

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

_____ Володимир ШУТКО

“ _____ ” _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

Тема: _____ **«Антенна система для безпілотних літальних апаратів**
_____ **Апаратна частина (комплексна тема)»** _____

Виконавець: _____ А. С. ЗАДИРАКА

Керівник: _____ О. А. ЩЕРБИНА

Консультант розділу «Охорона праці» _____ О.О. КОЗЛІТІН

Консультант розділу «Охорона
навколишнього середовища» _____ М.М. РАДОМСЬКА

Нормоконтролер: _____ Р.Б. СІНІЦІН

КИЇВ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей

Освітньо-професійна програма «Електронні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ШУТКО

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

ЗАДИРАКА Андрій

Сергійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Антенна система для безпілотних літальних апаратів. Апаратна частина (комплексна тема)»

затверджена наказом ректора від «09» вересня 2022 р. №1351/ст.

2. Термін виконання роботи: з 19.09 2022 р. по 23.11.2022 р.

3. Вихідні дані роботи: принципи побудови антенних систем безпілотних літальних апаратів для систем зв'язку.

4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел з тематики диплому. Проведення порівняння існуючих антенних системи безпілотних літаючих апаратів. Огляд загальних принципів побудови антенних систем Розробка антенної системи для БПЛА.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Аналітичний огляд літературних джерел зі структур антенних систем для безпілотних літальних апаратів	19.09-29.09	Виконано
2	Безпілотні літальні апарати, типи антен, антенних систем для зв'язку з БПЛА	30.09-10.10	Виконано
3	Загальні принципи побудови антен та антенних систем зв'язку з БПЛА	11.10-21.10	Виконано
4	Вибір і розробка антенної системи	22.10-07.11	Виконано
5	Охорона праці	08.11-11.11	Виконано
6	Охорона навколишнього середовища	12.11-17.11	Виконано
7	Висновки	18.11-20.11	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	21.11-23.11	Виконано

7. Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	ст. в. Козлітін О.О.		
Охорона навколишнього середовища	доц., к.т.н. Радомська М.М.		

Радомська Маргарита Мирославівна (доцент, к.т.н.)

8. Дата видачі завдання: “ 19 ” вересня 2022 р

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Ольга ЩЕРБИНА
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Андрій ЗАДИРАКА
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Антенна система для безпілотних літальних апаратів. Апаратна частина (комплексна тема)»: сторінок – 96, таблиць – 0, рисунків – 52, джерел посилань – 15.

Об'єкт дослідження: процес побудови антенних систем наземного та бортового сегментів для зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Мета роботи: дослідження принципів побудови антен для зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Проведена робота по розробці антен для зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Ключові слова: антени, безпілотні літальні апарати, антенні решітки, пеленгування сигналу, системи керування, квадрокоптер.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, ТИПИ АНТЕН, АНТЕННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА	8
1.1. Типи безпілотних апаратів.....	8
1.2 Параметри антен БПЛА.....	25
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АНТЕН ТА АНТЕННИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ	37
2.1 Огляд наземної системи.....	39
2.2 Огляд бортової системи.....	52
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА РОЗРОБКА АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БПЛА	58
3.1 Антенна система звязку для наземної станції.....	58
3.2 Бортова частина антенної системи звязку.....	64
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЖЕРЕЛ	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

БПЛА — безпілотний літальний апарат

КІТ — Комплект для збірки

КСВ — коефіцієнт стоячої хвилі

УВЧ — ультрависока частота

НВЧ — надвисока частота

НСУ — Наземна станція управління

ГСН — головка самонаведення

ВСТУП

У даній роботі розглянуто підвищення ефективності зв'язку між БПЛА та наземною станцією керування.

На сьогоднішній день використання безпілотних літальних апаратів позбавляє людей від необхідності бути в небезпечних умовах, здійснювати роботу, що виходить за рамки фізичних та психофізіологічних можливостей людини, а також відкриває широкий спектр таких функцій, що раніше могли видатись неможливими. Свідченням ефективності та раціональності використання безпілотників служать щотижневі, якщо не щоденні, повідомлення засобів інформації про успішні застосування БПЛА збройними силами різних держав у міжнародних конфліктах та інших сферах людської діяльності. Використання безпілотних літальних апаратів при проведенні масових заходів може полегшити роботи військовослужбовців УДО України. Такі системи використовуються у найбільш провідних країнах світу, особливо там де є терористична загроза.

Невеликі безпілотні літальні апарати вертолітного типу мультикоптер, завойовують все більшу популярність у світі і стали загальнодоступними. Вони можуть бути використані зловмисниками не тільки для шпигунства, але також для здійснення диверсій. Тому БПЛА потрібне використовувати і для виявлення несанкціонованих дронів. Усвідомлюючи цю загрозу, влада багатьох країн ввела обмеження на право володіння і можливості запуску таких безпілотників. З 21 грудня 2015 року власники БПЛА будь-яких типів в Сполучених Штатах зобов'язані реєструвати літальні апарати. Сотні тисяч власників мультикоптерів в США пройшли реєстрацію на сьогоднішній день.

Тематика багатогвинтових безпілотних систем вертолітного типу, так званих мультикоптер, отримала досить активний розвиток за останні роки. І якщо спочатку професійні рішення на базі мультикоптер мали вартість у тисячі і навіть десятки тисяч доларів, то сьогодні з їх масовим поширенням на ринку вартість істотно знизилася. Масова поява на ринку систем, розроблених і зроблених в Азії, лише посилила цю тенденцію. В результаті, сьогодні за суму в 1-2 тисячі доларів можна

купити систему з БПЛА, які мають можливість виконувати польоти на віддаленні до 3-5 км і максимальною протяжністю. Такі системи мають можливість передавати фото досить хорошої якості, одержувані з бортової камери, встановленої на стабілізованому підвісі. Крім даного навантаження можливості подібних апаратів дозволяють потенційно розмістити і інші навантаження. Наприклад, експериментально було продемонстровано можливість використання мультикоптерних БПЛА з доставки невеликих вантажів, наприклад, засобів порятунку, аптечок першої допомоги тощо, опрацьовуються також питання по доставці кореспонденції та інших невеликих комерційних вантажів.

В даній роботі розглядається антенні системи для керування БПЛА – це один із найголовніших пристроїв в конструкції безпілотників, так як за допомогою даного пристрою здійснюється зв'язок між бортом та оператором чи командним пунктом з якого керується апарат.

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізації антенної системи, щозначно підвищує якість та заводостійкість зв'язку з БПЛА, за рахунок чого можна спростити та знизити вартість конструкції системи керування літаючим апаратом.

Використання адаптивної антенної решітки дає можливість підлаштовувати характеристики спрямованості АР у процесі роботи, цим самим ми можемо слідкувати за дроном під час польоту і цим самим покращити зв'язок з бортом та швидко адаптовуватись під завади які є у повітряному просторі. Дисконусна антена на борту має широку полосу частот, що зменшує навантаження на БПЛА, тим самим полегшує конструкцію безпілотника та дозволяє трохи повисити корисне навантаження способом позбавлення від «лишніх антен»

РОЗДІЛ 1

БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, ТИПИ АНТЕН АНТЕННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА

1.1 Типи безпілотних апаратів

Літаючі безпілотники вже не перше століття цікавлять конструкторів і вчених. Якщо у ХХ столітті безпілотник був сміливою фантазією, як і багато наукових і технічних ідей, то сьогодні він стає частиною реальної економіки, створює нові методи діагностики та моніторингу, а ще - робочі місця.

Перші попередники сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) - австрійські аеростати (рис.1.1) для повітряного бомбардування. Їх уперше використовували 1849 року.



Рис.1.1

Передумови для повноцінного розвитку літаючих безпілотників - винахід електрики та радіозв'язку. Першопрохідцями в цій сфері стали геніальні вчені та вічні Томас Едісон і Нікола Тесла.

Едісон презентував свою розробку трохи раніше, у 1892 році, і це був безпілотник далеко не в сучасному розумінні цього слова: торпедою Едісона можна було керувати лише дротами. Нікола Тесла пішов далі і до 1899 року створив маленький безпілотник на радіокеруванні.

Точкою відліку став 1910 рік, коли винахідник Чарльз Кеттерінг запропонував створити літальний апарат під управлінням годинникового механізму (рис1.2). У певний час мав скинути крила і впасти на ворогів. Ідея зацікавила американців - вони почали фінансувати розробки інженера. Перші тестові польоти пройшли успішно, але далі проект не пішов.

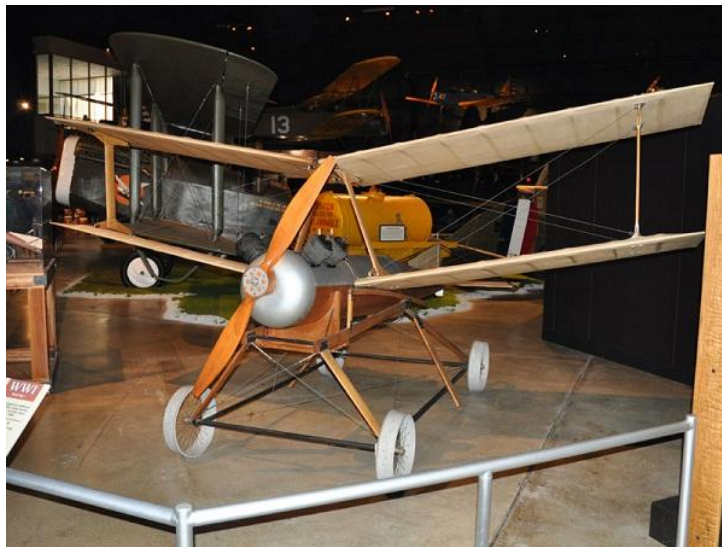


Рис. 1.2 літальний апарат під управлінням годинникового механізму Чарльза Кеттерінга

Довгий час БПЛА сприймали виключно як військову техніку. Під час Першої світової війни німецькі та американські виробники розробляли безпілотники і змагалися, чий підніме більше вибухівки. Максимуму домоглися США в 1916 році: їхній безпілотник міг забрати 450 кілограмів. У військових діях БПЛА так і не взяли участь, але отримані напрацювання пізніше використовували.

У міжвоєнний період інженери активно експериментували з різними способами запуску і посадки безпілотників. Їх запускали з катапульти і з бомбардувальників, садили на воду і за допомогою парашутів. Свій внесок зробили і розробники з СРСР: вони створили безпілотний планер, який міг нести торпеду і спрямовувався за допомогою інфрачервоного променя.

Прорив стався 1933 року, коли британські інженери спільними зусиллями створили перший безпілотник із дистанційним керуванням. Це був апарат багаторазового використання, його використовували як мішень для підготовки пілотів і зенітників.

Скидання торпед стало головним інтересом розробників під час Другої світової війни, аж до кінця 1992 року цей інтерес не зміщувався. Поки все не змінив винахід GPS.

Безпілотники почали використовувати для цілей, близьких до того, що ми маємо сьогодні: моніторинг, зйомка, розвідка, визначення місця розташування.

Після закінчення Другої світової війни, безпілотники активно використовувалися у військово-розвідувальному комплексі Америки та Радянського Союзу.

Цивільні дрони з'явилися тільки у 2000-х - вони технічно відрізняються від військових безпілотників, вважаються більш технологічними завдяки невеликим обсягам виробництва і вузькій спеціалізації. Дві останні обставини дозволяють інженерам швидко реагувати на мінливі пріоритети і потреби споживчого ринку.

Деякі стартапи вражають своїми можливостями навіть скептиків, адже вони вже складають конкуренцію службам доставки, а в перспективі можуть серйозно потіснити малогабаритні повітряні судна.

"Безпілотники" розрізняються за масою (від апаратів вагою в півкілограма, які можна порівняти з авіамоделлю, до 10-15-тонних гігантів), висотою і тривалістю польоту. Безпілотні літальні апарати масою до 5 кг (клас "мікро") можуть злітати з будь-якого найменшого майданчика і навіть з руки, піднімаються на висоту 1-2 кілометри і перебувають у повітрі не більше години. Як літаки-розвідники їх використовують, наприклад, для виявлення в лісі або в горах військової техніки і терористів. "Безпілотники" класу "мікро" (рис. 1.3) масою всього 300-500 грамів,

образно кажучи, можуть зазирнути у вікно, тому їх зручно використовувати в міських умовах.



Рис. 1.3 Безпілотники класу "мікро"

За "мікро" йдуть безпілотні літальні апарати класу "міні" масою до 150 кг. Вони працюють на висоті до 3-5 км, тривалість польоту становить 3-5 годин. Наступний клас - "міді"(рис.1.4). Це важчі багатоцільові апарати масою від 200 до 1000 кг. Висота польоту сягає 5-6 км, тривалість - 10-20 годин.



Рис 1.4 Безпілотники класу "міді"

І, нарешті, "максі" (рис1.5) - апарати масою від 1000 кг до 8-10 т. Їхня стеля - 20 км, тривалість польоту - понад 24 години. Ймовірно, незабаром з'являться машини класу "супермаксі". Можна припустити, що їхня вага перевищить 15 тонн.

Такі "ваговози" нестимуть на борту величезну кількість апаратури різного призначення і зможуть виконувати найширше коло завдань.



Рис. 1.5 Безпілотники класу "максі"

У чому ж переваги безпілотних літальних апаратів? По-перше, вони в середньому на порядок дешевші за пілотовані літаки, які потрібно оснащувати системами життєзабезпечення, захисту, кондиціонування... Потрібно, нарешті, готувати пілотів, а це коштує великих грошей. У підсумку виходить, що відсутність екіпажу на борту істотно знижує витрати на виконання того чи іншого завдання.

По-друге, легкі (порівняно з пілотованими літаками) безпілотні літальні апарати споживають менше палива. Видається, що для них відкривається реальніша перспектива і за можливого переходу на криогенне паливо.

По-третє, на відміну від пілотованих літаків, машинам без пілота не потрібні аеродроми з бетонним покриттям. Достатньо побудувати ґрунтову злітно-посадкову смугу завдовжки всього 600 метрів. ("Безпілотники" злітають за допомогою катапульти, а приземляються "по-літаковому") це дуже серйозний аргумент.

Основний критерій вибору типу літальних апаратів - вартість. Завдяки стрімкому розвитку обчислювальної техніки суттєво подешевшала "начинка" -

бортові комп'ютери "безпілотників". На перших апаратах використовувалися важкі та громіздкі аналогові обчислювальні машини. Із впровадженням сучасної цифрової техніки їхній "мозок" став не тільки дешевшим, а й розумнішим, компактнішим і легшим. Це означає, що апаратури на борт можна взяти більше, але ж саме від неї залежать функціональні можливості безпілотних літаків.

Якщо ж говорити про військовий аспект, то безпілотні літальні апарати знаходять застосування там, де в розвідувальній операції або повітряному бою можна обійтися без пілота.

Головним недоліком БПЛА є вразливість систем дистанційного керування, що особливо важливо для БПЛА військового призначення.

Бікоптер

Бікоптер оснащений двома двигунами (Рис 1.6), які приводяться в рух за допомогою сервоприводу. Він вважається найдешевшим з мультикоптерів через мінімальну кількість двигунів, відповідно, в цьому полягає його головний плюс. Однак, він найменш стабільний і надійний в порівнянні з іншими мультикоптерами, важко налаштовується і має маленьку підйомну силу. В цілому серед любителів радіокерованих іграшок бікоптер не користується особливою популярністю, тому і інформації про нього зовсім небагато.



Рис. 1.6 Бікоптер

Трикоптер

У трикоптерів мотори розташовуються в формі літери У (рис. 1.7), промені розташовані під кутом 120 градусів відносно один одного. Іноді вони бувають у

формі літери «Г». Два гвинта на передньому промені обертаються в різних напрямках, щоб компенсувати момент обертання один одного. Задній мотор може відхилятися в сторону за допомогою сервоприводу, це дає можливість змінювати курс.

Досить популярна і дешева конфігурація, тому що потрібно всього 3 мотора, незважаючи на те що, додатково потрібно сервопривід (але він зазвичай дешевше бесколлекторного мотора). Взагалі кажучи, трикоптер менш стабільний, ніж мультикоптери з іншою кількістю моторів, і не так надійний, через те, що сервопривід легко зламати при аваріях. Хоббістам важче його збирати через складну систему поворотного механізму.



Рис 1.7 Трикоптер

Трикоптери краще за всіх справляються за курсом. Коли квадрокоптеру або гексакоптеру потрібно розвернутися, вони сповільнюють половину моторів, і розганяють іншу половину. (Якщо коптер вже летить на повній швидкості (газ 100%), то йому доведеться знизити швидкість щоб розвернутися) Трикоптери використовують сервопривід для розвороту, так що вони менше втрачають швидкість в цьому випадку.

Моторів все ще мало, так що і піднімають такі мультикоптери не багато.

Квадрокоптери

Квадрокоптер - це літальний апарат невеликих розмірів, який має 4 пропелера(рис. 1.8), що призводять його в рух. Зібрати простий літальний апарат з чотирма гвинтами із запчастин, зможе навіть школяр, але для того, щоб йому це зробити в першу чергу необхідно дізнатися про систему квадрокоптера і що він із себе представляє.

Технічно, основні відмінності квадрокоптера полягають в балансі ваги і маневреності і найважливіше – мета його застосування.

Для новачків квадрокоптера діляться на:

- покупні - брендові (або не брендові), готові до польоту - "дістав з коробки і полетів" (RTF - ready to fly);
- покупні комплекти - "зібрав і полетів" (ARF);
- покупні комплекти - комплект для збірки без радіоуправління.

Брендові квадрокоптери - зручні тим, що діставши з коробки він готовий до запуску. Коптер налаштований, відкалібрований, батарея має своє фіксоване місце, центр ваги не усунутий. Єдиний мінус – це висока ціна, а також висока ціна запасних частин і акумуляторів. "Повноцінна" модель, як правило, оснащена камерою на стабілізаційному підвісі, зрозуміло відео транслюється "на землю", має можливість здійснювати навігацію по GPS (або Глонасс) для польоту по заданих точках, маршрутами, повернення в місце запуску (автопілот). Транслюється відео так само містить дані про висоту, швидкість, "шлях додому", рівень заряду батареї, прогноз тривалості польоту і д.р.



Рис 1.8 Квадрокоптер

Головний з найпопулярніших брендів на сьогоднішній день DJI

Комплект для збірки (ARF - almost ready to fly) - комплект "майже готовий до польоту" представляє собою частково зібрану або частково підключену модель. Вираз "Частково" варіюється від того, що необхідно докупити комплект апаратури радіоуправління і встановити приймач, до цілком готового - встановити пропелери, посадочні "ноги", підвіс для камери (якщо потрібно або якщо є) і в політ. Не забудьте, що на борту все повинно бути надійно закріплене, особливо важка батарея. Такого типу комплекти зазвичай дешевше красивих готових брендів мультикоптерів

Комплект для збірки (KIT) - зазвичай такий комплект включає в себе тільки найнеобхідніше: рама, двигуни, ESC контролер обертання двигунів, пропелери (плюс запасна пара) і різні дрібниці для монтажу. Такі комплекти не продають з FPV комплектом, тобто з камерою і передавачем, щоб на землі приймати відео в реальному часі, тому що установка такого обладнання потребує "трохи" знань і "мінімальної" кваліфікації в області антен і хвильової теорії.

Цілі і застосування квадрокоптера:

- "порожній" квадрокоптер з камерою для "спокійних польотів";
- FPV - це first person view - вид від першої особи, тобто Ви бачите стоячи на землі зображення, як ніби ви летите на квадрокоптері;

- квадрокоптер з камерою для "швидких польотів" - Гоночний дрон;
- квадрокоптер для перевезення вантажів;

"Спокійний політ" - мається на увазі, що Ви просто літаєте - без трюків, без переворотів "догори ногами" і не перевищуєте швидкість 70 км /год. "Порожній" - це означає, що він не містить в собі нічого зайвого (тобто без відео, GPS, камери і т.д.). Майте на увазі, що на "Порожньому" квадрокоптері є можливість виконувати різні трюки якщо є запас по потужності.

Квадрокоптер з камерою для польоту від першої особи - відрізняється від звичайного "порожнього" тим, що несе на борту відео передавач, курсову камеру, GPS модуль, OSD (on screen display) система накладання даних про висоту, швидкість, заряд батареї, на відео передається на землю. Так само може бути безколекторний підвіс і камера для аерофотозйомки. Ці компоненти сильно збільшують вагу літального апарату, в слідстві чого втрачається маневреність і збільшується енергоспоживання.

Racing drone - Гоночний дрон - це коптер розміром близько 250 мм, з високоспритними двигунами і маленькими пропелерами дозволяють розвивати швидкість понад 100 км/год. Може бути обладнаний "полегшеним" FPV комплектом: слабкий відео передавач без корпусу для зниження ваги, курсова камера, відсутній OSD і GPS тому мета цього апарату розвивати велику швидкість і зберігати маневреність.

Для просунутих льотчиків класифікація квадрокоптерів ґрунтується на балансі ваги літального апарату і використовуваної «виртомоторной» групи. Чим важче коптер, тим більшого розміру пропелери. Чим більше розмір пропелера і менше його крок тим економічніше витрата батареї, але втрачається маневреність. Чим сильніше збільшуємо крок гвинта повертає маневреність, але збільшуємо енергоспоживання. Чим менше розмір пропелера тим вище максимальна швидкість, збільшується маневреність, але втрачається економія витрат енергії.

