

**Міністерство освіти і науки України**

**Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя Навчально-науковий інститут точних наук і економіки Кафедра математики та економіки**

*Прикладна фізика та наноматеріали*

*105 Прикладна фізика та наноматеріали*

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня *магістр*

# **Проектування короткохвильових та ультракороткохвильових антен на основі рамкового вібратора**

**студента Пантелєєва Максима Васильовича**

Науковий керівник:

Мельничук Олександр Володимирович,

док. фіз.-мат. наук, професор

Рецензенти:

Кнорозок Леонід Михайлович,

канд. фіз.-мат. наук, доцент;

Руденко Микола Петрович,

канд. пед. наук, доцент

Допущено до захисту

В.о. зав. кафедри \_\_\_\_\_ Тарасенко О.В.

Ніжин – 2019 рік

# Зміст

АНОТАЦІЯ .....	3
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ I. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ, ЇХ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПОШИРЕННЯ .....	6
1.1. Поняття електромагнітної хвилі .....	6
1.2. Особливості поширення електромагнітних хвиль кх та укх діапазон. ....	12
1.3. Антени та їх особливі характеристики .....	15
РОЗДІЛ II. РАМКОВІ АНТЕНИ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ .....	21
2.1. Принцип дії рамкової антени .....	21
2.2. Основні види та особливості кх антени різних діапазонів, довжин, хвиль .....	27
2.3. Магнітні антени .....	33
РОЗДІЛ III. РОЗРАХУНОК РАМКОВИХ АНТЕН ТА ЇХ ПАРАМЕТРІВ .....	41
3.1. Розрахунок діаграми спрямованості .....	41
3.2. Оптимізація геометричних розмірів приймальної хвилевої рамкової антени .....	45
ВИСНОВКИ .....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	47

## **АННОТАЦІЯ**

В даній роботі була розроблена приймальна хвилева рамкова магнітна антена, побудовану її діаграму спрямованості та виконано оптимізацію геометричних розмірів даної антени. Розрахунок параметрів антени та побудова її діаграми спрямованості проводились за допомогою спеціальної програми MMANA-GAL.

Ключові слова: магнітна рамкова антена, КХ та УКХ-діапазон, рамковий вібратор, конструювання рамкової антени.

## **ANNOTATION**

In this work, we developed a receiving wave frame magnetic antenna, constructed its radiation pattern, and optimized the geometric dimensions of this antenna. The calculation of the antenna parameters and the construction of its radiation pattern were carried out using the special MMANA-GAL program.

Key words: magnetic loop antenna, HF and VHF band, frame vibrator, design of the frame antenna.

## Вступ

Антенa входить в склад будь-якої радіолінії. Основне призначення антени – випромінювання і приймання радіохвиль. Тобто антена – це пристрій, який перетворює направлені електромагнітні хвилі в радіохвилі і навпаки. Антени поділяються на: передавальні, приймальні і передавально-приймальні.

Приймальна антена – пристрій, який перетворює електромагнітні хвилі, що розповсюджуються вільно, в зв'язані електромагнітні хвилі або струми змінної частоти. Функції приймальної антени: перетворююча, фільтрувальна.

Передавальна антена – пристрій, який перетворює зв'язані електромагнітні хвилі або струми змінної частоти в хвилі, що розповсюджуються вільно. Функції передавальної антени: перетворююча, концентрація поля хвиль в заданому напрямку[1].

Крім власне випромінювання і прийому радіохвиль призначенням антени є також просторовий розподіл інтенсивності, фази і поляризації радіохвилі.

За діапазоном хвиль антени класифікуються: довгих хвиль, середніх хвиль, коротких хвиль і ультракоротких хвиль. За призначенням: радіолокаційні, зв'язкові (телевізійні, супутникові), мобільні, стаціонарні тощо.

В даній роботі була розроблена приймальна хвильова рамкова антена, побудовану її діаграму спрямованості та виконано оптимізацію геометричних розмірів даної антени. Розрахунок параметрів антени та побудова її ДС проводились за допомогою спеціальної програми MMANA-GAL.

**Об'єкт дослідження:** магнітна рамкова антена.

**Предмет дослідження:** КХ та УКХ-діапазон магнітної рамкової антени

**Наукова новизна:** Отриманий новий математичний вираз для розрахунку й аналізу магнітної антени да допомогою програми MMANA-GAL. Розрахунок параметрів антени та побудова діаграми спрямованості

**Актуальність теми:**

Антени — невід'ємна частина будь-якої радіосистеми, саме ними визначається ефективність радіосистеми за заданих обмежень на її параметри та характеристики (потужність передавача, чутливість приймача і так далі). Антени можуть ефективно випромінювати (приймати) радіосигнали при виконанні наступних умов: ефективна площа апертури досить велика, втрати в антенах і узгоджуючих пристроях — малі. У КХ діапазоні (3...30 МГц) довжина хвилі значно велика (100...10 м), а абсолютні розміри антен обмежені місцем їх розташування. Тому відносні розміри реальних антен при установленні їх на рухомі об'єкти малі. Через малі їх відносні розміри ефективність антен (випромінююча здатність, діюча довжина) теж мала. Простий шлях збільшення ефективності реальних КХ антен — збільшити їх габаритні розміри — не прийнятний у зв'язку з обмеженнями на місце їх установлення. Тому потрібний новий підхід до розробки таких антен, що визначило актуальність даної роботи.

**Апробація результатів дослідження:** мета, завдання та отриманні результати доповідались на XIV Всеукраїнській студентській науковій конференції «Перспективи розвитку наук, економіки та методики їх викладання» (4-5 грудня 2018 року, м. Ніжин), XV Всеукраїнській студентській науковій конференції «Перспективи розвитку наук, економіки та методики їх викладання» (4-5 грудня 2019 року, м. Ніжин),

# РОЗДІЛ 1 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ, ЇХ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПОШИРЕННЯ В ПРОСТОРИ

## 1.1. поняття електромагнітної хвилі

Електромагнітна хвиля — процес розповсюдження електромагнітної взаємодії в просторі у вигляді змінних зв'язаних між собою електричного та магнітного полів. Прикладами електромагнітних хвиль є світло, радіохвилі, рентгенівські промені, гамма-промені. Загальні властивості електромагнітних хвиль вивчаються в розділі фізики, що називається класичною електродинамікою, специфічні — в інших розділах фізики, таких як радіофізика, оптика, спектроскопія, атомна фізика, ядерна фізика тощо[1].

Електромагнітні хвилі описуються загальними для електромагнітних явищ рівняннями Максвелла. Навіть у випадку відсутності у просторі електричних зарядів і струмів рівняння Максвелла мають відмінні від нуля розв'язки. Ці розв'язки описують електромагнітні хвилі.

У випадку відсутності зарядів і струмів рівняння Максвелла набирають наступного виду:

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} \mathbf{H} &= \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{H} &= 0, \operatorname{div} \mathbf{E} = 0.\end{aligned}$$

Застосовуючи операцію  $\operatorname{rot}$  до перших двох рівнянь можна отримати окремі рівняння для визначення напруженості електричного і магнітного полів

$$\begin{aligned}\Delta \mathbf{H} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} &= 0 \\ \Delta \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} &= 0\end{aligned}$$

Ці рівняння мають типову форму хвильових рівнянь. Їхніми розв'язками є суперпозиція виразів наступного типу

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t - \varphi),$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t - \varphi),$$

де  $\mathbf{k}$  - певний вектор, який називається хвильовим вектором,  $\omega$  - число, яке називається циклічною частотою,  $\varphi$  - фаза. Величини  $\mathbf{E}_0$  та  $\mathbf{H}_0$  є амплітудами електричної та магнітної компоненти електромагнітної хвилі. Вони взаємно перпендикулярні й рівні за абсолютною величиною. Фізична інтерпретація кожної із введених величин дається нижче[1].

У вакуумі електромагнітна хвиля розповсюджується із швидкістю, яка називається швидкістю світла. Швидкість світла є фундаментальною фізичною константою, яка позначається латинською літерою  $c$ . Згідно із основним постулатом теорії відносності швидкість світла є максимально можливою швидкістю передачі інформації чи руху тіла. Ця швидкість становить 299 792 458 м/с.

Електромагнітна хвиля характеризується частотою. Розрізняють лінійну частоту  $\nu$  й циклічну частоту  $\omega = 2\pi\nu$ . В залежності від частоти електромагнітні хвилі належать до одного із спектральних діапазонів.

Іншою характеристикою електромагнітної хвилі є хвильовий вектор  $\mathbf{k}$ . Хвильовий вектор визначає напрямок розповсюдження електромагнітної хвилі, а також її довжину. Абсолютне значення хвильового вектора називають хвильовим числом.

Довжина електромагнітної хвилі

$$\lambda = 2\pi/k,$$

де  $k$  - хвильове число.

Довжина електромагнітної хвилі зв'язана з частотою через закон дисперсії. У порожнечі цей зв'язок простий:

$$\lambda\nu = c.$$

Часто дане співвідношення записують у вигляді

$$\omega = ck.$$

Електромагнітні хвилі із однаковою частотою й хвильовим вектором можуть розрізнятися фазою.

У порожнечі вектори напруженості електричного й магнітного полів електромагнітної хвилі обов'язково перпендикулярні до напрямку розповсюдження хвилі. Такі хвилі називаються поперечними хвилями. Математично це описується рівняннями  $\mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0$  та  $\mathbf{k} \cdot \mathbf{H} = 0$ . Крім того, напруженості електричного й магнітного полів перпендикулярні одна до одної й завжди в будь-якій точці простору рівні за абсолютною величиною:  $E = H$ . Якщо вибрати систему координат таким чином, щоб вісь  $z$  збігалася з напрямком поширення електромагнітної хвилі, існуватимуть дві різні можливості для напрямків векторів напруженості електричного поля. Якщо електричне поле направлено вздовж осі  $x$ , то магнітне поле буде направлено вздовж осі  $y$ , і навпаки. Ці дві різні можливості не виключають одна одну й відповідають двом різним поляризаціям. Детальніше це питання розбирається в статті Поляризація електромагнітної хвилі[2].

В залежності від частоти чи довжини хвилі (ці величини пов'язані між собою), електромагнітні хвилі відносять до різних діапазонів. Хвилі в різних діапазонах різним чином взаємодіють з фізичними тілами.

Електромагнітні хвилі з найменшою частотою (або найбільшою довжиною хвилі) належать до радіодіпазону. Радіодіпазон використовується для передачі сигналів на віддаль за допомогою радіо, телебачення, мобільних телефонів. У радіодіпазоні працює радіолокація. Радіодіпазон розділяється на метровий, дециметровий, сантиметровий, міліметровий, в залежності від довжини електромагнітної хвилі.

Електромагнітні хвилі з вищою частотою належать до **інфрачервоного діапазону**. В інфрачервоному діапазоні лежить теплове випромінювання тіла. Реєстрація цього випромінювання лежить в основі роботи приладів нічного бачення. Інфрачервоні хвилі застосовуються також для вивчення теплових коливань у тілах і допомагають встановити атомну структуру твердих тіл, газів та рідин[2].



Електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 400 нм до 760 нм належать до діапазону видимого світла. В залежності від частоти й довжини хвилі видиме світло розрізняється за кольорами.

Хвилі з довжиною меншою за 400 нм називаються ультрафіолетовими. Людське око їх не розрізняє, хоча їхні властивості не дуже відрізняються від властивостей хвиль видимого діапазону. Більша частота, а, отже, й енергія квантів такого світла призводить до більш руйнівної дії ультрафіолетових хвиль на біологічні об'єкти. Земна поверхня захищена від шкідливої дії ультрафіолетових хвиль озоновим шаром. Для додаткового захисту природа наділила людей темною шкірою. Проте ультрафіолетові промені потрібні людині для продукування вітаміну D. Саме тому люди в північних широтах, де інтенсивність ультрафіолетових хвиль менша, втратили темне забарвлення шкір[3].

Електромагнітні хвилі ще вищої частоти належать до рентгенівського діапазону. Вони називаються так тому, що їх відкрив Рентген, вивчаючи випромінювання, яке утворюється при гальмуванні електронів. В закордонній літературі такі хвилі заведено називати X-променями, поважаючи бажання Рентгена, щоб промені не називали його іменем. Рентгенівські хвилі слабо взаємодіють із речовиною, сильніше поглинаючись там, де густина більша. Цей факт використовується в медицині для рентгенівської флюорографії. Рентгенівські хвилі застосовуються також для елементного аналізу та вивчення структури кристалічних тіл.

Найвищу частоту й найменшу довжину мають γ-промені. Такі промені утворюються внаслідок ядерних реакцій і реакцій між елементарними частинками. γ-промені мають велику руйнівну дію на біологічні об'єкт[3]. Проте вони використовуються у фізиці для вивчення різних характеристик атомного ядра.

Розповсюдження електромагнітних хвиль у середовищі має ряд особливостей порівняно із розповсюдженням у порожнечі. Ці особливості

зв'язані із властивостями середовища й загалом залежать від частоти електромагнітної хвилі. Електрична та магнітна складова хвилі викликають поляризацію й намагнічування середовища. Цей відгук середовища неодинаковий у випадку малої й великої частоти. При малій частоті електромагнітної хвилі, електрони й іони речовини встигають відреагувати на зміну інтенсивності електричного й магнітного полів. Відгук середовища відслідковує часові коливання в хвилі. При великій частоті електрони й іони речовини не встигають зміститися протягом періоду коливання полів у хвилі, а тому поляризація та намагнічення середовища набагато менші.

