

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

за спеціалізацією Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва спеціальності)

на тему: Антенна колінеарного типу для систем зв'язку військової техніки

Виконала: студентка II курсу, групи РТ-381 мп
(шифр групи)

Думанська Ірина Федорівна
(прізвище, ім'я, по-батькові)


(підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Шпилька О.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

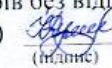

(підпис)

Консультант ох. праці ст. інженер Козловська О.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Мартинюк С.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
студент(-ка)  І.Ф. Думанська
(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра Радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою «Радіотехнічні інформаційні технології».

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Спеціалізація Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

« » 20

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Думанській Ірині Федорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Антенна колінеарного типу для систем зв'язку військової техніки»

науковий керівник дисертації Шпилька Олександр Олександрович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 12.11.2019 №3882-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2019

3. Об'єкт дослідження процес випромінювання радіохвиль антенною системою колінеарного типу

4. Предмет дослідження вплив геометрії військового об'єкта на діаграму спрямованості колінеарних антен.

Вихідні дані:

1. Описи відомих аналогів штирьових антен.

2. Необхідні параметри антен, діапазон частот.

3. Технічні вимоги до майбутньої антени.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Розглянути можливості використання штирьових антен на броньованій техніці.

2. Розрахувати геометричні розміри колінеарної антени для нової техніки

радіозв'язку, прийнятої на озброєння в військових об'єктах.

3. Моделювання діаграми спрямованості в середовищі MMANA.

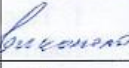
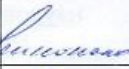
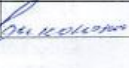
6. Орієнтовний перелік публікацій (статі та тези доповіді)

Думанська І. Ф.; Шпилька О. О., к.т.н. «Вплив корпусу автомобіля на характеристики антен», Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ, 2019. с. 120-122

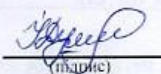
7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Козловська О.М., старший інженер 10 ТВУЗ з ОП		

8. Дата видачі завдання 12.11.2019

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Підготовка і вивчення літератури	12.11.2019	
2	Опис актуальності розробки колінеарної антени	18.11.2019	
3	Аналіз існуючих антенних пристроїв	24.11.2019	
4	Розробка колінеарної антени, охорони праці та стартап проекту	05.12.2019	
5	Підготовка презентації	10.12.2019	

Студентка


(підпис)

І.Ф. Думанська
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації
к.т.н.


(підпис)

О.О.Шпилька
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг магістерської дисертації складає ___ сторінок, з них ___ ілюстрації, додатки займають ___ сторінок, 2 сторінки займає список використаних літературних джерел обсягом 24 найменувань.

Об'єкт дослідження: процес випромінювання радіохвиль антенною системою колінеарного типу.

Предмет дослідження: вплив геометрії військового об'єкта на діаграму спрямованості колінеарних антен.

Мета роботи: розробка антени, яка може бути використана для нового радіообладнання при використанні його на військовій техніці.

Методи (методики) дослідження. Для дослідження характеристик та параметрів розроблених конструкцій антен використовувалась програма для розрахунку антен та їх діаграми спрямованості MMANA-GAL Basic. В процесі роботи для вирішення проблем розглядаються такі методи дослідження:

- 1) експериментальні дослідження розроблених антен, антенно-фідерних пристроїв з врахуванням підсилювачів потужності для отримання необхідної ефективної ізотропно-випромінюваної потужності;
- 2) проведення попереднього розрахунку радіоліній.

Результати роботи та їхня новизна. В результаті дослідження було розроблену колінеарну антену, яка завдяки своїй зручності експлуатації, простоті у виробництві та поліпшеним електричним характеристикам може бути використана для нової техніки зв'язку.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Дослідження повинні забезпечити:

- 1) роботу радіостанцій Motorola у двох діапазонах частот;
- 2) розробку дводіпазонної колінеарної антени, адаптацію електричних характеристик антени;
- 3) поліпшення результатів застосування розрахованої антени порівняно з існуючими антенами;
- 4) підвищення рівня протидії технічним розвідкам;
- 5) радіозв'язок з винесеною антеною.

Результати перевірки можливостей практичного використання отриманих результатів: розроблені конструкції антен можливо буде використовувати для військової техніки зв'язку, яка була прийнятою на озброєння для мобільних та військових об'єктів.

Пропозиції щодо можливих напрямів продовження досліджень:

- 1) передбачення можливості швидкої заміни антени;
- 2) передбачення можливості виносу антени на відстань до 50 м.

Перелік ключових слів (словосполучень): колінеарні антени, діапазонність, діаграми спрямованості, діапазони роботи.

Перелік публікацій:

- 1) Вплив корпусу автомобіля на характеристики антен— теза.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of introduction, four sections, conclusions, list of used sources and applications. The full volume of the master's dissertation consists of ____ pages, including ____ illustrations, applications occupy ____ pages, 2 pages contains a list of used literary sources in the volume of 24 titles.

Object of research: the propagation of radio waves in radio lines of military objects.

Subject of research: the influence of the geometry of the armored object on the diagram of the direction of the collinear antennas.

Purpose: the development of an antenna that can be used for new radio equipment when using it on military vehicles.

Methods (methods) of research. To study the characteristics and parameters of the developed antenna designs, the antenna was used the program for calculating the antennas and their MMANA-GAL Basic orientation diagram. In the process of work for solving problems, the following research methods are considered:

- 1) experimental research of the developed antennas, antenna-feeder devices taking into account power amplifiers for obtaining the required effective isotropic-emitting power;

- 2) preliminary calculation of radio lines.

Results of work and their novelty. As a result of the study, a collinear antenna was developed, which, due to its ease of use, simplicity of production and improved electrical characteristics, can be used for new communication technology.

Recommendations for using work results. Research should ensure:

- 1) operation of Motorola radios in two frequency ranges;
- 2) the development of a dual-bandwidth collinear antenna, the adaptation of the electrical characteristics of the antenna;

3) Improvement of the results of the calculated antenna compared with the existing antennas;

4) increasing the level of counteraction to technical intelligence;

5) radio communication with a rendered antenna.

The results of testing the possibilities of practical use of the obtained results: the design of the antennas can be used for military communication equipment, which was adopted for armament for mobile and armored objects.

Proposals for possible directions for further research:

1) anticipation of the possibility of quick replacement of an antenna;

2) anticipation of the possibility of antenna removal at a distance of up to 50 m.

List of keywords (combinations of words): collinear antennas, range, directional diagrams, ranges of work.

List of publications:

1) Influence of the car body to the characteristics of antennas - a thesis.

ЗМІСТ

Сторінка

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	—
ВСТУП.....	—
1 НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБКИ АНТЕН ДЛЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ...	—
1 Загальні положення про антенні пристрої	—
1.2 Основні характеристики антен	—
1.3 Штирьові антени.....	—
1.4 Симетричні вібратори.....	—
1.5 Кришеві антени зенітного випромінювання.....	—
1.6 Т-подібні антени.....	—
1.7 V-подібна антена.....	—
1.8 Мініатюризація антенних пристроїв.....	—
1.9 Вплив корпусу автомобіля на характеристики антени.....	—
1.10 Автомобільні антени.....	—
Висновки до розділу.....	—
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АНТЕННИХ ПРИСТРОЇВ.....	—
2.1 Ненаправлені одноелементні антени.....	—
2.2 Багатоелементні ненаправлені антени	—
2.3 Направлені (секторні) антени	—
2.4 Кутикові антени	—
2.5 Директорні та логоперіодичні антени	—
2.6 Циліндрично-параболічні антени.....	—
2.7 Спіральні антени.....	—
2.8 Особливості антен рухомих об'єктів.....	—
Висновки до розділу.....	—
3 РОЗРОБКА КОЛІНЕАРНОЇ АНТЕНИ.....	—
3.1 Характеристики зв'язку з військовими об'єктами	—
3.2 Розрахунок геометричних розмірів антени	—

3.3 Розрахунок параметрів основних характеристик колінеарної антени —

3.4 Програмне моделювання конструкції та електричних характеристик колінеарної антени..... —

4 РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення з охорони праці..... —

4.2 Вимоги безпеки під час виконання роботи..... —

4.3 Порядок встановлення заземлення..... —

4.4 Вимоги безпеки під час виконання вимірів..... —

4.5 Вимоги безпеки після закінчення робіт..... —

Висновки до розділу..... —

5 РОЗДІЛ РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проекту..... —

5.2 Аналіз ринкових можливостей —

5.3 Перспективи реєстрації в Україні..... —

ВИСНОВКИ..... —

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... —

ДОДАТОК А ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ..... —

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

1. ДС – діаграма спрямованості
2. ХС – характеристика спрямованості
3. КХ – короткі хвилі (короткохвильовий)
4. УКХ – ультракороткі хвилі
5. ВЧ – висока частота
6. КБХ – коефіцієнт біжучої хвилі
7. ККД – коефіцієнт корисної дії
8. АЗВ – антена зенітного випромінювання
9. АБХ – антена біжучої хвилі
10. ПАУ – погоджуючий антенний пристрій
11. АПЧ – автоматичне підстроювання частоти
12. ЗПЧ – заздалегідь підготовленні частоти
13. АМ – амплітудна модуляція
14. ЧМ – частотна модуляція
15. АТ – амплітудна телеграфія
16. ЧТ – частотна телеграфія
17. ОМ – однополосна модуляція
18. АЩП – антенно-щогловий пристрій

ВСТУП

В даній роботі описано розробку дводіапазонної колінеарної антени. Актуальність даної роботи полягає в тому, що розроблені зразки можна використовувати на мобільних бронеоб'єктах, що є доволі актуальним на даному етапі розвитку військової техніки зв'язку. До цього на танках використовувалась штирєва антена. Недоліком штирєвої антени є неможливість перекриття потрібних частотних діапазонів радіостанцій та вплив башти і навісного обладнання на діаграму спрямованості. В основу роботи поставлена задача розробки антени, яка може бути використана для нового радіообладнання при використанні їх на броньованій техніці

Під час роботи над проектом були проаналізовані вимоги до антени на військових об'єктах і конструкції антен, що дозволяють забезпечити ці вимоги.

В ході роботи було розроблено та запропоновано зразок, який за своїми параметрами є актуальним для використання на танках

Розроблено дводіапазонну колінеарну антену для діапазону 140...170 і 400...425 МГц, актуальність якої полягає в тому, що колінеарна антена буде використовуватись на броньованій техніці сумісно з прийнятими на озброєння радіостанціями Motorola. Розроблена колінеарна антена для броньованої техніки, яка має спільну основу з чотирма противагами, що налаштовані на певний діапазон. Ця антена зручна тим, що вона досить компактна і міцна, її переналаштування не займе багато часу. В цих діапазонах немає потреби в використанні хвилеводів для живлення антени і не має високих вимог в точності виготовлення. Принцип дії колінеарної антени розглядається за допомогою дзеркальних відображень. Принцип роботи дводіапазонної колінеарної антени для броньованої техніки заключається в тому, що в випромінювачах відсутні від'ємні ділянки струму. Колінеарна антена для броньованої техніки дозволяє легко змінювати діапазон частот, зберігаючи при цьому необхідні однакові

електричні характеристики. Дана колінеарна антена складається з основи, чотирьох противаг, фазо-зсувної секції та верхнього випромінювача, який може змінюватись в залежності від діапазону частот. Таким чином, при випромінюванні електромагнітних хвиль відбувається розповсюдження їх земною хвилею, нижня частина з противагами дозволяє зменшити вплив бронеоб'єкта на випромінювання, тим самим покращуючи нерівномірність діаграми спрямованості в горизонтальній площині. Верхній випромінювач формує квазіненаправлену діаграму спрямованості в горизонтальній площині, а в вертикальній площині шириною приблизно 40° .

Як висновок можна сказати, що в ході роботи було розроблено одну принципово нову колінеарну антену, яка завдяки своїй простоті у виробництві та поліпшеним характеристикам може бути використана на військовій техніці.

РОЗДІЛ 1. НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБКИ АНТЕН ДЛЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Загальні положення про антенні пристрої

Антенами називаються пристрої, призначені для випромінювання і прийому електромагнітних хвиль. Передавальна антена призначена для перетворення енергії ВЧ коливань в енергію електромагнітних хвиль. Прийомна антена призначена для перетворення енергії електромагнітних хвиль в енергію ВЧ коливань.

Антени військових радіо засобів є необхідними і найважливішими технічними елементами, що беруть участь у формуванні радіоканалу. Позитивною властивістю антен є те, що вони, не споживаючи потужності від джерел енергії, забезпечують дії, еквівалентні посиленню потужності сигналу. Як відомо, потужність сигналу на вході приймача визначається виразом (1.1):

$$P_{\text{вх.пр.}} = P_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot W_{\text{тр.}} \quad (1.1)$$

де: $P_{\text{пер}}$ - потужність передавача;

$G_{\text{пер}}$ - коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{\text{пр}}$ - коефіцієнт підсилення прийомної антени;

$W_{\text{тр}}$ - множник ослаблення потужності за рахунок поглинання на трасі;

З формули (1.1) видно, що потужність передавача сама по собі ще не визначає надійність радіозв'язку. Коефіцієнти підсилення антен $G_{\text{пер}}$ і $G_{\text{пр}}$ входять у приведений вираз як рівноправні множники, тому з метою зниження витрати потужності від первинного джерела, що приводить до зменшення маси і габаритів радіостанцій, необхідно прагнути до збільшення коефіцієнта підсилення антен.

Мінімально необхідна потужність сигналу на вході приймача залежить від його чутливості, однак у декаметровому діапазоні вона

практично визначається середньою потужністю перешкод на вході приймача (шуми самого приймача, шуми в антені і середовищі, а також зовнішні перешкоди). Зменшити рівень перешкод на вході приймача можна за рахунок застосування прийомних антен зі спрямованими характеристиками: чим вужче її діаграма спрямованості при деякій значенні коефіцієнта підсилення, тим менше потужність перешкод.

Звідси видно, настільки велика роль антен у визначенні енергетичного потенціалу, особливо якщо врахувати, що збільшення потужності передавачів мобільних радіостанцій має межу.

Військові радіо засоби працюють в особливих умовах. Це викликає необхідність у створенні і застосуванні антен спеціальних типів і конструкцій. Крім необхідних електричних характеристик, приймаються в увагу габарити, транспортабельність, час розгортання і згортання, маскування, надійність і захищеність антен.

Грамотне застосування антен у різноманітних умовах місцевості, на стоянці, при зупинках і в русі, маскування і захист від розвідки і поразки, маневр частотами й антенами для підтримки стійкого радіозв'язку в суцільній перешкодовій обстановці жадає від особового складу радіо підрозділів чіткого знання властивостей антен і творчого використання їх можливостей.

1.2. Основні характеристики антен

1.Потужність випромінювання: P_{Σ} – потужність випромінювання є частиною активної потужності P_A , що витрачається на створення поля. Характеризує енергію передавача, що перетворюється антеною, в енергію електромагнітного поля.

2.Потужність передавача P_A – потужність, що надходить в антену від передавача. Вона визначається виразом (1.2):

$$P_A = 0,5 \cdot I_A^2 \cdot R_A. \quad (1.2)$$

де: I_A^2 - амплітуда струму на вході антени;

R_A – активна складова вхідного опору антени.

Однак не вся підведена до антени потужність P_A затрачається на створення поля випромінювання.

3.Потужність втрат P_B - частина потужності передавача P_A , що витрачається на нагрівання металу провідників, на діелектричні втрати в ізоляторах, на втрати в землі з кінцевою провідністю і втрати іншого фізичного походження.

4.Вхідний опір антени Z_A визначається виразом (1.3):

$$Z_A = R_A + jX_A. \quad (1.3)$$

де: R_A і X_A - активна і реактивна складові вхідного опору антени.

5.Коефіцієнт спрямованої дії антени η_A визначається як відношення випромінюваної потужності P_Σ до підведеної до антени потужності P_A (1.4):

$$\eta_A = \frac{P_\Sigma}{P_A}. \quad (1.4)$$

Коефіцієнт спрямованої дії визначає ефективність антени як перетворювача ВЧ енергії в енергію ЕМХ. Для того щоб передавач віддавав в антену максимальну потужність необхідно погодити вихідний опір передавача з вхідним опором антени. Однак активна складова R_A вхідного опору антени може відрізнятися від величини вихідного опору передавача, тому виникає необхідність у трансформації активної частини вхідного опору антени. Ця задача вирішується за допомогою органів зв'язку з антеною. Компенсація ж реактивної складової X_A вхідного опору антени здійснюється за допомогою органів настроювання антени (рис.1.1). Номінали органів настроювання і зв'язки залежать від значень реактивної й активної складових вхідного опору антени.

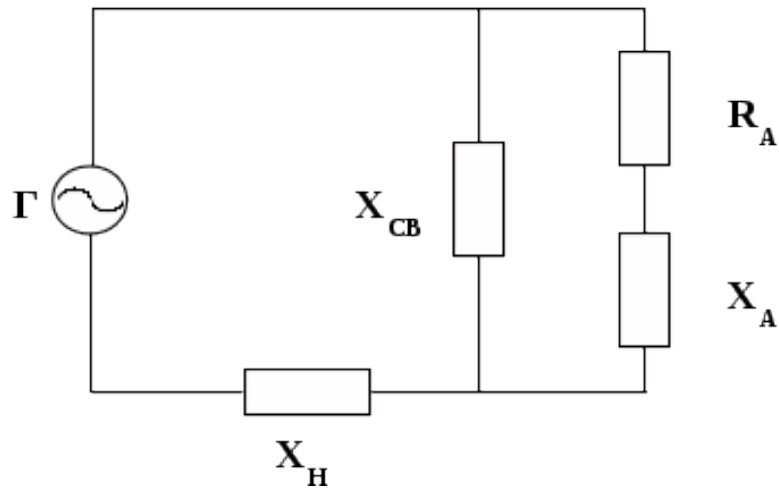


Рисунок.1.1- Спрощена схема узгодження передавача з антеною.

6. Характеристика спрямованості – це залежність амплітуди напруженості поля від напрямку в просторі на однаковому, досить великому, відстані від антени. На однаковій відстані від антени, але в різних напрямках, величина напруженості поля різна. Інакше кажучи, антена має спрямовану властивість. Графічне зображення характеристики спрямованості називають діаграмою спрямованості. Для порівняння різних антен по спрямованості користуються нормованою характеристикою спрямованості, у якій максимальне значення дорівнює одиниці. Вона виходить шляхом розподілу всіх значень характеристик спрямованості на максимальне значення:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}} \Big|_{r=\text{const}} \quad (1.5)$$

Побудова діаграм спрямованості можлива в полярній чи прямокутній системах координат. На практиці користуються перетинами просторової діаграми спрямованості звичайно в двох взаємно перпендикулярних площинах, що проходять через напрямок максимального випромінювання. Для антен, розташованих на поверхні землі, перетину вибирають таким чином, щоб одержати діаграми спрямованості в горизонтальній (функція $F(\varphi)$) і вертикальній (функція $F(\theta)$) площинах, де θ і φ - кутові координати в сферичній системі координат.

У діаграмі спрямованості антени розрізняють головний і бічний пелюстки, рівень яких визначається стосовно головного. Ступінь

концентрації електромагнітної енергії в головному напрямку характеризується шириною головного пелюстка (шириною діаграми спрямованості). Шириною головного пелюстка (шириною діаграми спрямованості) називають кут між двома напрямками, у межах якого напруженість поля зменшується в декілька разів.

7. Коефіцієнт спрямованої дії D показує властивість антени концентрувати випромінювання у визначених напрямках і він визначається як відношення потужності випромінювання ненаправленої (гіпотетичної) антени $P_{\Sigma 0}$ до потужності випромінювання спрямованої антени P_{Σ} , що створюють на однаковій відстані рівні напруженості поля:

$$D = \left. \frac{P_{\Sigma 0}}{P_{\Sigma}} \right|_{\substack{r=const \\ E=|E_m|}} \quad (1.6)$$

Оскільки при застосуванні спрямованої антени потужність випромінювання витрачається на створення поля в більш вузькому секторі кутів, можна говорити про виграш у величині напруженості поля.

8. Коефіцієнт підсилення антени G показує, у скільки разів меншу потужність можна підвести до спрямованої антени в порівнянні з потужністю, підведеної до ненаправленої антени без утрат, щоб одержати однакову напруженість поля в точці прийому. Коефіцієнт підсилення антени застосовується для оцінки виграшу, що дається застосуванням спрямованої антени і визначається виразом (1.7):

$$G = \left. \frac{P_{A0}}{P_A} \right|_{\substack{r=const \\ E=|E_m|}} \quad (1.7)$$

де: P_{A0} - потужність, підведена до ненаправленої антени;

P_A - потужність, підведена до спрямованої антени.

При цьому вважається, що ненаправлена антена має ККД рівний 100%, тобто $P_{A0}=P_{\Sigma 0}$, тому вираз для коефіцієнта підсилення G можна записати у виді:

$$G = \frac{P_{\Sigma 0}}{P_A} = \frac{P_{\Sigma 0}}{P_{\Sigma}} \cdot \frac{P_{\Sigma}}{P_A} = D \cdot \eta_A \quad (1.8)$$

9. Діапазонні властивості антени визначаються інтервалом частот f_{min} - f_{max} , у межах якого такі параметри, як спрямовані властивості і вхідний опір антени залишаються постійними. Смуга частот може визначатися у відсотках щодо середньої частоти діапазону:

$$\frac{\Delta f}{f} = 2 \cdot \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

Антени, що забезпечують роботу в смузі частот менше 10%, називаються вузько смуговими (вузько діапазонними, резонансними), а при смузі більше 10% - широкосмуговими. Якщо смуга робочих частот більше 100%, то антени називають діапазонними (широкодіапазонними). Коефіцієнт перекриття широкодіапазонних антен лежить у межах від 2 до 10.

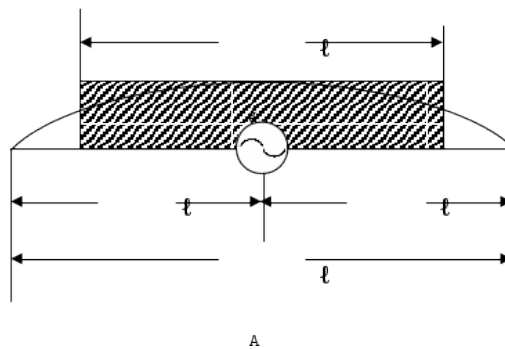


Рисунок.1.2- Визначення діючої довжини симетричного вібратора

10. Діючою довжиною антени ℓ_g називається довжина вібратора з рівномірним розподілом струму, рівним току на її затисках, що створює в напрямку максимуму випромінювання ту ж напруженість поля, що і розглянута антена (рис.1.2):

Симетричний вібратор – це прямолінійний провід, розділений по середині на два відрізки, плечами ℓ , між якими включається генератор. Власною довжиною хвилі вібратора λ_0 називається найбільша довжина хвилі, при якій реактивний вхідний опір антени дорівнює нулю. Для симетричного вібратора власна довжина хвилі складає $\lambda_0 = 4\ell$. Вібратор називають напівхвильовим, у якого повна довжина антени дорівнює половині довжини хвилі (довжина плеча антени дорівнює $\ell = 0,25\lambda$). Вібратор налагоджений у

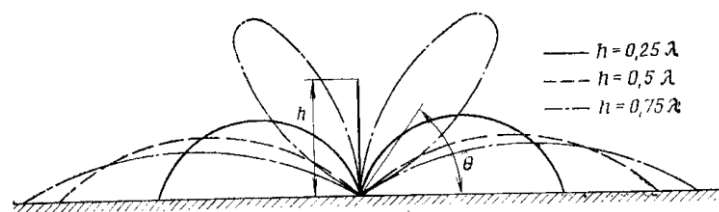
резонанс і тому реактивна складова X_A вхідного опору антени дорівнює нулю.

Вібратор називається хвильовим, якщо загальна довжина антени дорівнює довжині хвилі (довжина плеча дорівнює половині довжини хвилі), реактивна складова X_A вхідного опору антени дорівнює $\pm\infty$.

Режимом подовження називають роботу вібратора при $\ell < 0,25\lambda$. Антена в цьому режимі має ємнісний реактивний опір. Режим укорочення має місце при $\ell > 0,25\lambda$. При $0,25\lambda < \ell < 0,5\lambda$ вхідний опір вібратора має індуктивний характер. Для настроювання такого вібратора в резонанс необхідно використовувати ємність (конденсатор).

1.3. Штирьові антени

Штирьова антена являє собою твердий несиметричний напівхвильовий вібратор. Поверхнею штиря, що підстилає, можуть бути: земля, металевий кузов рухомого об'єкта, корпус радіостанції і спеціальні дроти - противаги.



А)



Б)

Рисунок. 1.3- Діаграми спрямованості штирьової антени у вертикальній (А) і горизонтальній (Б) площинах

Діаграма спрямованості штирьової антени в горизонтальній площині - кругова, у вертикальній площині - пелюсткова (рис.1.3). З діаграм випливає, що штирьова антена не випромінює в zenit, а максимум випромінювання спрямований уздовж поверхні, що підстилає, причому коефіцієнт підсилення антени в цьому напрямку росте з подовженням штиря. Однак при $h > 0,5\lambda$ з'являються додаткові пелюстки з максимумами під великими кутами θ , тому коефіцієнт підсилення антени для поверхневих хвиль зменшується, тому що збільшується потужність, випромінювана додатковими пелюстками. Діаграми спрямованості антен формуються в результаті додавання хвиль, що приходять у кожну крапку простору по прямій, із хвилями, відбитими від поверхні, що підстилає, тому провідність поверхні, що підстилає, позначається на формі діаграм. На рис.1.4 показана еволюція форми діаграми спрямованості у вертикальній площині, зв'язаної з погіршенням провідності ґрунту, над якою розгорнута антена. Коефіцієнт підсилення антени зменшується з погіршенням провідності, а його максимум піднімається на більший кут θ .

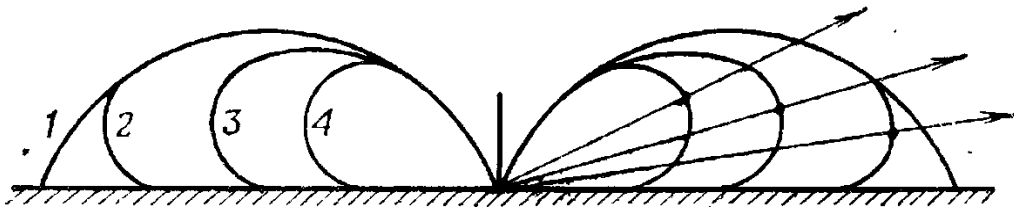


Рисунок.1.4- Еволюція діаграми спрямованості, зв'язана з погіршенням провідності ґрунту.

З діаграм спрямованості можна зробити висновок, що штирьові антени можуть використовуватися, насамперед, як ненаправлені антени для зв'язку в декаметровому діапазоні земною хвилею і, крім того, як ненаправлені антени для зв'язку іоносферною хвилею, випромінюваної під відносно невеликими кутами до земної поверхні. Дальність зв'язку в обох випадках істотно залежить від співвідношення h/λ і провідності ґрунту.

Носимі радіостанції метрового діапазону забезпечуються штирьовими антенами висотою від 1 до 2,7 м, а радіостанції рухомих об'єктів висотою до 4м. У цьому діапазоні штирьові антени дуже ефективні.

На рис.1.5 представлені криві залежності абсолютних коефіцієнтів підсилення штирьових антен G_A від частоти при роботі земною хвилею, що дозволяють зробити порівняльну оцінку ефективності антен.

