

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Інститут інформатики та радіоелектроніки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт № 1,2

«Теорія радіотехнічних систем»

для студентів спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та

«Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»)
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт № 1,2 з дисципліни «Теорія радіотехнічних систем» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Фарафонов О.Ю., Фурманова Н.І., – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 28 с.

Укладачі: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук, доцент;
Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент;

Рецензент: Малий Олександр Юрійович, канд. техн. наук,
доцент

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, д.т.н,
доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 1 від 28.08.2019 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
протокол № 1 від 02.09.2019 р.

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 - Дослідження конструкцій та параметрів антен.....	4
Лабораторна робота №2 - Види та пристрої узгодження у передавальних трактах.....	20

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ АНТЕН

Мета роботи: навчитися обирати конструкцію антени в залежності від потрібних параметрів, проводити аналіз конструкції антени у програмі моделювання та теоретично обґрунтовувати вид діаграми направленості.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**1.1 Загальні теоретичні відомості**

Антенa – пристрій для випромінювання і прийому радіохвиль. Антенa є конвертером електричного струму радіочастотного діапазону в електромагнітне випромінювання і навпаки.

Форма, розміри і конструкція антен різноманітні і залежать від довжини хвиль що випромінюються або таких, що приймаються. Застосовуються антени у вигляді відрізка дроту, комбінацій з таких відрізків, металевих дзеркал різної конфігурації, спіралей з металевих проводів та інші.

Кожна антена як пасивний лінійний пристрій може працювати в режимах передачі і прийому. У обох режимах антена характеризується направленими, поляризаційними, фазовими властивостями і вхідним імпедансом.

Діаграма направленості (ДН) – це розподіл у просторі величини, що характеризує електромагнітне поле, створюване антеною (рис. 1.1).

Основні типи антен**1. Стрижнева антени:**

- простий стрижень;
- похилий стрижень;
- антена зенітного випромінювання стрижнева.

2. Антени зенітного випромінювання.**3. Диполі:**

- горизонтальний диполь;
- похилий диполь.

4. Логарифмічні періодичні антени.**5. Антени хвильового каналу:**

- рупорні антени;
- щілинні антени;
- дзеркальні антени;
- лінзові антени.

6. Антени біжучої хвилі:

- діелектричні стрижньові антени;
- спіральні антени;
- імпедансні антени;
- антени витікаючої хвилі;
- антени "хвильовий канал".

7. Фазовані антенні решітки (ФАР):

- пасивні(з одним передаючим / приймаючим пристроєм на антену);
- активні(з одним передаючим / приймаючим пристроєм на кожен модуль антени).

8. Супутникові антени:

- офсетні антени;
- прямофокусні антени.

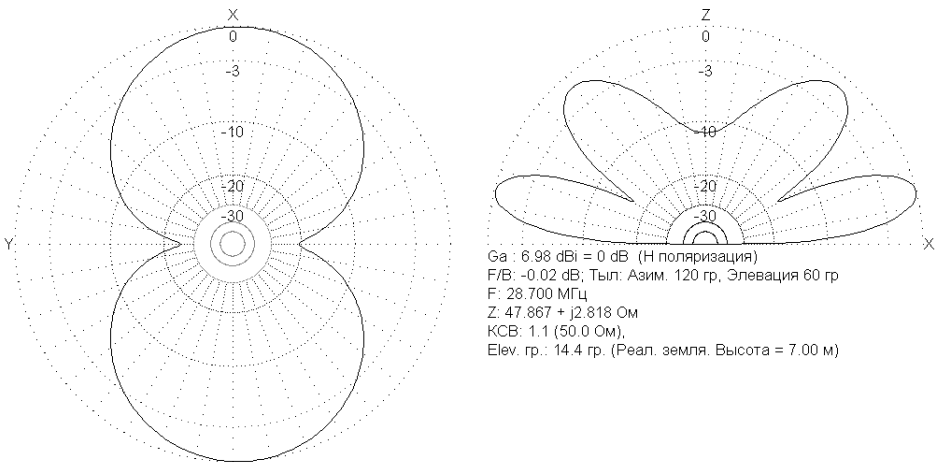


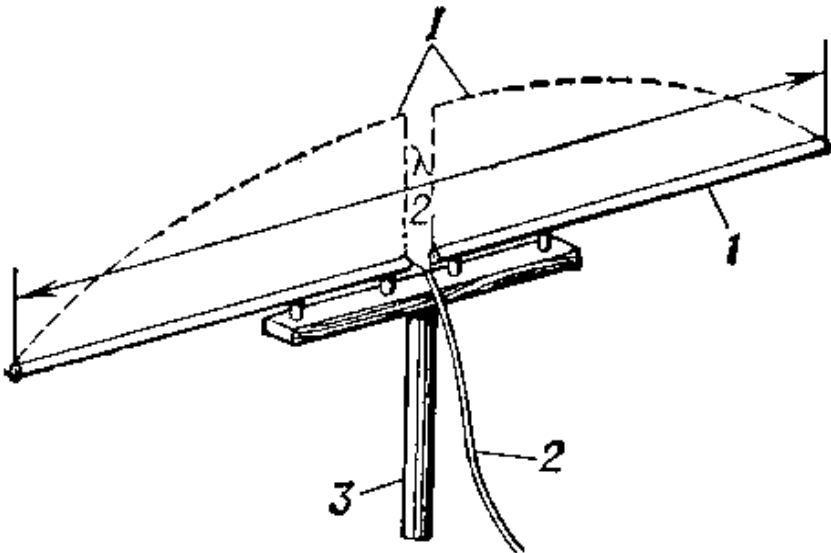
Рисунок 1.1 – Приклад ДН

Фідер – це електричне коло та допоміжні пристрої, за допомогою яких енергія радіочастотного сигналу підводиться від радіопередавача до антени.

