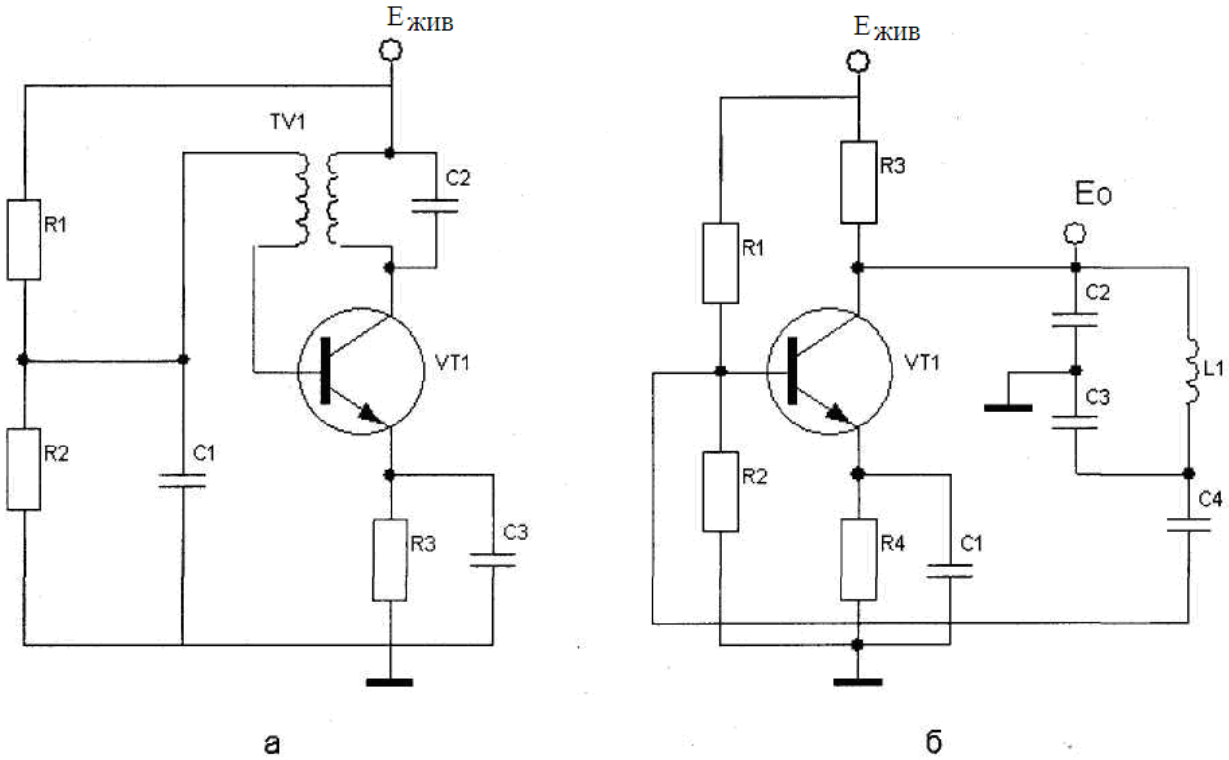


Рисунок 2.12 - Функціональна схема генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток



а - з індуктивним зворотним зв'язком;

б - з ємкісним зворотним зв'язком

Рисунок 2.13 - LC - генератори

До недоліків LC-генераторів відносяться труднощі виготовлення високостабільних незалежних від температури котушок індуктивності, а також висока вартість і громіздкість останніх.

Схему на рисунку 2.13, а називають індуктивною трьохточкою або схемою Хартлея, на рисунку 2.13, б – ємкісною трьохточкою або схемою Колпітца. Для обох схем за допомогою резисторів Rl, R2 і R3 встановлюється необхідний режим по постійному струму. Конденсатори С1 і С3 – блокувальні, конденсатор С4 називають конденсатором зв'язку. Частота автоколивань для обох схем розраховується формулою:

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

Для схеми Колпітца:

$$C = \frac{C2 \cdot C3}{C2 + C3}$$

Для всіх автогенераторів умовами виникнення автоколивань являється наявність позитивного зворотного зв'язку при коефіцієнті посилення рівному або більшому 1. Для схеми Хартлея ці умови забезпечуються за рахунок транзисторного каскаду, вибору коефіцієнта трансформації і відповідного включення обмотки зв'язку. Позитивний зворотний зв'язок в генераторі Колпітца забезпечується за рахунок того, що сигнал зворотного зв'язку поступає з коливального контура, при якому сигнал зворотного зв'язку на базі транзистора збігається по фазі із змінним сигналом на колекторі. Коефіцієнт передачі кола зворотного зв'язку при цьому визначається коефіцієнтом передачі ємкісного дільника, утвореного конденсаторами С2 і С3. При виконанні вказаних умов пристрій самозбуджується. Процес самозбудження відбувається таким чином. При включенні джерела живлення конденсатор коливального контура, включений в колекторне коло, заряджається. У контурі виникають затухаючі коливання, які одночасно передаються на електроди управляючого транзистора, по колу позитивного зворотного зв'язку. Це приводить до поповнення енергією LC-контура і коливання перетворюються на незатухаючі.

Дослідження автогенератора Колпітца (рис. 2.14), як варіанта генератора високочастотних синусоїдальних коливань, виконано в програмному додатку Electronics Workbench.

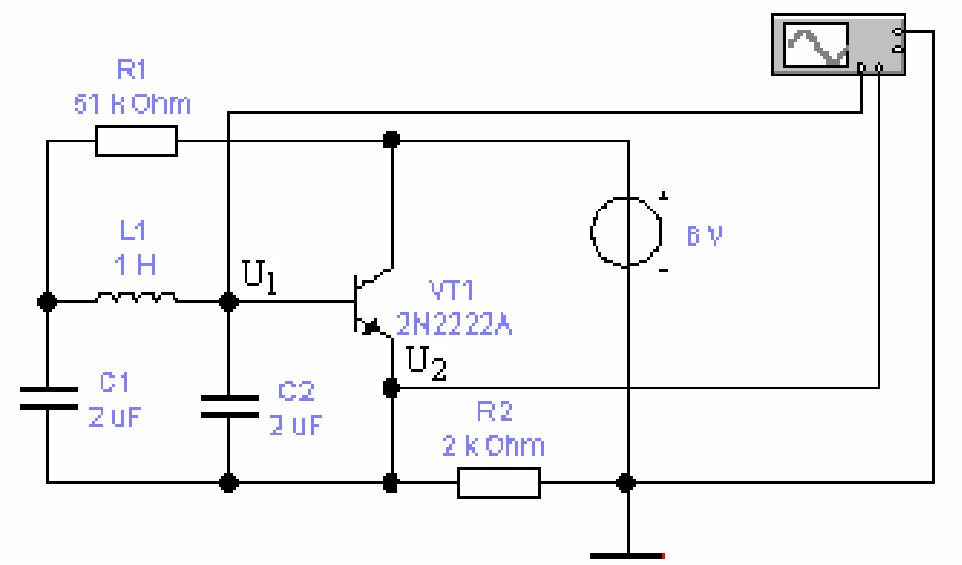


Рисунок 2.14 - Моделювання автогенератора Колпітца

З осцилограм на рисунку 2.15 видно, що результати моделювання незадовільні оскільки:

- період коливань, відлічений за допомогою візирних лінійок і рівний

$$t2 - t1 = 7{,}37 \text{ мс},$$

помітно більше теоретичного 6,28 мс;

- форма коливань практично не синусоїдальна.

Такі результати можна пояснити дуже сильним зв'язком коливального контура з підсилювальним каскадом. На користь цього твердження свідчить і той факт, що подвійна амплітуда вихідного сигналу практично дорівнює напрузі джерела живлення 6 В. Для можливості управління взаємодією коливального контура з транзисторним каскадом, введемо конденсатор зв'язку С3 (рис. 2.16).

Результати моделювання схеми приведені на рисунку 2.17, з якого видно, що форма коливань істотно покращала, стала синусоїдальною. При цьому період коливань 6,144 мс практично рівний теоретичному значенню.

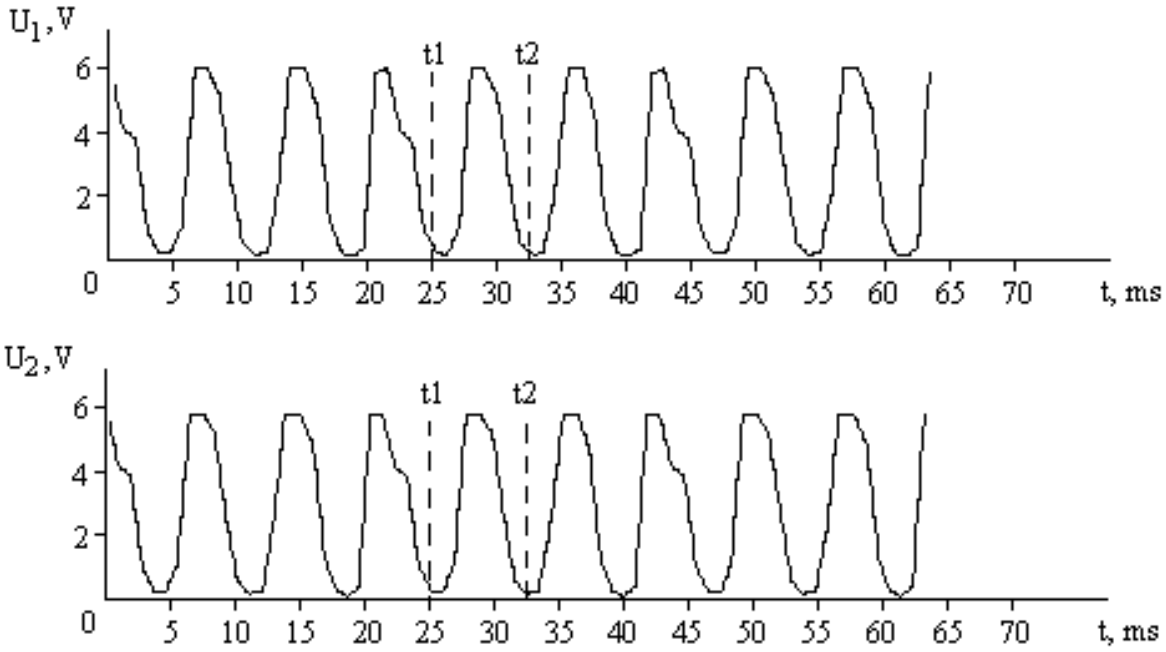


Рисунок 2.15 - Осцилограми сигналів автогенератора Колпітца

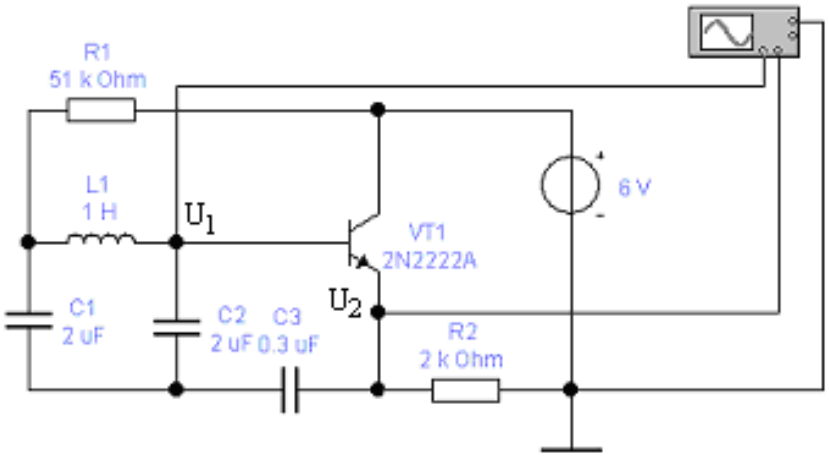


Рисунок 2.16 - Генератор Колпітца з конденсатором зв'язку

В результаті аналізу параметрів схеми автогенератора Колпітца можна зробити виводи:

- схема не личить для реалізації генератора високочастотних синусоїдальних коливань, оскільки вплив коливального контуру на транзисторний каскад спотворює форму вихідних імпульсів, із-за появи додаткових гармонік;

- у схемі присутній габаритний індуктивний елемент.

