

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АВІОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Ю.В. Грищенко
«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: «Оптоелектронна система спостереження безпілотного літального апарату»

Виконавець: _____ Студент КД-4516 _____ Ситник Дмитро Олександрович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: _____ доц. Краснов Володимир Миколайович _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____ В.В. Левківський
(підпис) (П.І.Б.)

Київ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напря́м (спеціальність) 173 «Авіоніка»
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ю.В.Грищенко

« » 2024р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Ситник Дмитро Олександрович

1. Тема роботи: «Оптоелектронна система спостереження безпілотного літального апарату» затверджена наказом ректора від «14» 03 2024 р. № 385/ст.
2. Термін виконання роботи: з 13 травня 2024 по 16 червня 2024.
3. Вихідні дані роботи: Теоретичний матеріал про оптоелектронні системи спостереження для безпілотних літальних апаратів.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел з тематики кваліфікаційної роботи;
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Структурна схема системи

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Обґрунтування теми дипломної роботи	13.05.2024	
2	Проведення огляду літератури	15.05.2024	
3	Підготовка та написання 1 розділу	18.05.2024	
4	Підготовка та написання 2 розділу	24.05.2024	
5	Підготовка та написання 3 розділу	30.05.2024	
6	Перевірка на анти плагіат та отримання рецензії на диплом	01.06.2024	
7	Оформлення та друк пояснювальної	05.06.2024	
8	Підготовка презентації та доповіді	10.06.2024	

7. Дата видачі завдання: _____

Керівник дипломної роботи _____ Краснов В.М.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Ситник Д.О.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оптоелектронна система спостереження безпілотного літального апарату»: 43 сторінок, 28 рис., 3 таблиці, 12 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: електрооптична система спостереження, інтегрована в безпілотний літальний апарат.

Предмет дослідження: принципи побудови, технічні характеристики та методи вдосконалення оптоелектронних систем спостереження для БПЛА.

Мета роботи: дослідити оптоелектронної системи спостереження, що забезпечує високоточне та надійне відстеження і ідентифікацію об'єктів у реальному часі для застосування на безпілотних літальних апаратах

Методи дослідження: теоретичний аналіз, порівняльний аналіз технічних характеристик існуючих систем.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ТА БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	9
1.1. Огляд основних понять оптоелектроніки	9
1.2. Визначення та типи безпілотних літальних апаратів	13
1.3. Опис вбудованих відеокамер, їх різновидів та характеристик	15
1.4. Опис технічних характеристик БПЛА Mavic 3T	21
РОЗДІЛ 2 ОПИС ПРИЛАДІВ ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	28
2.1. Принцип роботи приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ)	28
2.2. Будова та принцип роботи CMOS (КМОН) матриць	34
2.3. Переваги КМОН-матриці в порівнянні з CCD-матрицею	38
РОЗДІЛ 3 ПРИНЦИПИ ПЕРЕТВОРЕННЯ СВІТЛО-СИГНАЛУ У ОПТОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ.....	40
3.1. Основи аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів.....	40
3.2. Основні варіанти побудови ЦАП	41
3.3 Принципи побудови сучасних АЦП	45
ВИСНОВОК	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЦП	аналого-цифровий перетворювач
БПЛА	безпілотний літальний апарат
ВІС	Велика інтегральна схема
Дш	дешифратор
ІЧ	інфрачервоний
КМОН	комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник (CMOS)
МОН	метал-оксид-напівпровідник
ПЗЗ	прилад із зарядовим зв'язком
Рег	регістр
РПН	регістр послідовного наближення
СВЗ	схему вибірки та зберігання
ФПЗЗ	фоточутливий прилад із зарядовим зв'язком
ФНЧ	фільтр низьких частот
ЦАП	цифро-аналоговий перетворювач
APS	Active Pixel Scanner (Датчик активних пікселів)
FPV	First Person View (Вид від першої особи)
GPS	Global Positioning System (Система глобального позиціонування)
JPL	Jet Propulsion Laboratory (Лабораторія реактивного руху)

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження оптоелектронних систем спостереження для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлена швидким розвитком технологій у сфері аерокосмічної техніки та зростанням потреби в ефективних рішеннях для моніторингу, спостереження та розвідки. Сучасні БПЛА стають невід'ємною частиною як військових, так і цивільних галузей, надаючи можливість виконувати широкий спектр завдань, від розвідки і спостереження до доставки вантажів і надання медичної допомоги. В умовах зростаючої складності та різноманітності завдань, які виконують безпілотні літальні апарати, вимоги до точності, надійності та ефективності їх оптоелектронних систем постійно підвищуються.

Оптоелектроніка як міждисциплінарна галузь науки і техніки, що об'єднує принципи оптики та електроніки, забезпечує можливості для розробки високоефективних систем спостереження та навігації. Системи спостереження на основі оптоелектронних приладів дозволяють виявляти та ідентифікувати об'єкти на великій відстані, забезпечуючи високу точність і деталізацію зображень. Це є критично важливим для військових застосувань, де інформація про місцезнаходження та характеристики цілей має вирішальне значення для прийняття тактичних рішень.

У цивільній сфері оптоелектронні системи спостереження використовуються для моніторингу інфраструктури, сільськогосподарських угідь, природних ресурсів, а також для забезпечення безпеки на об'єктах критичної інфраструктури. Наприклад, у сільському господарстві дрони оснащені оптоелектронними системами дозволяють виявляти зміни в стані рослинності, що сприяє своєчасному реагуванню на можливі проблеми і підвищенню врожайності. В будівництві та промисловості такі системи використовуються для моніторингу стану будівель і споруд, виявлення дефектів і запобігання аваріям.

Розвиток технологій у сфері оптоелектроніки, зокрема вдосконалення сенсорів, покращення обробки сигналів та інтеграція з іншими системами, такими як глобальні системи позиціонування (GPS) та інтелектуальні алгоритми обробки даних, дозволяють створювати все більш досконалі та універсальні оптоелектронні системи

для БПЛА. Це відкриває нові можливості для їх використання у різних галузях, забезпечуючи високу ефективність та надійність виконання завдань.

Об'єкт дослідження: електрооптична система спостереження, інтегрована в безпілотний літальний апарат.

Предмет дослідження: принципи побудови, технічні характеристики та методи вдосконалення оптоелектронних систем спостереження для БПЛА.

Мета роботи: дослідити оптоелектронної системи спостереження, що забезпечує високоточне та надійне відстеження і ідентифікацію об'єктів у реальному часі для застосування на безпілотних літальних апаратах

Методи дослідження: теоретичний аналіз, порівняльний аналіз технічних характеристик існуючих систем.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ТА БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1. Огляд основних понять оптоелектроніки

Оптика зображення – це використання світла для створення зображень. Вона може використовуватися в багатьох сферах, включаючи мікроскопи, телескопи, камери, медичну візуалізацію та промисловий контроль. Інфрачервона (ІЧ) оптика використовується для збору, фокусування або зіткнення світла в ближньому інфрачервоному, короткохвильовому інфрачервоному, середньохвильовому інфрачервоному або довгохвильовому інфрачервоному випромінюванні. Інфрачервона оптична система працює в діапазоні від 700 до 16 000 нм і використовується в широкому спектрі медико-біологічних наук, систем безпеки, машинного зору, тепловізійних систем і промислових застосувань. Проектується, розробляється, виготовляються та збираються ІЧ-системи з використанням алмазного лазерного точіння, автоматизованого полірування, нанесення покриттів та спеціальних метрологічних можливостей.

Оптоелектроніка є міждисциплінарною галуззю науки та техніки, яка об'єднує принципи оптики та електроніки. Вона займається вивченням, розробкою та застосуванням приладів і систем, що взаємодіють зі світлом (фотонами) та електричними сигналами (електронами). Оптичні системи можуть як генерувати, так і детектувати світло, а також перетворювати оптичні сигнали в електричні і навпаки. Приклади таких пристроїв включають світлодіоди (LED), лазери, фотодетектори, оптичні волокна та інтегровані оптичні системи.

Основні складові частини оптоелектроніки включають джерела світла, фотодетектори, оптичні компоненти, інтегровані оптичні схеми та оптоелектронні системи управління. Джерела світла є важливою складовою оптоелектроніки, оскільки вони генерують світло, необхідне для роботи багатьох пристроїв і систем. Світлодіоди (LED) випромінюють світло при проходженні через них електричного струму, є енергоефективними та використовуються в багатьох застосуваннях,

включаючи індикатори, освітлення та дисплеї. Лазери генерують когерентне світло високої інтенсивності і мають широкий спектр застосувань, включаючи телекомунікації, медицину, військові системи та наукові дослідження. Лазери можуть бути твердотільними, газовими, волоконними або напівпровідниковими.

Фотодетектори є напівпровідниковими пристроями, що перетворюють світло на електричний сигнал. Вони використовуються в різних оптоелектронних системах, включаючи датчики, камери та телекомунікаційні системи. Фотодіоди є найпоширенішим типом фотодетекторів, які забезпечують ефективне перетворення світлових сигналів у електричні. Фотомножники, з іншого боку, є високочутливими детекторами світла, які використовуються в ситуаціях, де необхідна висока точність і низький рівень шуму. Вони широко застосовуються в наукових дослідженнях та медичних пристроях.

Оптичні компоненти, такі як оптичні волокна, лінзи та дзеркала, є ключовими елементами багатьох оптоелектронних систем. Оптичні волокна використовуються для передачі світлових сигналів на великі відстані з мінімальними втратами і є основою сучасних телекомунікаційних систем, забезпечуючи високу швидкість передачі даних. Лінзи використовуються для фокусування або розсіювання світла, тоді як дзеркала відбивають світло, що є необхідним для багатьох оптичних приладів та лазерних систем.

Інтегровані оптичні схеми, такі як фотонні інтегральні схеми (РІС), поєднують численні оптичні компоненти на одному чіпі. Це дозволяє збільшити ефективність та зменшити розміри оптоелектронних систем, особливо в телекомунікаціях та обробці сигналів. Подібно до електронних інтегральних схем, РІС дозволяють створювати складні оптичні системи на малих площах, забезпечуючи високу продуктивність та компактність.

Оптоелектронні системи управління включають контролери, драйвери та системи обробки сигналів. Контролери та драйвери відповідають за керування роботою оптоелектронних пристроїв, регулюючи струм для світлодіодів, синхронізуючи роботу лазерів або забезпечуючи стабільну роботу фотодетекторів. Системи обробки сигналів займаються фільтрацією, підсиленням та аналізом

сигналів, що отримуються від оптоелектронних пристроїв. Сучасні оптоелектронні системи використовують потужні мікропроцесори та програмовані логічні матриці для виконання цих задач.

Оптоелектроніка має широкий спектр застосувань у різних галузях, включаючи телекомунікації, медицину, військові технології та науку. У телекомунікаціях оптичні волокна використовуються для передачі даних на великі відстані з високою швидкістю. У медицині лазери застосовуються у хірургії та діагностиці, а фотодетектори використовуються в медичних сканерах. У військових технологіях оптоелектронні прилади використовуються для створення систем нічного бачення, лазерного наведення та розвідки. У науці лазери і фотодетектори використовуються для спектроскопії, мікроскопії та інших наукових методів. Таким чином, оптоелектроніка є критично важливою для розвитку сучасних технологій і знаходить своє застосування у багатьох галузях, забезпечуючи більш ефективні та інноваційні рішення для взаємодії світла та електричних сигналів.

Оптоелектроніка, як наука, не лише інтегрує принципи оптики та електроніки, але й стимулює розвиток нових технологій та методів, що дозволяють удосконалювати існуючі системи і створювати інноваційні рішення. Ця галузь охоплює широкий спектр досліджень та застосувань, включаючи матеріали, які використовуються в оптоелектронних пристроях, принципи їх функціонування, а також методи їх виготовлення і тестування.