Розмір встановлюваного пропелера обмежується розміром рами квадрокоптера, тому існують загальноприйняті стандарти розмірів рам. Вимірюється рама по діагоналі в міліметрах - вимірюється відстань між осями двигунів. Існують наступні, популярні в продажу, розміри: 250, 330, 350, 450, 500,

550, 600, 650, 800. Можу сказати, що для рами 450 максимальний пропелер - 12 дюймів, тому в залежності від мети використання квадрокоптера (саме квадро) «гвинтомоторна» група може варіюватися:

- загальна вага 1500 гр - 2200 гр - пропелер 12x6 - двигун достатньої потужності і оборотами 700-900 K V - акумулятор 4S

- загальна вага 1000 грам - 1500 гр - пропелер 12x4.5 - двигун достатньої потужності і оборотами 700-900 K V - акумулятор 3S - економічний, низька максимальна швидкість, довгий час при зависанні

- загальна вага 1000 грам - 1500 гр - пропелер 10x5 - двигун достатньої потужності і оборотами 700-900 K V - акумулятор 4S - маневрений

Важкий квадрокоптер як правило робиться не маневреним тому маневреність потребує суттєвої потужності від акумуляторної батареї. Важким прийнято вважати вага від 2.5 кг і вище, такий літальний апарат будується з 4 - 6 - 8 двигунів, чим більше двигунів тим стійкіше в польоті. Двигуни для таких коптерів прийнято вибирати багато полюсні низько-спритні (300 - 500 kV), ціна таких двигунів набагато вище, але енергоспоживання істотно нижче (для багато полюсних не кожен регулятор підійде), акумулятор 4S - 5S -6S. Рама від 800 міліметрів (максимальна відстань між осями двигунів). Пропелери 15 "і більше.

Середній квадрокоптер, розміром рами 300 - 550 міліметрів, зазвичай розраховується на вагу від 1 кг до 2.5 кг, поєднує маневреність і вантажопідйомність, в своїх рамках. Двигуни обертами 650 - 1000 kV, живлення 3S-4S.

Маленький коптер - в іноземній частині інтернету часто зветься Racing Copter (гоночний коптер). Розмір рами 250 мм. Вага 0.5 - 0.8 кг. Має високу маневреність. Мотори оберти 2200 kV акумулятор 2S-3S. Високі оберти і маленькі пропелери дозволяють розганяти коптер понад 120 км /год.

Міні квадрокоптер - це маленький, розміром з долоню або поміщається на долоні, мультироторний літальний апарат, з маленьким радіусом дії. Розрахований для запуску в приміщенні, залі, кімнаті.

У4 - теж 4 мотора

Виглядає як трикоптер, але без хвостової сервомашинки. Два звичайних гвинта спереду, і два співвісно розташованих мотора ззаду, на одному промені. Механічно простіше ніж трикоптер, тому що немає поворотного механізму. Важать приблизно як трикоптери, але можуть піднімати трохи більше. Крім того, вони більш надійні ніж трикоптери.

VTail і ATail - 4 мотора

VTail і ATail - по суті це квадрокоптери, у яких передні мотори розташовані на звичайних променях, а задні 2 мотора розташовані поруч один з одним під деяким кутом. Ще можна сказати, що це суміш трикоптера і квадрокоптера У4. Не дуже популярна конфігурація, так як підйомна сила менше (із-за взаємного впливу хвостових моторів). Однак вони виглядають круто і з візуальним визначенням орієнтації апарата немає проблем.

Гексакоптер - 6 моторів

У гексакоптеров 6 моторів(рис 1.9), кут між променями 60 градусів, три мотора CW і 3 мотора CCW.

Дуже схожі на квадрокоптери, але дають більшу підйомну силу, через більше число моторів. Крім того, вони більш надійні, якщо один мотор відмовить, коптер все ще залишається досить стабільним щоб здійснити м'яку посадку. Недолік - великий розмір і висока ціна.



Рис. 1.9 Гексакоптер

У6 гексакоптер - 6 моторів

У У6 є 6 моторів на рамі у вигляді літери У. По суті це трикоптер, у якого на кожному промені розташоване по 2 мотора, один над іншим. Замість серви для повороту використовуються мотори CW і CCW на кожному промені.

Ці коптери можуть бути досить компактними (як трикоптери), але з вантажопідйомністю як у гексакоптеров. Однак У6 менш ефективна конфігурація через співвісне розташування моторів.

Октокоптер - 8 моторів

У октокоптерів 8 моторів(рис. 1.9) в двох групах, 4 CW і 4 CCW.

Октокоптери схожі на квадрокоптери і гексакоптери. Це типу проапгрейжена версія гексакоптера: більша вантажопідйомність, більше надійність.

Однак більше число моторів означає збільшення споживаного струму, а значить доведеться використати більше акумуляторів. Це теж досить затратно.

Вони дуже популярні для аерозйомки, для підйому важких професійних камер.



Рис 1.10 Октокоптер

X8 - теж 8 моторів

У цієї конфігурації 8 моторів розташовані на 4 променях парами (CW і CCW).

Характеристики схожі на X6

Як вибрати правильну конфігурацію?

Залежить від того як ви хочете використовувати коптер. Для гонок або фрістайлу, не помилитесь якщо виберете квадрокоптер або трикоптер. Навіть якщо і впадете, то міняти потрібно всього кілька гвинтів (а падати будете часто, особливо якщо ви літаєте швидко або в безпосередній близькості від перешкод). Для аерофотозйомки ви можете вибрати квадрокоптер, якщо плануєте знімати чимось типу GoPro. Але якщо плануєте важкі підвіси або хочете більш стабільною платформи, то краще розглянути гексакоптери або навіть октокоптери.

Співвісне розташування моторів

У конфігураціях У6, Х8, У4 мотори розташовані співвісно. У такого розташування є і плюси, і мінуси.

Переваги співвісного розташування моторів

Якщо у вас більше 5 моторів, то з'являється надмірність - якщо один мотор відмовить, то літальний апарат все ще буде стабільний і зможе безпечно сісти, компактність, можливість зробити складну раму, для більшої мобільності.

Недоліки

Втрата 10-20% ефективності. По суті нижній мотор тягне вже розігнане повітря, від цього втрачається його ефективність. Гвинти легше чіпляють перешкоди, складно прибрати гвинти з кадру, тому що мотори розташовані під променями, Складно підібрати відповідні шасі

Розрахунок руху квадокоптера в вертикальній площині

Квадрокоптер, на відміну від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) вертолітного типу традиційної поздовжньої схеми з несучим і рульовим гвинтами і апаратів співвісної схеми, мають ряд переваг, таких, як простота і надійність конструкції. Такі пристрої характеризуються малою злітною масою компактністю і високою маневреністю. Центральна частина квадрокоптера - «фюзеляж» служить для розміщення обладнання, навантаження і акумуляторів. Радіально від центру на балках встановлюються мікроелектродвигуни з несучими гвинтами, утворюючи хрестоподібну компоновку всього апарату. Така симетрична компоновка, передбачає наявність передньої і задньої частин, щодо яких зорієнтований напрямок руху (рис 1.11).

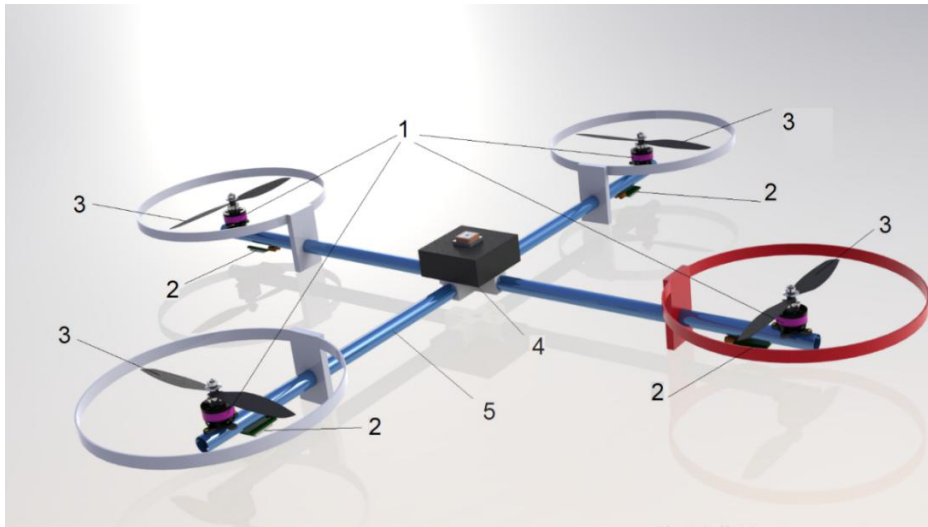


Рис 1.11 - Загальний вигляд квадрокоптера

1 - безколекторні двигуни; 2 регулятори обертів; 3 гвинти 10x45 різноспрямованого обертання; 4 центральна плата управління; 5-фюзеляж (корпус)

Для вивчення основних закономірностей руху квадрокоптера розглянемо математичну модель, що описує просторовий рух літаючого робота. Квадрокоптер це електромеханічна система корпус якої можна моделювати твердим тілом з 6-ма ступенями свободи. Будемо розглядати рух корпусу робота в декартовій системі координат, пов'язаної із землею $Oxyz$, тоді положення центру мас апарату визначають координати x, y, z , а орієнтацію в просторі задають кути Ейлера ψ, θ, φ (рис. 1.12)

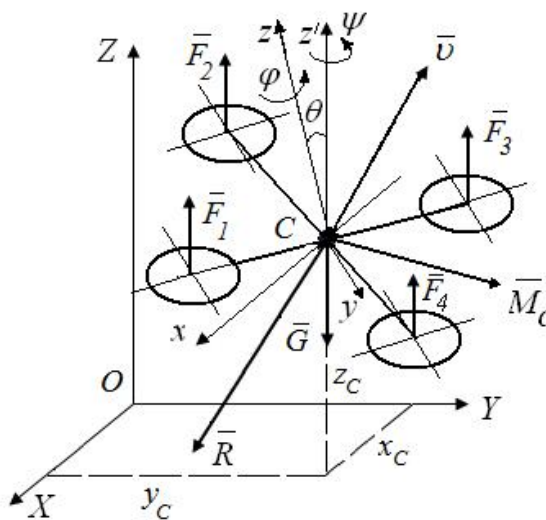


Рис. 1.12 - Кути Ейлера ψ, θ, φ

Кожен з двигунів створює силу тяги F_i ($i = 1,2,3,4$), величина якої регулюється зміною рівня напруги на двигунах. У розглянутій конструкції вектори F_i мають відповідні проекції (F_{ix} , F_{iy} , F_{iz}) на систему координат пов'язану з корпусом. Правильна орієнтація векторів F_i відкриває широкі можливості для компенсації зовнішнього вітрового навантаження діючої на корпус робота.

Моделювання керованого руху квадрокоптера у вертикальній площині

Схема руху квадрокоптера у вертикальній площині наведена на (рис.1.13) Управління рухом здійснюється зміною величин двох сил F_i , де: $i = 1, 2$, а також кутами нахилу цих векторів до локальної системи координат. Вітрове навантаження моделюється за допомогою наведеної сили $P(t)$ і моменту $M(t)$, параметри яких в загальному випадку змінюються за випадковим законом. В даному прикладі представлені у вигляді:

$$P = P_0 \sin \Omega_p t \quad (1.1)$$

$$M = M_0 \sin(\Omega_M t + \beta) \quad (1.2)$$

де P_0 і M_0 – амплітуди вітрової навантажки, Ω_p , Ω_M – частоти вітрової навантажки, β – зсув фаз між моментом і силою.

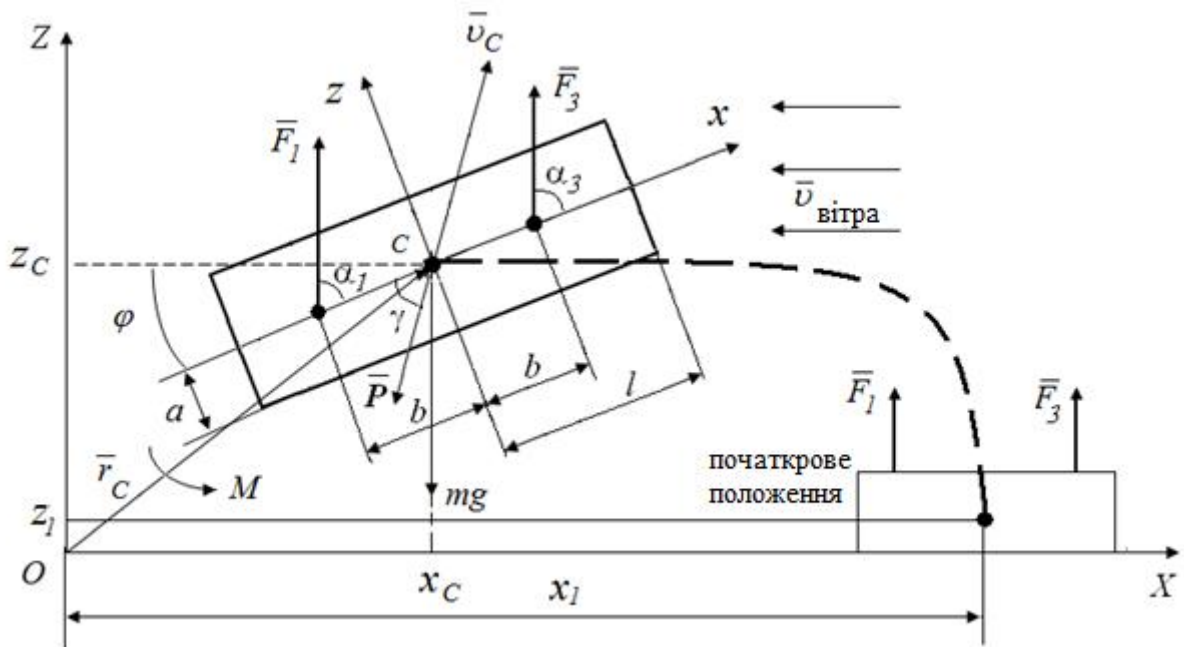


Рис. 1.13 - Плоска розрахункова схема квадрокоптера

Введемо дві системи координат: абсолютну нерухому систему координат Oxz і відносну систему координат Ox_z , яка жорстко пов'язана з корпусом робота так, що початок координат O збігається з центром мас корпусу, вісь Ox паралельна траєкторіям руху корпусу робота. Кут φ визначає поворот системи координат Ox_z щодо Oxz . Керуваними параметрами є координати X_c і Z_c центру мас корпусу пристрою, кут φ повороту корпусу робота щодо його центру мас. У загальному випадку керуючими величинами є сили F_1 і F_3 кути α_1 , α_3 , змінюючи які можна отримати будь-яку траєкторію руху. Визначимо радіус-вектор центра мас корпусу пристрою:

$$\bar{r}_c \begin{pmatrix} X_c \\ Z_c \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

Вектор швидкості центру мас дорівнює:

$$r_c \begin{pmatrix} X_{\dot{c}} \\ Z_{\dot{c}} \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

З боку навколишнього середовища на корпус робота діє сила моделююча вітрове навантаження P , яка визначається за формулою:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (1.5)$$

де $P_x = P \cos \gamma$, $P_z = P \sin \gamma$ – проекції сили опору на осі x , z відповідно.

Запишемо систему диференціальних рівнянь, описуваних рух об'єкта в вертикальній площині:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = \sum F_{ix}^e \\ m\ddot{z}_c = \sum F_{iz}^e \\ I_{cy}\dot{\omega}_y = \sum M_{ci} \end{cases} \quad (1.6)$$

Після відповідних перетворень система прийме наступний вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = F_1 \cos(\alpha_1 + \varphi) + F_3 \cos(\alpha_3 + \varphi) - P \cos(\gamma + \varphi) \\ m\ddot{z}_c = F_1 \sin(\alpha_1 + \varphi) + F_3 \sin(\alpha_3 + \varphi) - P \sin(\gamma + \varphi) - mg \\ I_{cy}\ddot{\varphi} = -F_1 b \sin \alpha_1 + F_3 b \sin \alpha_3 - \mu_\varphi \dot{\varphi} \end{cases} \quad (1.7)$$

де $\mu_\varphi \dot{\varphi}$ – момент опору обертанню корпусу квадрокоптера.

Нехай в початковий момент часу літаючий робот має нульову швидкість: $\dot{x} = 0$, $\dot{z} = 0$, $\dot{\varphi} = 0$, а координати центру мас задані: $x = x_1$, $z = z_1$, $\varphi = 0$. Надалі

розглянемо випадок зльоту робота на задану висоту і подальше його рух уздовж осі, паралельної осі Oy по заданій траєкторії. При цьому повинно виконуватися така умова:

$$z_0 - \delta z \leq z \leq z_0 + \delta z, \quad x_0 - \delta x \leq x \leq x_0 + \delta x, \quad \text{а кут } \varphi: -\varphi_0 + \delta\varphi_0 < \varphi < \varphi_0 + \delta\varphi_0. \quad (1.8)$$

Величина $\delta z_0, \delta x_0$ — граничні відхилення літаючого робота від заданої траєкторії, визначає похибка $(\delta z_0/z_0)$, $(\delta\delta_0/\delta_0)$ реальної траєкторії руху. При перевищенні якої включається управління у вигляді сил.

Траєкторія руху літаючого робота формується у вигляді періодичних циклів руху, описуваних функціями з малим числом змінних параметрів. Це дозволяє проводити її формування і оптимізацію з використанням математичної моделі, що описується системою нелінійних диференціальних рівнянь. Структурна схема трьохканальної системи управління рухом представлена на рисунку 1.14

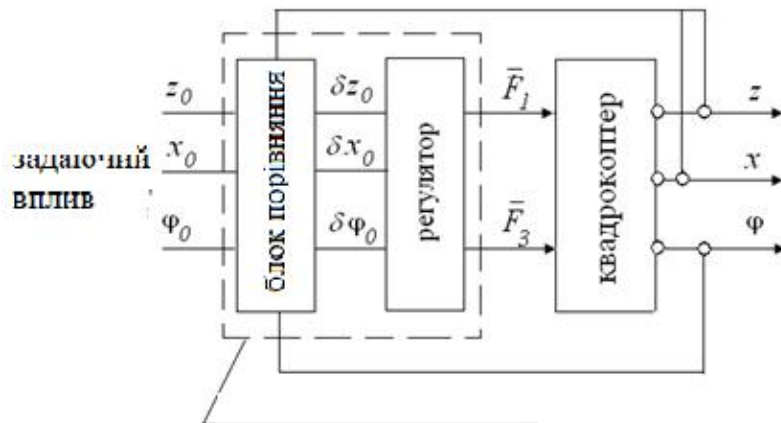


Рисунок 1.14 - Структурна схема трьохканальної системи управління рухом

Логічний регулятор системи автоматичного управління (САУ) реалізує управлінський вплив за наступним алгоритмом:

$$\begin{cases} F_1 = F_2 - \frac{k \cdot \varphi}{b} \\ F_3 = a(z_0 - z) - \mu z + \frac{mg + \varphi/b}{2} \end{cases} \quad (1.9)$$

де F_1, F_3 - дії, що управляють, визначаються блоком прийняття рішень; a, b, k, μ - параметри квадрокоптера. Далі проводилося чисельне моделювання руху квадрокоптера у вертикальній площині (рис 1.15).

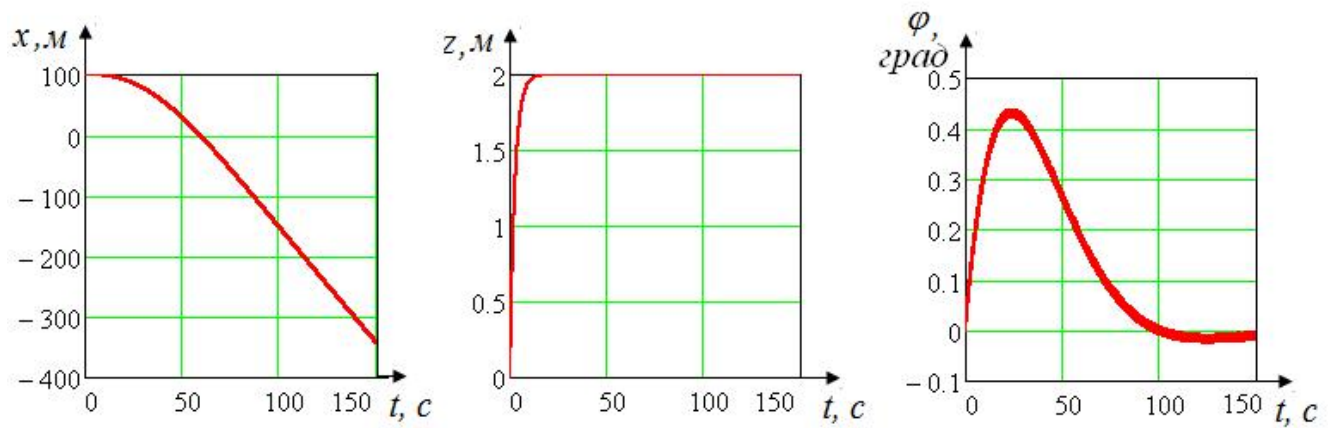


Рис. 1.15 - моделювання руху квадрокоптера у вертикальній площині

1.2 Параметри антен для БПЛА

Всеспрямовані антени

У радіозв'язку, всеспрямовані антени є класом антени, що випромінює рівну радіопотужність у всіх напрямках, перпендикулярних до осі (азимутальні напрямки), з потужністю, варіюючи відповідно до кута по відношенню до осі (кут піднесення), що зменшується до нуля на осі. Коли представлені в трьох вимірах, це випромінювання картина часто описується як пампушка. Зверніть увагу на різницю з ізотропною антеною, яка випромінює однакову потужність у всіх напрямках і має сферичну діаграму спрямованості. Вертикально орієнтовані всеспрямовані антени широко використовуються в ненаправлених антенах на поверхні землі, оскільки вони випромінюють однаково у всіх горизонтальних напрямках, в той час як випромінювана потужність зменшується зі збільшенням кута місця, так що мало радіоенергії витрачається даремно, направляючи її в небо. або земля. Всеспрямовані антени широко використовуються в радіомовних антенах і в мобільних пристроях, що використовують радіо, таких як стільникові телефони, FM-радіо, рації, бездротові комп'ютерні мережі, бездротові телефони, GPS, а також в базових станціях, які взаємодіють з мобільними радіостанціями, таких як поліція, таксі, диспетчери та повітряний зв'язок.