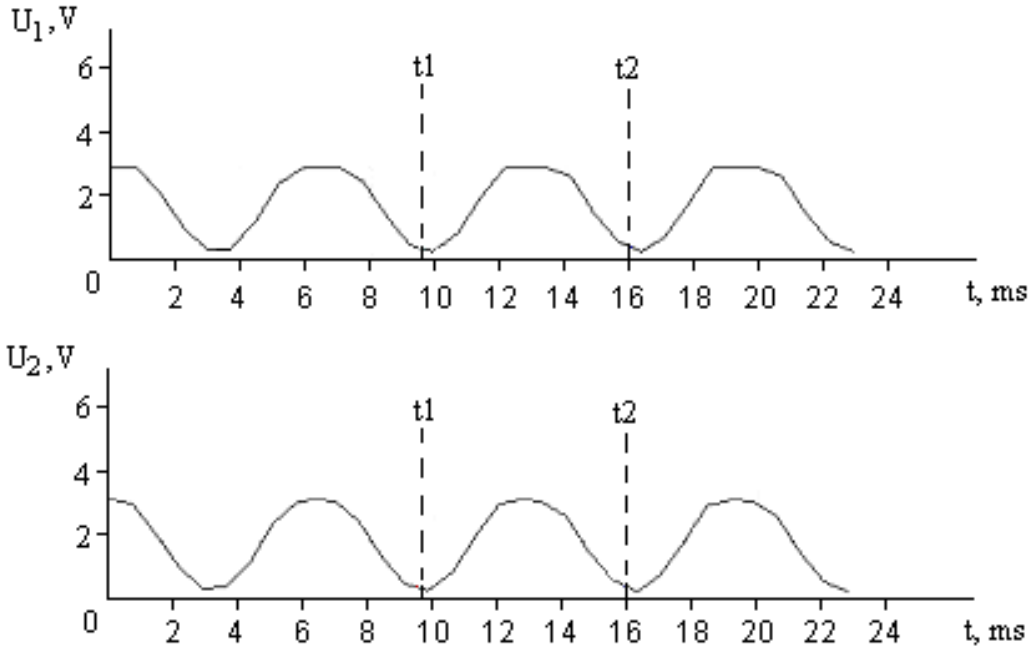


Рисунок 2.17 - Осцилограма функціонування генератора Колпітца після введення конденсатора зв'язку

Проаналізуємо можливість вживання як генератор високочастотних коливань, схеми RC-генератора на операційному підсилювачі, у якого в колі позитивного зворотного зв'язку використовується коло Вінна-Томпсона (рис. 2.18). На частоті, при якій це коло дає нульове фазове зрушення (баланс фаз), воно вносить ослабіння до 3 раз [7]. Тому коефіцієнт передачі підсилювача повинен перевищувати 3, аби петльове посилення було вище 1. Для здобуття стабільного коефіцієнта передачі використовується інтегральний операційний підсилювач з додатковим негативним зворотним зв'язком.

Коефіцієнти зворотного зв'язку дорівнює:

$$\beta 1 = \frac{1}{\left(3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)\right)}$$

$$\beta 2 = \frac{R1 + rds}{R1 + rds + R2},$$

де rds - опір каналу стік-витік транзистора.

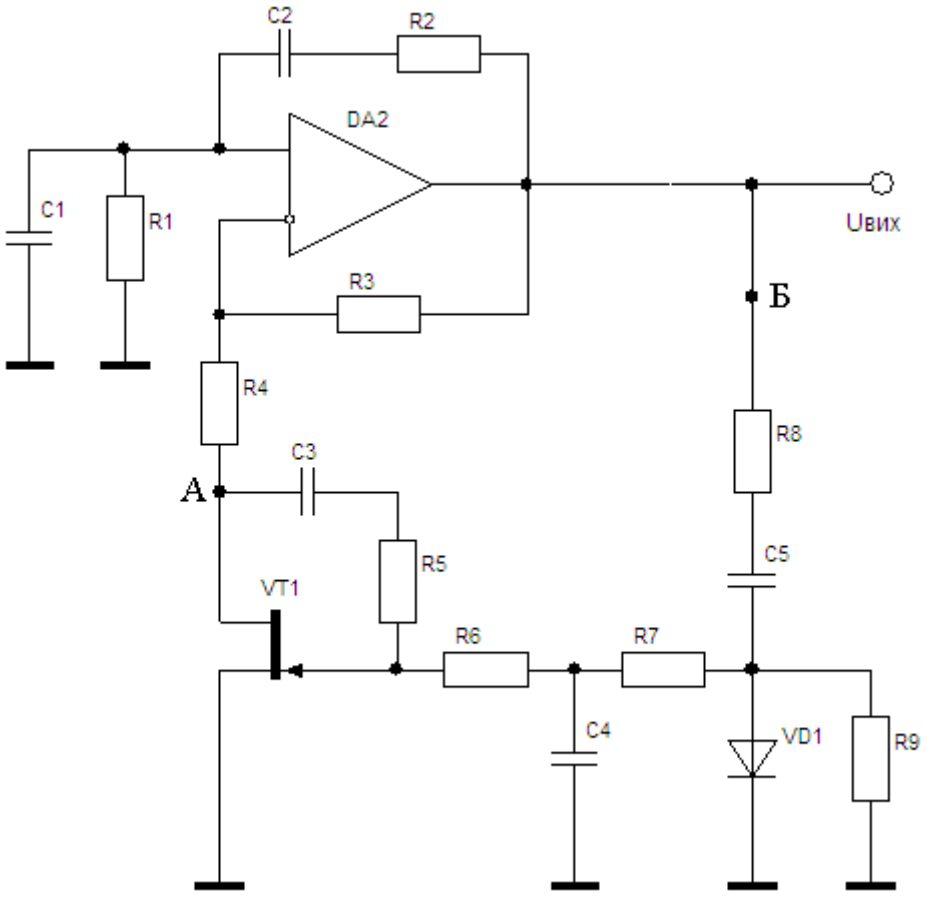


Рисунок 2.18 - RC генератор на операційному підсилювачі

Для збудження автоколивань необхідно, аби сумарний зворотний зв'язок був позитивним, а петльове посилення було більше одиниці. Першій умові відповідає частота коливань:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC},$$

на якій β1 = 1/3. Друга умова, що має вигляд нерівності:

$$K \cdot (\beta 1 - \beta 2) > 1$$

означає, що

$$\beta 2 < \beta 1 - 1/K \quad \text{або} \quad \beta 2 < 1/3 - 1/K.$$

Оскільки коефіцієнт посилення операційного підсилювача на частоті f_o багато більше одиниці, за умову самозбудження можна прийняти нерівність:

$$\beta 2 < 1/3 \quad \text{або} \quad Rl + rds0 < R2/2,$$

де rds0 - опір каналу при нульовій напрузі на затворі.

У даній схемі генератора з мостом Віна для поліпшення форми вихідного сигналу застосовується автоматичне регулювання амплітуди за допомогою схеми, показаної на рисунку 2.18 (нижче за точки А і Б). Схема включає випрямляч (детектор) на діоді VD1 і регульований польовий транзистор VT1. У роботі використовується готовий модуль регулювання амплітуди.

Вихідна напруга генератора випрямляється діодним детектором так, щоб потенціал затвора n-канального польового транзистора ставав негативним, а опір каналу rds збільшився. Амплітуда вихідного сигналу при цьому наростатиме до тих пір, поки не буде виконано умову:

$$К - (\beta 1 - \beta 2) = 1 \quad \text{або} \quad Rl + rds = R2/2.$$

Сталі коливання будуть синусоїдальної форми, якщо стан балансу настане при амплітуді, що не виходить за межі лінійної ділянки амплітудної характеристики операційного підсилювача. Стабілізація генератора по частоті визначається коефіцієнтом посилення на частоті f_0 і дорівнює $\sigma\omega = 2К/9$.

Генератор синусоїдальних імпульсів на 5 кГц побудований за схемою моста Віна (рис. 2.19) [7]. Елементи R6, C6 утворюють послідовний коливальний контур, а елементи R3, C4 - паралельний коливальний контур, що являється необхідною умовою для роботи генератора зібраного за схемою з мостом Віна.

Коло негативного зворотного зв'язку складається з елементів R4, R7, C5, DA2, R5, C5, VT1,R8, C7.

При C4 = C6 і R3 = R6 частота коливального контура обчислюється за формулою [8]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (2.1)$$

де C - ємкість конденсатора C4 і C6, R - опір резистора R3 і R6.