Антенна решітка – антена, що складається з декількох випромінювальних елементів одного типу, розташованих у певному порядку, орієнтованих та збуджених так, щоб отримати задану діаграму направленості.

Напівхвильовий вібратор – це несиметричний вібратор, довжина якого дорівнює половині робочої довжини хвилі.

Напівхвильовий вібратор (рис. 1.2, рис. 1.3) застосовується як проста антена для радіозв'язку, приймальної телевізійної антени або як випромінюючий елемент в антенних ґратках, станцій зв'язку і радіолокаційних станцій та ін.



1 – напівхвильовий вібратор; 2 – фідер; 3 – підставка; λ – довжина робочої хвилі
(Пунктиром показаний розподіл струму I уздовж вібратора)

Рисунок 1.2 – Напівхвильовий вібратор

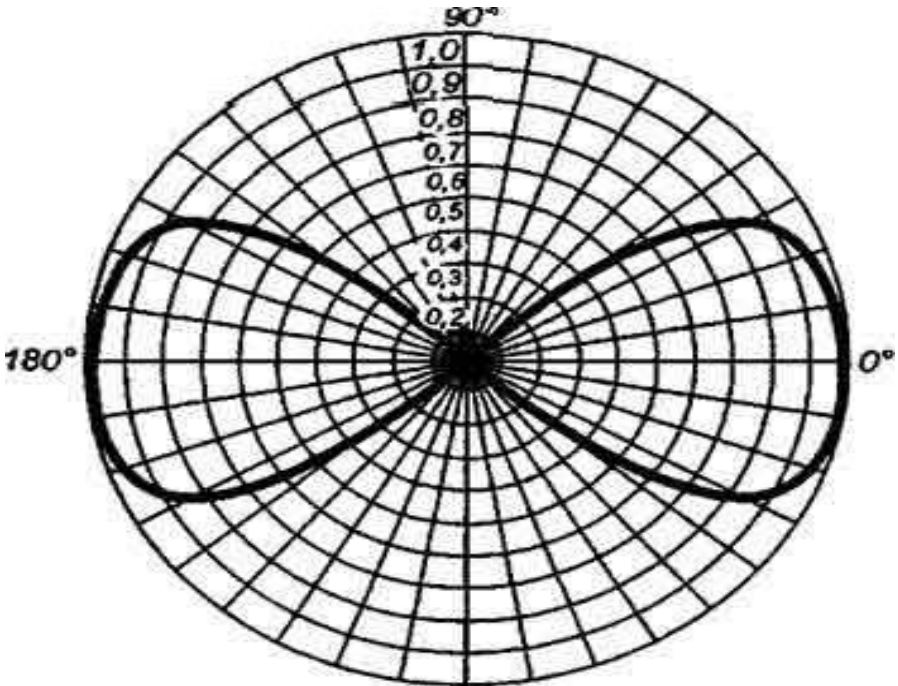


Рисунок 1.3 – ДН напівхвильового вібратора

Стрижнева антена - антена у вигляді несиметричного вібратора, виконаного з жорсткого металевго стрижня (суцільного або такого, що складається з декількох ланок, що зчленовуються) або з великого числа металевих котушок, нанизаних на гнучкий сталевий трос (т.з. антена Кулікова). Рідше застосовуються штирьова антена з профільованої металевої стрічки, дротяних джгутів або металізованих діелектричних стрижнів. Діаграма направленості випромінювання (прийому) штирьової антени в горизонтальній площині має форму круга (рис. 1.4), тому така антена особливо зручна при зв'язку між наземними об'єктами з взаємним розташуванням, що змінюється в часі, наприклад між пересувними радіостанціями (встановленими в автомобілях, танках і т.п.).

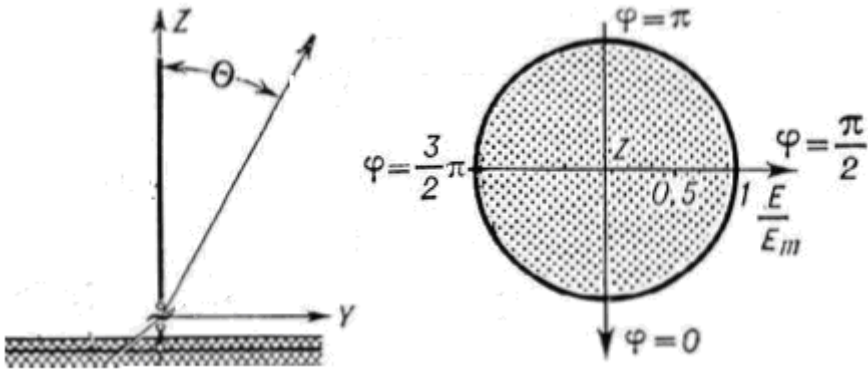


Рисунок 1.4 – Стрижньова антена

Основним завданням при аналізі антен є визначення електромагнітного поля, створеного випромінювачем як у дальній зоні антени, що характеризує спрямовані, поляризаційні й енергетичні характеристики антени, так і в ближній зоні антени, що дозволяє обчислити вхідний опір антени.

Джерелами електромагнітного поля антени є струми і заряди в провідниках, які характеризуються вектором об'ємної щільності електричного струму $\vec{J}$ і об'ємною щільністю електричних зарядів ρ . Ці величини для ізотропних середовищ, при гармонійному законі зміни електродинамічного процесу в часі ($e^{j\omega t}$), зв'язані між собою системою рівнянь Максвелла в комплексній формі:

$$\left. \begin{aligned} \text{rot } \vec{H} &= \vec{J} + j\omega \epsilon_a \vec{E}; \text{div } \mu_a \vec{H} = 0; \\ \text{rot } \vec{E} &= -j\omega \mu_a \vec{H}; \text{div } \vec{E} = \rho / \epsilon_a. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

Використання допоміжних функцій дозволяє одержати інтегральне рівняння для обчислення розподілу струмів у провідниках випромінюючої структури.