Діаграма випромінювання монопольної антени $3\lambda/2$. Хоча випромінювання всеспрямованої антени симетричне в азимутальних напрямках, воно може змінюватися складним чином залежно від кута місця, з пелюстками і нулями під різними кутами.

Також можуть бути сконструйовані всеспрямовані антени з більш високим коефіцієнтом посилення. Вищий коефіцієнт посилення в цьому випадку означає, що антена випромінює менше енергії в ближніх напрямках і більше енергії в горизонтальних напрямках. Всеспрямовані антени з високим коефіцієнтом посилення зазвичай реалізуються з використанням колінеарних антенних решіток. Вони складаються з декількох дипольних антен, встановлених колінеарно і синхронізованих за фазою. Коаксіальна колінеарна антена (COCO) використовує транспоновані коаксіальні секції для створення синфазних напівхвильових випромінювачів. Антена Франкліна використовує короткі U-подібні напівхвильові секції, випромінювання яких компенсується в дальній зоні, щоб привести кожен напівхвильову дипольну секцію в рівну фазу. Інший тип - це всеспрямована мікросмужкова антена.

Всенаправлені антени представлені на ринку

Антенa Foxeer Lollipop V4 5.8G

Всеспрямовані антени Foxeer Lollipop V4 5.8G (рис.1.17) багаторазово протестовані та випробувані для відповідності найвищим стандартам якості. Легка вага, висока міцність і відмінний рівень сигналу.

Версія V4 вирізняється збільшеним посиленням до 2.6dBi, а пелюстки антени стали міцнішими й ефективнішими, завдяки новій технології золочення. Кабель версій UFL і MMCX тепер захищений додатковою оболонкою.

Особливості

- Простота в установці, антена може бути зігнута під будь-яким кутом
- Корпус антени виготовлений із суміші пластиків PC + ABS.
- Двожильний напівтвердий кабель із сильною ударостійкістю (у версії SMA і RP-SMA)
- Захист від скручування антени (у версії SMA і RP-SMA)

- Спеціальний ущільнювач всередині корпусу антени захищає її пелюстки від пошкоджень
 - Товстий шар позолоти на пелюстках антени для поліпшення ефективності приймання та передавання сигналу
- Характеристики
- Центральна частота: 5.7GHz
 - Ширина смуги пропускання: 5.5G ~ 6GHz
 - Посилення: 2.6dBi
 - Смуга пропускання: 500 MHz (5.5-6 GHz)
 - КСВ: 1.07 на центральній частоті
 - Осьове відношення: близько 1
 - Ефективність: 98%
 - Поляризація: RHCP/LHCP (вибір опції)
 - Матеріал корпусу: PC + ABS
 - Довжина антени:
 - SMA/RP-SMA/прямий MMCX/кутовий MMCX: $\Phi 11$ x 60мм
 - UFL/короткий UFL Tube/короткий кутовий MMCX Tube: $\Phi 11$ x 85мм
 - SMA-10см: $\Phi 11$ x 100мм
 - Кутовий SMA-15см/довгий UFL Tube/Довгий кутовий MMCX Tube: $\Phi 11$ x 165мм
 - Вага:
 - SMA/RP-SMA: 7.8г
 - SMA-10см: 9.7г
 - Кутовий SMA-15см: 13.9г
 - UFL: 2.8г
 - Короткий UFL Tube: 2.9г
 - Довгий UFL Tube: 3.8г
 - Кутовий MMCX: 4.5г
 - Короткий кутовий MMCX Tube: 4.8г

- Довгий кутовий MMCX Tube: 6.8г
- Прямий MMCX: 4.4г



Рисунок 1.17

Антенa TBS Triumph-Stub SMA

Team Black Sheep у співпраці Video Aerial Systems LLC сконструювали нову версію одних з найкращих поляризаційних антен для FPV-систем (рис 1.18). Після великих досліджень і тестувань виробники зосередилися на тому, щоб конструкція антени стала досить міцною, щоб витримати ще більш жорсткі пошкодження. Після багатьох випробувальних польотів і зворотного зв'язку з пілотами виробник вирішив використовувати двожильний товстий кабель і олов'яні роз'єми. Для захисту використовується спеціальний пінопластовий і зварний корпус.

У комплекті дві антени правої поляризації, роз'єм SMA.

Діаграма антправлененості антени зображена на рисунку 1.19



Рис. 1.18 Антена TBS Triumph-Stub SMA

Особливості

- Вироблено та перевірено за найвищими стандартами
- Компактний і мала вага
- Зварний пінопластовий корпус для максимального захисту від крашів
- Двожильний жорсткий кабель із високою ударостійкістю

Характеристики

- Діапазон частот: 5500-6000 МГц
- Посилення: 1.26dbi
- Осьове співвідношення: 0.74
- Поляризація: RHCP
- Кабель: RG402
- Висота: 50мм
- Роз'єм: SMA
- Вага: 9г

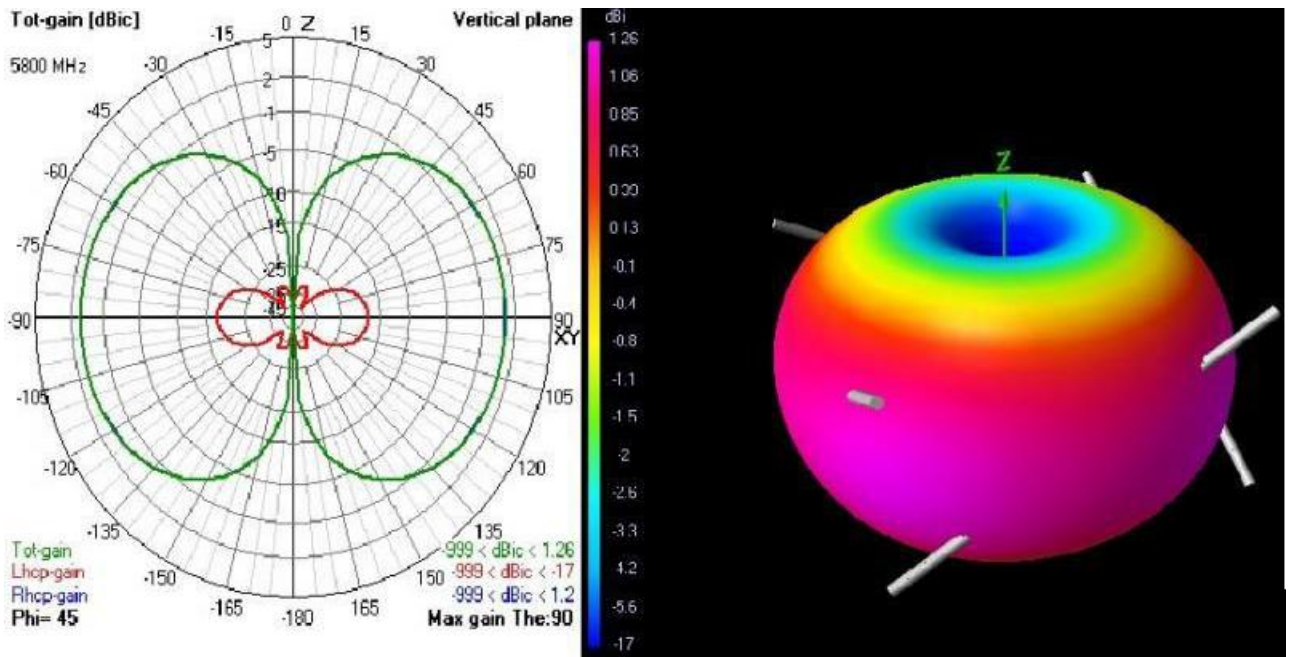


Рис. 1.19 Діаграма направленості TBS Triumph-Stub SMA

Патч-антена

Патч-антена - тип слабоспрямованої антени діапазонів УВЧ і НВЧ. Патч-антена складається з тонкої плоскої металевої пластини ("п'ятачка"), розташованої на малій ($0.01 \dots 0.1\lambda$) відстані паралельно до плоского металевого екрана. Зазор між п'ятачком і екраном може бути заповнений шаром діелектрика ($\epsilon = 2.5 \dots 10$, $\text{tg}\delta = 10^{-3} \dots 10^{-2}$), а сама антена може виготовлятися за технологією друкованих плат (мікросмужкова або друкована патч-антена). Зазвичай п'ятачок має прямокутну форму, причому відстань між випромінювальними сторонами прямокутника (тобто довжина невипромінювальних сторін) близька до половини робочої довжини хвилі (з урахуванням ϵ).

Живлення здійснюється штирем, що проходить крізь екран (наприклад, є продовженням сигнального провідника коаксіальної лінії) і зміщеним від центру прямокутника в бік однієї з його випромінювальних сторін, або мікросмужковою лінією, сигнальний провідник якої розташовано в площині п'ятачка, що підходить до однієї з його випромінювальних сторін. В обох випадках збуджувальні провідники електрично з'єднуються з п'ятачком. Відомий також електродинамічний спосіб збудження п'ятачка через щілину в екрані. Поляризація випромінюваної електромагнітної хвилі в напрямку нормалі до п'ятачка близька до лінійної, відомі

технічні рішення дають змогу формувати хвилю і з круговою поляризацією. Патч-антена найпростішої конструкції вузькосмугова ($<5\%$), але спеціальні технічні рішення дають змогу розширити робочу смугу частот до 50% і більше або будувати багатодіапазонні антени.

Принцип дії патч-антени ґрунтується на резонансі моди TM_{10} в об'ємі під п'ятачком, збудженні електричного поля в зазорах уздовж двох протилежних боків п'ятачка, що можна розглядати як співспрямоване протікання еквівалентного магнітного струму уздовж кожної з цих сторін, та збудженні електромагнітної хвилі цими двома ділянками магнітного струму. Дія патч-антени аналогічна дії пари синфазних паралельних одна одній щілинних антен, рознесених на невелику ($< \lambda/2$) відстань. Кроссполаризаційне випромінювання в патч-антені традиційної конструкції зумовлене випромінюванням магнітного струму вздовж сторін п'ятачка, поперечних основним (тобто таким, що створює випромінювання на основній поляризації), зокрема, модою TM_{02} . Це випромінювання компенсоване завдяки інтерференції тільки в площинах E і H і досягає максимуму (-10 дБ) у діагональних площинах.

Відомо безліч різновидів патч-антен, що розрізняються способом збудження, наявністю узгоджувальних елементів (щілин у п'ятачку тощо), формою п'ятачків (прямокутна, кругла тощо), їхнім числом в одному випромінювачі (один чи кілька, зазвичай, не більше ніж три), взаємним розташуванням (копланарне, стек) та способом взаємного зв'язку (електричне з'єднання, електродинамічний зв'язок) тощо, які розв'язують певні задачі та розрізняються технічними характеристиками. Патч-антени технологічні, прості у виготовленні, дешеві, зручні для використання як випромінювальний елемент антенних ґраток, зокрема, антени бортових радіолокаторів, базових станцій мобільного зв'язку GSM, плоскі антени для приймання супутникового телебачення та ін. У діапазоні ОВЧ патч-антена може виготовлятися як окремий пристрій, захищений від зовнішніх впливів. Ділянка корпусу такого пристрою навпроти п'ятачка робиться радіопрозорою.

Патч антена FlyMod Triple Feed Patch 5.8G

Спрямована патч-антена з круговою поляризацією FlyMod Triple Feed Patch (рис 1.20), зроблена на основі відкритого проєкту бельгійських інженерів Maarten Baert і Robin Theunis, і модифікована командою FlyMod.

Попри внесені зміни, антена відповідає всім параметрам оригінального проєкту, оскільки деякі виробники порушують технологію відстані між пластинами, що впливає на дальність прийому.



Рис. 1.20 Патч антена FlyMod Triple Feed Patch 5.8G

Особливості

- Хороша ефективність випромінювання (рис 1.21)
- Гарне осьове відношення (не тільки прямо перпендикулярно патчу, але також і поза центром)
- Центральна частота може трохи змінюватися між партіями внаслідок зміни діелектричної проникності FR4. Крім того, не всі марки FR4 мають однакову діелектричну проникність. Частотні зсуви до 100MHz є нормальними

Характеристики

- Частота: 5.8 GHz \pm 100 MHz
- Смуга пропускання: 800 MHz \pm 50 MHz
- Ширина променя половинної потужності: 55° (горизонтальна і вертикальна)
- Поляризація: тільки RHCP
- Посилення: 9.4dBi

- Відповідність: $S_{11} < -20\text{dB}$
- VSWR: < 1.22
- Осьове відношення: 1.15 (1.21dB)

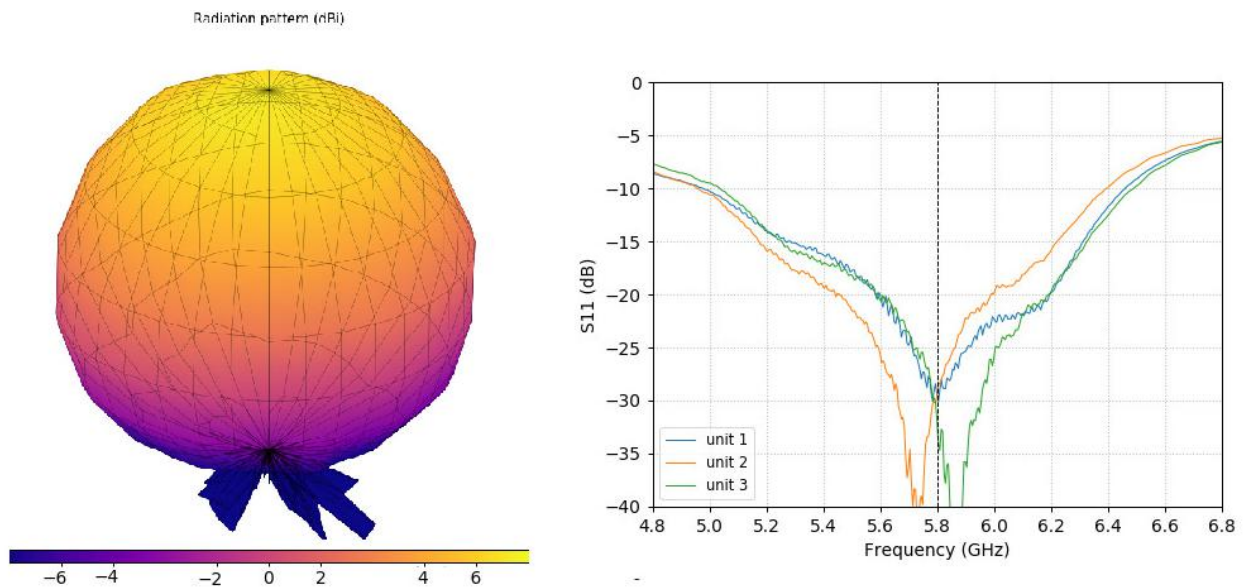


Рис. 1.21 Випромінювання антени

Клеверні антени

Антенна клевер являє собою три і більше рамки, під'єднані паралельно і вигнуті певним чином для отримання кругової поляризації. Найбільш популярні 3-х і 4-х пелюсткові антени клевер.

Вхідний опір як 3-х пелюсткової, так і 4-х пелюсткової антени близький до 50 Ом. Як і будь-яка рамкова антена з диференціальним входом, антена клевер потребує схеми симетрування (або відсічення струму). Однак при використанні в апаратурі FPV з невеликими пігтейлами цією вимогою зазвичай нехтують. У підсумку випромінювання пігтейла та інших металевих частин обладнання складається з випромінюванням конюшини. При цьому спотворюється діаграма спрямованості антени та її поляризаційні характеристики. Але, оскільки пігтейл маленький, ці спотворення можна вважати несуттєвими. На рисунку 1.22 зображено поширення електромагнітної хвилі з правобічною круговою поляризацією RHCP.

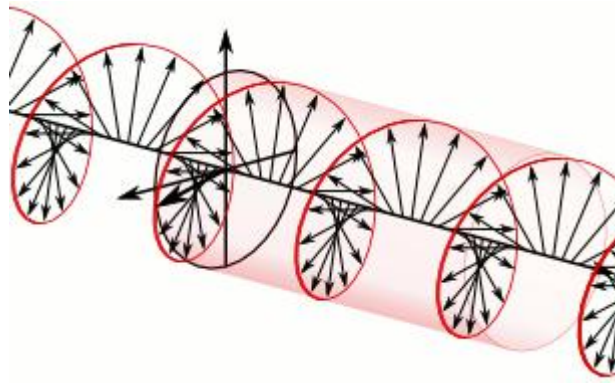


Рис. 1.22 поширення електромагнітної хвилі з правобічною круговою поляризацією
RHCP

При цьому в загальному випадку на площині перпендикулярній вектору поширення кінець вектора електричного поля з плином часу описує еліпс. Така поляризація називається еліптичною і її можна розглядати як кругову з добавкою деякої лінійної компоненти. Відношення малої осі такого еліпса до його великої називається осьовим поляризаційним відношенням - Polarization Axial Ratio. Воно має діапазон значень від 0 до 1, за нуля ми маємо справу з суто лінійною поляризацією, за одиниці - з ідеально круговою. Додаткова реальна антена випромінює хвилю з тим чи іншим ступенем еліптичності. Допустимим вважається значення еліптичності не менше 0,7 (або -3 дБ), тоді можна вважати, що хвиля має кругову поляризацію. Клевер не дотягує до цього порога, тобто випромінює хвилю з явно еліптичною поляризацією. Але цього виявляється достатньо для безперервного зв'язку з рухомим об'єктом. Як дізнатися, в який бік обертається поляризація у клевер? Для цього треба застосувати правило правої або лівої руки. Стискаємо пігтейл у правій руці так, щоб великий палець показував угору. Якщо пелюстки клевера від низу до верху закручуються так, як пальці правої руки, то антена має RHCP - Right Hand Circular polarization, інакше зробіть те саме з лівою рукою і ви побачите, що поляризація LHCP - Left Hand Circular polarization. На приймальній і передавальній стороні мають стояти антени однакової поляризації.

Аомway клеверні антена 5.8G 60/80мм RHCP/LHCP

Високоєфективні поляризаційні клеверні антени від Аомway (рис 1.23).

За однакової потужності кругова поляризація набагато перевершує лінійну (звичайні штирові антени) за дальністю польоту і завадостійкістю. Так само клеверам не так важливо положення передавальної антени в просторі, на відміну від лінійної, де це критично позначається на прийомі сигналу.



Рис 1.23 Aomway клеверні антена 5.8G 60/80мм RHCP/LHCP

Характеристики

- Колір: червоний, синій
- Посилення: 3dBi
- Тип: всеспрямована поляризація RHCP (Права) або LHCP (ліва)
- Частота: 5.8ГГц
- VSWR: <1.4
- Антенний роз'єм: RP-SMA або SMA
- Вага 1-ї антени: 8.7г
- Вага пласт. захисту: 3г

Висновок до розділу 1

Історія безпілотних літальних апаратів достаньо велика та цікава, а розвиток їх кostrкукцій тягнеться до сьогоднішніх днів, так як технології з кожним роком крокують вперед разом тягнучи і модернізацію дронів.

Разом із розвитком данрої технології також росте і напрямки використання БПЛА. Так на сьогоднішній день ми бачимо використання дронів в військовій сфері від маленьких розвідників до надвеликих бомбардувальників, в сфері кіно та фотоіндустрії ми можемо спостерігати різного плану установки для зйомок фото та відео. В сфері безпеки є багато дронів які допомагають слідкувати за пожежною безпекою, за газовою безпекою, за охороною території та багато інших рішень.

Так як дана ніша в наш час розвивається, сфера БПЛА досить актуальна та поширена, адже на базі безпілотників з'являються все нові рішення і ця основа є дуже гнучкою, інженерні рішення можуть бути найрізноманітнішими та цікавими. Покращення параметрів БПЛА дозволяють розширювати можливості платформи та працювати далі над рішеннями як в розвитку самого конструювання дронів так і в сферах експлуатації

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АНТЕН ТА АНТЕННИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

2.1 Огляд наземної системи

Наземна станція управління БПЛА

Наземна станція управління БПЛА (рис.2.1, НСУ) - це наземний або морський центр управління, який забезпечує засоби для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА або "дрони") людиною. Це також може стосуватися системи управління ракетами в атмосфері або над атмосферою, але це, як правило, описується як Центр управління польотами.



Рисунок 2.1 Внутрішня частина ГСН Bayraktar TB2

Апаратне забезпечення

Апаратура ГСН відноситься до повного набору наземних апаратних систем, що використовуються для управління БПЛА. Зазвичай це включає в себе людино-машинний інтерфейс, комп'ютер, телеметрію, карту захоплення відео та антени для управління, відео та передачі даних на БПЛА.

