

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Зв'язок (VFR, IFR)»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)***

За темою № 5- Особливості експлуатації бортового радіоустаткування

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Загальні принципи побудови антен і випромінювання радіохвиль.
2. Основні характеристики і параметри антен.
3. Типи антен різних діапазонів радіохвиль.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна література:

1. Повітряний кодекс України.
2. Наказ Міністерства транспорту України від № 293 16.04.2003 "Про затвердження Правил польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України".
3. Наказ Міністерства транспорту України № 486 від 10.06.2004 „Про затвердження Правил ведення радіотелефонного зв'язку та фразеології радіообміну в повітряному просторі України “.
4. DOC 4444 - ATM/501 ІКАО „Організація повітряного руху“ видання-15-2007.
5. DOC 9432 - AN/925 ІКАО „Керівництво по радіотелефонному зв'язку“ видання- 4- 2007.
6. Харченко В.П. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ. 2013. – 272 с.
7. Харченко В.П., Луппо О.Є., Колотуша В.П. Принципи організації повітряного простору: Навч. посіб. К.: НАУ, 2006. – 124 с.
8. Інструкція з виконання польотів на аеродромі В.Кохнівка.

Допоміжна література:

1. Eurocontrol airspace strategy for the ECAC states. ASM.ET 1. ST 03.4000 – EAS – 01-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2001. – 74 p.
2. Eurocontrol manual for airspace planning, common guidelines – Vol. 2. Luxembourg, Eurocontrol, - 2003. – 95 p.
3. Guidelines document for the implementation of the concept of the flexible use of airspace. ASM.ET 1. ST 08.5000 – GUI – 02-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2003. – 43 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Програми для вивчення азбуки Морзе. <http://www.ut5ulh.kiev.ua/trenazher-dlya-izucheniya-azbuki-morze-cw-emitter.html>
2. Програма для вивчення азбуки Морзе на Android <http://help-me.pp.ua/22961-yak-vivchiti-azbuku-morze.html>

Текст лекції

1. Загальні принципи побудови антен і випромінювання радіохвиль

Антенa є необхідним елементом будь-якого радіопередавачем та радіоприймачем. Антенa радіопередавача (передавальна антенa) призначена для перетворення струму високої частоти в енергію випромінюваних нею електромагнітних хвиль. Антенa радіоприймача (приймальна антенa) призначена для перетворення прийнятих нею електромагнітних хвиль в енергію струму високої частоти. Характер процесів, які у передавальній і приймальній антенaх, визначає оборотність їх використання. Оборотність антен знаходить вираження не тільки в принциповій можливості використання однієї і тієї ж антени як передавальної або приймальної, а й у тому, що основні параметри антени зберігаються при використанні її як для передачі, так і для прийому. Це має велике практичне значення. Так, багато пересувні радіостанції, призначені для зв'язку, мають спільну антену для передачі і для прийому.

Електричний ланцюг і допоміжні пристрої, за допомогою яких енергія радіочастотного каналу підводиться від радіопередавача до антени або від антени до радіоприймача, називається фідером. Конструкція фідера залежить від діапазону переданих по ньому частот. При передачі електромагнітної енергії по лінії прагнуть зменшити випромінювання самої лінії.

Для цього проводу лінії розташовують паралельно і по можливості ближче один до одного. При цьому поля двох однакових за значенням, але протилежно спрямованих струмів взаємно компенсуються і випромінювання енергії в навколишній простір не відбувається. При створенні антени ставиться протилежна задача: отримання можливо більшого випромінювання. Для цього можна використовувати ті ж довгі лінії, усунувши одну з причин, які позбавляють фідер випромінюючих властивостей. Можна, наприклад, розсунути дроти лінії на деякий кут, в результаті чого їх поля не будуть компенсувати один одного. На цьому заснована робота V-образних і ромбічних антен, що випромінюють дроти яких розташовані під гострим кутом один до іншого (рис. 6а,б), і симетричного вібратора, що виходить при розведенні проводів на 180° (див. рис.6,в).