Матеріали, які використовуються в оптоелектроніці, відіграють ключову роль у визначенні характеристик та ефективності пристроїв. Напівпровідникові матеріали, такі як кремній, германій та сполуки типу арсенід галію (GaAs) і нітрид галію (GaN), є основою для створення світлодіодів, лазерів і фотодетекторів. Ці матеріали мають унікальні оптичні та електричні властивості, що дозволяють їм ефективно перетворювати світлову енергію в електричну і навпаки. Наприклад, GaN використовується для виготовлення синіх та ультрафіолетових світлодіодів і лазерів, що знайшли застосування в оптичних дисках, дисплеях та освітленні.

Принципи функціонування оптоелектронних пристроїв базуються на фізичних процесах взаємодії світла і електронів. Для світлодіодів це явище

електролюмінесценції, де електрони та дірки рекомбінують у напівпровіднику, випромінюючи фотони. Для фотодетекторів важливим є фотоефект, коли поглинання фотонів створює електронно-діркові пари, які генерують електричний сигнал. Лазери працюють на принципі стимульованого випромінювання, де фотони одного і того ж енергетичного рівня ініціюють вивільнення нових фотонів, створюючи потік когерентного світла.

Методи виготовлення оптоелектронних пристроїв включають епітаксійне нарощування шарів напівпровідників, фотолітографію, травлення та різні технології з'єднання, такі як пайка і склеювання. Використання нанотехнологій дозволяє створювати наноструктури, які можуть покращувати характеристики оптоелектронних приладів. Наприклад, квантові точки можуть використовуватися для створення високоефективних світлодіодів з регульованою довжиною хвилі випромінювання.

Крім традиційних матеріалів та технологій, сучасна оптоелектроніка активно досліджує нові матеріали, такі як органічні напівпровідники та двовимірні матеріали (наприклад, графен). Ці матеріали мають потенціал значно змінити властивості оптоелектронних пристроїв, дозволяючи створювати гнучкі, прозорі та більш ефективні прилади.

Оптоелектроніка також включає в себе технології для підвищення ефективності та надійності оптоелектронних систем. Використання інтегрованих фотонних схем, які поєднують кілька оптичних компонентів на одному чіпі, дозволяє зменшити розміри та енергоспоживання пристроїв, а також збільшити швидкість передачі даних. Методи активного охолодження та теплового менеджменту допомагають підтримувати стабільну роботу високопотужних лазерів та інших оптоелектронних приладів.

Сучасні системи тестування і валідації оптоелектронних пристроїв використовують складні методики для оцінки їх характеристик. Це включає спектральний аналіз, вимірювання швидкості передачі даних, перевірку на стійкість до температурних змін та механічних навантажень. Використання автоматизованих систем тестування дозволяє швидко і точно оцінювати велику кількість пристроїв,

забезпечуючи високу якість і надійність продукції.

Таким чином, оптоелектроніка є багатогранною та динамічною галуззю, яка постійно розвивається завдяки інтеграції нових матеріалів, технологій та методів. Вона відіграє важливу роль у багатьох аспектах сучасного життя, сприяючи розвитку комунікацій, медицини, науки та промисловості.

1.2. Визначення та типи безпілотних літальних апаратів

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, – це літальні апарати, які керуються безпосередньо з землі або працюють автономно за допомогою вбудованих комп'ютерів. БПЛА не мають на борту пілота, але вони можуть бути оснащені різними датчиками, камерами та іншими приладами для виконання різних завдань, таких як спостереження, розвідка, доставка вантажів, або знімання відео та фото. Типи та різновиди безпілотних літальних апаратів поділяються за різними ознаками. За призначенням БПЛА бувають військові. Серед них:

- розвідувальні дрони: використовуються для збору інформації та спостереження за ворогом.
- бойові дрони: оснащені зброєю для атак на наземні цілі.
- радіоелектронна боротьба: використовуються для створення радіоперешкод і порушення зв'язку противника.

Також вирізняють цивільні БПЛА. Використовуються вони в таких сферах:

- спостереження та моніторинг – в сільському господарстві, будівництві, для моніторингу інфраструктури та природних ресурсів.
- для доставки товарів та медичних препаратів.
- фотографія та відеозйомка: використовуються професійними фотографами та відеооператорами.

За розміром і вагою БПЛА бувають наступні:

- нанодрони: дуже маленькі дрони, часто вагою до 250 грамів, використовуються для короточасних місій у важкодоступних місцях.
- мікродрони: трохи більші, вагою до 2 кілограмів, використовуються для

спостереження та коротких польотів.

- мінідрони: важать до 25 кілограмів, використовуються в різних цивільних і військових цілях.
- середні дрони: важать до 150 кілограмів, мають ширший спектр використання, включаючи вантажоперевезення та довготривале спостереження.
- великі дрони: важать понад 150 кілограмів, можуть виконувати різні функції, включаючи стратегічне спостереження та боєві місії.

Також розрізняють і за типом конструкції:

- квадрокоптери: чотири ротори, висока маневреність, популярні як у цивільному, так і у військовому використанні.
- гексакоптери: шість роторів, краща стабільність і вантажопідйомність.
- октокоптери: вісім роторів, підвищена стабільність і можливість піднімати важкі вантажі.
- літаки: традиційна аеродинамічна конструкція, довгий час польоту і більша дальність.
- гібридні дрони: поєднують в собі можливості літаків і багатороторних дронів, забезпечуючи вертикальний зліт та посадку, а також тривалі польоти.

Безпілотні літальні апарати отримали широку популярність завдяки можливості надавати відеоінформацію з територій, де розміщення оператора (спостерігача) є складним.

Оптичні системи в безпілотних технологіях використовуються для спостереження за місцевістю та аналізу ситуації, отримання детальних зображень ділянок та об'єктів, а також виявлення візуально непомітних елементів. Технічно вони реалізуються у вигляді систем оптичних пристроїв, які можуть бути інтегровані в корпус БПЛА або встановлені на гіростабілізованих платформах, що дозволяють повертати оптичні осі у будь-якому напрямку із заданою швидкістю.

Жорстке кріплення оптичної осі до конструкції БПЛА зазвичай використовується для авіаційних фотоапаратів та оптичних пристроїв огляду передньої або іншої півсфери. Термін "жорстке кріплення" є умовним, оскільки майже всі оптичні пристрої, інтегровані в конструкцію БПЛА, можуть здійснювати деяке кутове переміщення для компенсації кутового положення апарату відносно поверхні Землі та коливань відносно осей нормальної системи координат.

Оптичні пристрої з жорстким кріпленням здатні виконувати багато практичних завдань, але для отримання якісних результатів необхідно стабілізувати положення БПЛА в повітрі під час зйомки. На жаль, принцип їхньої конструкції часто не дозволяє реалізовувати режим супроводу цілей, а спроба реалізації такого режиму стикається з численними обмеженнями і складнощами.

Більш гнучкими є оптичні пристрої, встановлені на гіростабілізованих платформах, що дозволяють забезпечити кращу стабілізацію та точність спостереження.

1.3. Опис вбудованих відеокамер, їх різновидів та характеристик



Вбудовані відеокамери можуть значно відрізнятися за розміром, вагою та характеристиками. Найчастіше використовуються мікрокамери з механізмом нахилу і повороту, але також можливі цифрові камери зі стабілізуючою підвіскою (наприклад, Sony NEX-3 і камери GoPro). У деяких випадках встановлюються 2 камери. Одна призначена для запису високоякісних зображень у внутрішню пам'ять, а друга - для управління відеосигналом. Ключовими показниками камер FPV є TVL і час затримки матриці.

Приклади оптичних пристроїв, які можуть бути встановлені на БПЛА, а також їх основні характеристики наведено в табл. 1.1.

Характеристики оптичних пристроїв БПЛА

Оптичний пристрій	Основні технічні дані
 <p data-bbox="331 586 459 616">KS- 127B</p>	<p data-bbox="651 322 986 351">Країна-виробник: США.</p> <p data-bbox="651 353 1406 383">Призначення: авіаційна фотокамера великої дальності.</p> <p data-bbox="651 385 1043 414">Фокусна відстань : 1,6704 м.</p> <p data-bbox="651 416 1437 501">Діапазон висот застосування: до 10 км. Похила дальність застосування: понад 55 км. Кути поля зору: 3,9°×3,9°.</p> <p data-bbox="651 504 1422 577">Роздільна здатність у режимі панорамного знімання: 12 064×32.</p> <p data-bbox="651 580 826 609">Маса: 272 кг</p>
 <p data-bbox="316 907 475 936">Type 8040B</p>	<p data-bbox="651 622 1326 651">Країна-виробник: Великобританія. Призначення:</p> <p data-bbox="651 654 1477 728">електронно-оптичний датчик для розвідки й спостереження на малих і середніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 730 1070 759">Діаметр входної лінзи: 450 мм.</p> <p data-bbox="651 761 1422 835">Діапазон висот застосування: від 60 м до 12 км. Похила дальність застосування:</p> <p data-bbox="651 837 911 866">від 300 м до 40 км.</p> <p data-bbox="651 869 1018 898">Кути поля зору: 12,4°×6,2°.</p> <p data-bbox="651 900 1485 974">Роздільна здатність: 8 кут. хв/12 288. Маса: до 10 кг залежно від комплектації</p>
 <p data-bbox="323 1290 467 1319">Type 8010</p>	<p data-bbox="651 994 1326 1023">Країна-виробник: Великобританія. Призначення:</p> <p data-bbox="651 1025 1469 1099">електронно-оптичний датчик для розвідки і спостереження на малих і середніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 1102 1110 1131">Діаметр входної лінзи: до 150 мм.</p> <p data-bbox="651 1133 1422 1207">Діапазон висот застосування: від 60 м до 12 км. Похила дальність застосування:</p> <p data-bbox="651 1209 911 1238">від 300 м до 40 км.</p> <p data-bbox="651 1240 1485 1314">Кути поля зору: від 18,3° до 65,6°. Роздільна здатність: 8 кут. хв/12 288.</p> <p data-bbox="651 1317 1238 1346">Маса: до 7,5 кг, з лінзою 150 мм до 10,5 кг</p>
 <p data-bbox="256 1653 531 1682">Vinten Type 950/955</p>	<p data-bbox="651 1417 1477 1503">Країна-виробник: Великобританія. Призначення: оптична камера для панорамної розвідки і спостереження на малих і середніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 1505 1493 1534">Діаметр входної лінзи: до 150 мм. Кути поля зору: 160°×40,0°.</p> <p data-bbox="651 1536 1493 1610">Носій інформації: 127-міліметрова фотоплівка. Маса: 37...56 кг залежно від комплектації</p>