Стационарні та бортові ГСН

Більші військові БПЛА, такі як General Atomics MQ-1 Predator, мають те, що нагадує "віртуальну кабіну". Пілот або оператор датчика сидить перед кількома екранами, що показують вид з БПЛА, екран карти і прилади літака (рис 2.2). Управління здійснюється за допомогою звичайного авіаційного джойстика і дросельної заслінки, можливо, з функцією Hands on Throttle and Stick (HOTAS) (Руки на дроселі і стику).

Крім того, ГСН складається з супутникових або дальніх ліній зв'язку, які встановлюються на даху або на окремому транспортному засобі, контейнері або будівлі.



Рис 2.2 Worthington Sharpe Wing GCS - приклад портативного наземного пункту управління БПЛА (дрон GCS)

Менші БПЛА можуть управлятися за допомогою традиційного передавача типу "дві палички", який використовується для радіокерованих моделей літаків. Розширення цієї установки за допомогою ноутбука або планшетного комп'ютера, передачі даних і відеотелеметрії, а також антен, створює те, що фактично є наземною станцією управління.

Ряд постачальників пропонують комбіновану систему, яка складається з того, що виглядає як модифікований передавач у поєднанні з тим, що зазвичай є

сенсорним екраном. За екраном знаходиться внутрішній комп'ютер з програмним забезпеченням GCS, а також відео- та інформаційні канали.

Доступні також більші блоки GCS, які зазвичай поміщаються всередині польотних кейсів. Як і у випадку з меншими блоками, вони оснащені внутрішнім комп'ютером, на якому працює програмне забезпечення GCS, а також каналами відео і передачі даних. Також встановлюються великі одинарні або подвійні екрани, які можуть бути високої яскравості або оброблені покриттям антивідблиску для підвищення видимості при яскравому сонячному світлі. Вони можуть бути розміщені на землі, на переносному столі або мати інтегровані складні ніжки.

Деякі портативні ГКС мають компонування HOTAS (Hands On Throttle And Stick). Ця компоновка включає в себе 3-осьовий джойстик для управління ристанням, тангажем і крену БПЛА. За допомогою повзункового або t-образного регулятора можна збільшувати або зменшувати швидкість польоту БПЛА.

Програмне забезпечення

Програмне забезпечення GCS зазвичай працює на наземному комп'ютері, який використовується для планування та виконання польотів. Воно надає екран карти, на якому користувач може визначати точки для польоту і бачити хід виконання місії. Воно також слугує "віртуальною кабіною", показуючи багато з тих самих приладів, що і в пілотованих літаках.

Існуючі на ринку професійні наземні станції керування БПЛА

Портативна наземна станція керування (GCS) для UAV, UGV ,Robotic (рис 2.3)

Тип: VIDEO TRANSMITTER

Частота: 300-800MHz/1.2G/2.4G/4.4GHz

Чутливість: -105dBm

Модуляція: COFDM

Канали: 4 відео +4 аудіо

Пропускна здатність: 2/2.54//6/8(регульований)

AV інтерфейс: BNC

Роздільна здатність: 1280*720

Шифрування даних: AES 128/265 bit

Монітор: 17 inch hd led screen

Назва: Portable Ground Control Station(GCS) For UAV, UGV



Рис. 2.3 Portable Ground Control Station(GCS) For UAV, UGV

Короткий опис можливостей:

- стандартний прийом COFDM, подвійний безпроводний прийом;
- спеціально розроблений з 17-дюймовим РК-монітором відеореєстратора;
- чотирьоканальний відеоаудіозапис та моніторинг;
- внутрішня пам'ять SSD 60G / 120G / 1000G;
- підтримка 4-х каналних передавачів відеоспостереження;
- можливість керувати операційною системою за допомогою зовнішньої професійної клавіатури.

Параметри:

Частота 300-4400МГц (опціонально)

Пам'ять 60G/120G//1000G, 4 канали 48 годин запису

РК-монітор 17 дюймів

Рівень вхідного сигналу -92dBm ~-20dBm / -105dBm ~-20dBm

Відеовихід HDMI, BNC

Аудіовихід Stereo аудіо L-R вихід

Модуляція COFDM, 2K

Живлення AC220V / DC12V

Смуга пропускання 2/2,5/4/8МГц (регульована)

Сузір'я QPSK, 16QAM, 64QAM (опціонально), QPSK/16QAM/64QAM @
6/7/8МГц

FEC 1/2,2/3,3/4,5/6,7/8(Optional)

Захисний інтервал 1/32, 1/16, 1/8, 1/4 (опціонально)

Формат відео PAL / NTSC

Декодування відео H.264

Роздільна здатність 1920*1080, 720P/i

Лінійність по горизонталі 625 або 525 ліній

Шифрування AES128/256bits/ AES пароль, що визначається користувачем

Робоча температура -30 ~ 70 ° C

Вбудована батарея 30000mA

Розмір 525*437*213мм

Вага 22 кг

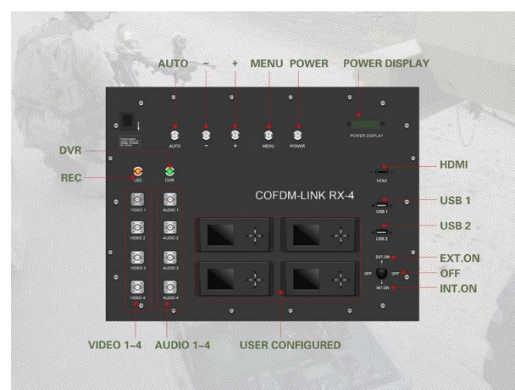


Рис 2.4 Portable Ground Control Station(GCS) For UAV, UGV (роз'єми,кнопки)

Портативна наземна станція керування (GCS)Safe Guard (рис 2.5)

Основні параметри

Назва продукту: Наземна станція управління БПЛА (GCS)

Тип: різноманітний COFDM приймач, корпусний приймач, військовий приймач

вихід інтерфейсу: HD-MI, SDI, BNC, RS485, RS232 &RS422

Модуляція: COFDM, 2K, QPSK

Особливості: Передача аудіо-відео даних БПЛА

Пам'ять: вставний відеореєстратор, 120G SSD пам'ять

Частота: 300МГц - 4400МГц, VHF, UHF 100МГц діапазон для користувача

Роздільна здатність: HD 1080p, SD 720p

Розмір: 927*355*152мм

Стиснення відео: H.264/MPEG-2, MPEG-4 (автоадаптація)



Рис. 2.5 Портативна наземна станція керування (GCS)Safe Guard

Частота/відео 650МГц Живлення AC220V/DC12V

Радіочастотна смуга 2/2,5 МГц

Сузір'я QPSK, 16QAM

LCD монітор 17 дюймів Samsung LCD

екран FEC 1/2,2/3,3/4,5/6,7/8

Метод зберігання SSD

Інтервал захисту 1/32,1/16,1/8,1/4

Рівень вхідного сигналу -105dbm/2MHz, -95dbm/4/8MHz

Декодування відео H.264

Радіочастотний інтерфейс N(F)

Роздільна здатність 1920*1080,720,576,480;

Аудіовихід BNC Аудіовихід стерео лівий і правий канал

Послідовний порт даних RS232 @ 19200bps

Шифрування даних AES 128bits RS485 @ 9600bps

Робоче середовище -30 ~ 70 °C

Частота передачі даних 470 МГц (RS485)

Вбудований акумулятор ємність 20А, може підтримувати 4-5 годин
робочого часу

460 МГц (RS232)

Вихід USB Для підключення миші та резервного копіювання файлів на
жорсткий диск

Розмір 1198 * 419 * 234 мм

Модуляція COFDM

Вага 23 кг

Портативна наземна станція управління Skydroid H16 і H16 Pro 10~30KM All-in-one 2.4GHZ дальнього радіусу дії (рис.2.6)



Рис 2.6 Skydroid H16

Огляд

Назва бренду: Skydroid

Модель H16 OR H16 pro

Колір H16, H16 PRO

Приватна форма: НІ

Матеріал: Пластик

Функціонал: Водонепроникний, Цифровий світлодіодний дисплей, протиударний, автоматичний

Вага: 1034г (контролер)

Канали: 16

Робоча напруга: 4.2V

Частота: 2.400GHz-2.483GHz

Ємність акумулятора: 20000mAh

Витривалість роботи: 8 годин

Робоча напруга (приймач): 7.2-72V

Габарити: 76 * 59 * 11 мм

Вага (приймач):90g

Максимальна відстань передачі: 10 км (H16); 30 км (H16 Pro)

Опис

H16 - це портативна та економічно вигідна наземна станція управління з відеоканалом, каналом передачі даних, пультом дистанційного керування та системою Android в одному, з низькою затримкою, хорошими характеристиками захисту від перешкод та великою дальністю передачі.

Серія H16 включає дві версії: H16 та H16 Pro. Максимальна дальність передачі H16 - 10 км, H16 Pro - 30 км.

GCSеріїH16 оснащена 7" FHD екраномвисокої яскравості з роздільною здатністю 1920*1200, максимальна роздільна здатність. Яскравість може досягати 2000 ніт, і оператори можуть використовувати її при повному сонячному світлі.

Серія H16 поставляється з системою Android і підтримує основне програмне забезпечення наземної станції, таке як QGC. Таким чином, він може виконувати такі функції, як планування маршруту, зворотний зв'язок про стан польоту в реальному часі тощо. Він також підтримує призупинення відео та бездротовий обмін відеопотоком RTSP.

Серія H16 має високу розширюваність, підтримує безліч інтерфейсів, таких як HDMI, RJ45, SBUS, PPM, сенсорний інтерфейс, UART, USB тощо.

H16 має додаткову MIPI камеру, роздільна здатність якої становить 1080P.

Корпус GCS, перемикачі управління та всі периферійні інтерфейси мають пило та водонепроникну конструкцію, що забезпечує стабільну та безперебійну роботу в суворих умовах експлуатації.

Завдяки вбудованому літій-іонному акумулятору ємністю 20000 мАг час роботи складає до 8 годин при повному заряді. MX16 підтримує швидку зарядку потужністю 18 Вт.

GCSеріїH16 сумісна з більшістю безпілотників, які можуть використовуватися для інспекції ліній електропередач, поліцейського патрулювання, пошуку і порятункуіт.д.

Існуючі на ринку хобійні наземні станції керування БПЛА
HT-6A Gyro (рис 2.7)



Рис 2.7 HT-6A Gyro

Огляд

Застосовувані моделі: Модель з фіксованим крилом / багатороторний літальний апарат

Кількість каналів: 6

Частотний діапазон: 2,4 ГГц ISM діапазон (2,4005 2,483,5 ГГц)

Розмір продукту: Близько 17 * 14,5 см

Потужність передачі: < 100mW

Режим модуляції: GFSK

Метод розширення спектра: FHSS

Швидкість відгуку

ШИМ > 20 мс SBUS: > 6.8 мс

Відстань дистанційного керування: 800 метрів

Чутливість приймача: < -97dbm

Напруга живлення передавача: DC4.5V-9V

GAVIN-6C



Рисунок 2.8 GAVIN-6C

Опис

GAVIN-6C (рис. 2.8) - це 6-канальний передавач 2,4 ГГц, що застосовується для літаків, вертольотів і мультикоптерів. Використання пристроїв з низьким енергоспоживанням призводить до більш тривалого терміну служби батареї. Підтримує чотири режими стиків, щоб задовольнити різні робочі звички. Підтримка функцій Trainer та FailSafe, які забезпечують безпеку для користувачів. GAVIN-6C може забезпечити функцію оновлення через USB і використовуватися для встановлення програмованого елемента польотного контролера для літака.

MSR66A - це міні 6-канальний 2,4 ГГц приймач, інтегрований з 6-осьовим гіроскопом і підходить для літаків з нормальним крилом, махове крило і V-подібний хвіст літаків. Він забезпечує чотири різні режими польоту: вимкнений гіроскоп,

нормальний, пілотажний і автобалансування (автобалансування), які можна програмувати за допомогою відповідного передавача.

Все, що використовує технологію подвійного розширення спектру DSSS&FHSS, покращить передавач за рахунок збільшення продуктивності проти перешкод та відстані передачі, навіть може нормально контролюватися в центрі міста, не турбуючись про сильні перешкоди від високовольтних ліній, сигнальних веж, міського WiFi тощо.

Особливості

Передавач GAVIN-6C

- Застосовується для літаків, вертольотів та мультикоптерів.
- Пам'ять 30 моделей
- Завдяки використанню технології розширення спектру прямої послідовності (DSSS) на частоті 2,4 ГГц та технології розширення спектру з багатократною перестроюванням частоти (FHSS), система R/C
 - система має високу чутливість прийому та потужну здатність проти перешкод, може підтримувати стабільну роботу на відстані понад 1 км на землі та понад 1,6 км наземлі та понад 1,6 км у повітрі.
 - Застосування бездротових мікросхем, з розширеним підсилювачем потужності (PA) та підсилювачем з низьким рівнем шуму (LNA) може значно покращити системувихідну потужність і чутливість прийому.
 - Ефективність передачі значно покращується за рахунок використання всесіпазонної антени на передавачі.
 - Забезпечується плавний політ завдяки використанню прецизійних стиків 4096 секцій та вибору чотирьох режимів стиків.
 - Використання пристроїв з низьким енергоспоживанням може зменшити потужність передачі, а також призвести до низького споживання енергії акумулятора і більш тривалого терміну служби батареї.
 - Функція оновлення через USB завжди тримає ваш GAVIN-6C найновішою програмою.

- Підтримка функції FailSafe, яка може заздалегідь визначити положення сервоприводу передавачем, коли приймач виходить з-під контролю.

- Функція тренера дозволяє кваліфікованому інструктору навчити студента навичкам польоту.

- Може використовуватися для встановлення програмованого елемента контролера польоту для літака.

- низька затримка 2,6 мс

Приймач MSR66A

- 32-розрядний високопродуктивний процесор ARMcore, 6-осьовий MEMS гіроскоп

- Розмір MSR66A надзвичайно малий (37*20мм), він більше підходить для невеликих літальних апаратів, які можуть літати в парку.

- Оригінальний алгоритм стабілізації положення літака та алгоритм управління. Підтримка літаків із звичайним крилом, літаючим крилом, V-хвостом та

- 3D-літаки.

- Чотири режими польоту: Вимкнений гіроскоп, Нормальний, Пілотажний та авто-відновлення (автобалансування). Перемикатися між режимами можна за допомогою тумблера.

- Встановіть коефіцієнт посилення та інші програмовані елементи за допомогою відповідного передавача або програмної карти.

- MSR66A використовує технології розширення спектру прямої послідовності (DSSS) і множинної перестройки частоти (FHSS) на частоті 2,4 ГГц, маючи високу

- чутливість прийому та сильну здатність проти перешкод.

- Завдяки використанню різноманітної антени в поєднанні з алгоритмом виявлення та перемикання сигналу, сигнал прийому є стабільним та надійним.

- надійний.

- Після здійснення прив'язки ідентифікаційний код зберігається в приймачі, і після перезапуску приймача подальша прив'язка не потрібна.

- після перезапуску приймача.
- Якщо літак вилітає за межі діапазону дистанційного керування і не може отримати дійсний радіосигнал від передавача, виходи MSR66A
 - виходи MSR66A можуть бути переведені в попередньо встановлені положення безпеки.
 - - Підтримка 6-канальної ШІМ

Технічні характеристики

Канал: 6-канальний

Частота передачі: 2,4 ГГц

Розширений спектр: DSSS&FHSS

Живлення: AA батареї 4*1.5В, Ni-MH батареї 4*1.2В, 2SLi-Po

Струм споживання: менше або дорівнює 120 мА (тестовий режим); менше або дорівнює 230 мА (робочий режим).

Вихідна потужність: 10 мВт (тестовий режим); 100 мВт (робочий режим).

Вихідний імпульс: 1000 мс ~ 2000 мс (нейтраль 1500 мс)

2.2 огляд бортової системи

Існуючі на ринку професійні бортові системи передачі сигналу БПЛА

3D LINK Bi-directional Data Link



Рис 2.9 3D LINK Bi-directional Data Link

Опис

3D Link (рис. 2.9) забезпечує надійні відеоканали та канали управління для безпілотників і робототехніки в умовах відсутності прямої видимості (NLOS).

3D Link базується на вдосконаленій технології OFDM, яка здатна генерувати не тільки сигнали з високою спектральною ефективністю, але й сигнали з прямим розширенням спектру (DSSS). Ця унікальна особливість дає 3D Link можливість підтримувати високу пропускну здатність до 64 Мбіт/с у відеоканалі та чудову надійність у каналі управління.

Відеоканал може бути легко підключений через інтерфейс Ethernet. Для каналу управління можуть використовуватися інтерфейси Ethernet, RS232 або CAN.

3D Link підтримує топології "точка-точка", "точка-багато точок" і релейні мережі. Для забезпечення високої завадостійкості він оснащений алгоритмами придушення вузькосмугових та імпульсних завад. 3D Link підтримує також такі цікаві функції, як адаптивне управління потужністю передачі, оцінка дальності TX-RX і маршрутизація кадрів IPv4.

Бортовий блок 3D Link важить всього 89 грамів

Технічні характеристики

- Дальність зв'язку на рівнинній місцевості зі стандартним комплектом антен і для висоти антени наземної станції 2 м (6,56 футів):

- сценарій 1 - 6,1 Мбіт/с у відеоканалі та 85 кбіт/с у каналі управління для висоти дрона 50 м (164 фути): до 20 км (12,4 милі) у відеоканалі та до 33 км (20,5 милі) у каналі управління;

- сценарій 2 - 6,1 Мбіт/с у відеоканалі та 85 кбіт/с у каналі управління для висоти польоту БПЛА 500 м: до 62 км (38,5 миль) у відеоканалі та до 78 км (48,5 миль) у каналі управління;

- сценарій 3 - 85 кбіт/с в каналі управління з підвищеним профілем стійкості на висоті 500 м (1640 футів): до 83 км (51,5 миль).

- Відео у форматі Full HD в реальному часі, канали управління та телеметрії.

- 60 км+ (37,5 миль+) дальність прямої видимості (LOS).
- Можливість кастомізації.
- Пропускна здатність до 64 Мбіт/с.

Існуючі на ринку хобійні бортові системи передачі сигналу БПЛА

Axisflying ELRS Thor TX Pro 2.4GHz 10-1000mW

Опис

Axisflying Thor TX Pro Combo (рис. 2.10) - це повнофункціональний модуль ELRS micro TX для пілотів, які хочуть отримати найкращий досвід роботи з ELRS. Thor TX Pro не економить на якості. Побудований з міцним зовнішнім виглядом, виготовленим з алюмінію, модуль відчувається міцним. Існує відсік для зберігання, щоб покласти приймачі, коли вони не використовуються. Thor TX Pro може видавати до 1 Вт вихідної потужності завдяки добре продуманому корпусу і активному вентилятору охолодження. Вхідний порт XT30 дозволяє жити модуль ззовні, щоб не розряджати батарею радіостанції. РК-екран дозволяє легко змінювати параметри на льоту.



Рис. 2.10 Axisflying Thor TX Pro Combo

Особливості

- Вбудований кольоровий дисплей з детекцією руху і управлінням джойстиком

- Функція рюкзака
- Алюмінієвий корпус
- Вхідний порт XT30
- Приймач ELRS

Технічні характеристики

Мікромодуль THOR TX PRO

Порт XT30: 7V ~ 21V, НЕ підтримує напругу батареї 6S або вище

Вихідна потужність РФ: 25мВт/50мВт/100мВт/250мВт/500мВт/1000мВт

Частота оновлення пакетів: 50Hz/150Hz/250Hz/500Hz

Розмір коробки для зберігання: 29x29x15.5 мм

Діапазон частот: 2.4 ГГц ISM

Вага (включаючи JR): ~ 105 г

автоматичне або активне охолодження

Розміри: 87x55x15мм

Вхідна напруга: 5V ~ 12V

Можливість оновлення Wi-Fi

Порт USB Type-C

ELRS приймач

Вага: 0.8 г (тільки приймач), 2.4 г (з антеною)

Діапазон частот: від 2400 МГц до 2500 МГц

Максимальна частота оновлення прийому: 500 Гц

Мінімальна частота оновлення приймача: 25 Гц

Розмір: 18.2x11.75x3мм

Радіочастотний модуль: SX1280IMLTRT

Роз'єм для підключення антени: IPEX

Протокол приймача: CRSF

Робоча напруга: 5V

MUC: ESP8285

Тип ISM

Наррymodel ExpressLRS ES900TX + ES900RX

Опис

Набори модулів ES900TX і ES900RX (рис 2.11) - це обладнання для бездротової передачі даних на великі відстані на частоті 915 мГц, розроблене і спроектоване на основі відкритого програмного забезпечення ExpressLRS. Цей набір модулів характеризується надвеликою дальністю, стабільною роботою та низькою затримкою. Вони сумісні з більшістю пультів дистанційного керування OpenTX, особливо підходять для пультів дистанційного керування Radiomaster TX16S і Jumper T12, T16 і T18, і в основному працюють за принципом "підключи і працюй". Тепловідвід був спеціально налаштований для модуля передавача, що може допомогти модулю передавача стабільно працювати в умовах високої потужності. Модуль 900TX поставляється з вентилятором 2006 року, який дозволяє йому працювати автоматично, коли потужність передавача становить 250 мВт.