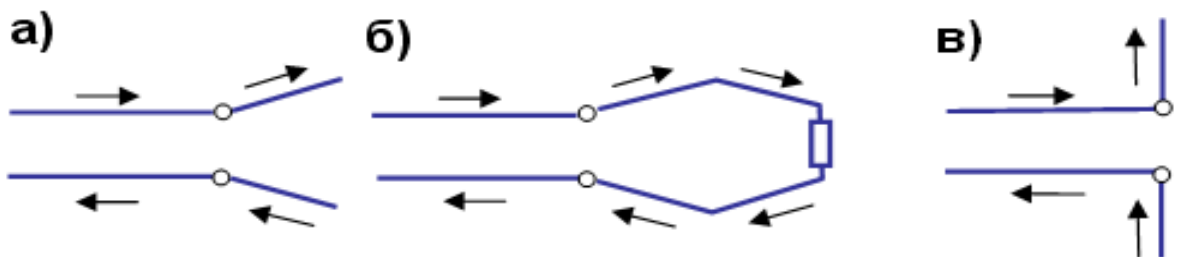


Рис. 6. Симетричні антени

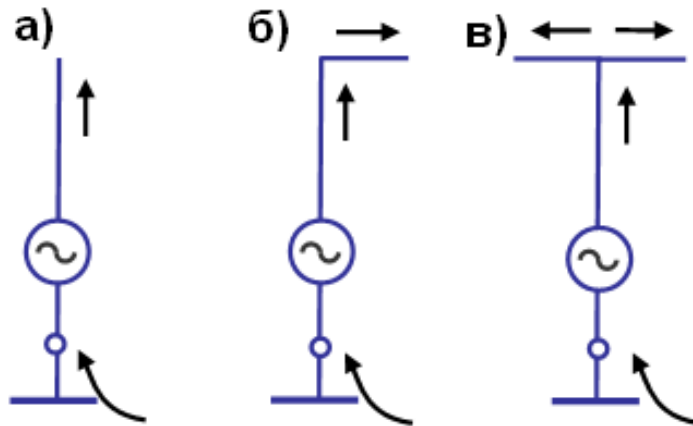


Рис. 7. Несиметричні антени.

Компенсує дію одного з проводів фідера можна усунути, виключивши його з системи. Це призводить до отримання несиметричного вібратора (рис. 7,а). Всі антени, що використовують цей принцип роботи, відносяться до класу несиметричних антен. До них також належать Г-подібні та Т-подібні антени (див. рис.7,б,в).

Фідер випромінює, якщо сусідні ділянки його двох проводів обтекаються струмами, співпадаючими по фазі, поля яких підсилюють один одного. Для цього необхідно створити фазовий зсув в половину довжини хвилі, наприклад за рахунок невідповідності шлейфу (рис.8,а). На такому ж принципі засновані синфазні антени, що одержали широке поширення (див. рис.8,б).

Фідер буде випромінювати, якщо відстані між проводами по деяких напрямках набувають значну різницю ходу. Більш того, можна так підібрати відстань між проводами, що за деякими напрямками відбудеться складання хвиль від обох проводів. Це широко використовується в численних протифазних антенах. Роботу таких антен неважко зрозуміти з трьох прикладів, наведених на рис.8,в-д. У антені (див. рис.8,в) протівофазного струмів в проводах забезпечується підключенням їх до фідера на відстані в півволни. Антена, зображена на рис.8, г, являє собою фідер, як би розширений на кінці. У антені на рис.8, д протівофазного струмів забезпечується перехрещуванням живильних проводів.

Зупинимося на роботі симетричного вібратора як випромінювача, який входить до складу багатьох антен. Симетричний вібратор можна представити як довгу лінію, разомкнутую на кінці, дроти якої розгорнуті на 180° . Кожен елемент даної лінії володіє певною індуктивністю і ємністю між проводами (рис. 9).

Розглянемо процес вільних електричних коливань в симетричному вібраторі. Приєднаємо обидві його половини до затискачів джерела постійної ЕРС (рис.10,а). Після того як розподілені ємності проводів вібратора зарядяться і між його половинами виникне різниця потенціалів, відключимо джерело живлення і замкнемо обидві половини вібратора перемичкою (див. рис.10,б). При цьому розподілені ємності почнуть розряджатися через перемичку.