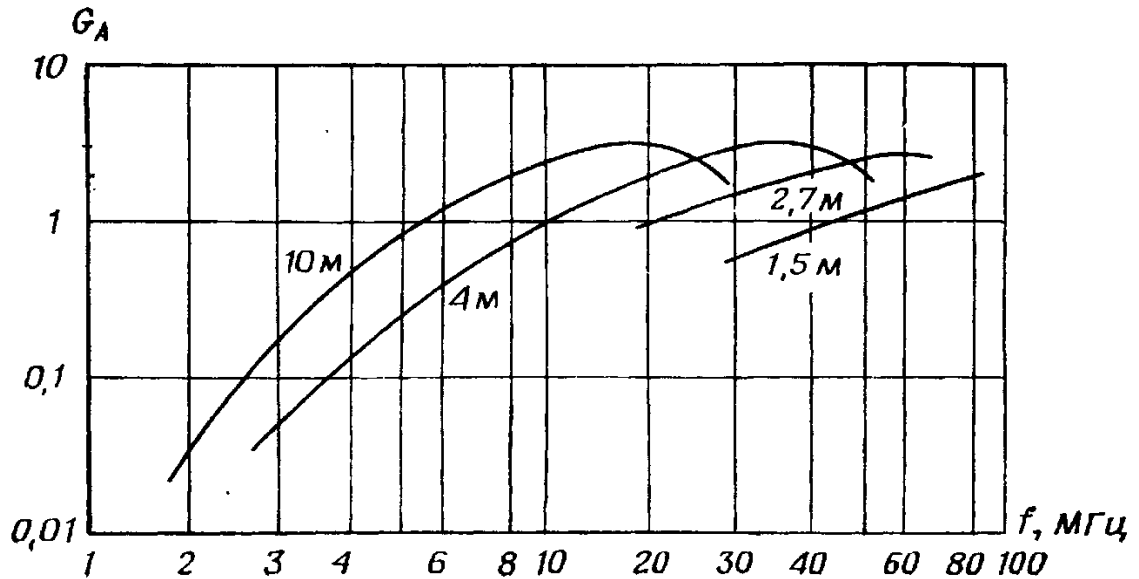


Рисунок.1.5- Коефіцієнти підсилення штирьових антен.

Для збільшення дальності зв'язку в діапазоні метрових хвиль штирьову антену часто встановлюють на щоглі висотою 11-18 м. Роль поверхні, що підстилає, у цьому випадку грають тверді противаги (рис.1.6). Живлення антени здійснюється за допомогою коаксіального кабелю (фідера).

Оскільки антенний пристрій, що погоджує, знаходиться в передавачі, а не в основі штиря, більш-менш задовільне узгодження фідера з антеною виходить в обмеженій ділянці довжин хвиль (у межах $\pm 10-15\%$ від власної довжини хвилі штиря, що дорівнює $\lambda/4$). Тому конструкція антени передбачає можливість зміни висоти штиря і довжини противаг. Така антена називається комбінованою штирьовою антеною (КШМ Р-142 Н). Висота штиря повинна бути якомога ближче до величини $\lambda/4$, а противаги небагато

коротше. Коефіцієнт хвилі, що біжить, КБХ у цьому випадку досягає 0,8, але при відхиленні довжини хвилі від власної на 10-15%, він може упасти до 0,4. При КБХ $< 0,5$ різко знижується ККД фідера.

Розглянута антена обмежує можливість частотного маневру в ході ведення зв'язку, тому поряд з нею знаходить широке застосування антена, що називається об'ємним вертикальним вібратором (КШМ Р-145 БМ, БМП-1 КШ).

Такі об'ємні антени (рис.1.7) володіють зниженим входним опором, а це поліпшує діапазонність узгодження з фідером. У діапазоні з двократним перекриттям по частоті (наприклад, 30-60 МГц) КБХ у фідері такої антени звичайно міняється в межах 0,5-0,8.

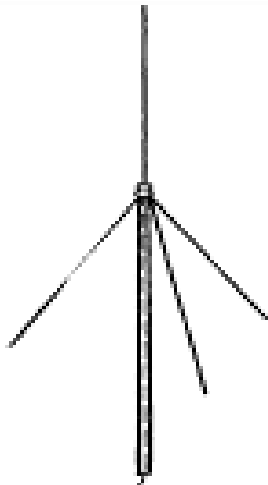


Рисунок.1.6. Комбінована
штир'ова антена

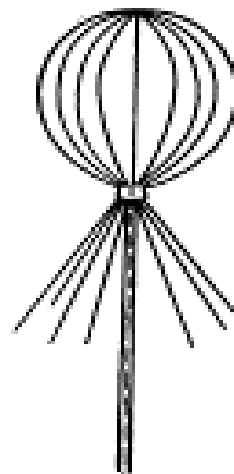


Рисунок.1.7. Об'ємний вібратор

Зв'язок у русі на закритих трасах земною хвилею можна здійснити тільки в діапазоні декаметрових хвиль. Однак неефективність 4-метрового штиря в цьому діапазоні і великі втрати енергії хвиль у землі приводять до того, що дальність зв'язку навіть при такій потужності передавача, як 1 кВт, обмежується декількома десятками кілометрів.

1.4. Симетричні вібратори

Характер випромінювання похилого вібратора визначається додаванням хвиль, випромінюваних безпосередньо вібратором, і хвиль, відбитих від землі. Форма діаграм спрямованості залежить від висоти підвісу антени над землею і довжини пліч щодо довжини хвилі збудливих коливань. На рис.1.9 представлені діаграми спрямованості типового похилого вібратора у вертикальних площинах. З діаграм видно, що в межах деякого діапазону частот (для даного вібратора в межах 1,5-6 МГц) максимум випромінювань припадає в зеніт. На більш високих частотах діаграми деформуються, а максимум випромінювання зміщується в область менших кутів θ , іншими словами, зменшується кут максимуму.

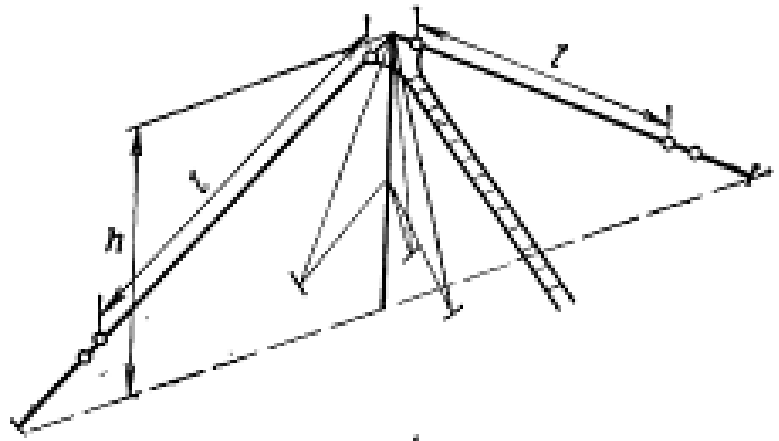


Рисунок.1.8 Симетричний похилий вібратор.

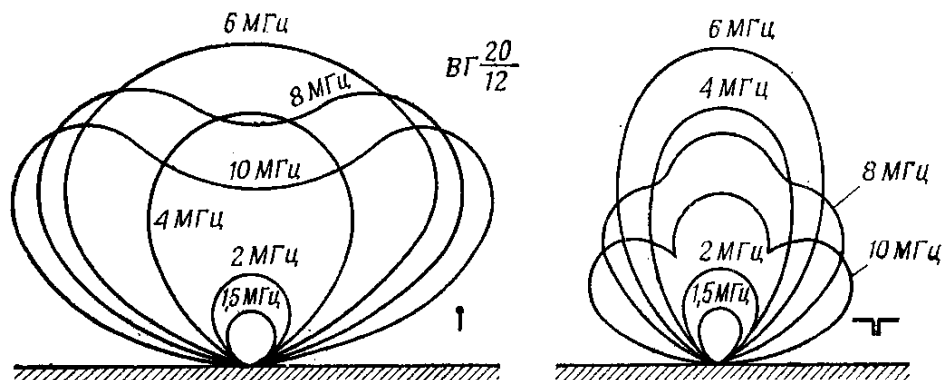


Рисунок.1.9. Діаграми спрямованості у вертикальних площинах антени.

Ця властивість сприятлива тим, що при правильно обраних частотах антену можна використовувати в широкому діапазоні відстаней зв'язку без яких би то ні було провалів чи мертвих зон (від 0 до 1000-1500 км).

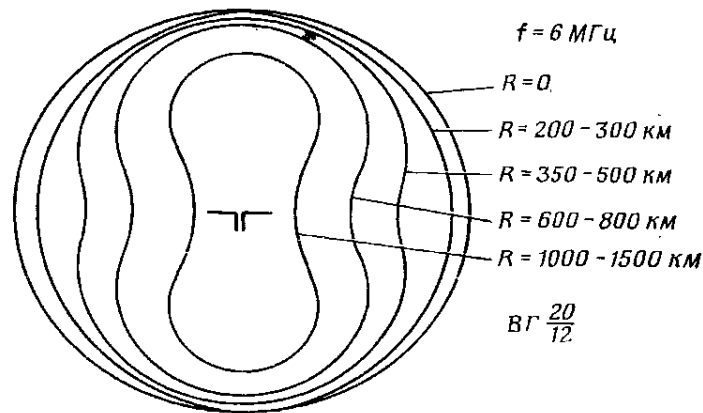


Рисунок.1.10. Діаграми спрямованості в горизонтальній площині.

Діаграми спрямованості в горизонтальній площині показані на рис.1.10. З них випливає, що при роботі на відстані до 300 км антену можна вважати ненаправленою і немає необхідності її орієнтувати. При роботі на відстані, що перевищують 300 км, антену варто орієнтувати так, щоб напрямок на кореспондента був перпендикулярним до площини вібратора.

Усі приведені діаграми дозволяють судити про відносний коефіцієнт підсилення антени. Коефіцієнт підсилення антени в зеніт істотно змінюється у діапазоні: швидко росте з ростом частоти, досягає максимуму і потім знову падає. Хід залежностей коефіцієнта підсилення від частоти окремо показаний на рис.1.11.

Великі межі зміни коефіцієнта підсилення вказують на те, що вібратор є відносно вузько діапазонною антенною. Щоб перекрити широкий діапазон частот при високому коефіцієнті підсилення антени, необхідно з ростом частоти укорочувати довжину пліч ℓ і зменшувати висоту підвісу h . Практично це досягається включенням у комплект антен радіостанцій щонайменше двох антен з розмірами, що відрізняються, (іноді укорочення пліч досягається включенням перемичок).

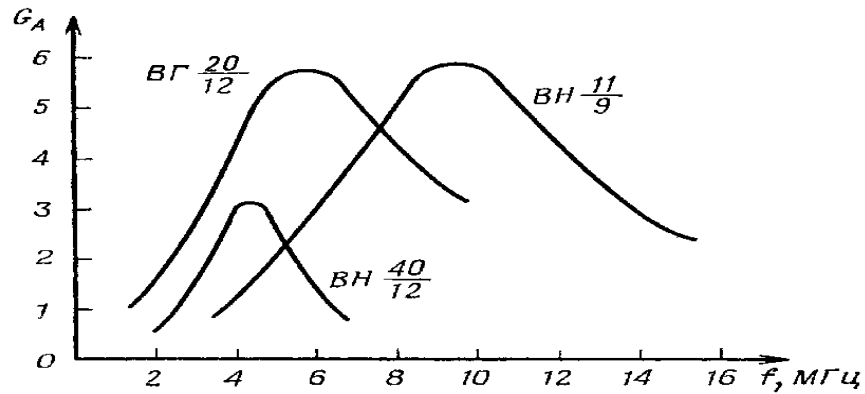


Рисунок.1.11. Залежність коефіцієнтів підсилення симетричних вібраторів.

Оскільки вібратор є резонансною антеною, то КБХ у фідері антени в більшій частині робочого діапазону виявляється дуже низьким, тому як фідер використовується повітряна лінія, що вносить менше втрат при низькому КБВ, чим наприклад, симетрична коаксіальна лінія. Вхідний комплексний опір фідера змінюється в дуже широких межах, що створює значні труднощі при розробці узгоджуючих антенних пристроїв передавачів. Це є однією з причин, що спонукають скорочувати ширину робочого діапазону вібратора.

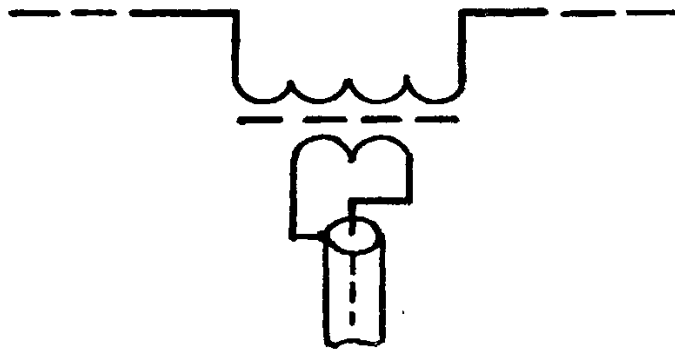


Рисунок.1.12. Узгоджуючий трансформатор.

Оскільки антени оборотні з погляду збереження властивостей при роботі на передачу і на прийом, то розглянуті вібратори використовуються і для передачі і для прийому сигналів. Автономні радіостанції середньої потужності зі спільним розміщенням передавача і приймача для забезпечення дуплексної роботи мають окремі передавальні і приймальні

антени. В інтересах ЭМС прийомна антена відноситься якомога далі від передавальної антени (до 50м) і з'єднується з приймачем коаксіальним кабелем. Хвильовий опір кабелю відрізняється від середнього вхідного опору вібратора, крім того, кабель є несиметричним ланцюгом. Для узгодження опорів і переходу від симетричного вібратора до несиметричного кабелю використовується широкосмуговий феритовий трансформатор (рис.1.12). Прийомні вібратори розраховують звичайно на більш широкий діапазон частот, чим передавальні.

1.5. Кришеві антени зенітного випромінювання

Дальність зв'язку в русі до 300-350 км можна забезпечити тільки з використанням іоносферної хвилі, тому що енергетичні втрати при її проходженні через іоносферу відносно невеликі. Але для цього потрібна антена з ефективним випромінюванням майже в зеніт. Цій вимозі задовольняють кришеві антени, виконані у виді двох похилих штирів, у виді симетричного вібратора (рис.1.14) і у виді рамок. Такі антени називаються антенами зенітного випромінювання (АЗВ) і застосовуються вони в радіостанціях Р-140, Р-161А2М і КШМ. Про принципову можливість роботи іоносферною хвилею з антеною у виді двох похилих штирів на далекі відстані свідчать приведені на рис.1.13 діаграми спрямованості в горизонтальній і вертикальній площинах.

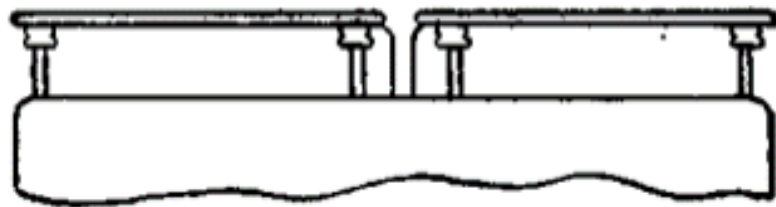


Рисунок.1.13. Здвоєна штирєва антена

Кришеві антени у виді симетричних вібраторів (рис.1.14) і П-подібних рамок звичайно мають невеликі розміри, обумовлені габаритами кузова.

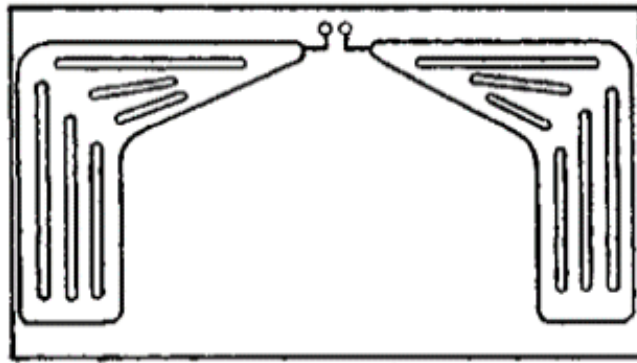


Рисунок.1.14. Симетричний кришевий вібратор.

Збільшення розмірів антен здійснюється застосуванням зігнутих вібраторів із широких полотнин чи декількох рамок, що забезпечує також зниження хвильового опору. Збільшення довжини плеча вібратора і зниження хвильового опору дозволяють зменшити реактивний опір і втрати в органах настроювання, а також підвищити електричну міцність. Проте така антена завжди працює в режимі великого подовження. Вхідний опір такої антени має реактивну складову ємнісного характеру великої величини і вимагає для настроювання котушки індуктивності з великим реактивним опором, у результаті чого ККД антени, а отже, і коефіцієнт підсилення виявляються дуже низькими. Активна складова вхідного опору антени має дуже малу величину (одиниці і частки ома), тому підключення антен здійснюється за допомогою спеціальних узгоджуючих пристроїв.

Антенна зенітного випромінювання КШМ Р-145БМ складається з двох вібраторів, виконаних зі сталевих труб діаметром 25 мм і товщиною 1,6 мм і може працювати в двох варіантах: симетричному і несиметричному. У симетричному варіанті випромінювання електромагнітної енергії, в основному, створюється струмами на ділянці ВР і ВС. На цих ділянках струми спрямовані в одну сторону і, отже, поля в точці прийому складаються. На інших ділянках антени й у проводах зниження струми

спрямовані в протилежні сторони, тому сумарне поле в кращій прийому мінімально чи дорівнює нулю. Антена в цьому варіанті працює в режимі зенітного випромінювання. У симетричному варіанті АЗВ має характеристику спрямованості, що дозволяє сконцентрувати випромінювання в зеніт у межах кутів від 500-600 до 900 до обрію.

У несиметричному варіанті випромінювання електромагнітної енергії, в основному, створюються струмами на проводах зниження антени АВ, де струми мають однакові напрямки. Антена в цьому варіанті працює в режимі земного випромінювання.

Антена зенітного випромінювання КШМ Р-142Н являє собою систему з двох рознесених вертикальних синфазних П-подібних рамок, з'єднаних у нижній частині поперечними штангами. До них підключається блок узгодження (БС) і блок регулювання (БР). З метою підвищення ефективності рамкові антени розташовуються на об'єктах, що мають металевий дах, тому що в цьому випадку діюча довжина й опір випромінювання рамки збільшуються в два рази. Крім того, розташування рамки поблизу металевої поверхні дозволяє без погіршення електричних характеристик виключити нижній провід рамки і перейти до несиметричної П-подібної антени, антени, що дозволяє живлення, коаксіальним кабелем.

Для зниження втрат у металі, а отже, підвищення ККД рамкові кришеві антени виконуються з мідних чи латунних провідників (труб) великого діаметра (20-40 мм). Застосування систем з декількох рамок дозволяє знизити втрати в органах настроювання й в опорних ізоляторах за рахунок зменшення напруги на кінцях антени.

Кришеві антени можуть також працювати земними хвилями. Для цього необхідно симетричний вібратор перетворити в Т-подібну антену, штирьову антену розташувати перпендикулярно поверхні землі, а в рамковій антені за допомогою конденсатора СІ змістити вузол струму на середину горизонтальної частини проводу в результаті чого у випромінюванні будуть брати участь тільки вертикальні проводи.

1.6. Т-подібні антени

Антени, називані Т-подібними чи несиметричними антенами з верхнім навантаженням, виходять із симетричних вібраторів шляхом з'єднання двох проводів фідера в один. Горизонтальна (похила) частина такої антени поліпшує розподіл струму уздовж вертикального проводу. Струми в плечах рівні і протилежні по напрямку, тому плечі не беруть участь у випромінюванні, а поліпшують випромінювання вертикального проводу.

Така антена еквівалентна штирьовій антені, але з більш високим коефіцієнтом підсилення. Діаграма спрямованості в горизонтальній площині - кругова, ледве витягнута в напрямку пліч.

На рис.1.15 представлені криві, що дозволяють порівняти коефіцієнти підсилення Т-подібних антен ТН 40/12 і ТН 11/9 з коефіцієнтом підсилення штирьової антени висотою 10 м (Ш-10). Перевага Т-подібних антен очевидна.

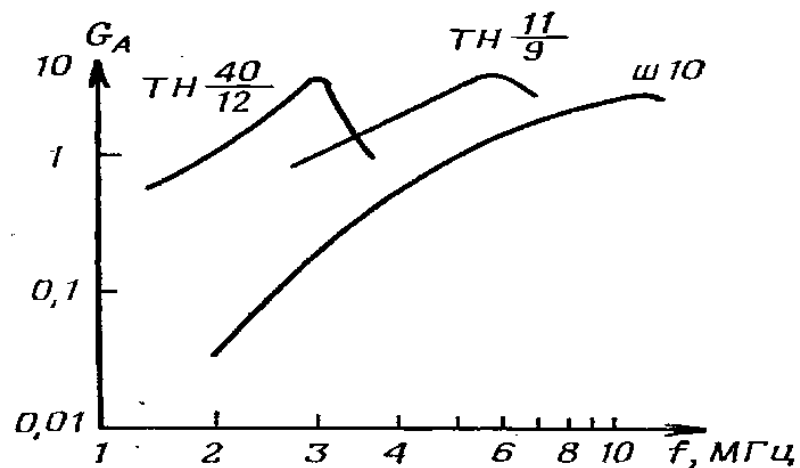


Рисунок.1.15 Залежність коефіцієнтів підсилення антен від частоти.

Основна область застосування антен даного типу - робота земною хвилею. Однопровідна, низькорозташована, напівромбічна та λ -подібна антени.

Однопровідна низькорозташована антена біжучої хвилі, (АБХ) являє собою провід довжиною в декілька λ , натягнутий над землею, тобто є довгою лінією. Лінія навантажена на опір, рівний хвильовому (один кінець резистора навантаження приєднується до проводу, іншої – до лежачого на землі противага). Хвильовий опір такої антени звичайно лежить у межах 400-600 Ом і мало залежить від частоти, завдяки чому режим біжучої хвилі зберігається в широкому діапазоні. Вхідний опір антени дуже близький до хвильового, а реактивна складова вхідного опору дуже мала і не дереться до уваги при розрахунку узгоджуючих пристроїв. Оптимальна довжина АБХ при висоті підвісу $h=1-2$ м дорівнює $(5-7) \lambda$.

АБХ – спрямована антена, максимум її випромінювання спрямований у бік навантаження. Діаграми спрямованості антени у вертикальній і горизонтальній площинах приведені на рис.1.16.

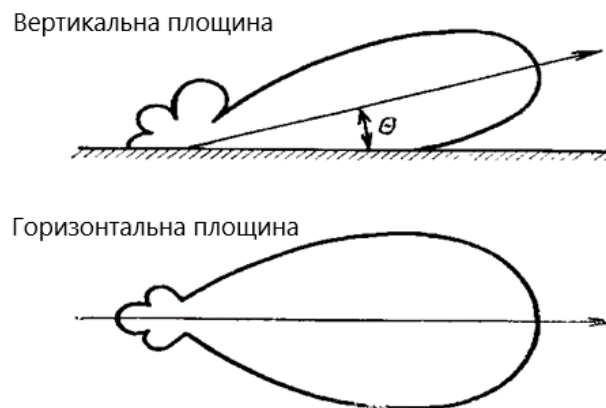


Рисунок.1.16. Діаграми спрямованості антени АБХ.

Коефіцієнт підсилення АБХ залежить від параметрів ґрунту і частоти. У діапазоні КХ він дуже малий (0,01-0,1), а в діапазоні метрових хвиль не тільки порівнюємо з коефіцієнтом підсилення штирьових антен, але і перевершує його (3-10). Коефіцієнт підсилення росте зі зниженням провідності ґрунту, тому розгортати АБХ рекомендується над сухим ґрунтом. У силу існуючої залежності коефіцієнта підсилення від частоти як прийомно передаюча антена АБХ використовується тільки в метровому

діапазоні, причому вона дає збільшення дальності зв'язку (у порівнянні з дальністю при штирових антенах) у 2-2,5 рази.

Типовими розмірами антени АБХ метрового діапазону є: $\ell = 40$ м, $h = 1$ м.

Для підвищення ефективності АБХ середню чи ближню до радіостанції частину проводу піднімають на опору, тоді антена стає напівромбічною чи λ -подібною (рис.1.17).

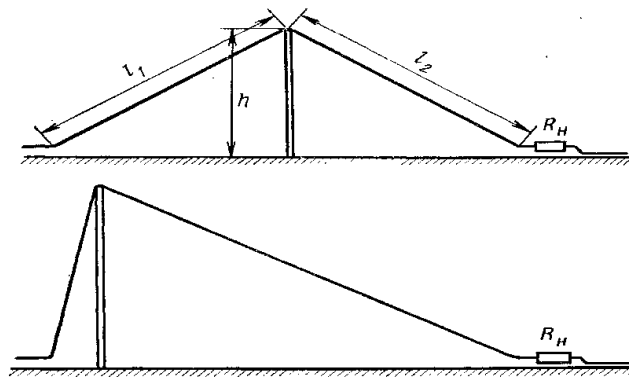


Рисунок.1.17. Напівромбічна і λ -образна антени АБХ.

Аналіз і досвід показують, що для напівромбічної антени метрового діапазону доцільними розмірами є наступні: $\ell_1 = \ell_2 = 30-35$ м, $h = 8-12$ м.

Коефіцієнт підсилення напівромбічної антени більше, ніж горизонтальної, у 2-5 разів. Однак через роздвоєння головного пелюстка діаграми спрямованості в горизонтальній площині завадостійкість цієї антени трохи гірше. Усунення цього недоліку досягається збільшенням висоти опори з одночасним її переносом ближче до станції, тобто перетворенням напівромбічної антени в λ -подібну.

У діапазоні КХ антени біжучої хвилі, незважаючи на низький коефіцієнт підсилення, широко використовуються як завадостійкі приймальні антени. Типовими розмірами АБХ у цьому випадку є: $\ell = 150$ м чи 250 м, $h = 3$ м. З огляду на те, що середній вхідний опір радіоприймачів дорівнює 75 Ом, приймальні АБХ підключають до приймачів через погоджуючі широкосмугові феритові трансформатори.

Рознесені територіально дві короткохвильові АБХ часто використовуються для рознесеного прийому.

1.7. V-подібна антена

V-подібна антена являє собою симетричну антену біжучої хвилі, що складається з двох дротів, натягнутих між антенною опорою і землею під деяким кутом (рис.1.18).

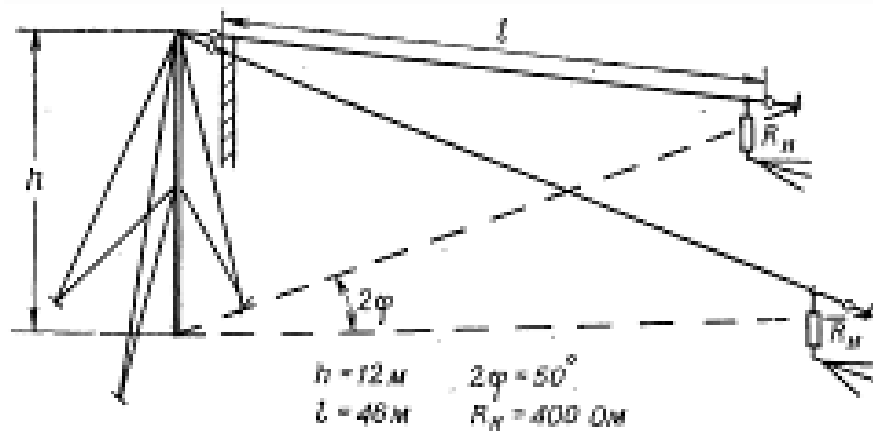


Рисунок.1.18. V-подібна антена

Дроти антени являють собою довгі лінії, навантажені на хвильові опори. Антена живиться повітряним фідером. Як і всі антени біжучої хвилі, V-подібна антена є широкодіапазонною та напрямленою. Діаграми спрямованості антени залежать від співвідношення її лінійних і кутових розмірів (l , h і 2φ), а також від параметрів ґрунту. Вони формуються шляхом додавання діаграм кожного з двох дротів.