Рішення інтегрального рівняння дає розподіл струмів у дротовій випромінюючій структурі; далі по відомому розподілу струмів можна знайти електромагнітне поле в будь-якій точці простору. Так, для

короткого прямолінійного провідника довжиною $l \ll \lambda$ (вібратор Герца), по якому протікає струм I_0 , можуть бути отримані замкнуті вирази для компонентів електромагнітного поля. У сферичній системі координат (рис. 1.5) ці вирази мають вигляд:

$$H_\varphi = \frac{I_0 \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi} \cdot \left(\frac{1}{R^2} + j \frac{k}{R} \right) \cdot e^{-jkR}, \quad (1.2)$$

$$E_R = -j \frac{2I_0 \cdot l \cdot \cos \theta}{4\pi\omega \cdot \varepsilon_a} \cdot \left(\frac{1}{R^3} + j \frac{k}{R^2} \right) \cdot e^{-jkR}, \quad (1.3)$$

$$E_\theta = -j \frac{I_0 \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi\omega \cdot \varepsilon_a} \cdot \left(\frac{1}{R^3} + j \frac{k}{R^2} - \frac{k^2}{R} \right) \cdot e^{-jkR}. \quad (1.4)$$

Аналіз наведених рівнянь показує що простір, який оточує антену, можна розбити на три зони:

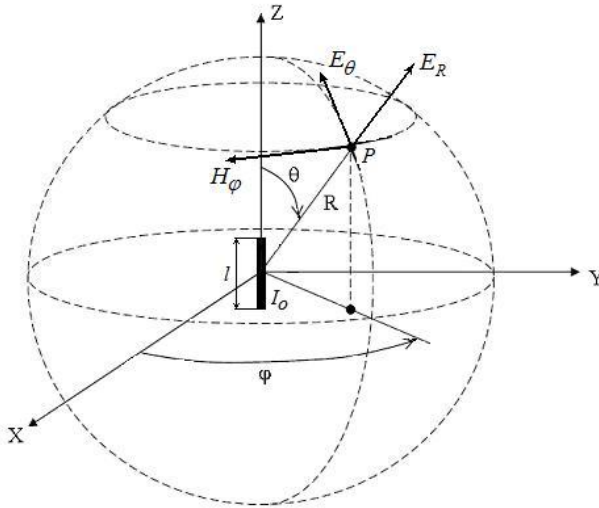
а) **ближню зону**, також називаємо зоною індукції, де в рівняннях для E и H суттєве значення мають члени, що залежать від відстані R за законом $1/R^2$ і $1/R^3$. У цій зоні електричний і магнітний вектори зміщені по фазі на кут, близький до 90° ;

б) **проміжну зону**, що також називається зоною френелевської дифракції, де на монотонне загасання поля за законом $1/R$ накладається коливальне, загасаюче зі збільшенням відстані колювання. У цій зоні всі члени рівнянь, що залежать від відстані, мають приблизно однакову величину;

з) **дальню зону**, що також має назву хвильової зони або зони фраунгоферової дифракції, яка знаходиться від антени на відстані

$R \geq 2 \cdot a^2 / \lambda$ (a – максимальний розмір антени). У цій зоні поле

загасає монотонно за законом $1/R$, має локально плоский характер, а напрямок поширення збігається з напрямком радіус – вектора $\mathbf{R}$.



φ - азимут, θ - кут місця

Рисунок 1.5 – Поле диполя Герца в сферичній системі координат

Як видно з формул, у дальній, хвильовій зоні:

$$H_{\varphi} = j \frac{k \cdot I_0 \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi R} \cdot e^{-jkR}, \quad E_R = 0, \quad (1.5)$$

$$E_{\theta} = j \cdot \frac{\omega \cdot \mu_a \cdot I_0 \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi R} \cdot e^{-jkR} = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} \cdot H_{\varphi}. \quad (1.6)$$

Таким чином, у хвильовій зоні антени електричного і магнітного поля зв'язані співвідношенням:

$$E = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} \cdot H. \quad (1.7)$$

Поле відокремленого симетричного вібратора довільної довжини l у дальній зоні може бути знайдене за формулою:

$$E = j \cdot \frac{60 \cdot I_0}{R \cdot \sin(k \cdot l)} \cdot \frac{\cos(k \cdot l \cdot \cos \theta) - \cos(k \cdot l)}{\sin \theta} \cdot e^{-jkR}, \quad (1.8)$$

де I_0 – струм, що протікає через з'єднувач антени і зв'язаний зі значенням струму в пучності I_{II} співвідношенням $I_0 = I_{II} \cdot \sin(kl)$.

1.2 Основні характеристики антен

Опір випромінювання Z_Σ , визначається як відношення потужності P_Σ , що випромінюється антеною, до квадрата струму в пучності або до квадрата струму на входних контактах антени.

$$Z_\Sigma = \frac{P_\Sigma}{I_A^2}. \quad (1.9)$$

У загальному випадку опір випромінювання має комплексний характер $Z_\Sigma = R_\Sigma + j \cdot X_\Sigma$.

В окремому випадку, для тонкого напівхвильового вібратора $R_\Sigma = 73.1 \text{ ом}$; $X_\Sigma = 42.5 \text{ ом}$.

Вхідний опір $Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} + jX_{\text{вх}}$ визначається як відношення напруги на входних контактах антени до току, що протікає через них, і в загальному випадку також носить комплексний характер. В окремому випадку напівхвильової антени ($l = \lambda/2$) має місце резонанс і при цьому $X_{\text{вх}}=0$, а $R_{\text{вх}}=73.1 \text{ ом}$. Резонанси також будуть мати місце при довжині антени, кратній напівхвилі, тобто $l = n \cdot \lambda/2$.