Нехай C4 = C6 = 0,01мкФ, f0 = 5кГц, тоді згідно формулі (2.1):

$$R3 = R6 = \frac{1}{2\pi Cf_0} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}01 \cdot 10^{-6} \cdot 5000} = 4{,}7(\text{кГц})$$

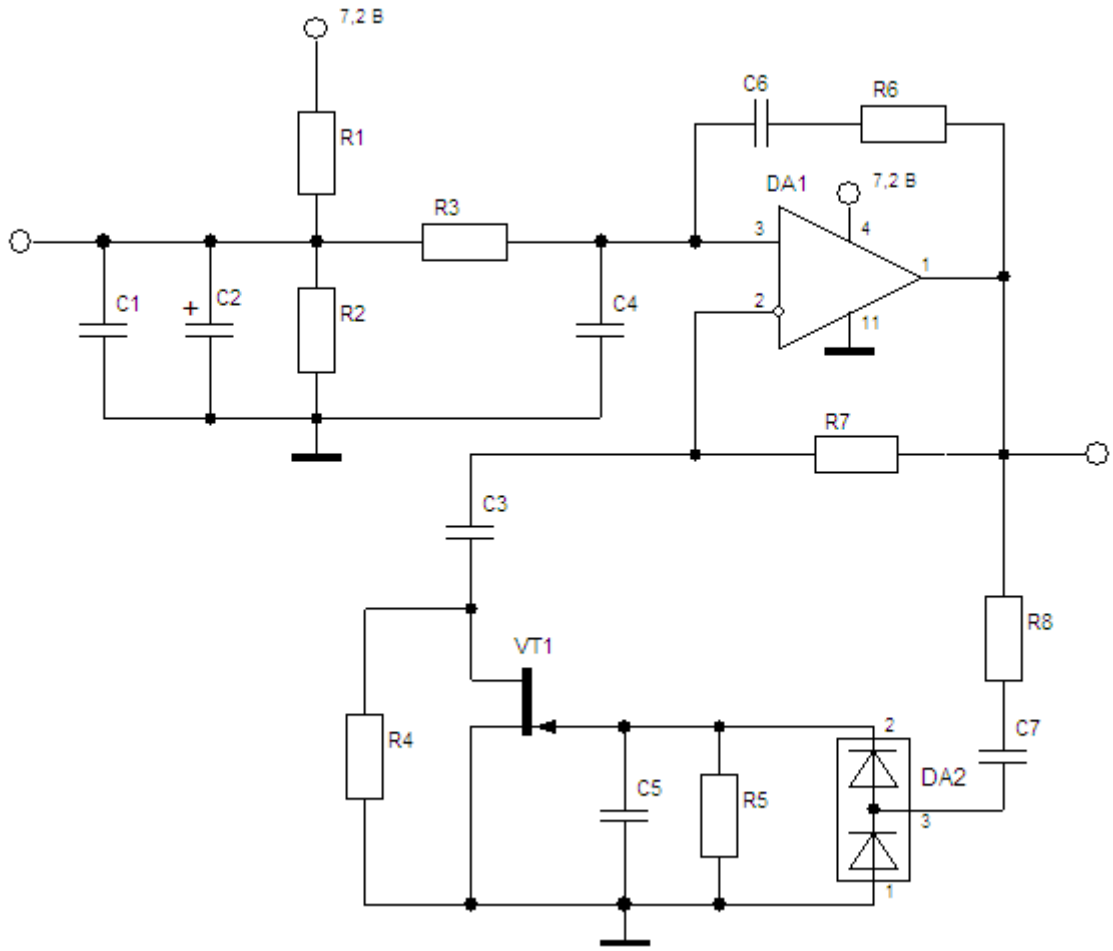


Рисунок 2.19 - Схема генератора синусоїдальних імпульсів на 5 кГц

Автоколивання виникають за умови, що R7/ Re > 2, де Re - паралельне з'єднання резистора R4 і вихідного опору транзистора VT1. Ця умова виконується при R4 = 330 кОм і R7 = 10 кОм.

Через детектор, зібраний на DA2, випрямлений сигнал подається на затвор транзистора VT1, який у свою чергу змінює опір витік-стік, забезпечуючи необхідне посилення мікросхеми DA 1.1 і підтримуючи тим самим постійну амплітуду на виході генератора.

При повністю закритому VT1 коефіцієнт передачі кола негативного зворотного зв'язку максимальний, тобто коефіцієнт посилення і, отже, амплітуда вихідного сигналу мінімальні, і навпаки. Робоча точка схеми знаходиться посередині прямої навантаження вихідної характеристики транзистора.

У зв'язку із складністю підключення до мікросхеми двохполярного джерела живлення, схема живиться від однополярного джерела живлення із

загальною землею. Для цього на прямий вхід подається половина напруги живлення, що створюється штучною середньою точкою, яку утворюють елементи R1, R2. Ця штучна точка зашунтована по змінному струму двома конденсаторами великої і малої ємкості C2 і C1 відповідно. Моделювання схеми, з метою можливості її використання як генератор синусоїдальних коливань частотою 5 кГц, представлене на рисунку 2.20.

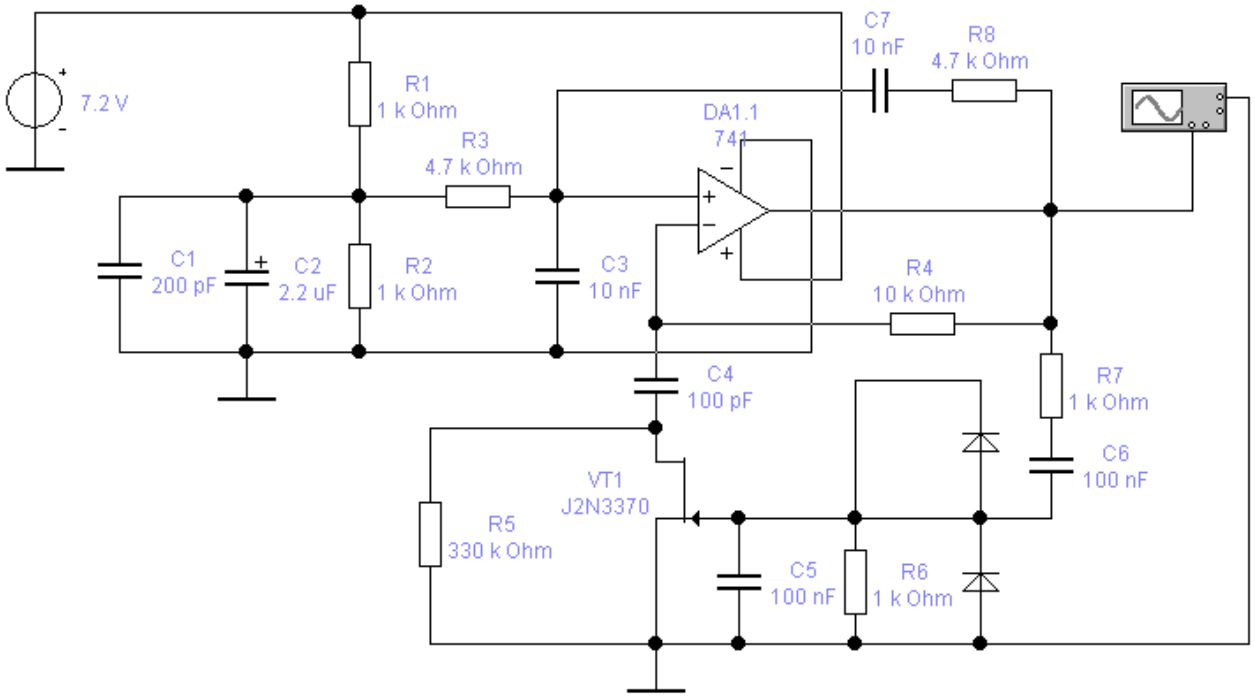


Рисунок 2.20 - Моделювання схеми генератора синусоїдальних імпульсів

Аналіз осцилограми моделі генератора з мостом Віна в колі зворотного зв'язку (рис. 2.21) показує стабільну і стійку роботу схеми.

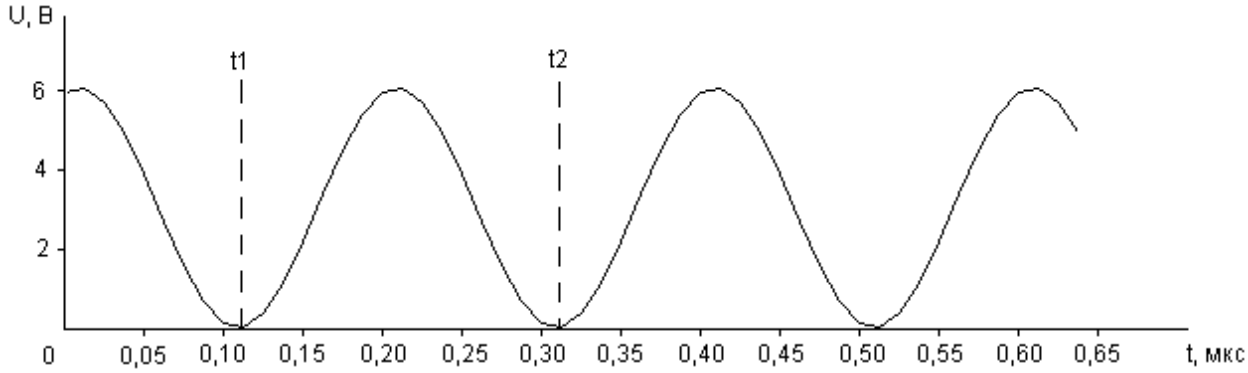


Рисунок 2.21 - Осцилограма моделі генератора синусоїдальних імпульсів

Період коливань, відлічений за допомогою візирних лінійок і коливань на 5 кГц для генератора рівний t2 – t1 = 201,25 мкс, відповідає розрахунковому частотою 5 кГц.

Елементна база схеми дозволяє застосувати малогабаритні компоненти навісного монтажу, що понизить габарити місця, займаного схемою на печатній платі. Схема стабільно працює при зменшенні живлячої напруги до 3В.

Генератор експоненціальних імпульсів (5…100 Гц) зібраний на базі операційного підсилювача (рис. 2.22) елементами DA1, DA2 [9]. Елемент DA1 є операційним підсилювачем з позитивним і негативним зворотним зв'язком. Напруга заряду на конденсаторі C1 має експоненціальну форму. Напруга необхідної форми поступає далі на вхід буферного каскаду зібраного на елементі DA1.2 із стовідсотковим зворотним зв'язком. Цей буфер необхідний для зменшення впливу подальших елементів схеми на форму напруги заряду-розряду конденсатора C1.

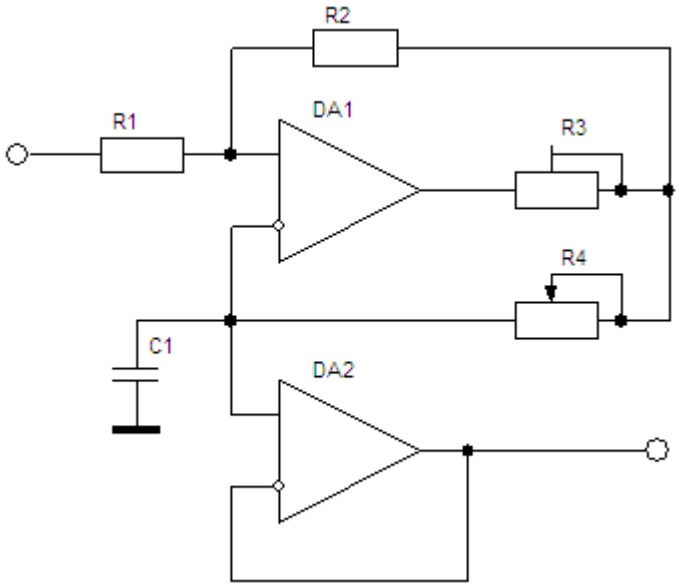


Рисунок 2.22 - Схема генератора експоненціальних імпульсів

Частота генератора розраховується по формулі [9]:

$$\frac{1}{f_0} = 2 \cdot C1 \cdot (R3 + R4) \ln\left(1 + 2\frac{R1}{R2}\right), \qquad (2.2)$$

де C1 - ємкість конденсатора C1; R1, R2, R3, R4 (опори резисторів R1, R2, R3, R4 відповідно.