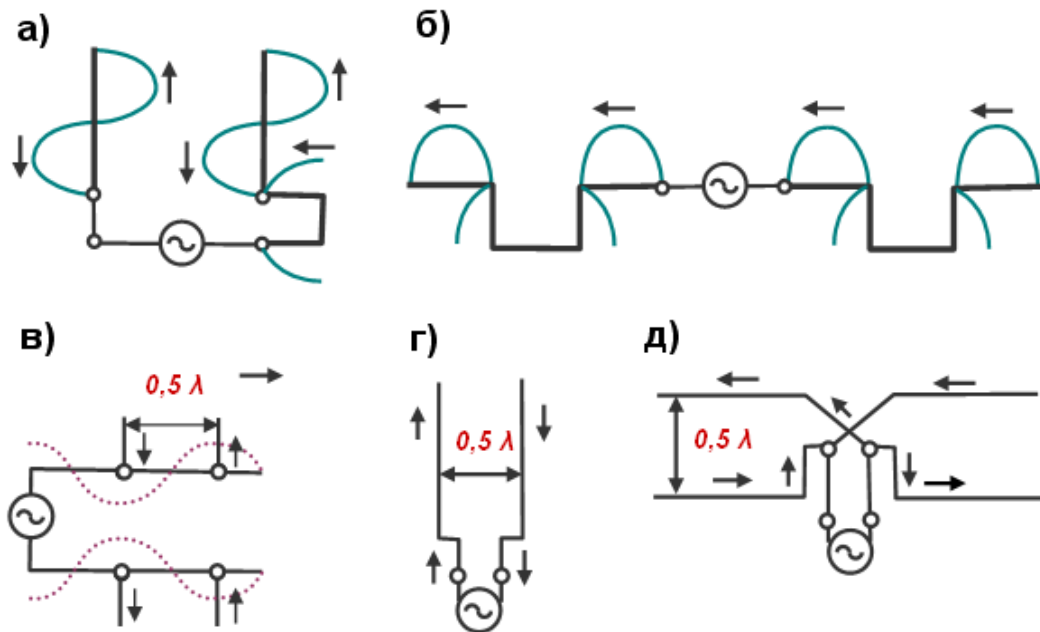


Рис. 9. Синфазні (а, б) і протифазні (в-д) антени.

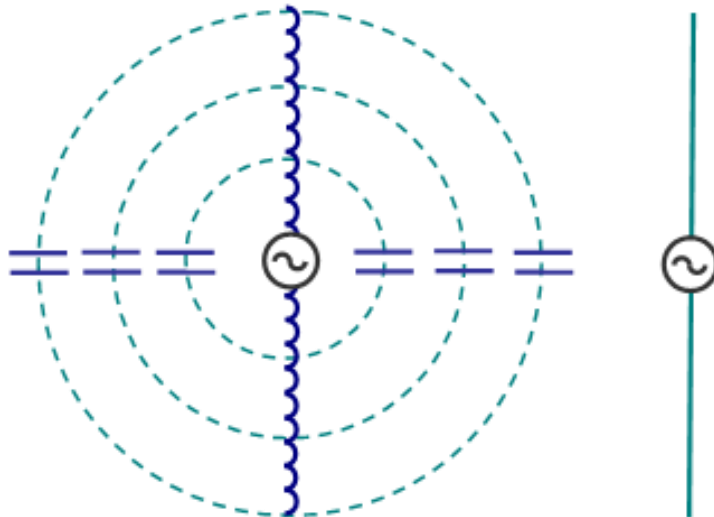


Рис. 10. Симетричний вібратор і його еквівалентна схема.

Очевидно, що через відрізки дроту вібратора, розташовані у середини, протікає найбільший електричний заряд, і тому розрядний струм має найбільше значення; до кінців ж дроту струм зменшується до нуля. Струм в проводі наростає поступово, оскільки в розподілених індуктивностях виникає ЕРС самоіндукції. Різниця потенціалів між точками, рівновіддаленими від середини вібратора, тим більше, чим далі ці точки від середини, так як тим більша частина розподіленої індуктивності проводу бере участь у його створенні (див. рис.11, б). Знак потенціалу щодо середньої точки по обидві сторони від неї різний, так як в одній половині вібратора струм тече до неї, а в іншій - від неї.

У міру розряду розподіленої ємності струм в проводі наростає і досягає максимуму, коли вона повністю розрядиться. При цьому вся енергія електричного поля, запасена ємністю, переходить в енергію магнітного поля розподілених індуктивностей (див. рис.11,в). Якщо спочатку індуктивність проводів вібратора перешкождала наростання струму, то тепер вона

перешкоджає його зменшення. Тому струм зменшується поступово, зберігаючи колишній напрям (див. рис.11,г). За рахунок цього відбувається перезаряд розподіленої ємності, і коли струм спадає до нуля, ємності виявляються перезарядженим (див. рис.11,д). Після цього процес протікає у зворотному напрямку (див. рис.11,е-і). Таким чином в вібраторі виникають вільні електричні коливання. При цьому в ньому встановлюються стоячі хвилі струму і напруги і вздовж його довжини укладається половина стоячої хвилі струму і напруги.