Електромагнітне поле малої частоти не проникає в метали, де багато вільних електронів, які зміщуються таким чином, що повністю гасять електромагнітну хвилю. Електромагнітна хвиля починає проникати в метал при частоті більшій за певну частоту, яка називається плазмовою частотою. При частотах менших за плазмову частоту електромагнітна хвиля може проникати в поверхневий шар металу. Це явище називається скін-ефектом[4].

У діелектриках змінюється закон дисперсії електромагнітної хвилі. Якщо в порожнечі електромагнітні хвилі розповсюджуються із сталою амплітудою, то у середовищі вони затухають, внаслідок поглинання. При цьому енергія хвилі передається електронам чи іонам середовища. Загалом закон дисперсії за відсутності магнітних ефектів набирає вигляду

$$k^2 = \varepsilon(\omega) \frac{\omega^2}{c^2}$$

де хвильове число  $k$  — загалом комплексна величина, уявна частина якої описує зменшення амплітуди електромагнітної хвилі, — залежна від частоти комплексна діелектрична проникність середовища.

В анізотропних середовищах напрямок векторів напруженості електричного та магнітного полів не обов'язково перпендикулярний напрямку розповсюдження хвилі. Проте напрямок векторів електричної та магнітної індукції зберігає цю властивість.

У середовищі при певних умовах може розповсюджуватися ще один тип електромагнітної хвилі — повздовжня електромагнітна хвиля, для якої напрям вектора напруженості електричного поля збігається із напрямком розповсюдження хвилі.

## **1.2. Особливості поширення електромагнітних хвиль кх на укх-діапазонів**

**Короткі хвилі** — діапазон радіохвиль з частотою від 3 МГц (довжина хвилі 100 м) до 30 МГц (довжина хвилі 10 м). Друга назва: «декаметровий діапазон хвиль».

Короткі хвилі відбиваються від іоносфери з малими втратами. Тому, шляхом багатократних відбивань від іоносфери і поверхні Землі, вони можуть поширюватися на великі відстані. Короткі хвилі використовуються для радіомовлення, а також для аматорського і професійного радіозв'язку. Якість прийому при цьому залежить від різних процесів в іоносфері, пов'язаних з рівнем сонячної активності, порою року і часом доби. Так вдень краще поширюються хвилі меншої довжини, а вночі — більшої. Для зв'язку між наземними станціями і космічними апаратами вони непридатні, бо не проходять крізь іоносфер[5].

На коротких хвилях спостерігаються завмирання — зміна рівня сигналу, що приймається. Вони проявляються як короткочасне зниження амплітуди несучої частоти або зовсім зникнення такої. Завмирання виникають через те, що радіохвилі від передавача йдуть до приймача різними шляхами, в різній фазі і, інтерферуючи в антені приймача, можуть періодично посилювати та послаблювати одна одну.

**Шар F2** — найвищий з іонізованих шарів іоносфери. Густина цього шару підвищується вдень, літом вона вища, ніж зимою. Максимальне поширення для зв'язку одним стрибком - до 4000 км. Чим вище густина шару, тим вища гранична частота відбиття від іоносфери. Максимальна частота, за якої

відбувається відбивання, називається максимальною частотою висилання — МПЧ. Із збільшенням кута відбивання МПЧ збільшується[6].

**Шар F1** — існує лише вдень. Максимальне поширення для зв'язку одним стрибком - до 3000 км. Вночі зливається з шаром F2.

**Шар E** — відбиваючий шар, найменш схильний до сонячної активності. Максимальне поширення для зв'язку одним стрибком до 2000 км. МПЧ залежить тільки від кута відбивання.

**Шар Es** — шар E спорадичний. Виникає спорадично (рідко), частіше в екваторіальних широтах. Характеристики такі ж, як у шару E.

**Шар D** — найнижчий із іонізованих шарів іоносфери і єдиний поглинальний шар для радіохвиль КХ діапазону. Існує лише вдень. Вночі зникає. При зникненні шару D вночі, стає можливе приймання слабких і далеко розташованих радіостанцій. Через зменшення МПЧ, що відбивається шаром F2 і збільшенням перешкод через зникнення шару D, вночі, професійний радіозв'язок в КХ діапазоні утруднений.

**«Аврора»** — відбивання радіохвиль від північного сяйва. Таким видом зв'язку вперше скористався Георгій Румянцев, легендарний радянський радіоаматор, радіоспортемен і конструктор.

**Прогноз МПЧ** — розрахунок МПЧ проводиться по місячним, п'ятиденним і щоденним прогнозам[6].

## Радіоматорські діапазони КХ

В перші десятиліття існування радіо вважалося, що хвилі коротші 250 м малоприменні для практичних цілей. Тому весь КХ діапазон був наданий в розпорядження аматорів-ентузіастів для експериментів (див. DXing). Першим законодавчим актом, що регламентував аматорський радіозв'язок, був «Закон про радіо», прийнятий Конгресом США в 1912 р. В міру вдосконалення техніки радіозв'язку з'ясувалося, що за певних умов на КХ можливий зв'язок на великій відстані навіть при мінімальній потужності передавача. В даний час для

аматорського зв'язку на КХ виділені строго певні діапазони частот, які дещо відрізняються для різних країн світу:

- 
1. 1810 — 1850 кГц (160 метрів, умовно вважається короткохвильовим)
  2. 1850 — 2000 кГц (160 метрів, на вторинній основі)
  3. 3500 — 3800 кГц (80 метрів)
  4. 7000 — 7200 кГц (40 метрів)
  5. 10100 — 10150 кГц (30 метрів, на вторинній основі)
  6. 14000 — 14350 кГц (20 метрів)
  7. 18068 — 18168 кГц (16 метрів, на вторинній основі)
  8. 21000 — 21450 кГц (15 метрів)
  9. 24890 — 24990 кГц (12 метрів)
  10. 28000 — 29700 кГц (10 метрів)

Ультракороткі радіохвилі в звичайних умовах не відбиваються від іоносфери. Прямі хвилі, що поширюються поблизу поверхні Землі, сильно нею поглинаються. Для здійснення далекого телебачення застосовується послідовний ланцюг ретрансляційних станцій, які здійснюють прийом, посилення і подальшу передачу сигналів[8].

Ультракороткі радіохвилі сильно поглинаються поверхнею Землі і практично не відображаються від іоносфери, що знаходиться в нормальному стані. Тому надійний прийом телевізійних передач зазвичай можливий тільки в межах прямої видимості між передавальною і прийомною антенами, що залежить від висоти їх розташування над поверхнею Землі, а також від рельєфу місцевості і розташування окремих великих перешкод, що поглинають і розсіюють метрові радіохвилі. Спостерігаються випадки дальнього прийому телевізійних передач (до 2000 км), які пояснюються відображенням метрових радіохвиль від виникаючих іноді на висотах шарів D і E дуже тонких шарів E, підвищеної іонізації.

Ультракороткі радіохвилі сильно поглинаються поверхнею Землі і практично не відображаються від іоносфери, що знаходиться в нормальному стані. Тому надійний прийом телевізійних передач зазвичай можливий тільки в

межах прямої видимості між передавальної і приймальної антенами, що залежить від висоти їх розташування над поверхнею Землі, а також від рельєфу місцевості і розташування окремих великих перешкод, що поглинають і розсіюють метрові радіохвилі. Спостерігаються випадки дальнього прийому телевізійних передач (до 2000 км), які пояснюються відображенням метрових радіохвиль від виникаючих іноді на висотах шарів D і E дуже тонких шарів E, підвищеної іонізації[7].

Ультракороткі радіохвилі сильно поглинаються поверхнею Землі і практично не відображаються від іоносфери, що знаходиться в нормальному стані. Тому надійний прийом телевізійних передач зазвичай можливий тільки в межах прямої видимості між передавальної і приймальної антенами, що залежить від висоти їх розташування над поверхнею Землі, а також від рельєфу місцевості і розташування окремих великих перешкод, що поглинають і розсіюють метрові радіохвилі. Передача телевізійних програм на великі відстані здійснюється з допомогою радіорелейних ліній, що складаються з ланцюжка ретрансляційних станцій.

Застосування ультракоротких радіохвиль в системах радіорелейних ліній дозволяє в одному високочастотному стволі (у вузькому діапазоні частот) розмістити десятки і сотні одночасно працюючих і не заважають один одному каналів зв'язку.

Поширення ультракоротких хвиль в атмосферному хвилеводі. Вивчення ультракоротких радіохвиль показало, що поширення метрових, дециметрових, сантиметрових і міліметрових хвиль характеризується рядом специфічних особливостей, крім зазначених вище.

Область ультракоротких радіохвиль змикається з ділянкою інфрачервоних променів. Кордон між ними чисто умовна і визначається способом їх отримання: ультракороткі радіохвилі отримують за допомогою особливих генераторів (радіотехнічні методи), а інфрачервоні промені випромінюються нагрітими тілами. Застосування ультракоротких радіохвиль в

порівнянні з середніми хвилями вигідно тому, що в більш вузькій смузі частот можна здійснити значно більшу кількість передач, ніж на середніх хвилях.

УКХ розповсюджуються в ідеальних умовах по прямій як світло. При проходженні УКХ через іонізовані ділянки атмосфери (грозова активність, магнітні бурі на Сонці) вони зазнають менших втрат і радіозв'язок може відбуватися на більші відстані.

Розповсюдження радіохвиль від джерела до приймача може відбуватися декількома шляхами одночасно. Таке розповсюдження має назву багатопроміневість. Як наслідок багатопроміневості та зміни параметрів середовища, виникають завмирання (англ. fading) — зміна рівня отримуючого сигналу у часі. При багатопроміневості зміна рівня сигналу відбувається внаслідок інтерференції, тобто у точці прийому електромагнітне поле є сумою зміщених у часі радіохвиль одного й того ж сигналу[7].

### **1.3. Антени та їх основні характеристики**

**Антени** (Від лат. Слова antenna – щогла, рея) У передавачах служать для перетворення радіочастотних електричних коливань в енергію електромагнітного поля (радіохвиль), в приймачах – для перетворення енергії радіохвиль в струми радіочастоти. Будь-яку антену можна використовувати як для передачі, так і для прийому, причому її характеристики (діапазон частот, спрямовані властивості тощо) зберігаються. Цим значною мірою пояснюється той факт, що призначення антени (приймальня або передає) її умовне позначення зазвичай не відображає. Саме розташування символу антени на схемі однозначно визначає її функцію (нагадаємо, що розвиток схеми, як правило, відбувається зліва направо).

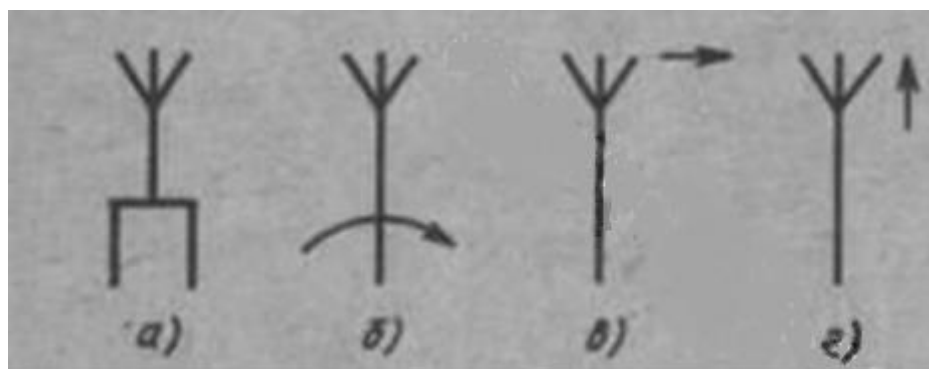


Рис.1. Види антен

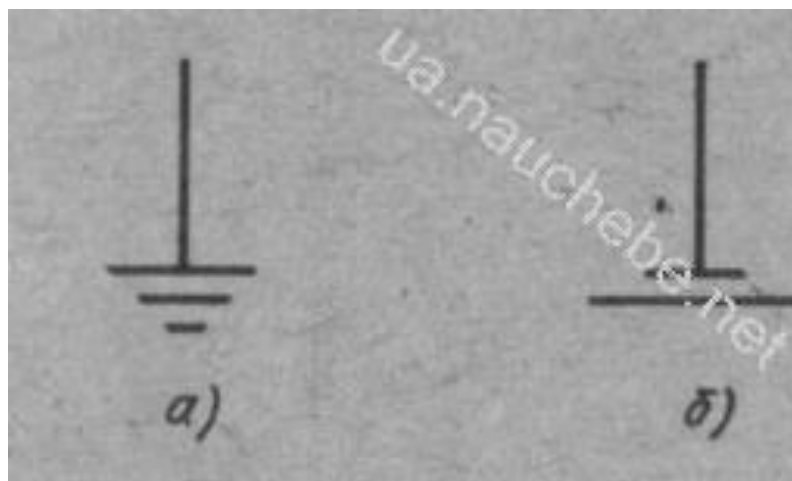


Рис.2. Види антен

Загальне позначення антени (див. рис. 2) застосовують у тих випадках, коли потрібно показати несиметричну антену, тобто антену, що з'єднуються з передавачем або приймачем одним проводом (другим проводом служить земля). Такі антени використовують в діапазонах довгих, середніх і коротких волі. У ультракороткохвильовому діапазоні, а також у короткохвильовому застосовують симетричні антени, тобто антени з двопровідним виходом (або входом). Загальне позначення симетричної антени відрізняється від зазначених наявністю двох висновків (рис. 1, а) [8].