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) $\eta = P_\Sigma / P_{II}$ визначається як відношення випромінюваної потужності P_Σ до повної потужності P_{II} , що надходить в антену. Повна потужність перевищує випромінювану на величину потужності втрат.

Спрямована дія антен оцінюється за допомогою діаграм направленості (ДН), що представляють залежність інтенсивності випромінювання від напрямку в просторі. Можна визначати ДН антени або «за потужністю», або «за полем». Найчастіше ДН будуються або в полярній (по азимуту φ і по куту місця θ , рис. 5), або

в прямокутній системі координат. Для більшої наочності іноді будуються і тривимірні ДН у просторі. Пелюсток ДН, що відповідає напрямкам максимальної інтенсивності випромінювання, називається **основним пелюстком**, інші пелюстки називаються **бічними**. Для оцінки спрямованих властивостей антени користуються поняттям ширини ДН. Для ДН «по потужності» її ширина рівняється куту, у межах якого інтенсивність випромінювання не падає нижче 50% від максимальної. Для ДН «за полем» ширина визначається за рівнем $1/\sqrt{2} = 0.707$ від максимального значення поля.

Іншим показником спрямованої дії антени є **коефіцієнт направленої дії** (к.н.д.) D , що показує, у скільки разів потрібно було б збільшити потужність випромінювання антени у випадку використання ненаправленої антени замість даної спрямованої, щоб інтенсивність випромінювання в місці прийому залишилася незмінною.

Якщо відомо ненормована ДН антени «за полем» $F(\varphi, \theta)$ і опір випромінювання за струмом в пучності R_{Σ} , тоді к.н.д. обчислюється по формулі:

$$D = \frac{120 \cdot F^2(\varphi, \theta)}{R_{\Sigma}}. \quad (1.10)$$

Коефіцієнт підсилення антени G визначається як добуток к.н.д. антени на неї к.к.д. $G = \eta \cdot D$.

1.3 Особливості роботи в програмі MMANA

Електричне з'єднання дротів здійснюється автоматично, як тільки будуть дорівнювати один одному всі три координати початку або кінця дроту. З'єднання здійснюється тільки при збігу координат початку або кінця дротів, при перетинанні ж їх у просторі в будь-якій іншій точці (крім початку та кінця) не приводить до електричного з'єднання. Наприклад, якщо ви проектуєте вертикальну Т-подібну антену, то недостатньо двох проводів – одного вертикального та одного горизонтального. У цьому випадку не буде контакту із

серединою горизонтального дроту: необхідно три елемента – один вертикальний і підключені до його кінця два горизонтальних.

Сегментація.

Величина **Seg** визначає число точок (**сегментів**), на яке розбивається дріт при моделюванні. Якщо величина Seg встановлена позитивною, від 1 і більше – це режим ручного розподілу на сегменти. Для установки режиму автоматичного розподілу на сегменти досить встановити величину Seg рівної 0 або негативному числу.

Параметри **автосегментації** залежать від величин, встановлених у полях DM1 і DM2. Коли ви хочете одержати автоматичний розподіл на рівні частини, встановіть Seg = 0. У цьому випадку дріт буде розбитий на сегменти довжиною $\lambda / DM2$.

Для підвищення точності моделювання бажано, щоб щільність сегментів була змінною – мінімальною в середині дроту і максимальною на його кінцях. Автосегментація зі змінною щільністю досягається установкою значення Seg рівним -1, -2 або -3. Якщо встановлено -1, то включається режим ущільненого розміщення сегментів на обох краях дроту, причому величина сегментів буде зменшуватись від $\lambda / DM2$ до $\lambda / DM1$. Встановлення -2 - те ж саме, але тільки на початку дроту, -3 - тільки в його кінці.

Параметр EC – **множник ущільнення**, збільшуючи його можна домогтись більш щільного розміщення точок на кінцях дроту. Показує, у скільки разів зменшується розмір сегмента на краю дроту. Припустимі значення 1-64.

Параметр SC (його значення повинне бути більше одиниці, але менше, або дорівнює 3, припустимі дробові значення) – визначає, з якої відстані від краю дроту почне зростати **щільність сегментів**. При SC = 1,001 ущільнення сегментів починається вже від самої середини дроту, при SC = 3 додається тільки по одній точці на початку і кінці (за замовчуванням SC = 2). Не встановлюйте SC = 1, при цьому можливо «зависання» програми.

Джерела.

Ліва нижня табличка описує **джерела**. Прямо під словом PULSE пишеться:

- w1c (джерело в середині першого дроту),

- w1b (джерело на початку першого дроту),
- w1e (джерело наприкінці першого дроту),
- w2c (джерело у середині другого дроту).

Якщо джерело не в середині і не наприкінці, а десь збоку пишеться так:

- w1c4 (джерело, зміщено у напрямку кінця від центра першого дроту на 4 сегменти).
- w2c5 (джерело, зміщено від центра першого дроту в напрямку його початку на 5 сегментів).

Тобто перша буква – завжди w (від *wire* – дріт), цифра – номер дроту, буква за номером (b, c, e) – позначення початку, середини та кінця дроту відповідно, а остання цифра (її може і не бути) – величина зсуву в сегментах від початку кінця або середини. Якщо ви встановлюєте джерело на початок або кінець дроту перевірте, щоб до цього початку або кінця було що-небудь приєднане – або інший дріт, або земля (координата по $Z = 0$).

Навантаження

Під терміном «навантаження» тут розуміється будь-який пасивний зосереджений ланцюг – резистор, реактивність, контур. Розташування і вид навантажень описуються в таблиці **Навантаження**. Положення навантаження задається точно також як і положення джерел у стовпці PULSE. Тип навантаження задається в наступному стовпці вибором з меню, що виникає під лівою кнопкою миші (курсор повинен бути в цьому стовпці): LC, R+jX, S.