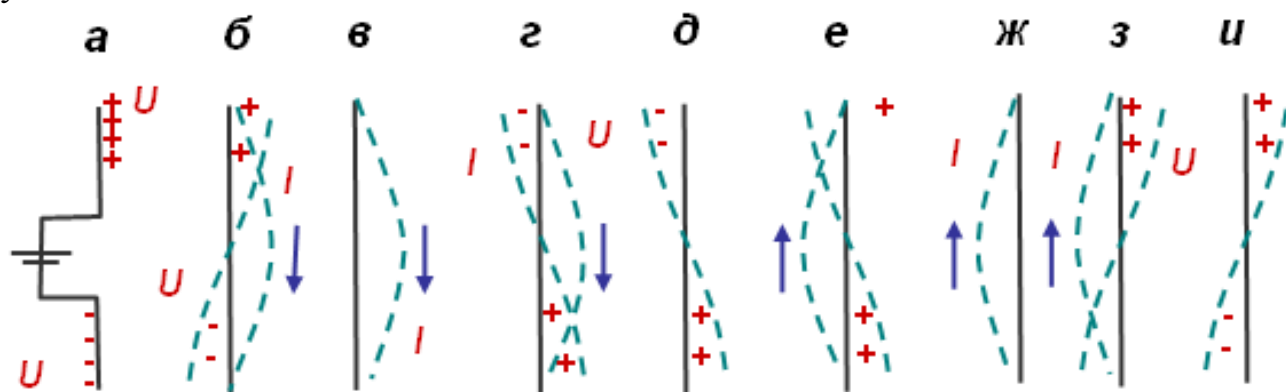


Рис.11. Вільні коливання в симетричному вібраторі.

Отже, довжина хвилі λ_0 власних коливань симетричного вібратора вдвічі більше його довжини, тобто $\lambda=2l$. Тому симетричний вібратор називають також напівхвильового диполів, чим підкреслюється, що він удвічі коротше довжини хвилі власних коливань.

Якщо полуволновий вібратор розташувати вертикально, його розмір можна зменшити вдвічі завдяки провідності властивостям землі. При вертикальному розташуванні нижній кінець антени підключається до одного із затисків генератора електромагнітних коливань (рис. 6, а), другий зажим генератора при цьому заземлюється. Якщо припустити, що земля є ідеальним провідником, то в ній наводиться ЕРС, яка діє як дзеркальне зображення основного вібратора (див. рис. 6, б). Така антена називається вертикальною несиметричною антеною, її висота приблизно дорівнює $\lambda/4$. Все сказане справедливо тільки в тому випадку, коли земля являє собою ідеальний провідник. Коли ж земля має поганими провідними властивостями, характер розподілу струму в земній поверхні змінюється.

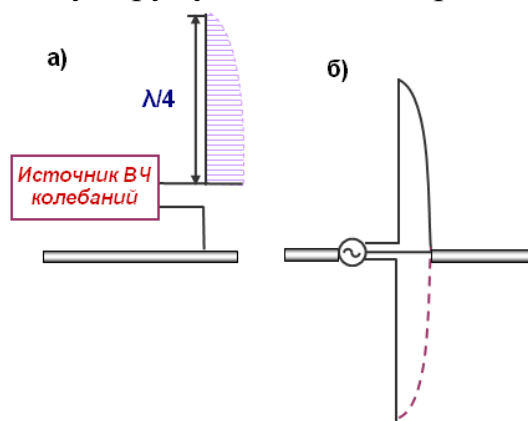


Рис.12. Четверть хвильовий вібратор.

2. Основні характеристики і параметри антен

Випромінювана потужність (P_i)- потужність електромагнітних хвиль, випромінюваних антеною у вільний простір. Це активна потужність, так як вона розсіюється в просторі, що оточує антену. Отже, що випромінюється потужність можна виразити через активний опір, зване опором випромінюваннями

$$R_u = \frac{P_u}{I_a^2},$$

де I_a^2 - ефективний струм на вході антени.