На рис.1.19 представлені діаграми спрямованості у вертикальній і горизонтальній площинах типової V-подібної антени, що входить у комплект антен радіостанцій середньої потужності. Ці діаграми відбивають залежність коефіцієнтів підсилення антен від частоти.

З діаграм випливає, що з ростом частоти коефіцієнт підсилення антени росте, кут θ зменшується, а діаграма в горизонтальній площині сигналу звужується, але потім розширюється за рахунок роздвоєння.

Зовсім очевидно, що V-подібна антена застосовна у верхній області декаметрового діапазону для роботи на великі відстані (1000-2000 км).

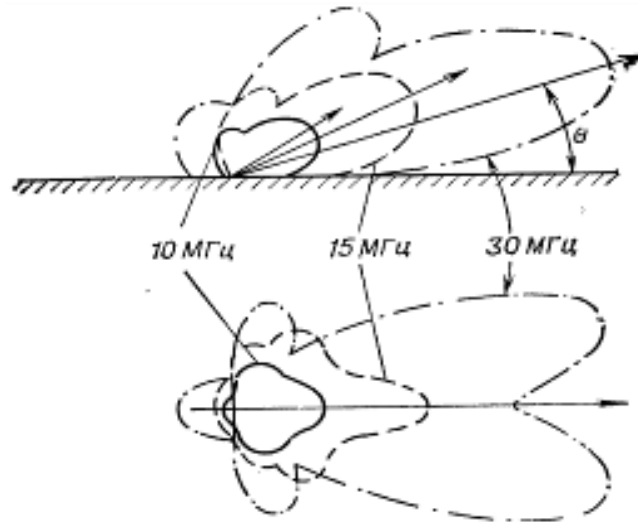


Рисунок.1.19- Діаграми спрямованості V-образної антени

Ефективність V-подібної антени можна підвищити шляхом одночасного подовження проводів, збільшення висоти антеною опори і підбором величини кута 2φ , що пов'язується з робочою областю частот.

Збільшення габаритів антени дозволяє розширити діапазон її використання (за рахунок збільшення коефіцієнта підсилення) у бік нижніх частот.

Оскільки зі збільшенням розмірів антени її розгортання вимагає більшого простору і часу, то такі антени входять у комплект найбільш потужних радіостанцій, тобто рідше переміщуються.

1.8. Мініатюризація антенних пристроїв

Проблема мініатюризації антен виникла з появою самих антен. Оскільки на історичному початку розвитку радіотехніки існували

генератори електромагнітних хвиль із доволі великою довжиною (гектометрового, кілометрового і міріаметрового діапазонів), то для підвищення ефективності випромінювачів необхідно було через практичну неможливість створювати несиметричні вібратори резонансної довжини використовувати конструктивні елементи, які б давали змогу зменшувати розміри антен. Такими елементами виявилися вкорочувальні ємності та подовжувальні котушки індуктивності. Необхідно зазначити, що в сучасній радіотехніці тенденції до мініатюризації антен існують не тільки в діапазонах середніх і більш низьких частот. Нині розроблення мініатюрних антен здійснюються в усіх освоєних частотних діапазонах. Це обумовлене тим, що зменшуються габарити рухомих терміналів радіотехнічних систем, з'являються надзвичайно мініатюрні радіоприймачі, аудіоплеєри, засоби індивідуального зв'язку, пристрої для несанкціонованого доступу в інформаційні мережі тощо. Тому проблемами мініатюризації займаються майже в усіх діапазонах радіохвиль.

Найбільш поширеними способами мініатюризації є використання ємнісних навантажень вібраторів, сповільнення поширення хвиль струмів живлення у самій антені, занурення випромінювальних елементів у магнітодіелектрик, застосування смужкових випромінювачів. Зменшення габаритів випромінювача за допомогою ємнісного навантаження обумовило появу таких антен як Т-подібна, Г-подібна, що використовуються у діапазонах довгих хвиль. Антени з вкорочувальними ємнісними навантаженнями застосовують і на мобільних об'єктах. Так, літакову шлейфову антену можна розглядати як несиметричний вібратор з досить великою горизонтальною частиною. Приймальна літакова маркерна антена, що працює в метровому діапазоні хвиль, має у своїй конструкції зосереджені ємності, які зменшують геометричну довжину антени та збільшують її діючу довжину.

Сповільнення поширення струмів живлення у випромінювальних елементах антени досягають заміною прямолінійних провідників

провідниками з додатковими синусоїдними або зигзагоподібними вигинами. При цьому довжина шляху струмів у випромінювальних елементах збільшується, що еквівалентне зменшенню довжини хвилі в антені. Залежно від розмірів вигинів і їх форми можна отримати коефіцієнт вкорочення хвилі (коефіцієнт сповільнення) до 2, тобто є можливість удвічі зменшити габарити антени.

При зануренні випромінювальних елементів у магнітодіелектрик можна отримати зменшення габаритів у більших межах. Оскільки в однорідному магнітодіелектричному середовищі фазова швидкість поширення хвилі визначається як

$$v_{\phi} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

де c - швидкість поширення хвиль у вільному просторі;

ϵ і μ - відносні діелектрична та магнітна проникність середовища, то коефіцієнт вкорочення хвилі досягає значення:

$$\xi = \frac{\lambda}{\Lambda} = \sqrt{\epsilon\mu}.$$

Сучасні матеріали дають можливість створити середовища з великим коефіцієнтом вкорочення ξ . Але при цьому виникають певні проблеми із забезпеченням як електродинамічних параметрів випромінювача, так і з коефіцієнтом корисної дії.

Перспективним способом мініатюризації є використання друкованих технологій, тобто створення мікросмужкових або смужкових випромінювачів. Розвиток друкованих технологій і теоретичні досягнення в аналізі електродинамічних процесів у смужкових лініях передачі призвели до появи нових класів антен - мікросмужкових випромінювальних пристроїв. Це досить численні класи, антени яких умовно ділять так:

- а) вібраторні антени з різними способами збудження, з доповненнями реактивними елементами, а також полівібраторні антени;
- б) щілинні антени з різними способами збудження;

в) плоскі двовимірні - резонансні, нерезонансні антени, антени з розподіленим збудженням;

г) частотно-незалежні та багаточастотні антени;

д) активні антени (з нелінійними елементами).

Розвитку антен у друкованому виготовленні сприяли такі їх переваги:

- технологічність;
- висока точність відтворення розмірів антен і електродинамічних характеристик;
- конструктивна простота, малі габарити, мала маса та низька вартість;
- можливість виготовлення антен, що не виступають або незначно виступають над обшивками транспортних засобів;
- розвинена база друкованих елементів фідерних трактів: ліній передачі, узгоджувальних пристроїв, фазообертачів, перемикачів, подільників потужності тощо.

Вадами смужкових антен є незначна електрична міцність, що обумовлює низький рівень допустимих потужностей, вузькосмуговість, труднощі в конструюванні пристроїв з перестройкою та зміною параметрів друкованих елементів.

Використовують смужкові антени в основному на частотах від 100 МГц до 30 ГГц.

Для пояснення принципу дії смужкової антени розглянемо модель прямокутного випромінювача (рис. 1.20).

Випромінювальний елемент 2, довжина якого L , а ширина b , живиться смужковою лінією 1. Випромінювальний елемент і смужку виконано з металеві фольги і нанесено на шар діелектрика з товщиною d . Нижній бік шару діелектрика закритий металевим екраном 4.

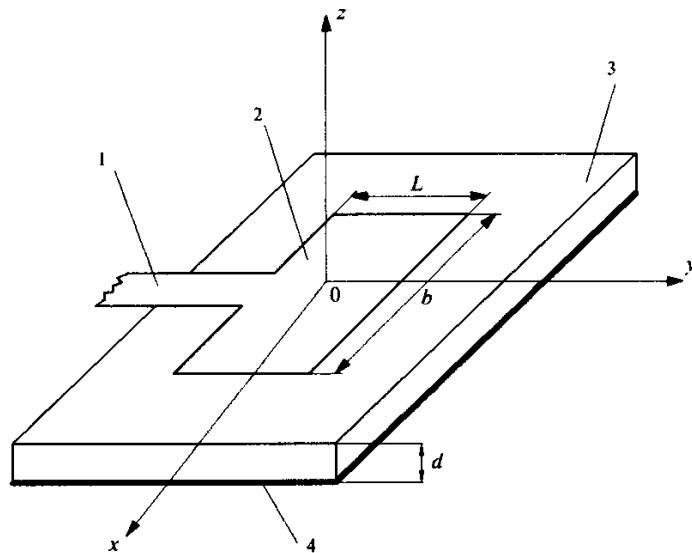


Рисунок. 1.20. Модель прямокутного випромінювача.

Можна вважати, що елемент 2 є відрізком регулярної смужкової лінії. Тому хвиля, яка надходить з фідера 1, поширюється вздовж лінії 2, зберігаючи свою структуру з рівномірним розподілом у поперечному перерізі (вздовж осі Ox). При падінні на відкритий кінець (правий бік елемента 2) хвиля відбивається і напруженість поля змінюється лише вздовж осі Oy .

На рис. 1.21, *a* зображено конфігурацію випромінювального елемента, нанесеного на шар діелектрика.

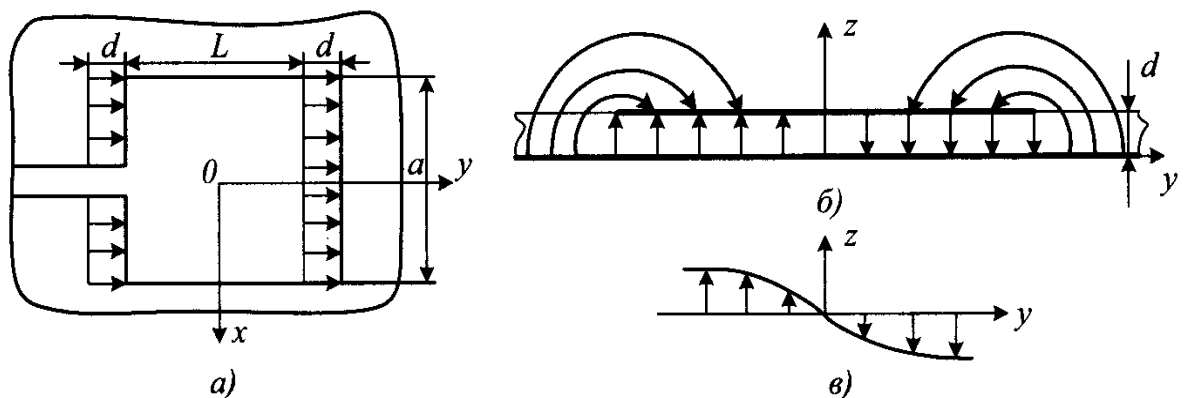


Рисунок. 1.21. Силві лінії електричного поля.

Візьмемо довжину цього елемента, рівну половині довжини хвилі в смужковій лінії завширшки b . Як і у звичайній довгій лінії в просторі під елементом виникне стояча хвиля (рис. 4.2, *в*). Картина силових ліній електричного поля матиме вигляд, зображений на рис. 4.2, *б*. Як впливає з цієї структури силових ліній, нормальні складові вектора напруженості електричного поля, що знаходяться на лівій і правій границях випромінювального елемента, перебувають у протифазі, тому їхні поля випромінювання у площині, перпендикулярній площині випромінювача, взаємно компенсуються. Їх внесок у поле випромінювання взагалі незначний і їх можна не враховувати при визначенні поля у просторі.

Тангенціальні складові з обох боків елемента знаходяться у фазі і формують у напрямі осі oz максимум інтенсивності випромінювання. Оскільки товщина шару діелектрика значно менша довжини хвилі ($d \ll \lambda$), то впливом шару діелектрика на розподіл поля у просторі можна знехтувати. У результаті випромінювальний елемент можна подати у вигляді двох щілин з рівномірним розподілом тангенціальних складових напруженості електричного поля вздовж щілин (рис. 1.21, *в*). Ширину приймають рівну товщині шару діелектрика, довжина їх дорівнює ширині випромінювального елемента b , а відстань між щілинами визначаємо як $L = \lambda/2$.

Напруга між кромками щілин вважається рівною напрузі між торцевим краєм елемента 2 і заземленим екраном 4 (рис. 1.20).

Діаграма спрямованості такої антени в площині E визначається через добуток характеристики спрямованості поодинокі щілини на множник системи, що складається з двох елементів. Очевидно, що в площині H поле випромінювання розподіляється у просторі як поле випромінювання однієї щілини.

Прямокутний випромінювач за принципом дії належить до резонаторних антен, серед яких використовують досить багато резонаторів інших геометричних форм. Залежно від форми резонатора та способу його живлення можна отримати як лінійно поляризовані хвилі, так і електромагнітні хвилі з коловою й еліптичною поляризацією. Поряд із резонаторними випромінювачами набули значного поширення і вібраторні смужкові антени. Для вібраторного смужкового випромінювача металевий екран може бути не суцільним або ж неповністю перекривати випромінювач, а діелектричний шар використовується як конструктивний елемент, що зменшує резонансну довжину антени.

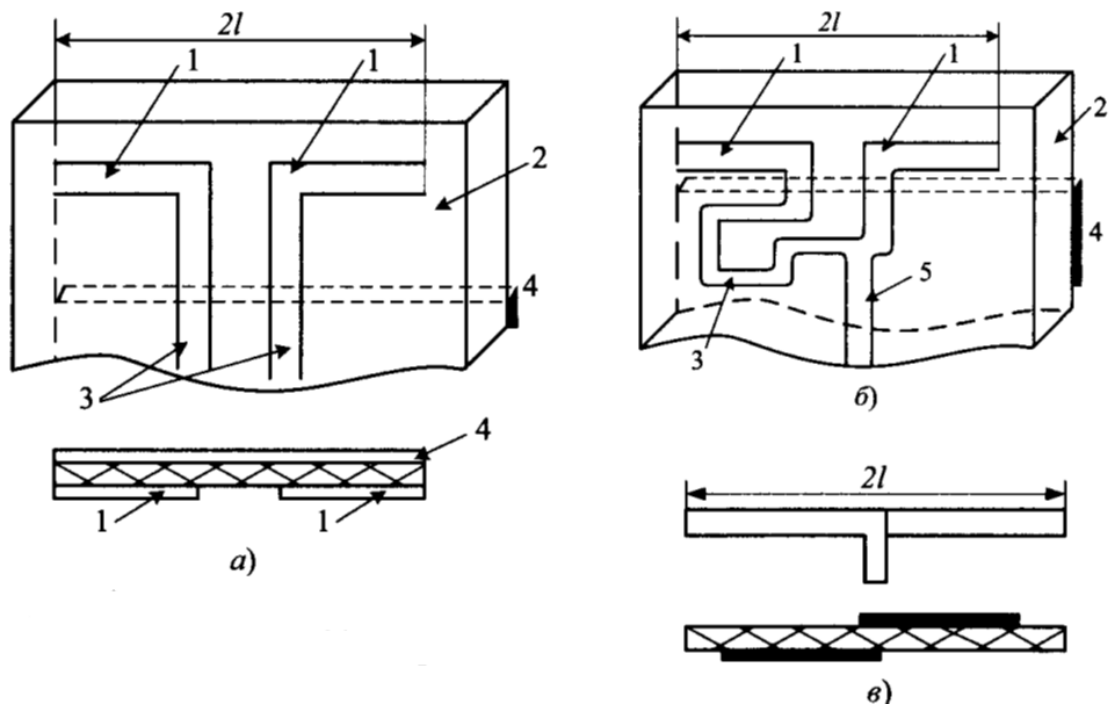


Рисунок. 1.22. Схематичне зображення смужкового вібратора.

Якщо живлення смужкового вібратора здійснюється двопровідною смужковою лінією, то смужковий вібратор являє собою цілковитий аналог класичного симетричного вібратора (рис. 1.22, а). Смужки 1 є плечима вібратора, нанесеними на шар діелектрика 2. Двopовідна смужкова лінія 3 виконана за стандартною технологією на шарі діелектрика, закритого зі зворотного боку екраном 4. На рис. 1.22, б зображено смужковий вібратор,

з плечима 1, розташований також на одному боці діелектричного шару 2. Але живлення здійснюється звичайною несиметричною смужковою лінією 5. Щоб симетрувати розподіл струму у вібраторі й узгодити опір навантаження з хвильовим опором смужкової лінії використано пристрій 3.

Плечі вібратора можуть наноситися і на різні боки діелектричного шару (рис. 1.22, в).

Для вібраторів, довжина яких задовольняє нерівність $2l < 0,5 \lambda$, розподіл струму наближається до синусоїдального. А діаграма спрямованості при відношенні $L/d > 5$, де d - ширина смужки плечей вібратора, збігається з діаграмою спрямованості тонкого дротового вібратора. Товщину шару діелектрика беруть незначною ($t < 0,1 \lambda$). Смужкові вібраторні випромінювачі часто використовують у друкованих антенних решітках.

1.9. Вплив корпусу автомобіля на характеристики антени

Найбільш поширеними транспортними засобами, які використовують мережі мобільного зв'язку, є автомобілі. Антени на таких рухомих об'єктах можуть розміщуватися або в середині салону автомобіля, або назовні. При встановленні антени в середині салону необхідно враховувати те, що корпус автомобіля частково екранує електромагнітні хвилі і напруженість електричного поля буде меншою, ніж назовні. Крім того, при закріпленні антени біля переднього скла автомобіля приймання хвиль із заднього півпростору погіршується. І навпаки, при розміщенні антени біля заднього скла погіршується приймання хвиль, що приходять з переднього півпростору. Можна використати дві антени: одну біля переднього (лобового) скла, другу - біля заднього скла. Але при цьому можуть виникнути глибокі інтерференційні провали (рис. 1.23). Кут відраховується від повздовжньої осі автомобіля. Сигнали, які приймають антени: передня - з напрямку при $\theta = 0^\circ$, а задня - з напрямку при $\theta = 180^\circ$, мають однакову інтенсивність. А інтенсивність сигналів на вході тих самих

антен при прийманні радіохвиль з протилежних напрямків значно менша через екрануючу дію кузова. Тому пелюстки ДС в напрямках $\theta = 0^\circ$ і $\theta = 180^\circ$ практично створюються однією антеною і не зазнають інтерференції.

При пересуванні автомобіля на територіях з численними спорудами, по міських вулицях поширення хвиль багатопроменеве, тому в ДС салонної автомобільної двоелементної антенної системи нулі “запливають”, як це показано на рис. 1.23 штриховою лінією, а поза межами міста знову з’являються глибокі провали.

Більш вдалим є розміщення такої антени, як несиметричний вібратор на даху автомобіля. Вхідний опір вібратора мало змінюється при зміщенні антени від середини до краю даху, оскільки ближня зона, де зосереджена реактивна потужність, має незначний радіус і охоплює невелику частину даху. Але ДС може суттєво змінюватися.

Якщо антена встановлена в центрі даху, то ДС практично симетрична. При зміщенні антени із центру діаграма стає асиметричною.

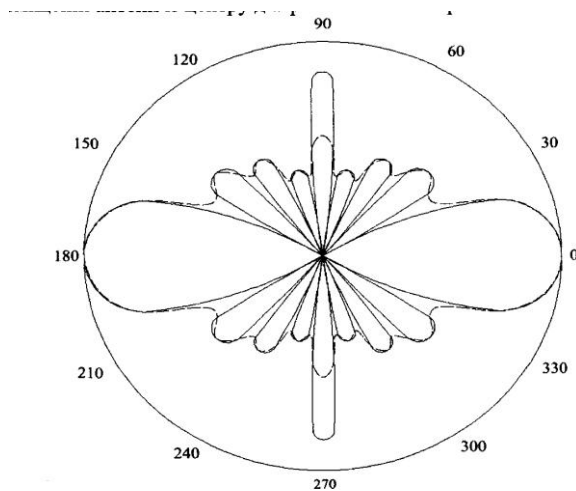


Рисунок. 1.23. Діаграма спрямованості антени, розташованої на автомобілі.

Для дослідження впливу розташування антени на ДС було використано фізичну модель у вигляді металевого листа з розмірами, що дорівнювали трьом довжинам хвиль. ДС несиметричного вібратора, встановленого в центрі листа (рис. 1.24, а), в меридіональній площині буде

симетричною (рис. 1.24, б) з максимальним випромінюванням, спрямованим під кутом Δ_{max} до площини горизонту. Від азимутального кута залежність інтенсивності поля випромінювання не спостерігається.

При зміщенні вібратора (рис. 1.25, а) до краю металевого листа ДС в меридіональній площині стає несиметричною. Кут Δ_{max2} більший кута Δ_{max1} , а інтенсивність випромінювання у напрямку $\Delta = \Delta_{max2}$ менша інтенсивності випромінювання під кутом місця Δ_{max1} , що спрямоване у бік, де довжина металевого листа від антени до краю більша. Залежність ДС від азимутального кута φ також несиметрична. На рис. 1.25, в наведено залежність інтенсивності випромінювання від кута φ при куті місця Δ , що дорівнює 30° . Отже, найбільш придатним є розміщення вібратора в центрі даху автомобіля.

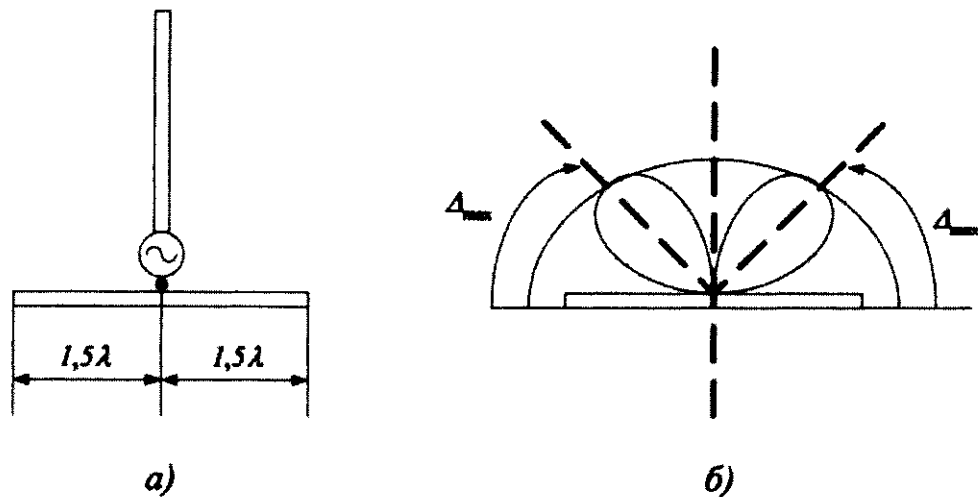


Рисунок. 1.24-. Фізична модель і ДС несиметричного вібратора

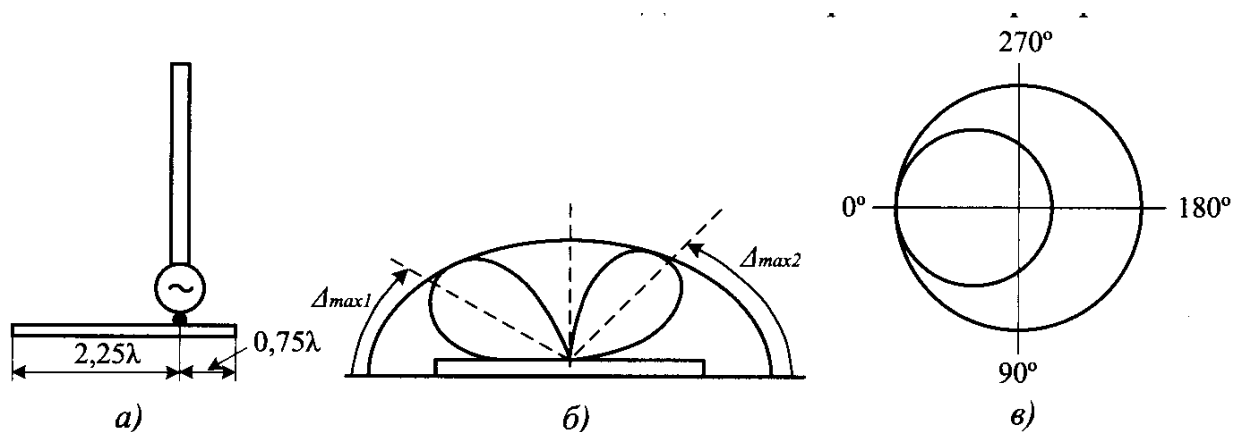


Рисунок. 1.25- Еквівалентна схема і ДС зміщеного вібратора

1.10. Автомобільні антени

Антени, що розміщуються на дахах автомобілів і працюють як в режимі приймання, так і в режимі випромінювання, за частотними властивостями поділяються на одночастотні та багаточастотні. Одночастотні антени працюють в одній смузі частот, тобто в одній мережі зв'язку, багаточастотні можуть працювати у двох або трьох мережах радіозв'язку, тобто випромінюють і приймають радіохвилі у декількох смугах частот.

Найчастіше одночастотні антени виконують у вигляді несиметричного вібратора з пристроєм для кріплення антени на даху, який забезпечує одночасно і високочастотний контакт з корпусом автомобіля. Довжина вібратора може бути резонансною ($l = 0,25\lambda$) з коефіцієнтом підсилення $G=0,9$ дБ. Ширина смуги робочих частот штирової антени може становити (5...10)% при коефіцієнті біжучої хвилі у фідері близько $K_{BX}=0,6...0,7$. Щоб збільшити коефіцієнт підсилення, використовують вібратор завдовжки $l=0,6255\lambda$, але тоді у пристрої кріплення антени встановлюють елемент узгодження вхідного опору вібратора з хвильовим опором фідера.

Дещо кращими характеристиками вирізняються колінеарні антени (рис. 1.26).

У діапазонах ультрависоких частот їх розміри не дуже великі. Найчастіше використовують антени з двома секціями й однією фазувальною котушкою. Смуга робочих частот колінеарної двоелементної антени майже така, як і у простої вібраторної антени при $K_{BX}=0,6...0,7$, але діаграма спрямованості менше залежить від розмірів і електричних параметрів даху автомобіля. Крім того, головні пелюстки ДС у вертикальній площині більш притиснуті до горизонту, що розширює зону впевненого зв'язку. Коефіцієнт підсилення антени, зображеної на рис. 1.26, становить 3 дБ.

Застосовуються також малогабаритні зовнішні автомобільні антени. На рис. 1.27 зображено вібратор із шунтовим живленням. Чвертьхвильовий штир, зігнутий у вигляді літери Г, є несиметричним вібратором з ємнісним навантаженням.

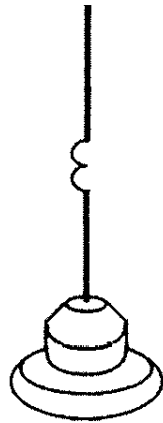


Рисунок.1.26. Колінеарна антена

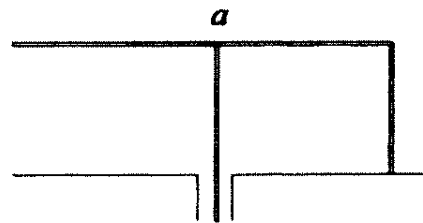


Рисунок.1.27. Вібратор з шунтовим живленням

Обираючи положення точки *a* - точки приєднання фідера, узгоджують фідер з антеною. Антена є вузькосмуговою, оскільки зменшення вертикальної частини вібратора призводить до зменшення смуги робочих частот. ДС нічим не відрізняється від ДС звичайного несиметричного вібратора.