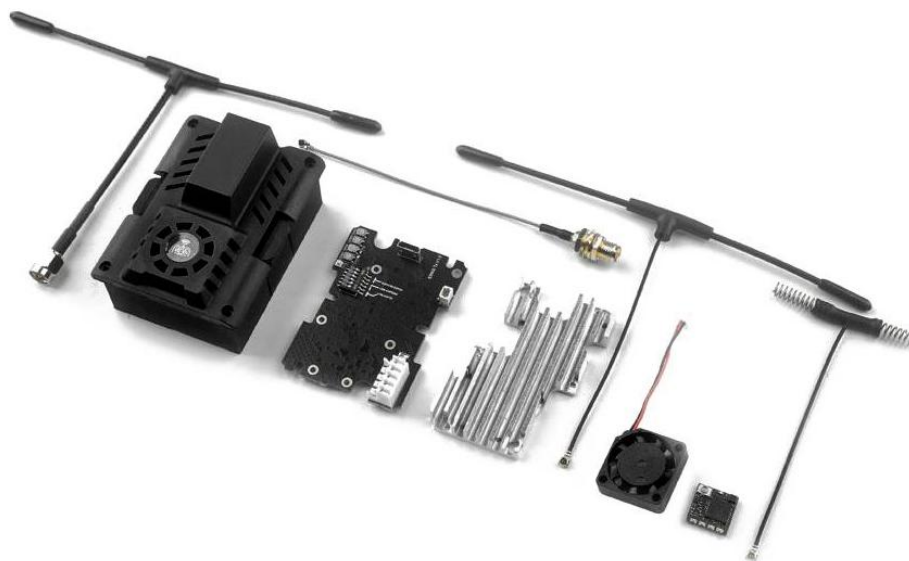


Рис 2.11 Наррymodel ExpressLRS ES900TX + ES900RX

Особливості

- Сумісний з пультами дистанційного керування OpenTX, включаючи Radiomaster TX16S і Jumper T12, T16 і T18.

- Модуль 900TX поставляється з вентилятором 2006 року, який дозволяє йому працювати автоматично, коли потужність передавача становить 250 мВт.

- Допомагає передавачу стабільно працювати в умовах високої потужності.

- Програмне забезпечення ExpressLRS з відкритим вихідним кодом.

- Надвеликий радіус дії

- Низька затримка

Технічні характеристики

ES900RX

Радіочастота: на вибір 915 мГц або 686 мГц (ЄС)

Вага: 0.60 грам (без урахування антени)

Вихідна потужність телеметрії: <17dBm

Робочий струм: ~ 100Ма

Роз'єм для підключення антени: IPEX1

Протокол Rx To FC: CRSF

Розмір: 12x12x3мм

Вхід VCC: 5v

ES900TX

Максимальна вихідна потужність: <33dBm (Для роботи >27dBm)

Частота RF на вибір: 915mhz або 868mHz (EU)

Розмір: 55x39x13мм (включаючи радіатор)

Вхід VCC: 5 ~ 13v, рекомендується 5v ~ 9v

Вага: 23 грами (без урахування антени)

Роз'єм антени: SMA

MCU: ESP32 + ESP8285

Висновки до розділу 2

На сьогоднішній день на ринку представлено широкий спектр систем керування БПЛА від простих хобійних систем які є досить дешеві, але їх можливості досить обмежені, до професійних, які є дорогостоячим та досить складним в розробці та експлуатації. В системах використовуються цікаві та технологічні рішення. Вибір системи керування та зв'язку є досить складною задачею, яке повністю впераетя у технічну задачу, поставлену конкретному БПЛА, а також в бюджет проекту.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТА РОЗРОБКА АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БПЛА

3.1 Антенна система зв'язку для наземної станції

Антенна решітка (АР) - складна антена, що містить сукупність випромінювальних елементів (одиначних антен або груп антен), розташованих у просторі в певному порядку, орієнтованих і збуджуваних так, щоб отримати задану діаграму спрямованості.

Антенна решітка дає змогу отримати необхідні радіотехнічні показники (напрямок, форму і ширину променя, коефіцієнт спрямованої дії, рівень бічних пелюсток тощо) шляхом формування певного розподілу амплітуд і фаз збудливих випромінювальних елементів струмів або полів (амплітудно-фазового розподілу, АФР), на відміну від поодиноких антен (наприклад, рупорних, дзеркальних), в яких це саме завдання вирішується вибором їхньої форми, розмірів, матеріалів, конструкції. В антенній решітці АФР фіксоване, можливість управління АФР у робочому режимі відсутня. Наприклад, для оперативної зміни напрямку променя в просторі випромінювальне полотно антенної решітки доводиться механічно повертати. Складніша антена - фазована антенна решітка (ФАР) дає змогу довільно змінювати АФР або здійснювати послідовно в часі чи одночасно кілька фіксованих варіантів АФР. Відмітною ознакою антенної решітки є об'єднання входів випромінювальних елементів в один єдиний вхід (наприклад, за допомогою розподільника або шляхом ефірного живлення), тому багатопроменева АР і АР із сумарно-різницевидами входами з механічним скануванням променя відносяться до фазованої антеної решітки.

Елементарний випромінювач антенної решітки

Як елементарні випромінювачі в АР можуть використовуватися різні антени як малої, так і великої спрямованості. Наприклад, у найпростіших решітках як елементарна антена можуть бути встановлені симетричні та несиметричні вібратори,

хвилевідні щілини, друковані випромінювачі тощо. У радіоастрономії використовують системи з декількох великих дзеркальних антен із вузькою діаграмою спрямованості, зорієнтованих в одному напрямку. Це дає змогу збільшити в N разів коефіцієнт посилення системи і приймати сигнал із простору на малих відношеннях сигнал/шум.

Варіанти конструкцій

Антенні елементи в АР можуть бути розташовані різним способом. Якщо фазові центри випромінювачів розташовані в одній осі, то решітка називається лінійною, якщо в площині - плоскою. Існують і більш складні варіанти розміщень антенних елементів у просторі. Найчастіше такі системи називають конформними, тому що вони повторюють форму поверхні, на якій розміщені випромінювачі. Наприклад, це може бути поверхня літального апарата, супутника землі або складний рельєф місцевості. Найбільш поширені антенні решітки, випромінювальні елементи яких розташовані в одній площині.

Формування випромінювання

Для того щоб отримати прийнятий із простору сигнал на виході АР, необхідно провести когерентне складання сигналів від усіх елементів антенної решітки. За це відповідає розподільна система, побудована на елементах НВЧ-тракту, що включають лінії передавання, системи управління і пристрої складання сигналів. Діаграма спрямованості формується амплітудним і фазовим розподілом по апертурі антени.

Амплітудний розподіл

Амплітудний розподіл - це залежність коефіцієнта передачі в конкретному випромінювальному елементі АР. Зазвичай для формування вузькоспрямованого випромінювання використовується рівномірний амплітудний розподіл, що спадає до країв апертури.

Фазовий розподіл

Фазовий розподіл - залежність різниці фаз між сусідніми випромінювачами. У загальному випадку визначає тимчасову затримку сигналу падаючої хвилі,

пов'язану з різницею ходу хвиль між сусідніми випромінювачами. На практиці найчастіше застосовуються два типи фазових розподілів:

- Синфазний (синфазна антена);
- Лінійний (антена біжучих хвиль).

У першому випадку антена формує випромінювання за нормаллю до апертури. Другий тип фазового розподілу дає змогу сформувати випромінювання під деяким кутом до апертури. Складніші фазові розподіли (наприклад, квадратичний) можуть застосовуватися для придушення бічних пелюсток ДН, формування діаграм спрямованості складної форми і при багатопробієвій роботі.

Адаптивні антенні решітки

У процесі роботи системи змінюються як зовнішні, так і внутрішні умови роботи. З'являються джерела перешкод (для РЛС), відмови окремих елементів, умови електромагнітної сумісності. У складних системах існує можливість підлаштувати характеристики спрямованості АР у процесі роботи. Для цього обчислювальний комплекс системи управління перебудовує за особливими алгоритмами коефіцієнти передавання в кожному просторовому каналі АР (елементарному випромінювачі), змінюючи тим самим амплітудно-фазовий розподіл так, щоб сформувати "нуль" у напрямку джерела завади, або компенсувати антенний елемент, що вийшов з ладу. Це дає змогу істотно підвищити якість роботи системи, поліпшити скритність (для РЛС). Такі системи отримали назву адаптивних антенних решіток.

Переваги та недоліки

Перевага антенної решітки перед іншими антенами полягає в

- Можливості застосування електричного сканування (переміщення променя в просторі без фізичної зміни положення антени);
- Підвищення посилення антени порівняно з елементарним випромінювачем;
- Можливість формування діаграми спрямованості складної форми;
- Адаптація до заводової обстановки і компенсація відмов обладнання;

Формування ДН косекансної форми для оптимізації використання енергетичного потенціалу системи за дальністю;

Можливість багатопроменевої роботи.

До недоліків системи можна виділити:

- Складність розрахунку конструкції та електричних параметрів;
- Звуження смуги, викликане спотворенням форми ДН на частотах, відмінних від розрахункової;
- Складність елементної бази і високі вимоги до неї;
- Високу вартість.

Структура панелі чотирьохелементної антенної системи

Як антена для пеленгації джерела сигналу і приймання інформації може бути використана плоска антенна решітка (АР), один із варіантів конструкції якої зображено на рис. 1. Кожен з елементів цієї чотирьохелементної АР складається з двох взаємно перпендикулярних півхвильових симетричних вібраторів [1]. Вібратори виготовлені у вигляді плоских широких смужок для розширення смуги робочих частот і спрощення технології виготовлення. До системи первинної обробки сигналів вібраторні елементи підключаються за допомогою двопровідних ліній. АР розміщується над прямокутним екраном.

Принципи побудови плоских еквідистантних рівноамплітудних АР, а також основні вирази для розрахунку їх параметрів, добре описано в літературі [2-4]. Основні розміри змодельованої АР наведено на рис. 1. Центральну частоту роботи АР вибрано 2,4 ГГц.

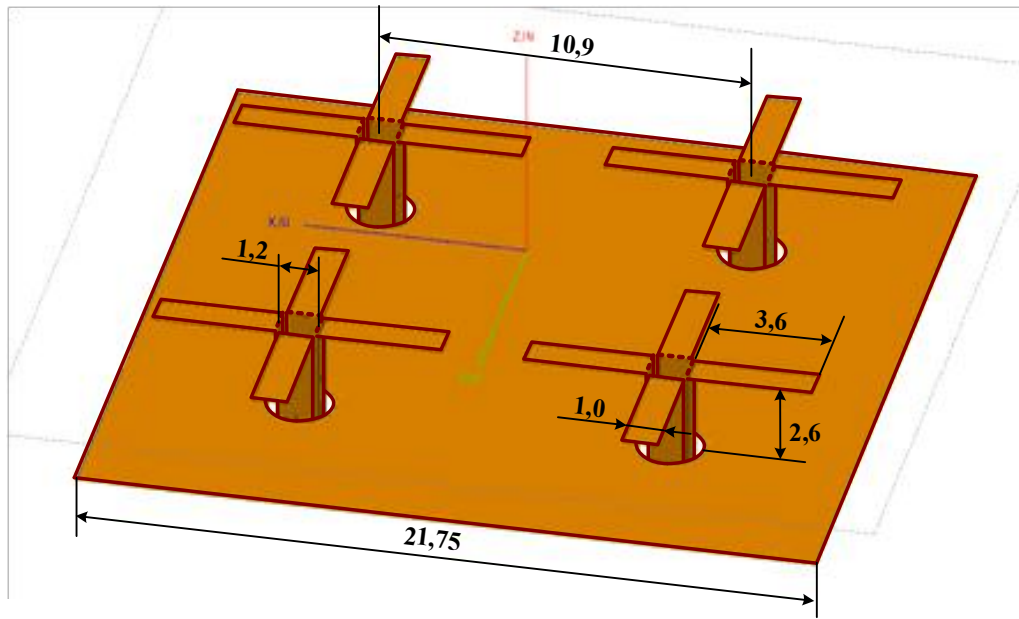


Рис. 3.1. Конструкція і розміри чотирьохелементної АР (одиниці вимірювання – см)

Після моделювання було отримано залежності основних параметрів АР від частоти роботи (Рисунок 3.2-3.5).

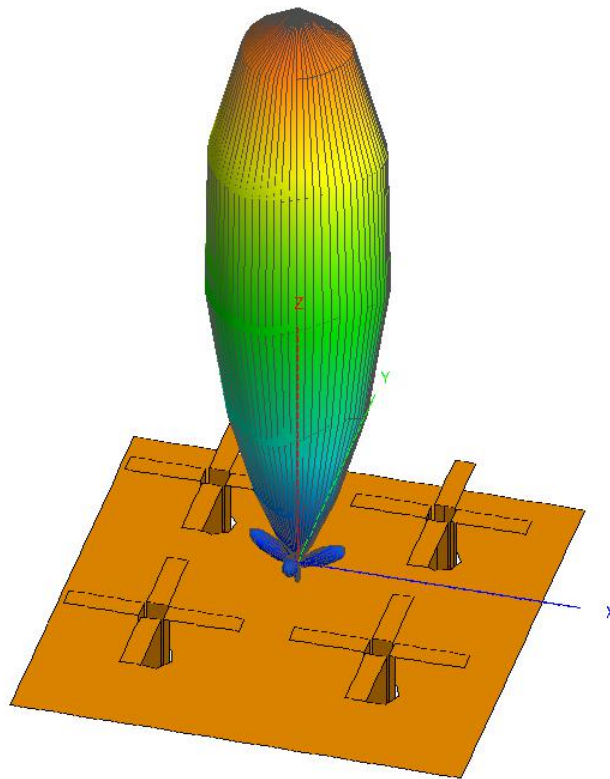


Рис. 3.2. 3D ДС АР на частоті 2,4 ГГц

— Frequency = 2.3 GHz
 — Frequency = 2.35 GHz
 — Frequency = 2.4 GHz
 — Frequency = 2.45 GHz
— Frequency = 2.5 GHz
 — Frequency = 2.55 GHz
 — Frequency = 2.6 GHz

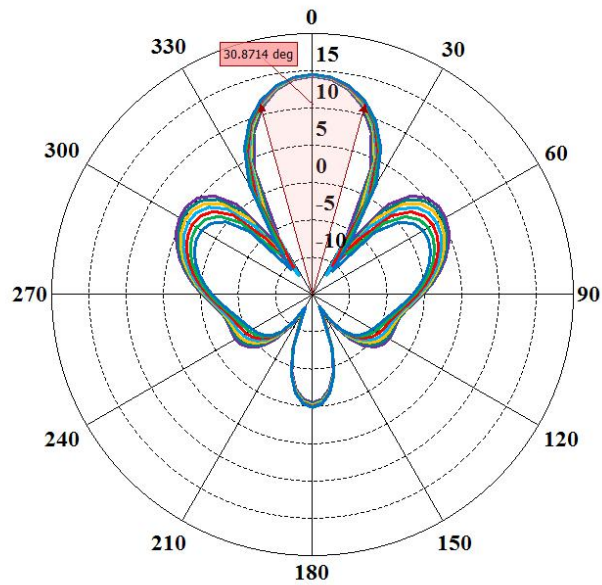


Рис. 3.3. ДС АР в полярній системі координат

Ширина ДС за випромінюванням половинної потужності становить близько 31 градусів.

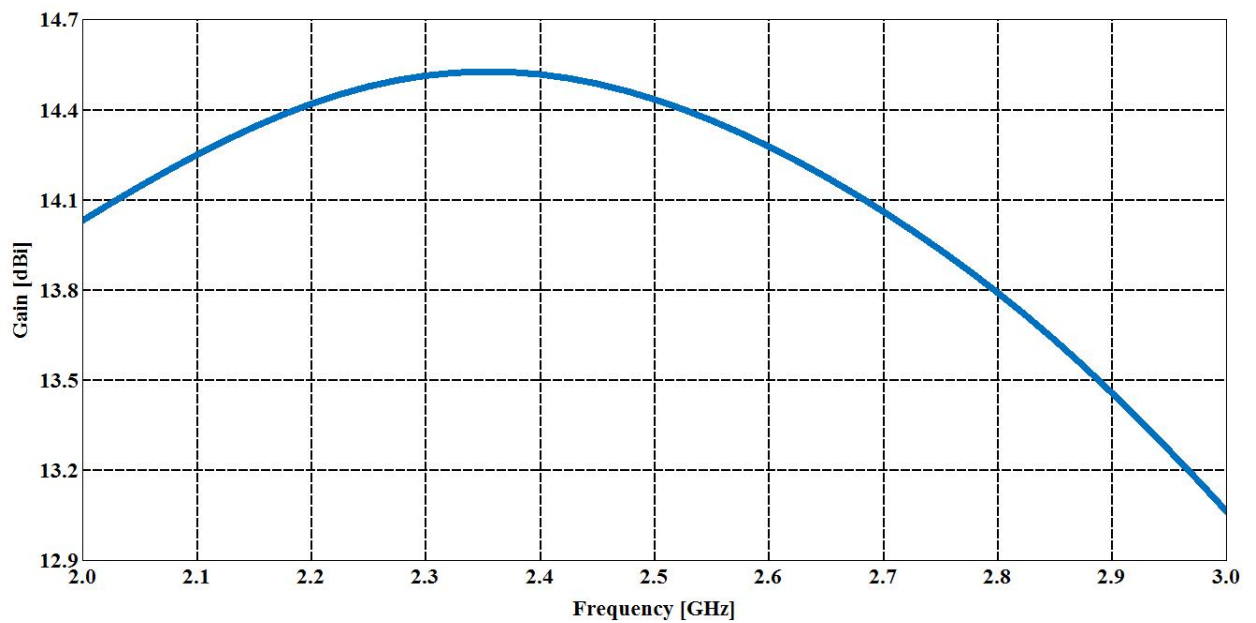


Рис. 3.4. Коефіцієнт підсилення АР в залежності від частоти в напрямку $\theta = 0$ град.

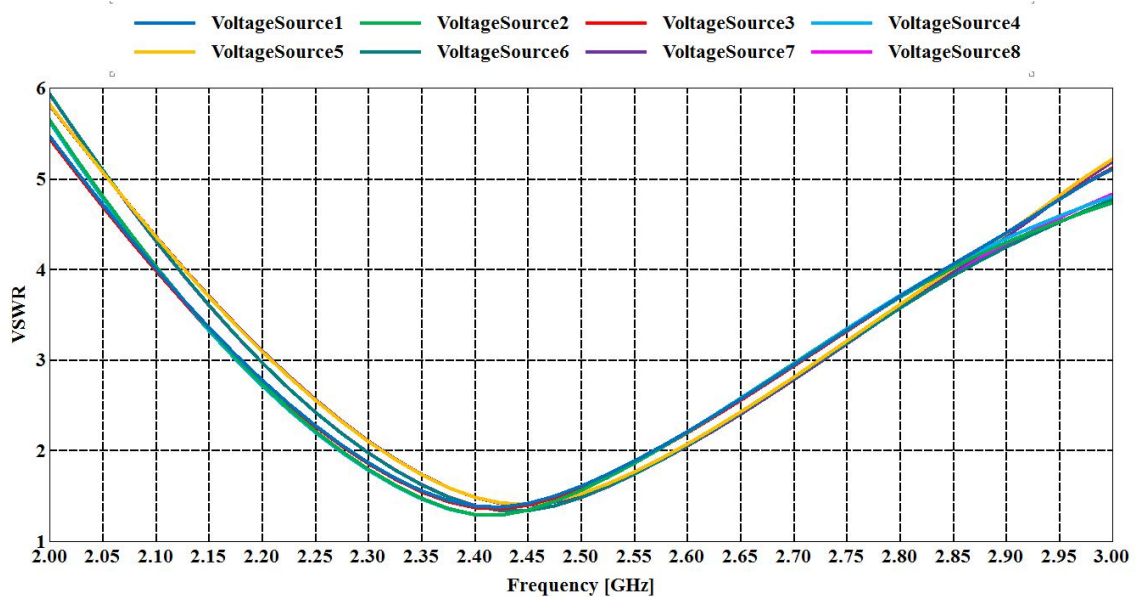


Рис. 3.5. Залежність КСХН АР від частоти роботи

3.2 Бортова антенна система зв'язку

У випадках, коли потрібно забезпечити випромінювання в широкій смузі робочих частот, використовують диско-конусну антену (рис. 3.6). Приклад реалізації дротової диско-конусної антени (ДКА) приведений на рис. 3.7 та 3.8. Диск діаметром $2R$ з'єднується з центральним провідником коаксіального кабелю. Конус, твірна якого має довжину l , приєднується на вершині до обплетення коаксіального кабелю. Кут розхилу конуса ψ впливає на ширину смуги пропускання і на вхідний опір антени. Для узгодження антени із стандартним фідером кут ψ беруть в межах $15..30^\circ$. При збільшенні кута ψ зростає ширина смуги пропускання за рахунок збільшення вищої граничної частоти. Діаметр коаксіалу d при збільшенні звужує робочу смугу частот. Найменшу робочу частоту, при якій коефіцієнт біжучої хвилі становить 0.5, називають частотою зрізу, оскільки подальше зменшення частоти призводить до різкого падіння КБХ. Найдовшу довжину хвилі, яка відповідає частоті зрізу, називають граничною довжиною хвилі і визначають таким чином $\lambda_{гр} \approx 3,6 l$.