Опір випромінювання характеризує здатність антени до випромінювання електромагнітної енергії і якість антени більшою мірою, ніж випромінювана нею потужність, оскільки остання залежить не тільки від властивостей антени, але і від створюваного в ній струму.

Потужність втрат (P_n) - потужність, марно втрачається передавачем під час проходження струму по проводах антени, в землі і предметах, розташованих поблизу антени. Ця потужність також є активною і може бути виражена через активний опір, зване опором втрат.

$$R_n = \frac{P_n}{I_a^2}$$

Потужність в антені (P_a) - потужність, що підводиться до антени від передавача. Цю потужність можна представити у вигляді суми випромінюваної потужності і потужності втрат:

$$P_a = P_u + P_n$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) антени η - відношення випромінюваної потужності до потужності, що підводиться до антени:

$$\eta = P_u / P_a$$

$$\eta = R_u / (R_u + R_n)$$

Вхідний опір антени - опір на входних затисках антени. Він має реактивну та активну складові. При налаштуванні в резонанс антена представляє для генератора чисто активне навантаження і використовується найбільш ефективно.

Спрямованість антени - здатність випромінювати електромагнітні хвилі в певних напрямках. Про цю властивість антени судять по діаграмі спрямованості, яка графічно показує залежність напруженості поля або випромінюваної потужності від напрямку. Зазвичай користуються нормованими діаграмами спрямованості, де величини, що характеризують напруженість поля або потужність випромінювання, виражені не в абсолютних значеннях, а віднесені до максимального значення. З метою спрощення використовують не просторову діаграму спрямованості, а обмежуються діаграмами спрямованості в двох площинах: горизонтальної та вертикальної.

На рис. 7, а показана діаграма спрямованості симетричного вертикального вібратора в горизонтальній площині, а на рис. 7, б і в - у вертикальній площині в полярній і прямокутній системах координат відповідно.

Шириною діаграми спрямованості називають кут 2θ (див. рис. 7, б, в), в межах якого потужність випромінювання зменшується не більше ніж в 2 рази в порівнянні з потужністю в напрямку максимального випромінювання. Так як потужність пропорційна квадрату напруженості поля, то межі кута розчину діаграми спрямованості визначаються величиною $1/4$, $\sqrt{1/4} = 0,5$ від напруженості поля в напрямку максимального випромінювання.

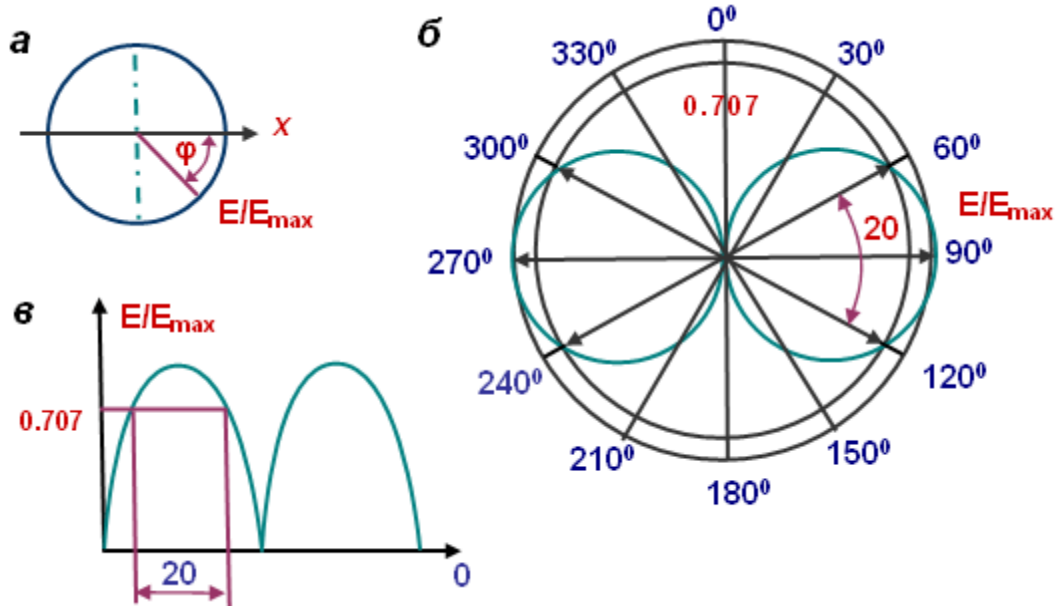


Рис. 13. Діаграма спрямованості симетричного вертикального вібратора.