Оптичний пристрій	Основні технічні дані
 <p data-bbox="209 680 584 748">TV and/or FLIR surveillance system</p>	<p data-bbox="651 197 986 228">Країна-виробник: ЮАР.</p> <p data-bbox="651 232 1501 300">Призначення: оптична багатодатчикова система для розвідки і спостереження на малих і серед- ніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 304 1018 336">Стабілізація: по двох осях.</p> <p data-bbox="651 340 1374 407">Кути повороту платформи за азимутом: 360,0°. Кути повороту за кутом місця: +20°...-120°.</p> <p data-bbox="651 412 1437 479">Помилка стабілізації за кутовою координатою: менше 25 мрад.</p> <p data-bbox="651 483 1465 551">Точність відпрацьовування кутової координати: менше 3,0 мрад.</p> <p data-bbox="651 555 1358 586">Діаметр пристрою: 0,35 м. Висота пристрою: 0,5 м.</p> <p data-bbox="651 591 871 622">Кути поля зору:</p> <p data-bbox="651 627 1050 658">ТВ-камера: вузьке поле: 1,5°.</p> <p data-bbox="651 663 916 694">широке поле: 22,6°.</p> <p data-bbox="651 698 1038 730">ІЧ-камера: вузьке поле: 2,2°.</p> <p data-bbox="651 734 900 766">широке поле: 7,8°.</p> <p data-bbox="651 770 1230 801">Маса: 37...56 кг залежно від комплектації</p>
 <p data-bbox="349 1301 440 1332">MOSP</p>	<p data-bbox="651 822 1002 853">Країна-виробник: Ізраїль.</p> <p data-bbox="651 857 1501 925">Призначення: оптична багатодатчикова система для розвідки і спостереження на малих і серед- ніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 929 1018 960">Стабілізація: по двох осях.</p> <p data-bbox="651 965 1374 1032">Кути повороту платформи за азимутом: 360,0°. Кути повороту за кутом місця: +15°...105°.</p> <p data-bbox="651 1037 1437 1104">Помилка стабілізації за кутовою координатою: менше 25 мрад.</p> <p data-bbox="651 1108 1453 1176">Діаметр пристрою: 0,36 м. Висота пристрою: 0,54 м. Кути поля зору:</p> <p data-bbox="651 1180 1139 1211">ТВ-камера: вузьке поле: 0,37°...1,3°.</p> <p data-bbox="651 1216 959 1247">широке поле: до 18,2°.</p> <p data-bbox="651 1252 1038 1283">ІЧ-камера: вузьке поле: 2,4°.</p> <p data-bbox="651 1288 916 1319">широке поле: 29,2°.</p> <p data-bbox="651 1323 1385 1391">Лазерний далекомір-цілепокажик: є. Маса: 26...39 кг залежно від комплектації</p>
 <p data-bbox="349 1912 440 1944">DSP-1</p>	<p data-bbox="651 1411 1002 1442">Країна-виробник: Ізраїль.</p> <p data-bbox="651 1447 1501 1514">Призначення: оптична багатодатчикова система для розвідки і спостереження на малих та сере- дніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 1518 1018 1550">Стабілізація: по двох осях.</p> <p data-bbox="651 1554 1374 1621">Кути повороту платформи за азимутом: 360,0°. Кути повороту за кутом місця: від +10°...105°.</p> <p data-bbox="651 1626 1390 1693">Помилка стабілізації за кутовою координатою: менше 25 мрад.</p> <p data-bbox="651 1697 1465 1765">Точність відпрацьовування кутової координати: менше 1,2 мрад.</p> <p data-bbox="651 1769 1018 1800">Діаметр пристрою: 0,32 м.</p> <p data-bbox="651 1805 995 1836">Висота пристрою: 0,50 м</p> <p data-bbox="651 1841 871 1872">Кути поля зору:</p> <p data-bbox="651 1877 1139 1908">ТВ-камера: вузьке поле: 0,92°...0,7°.</p> <p data-bbox="651 1912 1002 1944">широке поле: 18,6°×13,2°.</p> <p data-bbox="651 1948 1139 1980">ІЧ-камера: вузьке поле: 0,98°×0,92°.</p> <p data-bbox="651 1984 1011 2016">широке поле: 21,7°×20,6°.</p> <p data-bbox="651 2020 1369 2051">Лазерний далекомір-цілепокажик: є. Маса: від 26 кг</p>

Оптичний пристрій	Основні технічні дані
 <p data-bbox="300 656 488 685">MicroBat-275</p>	<p data-bbox="651 197 1327 226">Країна-виробник: Ізраїль, фірма Vental Industries.</p> <p data-bbox="651 232 1469 371">Призначення: кольоровий растровий сенсор - детектор, що працює в оптичному (денний режим) і/або в інфрачервоному (нічний режим) діапазонах і встановлений на координатному приводі.</p> <p data-bbox="651 378 1034 407">Стабілізація: по трьох осях.</p> <p data-bbox="651 414 1490 483">Кути повороту платформи по азимуті: $350,0^\circ$. Кути повороту за кутом місця: 150°.</p> <p data-bbox="651 490 1401 560">Максимальна швидкість розвороту: 60 град/с. Діаметр прозорої півсфери: 70 мм.</p> <p data-bbox="651 566 1098 595">Енергоспоживання: менше 7 Вт.</p> <p data-bbox="651 602 1390 701">Напруга живлення: 12 В постійного струму. Діапазон оптичної трансфокації: $10\times$, цифровий – $4\times$.</p> <p data-bbox="651 707 911 736">Маса: менше 350 г</p>
 <p data-bbox="331 1153 456 1182">SON-112</p>	<p data-bbox="651 750 983 779">Країна-виробник: Росія.</p> <p data-bbox="651 786 1501 855">Призначення: оптична багатодатчикова система для розвідки і спостереження на малих і середніх висотах польоту.</p> <p data-bbox="651 862 1034 891">Стабілізація: по трьох осях.</p> <p data-bbox="651 898 1198 967">Кути повороту платформи за азимутом: $+180,0^\circ \dots 180,0^\circ$.</p> <p data-bbox="651 974 1417 1043">Кути повороту за кутом місця: $+20^\circ \dots 90^\circ$. Точність відпрацювання кутової координати: менше $0,3$ мрад.</p> <p data-bbox="651 1050 1342 1079">Діаметр пристрою: 0,34 м. Висота пристрою: 0,50.</p> <p data-bbox="651 1086 1490 1155">Кутова роздільна здатність ТВ-камери: $3,8^\circ$. Кути поля зору: ТВ-камера: вузьке поле: $1,6^\circ \dots 1,2^\circ$.</p> <p data-bbox="651 1162 975 1191">широке поле: $8,0^\circ \times 6,0^\circ$.</p> <p data-bbox="651 1198 1114 1227">ІЧ-камера: вузьке поле: $4,0^\circ \times 3,0^\circ$.</p> <p data-bbox="651 1234 1018 1263">широке поле: $18,0^\circ \times 13,5^\circ$.</p> <p data-bbox="651 1270 1501 1339">Лазерний далекомір-цілепоказник: є. Маса: $47 \dots 51$ кг залежно від комплектації</p>

Використання оптичних пристроїв на гіростабілізованих платформах дозволяє ефективно виконувати завдання супроводження обраної цілі під час маневрів БПЛА в польоті або зміни просторового положення цілі. Спільне використання телевізійної та інфрачервоної камер значно підвищує інформативність отриманого зображення, а лазерний далекомір-цілевказівник додає можливість точно визначати координати цілі.

Як видно з наведених даних, електронно-оптичні системи можуть мати різні розміри і масу. Зрозуміло, що виконання таких специфічних вимог, як велика дальність до об'єкта зйомки і висока роздільна здатність на місцевості, неминуче збільшує масу та вартість подібних пристроїв.

На багатьох відомих БПЛА електронно-оптичні пристрої розташовані в носовій частині фюзеляжу. Є приклади розміщення оптичних пристроїв і в середній частині фюзеляжу. Наприклад, у БПЛА Sky Eye 80-х років блістер з оптичним пристроєм висувається із середньої частини фюзеляжу на ліфті.

Типовим прикладом розміщення телевізійно-оптичної системи є БПЛА "Бджола-1Т". Це цільове навантаження, як показано на рисунку 9.8, має блістер, форма якого наближена до півсфери. Весь блістер може повертатися за азимутом (курсом) навколо своєї вертикальної осі симетрії на $\pm 175^\circ$. Телевізійна камера, встановлена всередині блістера, може хитатися від $+5^\circ$ (вгору) до -65° (вниз). Частина поверхні блістера перед можливими положеннями вхідної зіниці камери зроблена у вигляді прозорої смужки. Для компенсації збурень руху БПЛА на азимутальні та кутомісцеві приводи подаються сигнали кутової швидкості від гіроскопічних датчиків, закріплених на підвісі камери. Оскільки стабілізація здійснюється лише за двома кутами з трьох можливих, залишкові збурення руху БПЛА проявляються як легке хитання зображення навколо центра кадру.

Ще одним аспектом у БПЛА є особа, від якої ведеться керування. За звичайних умов оператор слідкує за дроном, знаходячись на землі недалеко від нього, та спостерігаючи за ним на власні очі. Але також існують БПЛА, керування якими здійснюється ніби від погляду самого дрону.

Багато хто з нас в дитинстві мріяли політати, і навіть у дорослому віці таке бажання прослизає. На щастя, сучасні технології розвиваються такими стрімкими темпами, і сьогодні це бажання практично здійсненне. Звичайно, людина не піднімається в небо, але відчуває себе пір'їнкою і може побачити світ з висоти пташиного польоту і дістатися до хмар. Суть FPV полягає в тому, що на радіокерованому літаку, вертольоті, планері або квадрокоптері встановлюється камера, яка передає зображення на землю в режимі реального часу під час польоту, а пілот отримує його і управляє моделлю. Людина бачить все від першої особи через спеціальний монітор або відеоокуляри, і це створює справжнє відчуття польоту.

Вибір камери FPV-системи є важливою частиною створення високоякісної

FPV-системи. Це "очі" оператора, тому потрібно відповідально підійти до цього питання. Майбутнім пілотам FPV-планерів необхідно враховувати безліч нюансів: тип матриці, кількість отворів, телевізійні лінії, тип установки, наявність датчиків, що відстежують положення голови пілота.

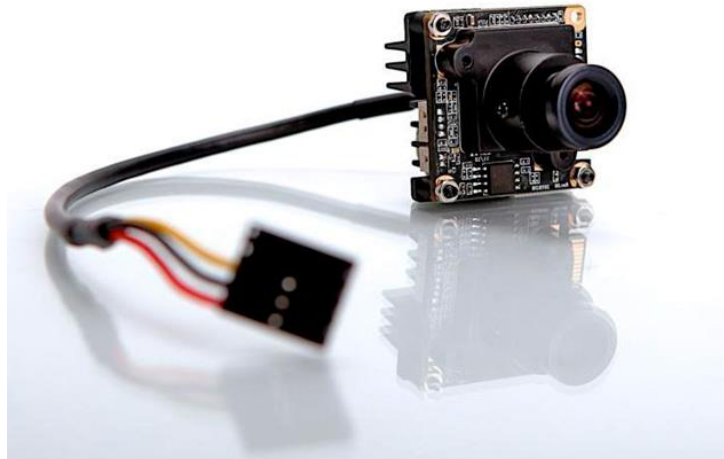


Рис. 1.1 камера FPV-дрона

На ринку доступні різні системи прийому/передачі відео. Основними характеристиками є несуча частота і потужність передавача. Потужність передавача регулюється законом і обмежена різними діапазонами. Виробники обладнання FPV використовують неліцензійні діапазони частот для цивільних цілей. У більшості випадків в авіації ближньої дії FPV використовується відкритий діапазон частот 5,8 ГГц. Для авіації дальньої дії FPV використовується діапазон низьких частот, наприклад 1,2 ГГц.

Сигнал приймається спеціальним приймачем, який налаштовується на частоту передавача. Перетворений відеосигнал передається на екран монітора окуляри пілота або FPV-пристрої. Як правило, передача з приймача на екран здійснюється у вигляді AV-сигналу.

Якщо носій оснащений системою передачі координат по відеотрансляції, то можна передавати телеметричну інформацію по звуковій доріжці. Наземний приймач декодує сигнал для визначення напрямку, після чого пристрій стеження встановлює положення наземної антени для спостереження за носієм FPV. Тому в операторів FPV-носіїв завжди чистий і сильний сигнал.

1.4. Опис технічних характеристик БПЛА Mavic 3T

БПЛА Mavic 3T від DJI представляє собою сучасний безпілотний літальний апарат, який втілює новітні досягнення в області аерофотозйомки та відеозйомки. Цей дрон є втіленням високих стандартів якості, надійності та функціональності, пропонуючи користувачам широкий спектр можливостей для професійного використання.

Один із найважливіших аспектів Mavic 3T – його дизайн, який поєднує в собі ергономічність і компактність. Завдяки складаній конструкції дрон легко транспортувати, що робить його ідеальним для виїзних зйомок та експедицій. Матеріали, з яких виготовлений корпус, забезпечують високу стійкість до впливу зовнішніх факторів, що дозволяє використовувати Mavic 3T у різних кліматичних умовах.

Ще однією ключовою особливістю є вдосконалена система навігації та стабілізації, яка забезпечує точність польоту та високу стабільність під час зйомки. Це робить Mavic 3T незамінним інструментом для аерофотограмметрії, картографії та інших завдань, що вимагають високої точності. Вбудовані датчики і системи уникнення перешкод підвищують безпеку польотів, дозволяючи дрону автоматично обминати перешкоди на своєму шляху.