Призначення та особливості антени в узагальненому вигляді показують знаками напрямку поширення потоку електромагнітної енергії. Символи приймальні, передавальної і приймально-передавальної антени, побудовані із застосуванням цих знаків.



Стандарт ЕСКД передбачає спеціальні знаки для вказівки таких особливостей антен, як ширина і характер руху (обертання, хитання) головного пелюстка діаграми спрямованості, тип поляризації, спрямованість по азимуту і висоті і т. д. В якості прикладів використання таких знаків на рис. 1 показані умовні позначення антени, що обертається (б) і антен з горизонтальною (в) і вертикальною (Г) поляризацією.

Для підвищення ефективності несиметричних передавальних і прийомних антен використовують заземлення (у найпростішому випадку – це металевий лист або труба, зариті на глибину ґрунтових вод). На схемах заземлення зображують трьома короткими штрихами, вписаними в прямий кут (рис. 2, а). Іноді замість заземлення застосовують противагу – велике число проводів, натягнутих над поверхнею землі на невеликій висоті. Такий пристрій позначають двома паралельними лініями різної довжини, більша з яких символізує землю (рис. 3).

Розглянуті умовні позначення побудовані функціональним методом. Іншими словами, за їх основу взято загальний символ антени, а характеристики виражені допоміжними знаками. У радіотехніці такі позначення застосовують в основному в структурних та функціональних схемах, тобто на перших етапах розробки приладу, коли характеристики антени визначені, а конкретний тип її ще не вибрано[8].

У принципових схемах частіше використовують умовні графічні позначення, що нагадують гранично спрощені малюнки конкретних різновидів антен. Так, найпростішу антену – несиметричний вібратор (Вертикальний провід, штир) зображують відрізком вертикальної потовщеною лінії (рис. 3). Подібні антени застосовують в діапазонах довгих, середніх, коротких і ультракоротких хвиль. Однак для хорошої роботи такої антени її довжина повинна бути рівна приблизно чверті довжини робочої хвилі. У діапазонах коротких і ультракоротких хвиль, довжина яких не перевищує десятків метрів, це вимога виконати легко, а от на середніх і тим більше на довгих хвилях – набагато важче, оскільки чверть довжини хвилі в цих діапазонах досягає сотень

метрів. Щоб не будувати дорогі висотні споруди, до верхнього кінця вертикального дроту (вібратора) приєднують один або кілька горизонтальних проводів, дія яких полягає в уявній подовженні вібратора. На схемах Г-подібну і Т-подібну антени позначають символами, наочно передають їх характерні особливості.

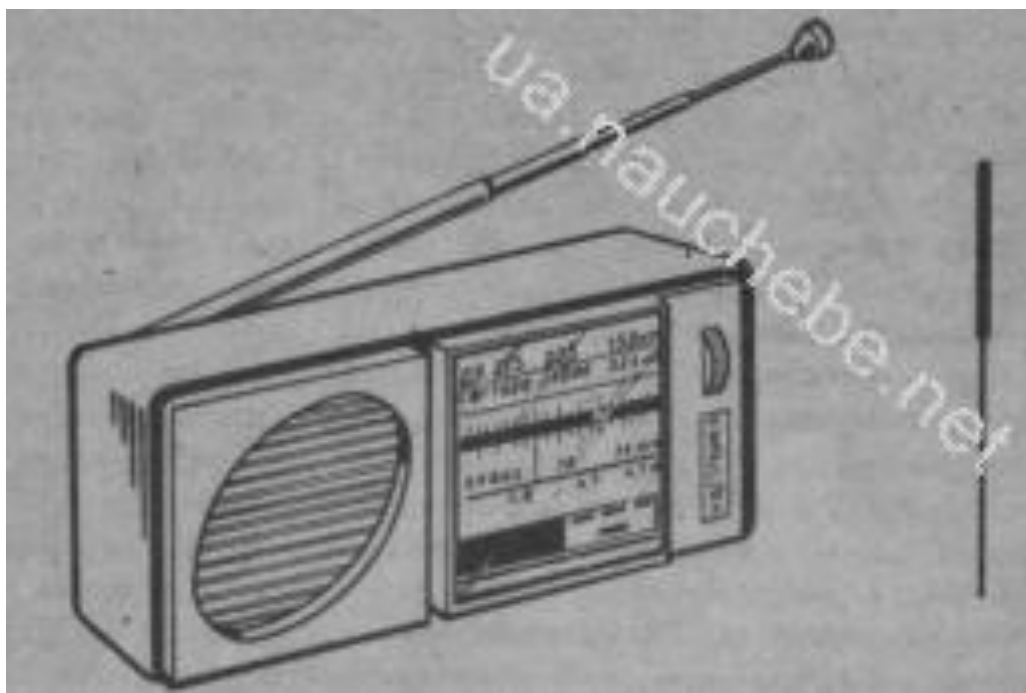


Рис. 3. Несиметричний вібратор

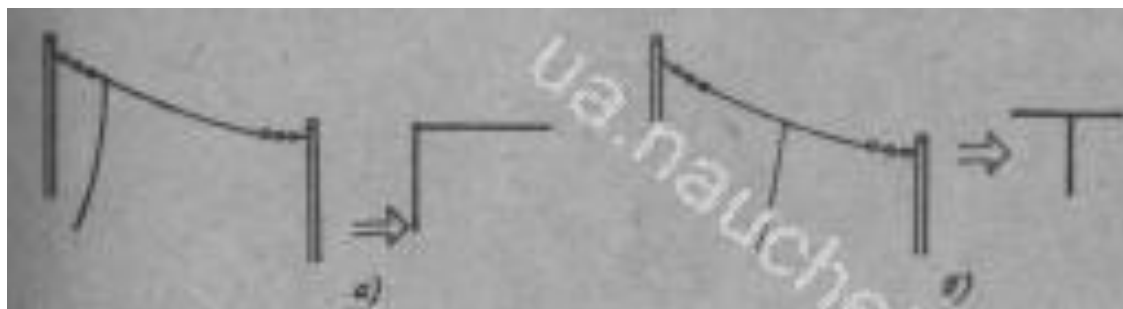


Рис. 4. Г-подібна і Т-подібна антени

**Симетричний вібратор** (Його умовне графічне позначення показано на рис. 158) має явно вираженими спрямованими властивостями. Краще за все він приймає або випромінює в площині, перпендикулярної його осі. А найперше – у площинах, що проходять через неї. Тому таку антену (наприклад, для прийому телебачення) розташовують таким чином, щоб її горизонтальні частини (плечі) були перпендикулярні напрямку на телецентр[8].

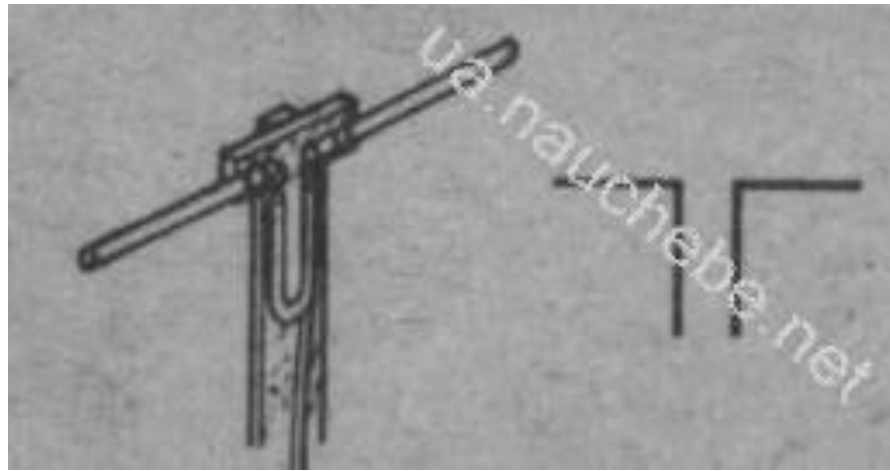


Рис. 5. Симетричний вібратор

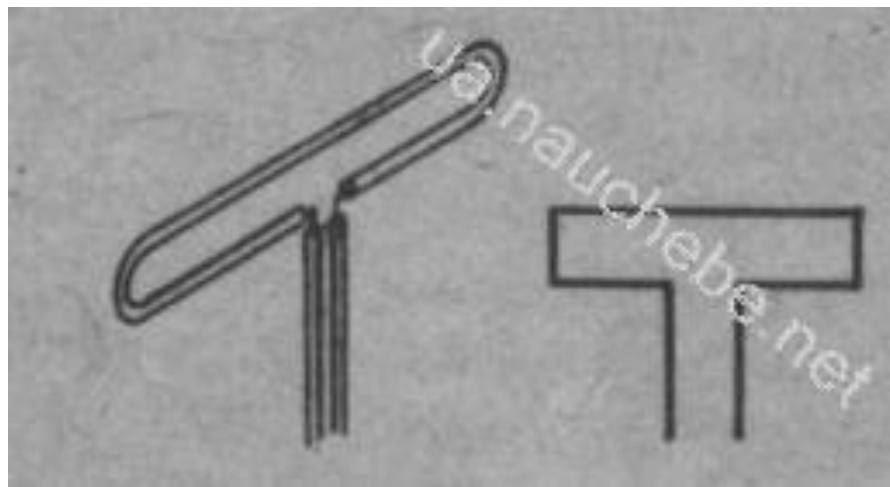


Рис. 5. Петлевий вібратор

На практиці часто потрібно, щоб антена могла випромінювати або приймати радіохвилі в досить широкій смузі частот. Досягають цього існують користуванням як плечей вібратора декількох паралельних провідів, нірок, з'єднаних кінцями. Антени такої конструкції, відомі під назвою диполя Надененко, знайшли широке застосування в короткохвильовій зв'язку. З тією ж метою (розширення діапазону частот) телевізійні антени часто виготовляють з відрізків товстих трубок або застосовують складні вібратори, наприклад петльові.

**Петлевий вібратор** являє собою два півхвильових вібратора, з'єднаних кінцями. Ця особливість конструкції петлевого вібратора знайшла відображення і в його умовному позначенні (рис. 5).

Важливою умовою хорошої роботи антени є **узгодження її вхідного опору з хвильовим опором фідера**, Так як тільки в цьому випадку вона може випромінювати або приймати найбільшу потужність. Для узгодження антен з фідером використовують спеціальні пристрої у вигляді відрізків двопровідних ліній або застосовують так зване шунтові харчування вібраторів.

**Симетричний вібратор шунтового харчування** являє собою суцільний провідник довжиною, також дорівнює половині довжини волі. Фідер підключають до нього в двох точках, розташованих симетрично щодо його середини. Змінюючи місця підключення фідера до вібратора, можна домогтися рівності вхідного опору антени хвильовому опору фідера, тобто узгодження. Точно так же погоджують з фідером і петльові вібратори шунтового харчування[9].

Належність до антенних пристроїв показують загальним символом, поміщаючи його над серединою умовного позначення муздратрау. Обмотки магнітної антени зазвичай використовують як котушок вхідних коливальних контурів, тому позначають їх кодом котушок – латинською літерою L, а можливість підстроювання їх індуктивності (переміщенням по магнітопровода) показують вже знайомим знаком підлаштування регулювання.

## РОЗДІЛ II. РАМКОВІ АНТЕНИ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ

### 2.1. Принцип дії рамкової антени

Рамкові антени представляють собою один плоский виток дроту (одновиткова рамка) або декілька таких витків (багатовиткова рамка). Тобто, їх основним елементом є рамка довільної форми.

Форма витків буває круглою, прямокутною, трикутною, ромбічною і т.п. (рисунок 2.1 а-г). На рисунку 2.1 д представлена багатовиткова рамка із витків круглої форми:

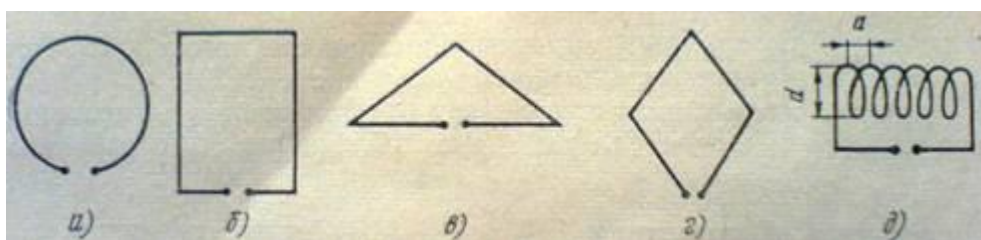


Рис. 2.1. – Форми витків рамок (а-г) і багатовиткова рамка (д)

Рамкові антени розраховані на приймання вертикально (малі рамки) і горизонтально (резонансні рамки) поляризованої хвилі. Для першого випадку рамкові антени мають діаграму спрямованості в горизонтальній площині (перпендикулярній рамці) у вигляді вісімки ( $F(\Theta) = \sin \Theta$ ) (рисунок 2.2) (для якої важливою особливістю буде наявність напрямку нульового прийому) і вигляд кола в площині, що містить рамку. Тобто ДС рамки - торойд.