Нехай С1=1мкФ і R1 = R2, тоді згідно (4.2):

при f = 100Гц, R4 = 0

$$R3 = \frac{1}{2 \cdot f_0 \cdot C1 \cdot \ln(1+2 \cdot 1)} = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot \ln 3} = 4{,}5\text{кОм} \approx 5\text{кОм}$$

при f = 5Гц

$$R3 + R4 = \frac{1}{2 \cdot f_0 \cdot C1 \cdot \ln(1+2 \cdot 1)};$$

$$R4 = \frac{1}{2 \cdot f_0 \cdot C11 \cdot \ln(1+2 \cdot 1)} - R3 = \frac{1}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot \ln 3} - 4{,}7 = 86{,}3\text{кОм}$$

≈100кОм

Розмах вихідного сигналу генератора визначається співвідношенням значень резисторів R1, R2 і складає біля 3В.

Моделювання генератора експоненціальних імпульсів представлено на рисунку 2.23.

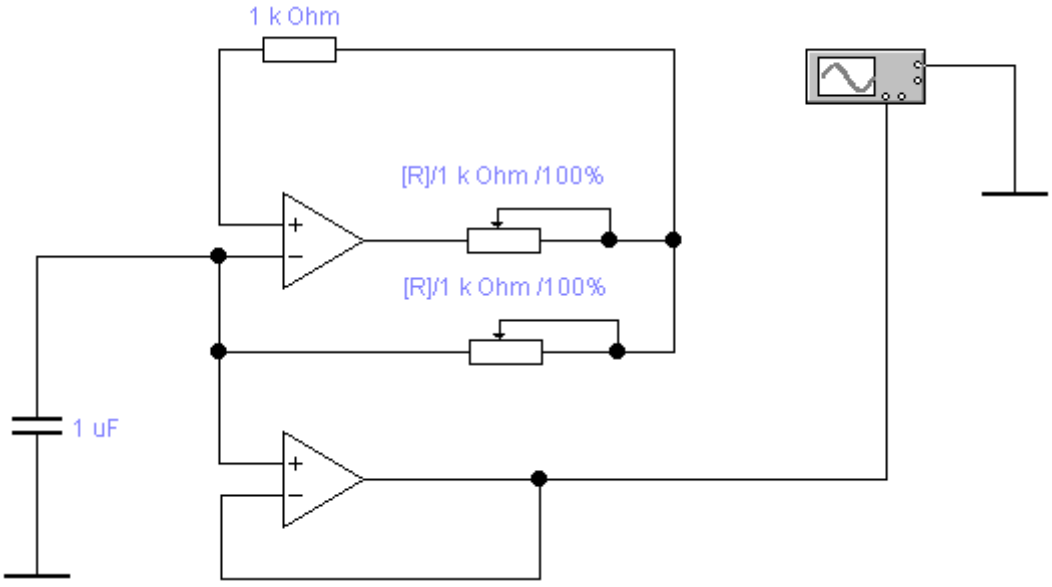


Рисунок 2.23 - Моделювання схеми генератора експоненціальних імпульсів

Аналіз осцилограми моделі генератора експоненціальних імпульсів (рис. 2.24) показує, що отриманий сигнал відповідає заданим умовам функціонування по амплітуді і частоті.

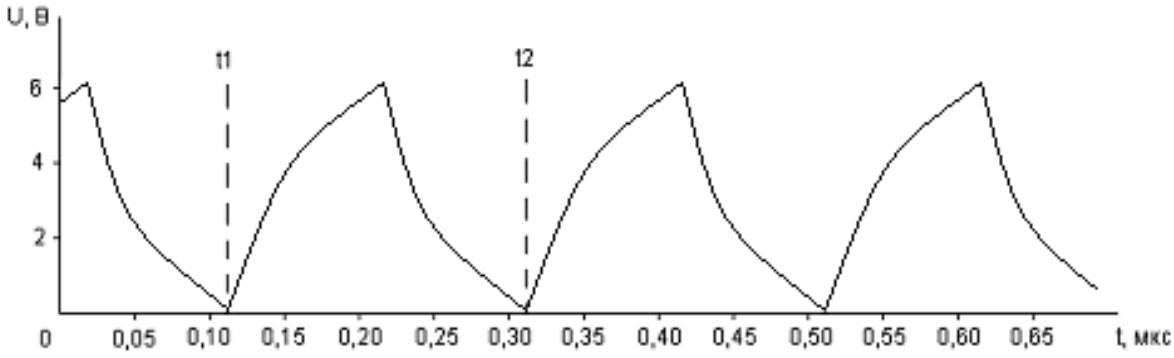


Рисунок 2.24 - Осцилограма генератора експоненціальних імпульсів

На транзисторі VT2 зібраний модулятор аналогових сигналів (рис. 2.25). На вхід 1 подається сигнал з частотою 5 кГц синусоїдальної форми, а на вхід 2 приходить експоненціальний сигнал з частотою від 5 до 100 Гц.

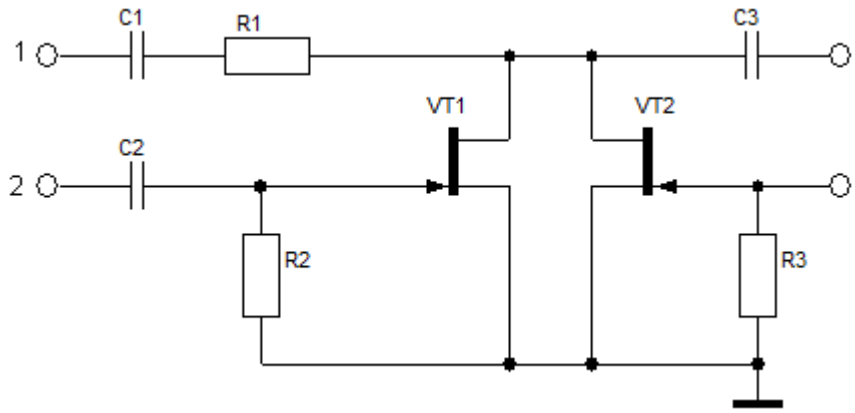


Рисунок 2.25 - Схема модулятора і ключа

На виході модулятора формується високочастотний сигнал з тією, що низькочастотною огинає, яка підкоряється експоненціальному закону.

Оскільки транзистор VT1 має дуже великий вхідний опір, то його вхід, тобто затвор, шунтують за допомогою резистора R2 на землю.

Робоча точка транзистора VT1 вибрана таким чином, що при максимальному значенні модулюючого сигналу транзистор VT1 повністю відкритий і $U_{ci} = 0$. А при мінімальному значенні модулюючого сигналу транзистор VT1 повністю закритий і напруга $U_{ci} = 1{,}4$В.

Ключ відкривається з періодом і шпаруватістю вихідного сигналу, що поступає з виходу формувача «імпульс-пауза».

Схема електрична принципова формувача «імпульс-пауза» представлена на рисунку 2.26. Діаграма роботи формувача «імпульс-пауза» приведена на рисунку 2.27.

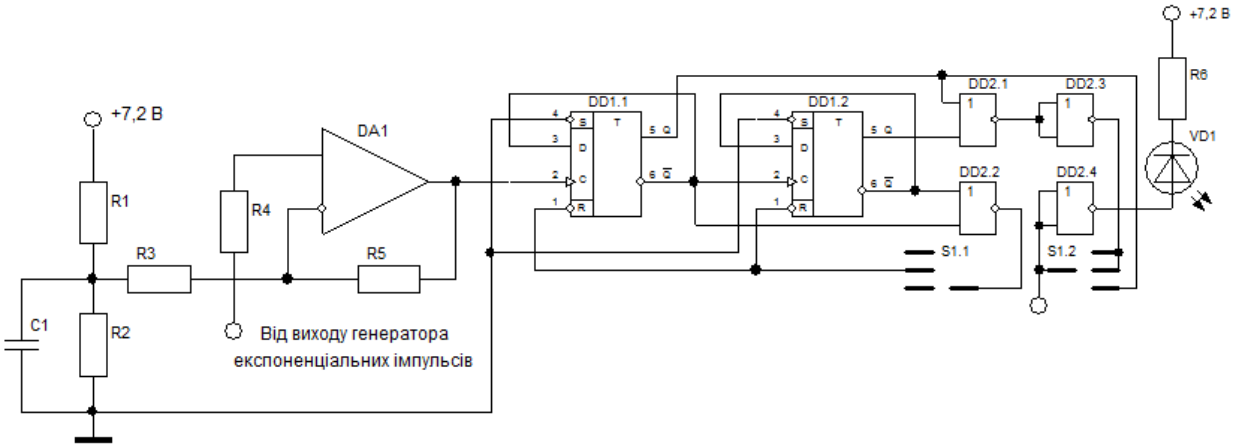


Рисунок 2.26 - Схема електрична принципова формувача «імпульс-пауза»

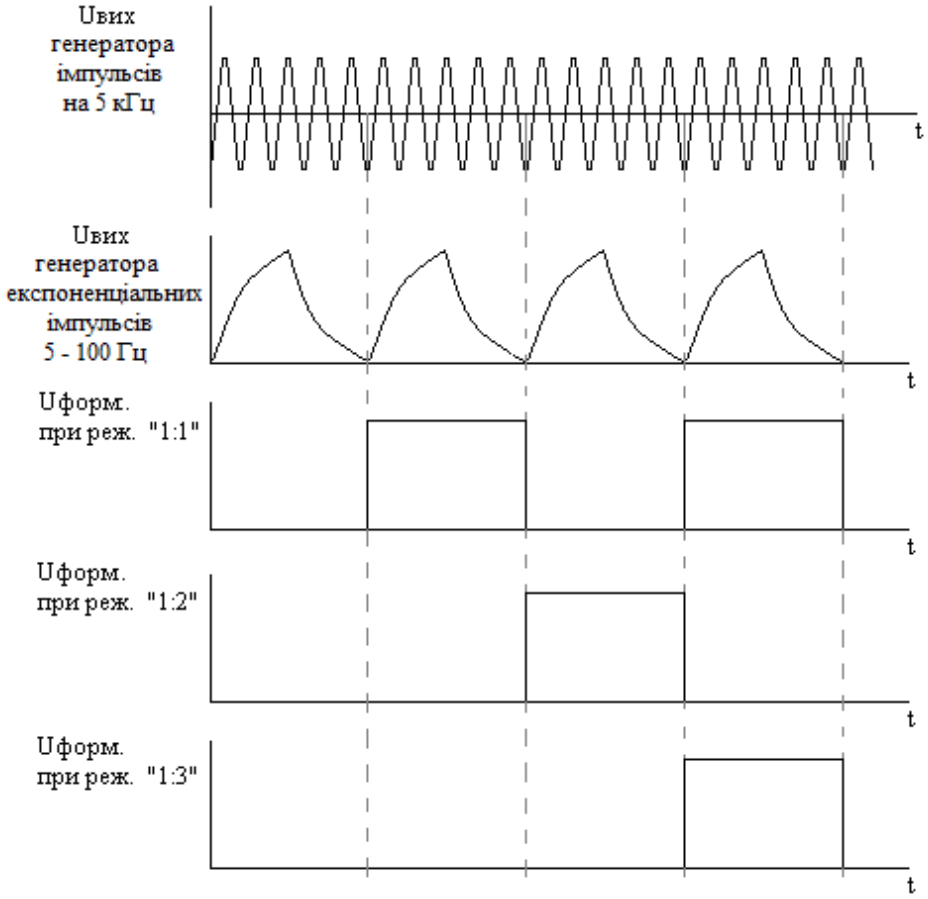


Рисунок 2.27 - Діаграма функціонування формувача «імпульс-пауза»

Формувач «імпульс-пауза» складається з наступних вузлів.