Mavic 3T також відзначається високим рівнем автономності. Інтелектуальні акумулятори забезпечують тривалий час польоту, що дозволяє виконувати завдання без частих перерв на підзарядку. Крім того, передбачено різні режими економії енергії, які допомагають оптимізувати використання акумулятора залежно від конкретних завдань.

Особливу увагу приділено камері Mavic 3T. Завдяки високоякісній оптиці і передовим технологіям обробки зображень, дрон здатний захоплювати деталізовані та яскраві кадри навіть в умовах низького освітлення. Вбудовані алгоритми покращення зображення забезпечують високу якість фото- і відеоматеріалів, що робить цей дрон незамінним інструментом для професійних фотографів і відеооператорів.

Завдяки механічному затвору, камері з 56-кратним зумом, та модулю RTK,

точність становить 1 сантиметр. Mavic3T підвищує продуктивності до нового рівня. Він спеціально розроблений для найскладніших операцій, таких як пошуково-рятувальних операцій, та потреб поліції використовують дрони з тепловізійними камерами.

Невід'ємною частиною Mavic 3T є його інтелектуальні функції. Завдяки вбудованому штучному інтелекту та алгоритмам машинного навчання, дрон здатний автоматично розпізнавати об'єкти, слідкувати за ними і виконувати складні маневри без втручання оператора. Це відкриває нові можливості для творчих і технічних задач, дозволяючи зосередитись на творчому процесі, а не на технічних аспектах управління дроном.

Висока ступінь інтеграції з іншими пристроями і додатками робить Mavic 3T зручним у використанні. Підтримка мобільних додатків і можливість швидкої обробки даних прямо на місці зйомки значно підвищують продуктивність роботи.

Mavic 3T також відрізняється міцністю і надійністю, завдяки чому може використовуватися в різноманітних екстремальних умовах. Від високих гір до густих лісів, цей дрон здатний витримувати різні кліматичні та фізичні випробування, залишаючись при цьому стабільним та ефективним.



Рис. 1.2. Безпілотний літальний апарат Mavic 3E та Mavic 3T

Акумулятор, Оптимізація на ваш розсуд. За максимальний час в 45 км на одній зарядці ви можете проїхати велику територію в 1 поле і до 1 квадратного кілометра в 2 областях.

Акумулятор швидко заряджається, що дозволяє швидко заряджати. Ви можете легко зарядити додаткові 100 Вт від зарядного пристрою і 88 Вт від зарядного пристрою в зборі.

Він використовує передачу зображення нового покоління, чотири антени панелі керування O3 Enterprise Transmission забезпечують більш стабільне з'єднання в різноманітних складних умовах.

Mavic3 оснащений 4-стороннім ширококутним об'єктивом, який дозволяє обходити перехресний код США безпосередньо, без зон. В середині місії з'являється осад, і починає проявлятися сигнал про близькість її гальмівного шляху.



Рис 1.3. Розміщення ширококутних лінз на дроні

Розширення RTK автоматично економить електроенергію та планує безперервний маршрут додому. APAS5.0 може автоматично змінити маршрут на інший код, при цьому допускається відсутність шуму.

Завдяки всенаправленому датчику Mavic 3T висота автоматично регулюється під час картографування різних висотних областей без необхідності імпортувати зовнішні дані про висоту.

Інтелектуальна фіксація нахилу покращує продуктивність завдань фотозйомки під кутом за допомогою Smart Oblique Capture. Під час польоту кардан автоматично обертається в трьох напрямках. Усі фотографії можна зібрати за допомогою двох маршрутів під кутами, необхідними для високоточного 3D-моделювання. Щоб

створити зразки файлів місії для майбутніх автономних польотів, потрібно записувати дії місії, такі як рух літального апарату, орієнтація підвісу, фотографії та рівні масштабування. Використовуйте лінійне планування місій, щоб створювати автономні місії на магістралях, річках, нафтопроводах тощо. Просто намалуйте лінію на карті, і вона розділить територію на секції, які можна малювати, для зручності вимірювання.

Програму слід оновити наступним чином:

DJI Pilot2 оновлює фірмовий Польський інтерфейс інновацій, щоб підвищити ефективність роботи пілотів без використання польської мови. Для управління дроном і корисним перевага менше, ніж на одну точку. На додаток до подання детальної інформації про рейс, навігаційна форма оформлена у вигляді користувача, який добре видно на типі маршруту.

DJI FlightHub2 піклується про решту простору за допомогою жакливого безпілота, ми дбаємо про видалення в режимі реального часу його аерофотозйомки, і ми дбаємо про решту простору між землею та центром Земної кулі. Ефективне використання для додаткового планування свого оновленого маршруту.

Програма DJI Terra не може використовуватися для картографування, планування світу до розробки 2D і 3D моделей.

DJI Thermal Analysis Tool3.0 – це програма для запису зображень, відома як Mavic.

Тепловізійна камера на квадрокоптері зазвичай має наступну структуру:

1. Теплочутливий сенсор: в основі тепловізора зазвичай знаходиться теплочутливий сенсор, який реагує на інфрачервоне випромінювання тіл та середовища.
2. Оптична система: лінзи та оптична система забезпечують фокусування інфрачервоного випромінювання на теплочутливому сенсорі.
3. Обробка зображення: отримані дані з теплочутливого сенсора обробляються і конвертуються у зображення, яке можна відобразити на екрані дистанційного керування.

4. Відображення зображення: тепловізійна камера показує теплову карту об'єктів на землі або в навколишньому середовищі, дозволяючи оператору аналізувати температурні різниці.

Така камера дозволяє отримувати важливі дані про температурні різниці на землі або в будівлях, що може бути корисним для рятувальних операцій, пошуку людей або тварин, контролю лісових пожеж тощо.

20-мегапіксельна камера Mavic3t оснащена широкоформатної матрицею 4/3 CMOS і механічним затвором, який фіксує зображення з інтервалом в 0,7 секунди.



Рис. 1.4. Камера Hasselblad з матрицею 4/3 CMOS

Це гібридна камера з роздільною здатністю 56х.

Матриця CMOS4 / 3, кількість допустимих пікселів: 20 Мп.

Дайте мені озирнутися: 84°.

що відповідає формату: 24 мм.

Флагма Deeg: f/2,8-f/11.

Фокусування: від 1 м до ∞ (з автофокусуванням).

Діапазон ISO: 100-6400.

Швидкість спрацьовування електронного затвора: 8-1 / 8000с.

Максимальний розмір: 5280×3956.

Максимальна швидкість передачі відео: Н. 264 / Н. 265: 200 МБ/с.

Вага: 200-250 г.

Тепловізійна камера Mavic3T має роздільну здатність 640×512 і підтримує вимірювання температури в точках і зонах, сигналізацію про високу температуру, кольорні палітри і ізотерми для визначення місця розташування цілей.



Рис. 1.5. Термокамера PLUG612R

Одночасне масштабування на розділеному екрані. Для зручності порівняння камери, оснащені тепловізорами, і камери, широко використовувані в моделях mavic3T, підтримують 28-кратне безперервне збільшення і відображаються на двох екранах одночасно.



Рис. 1.6. Зображення з термокамери та основної камери

Технічні характеристики:

Розмір зображення: 640×512

Спектральний діапазон: від 8 до 14 мікрон

збільшення в 28 разів

Частота кадрів: 25/30 Гц

Точність вимірювання температури: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ або $\pm 2\%$

РОЗДІЛ 2

ОПИС ПРИЛАДІВ ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

2.1. Принцип роботи приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ)

Винахід пристроїв із зарядовим зв'язком став найбільшою подією в розвитку напівпровідникової електроніки. Завдяки ПЗЗ-матриці була вирішена проблема створення растрового передавального телевізійного пристрою без вакууму, що є аналогом відиконів. Розвиток цієї області мікроелектроніки, пов'язаної з ідеєю перенесення заряду вздовж поверхні напівпровідників, було досягнуто завдяки розумінню фізичних явищ, пов'язаних зі структурами метал-діелектрик-напівпровідник (МДН). Ідея належить інженерам Бойлу і Сміту, які в 1969 році запропонували ланцюжок з близько розташованих металевих електродів монолітних конденсаторів, відокремлених від напівпровідникової підкладки загальним шаром діелектрика. Ланцюг складається з трьох металевих електродів, з'єднаних послідовно, кожен з яких підключений до однієї шини, і були застосовані три послідовності імпульсів зі зсувом за часом. В 1970 була створена перша 8-розрядна ПЗЗ-матриця (рис. 2.1) працював як простий послідовний приймач оптичних зображень, як лінія затримки. У 1973 році з'явився приймач зображення для телевізійної системи з 13 000 елементів.

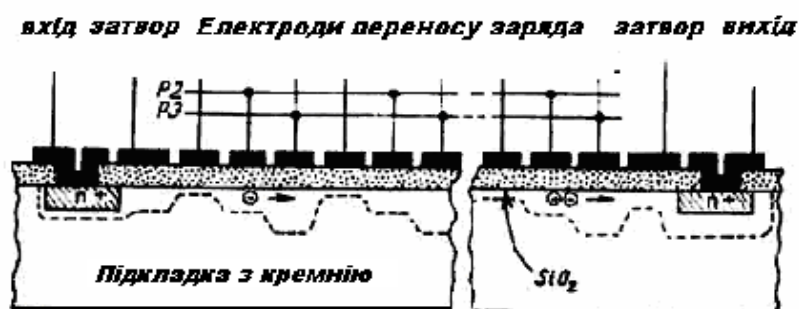


Рис. 2.1 – Перший ПЗЗ, що містив 8 трифазних комірок (поперечний переріз).

Основою ПЗЗ-матриці є конденсатор, що має структуру метал-оксид-напівпровідник (МОН-конденсатор). На Рис. 2.2, а показаний МОН-конденсатор, металевий електрод, нанесений на термічно окислену підкладку з *p*- кремнію.

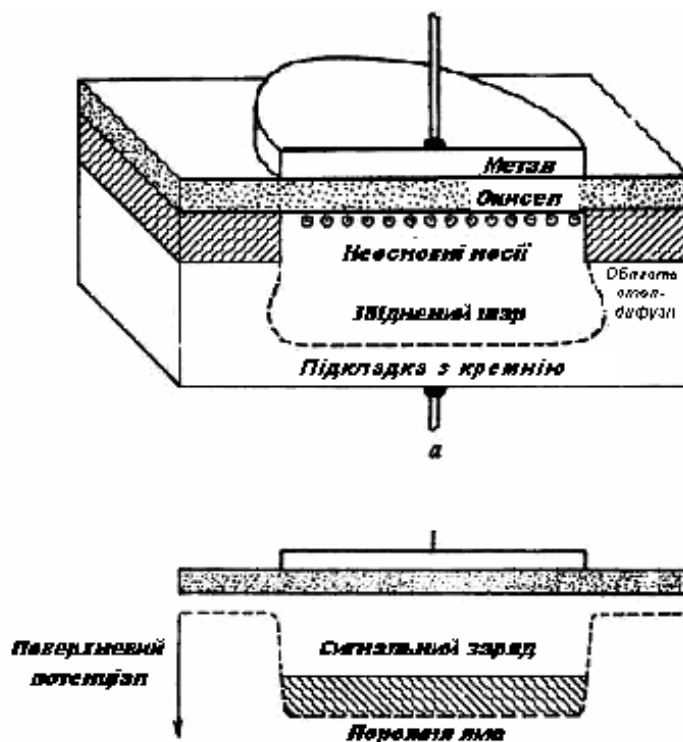


Рис.2.2 – а) Поперечний переріз МОН-конденсатора, використовуваного як елемент збереження неосновних носіїв заряду; б) Потенційна яма з зарядом, зображеним у вигляді рідини, що знаходиться на дні ями.