При виборі LC можна описати:

- Котушку. Стовпець L - індуктивність у мкГн, у стовпці C=0, у стовпці Q - добротність котушки (0 у цьому стовпці означає котушку без втрат, тобто з нескінченною добротністю).
- Конденсатор (стовпець L=0, стовпець C - ємність у пФ).
- Паралельний коливальний контур. Або заповнивши стовпці L, C, Q, або в стовпці f (MHz) заповнивши тільки L або тільки C, і, не вводячи другий параметр, вказати резонансну частоту контуру в МГц – відсутній параметр буде автоматично підрахований.

При виборі R+jX у відповідних стовпцях просто вказуються активна і реактивна частини опору навантаження в Омах. Для завдання резистора вказується тільки R. При виборі S, встановлюється режим опису Лапласове навантаження. Цей тип навантаження

найбільш корисний для подання складних, комбінованих ланцюгів, які не можуть бути представлені іншими типами навантажень. Цей режим зручний для опису складних послідовно-паралельних ланцюгів з безліччю реактивностей, наприклад багаторезонансних контурів.

Будь-яка комбінація R , L і C може бути представлена Лапласовим типом навантажень. Опис навантаження вводяться як коефіцієнти полінома Лапласа необхідного ланцюга. Перший коефіцієнт задається так: чисельник дробі A_0 , знаменник B_0 , другий коефіцієнт A_1 і B_1 і т.д. Принаймні один коефіцієнт знаменника повинен бути ненульовим. MMANA допускає опис полінома (i , відповідно, ланцюга) до 13-го порядку.

Для включення навантаження до складу антени треба встановити мітку у полі Включити навантаження. При відсутності цієї метки описані в таблиці навантаження при моделюванні вважаються відключеними.

Розподіл струмів.

При установці мітки «струми» показується розподіл струму в проводах (для цього попередньо повинно бути зроблено розрахунок антени в закладці Обчислення). Масштаб відображення струмів регулюється відповідним движком. Перегляд розподілу струму по антені досить бажаний.

Ви повинні розуміти, що:

- Основне випромінювання забезпечують ті ділянки, по яких протікає максимальний струм.

- Ділянки мінімуму струму відповідають максимумам напруги, і навпаки.

- Бажано, щоб струми були синфазними, наявність близько розташованих ділянок із протифазними струмами приводить до взаємної компенсації їх випромінювання і зниженню ефективності антени.

- Наявність протифазних струмів у дроті призводить до дроблення його ДН на пелюстки, і, як правило, небажано.

- Відразу бажано переконатися, що жоден нуль струму не на краю дроту (якщо такі є) не попадає між далеко віддаленими сегментами. Якщо таке трапилося, збільште щільність сегментації.

Земля

Навіть коли встановлена реальна земля, MMANA для розрахунку вхідного імпедансу антени приймає ідеальну землю. Реальна земля (з усім її описом) враховується тільки при визначенні поля в дальній зоні, і, отже, при обчисленні підсилення антени і форми її ДН.

Тому при розрахунках в MMANA не можна визначити вплив якості землі на вхідний опір вертикальної антени, що знаходиться на поверхні землі, і відповідно оцінити вплив втрат у системі заземлення на полюс пропускання антени. Іншими словами - обчислюється смуга пропускання при ідеальній землі, а значить вона більш вузька, ніж у реальності, тому що опір втрат реальної землі знижує добротність антени і розширює її смугу. Крім того, варто мати на увазі, що активні частини імпедансів низько висячих (нижче, ніж приблизно 0,25 довжини хвилі) горизонтальних антен будуть трохи менше реальних, оскільки обчислені для ідеальної землі. Це також призводить до неприродно високих коефіцієнтів підсилення низько висячих горизонтальних антен, оскільки земля в моделі діє як ідеальний рефлектор (реально таким не будучи), і поле, створене такою антеною, складається з полем, відбитим від ідеальної землі - подібно двохелементної антени, спрямованої в zenit.

Для завдання простої плоскої і нескінченної реальної землі в MMANA у таблиці **Параметри** землі заповните один рядок – перший стовпець – діелектрична проникність землі, другий – її провідність у мС/м. У четвертому стовпці таблиці запишіть нуль, у третьому -будь-яке число (наприклад, теж нуль), його величина в цьому випадку нічого не означає. Простежте, щоб у полі **ВКЛ** – радіальний тип була відсутня "мітка".

Діаграма направленості

ДН у горизонтальній площині не є плоским розрізом об'ємної ДН. При наявності реальної землі безпосередньо уздовж землі (під нульовим zenitним кутом) ніяка антена нічого не випромінює. У дійсності ж всі ДН (не тільки в MMANA, а взагалі усі) у горизонтальній площині є конічними перерізами об'ємної ДН. Будується така ДН так – беремо певний zenitний кут, і, зберігаючи його постійним, обходимо по азимуту антену навколо. Плоска фігура, що вийшла, і буде конічним перерізом.

Для випадку ідеальної або реальної землі ДН у горизонтальній площині автоматично буде будуватися для зенітного кута, що відповідає максимальному рівню випромінювання. Інше значення зенітного кута задається кнопкою **Зенітний кут**. Це корисно при вивченні випромінювання антени під малими зенітними кутами до горизонту і форми її ДН при цьому в горизонтальній площині. Якщо антена моделюється у вільному просторі, то встановлений автоматично зенітний кут для побудови ДН у горизонтальній площині становить 0 градусів. От у цьому єдиному окремому випадку кіничний переріз збігається із простим плоским перерізом площиною $X-Y$. Через меню **Сервіс**, у ланцюжку **Сервіс - Сервіс і Установки - Зенітний кут** на ДН у вільному просторі можна задати побудову горизонтальної ДН для зенітного кута, що відповідає максимальному випромінюванню.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1.4 Хід роботи

1.4.1 Одержати завдання у викладача.

1.4.2 Відповідно до отриманого завдання необхідно вибрати конструкцію антени, користуючись довідником [1, 2].