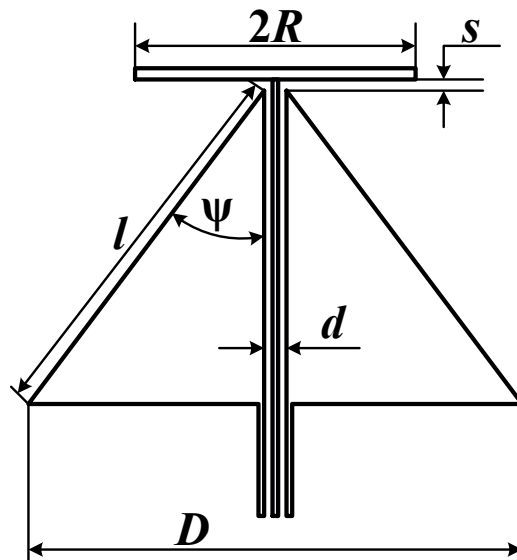


Рис. 3.6. Структура диско-конусної антени



Рис. 3.7. Дисконус радіостанції
«Сапфір», 200-500 МГц



Рис. 3.8. Широкопasmова
дисконусна антена AOR DA3200,
100-3000 МГц

Відстань між диском і вершиною конуса s також впливає на смугу робочих частот. При зменшенні розміру s смуга частот розширюється у бік вищих частот. Співвідношення між конструктивними розмірами антени виглядають так:

довжина твірної l визначається через граничну довжину хвилі

$$l = 0.28\lambda_{\text{гр}}; \quad (3.1)$$

діаметр основи конуса залежить від довжини твірної, кута розхилу ψ і діаметра коаксіалу на вершині конуса d

$$D = 2(l \sin \psi + 0.5d); \quad (3.2)$$

оптимальне значення відстані між диском і вершиною конуса визначають як

$$s = 0.3d; \quad (3.3)$$

діаметр диску вибирають рівним

$$2R = 0.7D. \quad (3.4)$$

Якщо використовують коаксіальний кабель, хвильовий опір якого становить 50 Ом, то при $\psi = 30^\circ$ коефіцієнт біжучої хвилі буде не нижчим за 0.5, тобто вхідний опір антени в робочій смузі частот добре узгоджується з хвильовим опором фідера. Коефіцієнт перекриття діапазону диско-конусної антени може досягати значень 4 і більше.

ДС в горизонтальній площині ненапрявлена. В вертикальній площині діаграма спрямованості в низькочастотній частині робочого діапазону така ж як і в короткого симетричного вібратора. З ростом частоти напрям максимального випромінювання відхиляється від площини диска, трохи наближуючись до поверхні конуса. На рис. 3.9 приведені ДС диско-конусних антен у вертикальній площині для трьох значень довжини хвилі і для двох значень кута ψ . З приведених ДС видно, що збільшення кута ψ розширює робочу смугу частот, тобто ДС при збільшенні частоти менше деформується. Приклад ДС диско-конусної антени в залежності від частоти роботи приведено на рис. 3.10.

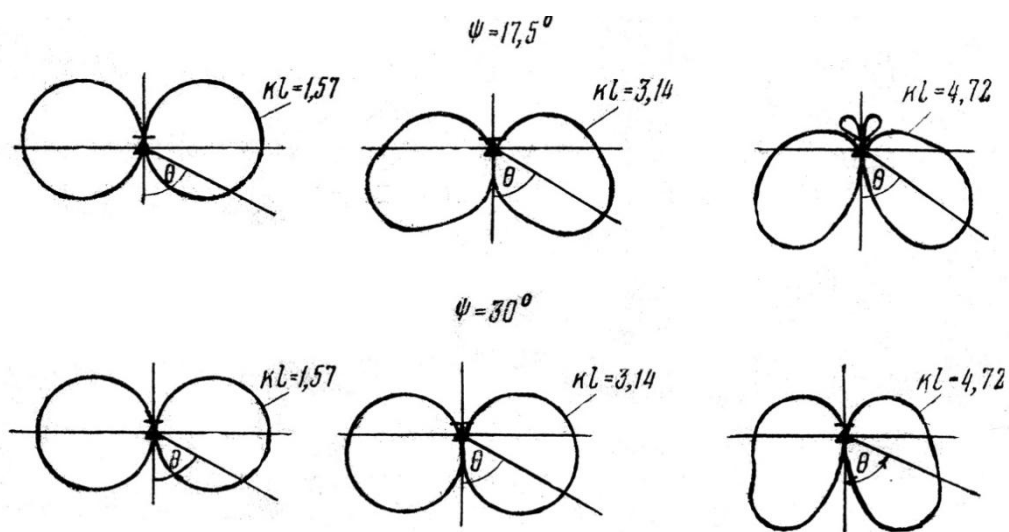


Рис. 3.9. ДС диско-конусної антени у вертикальній площині

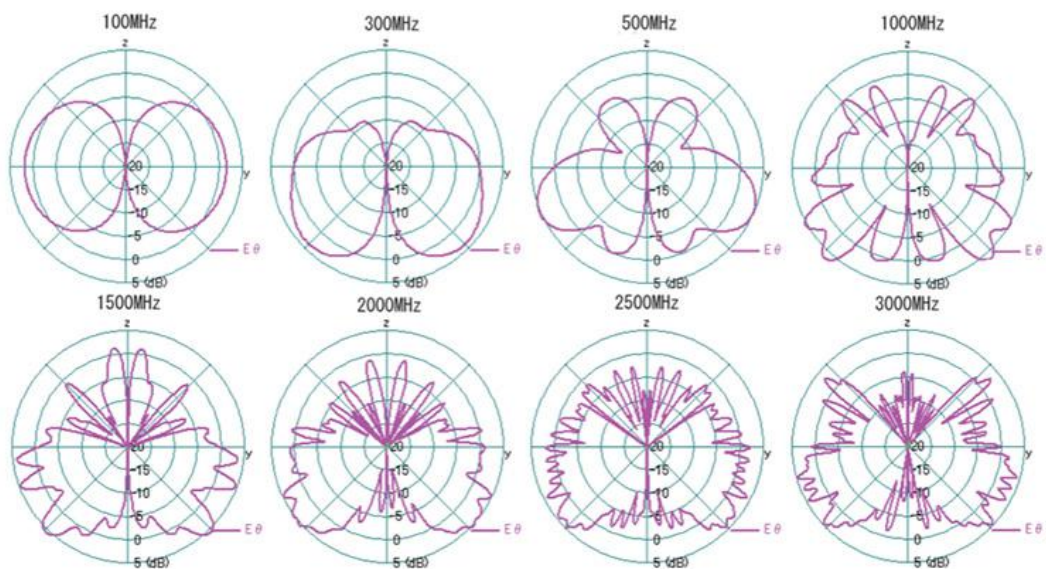
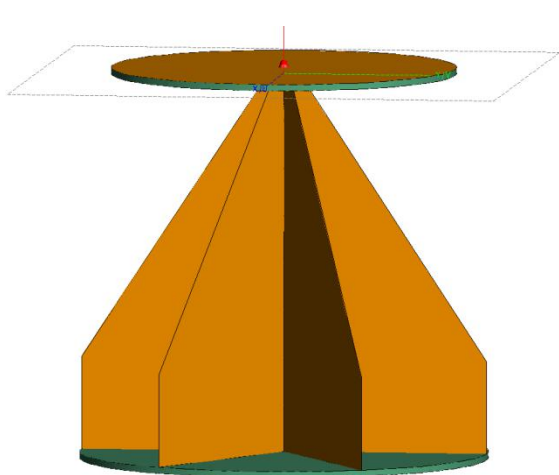
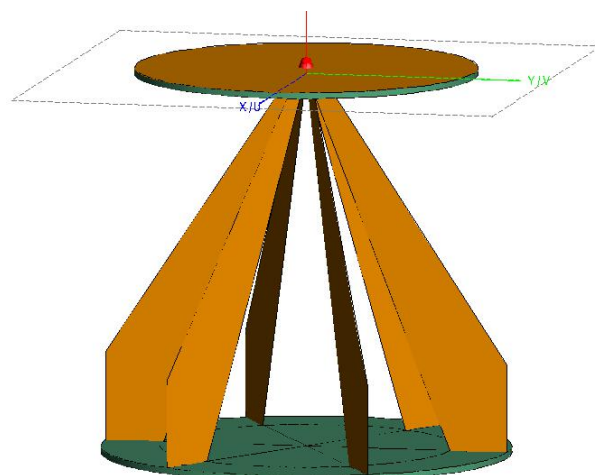


Рис. 3.10 ДС диско-конусної антени AOR DA3200

Використовуючи формули (3.1)-(3.4), розраховуємо розміри ДКА . Граничну частоту вибираємо рівною $f = 2,2$ ГГц. Тобто, гранична довжина хвилі $\lambda_{гр} = 0,14$ м. На рис. 3.11 показані два варіанти конструкції та основні розміри ДКА, для побудови якої було використано діелектричну підкладку FR-4 з наступними параметрами: $\epsilon=4.4$; $tg\delta=0.017$; $h=0.5$ мм.



Варіант 1



Варіант 2

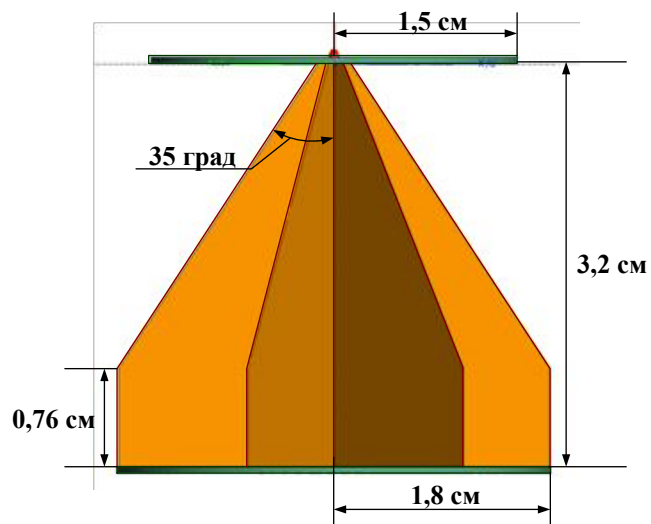


Рис. 3.11. Два варіанти конструкції і розміри ДКА

Отримані в результаті моделювання, графіки основних параметрів ДКА показано на рис. 3.12 - 3.18.

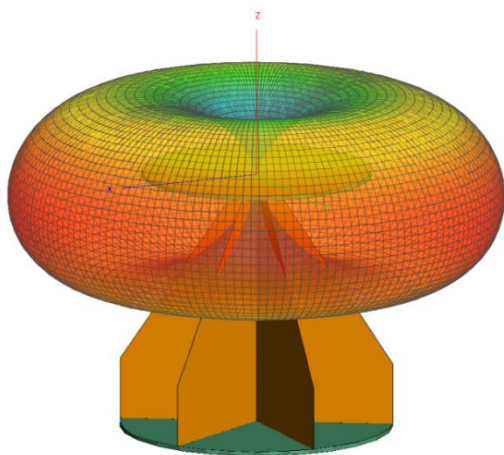


Рис. 3.12 3D ДС ДКА на частоті 3 ГГц

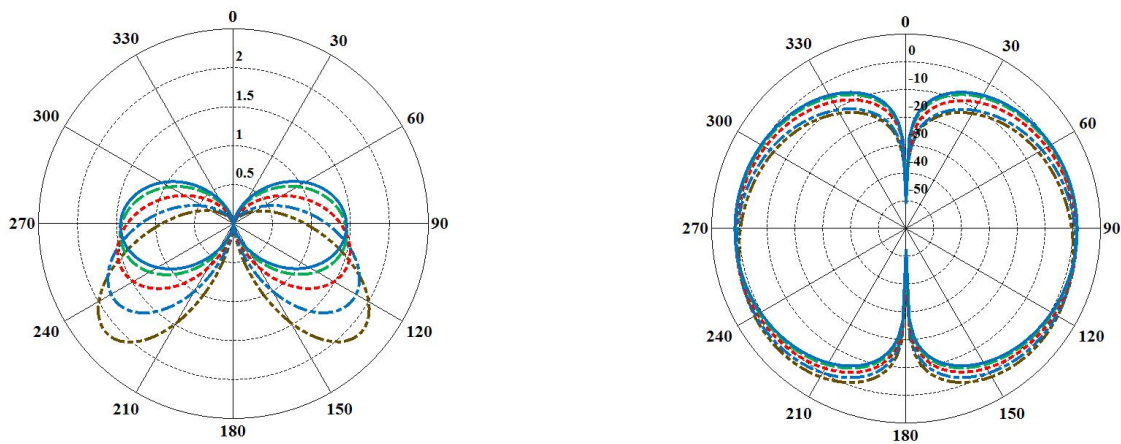
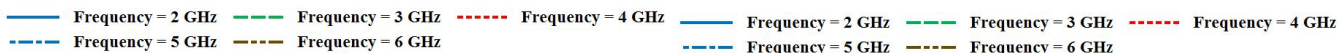


Рис. 3.13 ДС ДКА в полярній системі координат

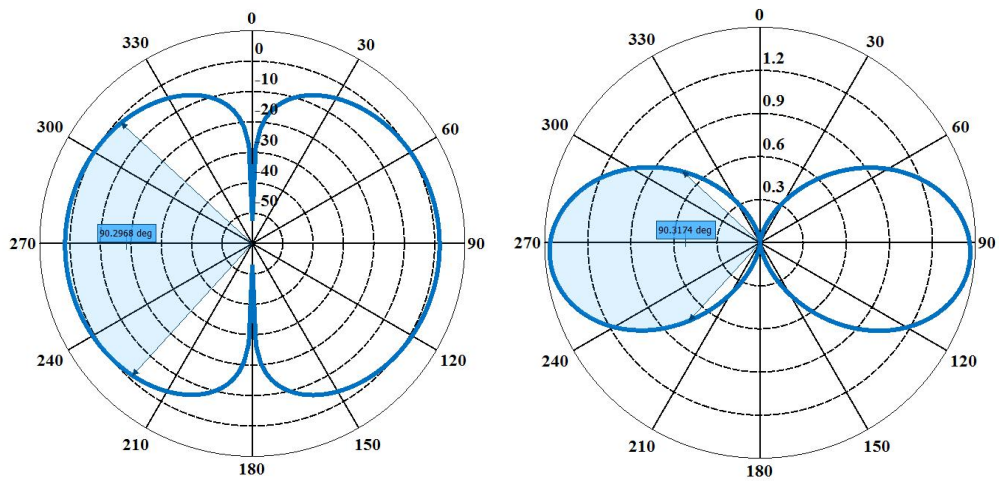
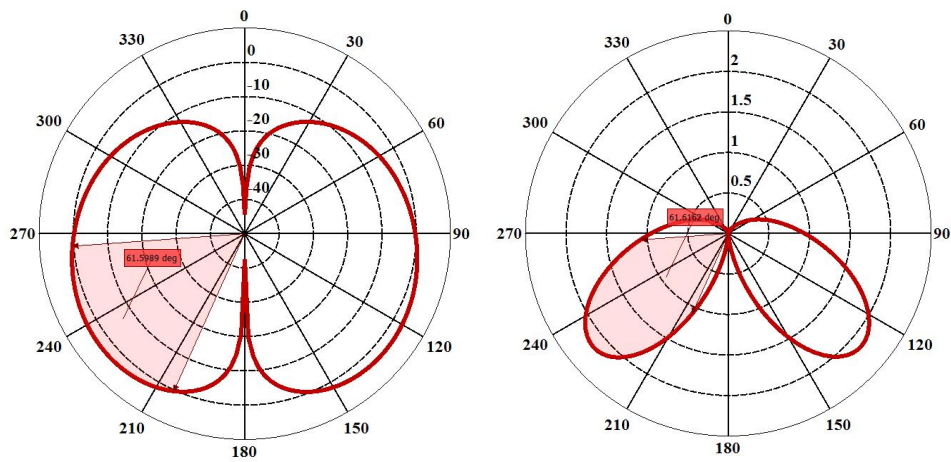
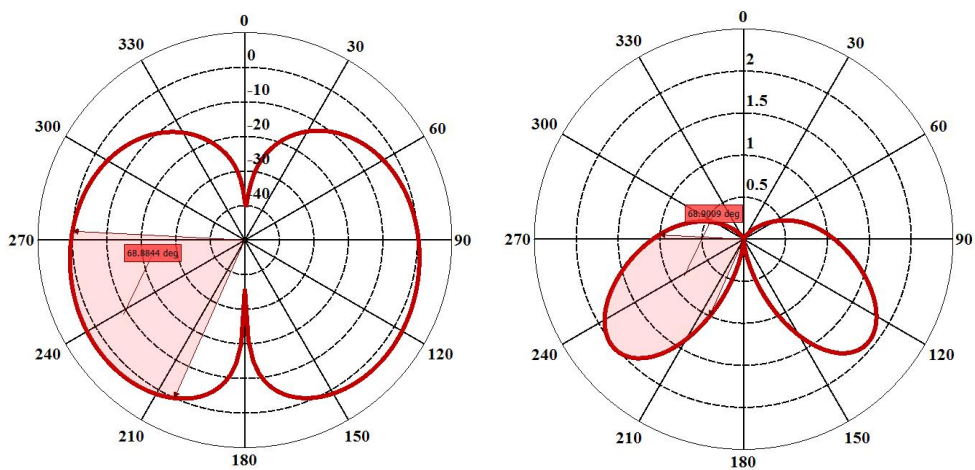


Рис. 3.14 ДС ДКА на центральній частоті 2,4 ГГц з позначенням ширини ДС на половинній потужності випромінювання (Варіант 1, 2)

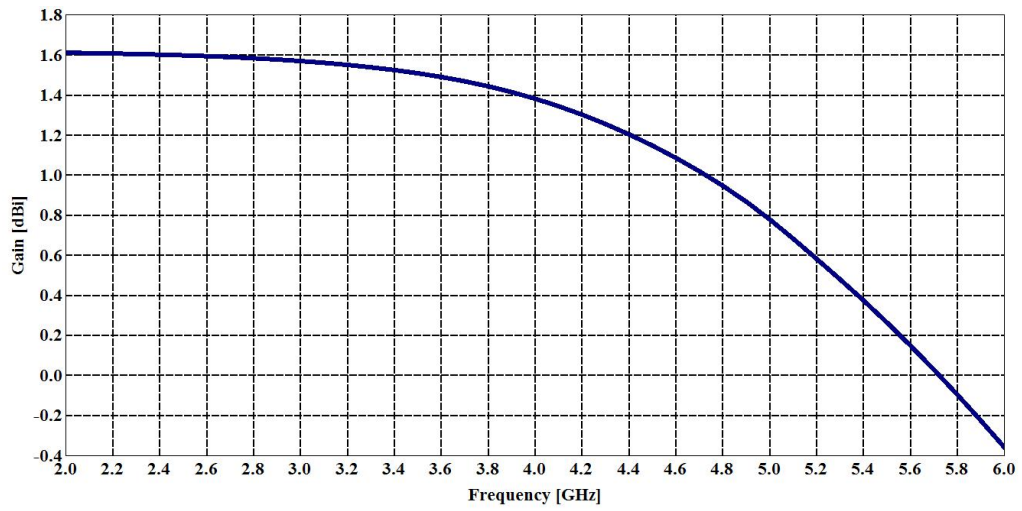


Варіант 1

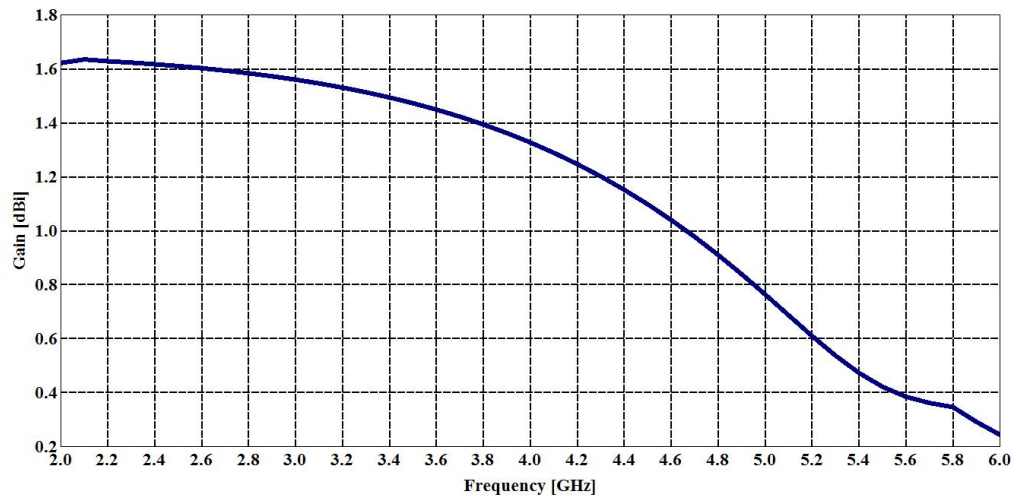


Варіант 2

Рис. 3.15. ДС ДКА на центральній частоті 5,8 ГГц з позначенням ширини ДС на половинній потужності випромінювання



Варіант 1



Варіант 2

Рис. 3.16. Коефіцієнт підсилення ДКА в залежності від частоти в напрямку $\theta = 90$ град.