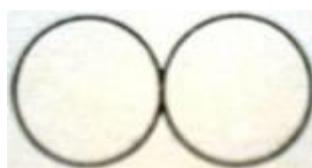


Рисунок 2.2. – ДС рамки в горизонтальній площині

Рамки розташовуються так, щоб площина витків була перпендикулярною до поверхні землі.

Напрямок максимуму спрямованості лежить у площині рамки, мінімум випромінювання – вздовж перпендикуляра до центра рамки.

Використовується антена, як правило, при умові обертання її діаграми спрямованості. У випадку приймання радіозв'язку і радіомовлення обертання

діаграми спрямованості дозволяє встановити її так, щоб напрямок нульового приймання співпав з напрямком найбільш сильної перешкоди. Тим самим добиваються підвищення відношення рівня сигналу до рівня перешкод. У випадку радіопеленгації обертання діаграми спрямованості дозволяє після зникнення сигналу визначити напрямок, з якого приходить хвиля.

Рамкові антени знаходять застосування у всіх діапазонах радіохвиль від наддовгих (НДХ) до ультракоротких (УКХ) для приймання радіозв'язку і радіомовлення, як антени радіопеленгаторів радіомаяків, при вимірюванні напруженості поля за допомогою радіокомпараторів і селективних мікровольтметрів[9].

Внаслідок малих розмірів рамкові антени мають невеликий опір випромінювання, що безпосередньо впливає на зниження ККД, особливо при збільшенні кількості витків. Тому вони застосовуються в якості приймальних антен.

До рамкових антен відносять:

- малі рамкові антени (периметр рамки значно менший довжини хвилі);
- діапазонні рамкові антени (периметр рамки приблизно рівний довжині хвилі).

Геометричні розміри малих рамкових антен значно менші довжини хвилі ( $S \ll \lambda^2$ ). Розміри рамки можуть бути від декількох сантиметрів до десятків метрів залежно від її призначення. Малі рамки застосовуються в якості приймальних антен у діапазонах НДХ, ДХ, СХ і КХ. Такі антени ще називаються рамками малої електричної довжини або малими рамками.

У діапазонних (резонансних) рамкових антен геометричні розміри приблизно дорівнюють довжині хвилі. Довжина кожної сторони приблизно дорівнює чверті довжини хвилі.

Хвильові рамки застосовуються у діапазоні УКХ як приймально-передавальні антени тому, що опір випромінювання резонансних рамкових

антен більший, ніж у малої рамкової антени. Для збільшення спрямованості використовують декілька рамкових антен, що встановлюються одна за одною вздовж спільної осі.

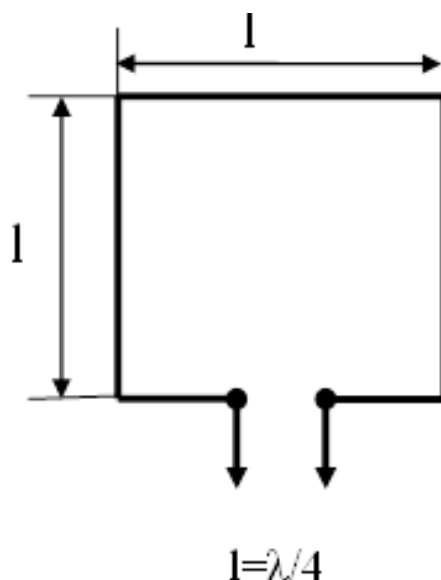


Рисунок 2.3. – Конструкція хвильової рамкової антени

Діапазонні рамкові антени використовуються у діапазоні УКХ. Такі рамки ще називаються хвильовими або резонансними. Для покращення властивостей рамкових антен використовуються рамки з магнітним осердям, екрановані рамки і системи з двох рознесених рамок.

Рамки з магнітним осердям називають магнітними антенами. Мають у порівнянні з рамками без осердя важливу перевагу: завдяки властивості осердя концентрувати магнітний потік діюча довжина рамки зростає в  $\mu_0$  разів ( $\mu_0$  – магнітна проникність осердя). Вона залежить від форми осердя і відносної магнітної проникності матеріалу  $\mu$ [9]. Для виготовлення осердь широко застосовуються ферити, що мають малі втрати і велику величину  $\mu$ . Це дозволяє отримати прийнятні значення діючої довжини за допомогою малогабаритних рамкових антен. На рисунку 2.4. зображена рамка з магнітним осердям, що вбудовується в радіомовний приймач.

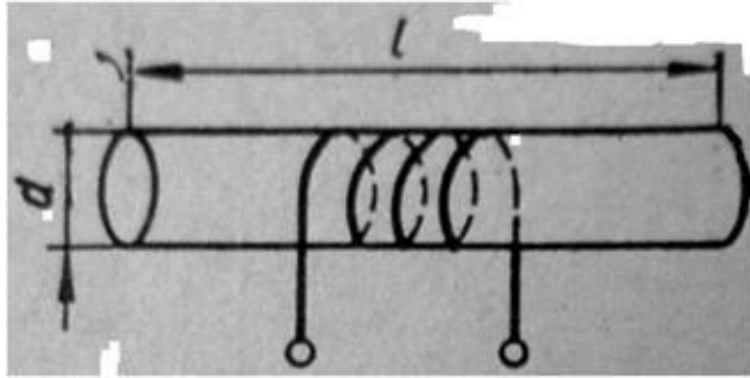


Рис. 2.4. – Рамка з магнітним осердям, яка вбудовується в радіомовний приймач

Екрановані рамки у порівнянні з неекранованими мають перевагу: у них усунуто антенний ефект (вплив синфазних струмів). В таких рамках виникають тільки протифазні струми. На рисунку 2.5. зображена екранована рамка.

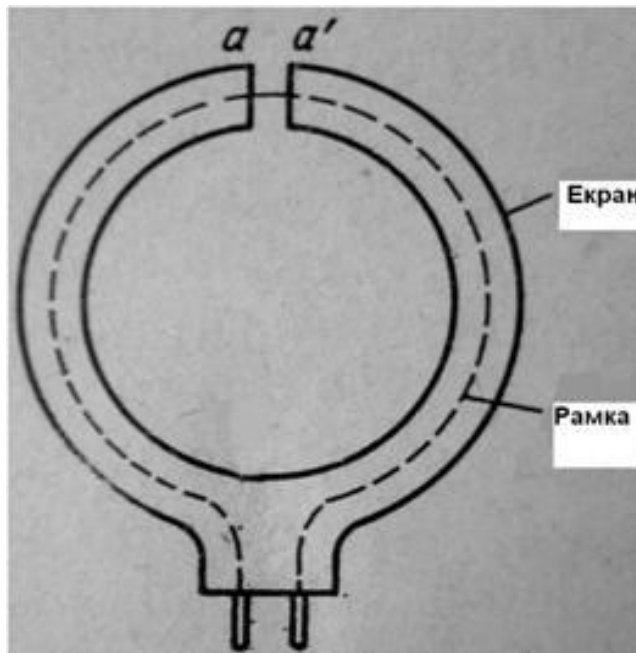


Рисунок 2.5. – Екранована рамка

Часто для боротьби з так званими поляризаційними помилками використовуються системи з двох рознесених рамок із спільною віссю (рисунок 2.6. а) або компланарні (рисунок 2.6. б).



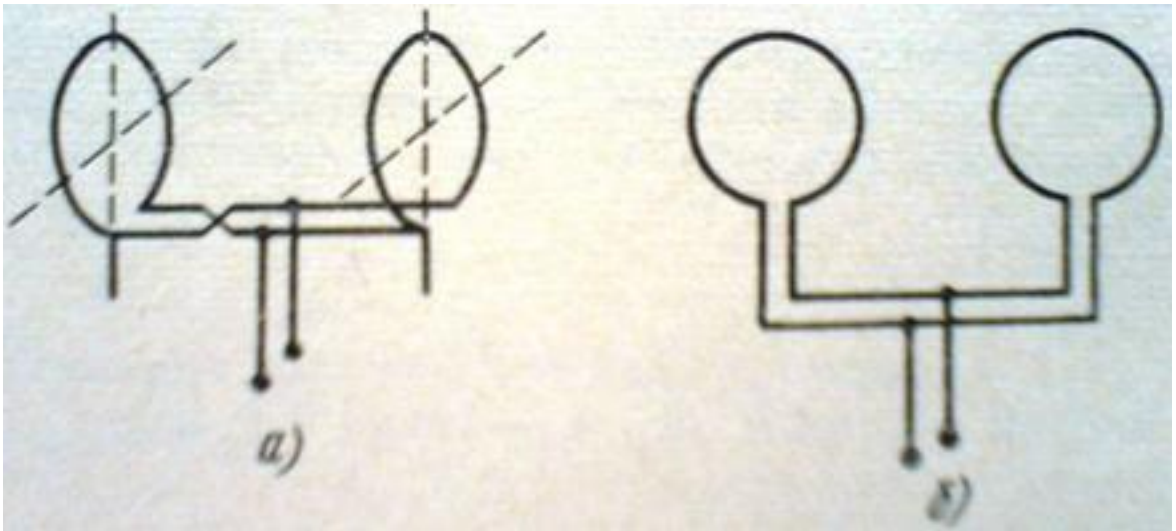


Рисунок 2.6. – Системи з двох рознесених рамок

До основних параметрів рамки відносять:

1. Амплітудне значення електрорушійної сили, яка наводиться вертикально поляризованою хвилею у рамці, що має  $N$  витків :

$$\varepsilon_M = k \cdot N \cdot S \cdot E_M \cdot \sin \theta ,$$

де  $k = 2\pi/\lambda$  – хвильове число;

$N$  – кількість витків, що має рамка;

$S$  – площа рамки;

$E_M$  – амплітуда напруженості електричного поля, яке падає на рамку;

$\theta$  – кут падіння електромагнітної хвилі до площини рамки відносно нормалі.

Максимальне значення  $\varepsilon_M$  буде при  $\theta=90^\circ$

$$\varepsilon_{M_{\text{макс}}} = k \cdot N \cdot S \cdot E_M .$$

2. Вхідний опір – це відношення напруги до струму на вході антени. Реактивна складова вхідного опору має індуктивний характер, і для налагодження рамки у резонанс використовують високодобротні конденсатори.

3. Діючою довжиною деякої антени є довжина такого прямолінійного випромінювача з рівноамплітудним розподілом струму, рівним струму в деякому перерізі даної антени, який створює в напрямку максимального випромінювання таку ж напруженість поля, що й дана антена:

$$\ell_{\text{д}} = \frac{\varepsilon_{\text{Ммакс}}}{E_{\text{М}}} = \frac{\kappa \text{NS} \cdot E_{\text{М}}}{E_{\text{М}}} = \kappa \text{NS}$$

4. Опір випромінювання :

$$R_{\Sigma} = 80\pi^2 \left( \frac{\ell_{\text{д}}}{\lambda} \right)^2 = 20 \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \ell_{\text{д}}^2,$$

тобто

$$R_{\Sigma} = 20\kappa^2 \ell_{\text{д}}^2,$$

$$R_{\Sigma} = 320 \cdot \pi^4 \cdot \left( \frac{\text{NS}}{\lambda^2} \right)^2$$

Мала рамкова антена має  $S/\lambda^2 \ll 1$ , а хвильова  $S/\lambda^2 \sim 1$ , тому її опір випромінювання  $R_{\Sigma}$  дуже малий, і її можна використовувати на довгих та середніх хвилях, як приймальні антени.

Хвильові рамки застосовуються у діапазоні УКХ як приймально-передавальні антени тому, що опір випромінювання резонансних рамкових антен більший, ніж у малої рамкової антени.

$$R_{\Sigma} \sim S^2 / \lambda^4$$

5. Коефіцієнтом спрямованої дії називається величина, яка показує, в скільки разів потужність випромінювання ізотропної антени повинна бути більше потужності випромінювання антени, що розглядається, щоб в напрямку спостереження поля від обох антен були однакові [6]:

$$KCD = \frac{4\pi S_{\text{сф}}}{\lambda^2}$$

KCD характеризує здатність антени концентрувати енергію в заданому напрямку. KCD рамкової антени становить приблизно  $\pi/2$ .

6. Ефективна площа антени – площа, від якої приймальна антена приймає енергію падаючої хвилі :

$$S_{\text{эф}} \approx 0,5\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2.$$

## 2.2. Основні види та особливості КХ антени різних діапазонів, довжин, хвиль

Симетричний вібратор є найбільш простим типом антенно-фідерних пристроїв, і являє собою прямолінійний провідник, у якого в симетричних (щодо середини) точках струми рівні за величиною і мають однаковий напрям в просторі. На рис. 2.1. показаний приклад розподілу струму, характерного для симетричного вібратора. Тут в симетричних точках  $Z$  і  $-Z$  виконується умова  $I_z = I_{-z}$ . Стрілки на малюнку показують, що струми в зазначених симетричних точках мають однаковий напрямок. Природно, що цей напрямок показано для деякого моменту часу.