У діапазоні декаметрових хвиль антени мобільного зв'язку виготовляють у вигляді вкороченого несиметричного вібратора, оскільки використати несиметричний вібратор з резонансною довжиною на автомобілі, практично, неможливо. Вкорочений вібратор з подовжувальною котушкою має знижений ККД і звужену смугу робочих частот. Крім того, потрібно використовувати узгоджувальні пристрої для приєднання фідера із затискачами антени. На рис. 1.28 наведено схеми узгодження вхідного опору антени з хвильовим опором фідера.

При ввімкненні подовжувальної котушки на затискачах вібратора узгодження можна досягти при використанні трансформаторного живлення

антени (рис. 1.28, а), у цьому разі кількість витків n , обмотки зв'язку L_1 , обчислюють за формулою:

$$n_1 = n_2 \sqrt{\frac{W_\phi}{\omega L_\Pi}},$$

де n_2 —кількість витків подовжувальної котушки з індуктивністю L_Π ,

W_ϕ - хвильовий опір фідера.

Можлива також автотрансформаторна схема живлення (рис. 1.28, б). Розрахунок коефіцієнта трансформації виконують таким же чином, як і для трансформаторної схеми.

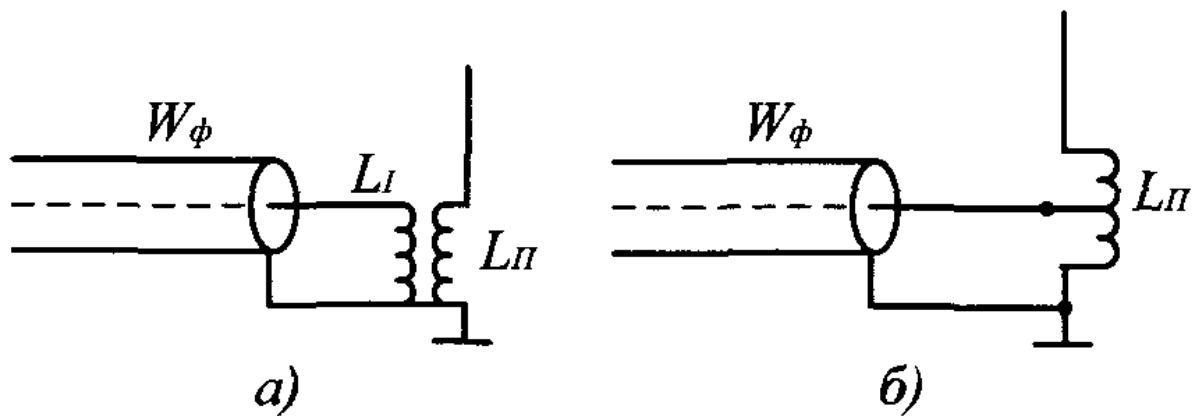


Рисунок. 1.28. Трансформаторна й автотрансформаторна схеми живлення.

Більш досконалыми є схеми живлення несиметричних вібраторів з конденсатором C , який з'єднує узгоджувальну котушку L_γ з корпусом автомобіля (рис. 1.29, а).

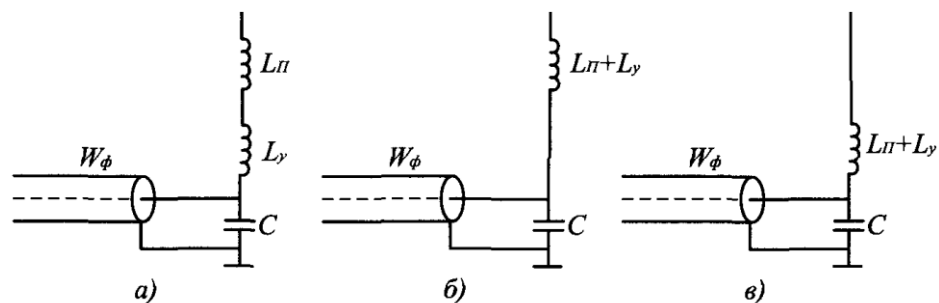


Рисунок. 1.29. Схеми живлення несиметричних вібраторів з конденсатором.

Подовжувальна котушка L_{Π} може приєднуватися ближче до верхнього кінця штиря, що зменшує втрати в котушці. Узгоджувальна та подовжувальна котушки можуть об'єднуватися в одну конструктивно цілісну індуктивність $(L_{\Pi} + L_{\gamma})$, і таку котушку розміщують або всередині вібратора (рис. 1.29, б) або біля входних затискачів (рис. 1.29, в).

Застосовуються також несиметричні вібратори, у яких подовжувальну котушку замінюють розподіленою індуктивністю. Такий вібратор являє собою трубу, виконану із діелектрика (скловолокно, полістирол, поліетилен тощо), на яку намотують дротом по всій довжині витки. Порівняно з вертикальним штирем такої самої довжини з подовжувальною котушкою вібратор з розподіленою індуктивністю має вищий опір випромінювання і більш широку смугу робочих частот. Для зменшення втрат крок витків роблять нерівномірним. Він зменшується при збільшенні відстані від входу антени.

Активні автомобільні антени можуть бути зовнішніми або внутрісалонними. Активні антени, що встановлюються зовні на корпусі автомобіля, зазвичай будуються за структурною схемою, антенний елемент являє собою укорочений штир. Активний елемент - підсилювач з високим входним опором вміщують у невеликий діелектричний футляр, наприклад, у вигляді труби із поліпропілена (рис. 1.30).

Стержень 1 функціонує як антенний елемент. Для захисту підсилювача 3 від грозових розрядів використовують захисну схему 2, що складається з високоомного резистора, паралельно якому приєднується газовий розрядник. На виході підсилювача у багатьох випадках також вмикають захисну схему 4 для захисту активного елемента від перенапруг у фідері або в лініях живлення активного елемента.

Внутрісалонну активну антену найчастіше розміщують на дзеркалі заднього виду. Антенний елемент виготовляють друкованим способом, тому внутрісалонна антена дуже компактна. Структурна схема практично

не відрізняється від структурної схеми зовнішньої активної автомобільної антени.

Приймальні активні антени працюють у доволі широких смугах робочих частот. Так, автомобільні антени, що серійно виготовляються промисловістю без перенастроювань працюють у діапазонах високих, середніх і низьких частот. Щоб забезпечити ще і приймання частотно модульованих коливань у метровому діапазоні хвиль активну антену комплектують паралельно включеним підсилювачем дуже високих частот. Але є і конструкції активних елементів інтегральних антен, які забезпечують приймання сигналів від діапазону низьких частот до діапазону дуже високих частот.

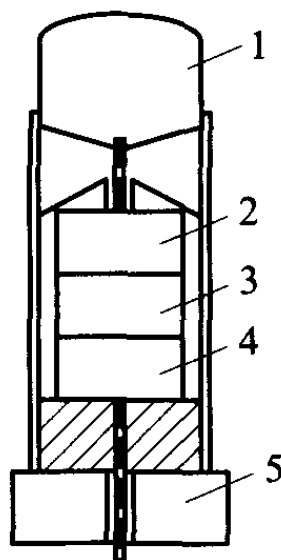


Рисунок. 1.30. Конструкція автомобільної антени.

Пасивну багаточастотну автомобільну антену, призначену для роботи у двох або трьох мережах частот зв'язку, зображено на рис. 1.31, а.

Вібратор 1 виконаний у вигляді труби, всередині якої міститься металевий стержень або дріт 2. Верхній кінець стержня 2 з'єднаний з внутрішньою поверхнею труби 2, а нижній кінець заземлений. Стержень 2 і труба 1 являють собою закорочений жорсткий коаксіал, вхідний опір

якого індуктивний і приєднаний паралельно до вхідного опору несиметричного вібратора.

Пристрій узгодження вхідного опору антени з хвильовим опором фідера нанесений на плату 3, нижній бік якої має металеве покриття - екран. Живиться антена коаксіальним кабелем 4. Пристрій узгодження та ввід коаксіального кабелю розміщені в компактному корпусі з металевою основою 5. Антену встановлюють на даху автомобіля. Велика ємність між основою 5 і поверхнею даху забезпечує на високих частотах необхідний зв'язок з корпусом автомобіля. Схему антени з пристроєм узгодження зображено на рис. 1.31, б. Вібратор B разом зі стержнем утворюють індуктивний шлейф Ш1. На платі в мікросмужковому виконанні нанесені шлейфи Ш2,...,Ш5, які трансформують вхідний опір несиметричного вібратора зі шлейфом у хвильовий опір лінії живлення. Ємність C утворена основою 5 і дахом автомобіля. Діаграма спрямованості антени має вигляд ДС чвертьхвильового несиметричного вібратора, розташованого над екраном з обмеженими розмірами.

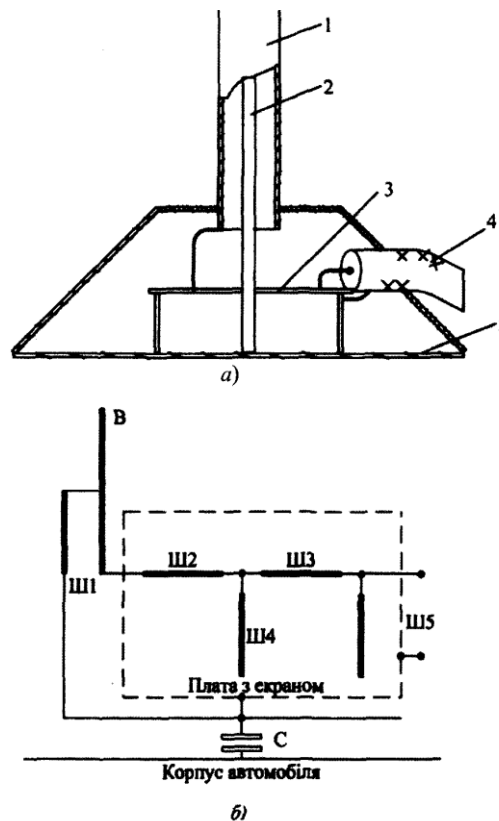


Рисунок. 1.31. Пасивна багаточастотна автомобільна антена

Розв'язка та додаткове узгодження опорів у декількох смугах частот забезпечується використанням фільтрових пристроїв об'єднання сигналів. За допомогою таких пристроїв можна досягти в робочих смугах частот коефіцієнта біжучої хвилі не менше 0,8.

Висновки до розділу

Антени військових радіо засобів є необхідними і найважливішими технічними елементами, що беруть участь у формуванні радіоканалу. Позитивною властивістю антен є те, що вони, не споживаючи потужності від джерел енергії, забезпечують дії, еквівалентні посиленню потужності сигналу.

Військові радіозасоби працюють в особливих умовах. Це викликає необхідність у створенні і застосуванні антен спеціальних типів і конструкцій. Крім необхідних електричних характеристик, приймаються в увагу габарити, транспортабельність, час розгортання і згортання, маскуванню, надійність і захищеність антен.

Грамотне застосування антен у різноманітних умовах місцевості, на стоянці, при зупинках і в русі, маскуванню і захист від розвідки і поразки, маневр частотами й антенами для підтримки стійкого радіозв'язку в суцільній перешкодовій обстановці жадає від особового складу радіо підрозділів чіткого знання властивостей антен і творчого використання їх можливостей.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АНТЕННИХ ПРИСТРОЇВ

2.1. Ненаправлені одноелементні антени

Ненаправлені одноелементні антени виготовляють на основі симетричних і несиметричних вібраторів. Виробництво таких антен відомими європейськими фірмами організовано для різних систем мобільного зв'язку, що працюють у смугах частот від 25 МГц до 3,6 ГГц. Конструктивно найпростішою одновходною антеною є несиметричний вібратор. Незважаючи на невисокий коефіцієнт підсилення (0 дБ), несиметричний вібратор застосовують досить часто. Особливо це стосується пересувних або тимчасових БС, а також ретрансляторів транкінгових мереж.

Схема несиметричного вібратора штирової конструкції наведена на рис 2.1.

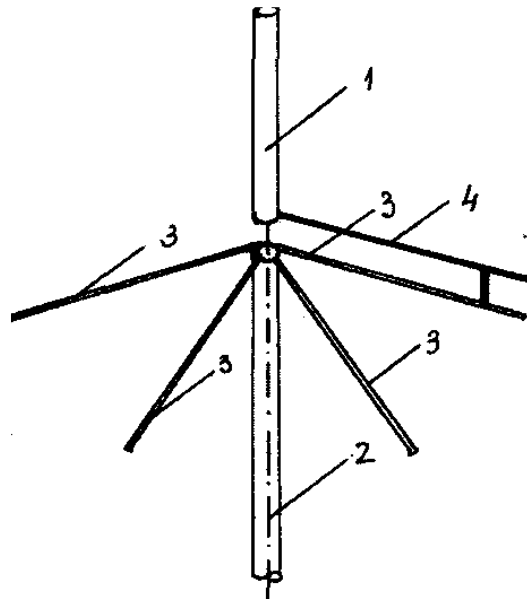


Рисунок.2.1- Несиметричний штировий вібратор.

Вібратор 1 встановлюється на щоглі з металевої труби 2, яка виконує функцію обплетіння коаксіального кабелю. В середині металевої труби прокладають центральний провідник коаксіалу, який приєднується до випромінювального елементу 1. До верхівки щогли приєднують систему

противаг 3. Конструктивно противага являє собою відрізки розтяжок, що фіксують положення щогли. Очевидно, що розтяжки або їх відрізки, приєднані до щогли, повинні виконуватися з металевих дротів. Розтяжки розносять рівномірно за азимутом і зважають на те, щоб дроти мали надійний електричний контакт з металевою трубою.

Антену настраюється за допомогою короткозамкненого реактивного шлейфа 4, який приєднується одним затискачем до випромінювального елементу 1, другим затискачем - до зовнішнього провідника коаксіалу 2. Отже, при такій схемі живлення несиметричного вібратора фідер (коаксіал) навантажений на дві паралельно з'єднані опори: вхідний опір антени та вхідний опір короткозамкненої двопровідної лінії 4. Антена може ефективно працювати на двох довжинах хвиль - λ_1 і λ_2 . Для цього довжину шлейфу l встановлюють короткозамикачем так, щоб вона дорівнювала чверті довжини хвилі, наприклад λ_1 . Вхідний опір шлейфа на хвилі λ_1 ; буде дуже великим і навантаження на фідер визначатиметься тільки вхідним опором несиметричного вібратора. Якщо довжина штиря 1 становитиме також чверть довжини хвилі λ_1 , то вхідний опір несиметричного вібратора буде активним і добре узгоджуватиметься з фідером, хвильовий опір якого 50 Ом.

На довжині хвилі λ_2 , яка не дорівнюватиме λ_1 , у вхідному опорі несиметричного вібратора виникає реактивна складова. Майже такої самої величини виникає реактивна складова вхідного опору шлейфу, але вже іншого знаку. Обираючи поперечні розміри провідників шлейфа і відстань між ними, можна добитися компенсації реактивних складових вхідних опорів антени та шлейфа. Це забезпечить необхідний рівень узгодження фідера з антеною на довжині хвилі λ_2 . Отже, антена може одночасно працювати як приймально- передавальна, якщо передавання здійснюється на довжині хвилі λ_1 ; а приймання - на довжині хвилі λ_2 .

Противагу можна виготовити із горизонтальних провідників або у вигляді плоского екрану. У цьому разі струми противаги протікатимуть в радіальних напрямках в одній площині, тобто на діаметрально протилежних

радіусах струми перебуватимуть в протифазі та випромінювання, спричинене цими струмами, взаємно компенсуватиметься. Тому екран або противага із горизонтальних провідників не випромінює електромагнітних хвиль, а створює поле лише в ближній зоні антени.

При похилому розташуванні провідників противаги (рис.2.1) вертикальні складові струмів будуть у фазі один з одним і у фазі зі струмом випромінювального елемента 1. Завдяки цьому інтенсивність поля вертикально поляризованої хвилі збільшиться. Тому перевагу віддають скісному розташуванню проводів противаги.

Антени такого типу виготовляють для роботи на відносно низьких частотах. Так, наприклад, антена типу K5125402 фірми Kathrein працює у смугах частот 84,0-87,5 МГц і 167,5-174 МГц при коефіцієнті стоячої хвилі меншому 1,5. Коефіцієнт підсилення антени для першої смуги частот становить 0 dBd , для другої - $0,5\text{ dBd}$. Із цих значень коефіцієнта підсилення випливає, що довжина випромінювача дорівнює чверті довжини хвилі у більш низькочастотній смузі. Коефіцієнт зв'язку між входами для першої та другої смуги частот, тобто відношення потужності, що живить перший вхід, до потужності, що виділяється в навантаження другого входу, перевищує 30 дБ. У вертикальній площині ширина ДС за половинною потужністю дорівнює $2\theta_{0,5} = 156^\circ$. Майже таку саму конструкцію мають одновходові несиметричні вібратори. Але антени, призначені для роботи в одній смузі частот, порівняно з попередньо розглянутою антеною, мають дещо ширшу робочу смугу частот. Вона може перевищувати 12 МГц.

Як ненаправлені вузькосмугові антени БС використовують також і симетричні вібратори. Зовнішній вигляд антени, яку виробляє фірма Kathrein, наведено на рис.2.2, а. Антена встановлюється на щоглі вертикально, тобто забезпечує випромінювання з вертикальною поляризацією. Верхнє плече вібратора 1 механічно закріплюється за допомогою ізолятора 2 на нижньому плечі 3, всередині якого проходить жорсткий коаксіал 5. Діелектричний ущільнювач 4 герметизує внутрішню

порожнину нижнього плеча вібратора. Вся конструкція встановлюється на щоглі, яка являє собою трубу діаметром у декілька сантиметрів.

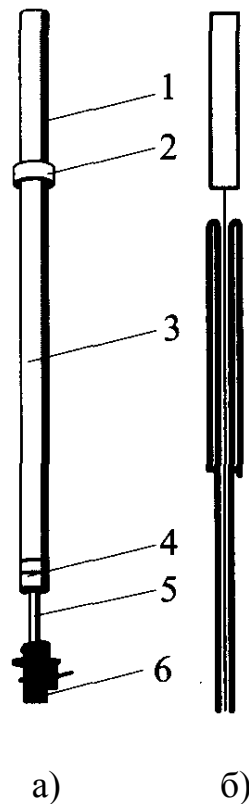


Рисунок.2.2- Симетричний вібратор фірми Kathrein.

Фідер залежно від діаметра прокладають або всередині щогли, або зовні труби. Коефіцієнт підсилення антени становить 0 dBd , а її висота дорівнює половині довжини хвилі. Ширина смуги частот становить 10 МГц при коефіцієнті стоячої хвилі в коаксіальному кабелі 1,4. Окремі моделі антен працюють у смугах частот 146-156 МГц, 155-165 МГц і 164-174 МГц.

На рис.2.2 зображений розріз вібратора. Як видно з цього малюнка, внутрішній (центральный) провідник коаксіального кабелю приєднується до верхнього плеча вібратора, яке має такий самий діаметр, як і нижнє.

Конструктивно нижнє плече являє собою трубу з алюмінію, довжина якої дорівнює довжині верхнього плеча. Верхній кінець труби з'єднується по усьому периметру з обплетінням коаксіального кабелю.

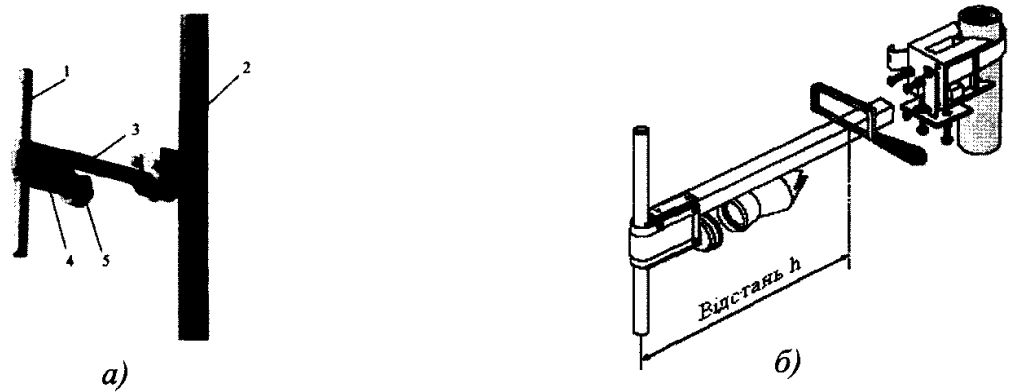


Рисунок.2.3- Антена фірми Kathrein.

Нижній кінець труби за допомогою діелектричного матеріалу закріплюється на металевій трубі жорсткого коаксіалу, який виконує також функції елемента кріплення антени до щогли. Діаграма спрямованості антени є ненаправленою в горизонтальній площині, як і в несиметричного вібратора, і має вигляд вісімки у вертикальній площині з $2\theta_{0.5}=78^\circ$, що майже збігається з шириною ДС півхвильового вібратора.

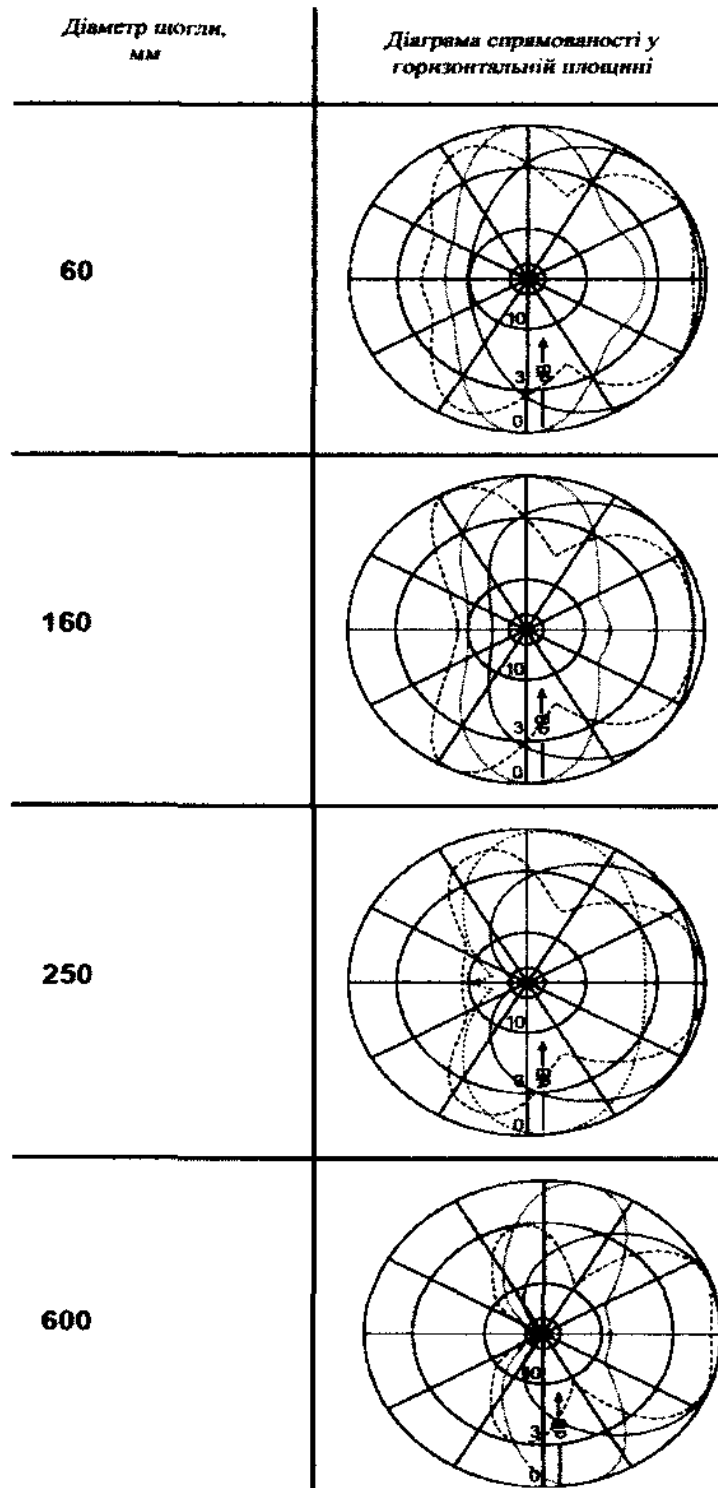


Рисунок.2.4- Діаграми спрямованості.

Як слабонаправлені антени використовують і симетричні вібратори звичної конструкції з установленням на щоглі. На рис. 2.3, а наведено зовнішній вигляд антени, що виготовляється фірмою Kathrein. Півхвильовий вібратор 1 за допомогою кронштейна 3 закріплюється на

щоглі 2 з круглим перерізом. Симетруючий пристрій 4 виконується у вигляді чвертьхвильової закороченої двопровідної лінії, один з провідників якої закінчуються роз'ємом 5 і являє собою жорсткий коаксіал. Принцип дії такого симетруючого, а також і узгоджуючого пристрою відомий, і тому немає потреби наводити його тут. На рис. 2.3, б зображено конструктивні елементи кріплення антени до щогли.

Кронштейн можна вкорочувати, щоб створити таку ДС, яка б задовольняла вимоги до зони покриття.

На рис. 2.4 наведені ДС для різних значень відстані h від вібратора до щогли та різних значень діаметра щогли. Суцільними лініями зображені ДС при $h=0,25\lambda$, пунктирними - при $h=0,5\lambda$ і штриховими - при $h=0,75\lambda$. З приведених ДС видно, що збільшення діаметра щогли призводить до створення однонаправленого випромінювання. Вібратори, встановлені на щоглах, діаметри яких дорівнюють 60 мм і 160 мм, тобто відносні розміри в довжинах хвиль не перевищують $0,25\lambda$, випромінюють у всі боки. Але в бік щогли інтенсивність випромінювання значна менша інтенсивності випромінювання в бік вібратора. Нерівномірність ДС зростає при зменшенні відстані h . Якщо діаметр щогли перевищує $0,3\lambda$ (250 мм і 600 мм), то ДС стає однонаправленою.

При невеликих відстанях ДС має форму кардіоїди, а при великих - розподіл поля у просторі наближається до розподілу випромінювання системи двох протифазних симетричних вібраторів. Очевидно, що поле випромінювання симетричного вібратора, встановленого вертикально на металевій щоглі, розподіляється у горизонтальній площині нерівномірно. Недоліком такої антени є також і досить сильна залежність форми ДС від довжини хвилі.

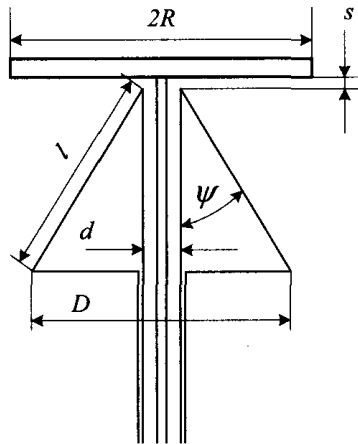


Рисунок.2.5- Диско-конусна антена.

У випадках, коли потрібно забезпечити випромінювання в широкій смузі робочих частот, використовують диско-конусну антену (рис. 2.5). Диск діаметром $2R$ з'єднується з центральним провідником коаксіального кабелю. Конус, твірна якого має довжину l , приєднується на вершині до обплетіння коаксіального кабелю. Кут розхилу конуса ψ впливає на ширину смуги пропускання та на вхідний опір антени. Для узгодження антени зі стандартним фідером кут ψ беруть у 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.