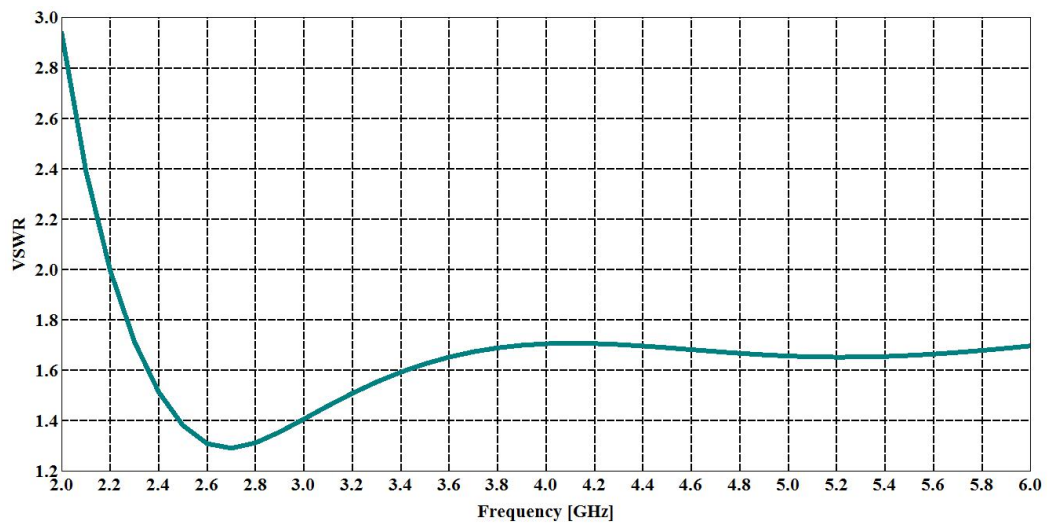


Рис. 3.17. Залежність КСХН ДКА від частоти роботи

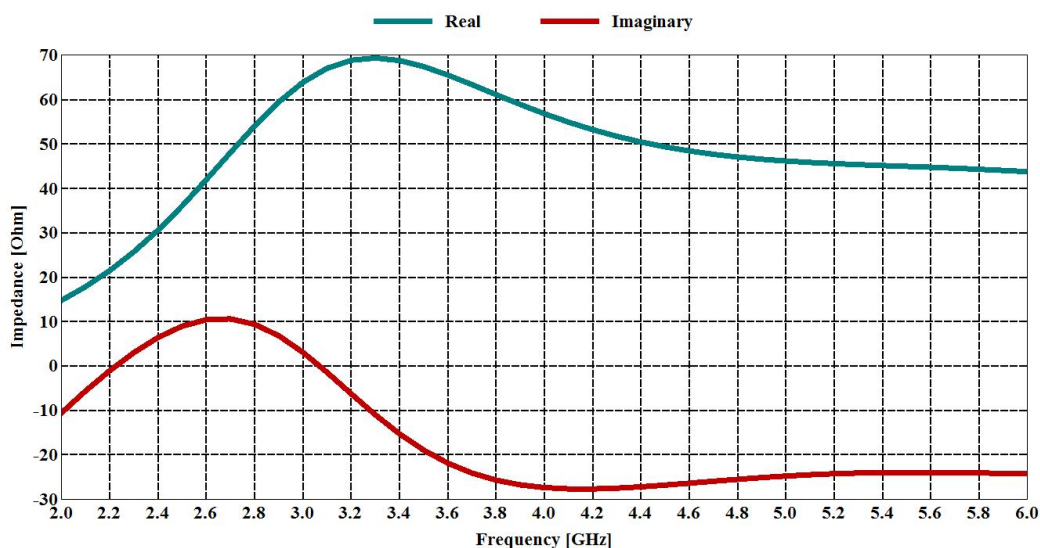


Рис. 3.18. Залежність дійсної і уявної складових вхідного опору ДКА від частоти роботи

Висновок до розділу 3

В даному проекті, проівнявши всі параметри доступних антен на ринку було прийняті наступні рішення:

Для наземної системи сконструювати адаптивну антенну решітку так як її параметри є досить влучними для поставленої задачі. Вона працює на широкій полосі частот, і підлаштовується під умови експлуатації тим самим зменшує рівень завад які перешкоджають зв'язку між наземною станією керування та БПЛА

Для бортової системи зв'язку сконструювати дискоконусну антену так як вона працює на потрібних частотах від 2.4 ГГц до 5.8ГГц. На цих частотах працює система відеовідтворення та зв'язок системи керування самим БПЛА, цим самим ми можемо використовувати дану антену для двох систем одночасно, що зменшує займаєму площу і вагу антенних систем нашого дрону. На багатьох безпілотах полегшення навантаження навіть на декілька грамів може значно покращити польотні характеристики, та поставити додаткове обладнання на борт.

В парі такі антени дають нам підвищену дальність польоту та покращену якість зв'язку за рахунок покращеної діаграми спрямованості на відміну від штирьових або патч-антенах які зазвичай використовуються в конструюванні БПЛА.

Замість використання декількох антен, ми використовуємо лише одну антену, що зменшує навантаження на БПЛА та зменшує швидкість розгортання системи, по прибуттю на точку.

За рахунок використання адаптивної антенної решітки досягнуто досить гнучкий та стабільний зв'язок, так як в одному із режимів використання антена стежить за безпілотником та підлаштовується під сигнал з БПЛА автоматично.

В додатковому режимі ми можемо вручному порядку підлаштовувати антену на прийом сигналу з дрону.

Також за рахунок використання такої системи можна допрацьовувати стійкість сигналу, забезпечити додаткову заводостійкість до зовнішніх факторів, таких як перехват над керуванням БПЛА.

За рахунок гнучкості системи є можливість постійно змінювати та покращувати систему зв'язку між наземною системою керування та БПЛА, корегувати параметри для конкретної задачі поставленої дрону.

Даний прототип можна використовувати в будь-якій системі керування будь то хобійна чи професійна система. Змінюючи потужність радіо передавача/приймача можна досягти абсолютно різних польотних характеристик.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Даний розділ містить інформацію з охорони праці інженера-електронщика відповідно до Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 29.01.1998 року № 9, Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26.01.2005 № 15 та Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 09.02.1998 № 4, з наступними змінами і доповненнями.

Охорона праці являється системою законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Складовими охорони праці є законодавство про працю, виробнича санітарія і безпека застосування різних технічних засобів на виробничих процесах включаючи пожежну безпеку.

Трудове законодавство регламентується законодавчими актами, основними з яких є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України „Про охорону праці“.

Конституційне право громадян нашої держави на охорону їх життя і здоров'я у процесі їх трудової діяльності відображено у Законі України, прийнятому Верховною Радою України 14 жовтня 1992 р. Дія закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності і виду їх діяльності, на всіх працюючих незалежно від їх посади і рівня кваліфікації.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. У державному стандарті України ДСТУ 2293-99 "Система стандартів безпеки праці.

Охорона праці. Терміни та визначення" встановлені терміни і визначення основних понять з охорони праці. Наведемо деякі з них:

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних або лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці;

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я та зниження працездатності працівника;

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника;

Нещасний випадок на виробництві – раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, внаслідок яких заподіяна шкода здоров'ю або наступила смерть;

Виробнича травма – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу виробничих факторів;

Виробниче середовище – сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності;

Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці – закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції та інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання;

Нагляд за охороною праці – одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів та інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

4.1 До роботи на посаді інженера-електроніка допускається особа

не молодше 18 років, яка має відповідну повну або базову вищу освіту відповідного напрямку підготовки (спеціаліст або бакалавр) має достатні теоретичні знання та професійні навички;

не має протипоказань до роботи за станом здоров'я;

пройшов попередній (під час прийняття на роботу) і періодичні (протягом трудової діяльності) медичні огляди (проводяться відповідно до Порядку

проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007 року № 246); пройшов навчання безпечним методам і прийомам виконання робіт, а також вступний інструктаж з питань охорони праці та інструктаж на робочому місці, перевірку знань вимог охорони праці, стажування на робочому місці (за необхідності) та має відповідну групу з електробезпеки. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на півроку.

4.1.2 Інженер-електронік відповідає за

правильне експлуатаційне обслуговування радіоелектронного устаткування для забезпечення його безперервної і високопродуктивної роботи

проведення перевірок роботи обладнання з метою своєчасного виявлення та усунення несправностей виконує інші функціональні обов'язки згідно з посадовою інструкцією.

4.1.3 Інженер з електроніки зобов'язаний

дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;

забезпечувати безпечну експлуатацію устаткування, комп'ютерних систем і телекомунікацій, безаварійну роботу електромережі, систем освітлення, вентиляції і кондиціонування повітря та іншого устаткування на дорученій ділянці роботи (профілактичний огляд, оцінка технічного стану, технічне обслуговування, планово-попереджувальні ремонти тощо;)

знати та виконувати вимоги нормативно-правових актів з питань охорони праці, що стосуються правил безпечної експлуатації та обслуговування радіоелектронної апаратури;

дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я інших людей в процесі виконання будь-якої роботи або під час перебування на території підприємства;

підтримувати порядок і чистоту на робочому місці та стежити за дотриманням особистої гігієни;

не допускати порушень правил пожежної безпеки;

використовувати інструмент, обладнання та засоби індивідуального захисту за призначенням, а також вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;

зберігати та вживати їжу у встановлених та обладнаних для цього місцях;

вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків та в інших ситуаціях;

знати місця зберігання аптечок, пожежного інвентарю, гідрантів, шляхи евакуації, а також номери телефонів екстрених служб;

знати способи звільнення потерпілого від ураження електричним струмом;

не виконувати вказівки, що суперечать правилам охорони праці та пожежної безпеки;

проходити навчання, інструктажі та перевірку знань з питань охорони праці та пожежної безпеки згідно із затвердженими графіками;

негайно повідомляти безпосереднього керівника на підприємстві (в установі) про ситуації, що загрожують життю і здоров'ю людей;

пропонувати керівництву шляхи та засоби вирішення завдань і проблем з охорони праці у разі недостатності власних сил і засобів.

Вимоги безпеки перед початком роботи

4.2.1. До роботи з радіоелектронною апаратурою допускаються працівники, які ознайомлені зі схемами роботи, інструкціями з експлуатації, інструкціями з охорони праці, особливостями обладнання та пройшли відповідне навчання.

4.2.2. Перед початком роботи інженер-електронник повинен

ознайомитися зі станом і режимом роботи обладнання на своїй ділянці в обсязі, встановленому відповідною інструкцією;

у разі роботи позмінно отримати від працівника попередньої зміни інформацію про стан обладнання, за яким необхідно ретельно стежити, а також про стан обладнання, що знаходиться в ремонті або резерві;

перевірити і прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, засоби захисту, експлуатаційну документацію тощо

ознайомитися з усіма записами і розпорядженнями, зробленими за період, що минув з моменту його останньої зміни;

підготувати необхідні засоби індивідуального захисту;

якщо це передбачено відповідною інструкцією, зробити запис про приймання зміни в журналі, а також в оперативній схемі за власним підписом і підписом працівника, який її здає;

доповісти начальнику зміни про початок роботи та про виявлені під час приймання зміни неполадки.

4.2.3. Забороняється допускати до роботи працівника з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також з явними ознаками захворювання.

Вимоги безпеки під час виконання робіт

4.3.1. Під час роботи інженер-електронник зобов'язаний

утримувати радіоелектронне обладнання в справному технічному стані;

застосовувати безпечні методи роботи, що відповідають вимогам правил охорони праці;

утримувати своє робоче місце в порядку і чистоті, при необхідності правильно користуватися засобами індивідуального та колективного захисту;

звертати увагу на поведінку інших працівників, стан їх здоров'я, стежити за дотриманням вимог виробничої санітарії та пожежної безпеки;

вести технічну та експлуатаційну документацію, затверджену в установленому порядку.

4.3.2. Інженеру-електроніку забороняється

працювати в умовах недостатнього освітлення;

палити в приміщеннях;

залишати без нагляду електронагрівальні прилади.

4.3.3 Під час роботи необхідно постійно стежити за справністю обладнання, інструменту, запірних пристроїв, сигналізації, електропроводки.

4.3.4. Після ремонту електронного обладнання інженер-електронник зобов'язаний перевірити його справність у присутності працюючих на ньому робітників і ввести обладнання в експлуатацію.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.4.1 Після закінчення роботи необхідно навести порядок на робочому місці;

4.4.2 Відключити і знеструмити обладнання, оргтехніку, вимкнути світло.

4.4.3. Прибрати інструменти і матеріали, що використовуються в процесі виробництва, в місце, призначене для їх зберігання;

4.4.4. Перевірити записи, зроблені під час роботи в оперативних журналах.

4.4.5. Доповідати безпосередньому керівнику робіт про виявлені несправності і неполадки в роботі обладнання та інші фактори, що впливають на безпеку праці.

4.4.6. Виконувати інші заходи, передбачені посадовою інструкцією або іншими локальними актами.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.5.1. У разі виникнення аварійних ситуацій та аварій на виробництві (поява запаху газу, задимлення, виявлення підвищеного тепловиділення від обладнання, підвищення рівня шуму під час його роботи, замикання заземлення, загоряння матеріалів та обладнання, раптове відключення електроенергії тощо) необхідно негайно вжити заходів щодо їх усунення.

4.5.2. Якщо працівник не в змозі самостійно вжити ефективних заходів щодо усунення виявлених ним порушень в роботі обладнання, він зобов'язаний негайно повідомити про це свого безпосереднього керівника, а в разі його відсутності - керівника вищого рівня і викликати, при необхідності, представників аварійної та (або) технічної служб.

4.5.3. У разі виникнення пожежі, задимлення або загазованості необхідно негайно вжити заходів щодо евакуації людей з приміщення відповідно до затвердженого плану евакуації та приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння. Якщо загорівся електрокабель або електрообладнання, необхідно без зволікання знеструмити їх.

4.5.4. У разі нещасного випадку (травмування) необхідно надати першу медичну допомогу потерпілому, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, повідомити про подію керівництву.

4.6 Аналіз умов праці на робочому місці інженера-електронника на робочому місці.

Роботи з аналізу замовлень і коригування розвезення друкованих плат проводяться в спеціалізованих лабораторіях або обчислювальних центрах, обладнаних електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ) зі спеціалізованим програмним забезпеченням і комп'ютеризованим лабораторним обладнанням. Використання такого обладнання пов'язане з впливом низки шкідливих чинників, таких як: випромінювання від дисплеїв, шум від лабораторного обладнання, високий рівень електромагнітного випромінювання тощо.

Проаналізуємо основні шкідливі фактори, що виникають під час проведення тестування та коригування файлів ПП у лабораторії або обчислювальному центрі (ОЦ) під час роботи на персональній електронно-обчислювальній машині (ПЕОМ).

4.7 Основні нормативні документи.

Нормативи СанПіН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин та організації роботи" та санітарно-епідеміологічні правила в редакції СанПіН 2.2.2/2.4.2198-07. "Зміна № 1 до СанПіН 2.2.2/2.4.1340-03" від 1 липня 2007 року. Які відповідають вимогам ГОСТ Р 50948-96 і регламентують організацію робочого місця та умов праці оператора ПЕОМ.

4.8 Інструкції з атестації робочого місця.

Правила щодо забезпечення охорони праці є обов'язковими для всіх сучасних підприємств, незалежно від роду діяльності та масштабів організації. Охорона праці являє собою систему соціально-економічних, правових, організаційно-технічних, реабілітаційних, профілактичних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки здоров'я і життя співробітників під час перебування на робочому місці.

Охорона праці на виробництві являє собою один з найважливіших аспектів діяльності будь-якої компанії і повинна забезпечуватися на найвищому рівні. Для врахування всіх нюансів необхідно звертатися виключно в профільні, акредитовані організації, що володіють достатнім досвідом, а також виробничою базою.

Наявність ефективної системи управління охороною праці є необхідною умовою для повноцінного функціонування будь-якої компанії, оскільки дає змогу здійснювати управління ризиками в цій галузі. Згідно із законодавством усі роботи

із забезпечення охорони праці повинні виконуватися безпосередньо роботодавцем. Втім, будь-яка організація може покласти ці обов'язки на сторонні компанії, які мають відповідну акредитацію.

Охорона праці на підприємстві передбачає обов'язкове ознайомлення робочого персоналу з подібними документами та їх неухильне виконання. Порухення правил, що містяться в цих інструкціях, прирівнюється до порушень трудової дисципліни.

Крім того, на вимогу замовника, наша компанія може провести комплексний аналіз організації, для проведення повного циклу розроблення системи управління охорони праці.

Процедура атестації робочих місць являє собою оцінку умов трудової діяльності на кожному окремому робочому місці. Це дає змогу визначити наявність небезпечних і шкідливих факторів, які можуть вплинути на здоров'я і життя співробітників компанії. Крім того, атестація робочих місць передбачає здійснення комплексних заходів щодо виправлення виявлених недоліків для приведення робочих місць до стану, що задовольняє сучасним нормам законодавства в галузі охорони праці. Проведення атестації робочих місць має здійснюватися всіма організаціями не рідше ніж раз на 5 років.

Атестація робочих місць проводиться незалежно від характеру діяльності організації. Відсутність передбачуваних шкідливих факторів у виробничому процесі не є достатньою підставою для відмови від проведення атестації

Висновок до розділу Охорона праці

Охорона праці є, була і буде основним правилом безпеки в тій чи іншій спеціальності. Не дарма кажуть «Охорона праці написана кров'ю». Це сукупний набір правил, які потрібно запам'ятати назавжди, та не порушувати ні при яких умовах, так як це може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Інженер електронік працює в умовах підвищеної небезпеки, так як в його роботі є електричний струм, високі температури, різні види опромінення як радіоактивного так і електромагнітні. Також в роботі присутні небезпечні випаровування та механічні чинники які можуть призвести до будь-яких травм.

Не нехуйте правилами безпеки та охороною праці, працюйте тільки в придатних для того умовах. Завжди використовуйте тільки справні інструменти. Використовуйте якісне захисте спорядження і правильну вентиляцію.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Електромагнітний фон існував на планеті повсякчас. Він сприяв розвитку життя, але, здійснюючи природний вплив, що не завдає шкоди довкіллю. Так, наприклад, люди могли піддаватися електромагнітному випромінюванню, використовуючи у своїй діяльності дорогоцінні й напівкоштовні камені.-

Електромагнітне поле (ЕМП) – особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно складається з двох окремих полів – електричного та магнітного. Силкові лінії цих полів взаємно перпендикулярні. Електромагнітне поле у просторі поширюється у вигляді електромагнітної хвилі, яка переносить енергію, замкнену в електричному та магнітному полях. Електричні та магнітні поля змінюються одночасно одне з одним. При цьому співвідношення між їх миттєвими значеннями завжди залишаються сталими. Лише на близьких від джерела відстанях, у так званій зоні несформованого поля, ця закономірність порушується. Через електромагнітне поле передаються всі види електромагнітного випромінювання – від низькочастотного (радіохвилі) до високочастотного (рентгенівське та гамма-випромінювання). Після того, як в промисловому житті стали використовуватися прилади, що працюють від електроенергії, а в побутовому житті – електротехніка, інтенсивність випромінювання підвищилася. Це призвело до появи хвиль такої довжини, яких раніше в природі не існувало. Іншими словами будь-який прилад, який працює на електроенергії, є джерелом електромагнітного забруднення і утворює у просторі різні хвилі: радіохвилі; ультрафіолетові; інфрачервоні; наддовгі; жорсткі; рентгенівські; терагерцеві; гамма; видиме світло.

Джерелами електромагнітного випромінювання у виробничому приміщенні можуть бути неекрановані робочі елементи високочастотних установок (індуктори,

конденсатори, ВЧ-трансформатори, фідерні лінії, батареї конденсаторів, котушки коливальних контурів тощо). Під час експлуатації ВЧ-, ДВЧ-, УВЧ-передавачів на радіо- та телецентрах джерелами електромагнітного випромінювання є високочастотні генератори, антенні комутатори, пристрої складання потужностей електромагнітного поля, комунікації (від генератора до антенного пристрою), антени.

З появою джерел забруднення антропогенного характеру, електромагнітні поля стали чинити негативний вплив і на здоров'я людей, і на природу в цілому. Так з'явилося явище електромагнітного смогу. Він буває як на відкритих просторах, в місті і за його межами, так і в приміщеннях. Електромагнітне забруднення становить небезпеку для екології, оскільки негативно впливає на навколишнє середовище. Як саме воно відбувається, достовірно невідомо, але випромінювання впливає на мембранну структуру клітин живих організмів. Також випромінювання уповільнює регенерацію тканин рослин і тварин, призводить до зниження виживаності і підвищення смертності. Крім цього, опромінення сприяє розвитку мутації. В результаті забруднення цього типу у рослин змінюються розміри стебел, квіток, плодів, змінюється їх форма. У деяких видів фауни при впливі електромагнітного поля сповільнюється розвиток і зростання, підвищується агресія. У них страждає центральна нервова система, порушується обмін речовин, погіршується функціонування репродуктивної системи аж до безпліддя. Також забруднення сприяє порушенню чисельності видів різних представників в межах однієї екосистеми. Щоб знизити рівень електромагнітного забруднення, застосовується нормативне регулювання роботи джерел випромінювання. У зв'язку з цим забороняється застосовувати прилади з хвилями, які вище або нижче дозволених діапазонів. За використання обладнання, яке випромінює електромагнітні хвилі, стежать національні та міжнародні інститути, контрольні органи і Всесвітня організація охорони здоров'я.

Всі живі тканини мають магнітні властивості, на які в тій чи іншій мірі впливає наявність електромагнітного випромінювання в навколишньому середовищі. Тому

всі живі істоти, включаючи рослини, мікроби, тварин і людину, є екологічними індикаторами впливу електромагнітного випромінювання. Випромінювання - це процес, за допомогою якого енергія поширюється у вигляді хвиль або частинок через простір або яесь інше середовище. Радіочастотні та мікрохвильові хвилі можуть бути використані для передачі інформації за допомогою амплітудної, частотної та фазової модуляції, наприклад, дані з телебачення, мобільних телефонів, бездротових мереж та аматорського радіо.