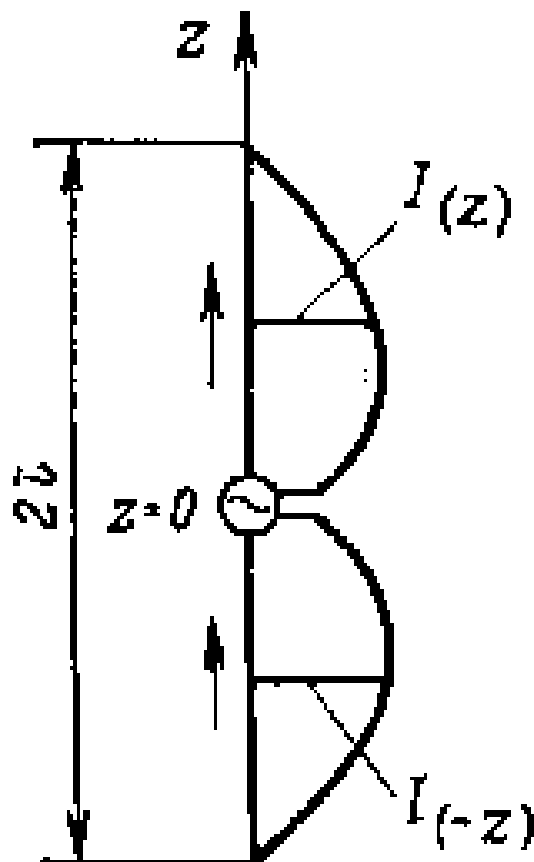


Рис. 2.1 Симетричний вібратор

На рис. 2.2. показані діаграми спрямованості симетричних вібраторів з різним співвідношенням  $L/\lambda$ . Зазначені фігури представляють собою діаграми спрямованості в площині, що проходить через вісь вібратора. Просторові діаграми спрямованості є поверхні тіл обертання, утворених при обертанні кожній кривій навколо осі вібратора.

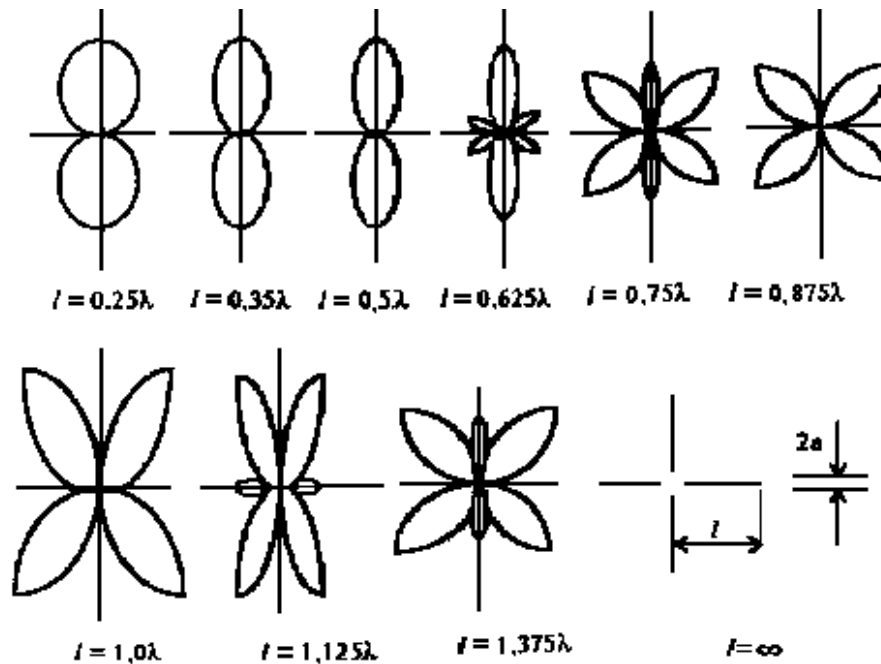


Рис 2.2. Діаграми спрямованості симетричних вібраторів

Розгляд рис. 2.2. показує, що поки повна довжина вібратора ( $2L$ ) не перевищує довжини хвилі (або точніше  $1,25\lambda$ ), максимум діаграми випромінювання виходить в напрямках, перпендикулярних осі вібратора. При  $2L \leq \lambda$  в діаграмах відсутні бічні пелюстки. Коли  $L$  стає більшим, ніж  $\lambda$ , в діаграмі з'являються бічні пелюстки, а вже при  $2L = 3/2\lambda$  напрямки максимуму діаграми випромінювання виходять не в напрямках, перпендикулярних до осі вібратора, а під кутом до неї, приблизно рівним  $40^\circ$ . При значному збільшенні відносини  $l/\lambda$  максимум діаграми притискається до осі проводу. Випромінювання уздовж осі вібраторів відсутній при будь-яких дінах. На практиці часто використовуються антени, що складаються з великого числа ідентичних вібраторів - многовібраторные антени. Многовібраторная антена являє собою так звану ґрати випромінювачів. Ґрати ж з вібраторів

(багатоповерхова синфазна антена і антена хвильовий канал) є досить простими.

Антенa типу хвильовий канал представляє собою систему вібраторів, що мають довжину, близьку до половини довжини хвилі, і розташованих перпендикулярно прямій лінії, вздовж якої відбувається випромінювання. Активним в антені є тільки один вібратор, а решта вібратори - пасивні (рис.2.3.).

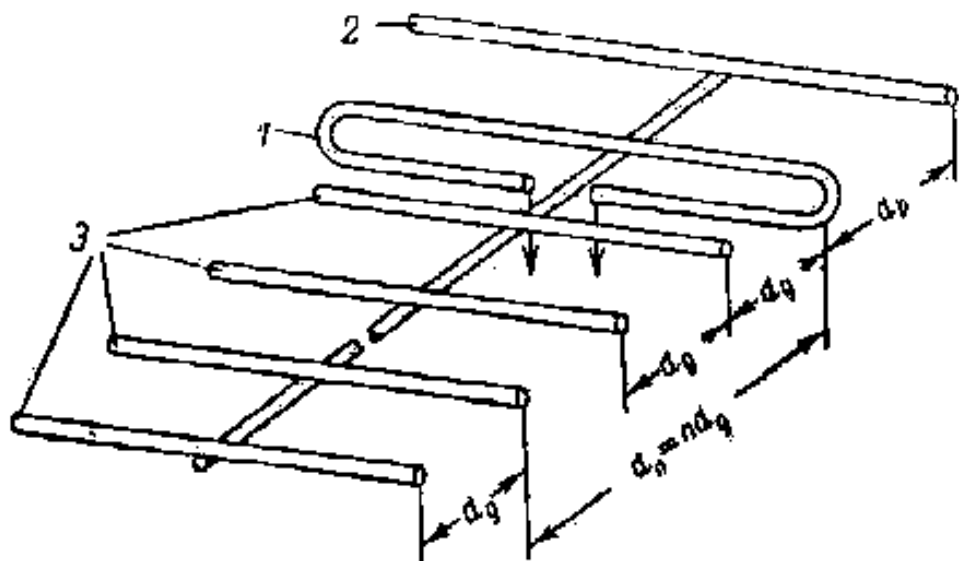


Рис 2.3. Антенa типу хвильовий канал

Перший вібратор пасивний називається рефлектором, за ним розташовується активний вібратор, а потім знову пасивні вібратори - директори. Антенa хвильовий канал випромінює в напрямку директорів і має діаграму спрямованості близьку до голчатою. Число директорів можна визначити по заданому КНД антенi, використовуючи наближене співвідношення:  $D = 5N$ , де  $N$  - число директорів[8]. Методи розрахунку хвильового каналу дозволяють отримати лише орієнтовні результати, які потім уточнюються експериментально.

Якщо вібратор розташований на відстані  $N$  від ідеально провідній площині, то відповідно до принципу дзеркальних зображень він еквівалентний двом вібраторів, розташованим на відстані  $2N$ , причому другим вібратором є

дзеркальне зображення першого. Якщо вібратор паралельний площині, над якою він розташований, то його зображення протифазно, якщо ж перпендикулярний - синфазно. Вказана обставина дозволяє використовувати тільки одне плече симетричного вібратора, встановлюючи його безпосередньо у ідеально провідній площині перпендикулярно до неї. Виконана таким чином вібраторні антена називається несиметричним вібратором, причому її параметри можна легко визначити. Однак тому випадку, коли площину, над якою розташований вібратор, має кінцеву провідність, розрахунок параметрів антени досить складний.

Для поліпшення к.к.д. несиметричних вібраторів і зменшення впливу властивостей землі на його параметри роблять заземлення антени або противагу. Заземлення антени являє собою систему провідників, яку закопують на деяку, зазвичай не дуже велику, глибину в землю. Противагу ж є системою провідників, розташованих на деякій висоті над землею. Розміри площі, яка охоплюється заземленням антени, повинні бути досить великими (більше довжини хвилі), а відстань між провідниками слід брати невеликим (менше чверті довжини хвилі).

Одним з ефективних шляхів реалізації антени вертикальної поляризації з високою спрямованістю полягає в тому, щоб формувати лінійну антенну решітку, в якій комбінується кілька синфазних колінеарних випромінюючих елементів. Налаштування антен колінеарну типу потребує точного розрахунку. На рис.2.5. зображені типові конструкції колінеарних антен з графічним поясненням принципів їх роботи. В антені на рис.2.4.а між полухвильовими випромінюючими елементами для забезпечення синфазного живлення включені котушки індуктивності. Цей тип антени називається навантаженою антеною і часто використовується як автомобільна антена.

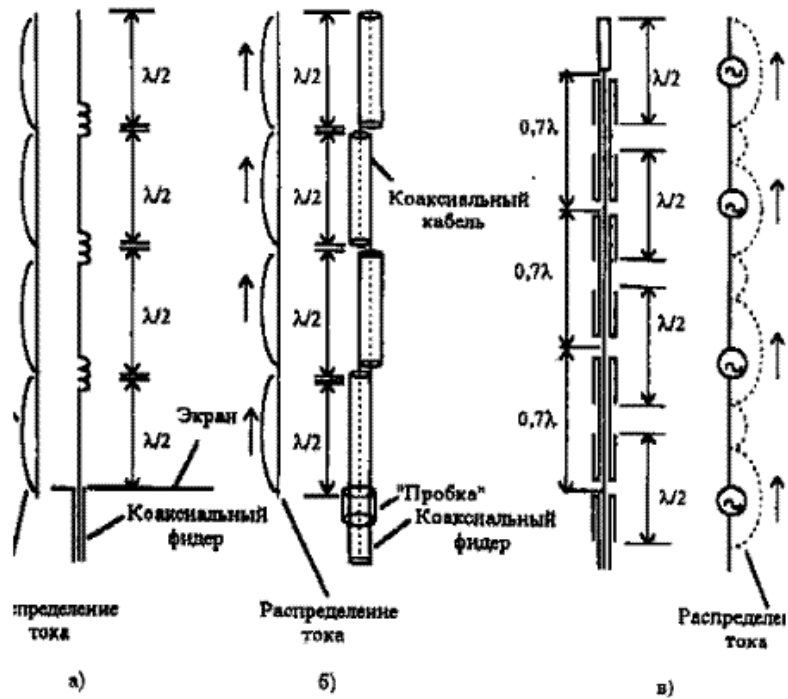


Рис. 2.4. Колінеарна антена

Антенні, показані на рис.2.4.б, в зазвичай відомі як коаксіальні Колінеарні антени. Цей вид антен використовуються як антени для автомобіля, так і антени базових станцій. Синхофазність живлення цих антен залежить від довжини випромінюючих елементів і відстані між ними, тому ці антени вузькосмугові. Колінеарні антени мають відносно велику посилення. Будуються вони таким чином, щоб, незважаючи на велику довжину антен, виключити ділянки її з струмами протилежного напрямку. На рис.2.5. показані варіанти реалізації антени Марконі-Франкліна.

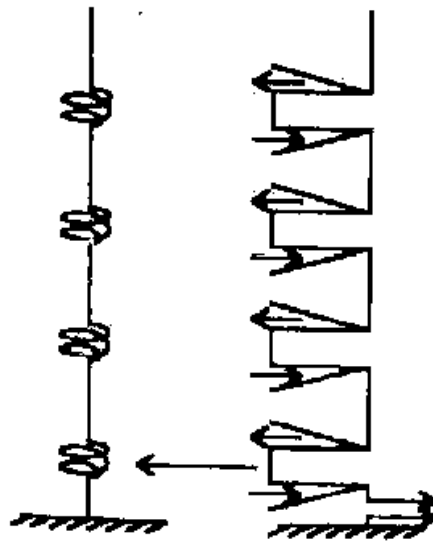


Рис. 2.5. Антени Марконі-Франкліна

Котушки на рис.2.4. а) і ділянки ліній на рис.2.4.б) мають електричну довжину півхвилі; в цих котушках і ділянках струми мають протилежний зміст, але вони не випромінюють. На інших випромінюючих ділянках антени струми синфазних. Рис.2.6. пояснює конструкцію і принцип роботи антени з відрізків коаксіальної лінії з перехрещуванням (рис.2.5.) [8].

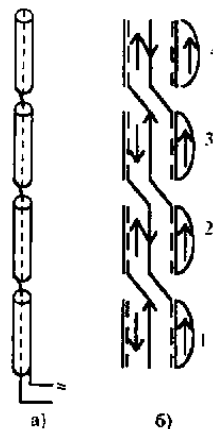


Рис 2.5.

Зовнішні та внутрішні провідники напів хвильових відрізків з'єднані перехресно. Внутрішній провідник і внутрішня поверхня труби служать лінією живлення, до якої в точках "а" і "б" підключаються випромінюють вібратори у вигляді зовнішніх поверхонь труби 1 і 2 або 3 і 4. У підстави ця антена повинна живитися симетрично, інакше половина вібраторів отримає потенціал землі, і



не буде випромінювати. На рис.2.6. показаний варіант такого виду антени, що відрізняється більшою технологічністю у виробництві.