Коефіцієнтом спрямованої дії (D) називається відношення щільності потоку потужності, випромінюваної даної антеною в певному напрямку, до щільності потоку потужності, яка випромінювалася б абсолютно ненаправленою антеною в будь-якому напрямку за умови рівності загальної випромінюваної потужності в обох антенах.

Найбільший інтерес представляє коефіцієнт спрямованої дії в напрямку максимального випромінювання

$$D = P_{\text{и макс}} / P_{\text{и ср}}$$

Коефіцієнтом підсилення антени (G_a) називається твір коефіцієнта спрямованої дії антени на її ККД:

$$G_a = D_{\eta}$$

Цей коефіцієнт дає повну характеристику антени: він враховує, з одного боку, концентрацію енергії в певному напрямі завдяки спрямованим властивостям антени, а з іншого - зменшення випромінювання внаслідок втрат потужності в антені.

Переважає випромінювання антен в заданому напрямку еквівалентно збільшенню потужності передавача. Отже, спрямованість передавальної антени вельми бажана. Виняток становлять антени радіостанцій, призначених для

обслуговування певного району, в центрі якого знаходиться станція. Такі антени не повинні володіти спрямованістю в горизонтальній площині.

Діюча висота антени (h_d). Кількість енергії, випромінюваної кожним елементом антени, пропорційно проходить по ньому струму. Так як розподіл струму в антені нерівномірний, то випромінювання різними елементами неоднаково: воно найбільш інтенсивно в пучності струму і дорівнює нулю у вузлі струму (рис. 8).

Якщо площа, охоплювану кривою розподілу струму і проводом антени, замінити рівним за площею прямокутником, то кількість випромінюваної енергії не зміниться. Вважаючи підставу прямокутника рівним за величиною амплітуді струму в основі антени (I_{MO}), отримуємо висоту прямокутника, звану діючою висотою антени (h_d).

Особливо важливо поняття діючої висоти для приймальних антен, у яких воно визначає величину наводимої в них ерс.

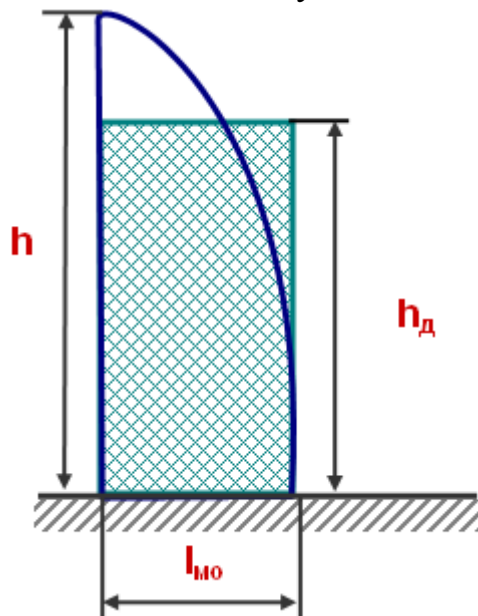


Рис. 14. До визначення діючої висоти антени.

3. Типи антен різних діапазонів радіохвиль

Антенні кілометрових і гектометрових хвиль.

Кілометрові і гектометрові хвилі (довгі і середні) використовуються для радіозв'язку, радіомовлення, навігації та інших цілей.

На довгих і середніх хвилях земна поверхня має звичайно хорошу провідність. У поверхні ж хорошого провідника електричне поле може бути направлено тільки перпендикулярно його поверхні. Тому як передають, так і приймальні антени для цих хвиль повинні мати розвиненою вертикальною частиною. Для того щоб антена була резонансною і мала досить великий опір випромінювання і ККД, її розміри повинні наближатися принаймні до 0,25, тобто на ДВ висота її повинна дорівнювати кільком сотням метрів.

Практично вдається побудувати антени (щогли) висотою не більше 200-300 м. Тому на хвилях довше 1000 м, як правило, доводиться працювати з антенами довжиною менше резонансною. Внаслідок цього вхідний опір антени має реактивну складову ємнісного характеру, для компенсації якої послідовно з антеною доводиться включати котушку індуктивності (рис. 9, а). Ці котушки часто називають подовжувальними.