У якийсь момент, коли до металевого електрода для підкладки прикладається позитивне напруження, основний носій заряду (дірки) шару кремнію, що прилягає до кордону з оксидом, відштовхується від електрода, і в той же час утворюється потенційна яма для протилежного типу (електрона) носія утворюється на межі розділу оксид-кремній, яка спочатку порожня, тобто поширення рухомого носія в потенційній ямі обмежена спеціальною областю напівпровідника, що має той же тип провідності, що і підкладка, ступінь легування (p^+ -тип). Їх зазвичай називають зупинкою дифузії. Поверхневий потенціал цих областей дорівнює нулю. Для пояснення потенційна яма зображена у вигляді відра, а основний носій – у вигляді рідини, яка частково заповнює її (рис. 2.2, б). Затінена область на малюнку відповідає затіненій області на малюнку. На рис. 2.2, б представлено наочне уявлення кількості заряду в ємності у вигляді кількості рідини на дні ємності 2.

Перенесення заряду в пристроях із зарядовим зв'язком

Якщо два МОН-конденсатори розташовані так близько один від одного на загальних діелектричному шарі і підкладці, що їхні збіднені області перекриваються і потенційні ями з'єднуються (або „зв'язуються”), то рухомий заряд неосновних носіїв буде накопичуватися в тому місці, де вище значення поверхневого потенціалу. Використовуючи рідинну модель, можна визначити, що заряд тече в найбільш глибоку потенційну яму. За рахунок цього можливе кероване перенесення заряду від одного електрода до іншого (сусіднього). Зарядовий пакет, що інjektується за рахунок оптичної генерації під електродом $p1$ (рис. 2.3,а), що знаходиться під високою напругою, буде поширюватися уздовж межі розділу кремній-оксид під сусідній електрод $p2$, якщо на нього подана така ж або більш висока напруга (рис. 2.3, б). Якщо ж напругу на електроді $p1$ зменшити, то зарядовий пакет повністю перетече під електрод $p2$ (рис. 2.3,б, $t = t_4$).

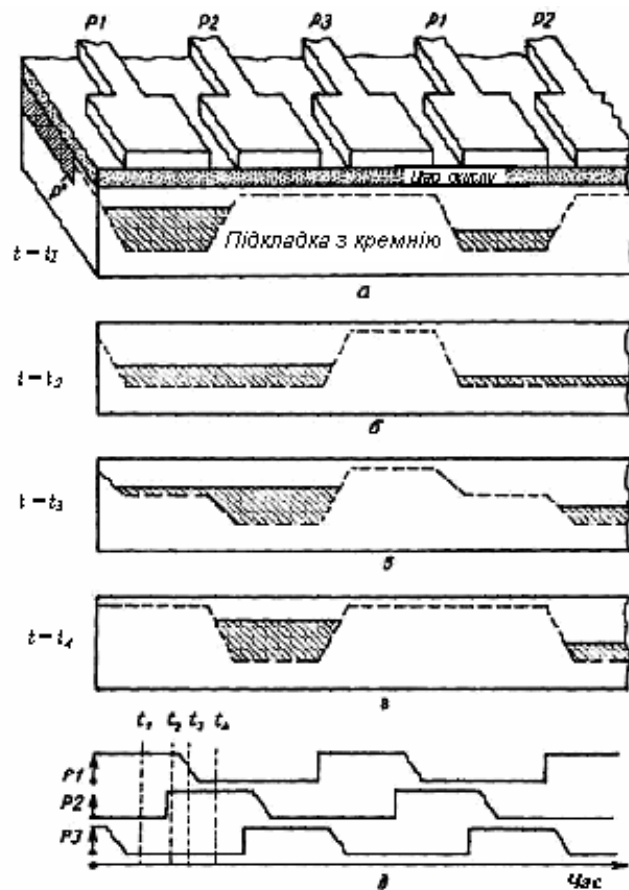


Рис.2.3 Принцип перенесення заряду в трифазній ПЗЗ

Якщо кількість таких електродів підключено до шини генератора тактової синхронізації, і кожен наступний електрод підключений до наступної шині, то при дотриманні частоти безліч каналів передачі пакетів заряду (перпендикулярних

реєструючого електроду) обмежена областю зупинки дифузії в кремнії або областю, в якій відбувається зупинка дифузії. область оксиду невеликої товщини. На рис. 2.3 показана тритактна (трифазна) структура, для якої потрібно 3 послідовності імпульсів зі зсувом за часом. Кількість імпульсів в кожній послідовності збігається з кількістю осередків регістра. Наприклад, якщо в регістрі 500 осередків, то для того, щоб інформація з 1-ї комірки дійшла до висхідного вузла, до кожної з 3 фаз повинна бути застосована послідовність з 500 імпульсів.

Сусідні зарядові пакети ізольовані один від одного потенційними бар'єрами, що виникають під електродами і знаходяться під низькою напругою. Таким чином, для того, щоб перенести зарядовий пакет на одну комірку, треба зробити три перенесення з ями в яму, для чого на кожну фазу (p_1 , p_2 , p_3) треба подати по одному тактовому імпульсу (імпульси зміщені у часі), як показано на рис. 2.3, д.

Переваги та недоліки ПЗЗ-матриці

До переваг ПЗЗ-матриці відносяться:

- Можливість створення 1- або 2-координатної растрової системи;
- Висока точність виготовлення напівпровідникових структур;
- Можливість створення ПЗЗ-матриці більш ніж на 1000 осередків;
- Невеликі габарити і вага.

Завдяки цим позитивним якостям ПЗЗ-матриця отримала широке застосування в обладнанні відеоспостереження різного призначення в якості оптичного фоточутливого приладу із зарядовим зв'язком (ФПЗЗ) в мовному телебаченні, де відикон був замінений сканером, приймачем інфрачервоного зображення, оптико-електронною системою вимірювання кута нахилу. ПЗЗ-матриця також широко використовується в аналоговій техніці: лініях затримки, рекурсивних і горизонтальних фільтрах, корелометрах, а також в цифровій техніці: пристроях зберігання інформації після відключення електроенергії. Однак ПЗЗ-матриця також має ряд істотних недоліків, і кожна область застосування вимагає певних витрат, як на рівні схемотехніки, так і на технічному рівні.

До недоліків відносяться наступні:

- Неефективність передачі заряду;
- Наявність дефектних елементів;
- Залежність від температури навколишнього середовища;
- Погіршення параметрів при радіаційному впливі.

Передача заряду з однієї комірки в іншу не є ні миттєвою, ні повною. Це накладає певні обмеження на швидкість роботи ПЗЗ-матриці і загальна кількість передач. Відсутність повної передачі означає, що при кожній передачі невелика кількість заряду затримується за упаковкою. Якщо ми використовуємо h для представлення кількості заряду, переданого без спотворень, неефективність передачі буде: $E = 1 - h$. (.1)

Множення E на кількість передач N дає результуючу неефективність передачі PE , яка характеризує якість передачі заряду всього пристрою.

Наявність дефектних елементів пов'язано з технологічним процесом виготовлення ПЗЗ-матриці. Лінійна ПЗЗ-матриця і матрична ПЗЗ-матриця мають різні симптоми, але природа їх появи однакова. Дефекти включають дефекти з білими крапками, канали зі зниженою здатністю обробляти сигнали та ділянки з низькою ефективністю передачі. Дефект у вигляді білої точки викликаний збільшенням темного струму неосновного носія заряду на підкладці. Такі дефекти обумовлені технологією. Для використання в оптичних приймачах зображень була спеціально підібрана бездефектна ФПЗЗ.

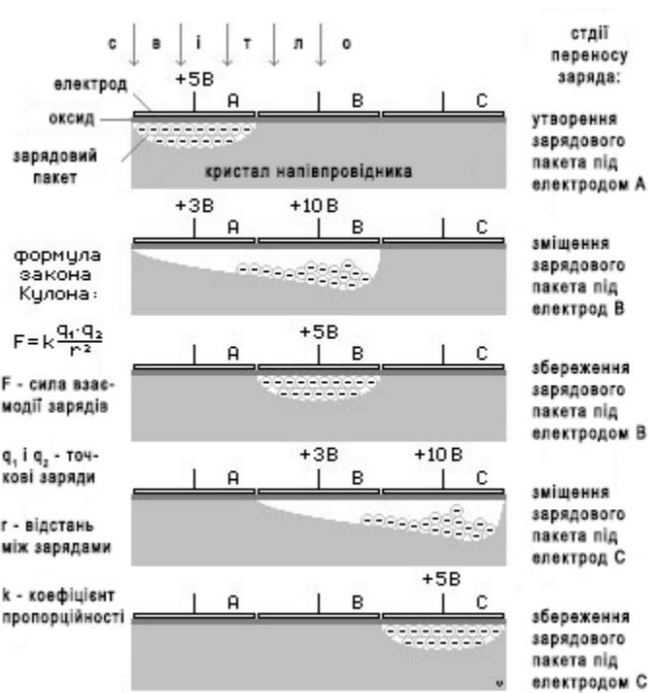


Рис. 2.4. Схема дії ФПЗЗ

Дефект типу білої точки затримує за часом відеосигнал, відповідний 2 осередкам, а потім шляхом порівняння сигналу з 2 сусідніх осередків, якщо сигнал під час обробки перевищує сигнал сусіднього елемента, він замінюється середнім арифметичним сигналу з 2 сусідніх елементів. Таким чином, ви можете придушити білі крапки на зображенні, зменшивши роздільну здатність. Залежність від температури навколишнього середовища визначається величиною темного струму. Можна сказати, що якщо корисного сигналу немає, то через деякий час потенційна яма буде заповнена непрофільними матеріалами. І цей час буде коротшим, оскільки температура навколишнього середовища вища. Час заповнення потенційної ями коливається в межах 40-50 мс. Швидкість заповнення змінюється експоненціально, ступінь якої визначається добутком kT , де k – Константа Больцмана, а T – абсолютна температура. Величина темного струму, що заповнює потенційну яму, при кімнатній температурі, тобто $25 \pm 10^\circ \text{C}$, залежить від глибини потенційної ями:

$$I = 0,1 X_d \text{ нА/см}^2, \quad (2.1)$$

де $X_d = (1 \dots 5) \text{ мкм}$.

2.2. Будова та принцип роботи CMOS (КМОН) матриць

КМОН-матриці, або комбіновані метал-оксид-напівпровідник (CMOS) матриці, є одним з ключових елементів оптоелектронних систем спостереження, які використовуються в БПЛА та інших пристроях для захоплення, обробки та передачі зображень.

Ці матриці складаються з масиву фотодіодів, розташованих у вигляді сітки на кремнієвій пластині, кожен з яких має вбудований транзистор для зчитування та передачі сигналу. Кожен фотодіод може конвертувати світловий сигнал у відповідний електричний сигнал, який потім обробляється та аналізується системою обробки сигналу.

Роль КМОН-матриць у оптоелектронних системах спостереження полягає в їхній здатності захоплювати зображення з високою роздільною здатністю, високою чутливістю та широким динамічним діапазоном. Оскільки кожен піксель матриці має свій власний транзистор для зчитування сигналу, це дозволяє забезпечити ефективне управління енергією, підвищуючи час реакції та знижуючи енергоспоживання.

Крім того, КМОН-матриці володіють високою швидкістю зчитування, що дозволяє захоплювати зображення з великою кількістю кадрів на секунду, що важливо для застосувань, де потрібна висока динамічна здатність, наприклад, у військовій розвідці або в медичних дослідженнях.

Ще однією важливою характеристикою КМОН-матриць є їхня мініатюрність та низька вага, що дозволяє їх використовувати в компактних і маневрених пристроях, таких як БПЛА. Це робить їх ідеальними для застосувань у сучасних системах безпілотних апаратів, де обмежений обсяг та маса є критичними факторами.

КМОН-матриця, як і будь-яка інша оптоелектронна система, складається з ряду ключових компонентів, які спільно забезпечують її функціонування та здатність захоплювати зображення. Ось деякі основні компоненти, які входять до складу КМОН-матриці:

- фотодіоди
- транзистори
- затвори

- мікролінзи
- аналого-цифрові перетворювачі (АЦП)
- контролери та інтерфейси
- збірки заряду
- структура пікселя

Принцип роботи КМОН-матриць базується на використанні фотодіодів та транзисторів, розташованих на кремнієвій пластині, які реагують на світло та перетворюють його на електричний сигнал.