Всі сучасні Колінеарні антени, як правило, заключаються в діелектричний (зазвичай скло пластиковий) корпус, що захищає від кліматичних впливів є опорною конструкцією.

У антен, які розглянуті вище Колінеарні антени, струм, у міру наближення до іншого кінця антени, спадає через загасання, обумовленого випромінюванням, особливо у антен з відносно великими поперечними перетинами. Це призводить до розширення основної пелюстки, зменшення бічних пелюсток і КНД. Ці антени вузькосмугові, оскільки правильна «фазировка» їх елементів визначається співвідношенням довжини хвилі і розмірів частин антени. Застосування таких антен в якості стаціонарних для базових станцій на відміну від антенних решіток має ряд переваг. Такі антени легко монтуються на увазі невеликих масо габаритних характеристик, мають досить високий коефіцієнт посилення і рівномірну кругову діаграму напрямленості. В якості антени рухомого кошти можуть також застосовуватися Колінеарні антени особливо для високочастотних діапазонів 800 ... 900 МГц.



Рис. 2.7. Антена Марконі-Франкліна

Антенa, показана на рис.2.7., Являє собою антену Марконі-Франкліна з малим числом секцій і однієї фази котушкою. Котушка використовується і в

частині механічних властивостей - додає антени гнучкість, бажану для антен рухомих засобів[9].

### 2.3. Магнітні антени

Тільки самі прості аматорські приймачі прямого підсилення не мають магнітних антен. Сучасний портативний або стаціонарний транзисторний приймач може мати гніздо або затискач для підключення зовнішньої антени, яка збільшує його «далекобійність», проте основною все ж є вбудована в його корпус магнітна антена.

Магнітні антени невеликі за розмірами, у них добре виражені спрямовані властивості. Крім того, вони малочутливі до електричних перешкод, що відчутно для міст і районів з розвиненим промисловим виробництвом, де рівень таких перешкод особливо високий[10].



Рис. 1. Магнітна антена

Учнів знайомлять з пристроєм і умовним графічним позначенням магнітної антени на схемах. Основні елементи магнітної антени (рис. 1): котушка індуктивності 1 (L), намотана на каркасі 2, і сердечник 3 з високочастотного феромагнітного матеріалу, що володіє великою магнітною проникністю. Своєю назвою антена отримала тому, що реагує на магнітну складову радіохвиль.

Найпростішим магнітної антеною є так звана рамкова антена – котушка індуктивності, що складається з одного або декількох витків дроту і має форму рамки (рис. 2). Рамкові антени широко застосовують у приймальниках-пеленгатора, використовуваних в радіоспорту для «полювання на лиса».

Магнітне поле радіохвилі пронизує площину такої антени і індукує в ній електричні коливання радіочастоти, які в приймачі можуть бути посилені, продетектированого, а потім перетворені в звук.

Величина ЕРС, наведеної в рамковій антені магнітним полем, залежить від її положення в просторі і максимальна, коли площина витків спрямована в бік радіостанції. Якщо рамку повертати навколо вертикальної осі, то за один повний оберт амплітуда наведеної в ній ЕРС двічі буде досягати найбільшого значення і двічі убувати майже до нуля. На рис. 67 це властивість магнітної антени зображено діаграмою спрямованості, що має форму «Вісімки».

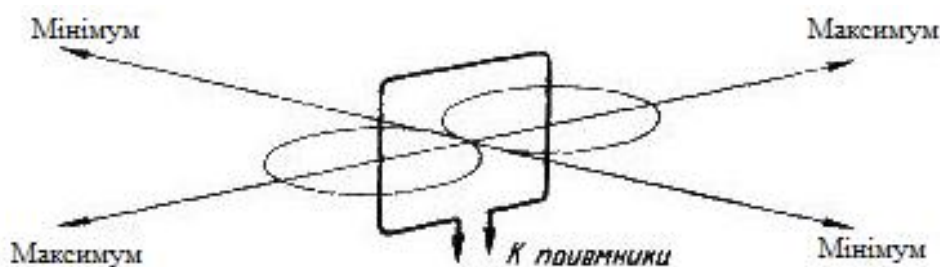


Рис. 2. Спрямовані властивості магнітної антени

При введенні всередину рамкової антени феромагнітного сердечника, наприклад феритового, ЕРС, що виникає в ній під дією магнітного поля, різко збільшується. Пояснюється це тим, що сердечник концентрує силові лінії поля, завдяки чому рамка пронизується магнітним потоком більшої щільності, ніж до введення в неї сердечника[10]. Величину, яка показує, у скільки разів магнітне поле в сердечнику перевищує значення зовнішнього поля, називають магнітною проникністю сердечника. Чим вона більше, тим краще прийомні властивості магнітної антени. Чисельне значення цієї найважливішої характеристики феритів, використовуваних для магнітних антен, входить в умовні позначення їх марок, наприклад 600НН, 400НН.

Якість котушки індуктивності прийнято оцінювати її добротністю – числом, що показує, у скільки разів індуктивний опір котушки змінному струму більше опору її постійному струму. Опір ж котушки змінному струму залежить від її індуктивності та частоти протікає через неї струму: чим більше індуктивність

катушки і робоча частота струму, тим більше її опір змінному току. Отже, якщо частота струму і індуктивність катушки відомі, то її добротність можна підвищувати шляхом зменшення її опору постійному струму, наприклад намотувати катушку так, щоб необхідна індуктивність була при меншій довжині дроту, збільшувати діаметр самої катушки і дроти. Проте найбільший ефект дає введення в катушку феромагнітного сердечника, так як він у декілька разів збільшує індуктивність діжечки, що дозволяє зменшувати число витків, а отже, і опір постійному струму.

Але на добротність катушки магнітної антени значно більший вплив надають втрати в сердечнику, ніж у її проведенні. Тому при виборі марки феритового стрижня для магнітної антени завжди враховують, що зі збільшенням частоти-струму в котушці втрати в феритах різних марок неоднакові. Так, у фериті марки 2000НН втрати збільшуються вже на частотах 100 ... 150 кГц, а в фериті марки 1000НН – на частотах в декілька мегагерц. Практично вважається, що для магнітних антен діапазонів ДВ і СВ найбільш доцільно застосовувати ферити з магнітною проникністю 400 ... 1000, а для діапазону КВ – 50..150.

Зі збільшенням довжини феритового стрижня ефективність магнітної антени підвищується. Практично ж вона зазвичай обмежується габаритами корпусу приймача. Що стосується форми поперечного перерізу стрижня, то вона значно менше впливає на приймальні властивості магнітної антени. Її зазвичай вибирають виходячи з чисто конструктивних міркувань. У малогабаритних приймачах, наприклад, з метою найбільш раціонального використання обсягу корпусів часто застосовують плоскі стрижні прямокутного перерізу, властивості яких рівнозначні властивостям круглих стрижнів з такою ж площею перерізу.

У транзисторних приймачах застосовують головним чином настроюються магнітні антени, тобто антени, катушки яких є складовими елементами вхідних коливальних контурів. Індуктивність катушки магнітної антени максимальна, коли вона знаходиться на середині феритового стрижня, та зменшується

(приблизно на 20%) у міру переміщення до одного з кінців стрижня. Це властивість котушки використовують для підбору її індуктивності при налагодженні приймачів. Але встановлювати котушку ближче 10 мм до краю стержня не слід, інакше її добротність різко (до 30%) погіршується.

Намотувати котушку безпосередньо на феритовому стрижні не рекомендується, щоб не збільшувати її власну ємність з-за так званої діелектричної постійної феромагнітного сердечника. Спосіб намотування вибирають, виходячи з діапазону робочих частот, числа витків і діаметру використовуваного дроти, розмірів феритового стержня. Найкращими прийомними властивостями магнітна антена володіє при одношаровій намотуванні котушки з примусовим кроком. При кроці намотування 1,5 ... 2 мм марка проведення практично не впливає на добротність котушки. Але такий спосіб намотування прийнятний тільки для котушки з невеликим числом витків, наприклад для котушок діапазону КВ. На практиці частіше застосовують суцільну рядову або багат шарову намотування, хоча в цьому випадку добротність котушки магнітної антени залежить від марки дроту. Для котушок діапазону СВ найкращим вважається багатожильний високочастотний провід марки ЛЕШО 7Х0, 7 або ЛЕШО 10Х0, 05, що збільшує добротність котушки в 1,5 ... 2 рази в порівнянні з намотуванням її проводом марки ПЕВ-1 або ПЗВ-2.

Каркаси котушок діапазонів ДВ і СВ склеюють з пресшпан, кабельної або іншої щільної папери клеєм БФ-2. Товщина стінок – не більше 0,3 ... 0,5 мм. Котушка магнітної антени може складатися з двох нерівних секцій: основний і підстроєчний, намотаних на окремих каркасах. Це дозволяє змінювати індуктивність котушки переміщенням по стрижні тільки підстроєчної секції, що має менше число витків, не чіпаючи основну, що знаходиться на середині стрижня магнітної антени[11].

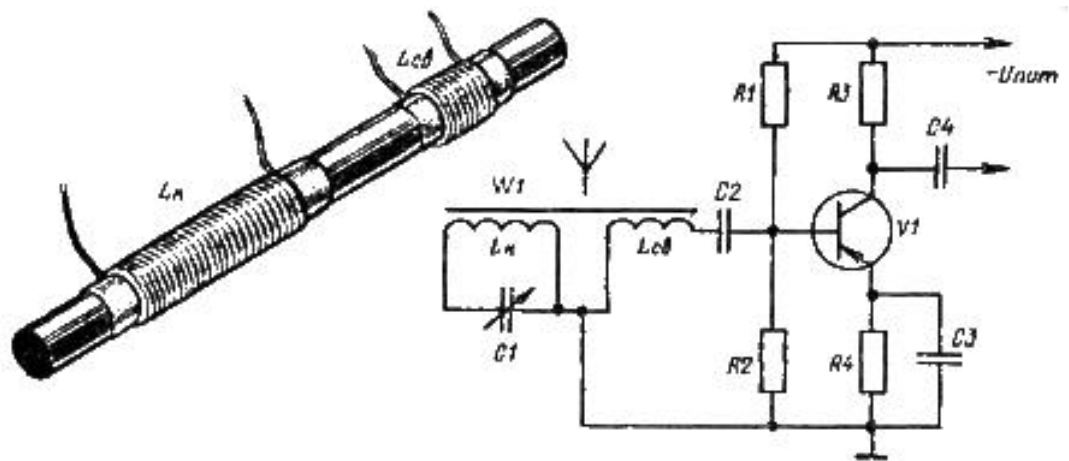


Рис. 3. Магнітна антена з котушкою зв'язку на вході підсилювача радіочастоти

Важливе питання, на якому слід акцентувати увагу гуртківців, – підключення магнітної антени до входу приймача. Настроюється коливальний контур, що складається з котушки магнітної антени і конденсатора настройки, може бути підключений повністю до входу приймача тільки в тому випадку, якщо в першому його каскаді працює польовий транзистор або електронна лампа. Це пояснюється тим, що вхідний опір каскаду на польовому транзисторі або електронній лампі становить МОм, а опір контуру на резонансній частоті – сотні кілоом, тобто в кілька разів менше. У цьому випадку вхідний опір першого каскаду практично не шунтують контур магнітної антени і його добротність залишається досить високою.

Інакше йде справа, коли в першому підсилювальному каскаді приймача використовується біполярний транзистор, включений за схемою ОЕ. Вхідний опір його не перевищує декількох сотень Ом. Щоб запобігти погіршення параметрів контуру магнітної антени, вхід такого каскаду приймача підключають не до всього контуру, а до невеликої частини його, наприклад до відведення, зробленому від кількох витків контурної котушки. Частіше ж поруч з котушкою магнітної антени, на її феритовому стрижні, поміщають котушку зв'язку, намотану на самостійний каркас, яку і підключають до входу першого каскаду приймача (рис. 3). У цьому випадку контурна котушка LК і котушка зв'язку LСВ утворюють трансформатор, який передає енергію прийнятого

радіочастотного сигналу з контуру на вхід каскаду. Число витків котушки зв'язку може становити 5 ... 10% від числа витків контурної котушки. При такому зв'язку налаштованого контуру магнітної антени з першим каскадом приймача на біполярному транзисторі напруга, що знімається з контуру, зменшується в 10<sup>б</sup>. 20 Раз, а шунтуючи дію вхідного опору транзистора послаблюється в 100 ... 400 разів, що зберігає хороші прийомні властивості магнітної антени.

На закінчення декілька практичних рекомендацій, які слід дати гуртківцям під час практичної роботи.

Якщо для магнітної антени транзисторного приймача використовується стрижень з фериту 600НН або 400НН діаметром 8 і довжиною 120 ... 140 мм, а для налаштування малогабаритний конденсатор з максимальною ємністю 360 ... 380 пФ, котушка діапазону СВ може містити 60 ... 70 витків дроту ЛЕШО 7×0, 07, ЛЕШО 10×0, 05 або ПЕЛШО 0,1 /0, 15, намотаних в один шар, а котушка зв'язку – 5 ... 7 витків дроту ПЕЛШО 0,1 ... 0,15. Котушка діапазону ДВ може мати 200 ... 220 витків дроту ПЕЛШО 0,1, а котушка зв'язку – 10 ... 15 витків такого ж дроту.