1.4.3 Визначити положення антени щодо землі, системи координат у програмі MMANA, і розміри антени. Розрахувати координати початку і кінця кожного дроту.

1.4.4 Включити програму **MMANA-GAL** [3, 4].

1.4.5 На закладці **Геометрія** в таблиці дротів ввести значення початку і кінця дротів, радіус дроту і спосіб сегментації.

У таблиці джерел напруги в стовпці **Pulse** ввести місце розташування джерела.

У стовпці **Phase deg.** поставити фазу напруги джерела (Необхідність у здвику фази напруги живлення виникає при проектуванні антен з активним живленням). У стовпці **Volt. V** поставити напругу джерел живлення. У відміченому віконці "**Авто напр.**" величина напруги автоматично встановлюється рівної $1/(\text{кількість джерел})$.

Закладка **Вид** служить для отримання зображення антени і струмів. Останні, виводяться тільки в тому випадку, якщо антена була розрахована. Зображення антени можна обертати, рухаючи мишею з натиснутою лівою кнопкою по полю із зображенням. Для переміщення антени треба додатково натиснути клавішу Shift (або Ctrl) клавіатури. Обраний дріт зображується стовщеною лінією, а в правому нижньому куті з'являється напівпрозора таблиця з описом координат дроту у прямокутних і полярних координатах.

1.4.6 Перейти на закладку **Обчислення**, що служить для запуску розрахунків і виклику вікон оптимізації, графіків і редактору дротів і елементів. Натиснути на клавішу **Пуск** і спостерігати за результатами обчислень.

1.4.7 Перейти на закладку **Діаграма направленості**. На цій закладці виводяться діаграми направленості. За замовчуванням горизонтальна діаграма виводиться для зенітного кута, що відповідає максимальному посиленню. Змінити зенітний кут побудови горизонтальної ДН можна нажавши кнопку **Зенітний кут**. Для

виклику вікна із тривимірним зображенням діаграми спрямованості нажати кнопку **ЗД ДН**.

1.4.8 Зберегти результати роботи.

1.5 Контрольні питання

- 1.5.1 Електромагнітні хвилі і їх параметри.
- 1.5.2 Залежність між електричним і магнітним полями.
- 1.5.3 Що таке плоскі хвилі.
- 1.5.4 Що таке поляризація електромагнітних хвиль.
- 1.5.5 Класифікація радіохвиль.
- 1.5.6 Що таке електричне поле.
- 1.5.7 Що таке електромагнітне поле.
- 1.5.8 Що таке змінне електромагнітне поле.
- 1.5.9 Напруженість електромагнітного поля і його характеристика.
- 1.5.10 Що таке поляризація електромагнітних хвиль.
- 1.5.11 Що таке азимут і кут місця цілі.
- 1.5.12 Види перешкод.
- 1.5.13 Методи визначення місця розташування об'єкта.
- 1.5.14 Що таке критерії якості розрізнення сигналу

1.6 Перелік посилань

1.6.1 Ротхаммель К. Антенны. Справочник. Издание одиннадцатое, исправленное. Том 1. – М.: ЛАЙТ Лтд., 2007. – 416 с.

1.6.2 Ротхаммель К. Антенны. Справочник. Издание одиннадцатое, исправленное. Том 2. – М.: ЛАЙТ Лтд., 2007. – 416 с.

1.6.3 Гончаренко И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. — М.: ИП РадиоСофт, Журнал "Радио", 2002. – 80 с.

1.6.4 Численное моделирование проволочных антенн: Метод. пособие для курсового и дипломного проектирования по дисциплине "Антенны и устройства СВЧ" для студентов специальности "Радиотехника" / О.А.Юрцев, А.В.Улановский, Д.В.Заневский, Ю.Ю.Бобков – Мн.: БГУИР, 2002. – 78 с.

1.6.5 Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. "Радиотехника" / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред.. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.

Лабораторна робота № 2

**ВИДИ ТА ПРИСТРОЇ УЗГОДЖЕННЯ У ПЕРЕДАВАЛЬНИХ
ТРАКТАХ**

Мета роботи: Вивчити та провести розрахунок параметрів пристроїв узгодження антен з лініями передачі.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Погоджувальні та трансформуючі елементи застосовуються на вході антен, які повинні живитись через погоджений фідер, оскільки лише в цьому випадку потрібне узгодження повних опорів. При використанні настроєних фідерів ці елементи не потрібні: фідери самі служать елементами, що трансформують.

Погоджувальні та трансформуючі елементи використовують не тільки на входах антен, але і як сполучні ланки між декількома вібраторами.

2.1 Дельта-узгодження.

Дельта-трансформатор, охоче застосовують, коли потрібно живити короткохвильовий вібратор через двохпровідну лінію з хвильовим опором 400-600 Ом. За аналогією з розподілом повного опору в напівхвильовому вібраторі, що формується з розподілів струму і напруги, при дельта-узгодженні знаходять дві точки підключення, симетрично розташовані щодо середини випромінювача, де повний опір дорівнює хвильовому опору фідера. Роз'єднуючи для цього проводи фідера, що погоджує ланці надають дельтоподібну форму.

Підключення фідера рівносильне подовженню провідників антени та знижує її резонансну частоту. Тому на розрахунковій частоті випромінювача без дельта-узгодження в місці підключення фідера з'являється індуктивна складова, а у фідері виникають стоячі хвилі. Їх вдається послабити або повністю подавити за допомогою невеликого вкорочення провідника антени розраховуючи на частоту, трохи більше високу, ніж робоча. Виникаюча при цьому ємнісна складова антени дозволяє компенсувати індуктивну складову дельта-узгодження.

2.2 Погоджувальний Т-трансформатор

Т-трансформатор є механічно твердим різновидом дельта-трансформатора і тому особливо зручний для трубчастих випромінювачів, тобто переважно в діапазоні метрових і дециметрових хвиль. У трохи перетвореній формі він застосовується і в обертових короткохвильових випромінювачах (гама- і омега-трансформаторах).