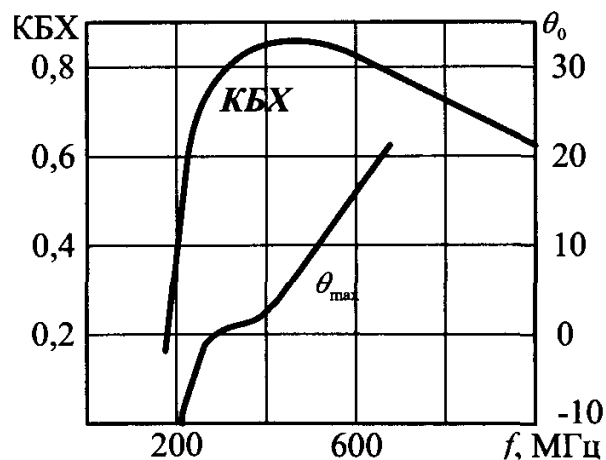


Рисунок.2.6- Залежність KBX від частоти.

Найменшу робочу частоту, при якій коефіцієнт біжучої хвилі становить 0.5, називають частотою зрізу, оскільки подальше зменшення частоти призводить до різкого падіння КБХ (рис. 2.6). Найдовшу довжину хвилі, яка відповідає частоті зрізу, називають граничною довжиною хвилі і визначають таким чином: $\lambda_{\text{гр}} \approx 3,6l$.

Відстань між диском і вершиною конуса s також впливає на смугу робочих частот. При зменшенні розміру s смуга частот розширюється в бік вищих частот. Співвідношення між конструктивними розмірами антени виглядають так: довжина твірної l визначається через граничну довжину хвилі

$$L=0,28\lambda_{\text{гр}} \quad (2.1)$$

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

$$D = 2(l\sin\psi + 0,5d) \quad (2.2)$$

оптимальне значення відстані між диском і вершиною конуса визначають як:

$$S=0,3d \quad (2.3)$$

діаметр диска обирають рівним:

$$2R=0,7D. \quad (2.4)$$

Якщо використовують коаксіальний кабель, хвильовий опір якого становить 50 Ом, то при $\psi = 30^\circ$ коефіцієнт біжучої хвилі буде не нижчим 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.

Діаграма спрямованості в горизонтальній площині є ненаправленою (колоподібною). У вертикальній площині ДС з частотою дещо змінюється і, як видно з рис 2.6, змінюється напрямок максимального випромінювання.

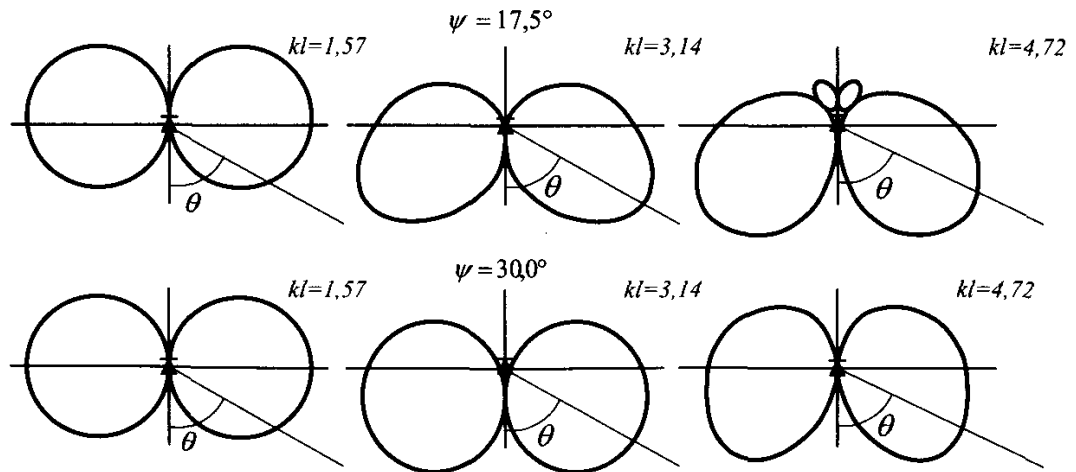


Рисунок.2.7- Діаграми спрямованості диско – конусних антен.

На рис.2.7 наведені ДС диско-конусних антен у вертикальній площині для трьох значень довжини хвилі та для двох значень кута ψ . Із наведених ДС видно, що збільшення кута ψ розширює робочу смугу частот, тобто ДС при збільшенні частоти менше деформується.

2.2. Багатоелементні ненаправлені антени

Під ненаправленими антенами розуміють антени, випромінювання яких у горизонтальній площині розподіляється рівномірно у всіх напрямках, тобто його інтенсивність не залежить від азимутального кута. У вертикальній площині такі антени мають певну направленість, яка визначається конструктивною схемою антени. Вагомим вадом розглянутих антен є якраз їх значна ширина ДС у вертикальній площині, що зменшує площу обслуговування станцією, оскільки радіус обслуговування базової станції істотно залежить від концентрації потоків енергії над поверхнею землі. Отже, для ефективного використання потужності передавача необхідно встановлювати на БС антени з вузькою ДС у вертикальній площині, головні пелюстки якої були б притиснуті до поверхні землі. Відомо, що вузькі ДС у вертикальній площині формуються

багатoeлементними антенами, а саме - лінійними антенними решітками, елементами яких можуть бути симетричні вібратори.

Виходячи з цих міркувань, передавачі базових станцій часто працюють в комплекті з лінійними антенними решітками. Однією з досить простих лінійних (колінеарних) антенних решіток є антена Франкліна, яку було створена у 1926 році. Як видно з конструктивної схеми (рис 2.8, а), антена складається з металевих стержнів, завдовжки $0,5\lambda$, і індуктивних котушок, що з'єднують стержні.

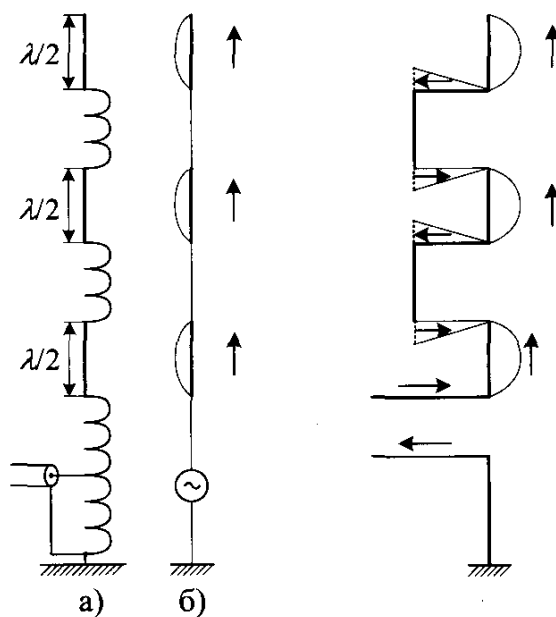


Рисунок.2.8

Антенa Франкліна

Рисунок.2.9

Еквівалентна схема

На рис. 2.8, б зображено розподіл струму вздовж антени. Генератор живить антену за допомогою коаксіального кабелю, який приєднується до затискачів антени через узгоджувальний пристрій (автотрансформатор). При відповідному виборі частоти генератора на стержнях укладається півдовжини хвилі, і стержні випромінюють електромагнітні хвилі так, як і півхвильові симетричні вібратори. Котушки індуктивності поглинають половину стоячої довжини хвилі (рис. 2.8, б), чим забезпечують синфазне збудження вібраторів. Значення індуктивностей вибирають досить

великим, щоб на витках катушок також укладалась половина довжини хвилі. При розрахунку катушок індуктивності необхідно враховувати розподілену ємність між витками.

Еквівалентну схему антени Франкліна зображено на рис. 2.9. Катушки індуктивності в даному випадку можна замінити чвертьхвильовими відрізками закороченої лінії. У кінці лінії - місці короткого замикання - струм досягає максимального значення, тобто в кінці лінії виникає пучність струму. Вхідні затискачі лінії приєднуються до вібраторів і завдяки вибраній довжині на входах лінії утворюються вузли струму. У проводах лінії струм протікає в протифазі, тому випромінюванням чвертьхвильових короткозамкнених відрізків лінії можна нехтувати. Таким чином, провідники, що утворюють чверть - хвильові відрізки короткозамкнених ліній, відбирають на себе стоячі півхвилі струму, які знаходяться у протифазі до струму у вібраторах. Отже, вібратори живитимуться синфазними струмами, і антену Франкліна можна розглядати як синфазну антенну решітку. У горизонтальній площині антена ненаправлена, а у вертикальній площині випромінювання концентрується під невеликими кутами місця. Ширина ДС антени буде дещо більшою значення, отриманого за формулами. Це зумовлено тим, що антена Франкліна не є рівноамплітудною решіткою. Що більша відстань вібратора від затискачів антени, то менша амплітуда струму, що обумовлене випромінюванням елементів решітки, які знаходяться на менших відстанях до затискачів. Рівень бічних пелюсток порівняно з рівноамплітудною решіткою знижується, але КСД не досягає значень, що визначаються формулою. У сучасних колінеарних антенах катушки індуктивності використовують при невеликій кількості елементів.

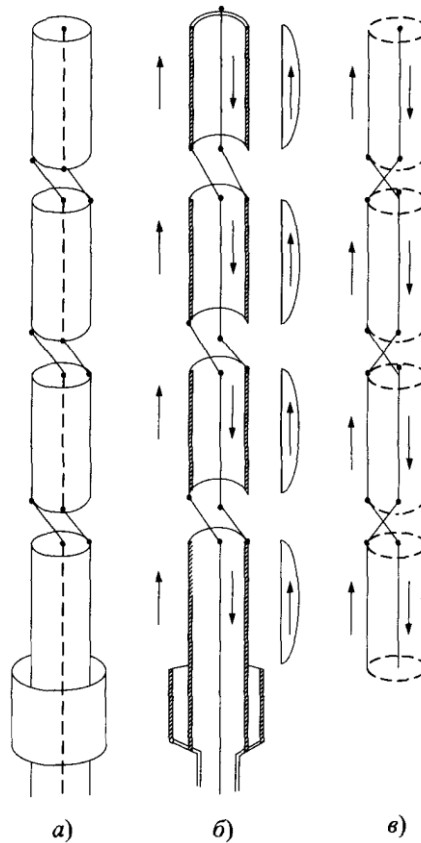


Рисунок. 2.10- Антенна решітка

Намагання створити більш технологічні конструкції призвели до появи решіток, виконаних з відрізків жорсткого коаксіалу (рис. 2.10, а). Кожен з відрізків є вібратором. На рис. 2.10, б зображено поздовжній розріз колінеарної антени. Із наведеної схеми видно, що відрізки з'єднуються перехресно (рис. 2.10, в), що забезпечує синфазність струмів на зовнішній поверхні трубчатих стержнів за умови, що на кожному відрізку укладається половина довжини хвилі. Синфазні струми протікають також і на центральних провідниках коаксіалу.

При такій схемі з'єднання відрізків у двохпровідній лінії (рис. 2.10, в), яка еквівалентна решітці із відрізків коаксіалу, поле було б потенціальним і структура з перехресним з'єднанням провідників не випромінювала б. Якщо ж заекранувати провідники, що знаходяться на одній вертикалі (наприклад, з правого боку), то з'явиться поле випромінювання, створене струмами провідників лівої вертикалі.

Фактично при екрануванні правої вертикалі симетричної лінії циліндрами здійснюється перехід до схеми, наведеної на рис. 2.10, *а*. Для збудження найнижчого відрізка (рис. 2.10, *а*) необхідно нижній кінець його електрично від'єднати від зовнішньої поверхні обплетіння коаксіального кабелю (фідера). Це досягається за допомогою чвертьхвильового стакана, вхідний опір якого надзвичайно високий. Завдяки цьому струми та заряди, які збуджуються на зовнішній поверхні найнижчого відрізка, не перетікають на коаксіальний кабель, що живить антену.

Ще один варіант конструктивного виконання колінеарної антени наведений на рис 2.11.

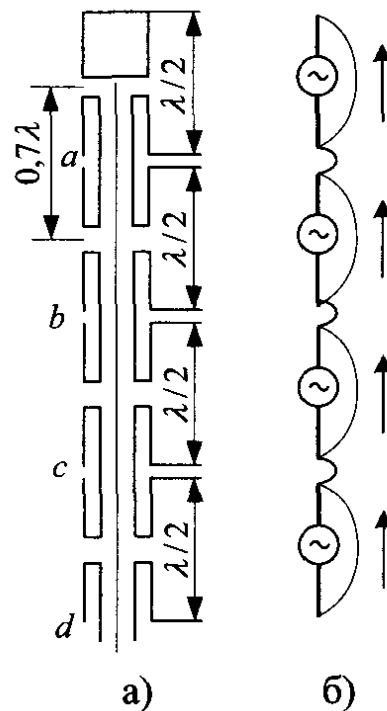


Рисунок. 2.11- Колінеарна антена

Симетричні вібратори утворені зовнішніми поверхнями чвертьхвильових стаканів. Збуджуються вібратори щілинами в обплетінні коаксіального кабелю (*a*, *b*, *c*, *d*). Струм не затікає у середину чвертьхвильових стаканів, тобто на зовнішню поверхню обплетіння, оскільки вхідний опір чвертьхвильових стаканів дуже великий. На рис. 2.1, *а* зображено схему конструкції антени, а на рис. 2.1, *б* зображено розподіл

струмів вздовж вібраторів. Джерела ЕРС являють собою щілини - поперечні розрізи у зовнішньому циліндричному провіднику.

Колінеарні антени виготовляють для діапазонів частот, які призначені для мобільних систем зв'язку. У дециметровому діапазоні при невеликих габаритах їх коефіцієнт підсилення може бути значним. Так, наприклад, колінеарна антена, що працює у смузі частот від 824 МГц до 894 МГц має коефіцієнт підсилення до 11 дБі. При цьому її довжина становить всього лише 324 см, а діаметр циліндра з фібергласу має 51 мм. Вхідний опір приблизно дорівнює 50 Ом, і його коливання в робочій смузі частот досить незначні, оскільки КБХ не падає нижче 0,67. Ширина ДС у вертикальній площині не перевищує 7° . Потужність живлення може досягати 500 Вт.

Для лінійних антенних решіток використовують також і симетричні вібратори, живлення яких можна здійснювати паралельним способом. Такі вібратори (рис. 2.12) можуть використовуватись і як самостійні антени. Плечі вібратора 1 для роботи в діапазоні 140-170 МГц мають загальну довжину 840 мм і розділені ізолятором 2. Живиться вібратор коаксіальним кабелем з хвильовим опором 50 Ом.

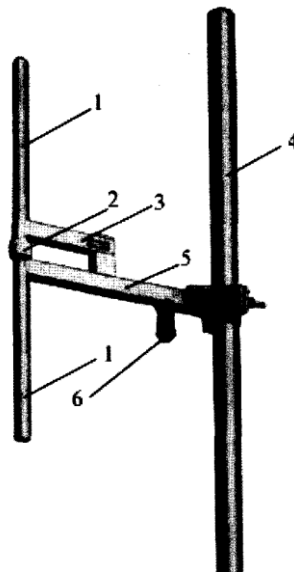


Рисунок.2.12- Симетричний вібратор.

Стержень 3 з короткозамикачем є симетруючим пристроєм. Кронштейн 5, за допомогою якого вібратор прикріплюється до щогли 4, забезпечує сталу відстань від щогли до вібратора в 500 мм. Одночасно кронштейн 5 є зовнішнім провідником (обплетінням) коаксіалу. На кронштейні встановлено роз'єм 6, до якого приєднують фідер. У робочому діапазоні хвиль коефіцієнт біжучої хвилі у фідері не падає нижче 0,7. Коефіцієнт підсилення антени, встановленої на щоглі, становить 2 дБ відносно півхвильового вібратора. Це обумовлене тим, що антенна набуває направлених властивостей навіть у горизонтальній площині (рис. 2.13, *а, б, в*). Як видно з наведених ДС, інтенсивність випромінювання в бік щогли, діаметр якої становить 60 мм (рис. 2.13, *а* і 2.13, *г*), 116 мм (рис. 2.13, *б* і 2.13, *д*) і 245 мм (рис. 2.13, *в* і 2.13, *е*), зменшується. Це зменшення залежить від діаметра щогли. При діаметрі щогли у 245 мм інтенсивність випромінювання зменшується майже у 10 разів. У вертикальній площині для розглянутих діаметрів щогли ДС (рис. 2.13, *г, д, е*) зберігає свою початкову форму та ширину ДС, але інтенсивність випромінювання в бік щогли також суттєво зменшується при збільшенні екрануючої дії щогли.

Лінійна антенна решітка з елементами у вигляді розглянутих півхвильових вібраторів, які встановлюються на металевій трубі - щоглі, зображена на рис. 2.14. Використання металевих щогл у лінійних решітках дає змогу зняти обмеження на висоту антени, що забезпечує певні переваги перед колінеарними антенами, оскільки несучою конструкцією колінеарних антен є діелектричний обтікач - кожух. Антенну решітку (рис. 2.14) доцільно розглядати як систему, що складається з чотирьох подвійних елементів. Кожний подвійний елемент у своєму складі має два симетричних вібратора. На довжині хвилі 82 см (власній довжині симетричних вібраторів) ДС у вертикальній площині за умови рівноамплітудного живлення обчислюється за формулою:

$$f(\theta) = F_1(\theta)F_2(\theta)F_4(\theta)f_{\text{щ}}(\theta),$$

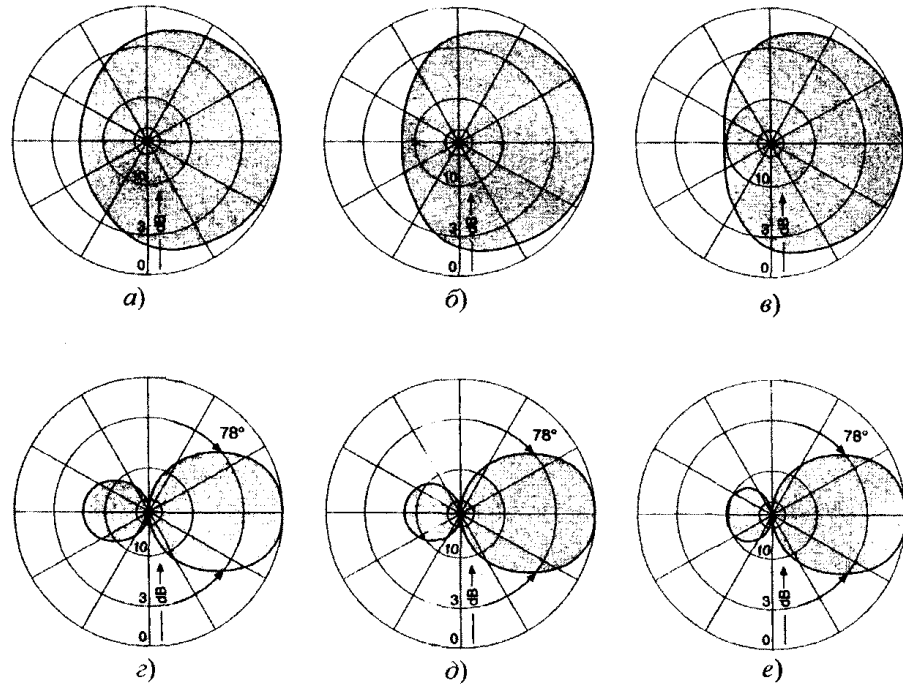


Рисунок. 2.13- Діаграма спрямованості симетричного вібратора

де $F_1(\theta) = \frac{\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)}{\sin\theta}$ - ХС окремо взятого симетричного вібратора;

$F_2(\theta) = \cos(\frac{k(d_1\cos\theta)}{2})$ - множник пари симетричних вібраторів;

$F_4(\theta) = \frac{\sin(2kd_2\cos\theta)}{4\sin(\frac{kd_2\cos\theta}{2})}$ - множник системи, що складається з

чотирьох випромінювачів;

$f_{\psi}(\theta) = \sqrt{1 + m^2 + 2m\cos(kd\sin\theta + \psi)}$ - множник впливу

щогли;

d - відстань від вібратора до щогли;

m - відношення амплітуд струмів, один з яких наводиться на щоглі, а другий - збуджується у вібраторі;

ψ - зсув фаз наведеного струму та струму у вібраторі;

θ і ψ - меридіальний і азимутальний кути;

$d_1=740$ мм, $d_2=1720$ мм.

Середня частота робочої смуги частот становить 300 МГц ($\lambda=1$ м). ДС у горизонтальній площині повинна бути ненаправленою.

Але металева щогла суттєво впливає на розподіл поля в просторі, тому ДС деформується і може бути розрахована за формулою для $f_{\text{щ}}(\theta)$. Експериментально знята ДС в горизонтальній площині зображена на рис. 2.15.

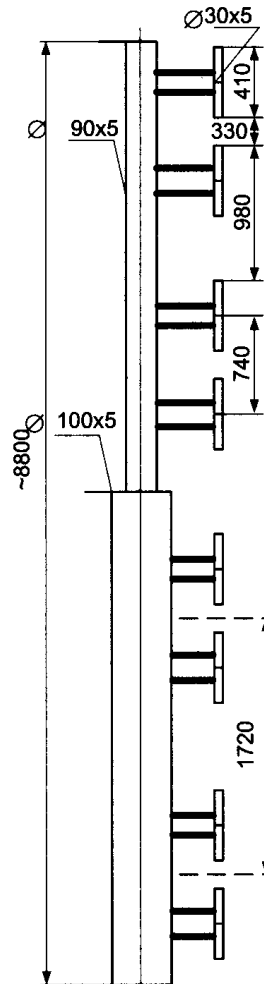


Рисунок. 2.14- Антенна решітка із 4-х елементів

Оскільки радіальний масштаб на приведений діаграмі логарифмічний, то мінімальне значення інтенсивності поля менше на 6 дБ від максимального значення, тобто напруженість поля у точках, розташованих на однакових відстанях від антени, на прямій, що перетинає осьову лінію вібраторів і вісь щогли, буде вдвічі меншою з боку щогли по відношенню до напруженості з боку вібраторів. Для збільшення рівномірності ДС використовують додаткові елементи (рис. 2.17) на кожному поверсі антенної решітки. Елементи являють собою металеві

стержні, закріплені на певній відстані від металевої труби - щогли, і їх можна розглядати як пасивні вібратори. Довжина елементів дещо менша довжини півхвильового вібратора, тому їх опір ємнісний і вони функціонують як директори. Завдяки цьому збільшується інтенсивність випромінювання у півпростір, що за щоглою на протилежному боці від вібратора. При наявності додаткових елементів можна отримати майже ненаправлену ДС (рис. 2.16). На цій діаграмі радіальний масштаб лінійний. Наведена ДС з позначкою 1 відноситься до симетричного вібратора без додаткових елементів, а з позначкою 2 - до вібратора з додатковими елементами. У ДС-1 нерівномірність становить 0,5, а у ДС-2 нерівномірність не перевищує $E_{min}/E_{max} \leq 0,9$.

Живлення лінійних антенних решіток, а також і колінеарних антен, здійснюють у деяких випадках таким чином, щоб максимальне випромінювання було спрямоване вниз під невеликим кутом до горизонту. Цей кут залежно від типу антени становить $2^\circ \dots 7^\circ$. Максимальне випромінювання спрямовується вниз за рахунок різниці фаз струмів, що живлять суміжні вібратори, тобто за рахунок подовження шляху струму. Такі ДС у вертикальній площині дають змогу більш інтенсивно опромінювати зону обслуговування антенами, які встановлюються на дахах високих споруд або на високих щоглах.

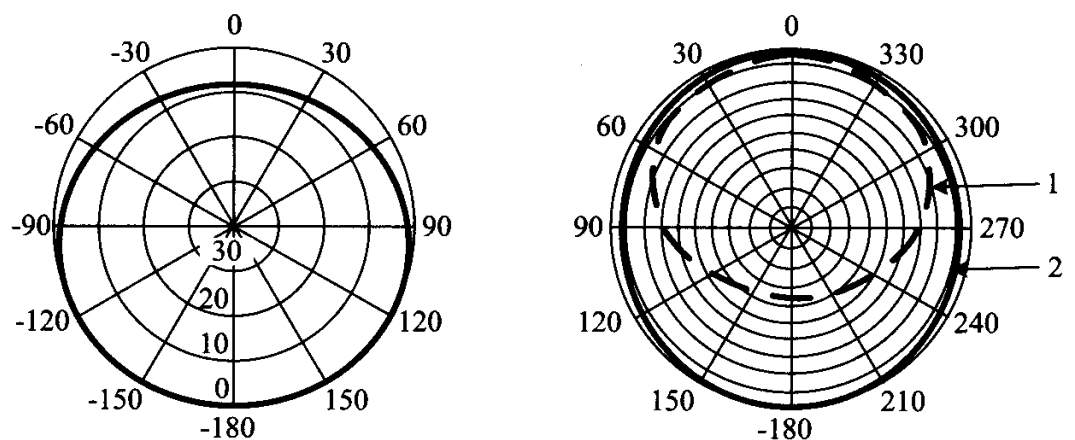


Рисунок. 2.15- Діаграма
спрямованості антенної
решітки з 4-х елементів.

Рисунок. 2.16. Діаграма
спрямованості
симетричного вібратора.

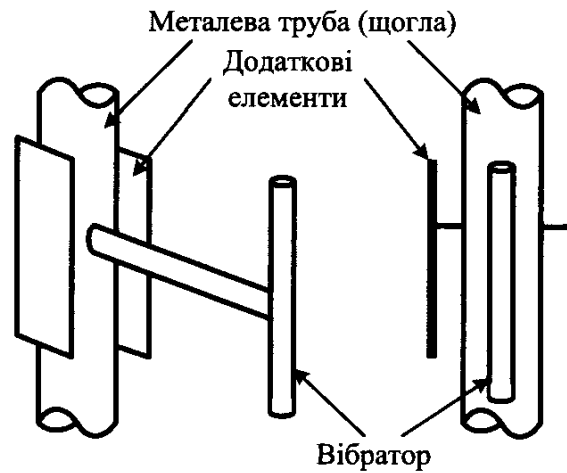


Рисунок. 2.17- Конструкція вібратора з додатковими
елементами.

2.3. Направлені (секторні) антени

У стільникових системах зв'язку в основному використовують секторні антени, які дають можливість у різних стільниках багаторазово використовувати одну і ту саму частоту при найбільшому числі абонентів. На БС, що обслуговує лише один стільник, встановлюють антени із секторними ДС, які опромінюють стільник в певному секторі, кут розхилу якого може становити 60° , 90° , 120° або 180° . Нині найпоширенішими секторними антенами є панельні антени, які являють собою антенні решітки, що конструктивно виконуються як дзеркальні антени з плоским дзеркалом. У горизонтальній площині ширина їх ДС повинна перекривати визначений сектор стільника, а у вертикальній площині ДС мусить бути гостронаправленою з максимумом випромінювання спрямованим вздовж лінії горизонту, або ж нахилена під невеликим кутом вниз від лінії горизонту.

Панельні антени виготовляють або як повністю завершену (цілісну) конструкцію антенної решітки, установленної на прямокутному металевому екрані і закритим обтікачем, або як сукупність декількох елементів, кожний із яких є слабонаправленою у вертикальній площині панельною антеною. Щоб розкрити основні особливості панельних антен, розглянемо найпростішу антену, яку можна використати окремо або як елемент антенної лінійної решітки. На рис. 2.18 зображено схему конструкції панельної антени, яка має у своєму складі лише два випромінюючих вібратора.

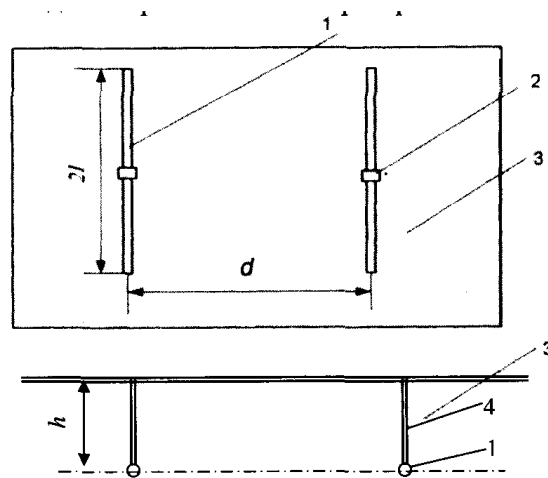


Рисунок.2.18- Схема конструкції панельної антени.