Радіо і телевізійне мовлення використовує частоти 100 - 200 мегагерц. Системи мобільного зв'язку використовують частоти 800 і далі мега- і гігагерц. Мікрохвильові печі використовують частоту 2,4 ГГц. Мікрохвильові печі часто протікають, тому не рекомендується дозволяти дітям перебувати поруч з ними, коли вони увімкнені. Радари, що використовуються у військово-морській та авіаційній техніці, охоплюють більш високий діапазон частот. Їх дія є токсичною для тканин, оскільки вміст води в тканинах нагрівається, спричиняючи пошкодження тканин.

Електромагнітний вплив на живі клітини та ДНК

Живі організми відчують електромагнітні випромінювання. Очні рецептори сприймають світло у візуальному діапазоні частот, а шкіра має теплові рецептори. Це приклади фізіологічних електромагнітних сенсорів. Це лише незначний сегмент електромагнітного випромінювання, яке ми використовуємо. Шкіра людей і тварин може проводити електромагнітні поля. Електромагнітне випромінювання може з'єднуватися з провідником або речовиною з діелектричними властивостями, такою як живі тканини, і рухатися вздовж нього, індукуючи електричний струм на його поверхні шляхом збудження електронів провідного матеріалу. Діелектричні властивості біологічної тканини є результатом взаємодії електромагнітного випромінювання з її складовими на клітинному та молекулярному рівні. Діелектрична проникність - це міра опору, який виникає при формуванні електричного поля в середовищі. Це міра того, скільки електричного поля (поток)

"генерується" на одиницю заряду в цьому середовищі. Електропровідність вимірює здатність матеріалу проводити електричний струм. Деякі частоти хвиль можуть проникати через шкіру і впливати на більш глибокі тканини. Мікрохвилі поглинаються молекулами, які мають дипольний момент в рідинах. Диполь може бути створений, наприклад, коли ви поміщаєте молекулу в електричне поле, створюючи поділ між позитивними і негативними зарядами. У мікрохвильовій печі цей ефект використовується для нагрівання молекул води в нашій їжі. Аналогічно, інші мікрохвильові пристрої (наприклад, мобільні телефони) можуть нагрівати молекули води в тканинах нашого тіла, якщо інтенсивність мікрохвильового поля, що випромінюється телефоном, досить сильна, або якщо телефонна розмова триває тривалий час, і тканини тіла нагріваються.

Електромагнітна дозиметрія - це моделювання ситуацій електромагнітного опромінення та розрахунок внутрішніх полів всередині опромінених структур. Сьогодні для досліджень доступні анатомічно правильні моделі людини і тварин з високою роздільною здатністю, отримані на основі даних медичної візуалізації (Dimbylow 1996). Понад 30 типів тканин можуть бути однозначно ідентифіковані. SAR, або питома швидкість поглинання, є мірою кількості енергії, що поглинається нашими тканинами під впливом радіочастотних/міліметрових хвиль, хоча вона також може відноситися до поглинання тканинами інших форм енергії. SAR зазвичай використовується для вимірювання потужності, що поглинається мобільними телефонами або під час МРТ-сканування. Різні тканини поглинають енергію по-різному. Одним з факторів, що впливає на SAR, є відносний вміст води в тканині, оскільки молекули води нагріваються мікрохвилями. Значення SAR залежить від геометрії частини тіла, яка піддається опроміненню, а також від точного розташування і геометрії джерела енергії.

Довготривалий безперервний або щоденний повторюваний вплив ЕМП викликає клітинні стресові реакції при нетеплових рівнях потужності, які призводять до накопичення помилок в ДНК. Пошкодження хромосом є механізмом, що має відношення до виникнення вроджених дефектів та раку. На проліферацію та

диференціацію біологічних клітин можуть сильно впливати як змінні, так і постійні магнітні поля (Portelli et al., 2013). При перевірці впливу на здоров'я необхідно вимірювати як змінні, так і постійні поля. Цінну інформацію дають порівняльні дослідження на тваринах, які покладаються на електромагнітну орієнтацію. Вплив електромагнітного випромінювання на рослини і тваринний світ включає в себе зменшення радіального росту соснових дерев, зниження щільності видів птахів і ссавців, таких як лелеки, горобці і кажани, вплив на бджіл, вплив на магнітні механізми самонаведення птахів і багато інших ефектів. Рослини і тварини можуть контролюватися як екологічні індикатори для оцінки впливу електромагнітного випромінювання.

Реакція рослин на електромагнітного випромінювання

Рослини поглинають електромагнітне випромінювання. Деякі рослини можуть бути використані як індикатори його присутності. Девіс та ін., 1971, продемонстрували чутливість певних рослин і тижнів до надвисокочастотного електромагнітного поля (2450+/-20 мегагерц). Балодіс та ін., 1996, використовували радіолокаційну станцію Скрунда, яка працювала і випромінювала електромагнітне випромінювання безперервно протягом більше 20 років, для вивчення впливу імпульсних радіочастотних електромагнітних полів. Екологічним індикатором, що досліджувався, були сосни. Дослідники продемонстрували, що радіальний приріст сосни зменшився на всіх ділянках, які зазнали впливу електромагнітного випромінювання. Це зменшення приросту почалося після 1970 року, що співпало з початком експлуатації Скрундської РЛС, і в подальшому спостерігалось протягом усього періоду досліджень. Оцінювався вплив багатьох інших екологічних та антропогенних факторів, але інших значущих впливів на ріст дерев не спостерігалось.

Ben-Izhak Monselise et al, 2011, та Parola et al, 2005 продемонстрували унікальний метод біомоніторингу впливу електромагнітного випромінювання та клітинного стресу за допомогою рослин. Водні рослини (ряска, *Landoltia punctata*, також відома як *Spirodela oligorrhiza*) піддавалися протягом 24 годин впливу

радіочастотного електромагнітного випромінювання в діапазоні від 7,8 В/м до 1,8 В/м, що генерувалося передавальними антенами АМ 1,287 МГц. Дослідники продемонстрували накопичення аланіну в клітинах рослин - явище, яке, як було показано раніше, є універсальним сигналом стресу. Величина ефекту якісно відповідала рівню впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання. У присутності 10 мМ вітаміну С накопичення аланіну повністю пригнічувалося, що свідчить про залучення до цього процесу вільних радикалів.

Електромагнітні поля як чинник впливу на життєдіяльність тварин

Багато тварин, таких як мігруючі метелики, поштові голуби, медоносні бджоли, морські черепахи і білухи, мають фізіологічні магніторецептори певного роду. Вони використовують природні магнітні поля, щоб керувати своїми подорожами на величезні відстані. Магнетит міститься в нервових тканинах, м'язах, кістках і зубах людини, а також у комах - у черевці медоносних бджіл, головах і черевцях деяких мурах. Можливо, певну концентрацію кристалів магнетиту мають і інші тканини. В даний час механізм, за допомогою якого ці кристали магнетиту передають електромагнітні сигнали, які вони сприймають, не відомий. (Kirschvink et al., 1992; Russel et al., 2008). На орієнтацію танців медоносних бджіл впливає магнітне поле Землі (Gould et al., 1980). Показано, що вплив випромінювань стільникових телефонів призводить до біохімічних змін у робочих бджіл (Kumar et al., 2011). Спочатку було продемонстровано зниження рухової активності робочих бджіл на стільниках, після чого відбулася масова міграція і рух до "розмовного режиму" мобільного телефону. Початковий період спокою характеризувався підвищенням концентрації біомолекул, включаючи білки, вуглеводи та ліпіди, що, можливо, пов'язано зі стимуляцією механізмів організму, спрямованих на боротьбу зі стресовим станом, викликаним впливом електромагнітного випромінювання. В іншому дослідженні, проведеному в Індії (Sainudeen Sahib 2011), кілька бджолиних сімей піддавалися впливу мобільних телефонів з частотою 900 МГц протягом 10 хвилин протягом короткого періоду в десять днів. Після десяти днів впливу електромагнітних полів робочі бджоли так і не повернулися до вуликів

у тестових колоніях. Дослідник припускає, що це було пов'язано з погіршенням навігаційних навичок бджіл, що не дозволяло їм повертатися до вуликів. Було показано, що загальна сила бджіл була значно вищою в контрольних колоніях, де було дев'ять стільникових рамок, порівняно з однією в дослідній колонії наприкінці експерименту. Матки в дослідних колоніях також виробляли менше яєць на день (100) у порівнянні з контрольними вуликами (350).

Практично всі біологічні види піддаються впливу техногенного опромінення. Було проведено декілька досліджень на різних видах тварин, комах та рослин. Balmori, 2009 провів широкий літературний пошук, в якому представлено багато досліджень, що демонструють тварин як екологічних індикаторів електромагнітних полів. Одним із прикладів була аверсивна поведінкова реакція у кажанів, що зазнали впливу електромагнітного випромінювання. Було показано, що активність кажанів значно знижується в біотопах, що піддаються впливу електромагнітного поля напруженістю понад 2 В/м (Nicholls, 2007). Під час дослідження колонії кажанів (*Tadarida teniotis*) кількість кажанів зменшилася, коли кілька телефонних щогл були розміщені на відстані 80 м від колонії[74] Деякі птахи є хорошими індикаторами біологічного та екологічного впливу, наприклад, білі лелеки. Їхні гнізда можна легко відстежити та зареєструвати. Дослідження показали, що популяція білих лелек страждає від зниження успішності розмноження (Balmori, 2005). Іншим досліджуваним видом є горобець, щільність якого знизилася в районах з більш високою напруженістю електричного поля (Balmori and Hallberg, 2007, Everaert et al. 2007). Рейт та ін. (2007) виявили, що електромагнітні поля можуть перешкоджати розмноженню деяких видів птахів у районах з більш високими полями радіочастотного ЕМП або можуть заохочувати інші види будувати там свої гнізда.

Існують також деякі докази того, що електромагнітні поля можуть змінювати репродуктивну поведінку комах, які служать джерелом їжі для різних популяцій птахів (Panagoroulos et al. 2007). Відзначено, що такі птахи, як чайки птахи, такі як чайки, залишають свої традиційні місця відпочинку, коли рівні опромінення

збільшуються внаслідок встановлення нової(их) базової(их) телефонної(их) станції(й)

Експериментальні ефекти, зафіксовані на тваринах

Дослідження на тваринах не можуть бути безпосередньо застосовні до людей, але вони виключають психосоматичний ефект, який припускає, що у людей розвиваються симптоми тільки тому, що їх турбують щогли антен, які вони можуть бачити. Бальморі повідомляє про дослідження Карпентера і Лівстоуна, в якому дослідники опромінювали лялечок *Tenebrio molitor* мікрохвилями 10 ГГц при 80 мВт протягом 20-30 хв і 20 мВт протягом 120 хв і отримали збільшення частки комах з аномаліями або мертвих.

Regoli та ін. (2005) продемонстрували вплив низькочастотних електромагнітних полів 50 Гц на равликів як в лабораторних умовах, так і під повітряними лініями електропередач, використовуючи ряд біологічних маркерів. Електромагнітні поля мали особливий дозозалежний вплив на маркери окислювального стресу, такі як каталаза і глутатіонредуктаза, як в лабораторних, так і в польових умовах. Також було продемонстровано зниження лізосомальної стабільності та цілісності ДНК. Автори пояснюють ці ефекти генерацією вільних радикалів.

Професор Андрас Варга з Гейдельберзького університету виявив, що пташенята, які піддавалися впливу мікрохвиль в яйці, гинули або вилуплювалися з деформаціями (Varga, 1992). Youbicier-Simo та ін., 1997, піддавали курячі ембріони впливу електромагнітних полів, що випромінюються відеодисплеями, і виявили, що постійний вплив супроводжувався значним збільшенням втрат плоду (47-68%) і помітно зниженими рівнями циркулюючих анти-ТГ IgG, кортикостерону плазми і мелатоніну плазми. Нещодавно, Габр з Афінського сільськогосподарського університету продемонстрував, що вплив електромагнітного випромінювання 900 МГц протягом перших п'яти днів ембріонального розвитку курчат призводить до збільшення частоти морфологічних та анатомічних аномалій, а також зміни ваги ембріона, порушення поведінки та функції довгострокової пам'яті.

У 1970-х роках були проведені поведінкові дослідження на щурах, щоб встановити існування ефектів, індукованих електромагнітним випромінюванням (Korbel Eakin and Thompson, 1965, Eakin 1970, Mitchell et al). Деякі здібності, що зазнали впливу у гризунів, включали підвищену нічну активність, агресію, втечу, уникнення та режим сну (Сміт і Юстесен, 1977, Фрей і Фельд, 1975, Фрей 1977, Монахан і Хо, 1977, Монахан і Хентон, 1977, Хо та ін., 1977, Лафорг та ін., 1978, Кеніг і Анкермюллер, 1970, Джонсон та ін., 1978). Новіші дослідження на гризунах вивчали просторову пам'ять у мишей (Fragoroulou та ін., 2009, Narayanan та ін., 2009), когнітивні порушення (Li та ін., 2008, Nittby та ін., 2008) Вплив мобільних телефонів може мати негативний вплив на характеристики рухливості сперматозоїдів та фертильність як самців, так і самок у щурів та мишей.

Ганді та інші в численних публікаціях висловлювали занепокоєння тим, що при розгляді електричних і діелектричних властивостей різні частини тіла дітей і дорослих, такі як мозок, яєчка та інші чутливі органи, насправді можуть поглинати набагато більші рівні електромагнітного випромінювання, ніж це дозволено міжнародними нормами. Наприклад, поглинання випромінювання від використання мобільного телефону кістковим мозком черепа дитини може бути в десять разів більшим, ніж у дорослих. Більшість сучасних мобільних телефонів не відповідають існуючому сертифікованому значенню SAR при утриманні безпосередньо біля голови або в кишені. Тому новий процес сертифікації портативних пристроїв, що враховує різні режими використання, розміри голови та властивості тканин, є важливим і невідкладним. При перегляді стандартів безпеки повинні використовуватися анатомічні моделі, а стандарти повинні встановлюватися підзвітними, незалежними групами.

Вплив частот 2.4-5.8ГГц (Wi-Fi частоти) на навколишнє середовище

Дослідження вчених за останні десятиліття свідчать про те, що електромагнітні хвилі можуть бути більш небезпечними, ніж атомне випромінювання. Електромагнітне випромінювання, яке знаходиться в полі електромагнітних хвиль, спричиняє сильний вплив на організм і частково викликає його, створюючи власне

поле в організмі людини [1]. Ці дії призводять до захворювань, адже вони роблять слабкою імунну систему, змінюють основний і клітинний обмін речовин живих організмів і людини живих організмів і людини в цілому, і в кінцевому підсумку призводять до розладу імунної системи, функціональної системи та здоров'я людини.

Здоров'я людини. Великою кількістю вчених по всьому світу, з різних університетів та інститутів, з науково-дослідних лабораторій доведено, що тривалий вплив слабкої електромагнітної хвилі може призвести до довгого списку важких захворювань, таких як рак, втрата пам'яті, хвороба Альцгеймера і хвороба Паркінсона, імпотенція, руйнування кришталика ока, зменшення кількості зменшення кількості еритроцитів у крові. І звичайно ж, електромагнітні хвилі будуть дуже небезпечні для вагітних жінок і дітей, їх дія призводить до зміни функціональності статевих функцій у чоловіків і жінок. Сьогодні випромінювання є в будь-якому місці, де живе людина, воно виходить від будь-якого побутового приладу, не кажучи вже про офіси, адже існує велика кількість пристроїв, які випромінюють електромагнітні хвилі.

Речі, якими ми користуємося на постійній основі, з якими кожен з нас безпосередньо контактує нами: смартфони, ноутбуки і різні гаджети, які зараз працюють з бездротовим інтернетом і передачею електромагнітних хвиль від Wi-Fi роутерів. Найбільше змінюється інтенсивність електромагнітних полів, коли поруч знаходяться лінії електропередач, радіо- і телевізійні станції, в метрополітені. За таких умов людина піддається сильному впливу магнітних бур.

На даний момент фон електромагнітних полів планети перевищує норму в 200 000 разів. Здоров'я живих об'єктів (рослин, тварин і людини) знаходиться не в тих необхідних умовах, не в тих тих, що були в перші роки еволюції людства, протягом багатьох років і тисячоліть і тисячоліття, коли людство створювало свій вплив на планету, умови існування на ній стали жорсткими. умови існування на ній стали жорсткішими. Електромагнітне поле поширюється всюди і найбільш поле поширюється повсюдно і найбільшу небезпеку становить для людей, що проживають в районах з високою промисловою активністю. Вчені дійшли висновку,

що електромагнітний фон будь-якої частоти електромагнітний фон будь-якої частоти, незалежно від сили, з якою вони діють з якою вони діють, при потужності 0,01 або 0,001 Вт високої частоти. Поясненням цьому є частота таких полів, адже вона збігається з частотою полів живих організмів. з частотою полів живої істоти, за умови, що вона має добре функціонуючих органів і життєво важливих систем.

У зв'язку з розвитком мережі Інтернет для бездротового підключення до всесвітньої павутини всесвітньої павутини широко впроваджується система Wi-Fi. Останнім часом в мережі Інтернет з'явилося багато статей, присвячених проблемі, чи є Wi-Fi мережі небезпечні для здоров'я, причому розглядаються питання не тільки впливу випромінювання на організм людини, а й на інші живі організми.

Зрозуміло, що в багатоповерховому житлі складно контролювати рівень випромінювання Wi-Fi, і мешканці можуть постійно отримувати випромінювання, навіть не підозрюючи про це. Така ситуація може стати причиною підвищення рівня захворюваності населення. Тим не менше на даний момент нормативів щодо обмеження і контролю впливу такого роду поки не розроблено

Висновок

В наш час радіочастоти є невід'ємною частиною забруднення навколишнього середовища, так як майже в кожному домі чи закладі є Wi-Fi мережа, та багато інших приладів які генерують радіохвилі, що мають електромагнітну складову, які досить погано впливають на живі організми. Всі живі організми складаються з молекул, які підвержені коливанням від цих електромагнітних полів.

Деякі організми пристосовуються до таких колевань, але далеко не всі. Коливання молекул визиває нагрів, так к молекули труться одна об іншу, і це спричиняє різноманітні погіршення стану біоорганізму.

Рекомендацією є зменшення кількості даного опромінення способом обмеження користування приладами, які генерують радіочастоти, та використання по

можливості таких систем дротового зв'язку, з яких випромінення в навколишнє середовище електромагнітної складової значно менші.

ВИСНОВКИ

В наш час безпілотники відіграють немаловажливу роль у житті. Відео та фото зйомка, авіазйомка, відеоспостереження, нагляд за пожежною системою, військова розвідка, військові бомбардувальники, це все зконструйовано на базі БПЛА.

На сьогоднішній день історія розвитку дронів є чималою та цікавою. Системи БПЛА розвиваються з кожним днем, крокуючи разом із розвитком електроніки. Вони починали свій шлях як прості механізми, а дійшли до надскладних та високотехнологічних пристроїв.

Системи керування це один із найважливіших органів в БПЛА, тому їх конструкція є досить складною технологічною. Від параметрів приймача і передавача залежить щонайменше половина параметрів всієї системи БПЛА. На ринку існує велика кількість продукції в сфері керування безпілотниками від хобійних на слабких параметрів з дальністю від 100 метрів, до професійних систем керування дальністю до декількох тисяч кілометрів.

В більш простих системах керування які є малопотужними зазвичай використовують штирьові та патч антени. Використовуючи антенну систему з дискоконусної антени на борту та адаптивну антенну решітку в таких конструкціях, можна досягти підвищення якості та стійкості зв'язку. Данна розробка може покращити параметри системи керування на декілька рівнів за рахунок широкого частотного діапазону і краще направленої діаграми направленості. За рахунок адаптивної антенної решітки можна корегувати параметри антени чим додатково прокращується діаграма спрямованості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЖЕРЕЛ

1. <https://3g-aerial.biz/cloverleaf-antenna>
2. <https://flymod.net/shop/antennas?sort=price>
3. Tretiakova L., Podoltsev A., Ostapenko N. Numerical Simulation and Experimental Study of Electrostatic Field near Man with Protective Polymeric Clothing. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 2017. ¹ 5. P. 20–26.
4. 2. IEC 62226-1:2004. Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range. Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body. Part 1: General.
5. <http://kits.kh.ua/>
6. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. Изд. 4-е, доп. и перераб. / Под ред. Д. И. Воскресенского. — М.: Радиотехника, 2003. — 632 с.
7. Бова Н. Т., Резников Г. Б. Антенны и устройства СВЧ. — К.: Вища школа, 1982. — 272 с.
8. Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Karabarbounis A, Margaritis LH (2007) Comparison of bioactivity between GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz mobile telephony radiation. *Electromagn Biol Med* 26:33-44
9. Ф.Бурдейный и др. Справочник коротковолновика. Из-во ДОСААФ, Москва. 1959г.
10. JDN 2/11 (2011). «Точка зору Великої Британії на безпілотні авіаційні системи» (The UK approach to unmanned aircraft systems). Публікація МО Великої Британії Joint Doctrine Note 2/11, dated 30 March 2011. (англ.)
11. DOD-USRM-2013 (2013). «Інтегрована дорожня карта щодо систем без людини на борту на 2013—2038 фінансові рр.» (Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013—2038). Публікація Департаменту оборони США.

12. Щербина О.А., Ільницький Л.Я., Михальчук І.І. Антенна система для станцій радіомоніторингу. Наукоємні технології. – 2020. – № 1(45). – С. 28-40.
13. Ільницький Л.Я. Антени та пристрої надвисоких частот. Підручник для ВНЗ / Л.Я. Ільницький, О.Я. Савченко, Л.В. Сібрук; за ред. Л.Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с.
14. Balanis C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. 4th Edition. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2016. 534 p.
15. Randy L. Haupt. Antenna Arrays: A Computational Approach. New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2010. 1095 p.