Фотони світла потрапляють на поверхню фотодіодів, розташованих на поверхні КМОН-матриці. Коли фотони поглинаються фотодіодами, електрони збуджуються і переходять у провідність.

Під впливом поглинутих фотонів фотодіоди генерують пари електронів та дірок. Електрони рухаються до напівпровідникового матеріалу, а дірки - до площини збірки заряду.

Транзистори, які вбудовані в КМОН-матриці, відповідають за збір та передачу електричного заряду. Кожен фотодіод з'єднаний зі своїм транзистором, що дозволяє зчитувати заряд з кожного фотодіода окремо.

Зчитувальна схема матриці активує кожний транзистор послідовно, передаючи сигнал на вихідні контакти. Кожен транзистор контролюється окремими рядками та стовпцями, що дозволяє зчитувати значення електричного заряду з кожного пікселя.

Отриманий аналоговий сигнал перетворюється в цифровий за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифровий сигнал потім може бути оброблений та збережений для подальшого використання.

КМОН-матриці мають широке застосування в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) завдяки своїм унікальним характеристикам та можливостям.

Вони використовуються для захоплення відео- та фотоматеріалів з повітря. Вони забезпечують високу якість зображення та відтворення кольорів, що дозволяє безпілотним літальним апаратам збирати важливі візуальні дані для різних цілей,

таких як нагляд за територією, пошук та рятування, моніторинг дорожнього руху тощо.

КМОН-матриці можуть бути обладнані інфрачервоними камерами для отримання теплових зображень. Це дозволяє безпілотним літальним апаратам виявляти теплові плями, відслідковувати теплові шляхи або використовуватися у військових та пошуково-рятувальних операціях.

КМОН-матриці можуть бути обладнані системами нічного бачення, які дозволяють безпілотним літальним апаратам працювати в умовах обмеженого освітлення або вночі.

Також вони використовуються для створення аерофотограметричних знімків та геомапування з великої висоти. Вони дозволяють безпілотним літальним апаратам отримувати точні географічні дані, картографічну інформацію та зображення для різних застосувань, таких як місцеві планування, картографічне моделювання, визначення місцевості тощо.

КМОН-матриці використовуються для моніторингу довкілля та агрокультур з повітря. Вони дозволяють аналізувати стан рослинності, виявляти розливи забруднень, оцінювати стан ґрунтів та водних ресурсів, що робить їх корисними для сільськогосподарських та екологічних досліджень.

КМОН-матриці дозволяють безпілотним літальним апаратам здійснювати моніторинг та розвідку в різних умовах, включаючи військові операції, контроль кордонів, моніторинг руху транспорту та інші сфери.

КМОН-матриці використовуються у безпілотних літальних апаратах для рятувальних операцій та пошуку людей в умовах надзвичайних ситуацій або на великих територіях, де доступність та швидкість важливі.

Якість зображення, захопленого КМОН-матрицею, залежить від ряду фізичних та технічних параметрів, які впливають на роздільну здатність, шум, чутливість та інші характеристики.

Розмір пікселя визначається розміром фотодіода на КМОН-матриці. Чим менший розмір пікселя, тим вища роздільна здатність, але при цьому може

збільшитися шум. Великий розмір пікселя може призвести до зниження роздільної здатності, але зменшить шум.

Чутливість до світла визначається ефективністю перетворення світлового сигналу в електричний сигнал фотодіодами. Висока чутливість дозволяє отримувати зображення при низьких рівнях освітлення.

Динамічний діапазон визначає різницю між найяскравішим і найтемнішим елементом на зображенні. Широкий динамічний діапазон дозволяє отримувати деталі як у темних, так і в світлих областях зображення.

Шум впливає на чіткість та деталізацію зображення. Низький рівень шуму дозволяє отримувати чисті та відтворені зображення з високою якістю.

Контрастність визначає різницю між найтемнішими та найяскравішими областями зображення. Висока контрастність дозволяє відтворити деталі в областях з різними рівнями яскравості.

Лінійність відгуку визначає, наскільки точно відповідь матриці на вхідний сигнал відповідає лінійному закону. Висока лінійність дозволяє отримати точніше зображення з відтворенням кольорів та яскравості без спотворень.

Деякі КМОН-матриці можуть створювати псевдокольорові зображення шляхом додавання кольорових фільтрів до окремих пікселів. Це дозволяє отримати зображення з кольоровим відтворенням.

Точність кольору визначає, наскільки точно кожен піксель матриці передає колір об'єкта на зображенні. Висока точність кольору дозволяє отримати відтворення кольорів з високою достовірністю.

2.3. Переваги КМОН-матриці в порівнянні з CCD-матрицею

МОН-матриці (CMOS-матриці) та CCD-матриці (заряд-зв'язані пристрої) є двома основними типами детекторів, які використовуються для захоплення зображень у великих системах спостереження та візуалізації. Вони мають ряд спільних характеристик, але КМОН-матриці мають кілька переваг, особливо в контексті застосування в безпілотних літальних апаратах.

Енергоефективність: КМОН-матриці відзначаються низьким споживанням енергії порівняно з CCD-матрицями. Це дозволяє зменшити вимоги до живлення пристрою та збільшити час автономної роботи безпілотного літального апарату.

Швидкість зчитування: КМОН-матриці мають вищу швидкість зчитування, що робить їх більш ефективними для захоплення зображень у реальному часі. Це особливо важливо для використання в БПЛА, де швидкість реакції може впливати на успішність місії.

Мініатюрність та низька вага: КМОН-матриці мають менші розміри та вагу порівняно з CCD-матрицями, що робить їх ідеальними для використання в компактних безпілотних літальних апаратах. Це дозволяє збільшити ефективність та маневреність БПЛА.

Інтегрованість та гнучкість: КМОН-матриці легко інтегруються з іншими електронними компонентами на одній мікросхемі. Це дозволяє створювати більш складні та функціональні оптоелектронні системи у вигляді компактних модулів.

Низькі витрати виробництва: Виробництво КМОН-матриць вимагає меншої кількості матеріалів та складних технологічних процесів порівняно з CCD-матрицями. Це робить їх більш доступними з точки зору вартості, що важливо для масового використання в безпілотних системах.

Ефективне керування затвором: КМОН-матриці мають можливість керування затвором на рівні кожного пікселя, що дозволяє виконувати більш точне та гнучке управління експозицією.

Хоча CCD-матриці мають свої унікальні переваги, наприклад, вищу якість зображення у низьких світлових умовах, КМОН-матриці зараз широко

використовуються в безпілотних літальних апаратах завдяки своїм перевагам у вартості, розмірах, енергоефективності та швидкості.

РОЗДІЛ 3

ПРИНЦИПИ ПЕРЕТВОРЕННЯ СВІТЛО-СИГНАЛУ У ОПТОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ

3.1. Основи аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів

Перехід до цифрової передачі зображення та звукового супроводу зажадав створення необхідної елементної бази, у тому числі АЦП та ЦАП, що забезпечують необхідні параметри по частоті дискретизації, кількості квантування та похибок і мають досить невисокі вартість та енергоспоживання.

Для відеосигналів необхідні АЦП і ЦАП з числом розрядів 8, 10 і навіть 12 і частотою дискретизації не менше 13,5 МГц, а з урахуванням бажаності підвищення частоти дискретизації (oversampling) – до 30 або навіть 60 МГц. Для звукових сигналів необхідні АЦП і ЦАП із числом розрядів квантування щонайменше 16, а краще 18...20, і частотою дискретизації щонайменше 50 кГц, і з урахуванням oversampling – до 150...200 кГц.

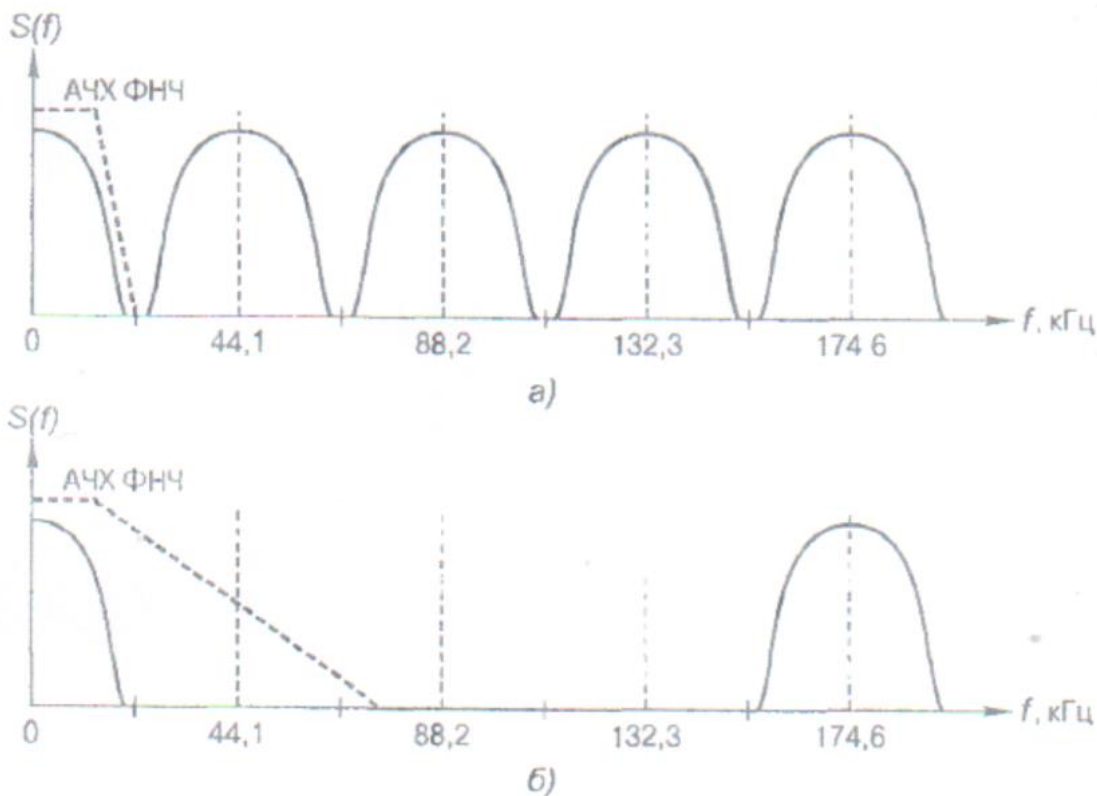


Рис. 3.1. Спектри сигналів на виході ЦАП при частоті дискретизації 44,1 кГц (а) та при підвищенні частоти дискретизації в 4 рази (б)

Сучасні АЦП та ЦАП, як правило, являють собою ВІС, виконані за КМОН-технологією, та потребують мінімальної кількості додаткових зовнішніх елементів для виконання своїх функцій.

3.2. Основні варіанти побудови ЦАП

Найчастіше використовується принцип цифро-аналогового перетворення, що ґрунтується на підсумовуванні струмів. На рис. 3.2 показана структурна схема ЦАП, що містить b генераторів струму, що живляться від джерела напруги E_n , і b ключів, де b – це число двійкових розрядів, рівне в даному прикладі 5. Величини струмів пропорційні ступеням 2. Ключ замикається, якщо відповідний біт Q в черговому такті цифрового сигналу дорівнює лог. 1, і розмикається у протилежному випадку. Сумарний струм тече через опір навантаження R_n і створює вихідну напругу $U_{вих}$. Для перетворення суми струмів на напругу на виході ЦАП може бути використаний операційний підсилювач. Широко відома схема ЦАП із резистивними ланцюгами $R-2R$.

Перевагою ЦАП із підсумовуванням двійково-зважених струмів є мінімальна кількість генераторів струму та ключів. Однак при великій кількості розрядів та високій частоті дискретизації починає сильно позначатися недолік таких ЦАП, який полягає в тому, що одночасне перемикання ключів у кількох двійкових розрядах створює значні перешкоди у вихідній напрузі. Ці перешкоди залежать від того, які ключі замикаються або розмикаються, що створює додаткові похибки перетворення. Інший недолік цього шляху побудови ЦАП – необхідність отримання високоточних резисторів різних номіналів, що потребує складної та дорогої технології.