1. Компаратор, зібраний на мікросхемі DA1 (рис. 2.19), який виробляє з вихідного сигналу генератора рахункові імпульси для формувача «імпульс-пауза». Це необхідно для синхронізації моментів відкриття вихідного ключа VT2 (рис. 2.25) з роботою генератора 5-100 Гц (ключ повинен відкриватися у момент наростання вихідної напруги генератора). При проходженні сигналу генератора нульової точки ($U_{вих} = 0$) на виході мікросхеми DA1 (рис. 2.19) формується короткий прямокутний імпульс у вигляді провалу напруги.

Для мінімальних спотворень експоненціального сигналу вибираємо зону спрацьовування компаратора поблизу нульової точки вихідного сигналу генератора 5-100 Гц, інакше початкова ділянка імпульсу матиме ступінчастий вигляд. Можна вважати, що спотворення форми імпульсу незначне, якщо амплітуда сходинки не перевищуватиме 5% амплітуд модулюючого сигналу генератора.

Амплітуда сигналу, що поступає на вхід компаратора, складає 3 В. Пороги спрацьовування компаратора можна обчислити за формулою [6]:

$$U_{сер} = U_{гіст} \cdot \frac{R3}{R3 + R5}, \qquad (2.3)$$

де $U_{гіст}$ (напруга гістерезису, R3, R5 (опори резисторів R3, R5 відповідно.

Нехай $U_{сер} = 0{,}15$В, $U_{гіст} = 0{,}1$В і R3 = 10 кОм, тоді згідно (2.3)

$$R5 = \frac{R3 \cdot (U_{сер} - U_{гіст})}{U_{гіст}} = \frac{10000 \cdot (0{,}15 - 0{,}1)}{0{,}1} = 5 \text{ кОм.}$$

Для роботи компаратора дільником напруги (резисторами R1 і R2) формується опорна напруга $U_{оп}$, яка визначається з вираження [10]:

$$R1 = \frac{R2 \cdot (U_{жив} - U_{оп})}{U_{оп}}, \qquad (2.4)$$

де R1, R2 – опори резисторів R1 і R2 відповідно, $U_{жив}$ – напруга живлення.

Вибираємо $U_{оп} = 0{,}05$ В і R12 = 100 Ом, тоді згідно вираженню (2.4)

$$R1 = \frac{100 \cdot (7,2 - 0,05)}{0,05} = 14,3к \approx 15к.$$

2) Двохрозрядний лічильник, зібраний на тригерах DD1.1 і DD1.2, на вхід якого поступають прямокутні імпульси з виходу компаратора.

3) Дешифратор, зібраний на DD2.1 – DD2.4 та перемикач S1, які забезпечують вибір режиму роботи формувача «імпульс-пауза» (зміна шпаруватості вихідних імпульсів):

а) При положенні «1:1» імпульси на ключ поступають безпосередньо з молодшого розряду лічильника;

б) При положенні «1:3» до вихідного ключа підключається вихід дешифратора, що визначає стан «11» лічильника, тобто кожен четвертий імпульс;

в) при положенні «1:2» дешифратор підключається таким чином, що лічильник перемикається в режим рахунку до трьох (пропускається стан «00»), тобто ключ відкривається на кожен третій імпульс.

Як перемикач застосовується двосекційний движковий перемикач.

Імпульси управління ключем одночасно поступають на інвертор DD2.4, на вихід якого включений світлодіод VD1, що відображає моменти відкриття ключа.

Для здобуття підвищеної напруги живлення $U_{жив}$, необхідного мікросхемі DA2, використовується перетворювач напруги, зібраний на елементі DD1(рис. 2.28).

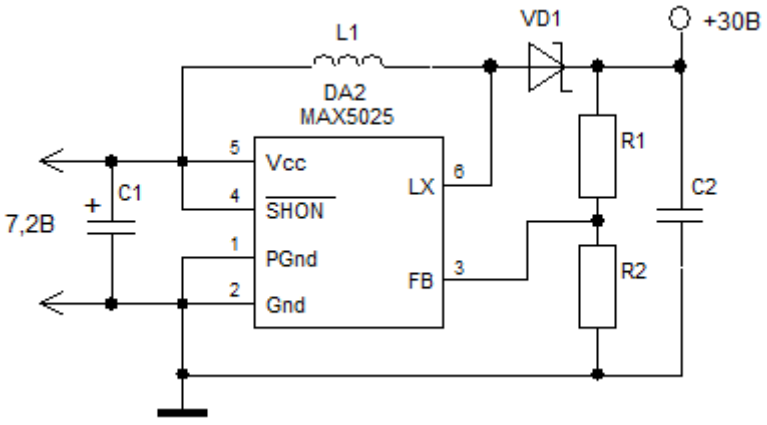


Рисунок 2.28 - Схема перетворювача напруги

Схема перетворювача напруги генерує стабілізовану напругу +30 В від джерела живлення +7,2 В. У такої схеми вихідна напруга у відсутність навантаження зростає безперервно, оскільки індуктивність L1 нарощує заряд конденсатора C2. При цьому може статися пробій діода VD1 або C2. Тому в схемі вихідна напруга порівнюється з опорною напругою внутрішнього компаратора 1,25 В і його вихідний сигнал відключає внутрішній генератор імпульсів, регулюючи таким чином вихідну напругу (генератор і компаратор знаходяться усередині мікросхеми). Діод Шоттки VD1 блокує зворотний струм під час дії імпульсу. Ємкістю C1 задається ширина імпульсу, а C2 фільтрує вихідний сигнал для зниження рівня пульсацій. Конденсатора C2 повинен мати досить значну ємкість, оскільки стабілізація здійснюється лише імпульсно.

Значення ємкостей конденсаторів наступні: C1 = 4,7мкФ і C2 = 1мкФ.

Значення резисторів R1, R2 можна визначити із співвідношення:

$$R1 = R2\left(\frac{U_{вих}}{U_{оп}} - 1\right), \qquad (2.5)$$

де $U_{вих}$ (напруга на виході мікросхеми DD1, $U_{оп}$ (опорна напруга ($U_{оп}$ = 1,25 В).

Нехай R1 = 147кОм, тоді згідно (2.5)

$$R2 = \frac{R1}{\left(\frac{U_{вих}}{U_{оп}} - 1\right)} = \frac{147 \cdot 10^3}{\left(\frac{30}{1,25} - 1\right)} = 6,39к \approx 6,34к$$

Значення індуктивності дроселя L1 обчислюють за формулою:

$$L = \frac{47 \cdot 10^{-6}\left(U_{вих} - U_{вх}\right)}{25}, \qquad (2.6)$$

де $U_{вих}$, $U_{вх}$ (напруга на виході і на вході мікросхеми DD1 відповідно.

Отже

$$L = \frac{47 \cdot 10^{-6}\left(30 - 7,2\right)}{25} \approx 47\ мкГн.$$

Схема електрична принципова вихідного підсилювача показана на рисунку 2.29. Підсилювач зібраний на елементі DA1 за традиційною схемою підсилювача змінної напруги з негативним зворотним зв'язком. У коло негативного зворотного зв'язку включений змінний резистор для установки необхідного рівня вихідної напруги.

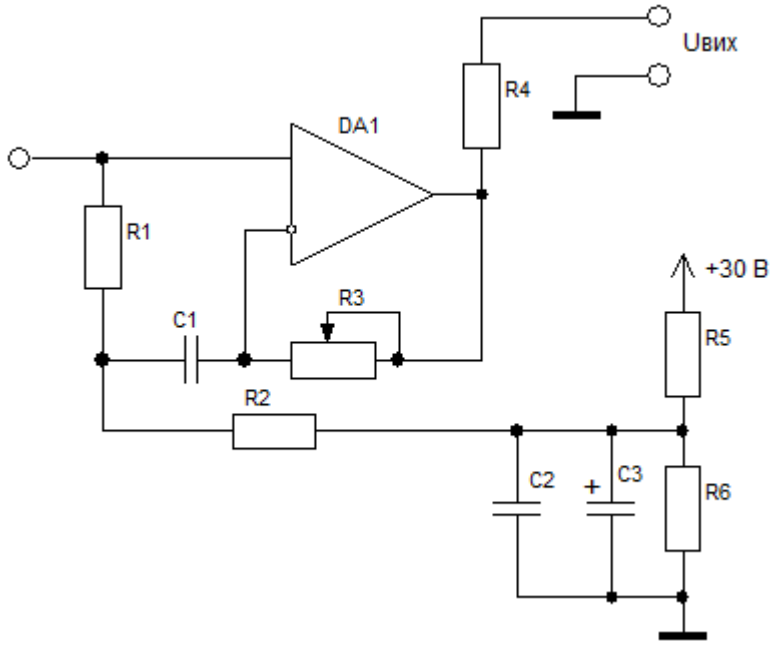


Рисунок 2.29 – Схема вихідного підсилювача

Підсилювачу необхідна підвищена напруга живлення $U_{жив}$ = 30В. Для забезпечення роботи операційного підсилювача використовують штучну середню точку, реалізовану на резисторах R5 і R6.

На вхід підсилювача з виходу модулятора поступає сигнал складної форми.

Для здобуття амплітуди змінної напруги на виході DA1 $U_{вих}$ = 14 В при вхідній напрузі $U_{вх}$ = 1,4 В потрібний коефіцієнт посилення підсилювача К = 10.

$$K = \frac{R3}{R1} + 1, \qquad (2.7)$$

де R1, R3 (опори резисторів R1 і R3 відповідно.