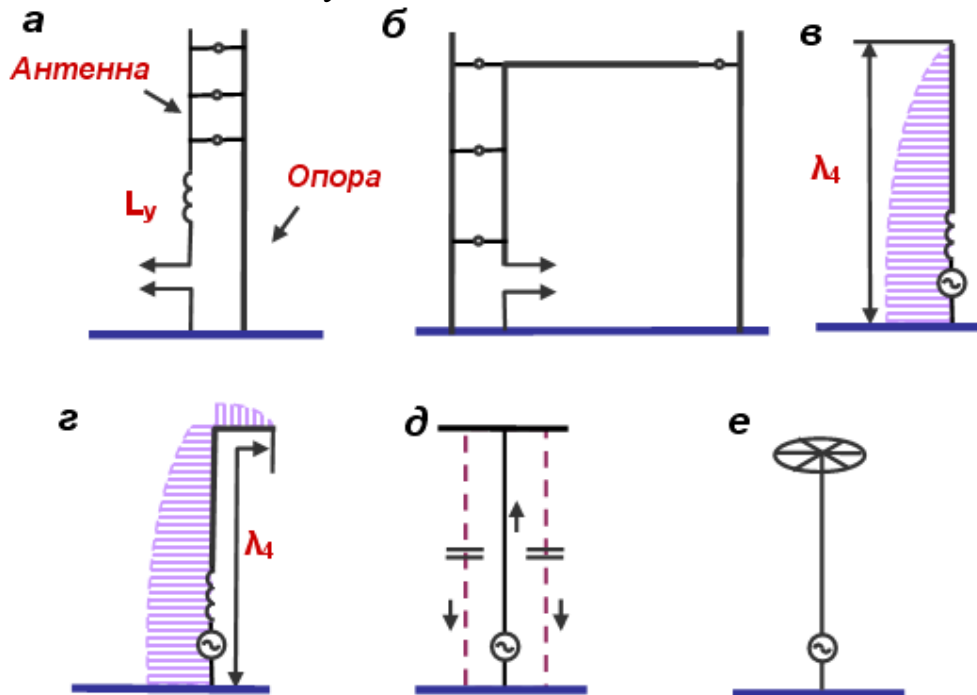


Рис. 15. Антени довгих і середніх хвиль: а - заземлений вібратор з подовжувальною котушкою; б - Г-подібна антена; в - розподіл струму в антені з котушкою; г - розподіл струму в Г-подібній антені; д - Т-подібна антена; е - зонтична антена.

Опір випромінювання у антен з малої електричної довжиною вельми мало. Водночас активний опір подовжувальних котушок досить значно. Тому опір втрат в ланцюзі антени стає більше або того ж порядку, що і опір випромінювання, і ККД антени виходить досить низьким.

На СВ при роботі антени в широкому діапазоні частот може виявитися, що частота підводяться до неї коливань нижче резонансної. У цьому випадку реактивна складова її вхідного опору має індуктивний характер, і для настройки антени доводиться застосовувати конденсатор, який прийнято називати вкорочують. У загальному випадку ланцюг настроювання діапазонної антени повинна містити як ємність, так і індуктивність.

Застосування елементів настроювання не змінює опору випромінювання антени, яке визначається тільки її електричної довжиною, і тому при роботі з короткими антенами опір випромінювання завжди невелика. Тому для отримання великої потужності випромінювання в таких антенах доводиться порушувати великі струми. Мале опір випромінювання призводить також до того, що резонансна характеристика антени стає дуже гострою; внаслідок цього антена дуже критична в налаштуванні. Крім того, при низькому опорі

випромінювання доводиться особливо ретельно виконувати заземлення нижнього кінця антени, де проходить великий струм, тому що в противному випадку різко знижується ККД системи.

Для збільшення ККД замість використання котушки індуктивності часто збільшують довжину антени до резонансної та згинають її на висоті щогли під прямим кутом, утворивши залишилася частиною горизонтальний ділянку. Така Г-подібна антена випромінює краще, ніж пряма антена з подовжувальної котушкою, але вона вимагає встановлення другої щогли (див. рис. 15, б). Якщо висота підвісу Г-подібної антени невелика, то горизонтальна частина її практично не випромінює, так як вона утворює зі своїм дзеркальним зображенням двухпроводну лінію. Однак при цьому розподіл струму в випромінюючій вертикальній частині істотно поліпшується. У ній укладається частина стоячої хвилі струму, близька до пучності, до того ж пучність розташовується ближче до верхнього кінця, який знаходиться в найбільш сприятливих для випромінювання умовах.