У метровому діапазоні Т-трансформатор не дає ніяких переваг у порівнянні з петльовим вібратором, крім деякої економії матеріалу. Навпроти, внаслідок відводів від випромінювача утворюються реактивні складові, як і у випадку дельта-трансформатора, але через паралельність відводів і провідника антени вони виявляються ще більшими. Виникаючі при цьому труднощі вдаються обходити, застосовуючи петльовий вібратор відповідних розмірів.

2.3 Гамма-узгодження

Узгодження застосовується переважно для живлення симетричних обертових спрямованих випромінювачів безпосередньо через коаксіальний кабель без спеціальних перетворювачів. При цьому стає можливим узгодження опорів Т-трансформатором. Фактично, ланкою що узгоджує є половина Т-трансформатора. Таке рішення представляється небездоганим відносно електричних якостей, оскільки варто було б очікувати, що плечі вібратора будуть збуджуватися неоднаково. Однак на ділі узгодження зарекомендувало себе дуже добре.

Звичайно гамма-трансформатор розраховується на перетворення опорів у пропорції 1:3, тому що в короткохвильових спрямованих обертових випромінювачах вхідні опори становлять усього 20-39 Ом через малі проміжки між деталями. Тим самим забезпечується ефективне підключення загальнодоступних коаксіальних кабелів. Реактивні складові компенсуються за допомогою ємнісних елементів.

2.4. Омега-узгодження

Омега-трансформатор – удосконалений варіант гамма-трансформатора для тих короткохвильових антен, де підбор положення затискної скоби гамма-ланки занадто незручний і небезпечний. В омега-трансформаторі ця скоба нерухома, а

узгодження здійснюється двома змінними конденсаторами поблизу середини випромінювача.

Необхідно забезпечити точний вимір ємності конденсаторів у ході настроювання, а після її завершення доцільно замінити змінні конденсатори постійними тих же ємностей, що були визначені при настроюванні. Для точного відтворення цих ємностей конденсаторні зборки виконують із постійних конденсаторів з малим температурним коефіцієнтом ємності (ТКЕ) - з повітряним діелектриком, слюдяні.

2.5. Чвертьхвильовий трансформатор

Хвильовий опір Z двохпровідної лінії з електричною довжиною $\lambda/4$ пов'язано з її вхідним (Z_E) і вихідним (Z_A) опорами співвідношенням:

$$Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A} \quad (2.1)$$

Це значить, що необхідний хвильовий опір чвертьхвильової лінії завжди повинен рівнятися середньому геометричному обох узгоджуваних реактивних опорів.

Якщо покласти Z_E рівним хвильовому опору наявного фідера, а Z_A - вхідному опору антени, то зазначене співвідношення дозволить визначити хвильовий опір Z чвертьхвильової лінії, що трансформує, необхідне для точного узгодження. Перетворюючи співвідношення, одержимо:

$$Z_E = \frac{Z^2}{Z_A} \quad (2.2)$$

Друга назва чвертьхвильового трансформатора Q-трансформатор. Така лінія-трансформатор підходить для будь-яких антенних систем із симетричним живленням і будь-якими типами симетричних фідерів. Потрібно лише, щоб відповідно до величини хвильового опору Z трансформатора були потрібні такі її габарити, які дозволили б втілити пристрій у реальності. На практиці ця умова виконується для хвильових опорів у межах 50-600 Ом.

Недолік лінії, що трансформує, полягає в тому, що узгодження неможливо підстроювати після зборки, тому що для цього треба міняти її хвильовий опір у вузьких межах.

В окремих випадках коаксіальний кабель досить корисний при створенні чвертьхвильового трансформатора – наприклад, коли необхідний для перетворення хвильовий опір настільки малий, що його неможливо одержати за допомогою лінії з пари паралельних проводів. При паралельному включенні двох однакових стандартних коаксіальних кабелів їх хвильовий опір зменшується вдвічі, дозволяючи будувати чвертьхвильові трансформатори на 25-37 Ом. Перевага таких ліній полягає в тім, що їх хвильовий опір однаковий на всієї довжині лінії (з урахуванням коефіцієнта вкорочення коаксіального кабелю $V = 0,66$) яка істотно уступає довжині двухпроводної лінії з повітряною ізоляцією.

2.6 Узгодження за допомогою дискретних радіокомпонентів.

Ланки реактивних опорів, тобто котушок індуктивності та конденсаторів дозволяють створювати різні схеми узгодження. Найбільш розповсюдженими елементами схем узгодження є:

- Г-подібний елемент;
- міст Бушера;
- Т-подібний елемент;
- П-подібний елемент;
- резонансний трансформатор.

2.6.1 Найпростіша схема узгодження складається з двох реактивних компонентів (L і C), один з яких підключено послідовно а другий паралельно. До меншого опору компонент підключається послідовно R_s , а до більшого опору - паралельно R_p (рис. 2.1).

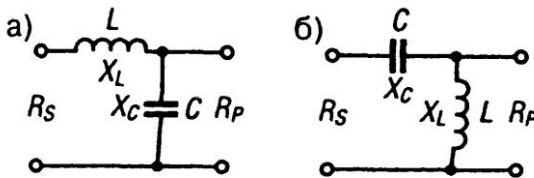


Рисунок 2.1 – Г-подібний узгоджувальний елемент.

2.6.2 Імпеданс антени може бути перетворений також за допомогою комбінації котушок індуктивності і ємностей конденсаторів за схемою моста Бушера (рис. 2.2).

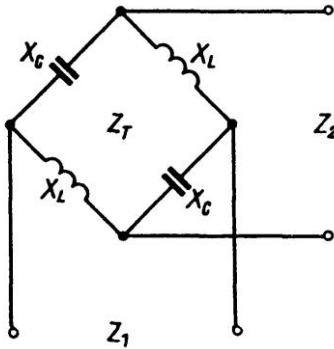


Рисунок 2.2 – Схема моста Бушера.