Такі панельні антени виготовляють різні виробники майже на всі частоти метрового та дециметрового діапазонів. Симетричні вібратори 1, плечі яких роз'єднані ізоляторами 2, за допомогою стояків 4 закріплюються на металевому екрані 3. Відстань між осями паралельних вібраторів позначена як d , а відстань від вібратора до екрана становить h . Вважаючи, що розміри екрана досить великі, ХС антени у горизонтальній площині (площині H) запишемо у вигляді:

$$F(\varphi) = F_1(\varphi)F_2(\varphi),$$

де $F_1(\varphi) = \cos(\frac{kdcos\varphi}{2})$ - множник, що враховує ХС двох синфазних вібраторів;

$F_2(\varphi) = \frac{\sin(kh\cos\varphi)}{\sin kh}$ - множник, що враховує вплив дзеркала (екрана) на поле випромінювання;

φ - азимутальний кут, що відраховується від перпендикуляра до площини екрана.

У вертикальній площині (площині E) ХС також складається з двох множників:

$$F(\Delta) = F_1(\Delta)F_2(\Delta)$$

де $F_1(\Delta) = \frac{\sin(kl\cos\Delta)}{\cos\Delta}$ - множник, що враховує направлені властивості симетричного вібратора з довжиною плеча рівною l .

Другий множник враховує дзеркальне зображення вібратора $F_2(\Delta) = \frac{\sin(kh\cos\Delta)}{\sin kh}$, тобто це характеристика спрямованості, що визначає вплив дзеркала у вертикальній площині.

Тут Δ - кут місця, що відраховується від лінії горизонту.

При випромінюванні на власній довжині хвилі перший множник стає простішим і являє собою ХС півхвильового вібратора:

$$F_1(\Delta) = \frac{\cos(90^\circ - \sin\Delta)}{\cos\Delta}$$

Розміри d , h , а також розміри екрана впливають не тільки на ДС антени, але і на її вхідний опір. Опір випромінювання кожного вібратора є сумою чотирьох складових: власного опору вібратора та взаємних опорів між вібраторами, між вібратором і його дзеркальним зображенням та між вібратором і дзеркальним зображенням другого вібратора. Вибираючи відповідним чином розміри d і h , можемо встановити необхідний вхідний опір окремого вібратора. Реактивну складову вхідного опору компенсують реактивними безвтратними елементами, наприклад шлейфами, а також за рахунок вкорочення або подовження самого вібратора.

На рис. 2.19, *а* зображено зовнішній вигляд простої двохелементної панельної антени, розрахованої на роботу в діапазоні від 406 МГц до 512 МГц. На рис. 2.19, *б* наведені ДС у горизонтальній і вертикальній

площинах. Як впливає з ширини діаграми спрямованості, вібратори віднесені від екрана на відстань $\frac{h}{\lambda} = 0,18$, відстань між ними дорівнює: $d/\lambda = 0,42$.

Розміри екрана перевищують довжину півхвилі на найнижчих частотах. Це зменшує вплив країв екрана на поле випромінювання в передньому півпросторі, а також зменшує дифракцію хвиль у півпростір, що знаходиться за екраном. Коефіцієнт підсилення змінюється в робочій смузі частот і перебуває в межах (8-9) дБ.

Для збільшення концентрації інтенсивності випромінювання в секторах простору, що охоплюють горизонтальну площину, використовують багатоповерхові панельні антени. Їх можуть монтувати з панельних малоелементних антен або ж використати вже готові багатоелементні панельні антени, які забезпечують потрібну ширину ДС у вертикальній площині.

У деяких випадках у схемі панельної антени передбачають живлення поверхів із невеликим зсувом фаз. При цьому ДС у вертикальній площині має головну пелюстку, нахилену від горизонту вниз на декілька градусів. Найчастіше панельні антени виготовляють із нахилом максимального випромінювання на кут 6° , 9° або 12° .

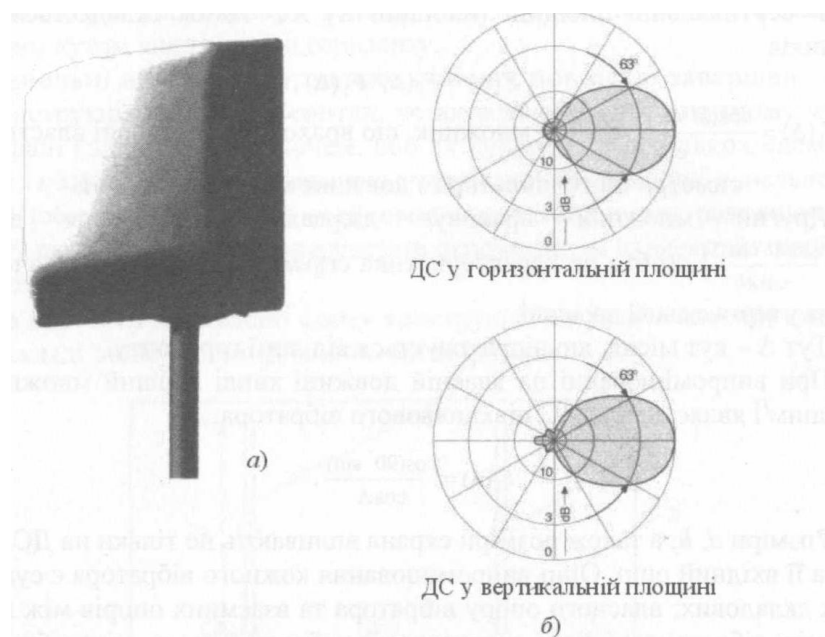


Рисунок. 2.19- Зовнішній вигляд і ДС двохелементної панельної антени

Для панельних антен, у яких напрямок максимального випромінювання збігається з перпендикуляром до екрана, розроблена система кріплення до щогли, яка дає можливість механічно нахилити панель (рис. 2.20) і тим самим встановлювати необхідний нахил ДС. До щогли 1 круглого поперечного перерізу кріпляться два кронштейни 2 (верхній) і 3 (нижній). Панельна антена 4 встановлюється на нижньому кронштейні 3, елементи кріплення якого дають можливість обертати панель у вертикальній площині. Верхній кронштейн 2 складається з двох важелів, з'єднаних шарніром. Крім того, важелі можуть обертатися у вертикальній площині на осях, що встановлюються в елементах кріплення, які монтуються на щоглі та на панелі антени. За допомогою шкали 5 і важельно-шарнірного механізму встановлюють необхідний нахил панельної антени.

У деяких панельних антенах симетричні вібратори розміщують над екраном так, щоб осі вібраторів перетиналися під кутом 90° , тобто два взаємно перпендикулярні вібратори утворюють один поверх або один елемент антенної решітки. Відносно лінії горизонту або вертикалі осі вібраторів відхиляються на кути $+45^\circ$ і -45° . По суті, маємо дві антенні решітки з окремими входами. Вони працюють в різних смугах частот, наприклад (806...870) МГц і (870...960) МГц, випромінюючи лінійно поляризовані хвилі, площини поляризації яких взаємно перпендикулярні. Розв'язка між каналами, що утворюються на хвилях з поляризацією $+45^\circ$ і на хвилях з поляризацією -45° , становить не менше 30 дБ.

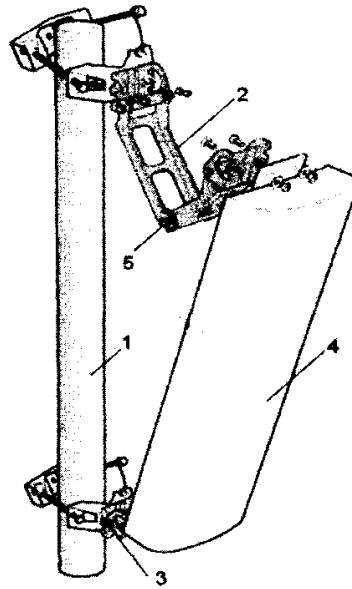


Рисунок. 2.20- Панельна антена

У разі, коли територія обслуговування БС розділена на декілька секторів, то кожен сектор повинен опромінюватися своєю направленою антеною. Для цього потрібно на щоглі на одній і тій самій висоті встановити таку кількість панельних антен з відповідними ДС, яка дорівнювала б кількості секторів. Діаграми спрямованості секторних антен розраховуються або вибираються за шириною секторів, тому вони частково перекриватимуть одна одну. Отже, виникає взаємний вплив між антенами, який обумовлений і їх близьким розміщенням, і накладанням випромінювання. Це призводить до спотворення ДС і значної нерівномірності розподілу інтенсивності поля в зоні обслуговування.

На рис. 2.21 наведені ДС у горизонтальній площині для антенної системи, що складається з направлених панельних антен. Окремо панельна антена у вільному просторі у площині H має ДС подібну до ДС у горизонтальній площині, що зображена на рис. 2.19, б. Відрізняється вона від зображеної на малюнку лише трохи більшою шириною, а саме для неї $20_{0,5}=67^\circ$.

Як видно з рис. 2.21, а, дві панельні антени, розміщені під кутом у 90° , опромінюють сектор простору з кутом розхилу близько 120° .

Найменша нерівномірність ДС виникає у разі, коли відстань A становить половину ширини антени, тобто антени майже торкаються одна одної краями. При збільшенні відстані A зростають відстані між фазовими центрами антен, і нерівномірність ДС поглиблюється. При відстані A до 1,5 м провали в ДС перевищують 10 дБ.

При Π -подібному розміщенні трьох панельних антен (рис. 2.21, б) можна перекрити зону з кутовою шириною до 240° , але нерівномірність ДС досить велика, тому таке розміщення антен практично використовувати недоцільно. Якщо ж ці три антени розмістити на сторонах рівнобедреного трикутника (рис. 2.21, в), то отримаємо при малих відстанях ($A=0,16$ м і $A=0,22$ м) задовільні ДС, що перекривають усю зону обслуговування. Нерівномірність для найменшої відстані A значно менша 3 дБ, що забезпечує малі коливання напруженості поля у зоні обслуговування. Збільшення числа секторів до чотирьох потребує встановлення чотирьох антен. Але при цьому посилюється взаємний вплив, і нерівномірність опромінювання зони істотно збільшується (рис. 2.20, г). Погіршення форми результуючої ДС супроводжуються також і зменшенням коефіцієнта підсилення: від 12 дБі у секторної антени до 8,3 дБі у системі з чотирьох антен.

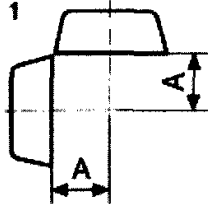
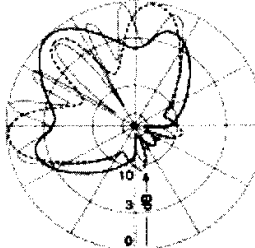
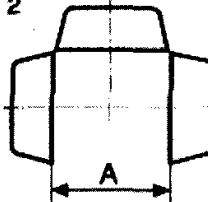
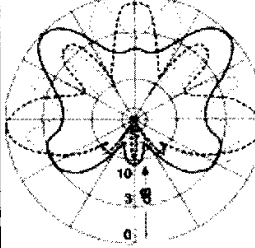
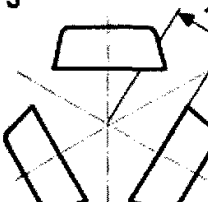
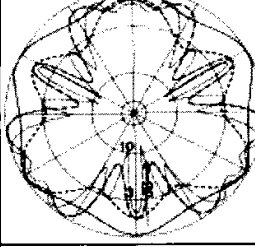
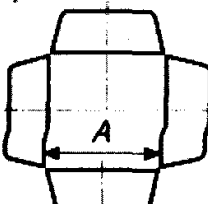
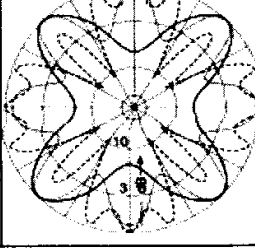
Розміщення	Діаграма	Технічні дані	
1 		Відстань А	У напрямі максимального випромінювання коефіцієнт підсилення дорівнює
		— 0,25 м	10,1 дБі
		- - 0,5 м	10,2 дБі
		— 1,5 м	10,6 дБі
2 		Відстань А	У напрямі максимального випромінювання коефіцієнт підсилення дорівнює
		— 0,5 м	9,0 дБі
		— 1,0 м	9,1 дБі
		— 2,0 м	9,9 дБі
3 		Відстань А	У напрямі максимального випромінювання коефіцієнт підсилення дорівнює
		- - 0,16 м	5,9 дБі
		— 0,22 м	7,3 дБі
		- - 0,65 м	7,0 дБі
4 		Відстань А	У напрямі максимального випромінювання коефіцієнт підсилення дорівнює
		— 0,5 м	8,3 дБі
		— 0,8 м	7,4 дБі
		- - 2,1 м	7,6 дБі

Рисунок. 2.21- ДС у горизонтальній площині для антенної системи із направлених панельних антен

2.4. Кутикові антени

Кутикова антена є дзеркальною антеною, у якій рефлектор виготовляють із двох прямокутних плоских екранів, розміщених під кутом один до одного. Опромінювачем дзеркала є симетричний вібратор, який найчастіше встановлюють на бісектрисі кута (рис. 2.22, а). При необхідності зменшити ширину ДС у вертикальній площині (площині *E*) використовують опромінювач, що складається з двох або більшої кількості вібраторів (рис. 2.22, б). Геометричними параметрами кутикової антени є

кут розхилу плоских екранів φ , висота рефлектора h і довжина кожного із екранів L . Кут φ , як правило, вибирають рівним $180^\circ/n$, де n - ціле число ($n=1,2,3,\dots$). Висоту рефлектора h беруть трохи більшою від довжини вібратора, а розмір L повинен бути не меншим довжини хвилі λ . Значення i залежить від кута розхилу рефлектора: що менший кут, то більшим мусить бути розмір L .

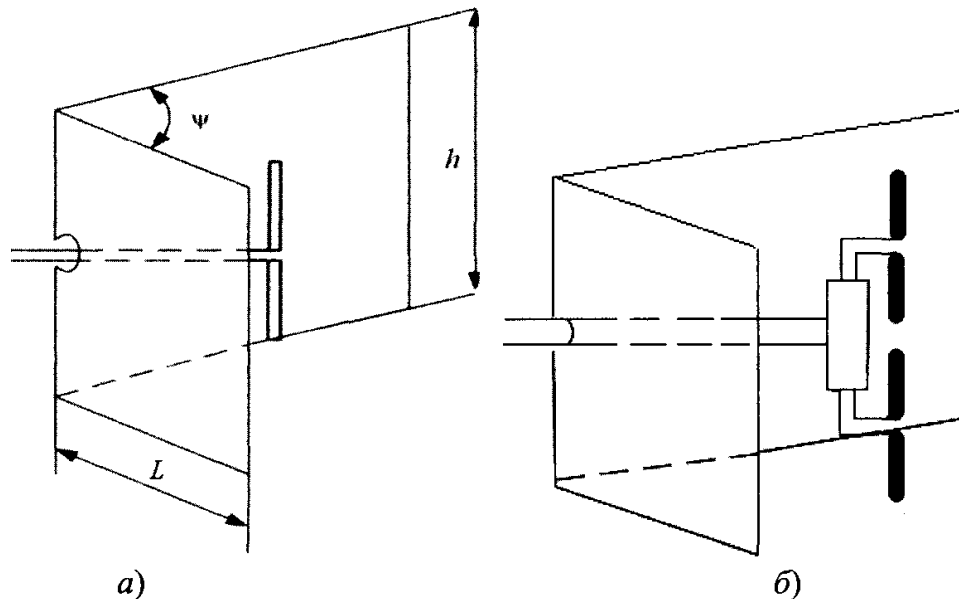


Рисунок. 2.22- Кутикова антена

Аналітичне дослідження поля випромінювання кутикової антени є досить важкою задачею. Нині знайдено строге розв'язання цієї задачі лише для випадку, коли розмір D скінченний, а розмір p береться нескінченно великим. У площині H розподіл поля мало залежить від довжини вібратора і висоти рефлектора h . Це дає можливість замінити реальний вібратор нескінченно довгою ниткою, що обтікається електричним струмом, амплітуда та фаза якого однакові в усіх точках нитки. Поле випромінювання знаходять шляхом розв'язання задачі про дифракцію поля на площині. При розміщенні випромінювача у бісекторіальній площині (рис. 2.23), вираз для поля випромінювання набуває вигляду:

$$f(\varphi) = \sum_{p=0}^{\infty} e^{-i \frac{\pi^2 (2p-1)}{2\varphi}} j \frac{\pi (2p-1)}{\psi} (kS) \cos \left[\frac{\pi \psi}{\psi} (2p-1) \right], \quad (2.5)$$

де ψ - кут між бісекторіальною площиною OB і напрямком у точку спостереження M ;

S - відстань від вершини кута O , створеного металевими пластинами (екранами), до осі випромінювача (вібратора) A .

Якщо добуток kS малий, то для функцій Бесселя задовольняється нерівність:

$$\left| J_{\frac{3\pi}{\psi}}(kS) \right| \ll \left| J_{\frac{\pi}{\psi}}(kS) \right|.$$

У цьому випадку можна обмежитися першим членом (2.5) і отримати простий вираз для характеристики спрямованості у площині H :

$$F(\varphi) = \cos\left(\pi \frac{\varphi}{\psi}\right).$$

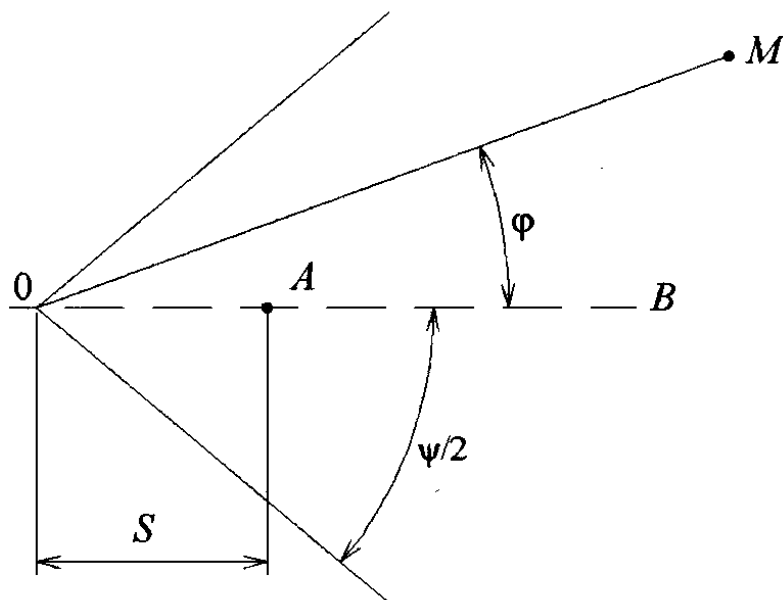


Рисунок. 2.23- До розрахунку поля кутикової антени

Для інженерних розрахунків використовують метод дзеркальних зображень. При строгому підході він справедливий за умови, що $L=\infty$ і $h=\infty$. Отже, для реальних куткових антен методом дзеркальних зображень отримують наближені формули для розрахунку ДС. Кількість дзеркальних зображень вібратора залежить від кута розхилу дзеркала. Так, при $\varphi=60^\circ$ вібратор і його дзеркальні зображення створюють антенну систему, що

складається із шести випромінювачів (рис. 2.24). Випромінювач 1 - це реальний вібратор, а випромінювачі 2, 3, 4, 5, 6 - його дзеркальні зображення. Струми вібратора 1 і дзеркальних зображень 3 та 5 збігаються за фазою. Струми фіктивних вібраторів 2, 4 і 6 зсунуті за фазою на 180° .

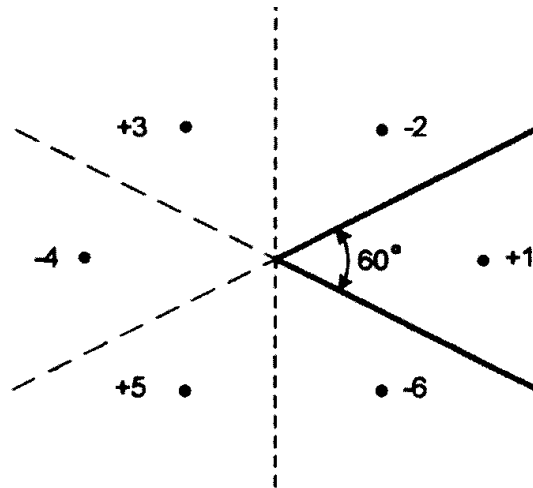


Рисунок. 2.24- Ілюстрація методу дзеркальних зображень

Фазові співвідношення струмів позначені знаками плюс і мінус. З аналізу поля випромінювання приведеної системи випливає, що напруженість поля в секторі кутів $|\varphi| < \varphi/2$ визначається як:

$$E(\varphi) = 2E_0 \langle \sin(kS \cos \varphi) - \sin \left[kS \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) \right] - \sin \left[kS \cos \left(\frac{\pi}{3} + \varphi \right) \right] \rangle,$$

де E_0 - напруженість поля випромінювання опромінювача (реального вібратора) у площині H без рефлектора.

У площині E за допомогою методу дзеркальних зображень знайдено такий вираз для ДС:

$$f(\theta) = f_1(\theta) \sin\left(\frac{kS}{2} \cos \theta\right) \sin^2\left(\frac{kS}{4} \cos \theta\right),$$

де $f(\theta)$ - ХС вібратора (опромінювача) у вільному просторі, θ кут між напрямком у точку спостереження та перпендикуляром до осі вібратора (ребра рефлектора).

У кутикових антенах серійного виробництва рефлектор являє собою решітку металевих стержнів (рис. 2.25, а), осі яких паралельні осі вібратора. Зображена на рис. 2.25, а антена працює у смузі частот (360-490) МГц,

забезпечуючи коефіцієнт підсилення близько 11 дБі. Діаграма спрямованості в горизонтальній площині зображена на рис. 2.25, б. Ширина ДС за половинною потужністю становить 44° . Ширина ДС у вертикальній площині (площині E) дорівнює 67° (рис. 2.25, в). Із наведених ДС видно, що кутикова антена має низький рівень випромінювання у задній півпростір, що дуже важливо для секторних антен.

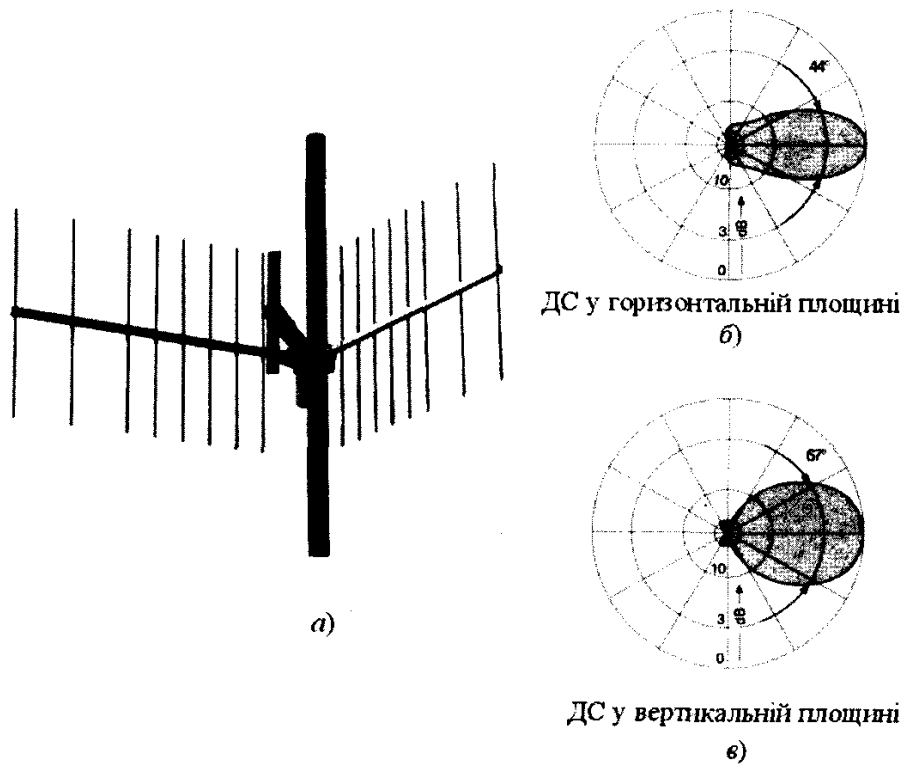


Рисунок. 2.25- Конструкція і ДС кутикової антени з рефлектором.

2.5. Директорні та логоперіодичні антени

Директорні антени являють собою лінійні антенні решітки, елементами яких є симетричні вібратори. Один із цих вібраторів живиться від джерела енергії, інші - пасивні. Їх осі паралельні одна одній (рис. 2.26).

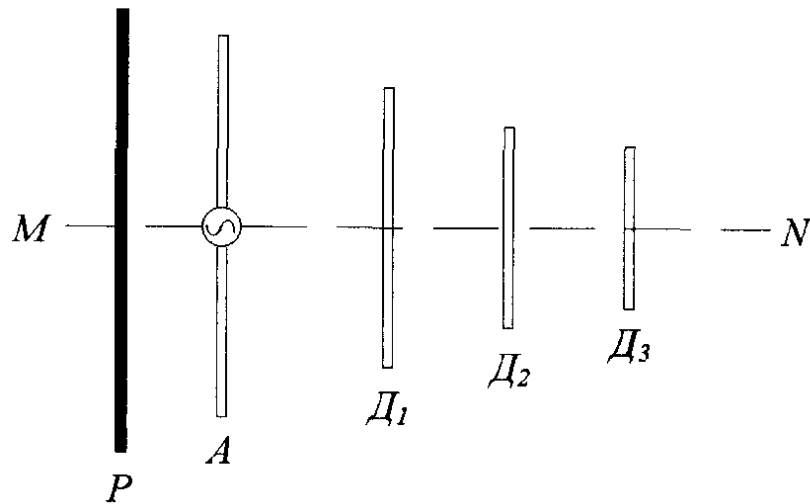


Рисунок. 2.26- Конструкція директорної антени

Вібратор P називають рефлектором і він зменшує випромінювання активного вібратора A у задній півпростір. Вібратори D_1 , D_2 , D_3 збільшують концентрацію інтенсивності електромагнітних хвиль навколо осі антени MN і їх називають директорами.

Для БС мобільного зв'язку виготовляють такі антени для роботи в метровому діапазоні хвиль. Кількість елементів, включаючи й активний вібратор, коливається від трьох, тобто від антени, що складається з активного вібратора і пасивного рефлектора, до десяти і більше.

Конструкція трьохелементної антени наведена на рис 2.27, *а*. Антена складається з директора 1, активного вібратора 2, рефлектора 4, траверси 5 і траверси 6. Плечі активного вібратора розділені ізолятором 3. Живлення підводиться за допомогою 50-омного коаксіального кабелю до розніму 7. Траверси 5 і 6 з'єднані електрично між собою стержнями 1 і 4. Вони симетрують живлення вібратора 2, розширяють смугу робочих частот, оскільки відрізки траверсів до стержня 1 і відрізки траверсів від вібратора 2 до стержня 4 створюють дві чвертьхвильові закорочені лінії, розраховані на дві робочі частоти у смузі від 140 МГц до 170 МГц, і забезпечують механічну жорсткість конструкції.