Збільшити амплітуду струму на кінці антени можна також, створивши додаткову горизонтальну частину у вигляді двох горизонтальних променів (Т-подібна антена на рис. 15, д) або у вигляді багатьох променів (зонтична антена на рис. 15, е). У всіх випадках горизонтальні елементи утворюють з землею деяку ємність. Завдяки цьому амплітуда струму на кінці вертикальної частини антени вже не дорівнює нулю, і розподіл струму вздовж неї стає більш рівномірним. Площа струму, а, отже, і діюча висота антени збільшуються.

Конструктивно антени ДВ і СВ дуже часто виконуються у вигляді встановлених на ізолятори сталевих вільно стоять антен-башт (рис. 16, а) і антен-щогл (див. рис. 16, б). Ток від передавача підводиться до нижнього кінця вежі або щогли, яка є безпосереднім випромінювачем енергії. Для радіомовлення застосовуються антени висотою 75-300 м. Для збільшення ємності антени на вершині вежі або щогли встановлюється ємкостная шапка з металевих трубок.

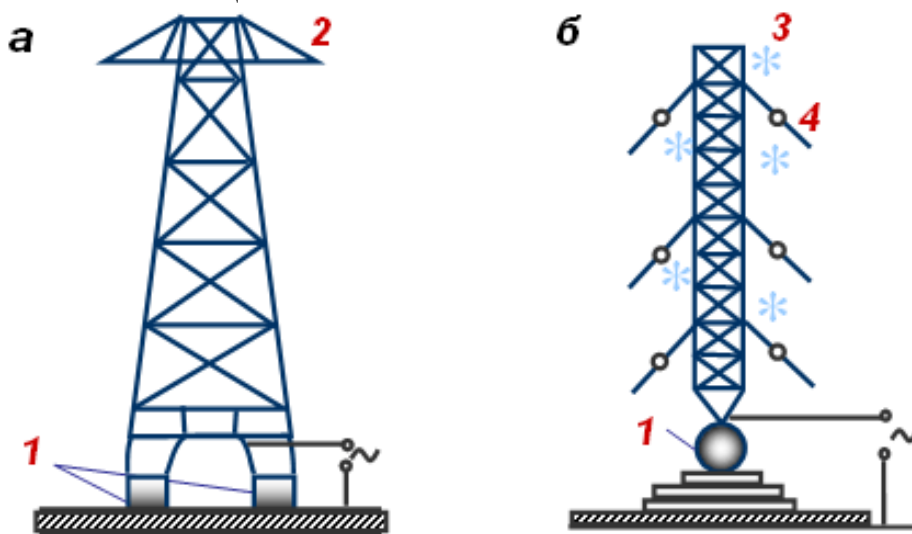


Рис.16. Антена-вежа (а) і антена-щогли (б): 1 - опорний ізолятор; 2 - ємкостная шапка; 3 - світлове огорожу щогли; 4 - ізолятори.

Недоліком передавальних антен-щогл і антен-башт, що мають висоту до 300 м і більше, є їх висока вартість. Крім того, у багатьох випадках застосування високих антен неприпустимо внаслідок близькості радіоцентрів до аеропортів. У всякому разі всі антени цього типу обладнуються системою світлового огороження щогл.

На середніх хвилях на відстанях 100-300 км поля поверхневої і просторової хвиль можуть виявитися порівнянними за амплітудою і випадковими по фазі. Тут спостерігаються завмирання (федінга) селективного характеру. У робочій смузі окремі частоти завмирають по-різному, викликаючи спотворення переданого сигналу. Щоб відсунути далі від передавальної станції зону, піддану завмирань, необхідно на передачі застосовувати антени зі спеціальною формою діаграми спрямованості у вертикальній площині. Ці антени повинні мати максимум випромінювання, спрямованого уздовж поверхні землі, і мале випромінювання під кутом більше 55° . Антени з подібною діаграмою спрямованості називаються антифедінговими. Такими, наприклад, є несиметричні вертикальні вібратори висотою $(0,53-0,6) \lambda$.

На відміну від передавальних, приймальні антени, як правило, не настроюються на частоту прийнятих радіостанцій. Для мовного прийому часто використовують вертикальні Г-, Т-образні і зонтичні антени.