Значно менше зазначені недоліки позначаються, якщо число генераторів струму і ключів збільшити до 2^b-1 , і струми всіх генераторів зробити рівними I_0 . При подачі на вхід такого ЦАП двійкового числа K , де $K = 0, 1, \dots, 2^b-1$ замкнеться K ключів, і вихідний струм дорівнюватиме $K I_0$. При збільшенні вхідного числа ключі будуть тільки замикатися, а при зменшенні – тільки розмикатись.

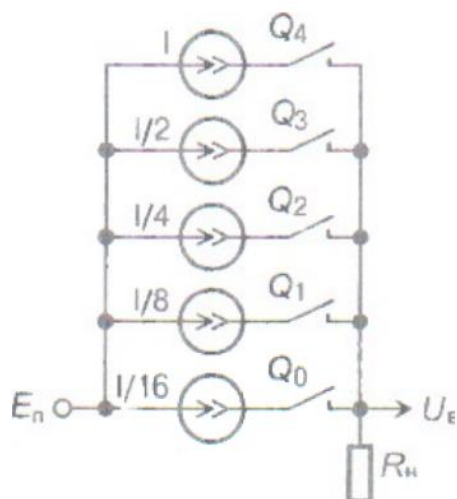


Рис. 3.2. ЦАП із підсумовуванням двійково-зважених струмів

Цей варіант називається ЦАП з повним декодуванням або термометр за аналогією з термометром, що містить стовпчик рідини, який може підніматися і опускатися. Очевидно, що ЦАП із повним декодуванням містить значно більше елементів, ніж ЦАП із двійково-зваженими струмами.

Для побудови швидкодіючих ЦАП із великою кількістю розрядів квантування використовуються структурні схеми з поділом на сегменти. Гример 10-розрядного ЦАП такого типу показано на рис. 3.3. На цьому малюнку жирними стрілками показані цифрові шини, поряд з якими написано число розрядів у них.

Вхідний 10-розрядний код фіксується в реєстрі Reg1 за імпульсами тактової частоти f_t . Потім 5 старших розрядів перетворюються дешифратором (Дш) на 31-розрядний код. Використовується закон перетворення «термометр»: якщо на вході дешифратора число N (у двійковому записі), то виходах N молодших розрядів Дш одиниці, але в інших виходах — нулі. Коди з виходу Дш разом із 5 молодшими розрядами вхідного коду запам'ятовується у 36-розрядному реєстрі Reg2. Отриманий 31-розрядний код далі надходить на ЦАП1, що містить 31 генератор струму однакової величини і 31 ключ. Молодші 5 розрядів надходять на ЦАП2, побудований за принципом підсумовування двійково-зважених струмів. Перешкоди, що виникають у ЦАП1 та ЦАП2 при перемиканнях, виявляються незначними, оскільки комутуються невеликі струми. Струми ЦАП1 і ЦАП2 підсумовуються та утворюють вихідний струм.

При цифро-аналоговому перетворенні звукових сигналів, використовують підвищення частоти дискретизації та інтерполяцію. І тому є спеціальні ЦАП (рис. 3.4, а). Інтерполятор є цифровим пристроєм, у якому в проміжку між кожними двома відліками вхідного цифрового сигналу вставляється $k-1$ нових відліків, що розраховуються за певними правилами. В результаті частота дискретизації збільшується в раз. Потім сигнал перетворюється n -розрядним ЦАП аналогову форму і фільтрується ФНЧ.

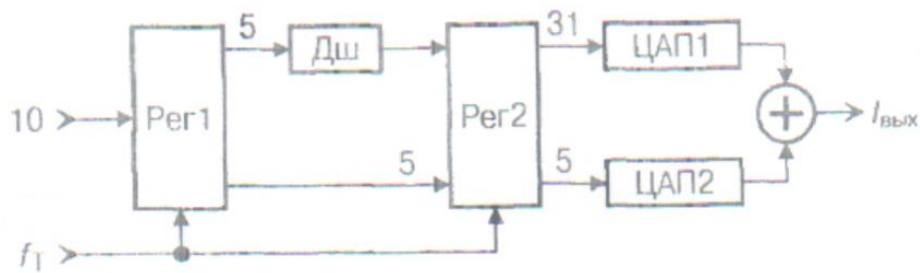


Рис. 3.3 10-розрядний сегментований ЦАП

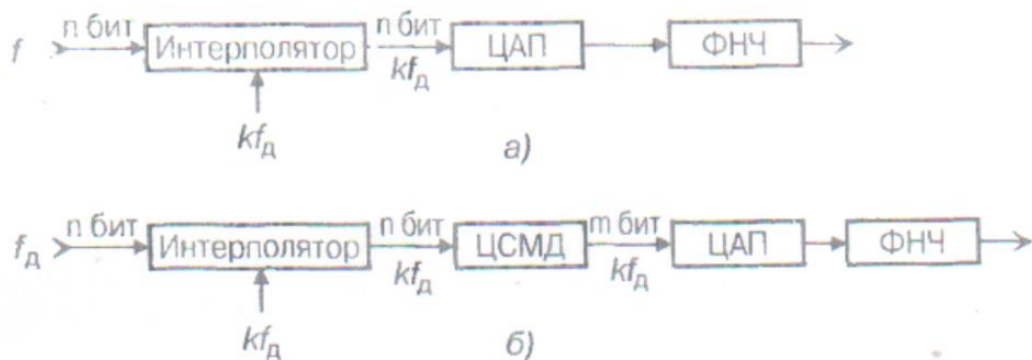


Рис. 3.4 ЦАП з інтерполяцією (а) і з сігма-дельта та модулятором (б)

Найбільше число розрядів квантування забезпечується в ЦАП із сігма-дельта модулятором (рис. 3.4,б). Інтерполятор підвищує частоту дискретизації в k раз. Цифровий сігма-дельта модулятор перетворює n -розрядні двійкові слова на m -розрядні ($m < n$) слова, які перетворюються m -розрядним ЦАП на аналоговий сигнал, що згладжується ФНЧ. Сігма-дельта модулятор формує m -розрядні слова так, щоб у результаті усереднення кількох відрахунків, що йдуть зі збільшеною частотою дискретизації, виходило необхідне значення вихідного аналогового сигналу. Чим менше m порівняно з n , тим більше має бути число k , що показує у скільки разів збільшується частота дискретизації. У граничному випадку може бути $m = 1$. При

цьому вихідна напруга виходить згладжуванням послідовності імпульсів, як у пристроях з широтно-імпульсною або частотно-імпульсною модуляцією.

Таблиця 3.1

Параметри ЦАП різних типів

Тип ЦАП	Виробництво	Число розрядів	Максимальна частота дискретизації	Максимальна споживана потужність	Примітки
AD1859	ANALOG DEVICES	2×16/18	44,1 кГц	330	Звуковий, двоканальний, сігма-дельта, з інтерполяцією та ФНЧ
AD768	ANALOG DEVICES	16	30 МГц	465	Низькі комутаційні перешкоди
AD9701	ANALOG DEVICES	8	250 МГц	780	З формуванням синхроніз. і згасаючих імпульсів
ADV7123	ANALOG DEVICES	3×10	140 МГц	180	Триканальний, з формуванням синхроніз. і згасаючих імпульсів
AD9772A	ANALOG DEVICES	14	160 МГц	250	Для цифрових трактів ПЧ, два інтерфільтруючі фільтри
TDA8712	PHILIPS	8	50 МГц	340	Два різнополярні виходи
TDA8772	PHILIPS	3×8	35/85 МГц	700	Триканальний, з формуванням синхроніз. і гасять імпл-в
TDA8776	PHILIPS	10	1000 МГц	925	По схемі рис. 3.3
TDA1305	PHILIPS	2×20	48 кГц	200	Звуковий, стерео, передискретизація в 96 разів та інтерполяція

3.3 Принципи побудови сучасних АЦП

АЦП врівноважуючого типу (рис. 3.5.) містять схему вибірки та зберігання (СВЗ), компаратор, реєстр послідовного наближення (РПН), ЦАП та схему управління.

При надходженні сигналу «Пуск» у СВЗ запам'ятовується напруга вхідного сигналу в цей момент часу, після чого починається процес врівноваження. У РПН послідовно, починаючи зі старшого розряду, підбирається b -розрядний код так, щоб отримати мінімальну різницю напруги на виходах ЦАП і СВЗ. Процес перетворення займає b тактів. Після його завершення формується сигнал «Готов».

Основна проблема в АЦП врівноважує реалізація ЦАП з необхідними числом розрядів і швидкодією. Одночасно отримати значення обох цих параметрів, необхідних оцифровування телевізійних сигналів, не вдається. Але для звукових сигналів АЦП із врівноваженням застосовуються.

Висока швидкодія досягається в АЦП паралельного типу (рис. 3.6). Щоб отримати двійкові розряди на виході, пристрій повинен містити $2^b - 1$ компараторів. На одні входи компараторів подається вхідний сигнал $U_{вх}$, а інші порогові напруги з виходів дільника напруги, на вхід якого подається опорна напруга $U_{оп}$.



Рис. 3.5 АЦП врівноважуючого типу

Що рівень вхідного сигналу, тим більше компараторів матиме на виходах логічну «1». Шифратор перетворює $(2^b - 1)$ -розрядний код з компараторів b -розрядний двійковий код, що надходить на вихід. Швидкодія такого АЦП визначається швидкодіями компараторів та шифратора.

Моменти дискретизації визначаються подачею строб-імпульсів, якими дозволяється спрацювання компараторів і фіксується код на виході шифратора.

Збільшення числа розрядів на 1 в АЦП паралельного типу потребує збільшення числа компараторів у 2 рази. При цьому відповідно збільшуються площа кристала ВІС і потужність, що споживається. Тому така структура у чистому вигляді використовується у швидкодіючих АЦП з числом розрядів не більше 8.

Збільшення числа розрядів за високої швидкодії досягається в паралельно-последовних АЦП (рис. 3.7). У СВЗ фіксується напруга U_1 вхідного сигналу в момент дискретизації. АЦП1 виконує «грубе» перетворення і формує b_1 старших двійкових розрядів. ЦАП перетворює ці розряди в напругу U_2 , яке віднімається з U_1 . Отримана відмінність ΔU підсилюється та надходить на АЦП2 який формує b_2 молодших розрядів вихідного коду маючого в результаті $b=b_1+b_2$ розрядів. Є варіанти в яких $b < b_1+b_2$ і при об'єднанні вихідних кодів АЦП1 і АЦП2 виконується цифрова корекція помилок перетворення.