Значення резисторів R1, R3 можна визначити з наступних співвідношень.

Нехай номінал змінного резистора R3 = 100 кОм (номінал для вибраного типа резистора), тоді з вираження (2.5)

$$R1 = \frac{R3}{10-1} = \frac{100000}{9} = 11{,}11к \approx 11к.$$

Значення опору резистора R2 розраховується по формулі [6]:

$$R2 = \frac{R1 \cdot R3}{R1 + R3}, \qquad (2.8)$$

де R1, R3 (опори резисторів R1 і R3 відповідно).

Згідно вираженню (2.6):

$$R2 = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 11 \cdot 10^3}{(10+11) \cdot 10^3} = 5{,}24к \approx 10к.$$

Період вихідного сигналу рівний $T = \frac{1}{f}$. Для пропускання сигналу з мінімальними спотвореннями ємкість конденсатора необхідно розраховувати, враховуючи низькочастотну складову сигналу 5 Гц, тобто

$$T = \frac{1}{5ГГ} = 0{,}2 \text{ с}$$

Постійна часу повинна бути $\tau > 5 \div 10T$, тобто $R3 \cdot C1 > 5T$, $R2 \cdot C1 > 5T$, $R2 \cdot C2 > 5T$.

Визначимо ємкості конденсаторів C1 і C2:

$$C1 > \frac{5 \cdot 0{,}2}{10 \cdot 10^3} \approx 100 \text{ мкФ}, \; C1 = C2 = 100 \text{ мкФ}.$$

Для захисту операційного підсилювача від випадкового короткого замикання в колі навантаження використовується резистор R4 = 100 Ом.

Розроблений генератор експоненціальних імпульсів зібраний на базі наступних мікросхем: LM 339, OP292S, MAX5025, CD4013BCM-ND, CD4001BCM-ND.

Розроблена схема електрична принципова генератора імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою приведена на рисунку 2.30, перелік елементів – в Додатку А.

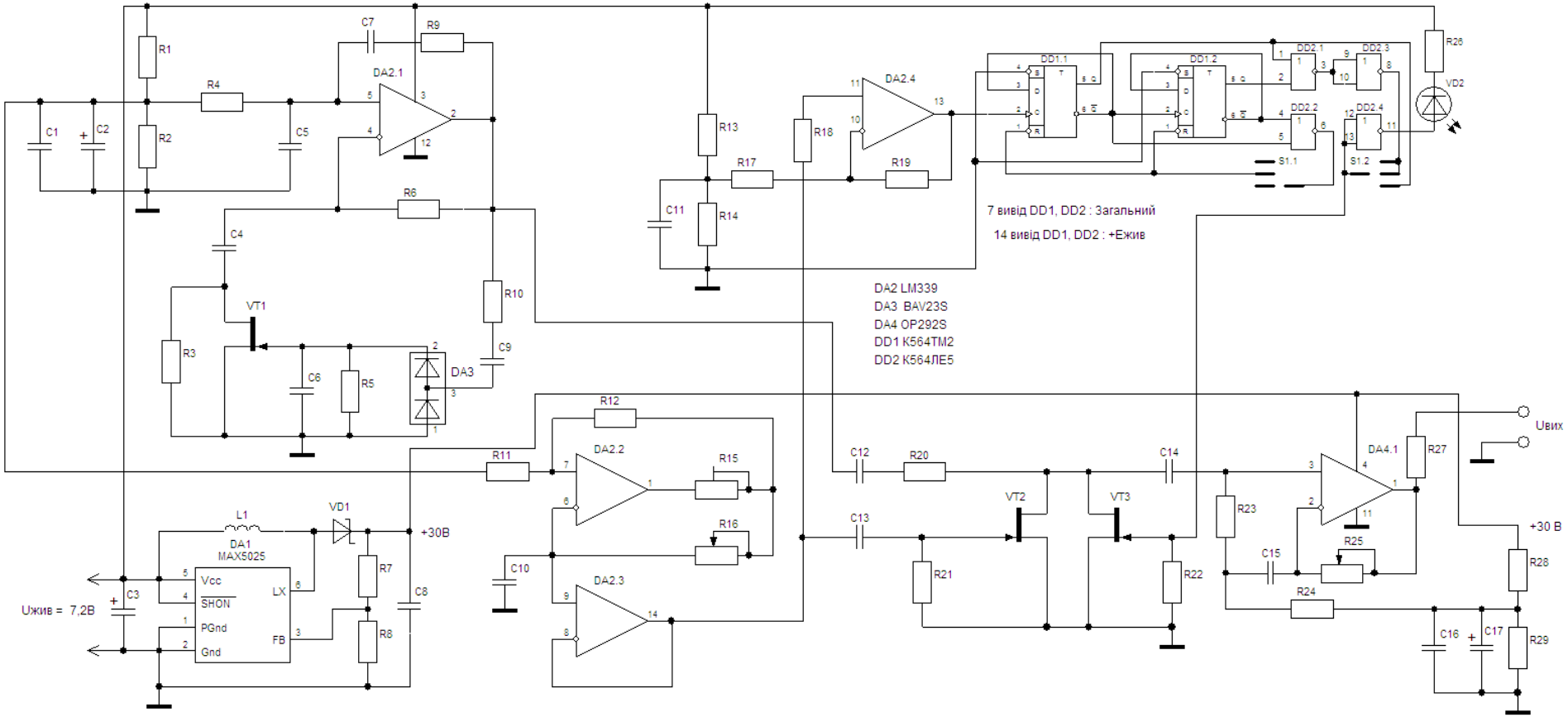


Рисунок 2.30 - Схема електрична принципова генератора імпульсів для тепловізорів з електронною розгорткою

Аналіз характеристик показав правильність функціонування генератора імпульсів відповідно до заданих параметрів.

Схемне вирішення приладу є новизною в порівнянні з аналогами. Базові мікросхеми генератора імпульсів дозволяють використовувати малогабаритні печатні плати, а також автономне живлення від акумуляторних батарей.

Вищевикладене свідчить про перевагу розробленого генератора імпульсів в порівнянні з існуючими аналогами.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток

Топологічний аналіз показує, що генератор може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля 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 напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [10].

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 композітних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді тонкіх 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) [10].

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 і-го критерію в глобальному критерії:

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
∑							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4.

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

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

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

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
Всього					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
Всього					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
Всього					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
Всього					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
Всього					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
Всього					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [10].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток 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 схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток 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 схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12.

Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 564,45 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток

Матеріали	Одиниця виміру	Кіль-кість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Мікросхема MAX 5025	шт.	1	30,80	30,80
Мікросхема LM339	шт.	1	15,90	15,90
Мікросхема OP292S	шт.	1	11,40	11,40
Мікросхема К564ТМ2	шт.	1	18,20	18,20
Мікросхема К564ЛЕ5	шт.	1	18,00	18,00
Резистори	уп.	1	80,20	40,80
Конденсатори	уп.	1	112,00	112,00
Діод BAV23S	шт.	1	25,50	25,50
Світлодіод L-169XHD	шт.	1	64,00	64,00
Аккумулятор SL-350	шт.	2	6,00	12,00
Стабілітрон ZHCS500	шт.	1	12,00	12,00
Транзистор ZVP3310F	шт.	3	25,00	75,00
З’єднач раз’ємний DLK-02	шт.	1	3,75	3,75
Дросель SDR0604-470 к	шт.	1	5,00	5,00
Всього				523,55

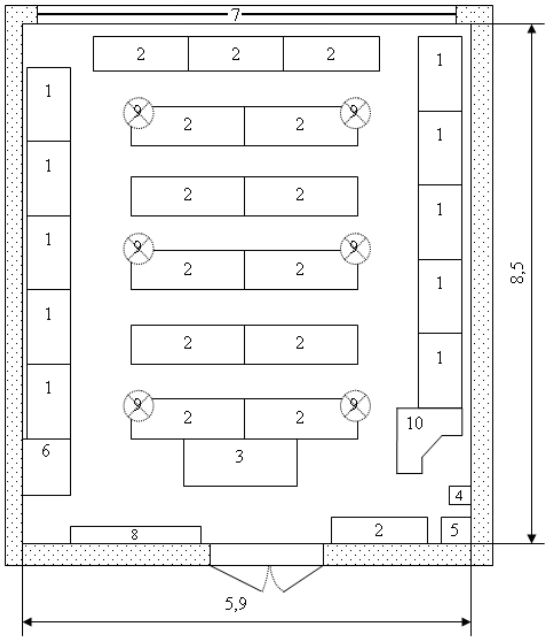
Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Фольгований текстоліт 100 × 100	шт.	3	8,00	24,00
Травильник	уп.	1	4,90	4,90
Трафарет	шт.	2	6	12,00
Усього				40,90

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні дипломної роботи комп’ютерне моделювання та розрахунок електронної схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток проводилися в приміщенні кафедри ЕІСПЗ, макет якої представлено на рисунку 4.1.



1 - стіл комп'ютерний; 2 - стіл аудиторний; 3 - стіл викладача; 4 - автомат відключення електричного живлення; 5 - шафа силова; 6 - шафа універсальна; 7 - вікно; 8 - дошка аудиторна; 9 - світильник 4-х ріжковий; 10 - стіл адміністратора мережі

Рисунок 4.1 – Макет приміщення в якому проводилися роботи

Площа приміщення складає 50,15 м^2; об’єм 175,52 м^3; довжина приміщення 8,5 м; ширина приміщення 5,9 м; висота приміщення 3,5 м; число ві-

кон 1; число робочих місць 10; освітлення: природне (через бічне вікно) і загальне штучне. Параметри приміщення задовольняють нормативним значенням: площа 6м^2, об'єм 20м^3 на одного працюючого.

Лабораторія є приміщенням легкої категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги (період року – холодний):

- оптимальна температура повітря – 22 – 24 ^{o}C (допустима – 20 – 24 ^{o}C);
- оптимальна відносна вологість – 40 – 60% (допустима не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Оцінка шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника лабораторії представлені в таблиці 4.1.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

На ділянці проведення експерименту значна частина моделювання вироблялася на персональному комп'ютері IBM PC і макетному стенді, оснащеному блоками живлення, програмованими пристроями вхідних дій, реєструючим і вимірювальним устаткуванням. Печатні плати виготовлялися за технологією травлення фольгованого текстоліту на спеціальному стенді з витяжною шафою, розташованому в науково-дослідній лабораторії кафедри.

Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, навантаження на очі. Захворювання поступово накопичуються. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

При проведенні моделювання схеми генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток, якість експерименту багато в чому залежить від освітлення, тому в лабораторії має бути передбачене штучне освітлення [11].