Для зменшення власної ємності контурну котушку цього діапазону бажано намотувати на вал (без дотримання порядку укладання проводу) чотирма-п'ятьма секціями, по рівному числу витків в кожній секції. При відсутності проводів марок ЛЕШО і ПЕЛШО котушки магнітних антен і відповідні їм котушки зв'язку можна намотувати проводом ПЕВ-1 або ПЗВ-2 такого ж діаметру. У цьому випадку зростає власна ємність котушки контуру магнітної антени, що трохи зменшує перекривається їм діапазон радіохвиль[12].

Високочастотний провід, подібний проводу марки ЛЕШО, можна виготовити самостійно. Для цього беруть 7-10 відрізків дроту ПЕВ-1 або ПЗВ-2 діаметром 0,05 ... 0,1 мм і скручують їх джгутом за допомогою ручного дреля. Кінці проводів такого джгута, використовуваного для намотування котушки, очищають від ізоляції, облужують і надійно спаюють разом.

Стрижень магнітної антени може мати меншу довжину – 90 ... 100 мм. У такому випадку число витків котушки треба збільшити на 20 ... 30%. Можна вчинити так: намотати завідомо більше число витків, а при налагодженні приймача поступово видалити зайві витки, домагаючись необхідного діапазону частот, що перекривається контуром магнітної антени.

Розміщуючи магнітну антену в корпусі приймача, треба пам'ятати, що знаходяться поблизу від неї сталеві деталі погіршують добротність котушки. Так, корпус динамічної головки, розташований поруч з магнітної антеною або проти торця її стрижня, знижує добротність котушки в 8 ... 12 разів. Тому слід дотримуватися правил: ніякі сталеві деталі не розташовувати ближче 25 ... 30 мм від котушки, не застосовувати для кріплення стрижня магнітної антени металеві тримачі[13].



# РОЗДІЛ ІІІ. РОЗРАХУНОК РАМКОВИХ АНТЕН ТА ЇХ ПАРАМЕТРІВ

## 3.1. Розрахунок діаграми спрямованості

Геометричні розміри рамкової антени: 1,5x1,5 м; частота сигналу: 30 МГц.

Моделювання та розрахунок параметрів ДС проводились за допомогою програми MMANA-GAL.

На Рисунку 3.1 зображено діаграму спрямованості та параметри антени, що знаходиться у вільному просторі.

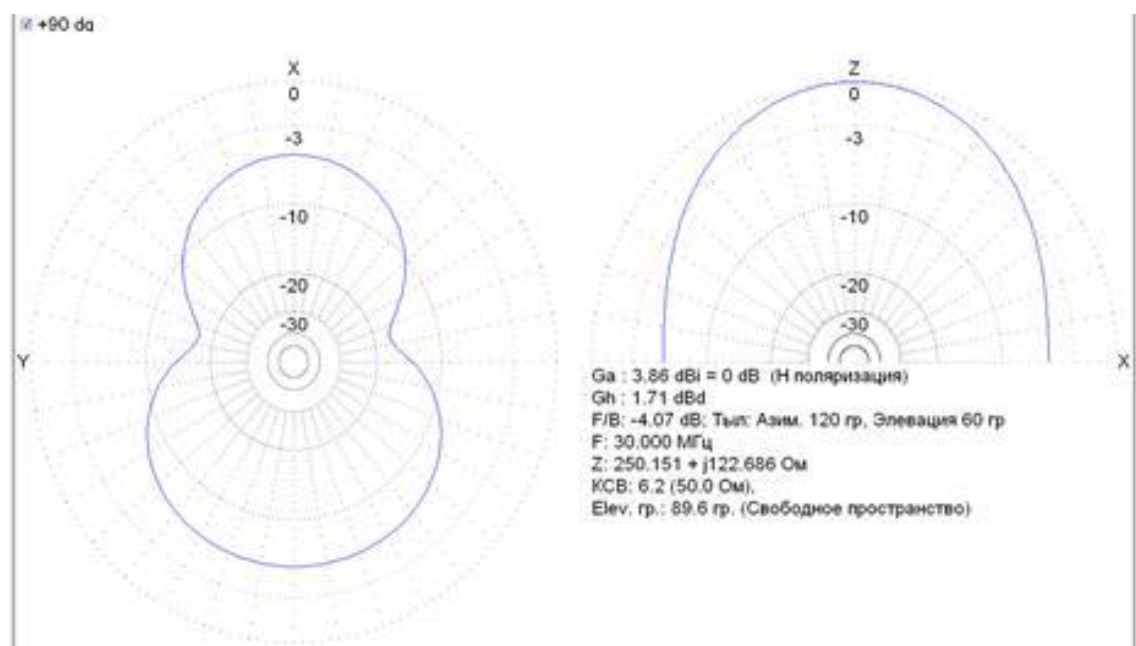


Рис. 3.1. – ДС та параметри антени (у вільному просторі)

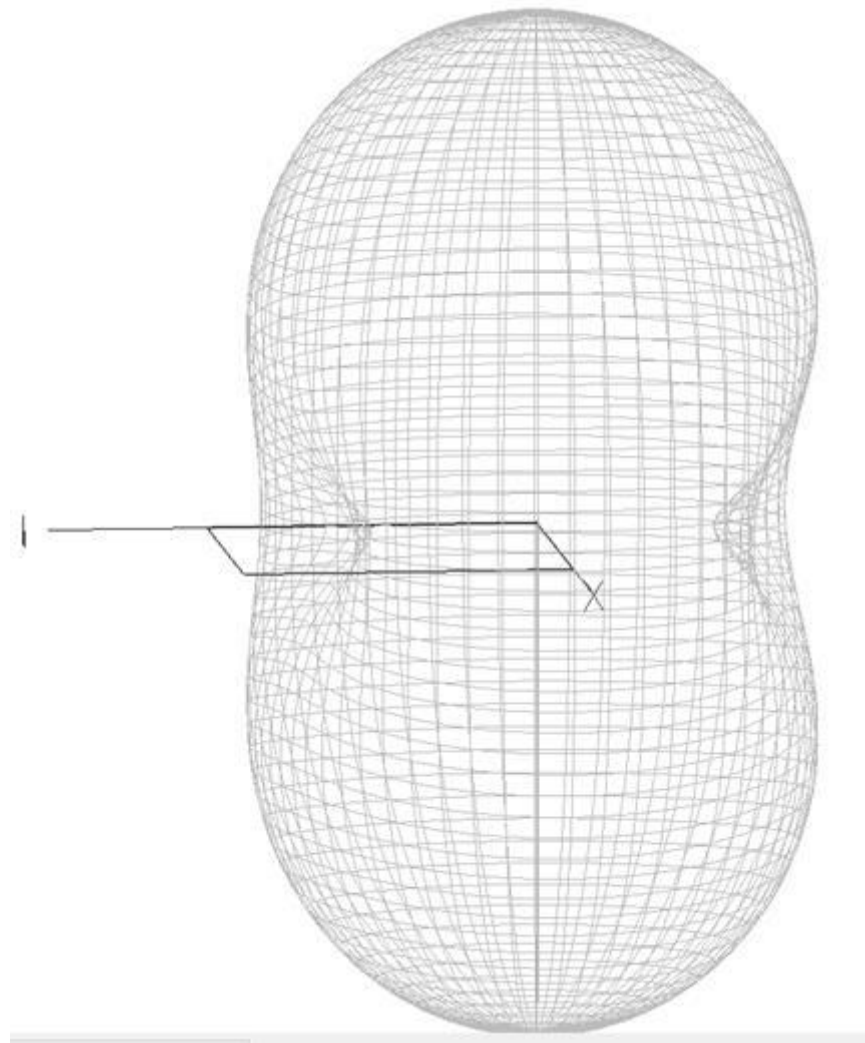


Рис. 3.2. – Тривимірна ДС антени (у вільному просторі)

При використанні антени на висоті 15 метрів від ідеальної землі її ДС і параметри змінюються. Щодо ДС, то з'являються вже 4 пелюстки. Це характеризує кращі направлені властивості антени, тобто більшу її спрямованість.

Значно зріс коефіцієнт підсилення – з 3,75 до 8,08 дБ, трохи зменшилися значення резистивного і реактивного опорів з 250,151 до 216,320 і з 122,686 до 92,350 Ом відповідно. Також відбулося і зменшення (покращення) КСХ з 6,2 до 5,2.

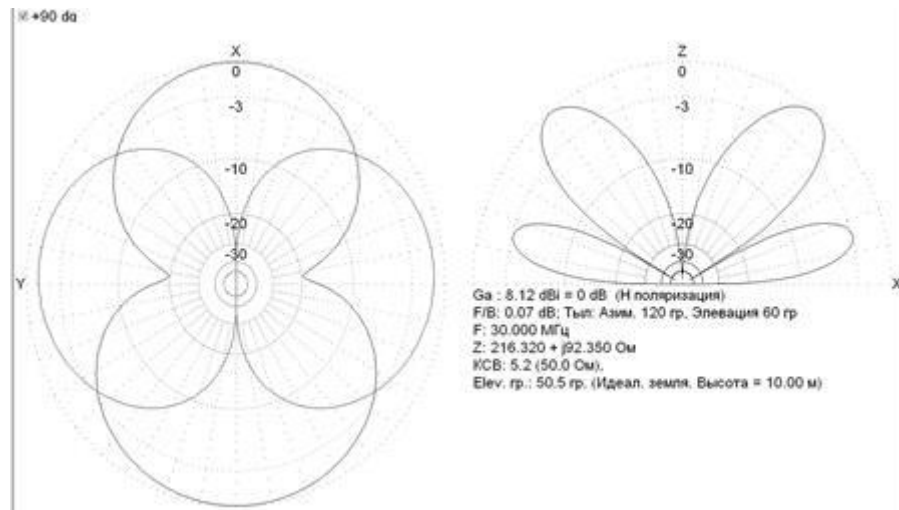


Рис. 3.3. – ДС та параметри антени, розміщеної на відстані 15 м від ідеальної землі

Рисунок 3.4. відображає дану ДС у тривимірному просторі.

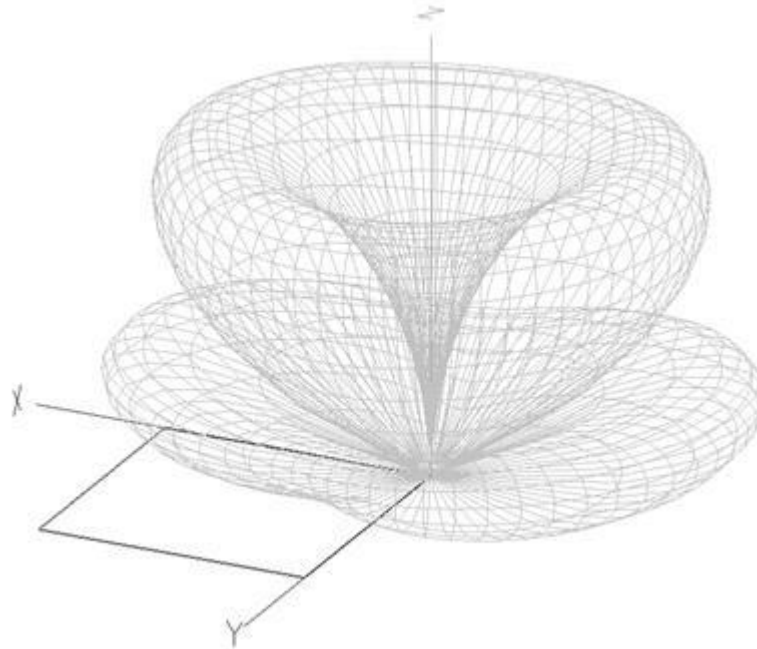


Рис. 2.4. – Тривимірна ДС антени, розміщеної на відстані 10 м від ідеальної землі

При розміщенні антени на відстані 20 м від ідеальної землі її ДС проявляє ще більші направлені властивості, з'являються додаткові пелюстки. А параметри антени змінюються незначно. Коефіцієнт підсилення змінився з 8,12 до 8,92. Резистивний і реактивний опори незначно зросли з 244,710 на 256,601 і з 99,888 на 109,540 відповідно. КСХ збільшився з 6,1 до 6,7.

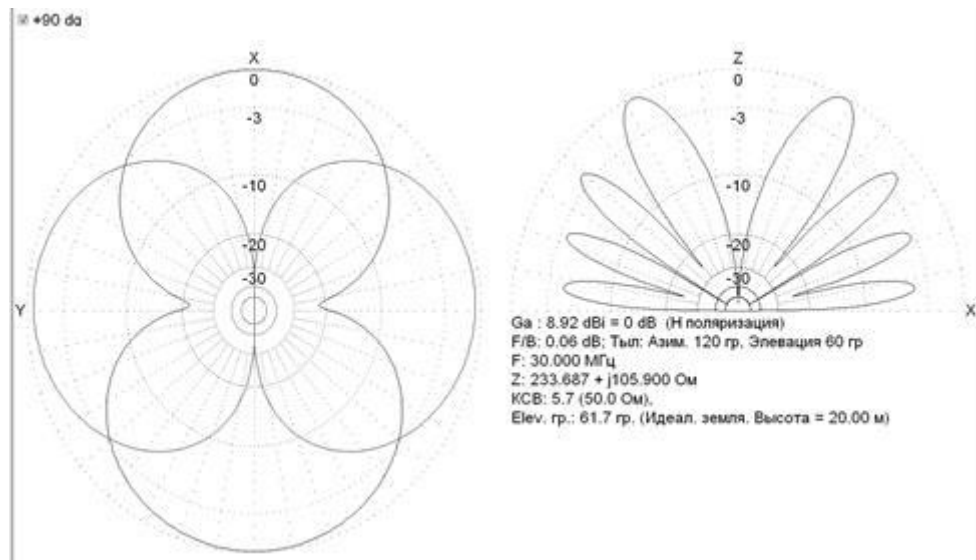


Рис. 2.5 – ДС та параметри антени, розміщеної на відстані 20 м від ідеальної землі

Рисунок 2.6 відображає дану ДС у тривимірному просторі.