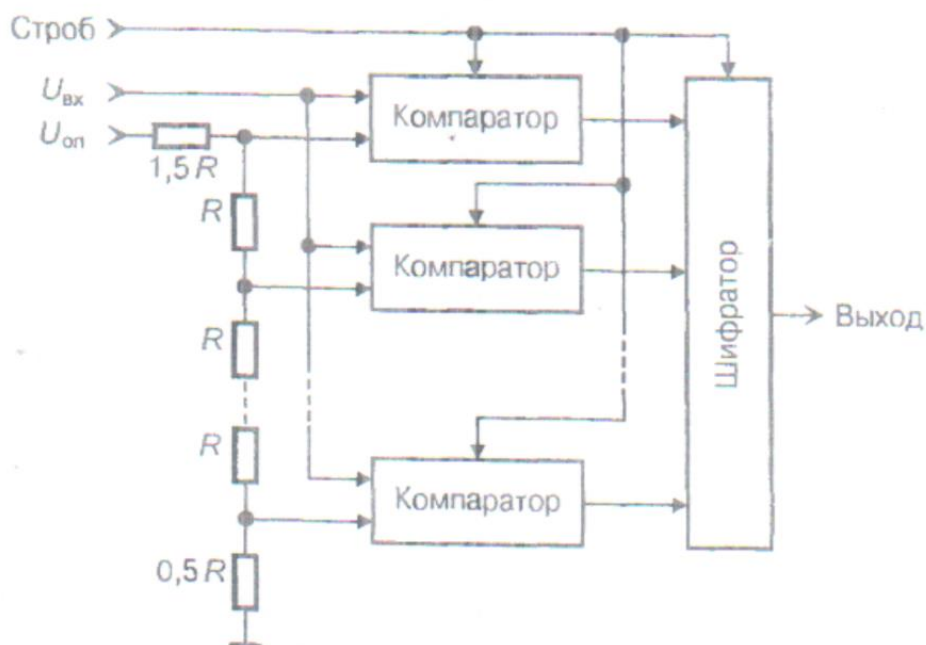


Рис. 3.6 АЦП паралельного типу

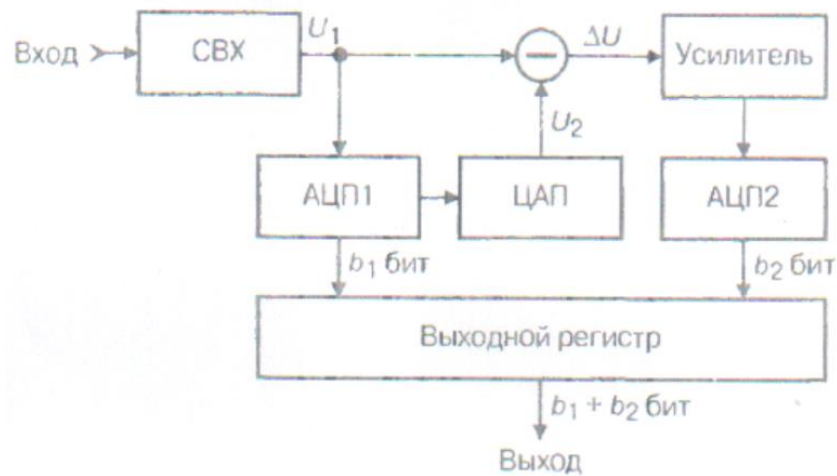


Рис. 3.7. АЦП паралельно-послідовного типу

АЦП1 і АЦП2 можуть бути паралельного типу, а ЦАП із підсумовуванням двійково-зважених струмів або з повним декодуванням. Завдяки посиленню різниці ΔU АЦП2 може мати досить великий крок квантування. АЦП для цифрового телебачення, що мають 10...12 розрядів при частоті дискретизації до 40...60 МГц і більше, збудовані саме за паралельно-послідовними схемами. Ще один тип швидкодіючих АЦП - пристрої з послідовним перетворенням типу "біт на каскад" (рис. 3.8). У кожному каскаді виконується порівняння вхідної напруги цього каскаду з опорною напругою U_{on} , у результаті формується один розряд вихідного коду. Крім того, у кожному каскаді крім останнього формується залишкова напруга, яка є вхідною напругою для наступного каскаду. Час перетворення визначається часом перемикавання на каскади.

Один із варіантів роботи каскаду в такому АЦП наступний:

- правило формування розряду коду: якщо $U_{ax\ i} > 0$, то $Q_1 = 1$, інакше $Q_1 = 0$;
- правило формування напруги для наступного каскаду: якщо $Q_1 = 1$, тоді

$$U_{вх\ i+1} = 2U_{вх\ i} - U_{on}, \text{ інакше } U_{вх\ i+1} = 2U_{вх\ i} + U_{on}$$

Вхідна напруга АЦП двополярна. Сформований код перетворюється логічною схемою на загальноприйнятий додатковий двійковий код.

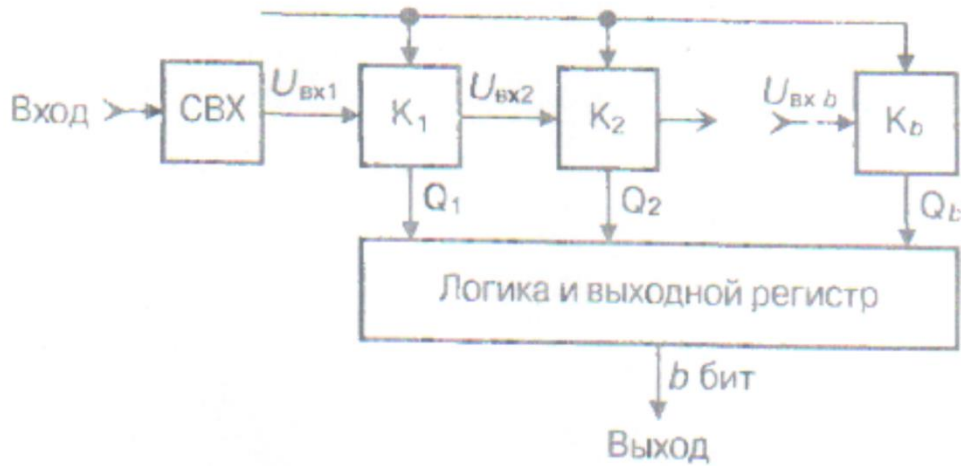


Рис.3.8. послідовного АЦП типу «біт на каскад»

АЦП описаного типу також можуть використовуватися як складові паралельно-послідовних АЦП.

Найбільше розрядів квантування забезпечується в АЦП із сигма-дельта модулятором (або просто сігма-дельта АЦП). Найпростіший варіант структури такого АЦП наведено на рис. 3.9.

Компаратор, який можна вважати однорозрядним АЦП, порівнює напругу з виходу від'ємника з нульовим рівнем. Компаратор тактується з частотою $k f_d$ і впливає на однорозрядний ЦАП, вихідна напруга якого приймає значення $U_{оп}$ при лог.1 на виході компаратора і $-U_{оп}$ при лог. 0. Напруга з виходу ЦАП віднімається від вхідної напруги $U_{вх}$. Результат віднімання інтегрується, тобто за деякий час усереднюється інтегратором і надходить на вхід компаратора.

Отримана система, що слідкує, з негативним зворотним зв'язком прагне підтримувати на виході інтегратора в середньому нульову напругу.

Тому при збільшенні вхідної напруги на виході компаратора буде більше часу бути присутнім лог. 1, а при зменшенні вхідної напруги лог. 0.



Рис. 3.9. сігма-дельта АЦП

У цифровому фільтрі, алгоритм роботи якого досить складний і не описується, послідовність лог. 1 і 0 з виходу компаратора перетворюється на b -розрядні двійкові слова, що надходять на вихід АЦП з частотою дискретизації f_d .

Сігма-дельта АЦП мають до 24 розрядів квантування. Основні області високоякісна цифрова передача звуку та вимірювальна застосування апаратури.

У табл. 3.2 наведено параметри деяких ВІС АЦП.

У таблицю увійшли не тільки спеціалізовані ВІС АЦП, але також АЦП, що містять формувач цифрових ТБ-сигналів з декодером кольоровості SAA7111A і контролер системи «кадр у кадрі» (PIF) SAB9076H.

Таблиця 3.2

Параметри ВІС АЦП

Тип АЦП	Виробництво	Число розрядів	Максимальна частота дискретизації	Максимальна споживана потужність	Примітки
AD73322L	ANALOG DEVICES	2×16 АЦП 2×16 ЦАП	64 кГц	73 мВт	Звуковий двоканальний сігма-дельта кодек
AD7721	ANALOG DEVICES	16	312 кГц	175 ХмВт	Врівноважуючий тип
AD7660	ANALOG DEVICES	16	100 кГц	15 мВт	Паралельно-послідовні чотири ступені, корекція помилок

AD9224	ANALOG DEVICES	12	40 МГц	390 мВт	Для ПЗЗ-телекамер, зі схемами обробки відеосигналу
AD9840	ANALOG DEVICES	10	36 МГц	140 мВт	Звуковий, двоканальний, сігма-дельта, послідовний вихід
SAA7366	PHILIPS	2×18	53 кГц	345 мВт	Для ПЗЗ-телекамер, зі схемами обробки відеосигналу
TDA8716	PHILIPS	8	120 МГц	900 мВт	Паралельно-послідовні два ступені, корекція помилок
TDA8752	PHILIPS	3×8	80 МГц	1 Вт	Триканальний, для керування РК- екранами, ТВ- синхронізація
TDA8764	PHILIPS	10	50 МГц	220 мВт	—
SAA7111A	PHILIPS	2×8	14.3 МГц	500 мВт	Формувач цифрових ТБ-сигналів з ПЦТС з цифровим декодером кольоровості
SAB9076H	PHILIPS	4×8	27 МГц	1 Вт	Контролер «Кадр в кадрі»

ВИСНОВОК

В дипломній роботі детально розглянуто теоретичні та практичні аспекти розробки і функціонування оптоелектронної системи спостереження для безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

У першому розділі представлено теоретичні основи оптоелектронних систем та безпілотних літальних апаратів. Спершу розглянуто основні поняття оптоелектроніки, включаючи використання світла для створення зображень та його застосування у різних галузях, таких як медицина, промисловість та військові технології. Описано оптичні системи, їхні компоненти та принципи роботи. Потім розглянуто визначення та типи БПЛА, їх класифікацію за призначенням, розміром та конструкцією. Також подано технічні характеристики БПЛА, зокрема Mavic 3T, та описано різновиди вбудованих відеокамер і їх характеристики.

Другий розділ присвячено опису приладів оптоелектронної системи. Детально розглянуто принципи роботи приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) та CMOS (КМОН) матриць, включаючи переваги та недоліки кожної технології. Окремо розглянуто переваги КМОН-матриць у порівнянні з CCD-матрицями.

У третьому розділі проаналізовано принципи перетворення світлового сигналу в оптоелектронних системах. Розглянуто основи аналого-цифрових (АЦП) та цифро-аналогових (ЦАП) перетворювачів, їхні різновиди та принципи побудови сучасних перетворювачів. Описано методи побудови ЦАП та АЦП, їхні технічні характеристики і вплив на ефективність роботи оптоелектронних систем.

Завершуючи роботу, підкреслено важливість оптоелектронних систем для сучасних БПЛА, їхні переваги у підвищенні ефективності виконання завдань з моніторингу та спостереження. Робота містить комплексний аналіз теоретичних та практичних аспектів, що дозволяє зрозуміти важливість інтеграції оптоелектронних систем у конструкцію безпілотних літальних апаратів для забезпечення високої якості спостереження та знімання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение: от теории к практике. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 352 с.
2. CMOS-матриця. Vostok.dp.ua. URL: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/infa1/glossary/cmos/> (дата звернення: 01.06.2024).
3. DJI mavic 3E/3T user manual. URL: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/DJI_Mavic_3E_3T_User_Manual_EN.pdf.
4. Аналіз засобів збору інформації для географічних інформаційних систем. Системи озброєння і військова техніка .: 2011. С. 42–47.
5. Вимоги до оптичної системи та процесу обробки цифрових фотозображень апаратурою безпілотного літального апарата. Серія: технічні науки : 2013. С. 42–47.
6. Оптоелектронна інформатика. Том I. Основні принципи та прилади: навчальний посібник / Ю. Корчак, Ю. Фургала, С. Рихлюк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 406 с.
7. The challenges of advanced CMOS process from 2D to 3D. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1047>
8. CCD (пристрій із зарядовим зв'язком) – опис та застосування. GSMhub.com.ua. URL: <https://gsmhub.com.ua/glossary/ccd-pristrii-iz-zariadovim-zviazkom>.
9. Т.П. Цепляева, А.Н. Лохов. Метод выбора характеристик фотооборудования для БПЛА в зависимости от высоты полета. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 49-те вид. 2011. С. 48–52.
10. Воронько В., Воронько І. Области застосування безпілотних літальних апаратів. Сучасний стан проведення наукових досліджень у іт-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері (1st ed.). 2020. С. 131–145.

11. Класифікація безпілотних літальних апаратів / І.В. Рубан та ін. Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2007. С. 61–66.
12. Електронні системи. 4.4 Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі. vntu.edu.ua. URL: <https://mcsx.lab-101.org.ua/Тема27.html>.