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки _____ II клас небезпеки _____ III-IV клас небезпеки _____						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м3						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ						
4	Шум, дБА						
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м^2						
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, ºС (тепл. п) - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 23 – 25 ≤ 0 ,2 40 – 60 100	 23 0,1 60				 100 100 100
9	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, категорія напруженості праці - мало напружена					

Незадовільне освітлення може спотворити інформацію, крім того, викликає стомлення організму в цілому. Неправильне освітлення може з'явитися причиною травматизму.

Залежно від класу приміщення по вибухонебезпеці і від чистоти середовища виробничих приміщень, визначається схема розташування світильників, їх марка і конструктивного виконання [12].

Для освітленості приміщення з розмірами А = 8,5 м, В = 5,9 м та висотою Н = 3,5 м використовуються 6 світильників з чотирма лампами розжарювання. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $\rho_{пот}$ = 70%, $\rho_{ст}$ = 50%, $\rho_{полу}$ = 10%. Затінювання робочих

місць немає. Висота світильника h_c = 0,9 м, висота робочої поверхні над рівнем підлоги h_p = 0,8 м. Нормативна величина освітленості робочих місць з відео-терміналами складає E_t = 300 – 500 лк. В даному приміщенні освітленість 350 – 500 лк.

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що звертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального стану в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, етиловий 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 нервово - психічні захворювання.

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

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливний витяжній вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням (рис. 4.2).

Витяжна шафа оснащена вентилятором моделі CE 140L-125. Вентилятор має крильчатки із заломленими вперед лопатками і двигун із зовнішнім ротором. Корпус виготовлений з листової сталі, що гальванізується. Для захисту двигуна від перегріву вентилятор оснащений вбудованими термоконтактами з ручним перезапуском.

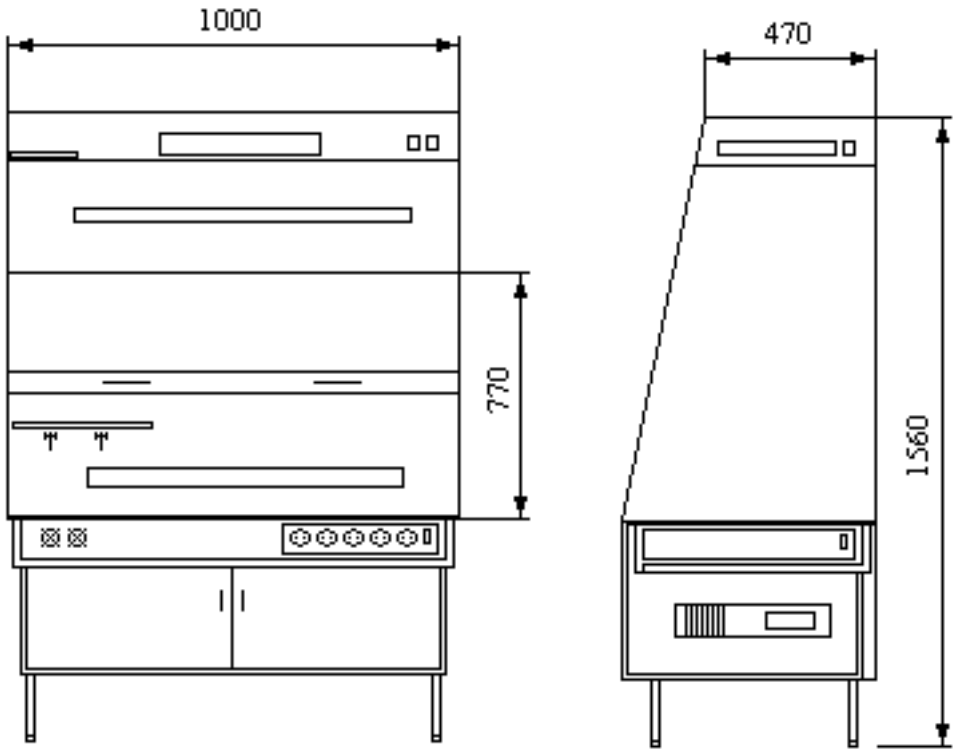


Рисунок 4.2 – Витяжна шафа для виготовлення печатних плат

4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочих місцях повинні відповідати діючим санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень [12].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є основною, повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відеотерміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1

До категорії 1а відносяться роботи, які виконуються сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, які виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводяться деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/год.

У приміщенні проведення експерименту підтримується мікроклімат відповідний нормативам, для категорії робіт «Легка – 1а»

Ергономічне розташування робочого місця за персональним комп’ютером оцінюється вимогами:

- до візуальних параметрів засобів відображення інформації індивідуального користування;

- до емісійних параметрів ПК - параметрів випромінювань дисплеїв, системних блоків, джерел живлення, зокрема безаварійного та ін.

Робота з дисплеями при неправильному виборі яскравості і освітленості екрану, контрастності знаків, квітів знаку і фону, за наявності відблисків на екрані, тремтіння і мигтіння зображення - приводить до зорового стомлення,

головних болів, до значного фізіологічного і психічного навантаження, до погіршення зору.

Візуальні параметри і світловий клімат визначають зоровий дискомфорт, який може виявлятися при використанні будь-яких типів екранів дисплеїв, - на електронно-променевих трубках, рідкокристалічних, газорозрядних, електролюмінесценціях панелях або на інших фізичних принципах.

4.4 Електробезпека

Для забезпечення захисту від поразки електричним струмом у використовуваних електроустановках повинні застосовуватися технічні способи і засоби захисту.

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ДСТу 12.1.013-78 являється приміщенням без підвищеної небезпеки. 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 U = 220 В, частотою f = 50 Гц.

Вибір того або іншого способу або засобу захисту (або їх поєднань) в конкретному електроприладі, і ефективність його вживання залежать від цілого ряду чинників, у тому числі від:

- номінальної напруги;

- роду, форми і частоти струму використовуваного приладу;

- способу електропостачання (від стаціонарної мережі, від автономного джерела живлення електроенергією);

- вигляду виконання (стаціонарні, пересувні, переносні);

- умов зовнішнього середовища;

- схеми можливого включення людини в ланцюг протікання струму (прямий однофазний, прямий двофазний дотик; включення під напругу кроку);

- вигляду робіт (монтаж, наладка, випробування) і ін.

Основними технічними засобами захисту є:

- захисне заземлення;

- автоматичне відключення живлення (занулення);

- пристрої захисного відключення;

- ізоляція струмопровідних частин.

Принцип роботи ПЗВ (рис. 4.3) полягає в тому, що воно постійно контролює вхідний сигнал і порівнює його з наперед заданою величиною. Якщо вхідний сигнал перевищує встановлене значення, то пристрій спрацьовує і відключає захищену електроустановку від мережі. Як вхідні сигнали пристроїв захисного відключення використовують різні параметри електричних мереж, які несуть в собі інформацію про умови поразки людини електричним струмом.

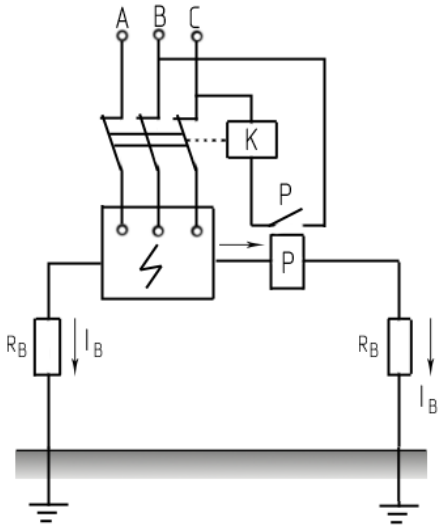


Рисунок 4.3 - Проста схема пристрою захисного відключення

Основними елементами будь-якого пристрою захисного відключення є датчик, перетворювач і виконавчий орган.

Основними параметрами, по яких підбирається те або інші ПЗВ є: номінальний струм навантаження, тобто робочий струм електроустановки, який

протікає через нормально замкнуті контакти ПЗВ в черговому режимі; номінальна напруга; встановлене значення напруги; час спрацьовування пристрою [12].

4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Виробництво напівпровідникових приладів, згідно ДБН В.1.1–7–2002, відноситься до категорії Б, оскільки це виробництво зв'язане із застосуванням речовин спирту і ацетону з температурою спалаху пари від 28 до 60°С горючих газів. Для зниження пожежної небезпеки використовують обмежену кількість матеріалів які обертаються в процесі, зберігаються, здатні горіти.

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін. Для лабораторії встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться ділянка, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно ДБН В.1.1–7–2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість пересування людей при евакуації – 16 м/мін [12].

Згідно правилами влаштування електроустановок ПВЕ, будівля, в якій знаходиться ділянка по заходах захисту від блискавок, відноситься до категорії 3 і захищається від прямих ударів блискавок, і від замету високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації приєднуються при введенні в об'єкт, що захищається, до заземлювачів електроустаткування. Отже, грозозахист заснований на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж на ділянці необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафах, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, в кількості двох вогнегасників на приміщення. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії № 216 організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю 40 років Радянської України (рис. 4.4).

4.6 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220 В. У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною l = 2,5 м, діаметром d = 0,04 м, діаметр сполучної смуги b = 0,04 м. Контур заземлення розташовано на горизонтальному майданчику біля корпусу академії. Грунт – суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою ($R_н$) дорівнює 4 Ом [13]. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинку), ρ якого дорівнює 100 Ом·м [13].