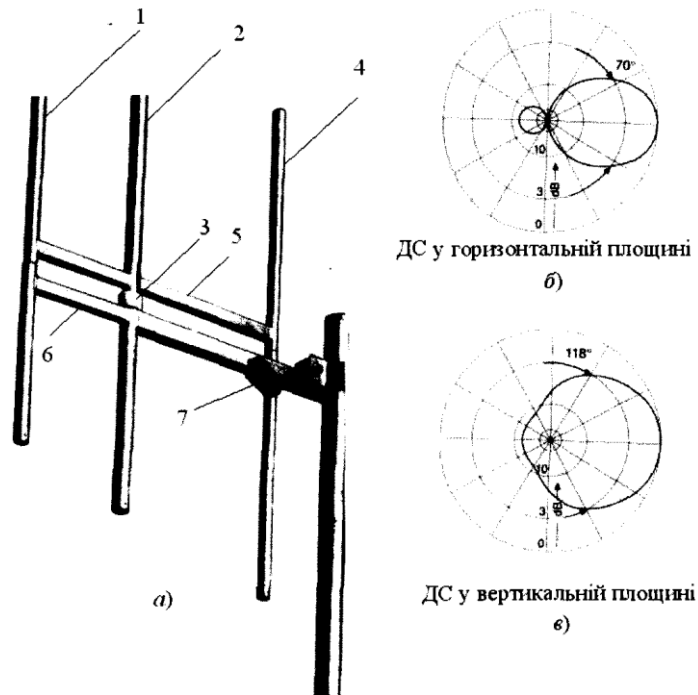


Рисунок. 2.27- Конструкція і ДС трьохелементної директорної антени

Діаграма спрямованості у площині E (рис. 2.27, б) значно вужча ($20_{0,5} = 70^\circ$), ніж у площині H ($20_{0,5} = 118^\circ$) (рис. 2.27, в). Це обумовлене тим, що в площині E ДС являє собою добуток ДС вібратора на множник системи, а в площині H ДС визначається тільки множником системи. Коефіцієнт підсилення антени становить 4 dBd .

Логоперіодичні антени (ЛПА) використовують на більш високих частотах від 400 МГц до 1 ГГц. Оскільки діапазонні властивості ЛПА досить добрі, то для перекриття таких смуг, як (400...500) МГц або (800...960) МГц можна використовувати антени з малим кутом розхилу. Це розширює активну зону антени і її коефіцієнт підсилення збільшується. Для антен фірми Kathrein цей показник якості антен перебуває в межах від 9 дБі до 12 дБі . Узгодження антен з фідером характеризується коефіцієнтом біжучої хвилі більшим $0,7$ у всій смузі робочих частот.

Здебільшого антени виконують із суміщеними ($\varphi=0$) плоскими логоперіодичними структурами [9] і закривають їх обтікачами для

усунення впливів зовнішнього середовища на електричні параметри та зменшення аеродинамічного опору. Якість ДС антен досить висока: рівень бічних пелюсток не перевищує мінус 20-25 дБ, а відношення інтенсивності випромінювання в передній півпростір до інтенсивності випромінювання у задній півпростір перевищує 25 дБ. Антени використовують як секторні з вузькими ДС у горизонтальній площині шириною ДС близько 50° - 90° .

2.6. Циліндрично-параболічні антени

Циліндрично-параболічні антени складаються з рефлектора у вигляді параболічного циліндра та лінійного опромінювача, який створює хвилю з циліндричним фронтом. У системах мобільного зв'язку такі антени використовуються для трансляторів, обслуговування мікростільників, в засобах комунікації на залізничному транспорті. Антени мають досить добрі направлені властивості. Коефіцієнт підсилення антен, що працюють на частотах від 870 МГц до 960 МГц, перебуває в межах від 14,5 дБі до 20 дБі, забезпечуючи при цьому ширину ДС з половинної потужності близько 36° , а у вертикальній площині - від 26° до 8° . Ширина ДС у вертикальній площині визначається, як і в будь-якій циліндрично-параболічній антені, від кількості елементів лінійного опромінювача. В антенах мобільного зв'язку опромінювач виконують у вигляді антенної лінійної решітки із симетричних вібраторів. Порівняно з панельними антенами при однакових ДС циліндрично-параболічні антени мають трохи простішу схему живлення.

2.7. Спіральні антени

Спіральні антени використовують для спеціальних систем зв'язку. Фірма Kathrein виготовляє декілька типів циліндричних спіральних антен для робочої смуги частот (400-470) МГц. Коефіцієнт підсилення становить

12 дБ відносно ізотропної антени з обертовою поляризацією. Ширина ДС дорівнює 33° . Спіраль закривають циліндричним обтікачем.

2.8. Особливості антен рухомих об'єктів

Узагальнений зміст терміну “антена рухомих об'єктів” розкривається як клас антен, що встановлюються на радіотехнічних засобах, стаціонарність або фіксованість просторового положення яких не є обов'язковими, тобто це антени радіотехнічних пристроїв, які перебувають в експлуатації з можливим їх переміщенням. До цього класу відносять антени, якими устатковують радіотехнічні пристрої транспортних засобів і переносну радіотехнічну апаратуру. Умови експлуатації створюють певні визначальні вимоги до особливостей антен рухомих антен. Очевидно, що і для будь-яких інших антен, обов'язковими є ті чи інші вимоги до основних електродинамічних параметрів, таких як коефіцієнт підсилення, діаграма спрямованості, коефіцієнт біжучої хвилі у фідері (тобто до узгодження антени з фідером) і до ширини робочих частот. Вимоги до електродинамічних параметрів практично не мають характеру винятковості. Вони дуже важливі, але значення цих параметрів властиві й для інших класів антен, що експлуатуються в умовах стаціонарного розташування.

Надзвичайними є вимоги до габаритів і маси антен рухомих об'єктів. Незалежно від того, чи будуть встановлюватися на транспортному засобі, чи будуть переносними, антени рухомих об'єктів повинні мати малі геометричні розміри та малу масу. Крім того, механічна міцність антен мусить бути значною, щоб конструкція антени не деформувалася при переміщенні радіотехнічного пристрою, і мусить бути забезпечений захист антени від можливого впливу зовнішнього середовища. Очевидно, що такі вимоги можна задовольнити найбільш просто, використовуючи в діапазонах електромагнітних хвиль довших десяти метрів, антени

конструктивно не складні - у вигляді вібраторів або рамок. У діапазонах метрових хвиль і більш коротких з'являється можливість використовувати й апертурні антени, і антенні решітки. Слід зазначити, що антени рухомих об'єктів досить часто виконують як активні антени. Це суттєво зменшує габарити, підвищує коефіцієнт підсилення, розширює смугу робочих частот антени.

Крім того, необхідно враховувати те, що антени рухомих об'єктів безпосередньо встановлюються на радіотехнічний пристрій або на корпусі чи всередині транспортного засобу. При такому способі використання антени виникають проблеми зі збереженням певних електродинамічних характеристик при різному їх положенні відносно як транспортного засобу, так і об'єктів, що знаходяться поруч.

Висновки до розділу

В другому розділі розглядаються особливості конструкції штирьових антен, діаграми спрямованості та електричні характеристики, типи штирьових антен, їх узгодження на пересувних УКХ станціях та особливості роботи із мобільною технікою, установку антени та можливе місце розташування на корпусі мобільної техніки. Ця інформація представляє цінні теоретичні дані які є доцільними при практичній експлуатації автомобільних антен. В наступному розділі необхідно розглянути розробку макету колінеарної антени для мобільної техніки.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОЛІНЕАРНОЇ АНТЕНИ

3.1 Характеристики зв'язку з військовими об'єктами

Враховуючи сучасне положення, гостра необхідність виникає у забезпечені новітніми комплексними апаратними зв'язку, переносними вузлами зв'язку, мобільними супутниковими станціями, цифровими транкінговими системами, автономними комплексами організації відеозв'язку та відеоспостереження, захищеними каналами зв'язку та криптування IP- трафіку, мобільними радіомережами, програмно- технічним комплексом геоінформаційної системи.

Основою системи зв'язку є мобільні вузли зв'язку, які створюються для надійного управління та об'єднують в своєму складі різноманітні технічні засоби при обов'язковому дотриманні умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. Це забезпечує комплексне застосування наявних засобів зв'язку, при якому на кожному напрямі використовуються одночасно або по черзі кілька різних засобів.

При цьому необхідно враховувати пасивне збільшення кількості засобів та комплексів зв'язку, яке призводить до того, що система зв'язку стає ще більш громіздкою, малорухомою, складною в управлінні і вразливою до навмисного чи природного негативного впливу. Такий підхід не тільки не забезпечує істотних переваг, але може навіть погіршити якість управління військами в цілому. КХ діапазон частот використовувався тільки в командирських машинах (і КШМ), інші радіостанції бронеоб'єктів здійснили перехід від КХ діапазону радіостанцій типу 9Р і 10РК, в діапазон частот радіостанцій (першого покоління) 20-22,375 МГц, (другого покоління) 20,0-51,0 МГц і (третього покоління) 30,0-75,999 МГц, що дозволило при потужності випромінювання антени радіостанції 20-50 Вт забезпечувати в будь-який час доби в умовах пересічної місцевості впевнений двосторонній радіозв'язок між танками, що знаходились на

відстані до 20 км один від одного. На відміну від радіостанції типу 10РТ, танкові радіостанції підтримують режим частотної модуляції, який значно зменшив вплив перешкод при радіоприйомі в порівнянні з амплітудною модуляцією при однаковій потужності випромінювання антени. Ця особливість сприяла значному підвищенню надійності радіозв'язку в умовах перешкод. Вибір діапазону хвиль близьких до УКХ і власне УКХ, дозволяв різко скоротити кількість інших радіостанцій, так як зі зменшенням довжини хвилі величина кута між напрямком поширення відбитої радіохвилі і шаром іоносфери значно зменшувалася. Тому в цьому діапазоні радіохвиль перешкоди радіоприйому були можливі тільки з боку наддалеких потужних радіостанцій, число яких в діапазоні роботи радіостанцій було невеликим. Отже гранична дальність радіозв'язку протягом доби лишалася незмінною. До автомобільних і танкових КХ і УКХ радіостанцій пред'являються ті ж вимоги, що і до переносних. Винятки становлять лише вимоги до обмеження ваги радіостанції, вимога до габаритів залишаються як і раніше однією з головних.

Всі радіостанції, можна по роках випуску умовно розділити на засоби радіозв'язку:

1-го покоління: Р-112, Р-113;

2-го покоління: Р-111, Р-123, Р-130;

3-го покоління: Р-134, Р-171, Р-173;

Вимоги дальності зв'язку, що забезпечується УКХ возимих радіостанцій зазвичай складають від 20 км на штатну антену і КХ радіостанціями - від 50 км. Возимі радіостанції мають потужність передавача більше 10 Вт. ПАУ (погоджуючий антенний пристрій або антенний тюнер) виконує функції антенного контуру, тобто забезпечує ефективну передачу енергії від антени в приймач або від передавача в антену, пару несиметричного виходу із симетричною антеною, фільтрацію гармонік (перешкод). Приймач радіостанції виконується, як правило, по супергетеродинній схемі з одним або двома перетвореннями частоти.

У малопотужних радіостанціях можливі два варіанти роботи:

- з відключенням приймача при роботі на передачу.
- з включеним приймачем при роботі на передачу.

Другий варіант пояснюється двома причинами:

- велика частота приймального тракту використовується в системі АПЧ збудника.
- в режимі передачі приймач забезпечує самопрослуховування роботи свого передавача.

У деяких варіантах возимі радіостанції комплектуються додатковим приймачем, за допомогою якого можна розширити можливі види радіозв'язку (дуплекс і т.д.).

З метою забезпечення оперативного налаштування радіостанції з однієї частоти на іншу в возимих радіостанціях передбачена система «Заздалегідь Підготовлених Частот» (ЗПЧ). Система ЗПЧ являє собою пристрій механічного (електронного) запам'ятовування положення органів налаштування (струмів). Перебудова з однієї частоти на іншу проводиться автоматично за допомогою електродвигунів (електронних комутаторів).

Возимі радіостанції в якості джерела живлення використовують бортову мережу об'єкта, як правило - кислотні акумулятори. В якості додаткових джерел живлення можливе використання бензо-електричних агрегатів або мережі 220 В.

Порівнюючи основні характеристики радіостанцій малої потужності можна зробити наступні висновки:

- Дальність зв'язку радіостанцій всіх типів практично не змінилася, так як ця характеристика визначається тим, в якій ланці управління застосовується дана радіостанція. Відповідно і вихідна потужність передавача у всіх радіостанцій приблизно однакова.

- Антени також практично не змінилися. Основними антенами, застосовуваними в возимих радіостанціях малої потужності, є штирові антени (АШ) (в тому числі на телескопічних щоглах).

- Істотно змінилися види застосовуваних радіосигналів. У командирських танкових КХ радіостанціях першого покоління в основному застосовувалися АМ і АТ радіосигнали. В КХ радіостанціях другого покоління для роботи з радіостанціями старого парку застосовувалися також АМ радіосигнали. Однак основним видом модуляції для КХ радіозв'язку ставала однополосна модуляція (ОМ). В телеграфному режимі АТ і ЧТ. У танкових УКХ радіостанціях починаючи з першого покоління основний вид модуляції - ЧМ.

- Істотно змінилися режими роботи радіозасобів. В радіостанціях 1,2 і 3 поколінь основними режимами були симплекс і черговий прийом.

- Кількість ЗПЧ в процесі модернізації радіостанцій малої потужності збільшилася. В радіостанціях першого покоління ЗПЧ відсутня, а в радіостанціях 3-го їх кількість досягає 16.

3.2 Розрахунок геометричних розмірів антени

При проектуванні антен доцільно попередні випробовування проводити на моделях. Модель повинна бути подібна антені, всі геометричні розміри пропорційні у однакову кількість разів у стільки ж зменшується довжина хвилі, на якій проводяться вимірювання. Діаграма спрямованості антени залежить тільки від відношення геометричних розмірів до довжини хвилі. Тому діаграми спрямованості антени та її моделі співпадають. Ці ствердження доцільні при дослідженні антен, які знаходяться у вільному середовищі, якщо провідники, з котрих вони складаються, володіють нескінченною провідністю. Для отримання ж повного електродинамічного збігу необхідно при вимірюванні розмірів змінювати не тільки довжину хвилі, але також і провідність, магнітну та діелектричну провідність. Тому при зменшенні розмірів необхідно у стільки ж разів збільшувати провідність провідників. Оскільки більшість антен виготовляють з мідних провідників, попередню умову при зменшенні

розмірів виконати не можливо. Тим не менш, якщо провідність достатньо велика та мало впливає на величини що вимірюються, вимірювання на моделях допустимо. Так як згідно вихідних даних антена повинна працювати у діапазоні 140...170 і 400...425 МГц, розрахуємо геометричні розміри та деякі електричні параметри антени.

3.3 Розрахунок параметрів основних характеристик колінеарної антени

Антена повинна бути на магнітному кріпленні і забезпечувати кругову діаграму спрямованості при вертикальній поляризації. Для створення достатньо великого коефіцієнта підсилення 6 дБ було обрано відоме рішення – колінеарна антена. Принцип дії колінеарних антен наступний. Ця антена являється антеною зі стоячою хвилею струму. При цьому, щоб забезпечити достатнє підсилення антена повинна мати довжину не менше, ніж три чверті довжини хвилі, але при цьому обов'язково виникає від'ємна ділянка струму, що компенсує основне випромінювання, знижуючи підсилення антени і збільшуючи рівень бічного випромінювання. В колінеарній антені довжина проводу обирається рівною 1.25 довжини хвилі. При цьому виникає такий розподіл струму (рис 3.1.).



Рисунок 3.1- Розподіл струму в колінеарній антені

Для того, щоб уникнути впливу від'ємної ділянки струму провідник з цією ділянкою струму згортають у спіраль, де струми на протилежних сторонах витків взаємно компенсуються. При цьому отримуємо антену із загальною довжиною струму одного напрямку (рис 3.2).



Рисунок 3.2- Антена із загальною довжиною струму одного напрямку

3.4 Програмне моделювання конструкції та електричних характеристик колінеарної антени

Програмне моделювання здійснюється за допомогою програми MMANA.

MMANA – програма моделювання антен, яка працює в середовищі Windows. Це потужна навчальна система за допомогою якої можна зробити математичні розрахунки, порівняти різні типи антен та отримати об'ємні дані для виготовлення антени.

Можливості програми:

- аналізувати довільний набір проводів в якості антени;

- розраховувати будь-які типи антен, які можна представити як довільний набір проводів;
- розраховувати безліч параметрів антени;
- можливість автоматичної оптимізації декількох параметрів;
- розраховувати діаграми спрямованості в вертикальних та горизонтальних площинах;
- створювати або редагувати опис антени, як за значенням цифрових координат, так і в графічному редакторі;
- будувати тривимірні діаграми спрямованості;
- одночасно порівнювати результати моделювання декількох різних антен;
- редагувати кожний елемент антени, включаючи можливість зміни його форми;
- єдиний підхід до розрахунку всіх типів антен забезпечує універсальність застосування програми.

Версія програми MMANA-GAL програмного комплексу для аналізу і розрахунку MMANA є безкоштовною для використання в не комерційних цілях.

Моделювання антени виконується за допомогою програми MMANA-GAL. Для розрахунку антени були використані наступні дані:

- 1) Діапазон роботи антени $f=140-170\dots400-425$ МГц;
- 2) підсилення антени $G=6$ дБ;
- 3) коефіцієнт стоячої хвилі $KCX=1,3$;
- 4) вхідний опір $R_{вх}=50$ Ом;
- 5) діаметр випромінювача 2 мм;
- 6) матеріал випромінювача – мідь.

Були виконані розрахунки по двоелементній антені з наявністю протиаг (ефект землі), та зображений загальний вигляд антен в програмі MMANA-GAL (рис 3.3)

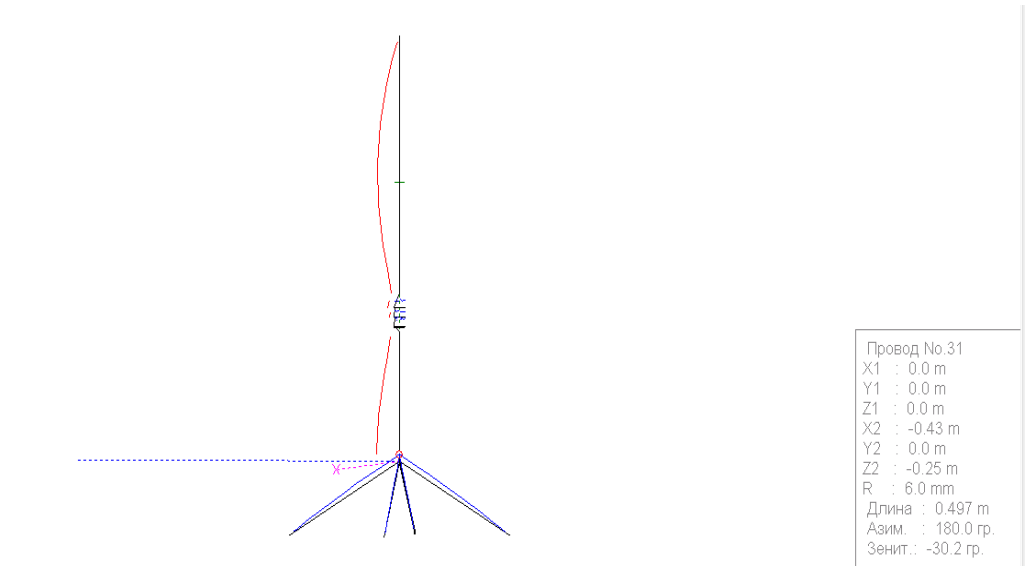


Рисунок 3.3 Зображення антени в програмі MMANA-GAL

Геометрия Вид Вычисления Диаграмма направленности								
Имя			Колінеарна антена			Частота 2420 МГц		
						☐ в лямбдах		
Проводов 31			Автосегментация: DM1 100 DM2 10 SC 2 EC 2			☐ Не разрывать		
No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
24	-0.02	0.01	0.445	-0.01	0.02	0.445	6.0	-1
25	0.0	0.0	0.43	0.0	0.0	0.0	6.0	-1
26	0.0	0.0	0.56	0.0	0.0	1.42	6.0	-1
27	-0.01	0.02	0.445	0.0	0.0	0.43	6.0	-1
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.43	-0.25	6.0	-1
29	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.43	-0.25	6.0	-1
30	0.0	0.0	0.0	0.43	0.0	-0.25	6.0	-1
31	0.0	0.0	0.0	-0.43	0.0	-0.25	6.0	-1
след.								

Рисунок 3.4 Таблица розміщення елементів антени в площині координат

Вигляд діаграми спрямованості для двох діапазонів зображено на рисунку 3.5 та рисунку 3.6.

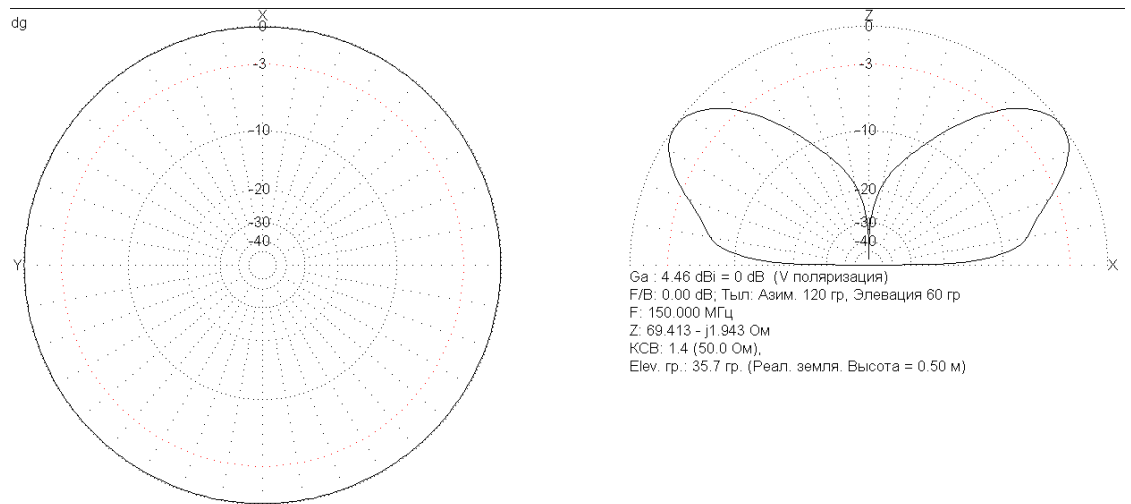


Рисунок 3.5 Діаграма спрямованості даної антени в горизонтальній та вертикальній площині для частоти 150 МГц

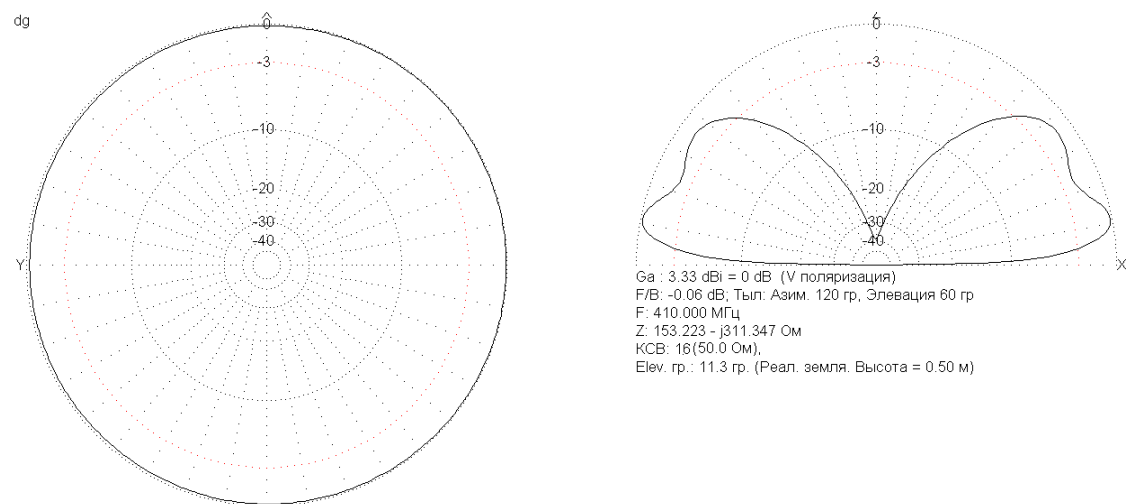


Рисунок 3.6 Діаграма спрямованості даної антени в горизонтальній та вертикальній площині для частоти 410 МГц

Також планується використання двох рефлекторів (рис 3.7), які будуть кріпитися на бронебазу за допомогою магнітних кріплень (рис. 3.8).

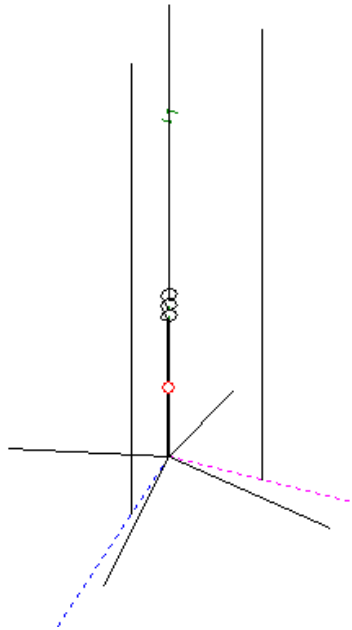


Рисунок 3.8 Колінеарна антена з рефлектором

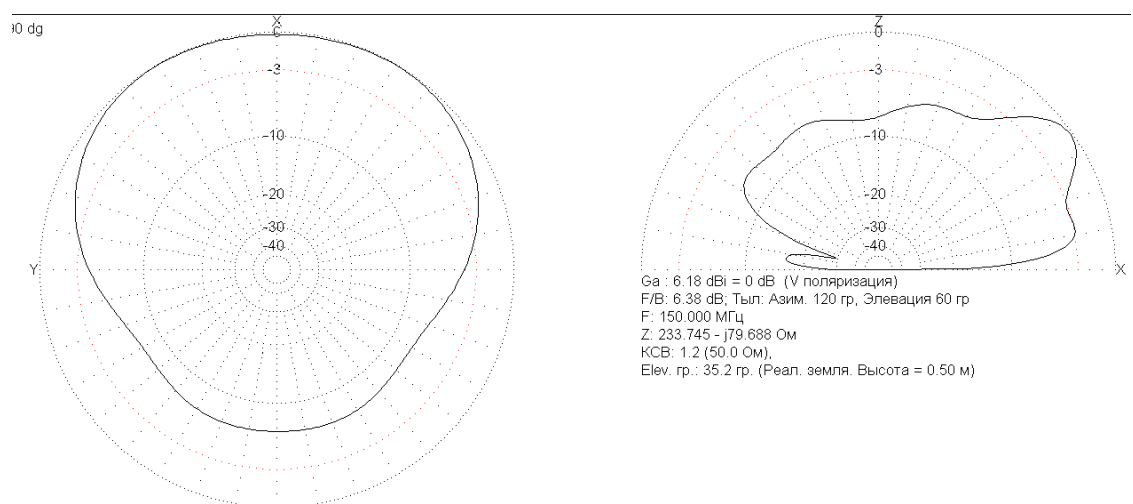


Рисунок 3.8 Діаграма спрямованості антени з двома рефлекторами для частоти 150 МГц.

Висновки до розділу

В цьому розділі було розглянуто методику розробки антени, а також розглянуто розробку дводіапазонної антени вібраторного типу з рефлекторами, які за потрібністю можна встановлювати, переваги цієї антени над прототипами, її тактико-технічні характеристики та актуальність розробки даної антени.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення з охорони праці

Метою даного розділу дипломного проекту є визначення розробка ескізу антени, яку буде встановлено на військовій техніці. Основна увага приділяється забезпеченню безпечних умов праці при встановленні антени, а також дотримання вимог з електробезпеки при проведенні робіт.