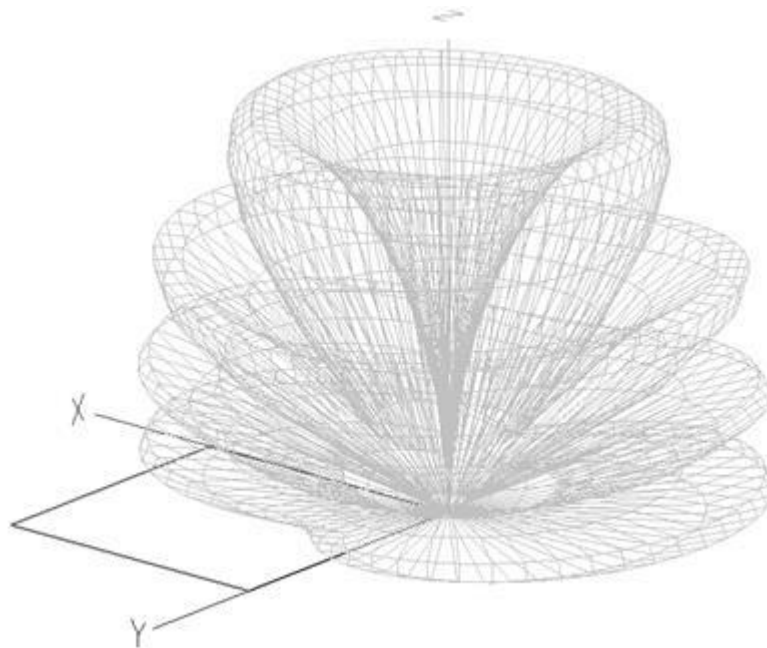


Рис. 2.6. – Тривимірна ДС та параметри антени, розміщеної на відстані 15 м від ідеальної землі

### 3.2. Оптимізація геометричних розмірів приймальної хвильової рамкової антени

Оптимізація проводилася для антени, що розташована на відстані 15 м від ідеальної землі. Оптимізація проводилася за коефіцієнтом підсилення і коефіцієнтом стоячої хвилі ( $G_a$  вибирався максимальним, КСХ – мінімальним). Результати оптимізації наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Оптимізація геометричних розмірів антени

No.	F (МГц)	R (Ом)	$jX$ (Ом)	КСВ 50	Gh (dBd)	$G_a$ (dBi)	F/B (dB)	Elev(гр)	Земля	Высота	Поляр.
2	30.0	142.4	0.404	2.85	---	8.22	-0.27	50.0	Идеал.	10.0	гориз.
1	30.0	216.3	92.35	5.15	---	8.12	0.07	50.5	Идеал.	10.0	гориз.

В результаті оптимізації ми отримали резистивну складову опору антени приблизно в півтора рази меншу, також дуже зменшилась і реактивна складова (з 92,35 до 0,404 Ом). Позитивним є і зменшення КСХ з 5,15 до 2,85 (в 1,8 рази). Коефіцієнт підсилення майже не змінився.

Внаслідок оптимізації змінилися геометричні розміри антени. А точніше вони стали дещо меншими (площа рамки зменшилася в 1,16 разів).

У таблиці 2.2 наведені геометричні розміри оптимізованої антени.

Таблиця 2.2 Геометричні розміри оптимізованої антени

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
1	0.1225	0.0	0.0	0.1225	2.935	0.0	40.35	-1
2	0.1225	0.0	0.0	3.0575	0.0	0.0	40.35	-1
3	3.0575	0.0	0.0	3.0575	2.935	0.0	40.35	-1
4	3.0575	2.935	0.0	0.1225	2.935	0.0	40.35	-1
след.								

## Висновки

1. Отримано розрахунок діаграми рамкової магнітної антени через програму MMANA-GAL в якій зазначається інформація щодо діаграми спрямованості в вільному просторі.
2. Виходячи з теоретичних та експериментальних даних зрозуміло, що магнітна антена або ж її можна ще назвати антишумова антена є найкращим шумоподавляючим пристроєм для отримання сигналу на малі та далекі відстані, завдяки саме трубці з міді чи алюмінію. Яка слугує в свою чергу як електростатичний екран.
3. Магнітна рамкова антена має дуже низький ККД на аматорських діапазонах 160 і 80 метрів. При розташуванні магнітної рамкової антени в умовах кімнати, значна частина випромінювань енергії може поглинути предметами, близько розташованими до магнітної рамці, що ще більше зменшить загальну ефективність роботи магнітної рамкової антени. Однак, в міських умовах кімнати, магнітна рамкова антена часто є єдиною можливою передавальною антеною, яка може бути встановлена.
4. В порівнянні з іншими рамковими антенами магнітна антена має більші можливості в прийманні чітких, без шумових сигналів та має велику кількість перспектив у майбутньому.

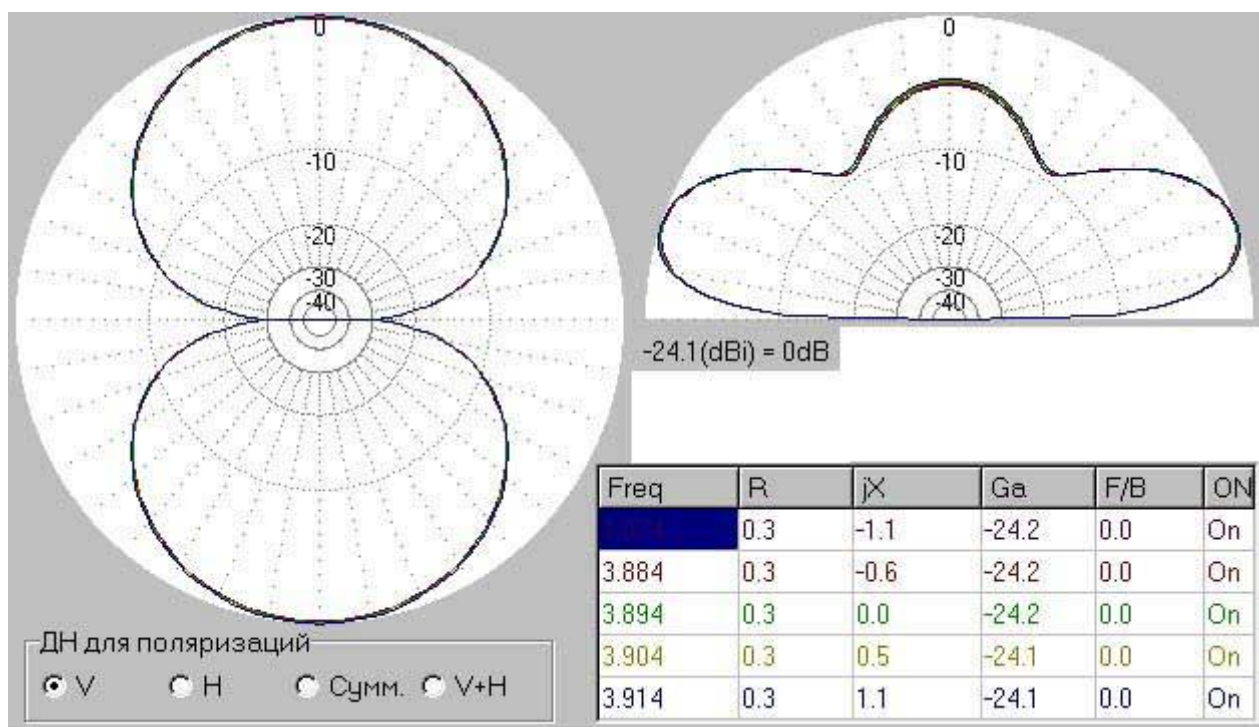
## Список використаних джерел

1. Проценко М.Б. Волновое сопротивление рамочной антенны эллиптической формы /М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. — Одеса. — №1. — 2007. — С. 6-11.
2. Проценко М.Б. Входное сопротивление рамочной антенны с двухточечным возбуждением / М.Б.Проценко, Н.И. Мамедов // Вестник СевГТУ. Вып. 93: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр./ Севастоп. нац. тех. ун-т. — Севастополь, 2008. — С. 101-105.
3. Проценко М.Б. Широкодиапазонное устройство возбуждения двухвходовой рамочной антенны / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. — Одеса. — №1. — 2009. — С. 52-55.
4. Проценко М.Б. Анализ методов решения интегральных уравнений в задачах возбуждения тонкопроволочных антенн / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. — Одеса. — №2. — 2009. — С. 43-49.
5. Проценко М.Б. Обобщенный метод наводимых ЭДС для анализа криволинейных проволочных антенн / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. — Вип. 54. — К.: 2009. — С. 146-153.
6. Проценко М.Б. Анализ направленных свойств двухвходовой рамочной антенны/ М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. — Одеса. — №1. — 2010. — С. 11-19.
7. Григоров И. Н. Антенны. Городские конструкции. — М.: ИП РадиоСофт, 2003. ISBN 5- 93037- 109-1

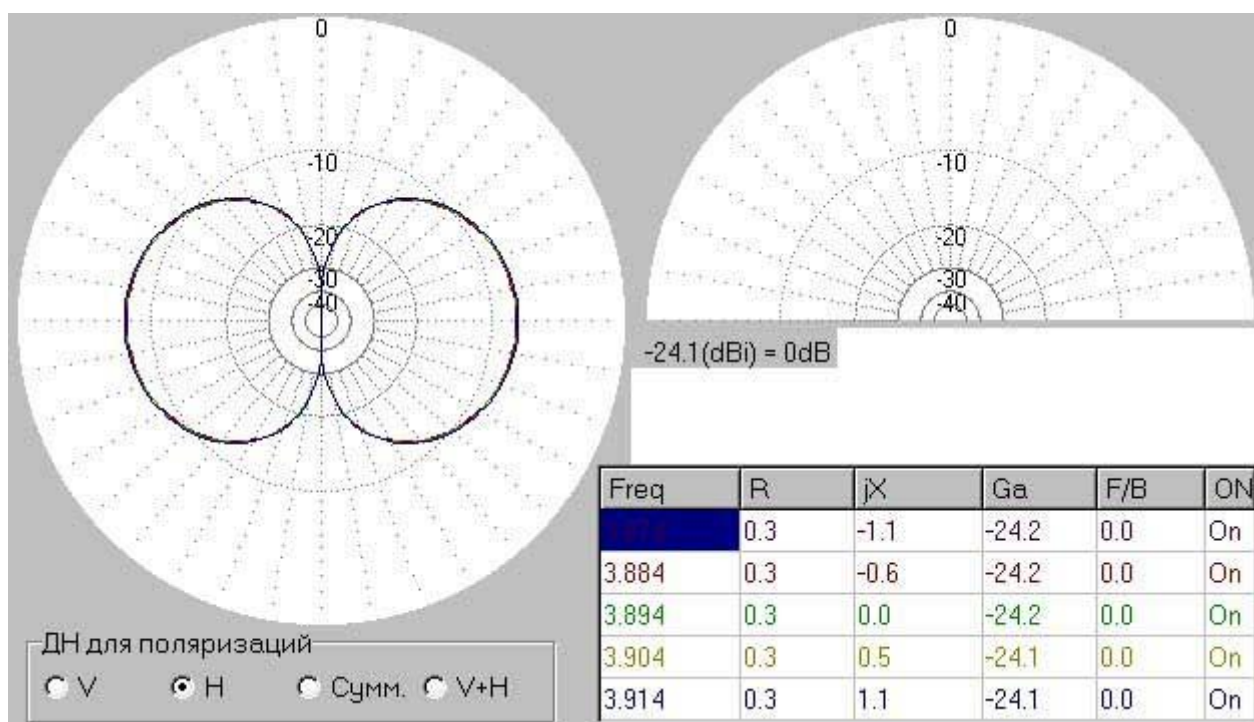
8. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. ISBN 5- 93037- 087- 7
9. K. Patterson, “Down-to-Earth Army Antennas”, Electronics, August 21, 1967, pp. 11- 114.
10. И. В. Бекетов, И. Л. Зельдин, И. В. Пыж. КВ - антенны –3.- Харьков, 1994.
11. Виноградов Ю. Дисконвая антенна в диапазоне 27 МГц // Радио № 2, 1997г., с. 70.
12. Rockey C. F. (W9SCH). The rockloop. G-QRP-C Antenna Handbook. – First edition. – 1992. – P. 132.
13. Григоров И. Н. Трансформаторное питание магнитных рамок //Радиоконструктор № 2, 2000г., с.15- 17.



## Додатоки



Діаграма спрямованості вертикальної магнітної антени розташованої на висоті 20 метрів над реальною землею для вертикальної поляризації



Діаграма спрямованості вертикальної магнітної антени розташованої на висоті 20 метрів над реальною землею для горизонтальної поляризації