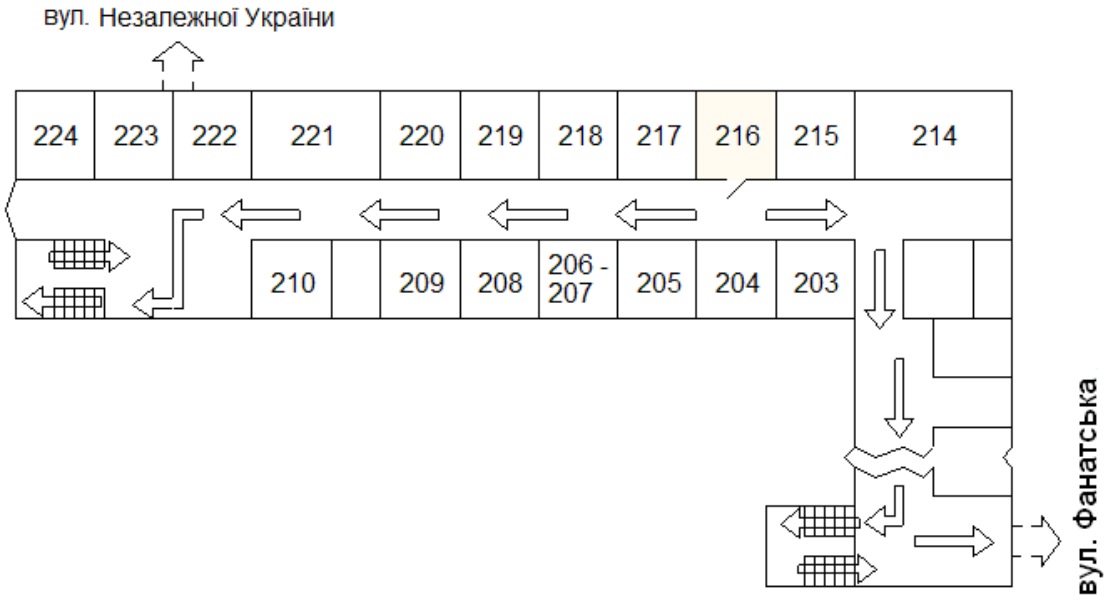


Рисунок 4.4 – План евакуації при пожежі із аудиторії № 216

Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_{в} = \frac{\rho}{2\pi\pi} \cdot \ln\frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}5} \ln\frac{4 \cdot 2{,}5}{0{,}04} = 35{,}1 \text{Ом}$$

Приймемо число заземлювачів:

$$n = \frac{R_{l}}{R_{n}} = \frac{35{,}1}{4} = 8{,}775 \approx 9$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_{г} = a \cdot n,$$

де а – відстань між вертикальними електродами (а = 2 м)

$$l_{г} = 2 \cdot 9 = 18 \text{ м}$$

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi \cdot l_{г}} \cdot \frac{4 \cdot l_{г}}{b} = \frac{100}{3{,}14 \cdot 18} \cdot \ln\frac{4 \cdot 18}{0{,}04} = 13{,}2 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача [13]:

$$\eta_{в} = \frac{0{,}68 + 0{,}56}{2} = 0{,}62$$

і для горизонтальної смуги

$$\eta_{г} = \frac{0{,}34 + 0{,}4}{2} = 0{,}37$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{гр} = \frac{R_{вз}}{n \cdot \eta_{в}} = \frac{35,1}{9 \cdot 0,62} = 6,3 \text{ Ом}$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

$$R_{г} = \frac{R_{го}}{\eta_{г}} = \frac{13,2}{0,37} = 35,6 \text{ Ом}$$

Опір заземлювача в цілому:

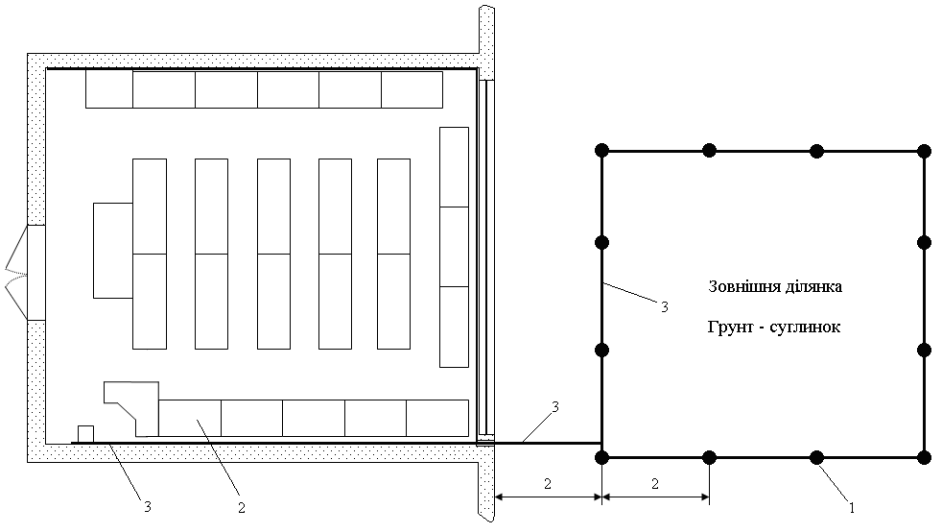
$$R_{з} = \frac{R_{гр} \cdot R_{г}}{R_{гр} + R_{г}} = \frac{6,3 \cdot 35,6}{6,3 + 35,6} = 5,3 \text{ Ом}$$

Як видно, опір заземлювача перевищує нормативний (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів: $n = 10$, тоді опір заземлювача в цілому складе $R_з$ = 4,6 Ом, що теж більше $R_н$.

Якщо n = 11, то $R_з$ = 4,2 > $R_н$.

Якщо n = 12, то $R_з$ = 3,99 < $R_н$.

Число заземлювачів дорівнює 12, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 4.5.



1 – заземлювачі

2 – електроустаткування що заземлюється

3 – сполучна смуга

Рисунок 4.5 – Розміщення заземлюючих електродів на зовнішній ділянці та сполучної смуги лабораторії проведення експерименту

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 12 вертикальних стержнів діаметром 0,04 м, завдовжки 2,5 м, кожен з яких має опір 31,5 Ом. Опір сполучної смуги 13,2 Ом. Опір заземлювачів в цілому складе 3,99 Ом, що забезпечує безпечну роботу на установках лабораторії.

Висновки та рекомендації

1. Тепловізійна техніка стає необхідним компонентом комплексу систем безпеки і на сьогодні активно застосовується як високоефективний засіб ведення спостереження.

2. Ефективне використання тепловізора визначається раціональністю вибору конкретної моделі або модифікації в залежності від необхідних технічних характеристик.

3. Розроблений генератор експоненціальних імпульсів від 5 до 100 Гц відрізняється від існуючих генераторів пилкоподібних імпульсів плавністю розгортки та підвищеною ефективністю зняття температурних характеристик.

4. Аналіз характеристик генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток показав правильність функціонування генератора імпульсів кадрової і рядкової розгорток відповідно до заданих параметрів.

Розроблений генератор імпульсів кадрової і рядкової розгорток рекомендується для впровадження в тепловізійних системах з електронним скануванням.

Перелік посилань

1. Воробйова. О. М., Іванченко В. Д.. Основи схемотехніки: підручник. Одеса : Фенікс, 2009. 388 с.

2. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Схемотехніка електронних систем: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої : підручник. Київ : Вища шк., 2004. 366 с.

3. Сєдов С. О. Аналогове оброблення сигналів. Схемотехніка. Розрахунки : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 298 с.

4. Pedroni V., Circuit Design and Simulation with VHDL, 2nd ed., MIT Press, 2010. 345 p.

5. Гершунський Б. С. Довідник з основ електронної техніки. Київ : Вища шк., 1987. 320 с.

6. Бойко В. І. Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем : підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.

7. Зубчук В. І.. Шкуро А. М. Функціональні вузли цифрової схемотехніки: навчальний посібник. Київ : РОВО «Укрвузполіграф», 1992. 236 с.

8. Дудикевич В. Б., Кеньо Г. В., Петрович І. В. Електроніка та мікросхемотехніка. Частина І: Електроніка : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 204 с.

9. Цифрова схемотехніка: Підручник / Верьовкін Л. Л. Світанько М. В., Кісельов Є. М. Хрипко С. Л. Запоріжжя : ЗДІА. 2016. 214 с.

10. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

11. Кожемякін Г. Б. Рижков В. Г., Бєлоконь К. В.Охорона праці та техногенна безпека : методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

12. Ткачук К. М. Охорона праці та навколишнього середовища в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. - 240 с.

13. Горобець А. І. Степаненко А. І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.

Зона	Поз. Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
		Конденсатори		
	C1	NPO-0,01мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C2	CLP172-10мкФ-16В	1	Philips
	C3	CLP172-4,7мкФ-16В	1	Philips
	C4	NPO-0,01мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C5	X7R-0,1мкФ-25В+-20%	1	Philips
	C6	NPO-0,01мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C7, C8	X7R-0,1мкФ-25В+-20%	2	Philips
	C9	NPO-1мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C10	NPO-0,01мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C11	NPO-1мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C12	X7R-0,1мкФ-25В+-20%	1	Philips
	C13	NPO-1мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C14, C15	RSM037-100мкФ-25В	2	Philips
	C16	NPO-0,01мкФ-50В+-20%	1	Philips
	C17	CLP172-10мкФ-16В	1	Philips
		Резистори		
	R1, R2	RC21-0,063 Вт-1 кОм	2	Philips
	R3	RC21-0,063 Вт -4,7 кОм	1	Philips
	R4	RC21-0,063 Вт -330 кОм	1	Philips
	R5	RC21-0,063 Вт -10 кОм	1	Philips
	R6	RC21-0,063 Вт -330 кОм	1	Philips
	R7	RC21-0,063 Вт -4,7 кОм	1	Philips
	R8	RC036GE96-147 кОм	1	Philips
	R9	MPC11E96-6,34 кОм	1	Philips

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ІННІ 176 ДП		
Розробив		Чуприна			Схема електрична принципова генератора	Літера	Лист / Листів
Перевірив		Верьовкін					
Н.контр.		Верьовкін				8.1764	
Затв.		Критська					

Зона	Поз. Познач	Найменування	Кіл.	Примітка
	R10	RC21-0,063 Вт -2 кОм	1	Philips
	R11…R14	RC21-0,063 Вт -10 кОм	4	Philips
	R15	RC21-0,063 Вт –3,3 кОм	1	Philips
	R16	RC21-0,063 Вт -10 кОм	1	Philips
	R17	RC21-0,063 Вт -51 кОм	1	Philips
	R20	RC21-0,063 Вт -100 кОм	1	Philips
	R21	RC21-0,063 Вт -1 МОм	1	Philips
	R22	RC21-0,063 Вт -100 кОм	1	Philips
	R23	RC21-0,063 Вт –11 кОм	1	Philips
	R24	RC21-0,063 Вт -10 кОм	1	Philips
	R26	RC21-0,063 Вт -100 кОм	1	Philips
	R27	RC21-0,063 Вт –300 Ом	1	Philips
	R28…R29	RC21-0,063 Вт –27 кОм	2	Philips
		Резистори змінні		
	R19, R25	WAK - 100 кОм	2	Yageo
	R18	POZ3-0,1 Вт-5 кОм	1	Murata
		Мікросхеми		
	DA1	MAX 5025	1	Maxim
	DA2	LM339	1	Analog Device
	DA4	OP292S	1	Analog Device
	DD1	К564ТМ2	1	
	DD2	К564ЛЕ5	1	
	DA3	Діод BAV23S	1	Philips
	HL1	Світлодіод L-169XHD	1	Kingbridht

Зона	Поз. Познач	Найменування	Кіл	Примітка
	GB1, GB2	Аккумулятор SL-350	2	Sonnenschein Lithium
	VD1	Стабілітрон ZHCS500	1	Zetex
	VT1…VT3	Транзистор ZVP3310F	3	Zetex
	X1	З'єднач раз'ємний DLK-02	1	Bourns
	L1	Дросель SDR0604-470 к	1	Bourns

						Лист
					ІННІ 176 ДП	3
Зм	Лист	№докум.	Підпис	Дата		