До експлуатації антени на станції допускаються працівники, які:

- задовольняють вимогам професійного відбору і мають відповідне заключення медичної комісії;
- що пройшли навчання безпечним методам роботи з даними пристроями;
- вміють користуватись захисними засобами і надавати першу медичну допомогу;
- знають правила пожежогасіння та користування вогнегасником;

Спеціаліст зобов'язаний:

- дотримуватися норм, правил та інструкцій з охорони праці та пожежної безпеки, правил експлуатації апаратури та обладнання станції, правил внутрішнього трудового розпорядку;
- вміти користуватися та правильно використовувати засоби захисту (діелектричні килимки, діелектричні рукавички, інструмент з ізолюючими ручками) при проведенні робіт на діючій апаратурі станції і ретельно стежити за їх справним станом;
- вміти поводитися з пожежним інвентарем і правильно використовувати його у разі виникнення пожежі;

- заземлення апаратної машини, антенних машин, електростанцій встановлювати за допомогою штатних колів-заземлювачів;
- виконувати доручену роботу відповідно до функціональних обов'язків;
- вміти надавати першу медичну допомогу;
- негайно повідомляти своєму безпосередньому начальнику про нещасний випадок, що стався під час експлуатації техніки, травмування, про ознаки захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей.

На всіх частинах обладнання, що закривають струмопровідні елементи з напругою 220 В та вище, повинні бути нанесені попереджувальні написи про небезпеку ураження електричним струмом.

Залишати без нагляду техніку з увімкненою апаратурою та обладнанням забороняється.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання роботи

При роботі на даху кузова необхідно бути обережним (особливо в погану погоду). Категорично забороняється знаходитися на даху кузова під час встановлення АЩП, коли можливі різкі поштовхи техніки, та під час її переміщення. Робота на даху техніки та щоглі без справного запобіжного поясу забороняється.

При роботі з бензином потрібно дотримуватися правил поведінки з ним. Бензин – легкозаймиста рідина, при попаданні на шкіру викликає подразнення, добре розчинює фарбу. Слід обережно поводитись з тарою з-під бензину, так як пари бензину, що там залишились легко займаються. Особливу обережність потрібно проявляти при роботі з етилованими бензинами, в яких міститься сильнодіюча речовина – тетраетил свинець, що викликає важке отруєння організму. Не можна використовувати

етильований бензин для миття рук, деталей, чищення одягу. Забороняється всмоктувати бензин та продувати трубопроводи та інші прилади системи живлення ротом. Зберігати та перевозити бензин можна лише в закритій тарі з написом “Етилований бензин – отруйний”. Для видалення пролитого бензину застосовують дерев'яну стружку, пісок, хлорне вапно або теплу воду. Перед їжею необхідно обов'язково вимити руки.

При русі техніки необхідно суворо дотримуватися вимог правил дорожнього руху та правила експлуатації автомобіля.

4.3 Порядок встановлення заземлення

Заземлення військової техніки складається із захисного та вимірювального заземлення. Захисне заземлення необхідне для забезпечення безпеки особового складу при дотику до металевих частин електроустаткування внаслідок порушення ізоляції. Вимірювальне – для забезпечення роботи реле безпеки персоналу (РБП) та контролю появи напруги понад 24 В на корпусі контейнера.

Захисне заземлення розташовується на відстані від 10 до 20 метрів від машини і складається з вертикальних штирів - заземлювачів, що вбиваються в ґрунт на відстань 2м і електрично з'єднуються між собою та клемою (шпилькою) заземлення.

Вимірювальне заземлення складається з двох штирів – заземлювачів, що забиваються в ґрунт біля апаратних машин. Штирі – заземлювачі являють собою сталеві стрижні циліндричної форми діаметром 15 мм і довжиною 2000 мм. Нижня частина штиря – заземлювача загострена, а на поверхні розташовані три групи кільцевих виточень для фіксації затискача.

4.4 Вимоги безпеки при виконанні вимірів переносними приладами

Провідники для з'єднання повинні бути з ізоляцією відповідно до величини струму, що вимірюється. Металеві корпуси приладів повинні бути

заземлені. При блочній побудові апаратури виймати блоки, з'єднувати їх ремонтними шлангами і підключати переносні вимірювальні прилади дозволяється тільки при вимкненій напрузі живлення.

Ремонт, перевірку блоків за допомогою ремонтних кабелів, перевірку ланок живлення та інші роботи пов'язані з ланками високої напруги (більше 50В), проводити в присутності другого працівника, який міг би надати допомогу при ураженні електричним струмом. При ремонті апаратури, відходячи з робочого місця, вимикати електроживлення відкритих блоків та елементів. Не залишати під напругою відкриті блоки та вузли на більший час, ніж той який необхідний для настроювання та регулювання. Не виконувати монтажні роботи (пайку) в апаратурі, яка знаходиться під напругою. При регулюванні апаратури, що знаходиться під струмом, не торкатися другою рукою металевих частин. При проведенні ремонтних робіт на апаратурі, яка знаходиться під напругою, покласти під ноги резиновий коврик.

Не наближати на тривалий час очі до випромінювача антен та коливальним контурам при знятих кришка-екранах та увімкненій напрузі передавача. Не виконувати роботи по ремонту антенно-фідерних пристроїв при увімкненій анодній напрузі передавача. При проведенні ремонтних робіт, пов'язаних з відкриванням монтажу електроживлення, необхідно від'єднати кабелі живлення від вилок 1,2 СЕТЬ 220В вводу ПИТ, закрити гнізда кришками та вивісити табличку: НЕ ВМИКАТИ – ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ.

У разі виявлення будь-якої несправності електроінструменту, заземлюючого пристрою або штепсельної розетки необхідно припинити роботу, та доповісти прямому начальнику. У разі відсутності підвищеної небезпеки в станції використовуються світильники напругою 24 В у випадку підвищеної небезпеки, в тісноті, в незручному положенні для працюючого застосовуються переносні світильники місцевого освітлення напругою 12 В. Періодично оглядати стан пристроїв електроживлення,

старанно перевіряти ізоляцію проводів і надійність контактів перемикаючих пристроїв. Гострі кути каркасів стійок для запобігання поранень повинні бути закриті кутниками. Тракти НВЧ повинні бути надійно з'єднані, забороняється роз'єднувати роз'єми і заглядати в них.

4.5 Вимоги безпеки після закінчення робіт

Після закінчення роботи необхідно вимкнути живлення на всій апаратурі та обладнанні, навести порядок на робочому місці. Особисто переконатися у відключенні апаратури на станції, лише після цього проводити згортання пристроїв заземлення та повне згортання станції. Після закінчення ремонтних робіт та перевірки працездатності апаратури вимкнути електроживлення відповідних блоків, вимірювальних приладів та електропаяльника. При виявленні небезпечної напруги на корпусі апаратури, необхідно вимкнути електроживлення станції та вжити заходів для її усунення. При виявленні порушення ізоляції кабелів живлення необхідно вимкнути електроживлення та прийняти міри до відновлення ізоляції.

У випадках пожежі, стихійного лиха, аварії, ситуацій які можуть привести до загрози життя людей дозволяється відключати електроживлення станції без дозволу начальника вузла, але з послідуєчим його повідомленням.

Висновки до розділу

Так як військова техніка відіграє важливу роль у забезпеченні зв'язком абонентів як у мирний, так і у воєнний час – дотримання правил безпеки входить в обов'язки кожного військовослужбовця і є невід'ємною його частиною.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП - ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Ідеєю даного проекту є дослідження можливості створення колінеарної антени, яку можна буде застосувати для організації військового зв'язку	1. Військовий зв'язок	Вигода використання даної антени полягає в тому, що розроблені зразки можна використовувати на мобільних бронеоб'єктах, що є доволі актуальним на даному етапі розвитку військової техніки зв'язку. Також, завдяки усім перевагам, користувач отримає економію у фінансовій сфері, завдяки раціонально підібраним параметрам та частоті антени.

Метод дослідження проекту необхідно проводити за допомогою теоретичних, практичних розрахунків, а також завдяки вивченню параметрів характеристик антен, які допоможуть в створенні ескізу антени.

Продуктом за задумом є двохдіапазонна колінеарна антена, у подальшому іменується, як «товар» або «проект».

Цільова група — формування та підрозділи сухопутних військ.

5.2 Аналіз ринкових можливостей

Окрім вивчення поведінки споживачів, комплексне дослідження ринку передбачає аналіз ринкових можливостей, перспектив розвитку попиту на товар, позиції конкурентів на ринку, їх сильні і слабкі сторони, які відкриваються перед продажом товару.

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Розпочнемо аналіз ринку для продажу прецизійних антени з визначення загальних рис конкуренції на ринку, які занесемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоби бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції — олігополія	Домінує невелика кількість конкуруючих фірм	Зменшення прибутку, попиту, клієнтів, та втрата свого місця на ринку та багато чого іншого, якщо не вдосконалювати свій товар і не бути активним на ринку
2. За рівнем конкурентної боротьби — національна та локальна	Даний товар виробляється й постачається в нашій державі та за її межами	
3. За галузевою ознакою — міжнародна	На світовому ринку представлені різні конкуруючі фірми	
4. За характером конкурентних переваг — нецінова	Перевагою даного товару є саме його якість та надійність, а не ціна	

Після ступеневого аналізу конкуренції на ринку проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі, який занесемо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Аналіз конкуренції в галузі

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Партнери	Товари-замінники
	2	3	4	5	6	7
	1. Harris, 2. Aselsa 3. Elbi	Отримання ліцензії на випуск	Сервісне обслуговування, ціна	Особисті фактори споживача, емоції, договір	1. Металбудальня	Ціна, якість, кращі параметри, простота
	Прямі конкуренти мають високу популярність на ринку, якісний товар, попит. Необхідно якомога краще представити товар для конкурентоспроможності	Якщо всі вищезазначені умови будуть виконані, то можуть з'явитися потенційні конкуренти, які матимуть можливість входу на ринок за короткий термін	Постачальники встановлюють ціну, терміни та місце постачання товару	Клієнти можуть сперечатися через ціну товару, його якість, гарантію та інше, а також через невідповідність його параметрів	Партнери займають вагоме місце на ринку з якими в нас заключено експортно-імпорتنу угоду на готову продукцію	Товар поки що є маловідомим, тому не є широко поширеним, проте, має якість на найвищому рівні і відповідно з підвищенням популярності ціна на його буде зростати

Отже, з огляду на конкурентну ситуацію, а саме її переваги та недоліки можна сказати, що товар можна представляти на ринку. Даний товар має багато сильних сторін, а саме: високу надійність, якість, точність, простоту у використанні та найкращі характеристики, які роблять товар конкурентоспроможним на ринку.

Після ринкового аналізу можливостей впровадження проекту проведемо SWOT-аналіз, тобто, складемо: матрицю аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін і занесемо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Висока надійність товару 2. Висока якість товару 3. Простота у використанні товару 4. Відмінні характеристики антени 5. Можливе використання в 2-х діапазонах 5. Задоволення клієнтів 7. Якісне обладнання	Слабкі сторони: 1. Слабкий імідж продукції 2. Низька репутація компанії 3. Невідомий товар 4. Мало додаткових послуг 5. Мало оборотних коштів 6. Слабкий маркетинг 7. Вузька галузь використання
Можливості: 1. Нові види товару 2. Нові технології створення 3. Підвищення ціни на товар 4. Додаткові послуги 5. Співпраця з іншими компаніями	Загрози: 1. Товари-замінники 2. Нові гравці на ринку 3. Зміна тенденції попиту 4. Активність конкурентів 5. Економічний спад

Отже, як видно з, SWOT-аналіз (табл. 5.4) товар може успішно бути виведеним на ринок.

5.3 Перспективи реєстрації в Україні

При виборі країни для реєстрації проекту було розглянуто Україну.

Перспективи реєстрація бізнесу в Україні для молодих підприємців є на досить низькому рівні. Для того, щоби зрозуміти, як можна покращити цю ситуацію проаналізуємо «проблеми» які існують у даному механізмі; після запропонуємо шляхи вирішення цієї проблеми.

Найбільш важливими проблемами реєстрації підприємства в Україні на думку підприємців та фахівців, є «самодержавність» органів державної податкової адміністрації, які не тільки контролюють відповідність дій підприємців тим чи іншим законодавчим актам, а й розробляють власні внутрішні нормативні документи (які в переважній більшості не подаються до Міністерства юстиції України); а також складність, обсяг і частота подання звітності, виконання інших обов'язкових процедур, а також частота їх змін, термін прийняття рішень, недостатня кваліфікація працівників відповідних державних органів.

Саме усуненню адміністративних бар'єрів необхідно приділяти особливу увагу, оскільки вони викликані, як правило, необ'єктивними причинами, усунення їх не потребує значних матеріальних та фінансових витрат і насамперед залежить від досконалості законодавчої бази регулювання підприємницької діяльності та рівня правової культури.

До адміністративних бар'єрів, можна віднести:

1. Проблеми реєстрації;
2. Недосконалість системи ліцензування;
3. Значну кількість контролюючих органів і дублювання ними функцій;
4. Бюрократичні дії органів державної виконавчої влади.

Нестабільність та протиріччя прийнятих правових документів часто призводить до необхідності перереєстрації малих підприємств, що, з одного боку, ускладнює діяльність підприємств, а з другого, є методом додаткового вилучення коштів із малого підприємства.

Витрати, які теоретично повинні бути однаковими, суттєво відрізняються для різних категорій підприємств і регіонів. Тим самим встановлюються

різні умови входу різних категорій підприємств на ринок. Досить часто, органи реєстрації самостійно ускладнюють процес реєстрації шляхом вимагання додаткової інформації (документів), які не передбачені діючим законодавством, а також наданням одних і тих же документів у різні інстанції.

Недосконала організаційна структура реєстраційних органів, відсутність єдиного методичного центру в країні з питань реєстрації та легалізації суб'єктів підприємництва призводять до порушення системного підходу при вдосконаленні реєстраційних процесів.

Система ліцензування, яка передбачає надання дозволу на окремі види підприємницької діяльності, уже сама по собі є одним із суттєвих бар'єрів, які обмежують розвиток підприємництва, у тому числі й малого.

Неузгодженість дій органів контролю призводить до того, що суб'єкти малого бізнесу підлягають за короткий строк багаторазовим перевіркам. Підприємці здебільшого не мають достовірної та достатньої інформації про права та повноваження контролюючих органів і не можуть обстоювати свої інтереси.

Отже, діюча неефективна та трудомістка система контролю діяльності суб'єктів малого бізнесу є одним з адміністративних бар'єрів для нормального функціонування підприємств.

З метою удосконалення реєстрації в Україні, доцільно ввести такі зміни:

1. Визначити граничний перелік контролюючих органів;
2. Встановити регламентні строки, періодичність та послідовність контрольних перевірок;
3. Розробити єдиний механізм відповідальності контролюючих органів та посадових осіб за порушення, які мали місце під час перевірок;

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено стартап-проект колінеарної антени для використання у військових цілях. Був проведений аналіз ідеї, ринкових

можливостей та перспектив реєстрації стартап-проекту. З проведеного аналізу можна зробити висновки:

- є можливість ринкової комерціалізації проекту. Аналіз показав, що товар має велику кількість сильних сторін, що робить його лідером серед конкурентів, тому попит та динаміка ринку на товар є високою;
- товар варто впроваджувати через його високу конкурентоспроможність внаслідок усіх зазначених переваг в аналізі та через велику кількість потенційних клієнтів;
- є широкі можливості для фінансування, просування та використання для організації військового зв'язку.

ВИСНОВКИ

Основною задачею магістерської роботи була розробка макету колінеарної антени для мобільної техніки, яка може застосовуватись на бронєбазі та на рухомих об'єктах (автомобілях, бронетранспортерах, військових тягачах).

За основу бралася штирєва антена, яка за своїми характеристиками найкраще підходить для використання на рухомих об'єктах.

Основною задачею магістерської роботи була розробка макету колінеарної антени для діапазонів 140...170 і 400...425 МГц, яка буде використовуватися із сучасними радіостанціями Motorola, прийнятими до використання на військових об'єктах.

Проведення досліджень колінеарної антени передбачає розгляд існуючих типів антен, алгоритмів їх розрахунку та реалізації, а також готових програм, за допомогою яких і визначаються параметри антен відповідно заданих характеристик.

В роботі було проведено опис типових антен та їх характеристик, дослідження електричних характеристик антен.

Розроблена антена складається з випромінюючого елемента, фазозсувної секції та чотирьох противаг. Випромінюючий елемент представлений у вигляді симетричного вібратора довжиною 0,75 λ . Для зменшення впливу башти і навісного обладнання нижня загальна частина антени до противаг піднята на 50 сантиметрів над бронєю.

В роботі проведено опис типових антен та їх характеристик, дослідження електричних характеристик штирєвих антен, розрахунок геометричних розмірів антени, вибір антени, налаштування антени.

На даному етапі розвитку військової техніки зв'язку, в ході проведення операції об'єднаних сил, коли армія потребує впровадження нової радіоапаратури, а значить і нових антенно-фідерних пристроїв для броньованої техніки, дана робота буде корисною і актуальною. Також дана

робота буде актуальною для зв'язкових задач, які вирішуються безпосередньо для польової компоненти, в якій більшість засобів зв'язку знаходиться на рухомій базі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терёшин О.Н. Антенны УКВ.4.2. - М.:Связь, 1977.-288 с.
2. Алексеев О.В., Грошев Г.А., Чавка Г.Г. Многоканальные частотноразделительные устройства и их применение. - М.: Радио и связь, 1981. - 136 с.
3. Алексеев Л.Е., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. - М.: Связь, 1976. - 280 с.
4. Альбац М.Е. Справочник по расчету фильтров и линий задержки. - М.:Госэнергоиздат, 1963. - 200 с.
5. Бузов А.Л., Казанский Л.С., Романов В.А., Сподобаев Ю.М. Антеннофидерные устройства систем сухопутной подвижной радиосвязи. - М.:Радио и связь, 1997. - 150 с.
6. Веселовский Кишистоф Системы подвижной радиосвязи. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 536 с.
7. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л. Антенно-фидерные устройства. - М.: Сов. радио, 1961. - 816 с.
8. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств.- М.: Энергия, 1966. - 648 с.
9. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот. - К.: Укртелеком, 2003. - 496 с.
10. Лондон С.Е., Томашевич С.В. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам. - М.: Радио и связь, 1984. - 216 с.
11. Марков Г.Т., Сазанов Д.М., Антенны. - М.: Энергия, 1975. - 528 с.
12. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. - М.: Радио и связь, 1986. - 448 с.
13. Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. - М.: Радио и связь, 1986. - 144 с.

14. Фальковский О. И. Техническая электродинамика. - М.: Связь, 1978. - 432 с.
15. Фролов О.П. Антенны для земных станций спутниковой связи. - М.: Радио и связь, 2000. - 376 с.
16. Алексеев А.В. Знаменский А.В., Поляков В.С. Фильтры и цепи СВЧ. Пер. с англ. - М.: Связь, 1976. - 248 с.
17. Ханзел Г. Справочник по расчету фильтров. - М.: Сов. радио, 1974. - 288 с.
18. Херреро Д., Уиллер Г. Синтез фильтров. - М.: Мир, 1971. - 232 с.
19. Христиан Э., Эйзенман Е. Таблицы и графики по расчету фильтров. - М.: Связь, 1975.-408 с.
20. ДСТУ 3801-98 Антени. Терміни та визначення
21. ДСТУ 3936-99 Системи передавання радіорелейні прямої видимості
22. <https://works.doklad.ru/view/ObjE5GBXX3M/all.html>
23. http://uchit.net/catalog/Kommunikatsii_i_svyaz/104997
24. Козловська О.М., Витяг з інструкції №150 з охорони праці на робочому місці спеціаліста станції зв'язку., 2017. – 8 с.

ДОДАТОК А

*Електродинаміка. Пристрої НВЧ діапазону та антенна техніка***ВПЛИВ КОРПУСУ АВТОМОБІЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕН***Думанська І. Ф.; Шпилька О. О., к.т.н.**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Анени, що розміщуються на дахах транспортних засобів і працюють у режимі прийому або передачі, за частотними властивостями поділяються на одночастотні та багаточастотні. Одночастотні антени зазвичай працюють в одній мережі зв'язку, багаточастотні можуть працювати у двох або трьох мережах радіозв'язку, тобто випромінюють і приймають радіохвилі у декількох діапазонах частот.

Найбільш поширеними транспортними засобами, які використовують мережі мобільного зв'язку, є автомобілі. Анени на таких рухомих об'єктах можуть розміщуватися або в середині салону автомобіля, або зовні. При встановленні антени в середині салону необхідно враховувати те, що корпус автомобіля частково екранує електромагнітні хвилі і напруженість електричного поля буде меншою, ніж назовні. Крім того, при закріпленні антени біля переднього скла автомобіля приймання хвиль із заднього півпростору погіршується. І навпаки, при розміщенні антени біля заднього скла погіршується приймання хвиль, що приходять з переднього півпростору. Можна використати дві антени: одну біля переднього (лобового) скла, іншу біля заднього скла. При цьому можуть виникнути глибокі інтерференційні провали (рис. 1), внаслідок того, що сигнал надходить до антени у протифазі. Кут відраховується від поздовжньої осі автомобіля. Сигнали, які приймають антени: передня - з напрямку при $\theta = 0^\circ$, а задня - з напрямку при $\theta = 180^\circ$, мають однакову інтенсивність. А інтенсивність сигналів на вході тих самих антени при прийманні радіохвиль з протилежних напрямків значно менша через екрануючу дію кузова. Тому пелюстки діаграми спрямованості в напрямках $\theta = 0^\circ$ і $\theta = 180^\circ$ практично створюються однією антеною і не зазнають інтерференції.

При пересуванні автомобіля на територіях з численними спорудами, по міських вулицях поширення хвиль багатопроменеве, тому в діаграмі спрямованості салонної автомобільної двоелементної антенної системи нулі "запливають", як це показано на рис. 1 штриховою лінією, а поза межами міста знову з'являються глибокі провали.

Більш вдалим є розміщення такої антени, як несиметричний вібратор на даху автомобіля. Вхідний опір вібратора мало змінюється при зміщенні антени від середини до краю даху, оскільки ближня зона, де зосереджена реактивна потужність, має незначний радіус і охоплює невелику частину даху. Але діаграма спрямованості може суттєво змінюватися.

Якщо антена встановлена в центрі даху, то діаграма спрямованості

практично симетрична. При зміщенні антени із центру діаграма стає асиметричною.

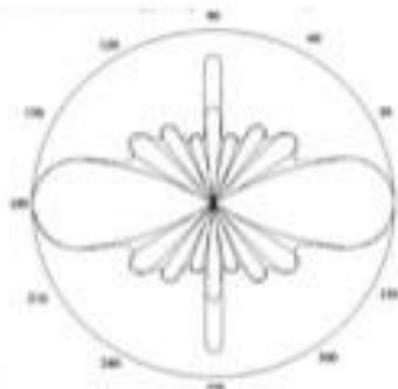


Рисунок 1. Діаграма спрямованості антени, розташованої на автомобілі.

Для дослідження впливу розташування антени на діаграму спрямованості було використано фізичну модель у вигляді металевого листа з розмірами, що дорівнювали трьом довжинам хвиль. Діаграма спрямованості несиметричного вібратора, встановленого в центрі листа (рис.2а), в меридіональній площині буде симетричною (див. рис.2б) з максимальним випромінюванням, спрямованим під кутом Δ_{max} до площини горизонту. Від азимутального кута залежність інтенсивності поля випромінювання не спостерігається.

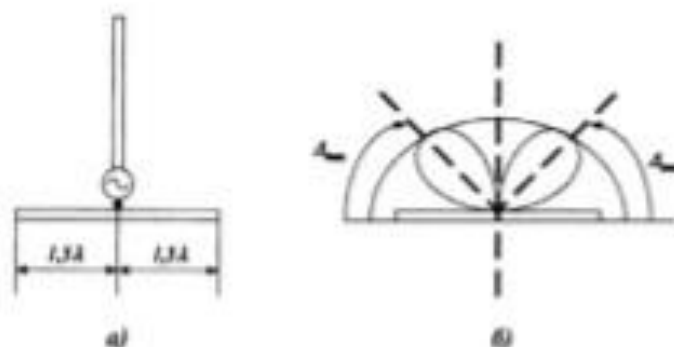


Рисунок 2. Фізична модель і ДС несиметричного вібратора.

При зміщенні вібратора до краю металевого листа (див. рис.3а) діаграми спрямованості в меридіональній площині стає несиметричною. Кут Δ_{max2} більший кута Δ_{max1} , а інтенсивність випромінювання у напрямку $\Delta = \Delta_{max2}$ менша інтенсивності випромінювання під кутом місця Δ_{max1} , що спрямоване у бік, де довжина металевого листа від антени до краю більша, див. рис.3б. Залежність діаграми спрямованості від азимутального кута φ

також несиметрична. На рис. 3а наведено залежність інтенсивності випромінювання від кута φ при куті місця Δ , що дорівнює 30° .

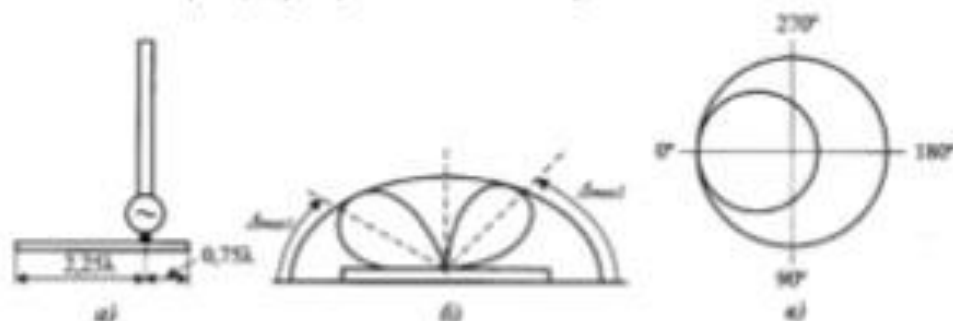


Рисунок 3. Еквівалентна схема і ДС зменшеного вібратора

Таким чином, у роботі розглянуто характеристики антен при їх розміщенні на площині кузова автомобіля та проаналізовано зміну характеристик для різних можливих розміщень антен. Установлено, що для забезпечення симетричності діаграми направленості найбільш придатним є розміщення вібратора в центрі даху автомобіля.

Перелік посилань

1. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ.ч.2. — М.:Связь, 1977. — 288 с.
2. Марков Г.Т., Сазанов Д.М., Антенны. — М.: Энергия, 1975. — 528 с.

Анотація

Прованалізовано вплив корпусу автомобіля на характеристики антен. Проведено моделювання діаграми спрямованості несиметричного вібратора в середовищі CST Studio для випадків коли вібратор знаходився у центрі площини та коли він був зміщений під один із країв.

Ключові слова: антена, діаграма спрямованості, несиметричний вібратор.

Аннотация

Прованализировано влияние корпуса автомобиля на характеристики антенны. Проведено моделирование диаграммы направленности несимметричного вибратора в среде CST Studio для случаев, когда вибратор находится в центре плоскости и когда он был смещен к одному из краев.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности, несимметричный вибратор.

Abstract

The influence of the car body on the characteristics of the antenna is analyzed. The directional diagram of an asymmetric vibrator was simulated in CST Studio for cases when the vibrator is in the center of the plane and when it was shifted to one of the edges.

Keywords: antenna, radiation pattern, unbalanced vibrator.