2.6.3 Т-подібний елемент узгодження застосовується коли необхідно узгодження несиметричного фідера з несиметричною антеною (рис. 2.3).

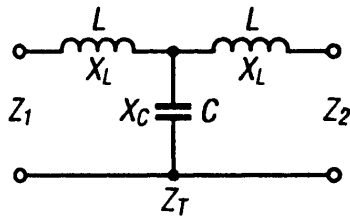


Рисунок 2.3 – Т-подібний узгоджувальний елемент.

2.6.4 Тотожним варіантом Т-подібного елемента є П-подібний елемент узгодження (рис. 2.4).

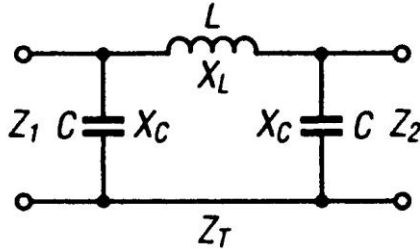


Рисунок 2.4 – П-подібний узгоджувальний елемент.

2.6.5 Резонансне перетворення використовується для перетворення низькоомного опору у високоомне та навпаки. В умовах резонансу $\omega^2 LC = 1$, тому виходячи з рівності потужностей:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2.$$

Резонансний трансформатор буває з індуктивним та ємнісним зв'язком (рис. 2.5).

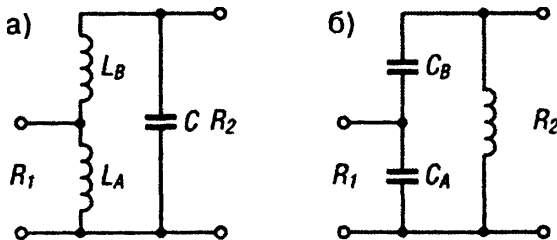


Рисунок 2.5 – Резонансне перетворення: а - індуктивний зв'язок; б - ємнісний зв'язок.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.7 Хід роботи

З завдання до лабораторної роботи №1 отримаємо значення частоти і опору антени при висоті, що завдається.

В антенній техніці застосовують переважно фідери у вигляді пари паралельних дротів, з перетином, що є на рис. 2.6 та коаксіальних провідників (рис. 2.7).

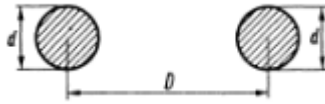


Рисунок 2.6 – Поперечний перетин двохпровідної лінії.



Рисунок 2.7 – Поперечний перетин коаксіальної лінії.

2.7.1. Розрахувати d/D таким чином, щоб опір фідера (Z) відповідало величині з ряду 50, 75,00, 200, 300 Ом на робочій частоті, в залежності от матеріалу.

Після визначення величини d/D розраховується, в залежності от обраного діелектрику, хвильовий опір фідера, або (якщо діелектриком є повітря) хвильовий опір визначається по графікам [2.9.1] на стор. 77-79.

2.7.2. Розрахувати КСХ, КБХ.

КСХ:

$$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}, \quad (2.3)$$

де:

$U_{\max}$, $U_{\min}$ – найбільше та найменше значення напруги у лінії відповідно ($s \geq 1$).

Якщо, лінія узгоджена, в неї можливо розповсюдження тільки прямої хвилі, оскільки на опорі навантаження R_a відбиття не відбувається. У цьому випадку КСХ дорівнює одиниці.

Величина, зворотна КСХ є коефіцієнтом хвилі що біжить КБХ m :

$$m = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}. \quad (2.4)$$

Величину відбитої хвилі характеризує коефіцієнт відбиття КВ:

$$r = \frac{\frac{R_a}{Z} - 1}{\frac{R_a}{Z} + 1}, \quad (2.5)$$

де: R_a - опір антени з лабораторної роботи №1.

У випадку активного опору навантаження R_a (без реактивної частини) КВ також активне. В загальному випадку КВ є комплексною величиною.

2.7.3 Обираємо тип схеми узгодження згідно номеру варіанта і розраховуємо параметри елементів схеми узгодження (стор. 112-116).

Після розрахунку імпедансу перетворювача Z_T , знаходимо значення індуктивності та ємності.

2.7.4 Моделюємо схему узгодження у Electronic Workbench.

Перераховуємо індуктивність і ємність за формулами :

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}, \quad X_L = j\omega L.$$

Після цього перераховуємо усі коефіцієнти.

2.8 Контрольні питання

- 2.8.1 Що таке фідер? Його призначення?
- 2.8.2 Дать визначення КВ, КСХ, КБХ.
- 2.8.3 Які бувають типи схем узгодження?
- 2.8.4 Перелічить види діелектриків. Дати порівняльну характеристику.
- 2.8.5 Що таке відносна діелектрична проникність?
- 2.8.6 Види кабелів. Відмінності.
- 2.8.7 Характеристики високочастотних ліній.
- 2.8.8 Як визначається загасання у високочастотних лініях?
- 2.8.9 Що таке двохпровідна лінія? Її параметри.

2.9 Перелік посилань

2.9.1 Ротхаммель К. Антенны. Справочник. Издание одиннадцатое, исправленное. Том 1. – М.: ЛАЙТ Лтд., 2007. – 416 с.

2.9.2 Ротхаммель К. Антенны. Справочник. Издание одиннадцатое, исправленное. Том 2. – М.: ЛАЙТ Лтд., 2007. – 416 с.

2.9.3 Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. – М.: "Сов. радио", 1967.- 651 с.

2.9.4 Проектирование радиоприёмных устройств / Клич С.М. Под ред. А.П. Сиверса. - М. 1976. - 488 с.

2.9.5 Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. "Радиотехника" / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред.. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк. , 1990. – 496 с.