

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Збірник  
методичних вказівок до лабораторних робіт  
з дисципліни  
"Метеорологічна радіолокаційна техніка"

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Збірник

методичних вказівок до лабораторних робіт  
з дисципліни "Метеорологічна радіолокаційна техніка"  
для студентів 4 курсу метеорологічного факультету

Напрям підготовки - Гідрометеорологія

Спеціальність - Метеорологія

"Затверджено"

на засіданні методичної ради  
інституту  
Протокол N 6 від 5.07.2001р.

Одеса 2001

Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни "Метеорологічна радіолокаційна техніка" для студентів 4 курсу за спеціальністю "Метеорологія"/ Корбан В.Х., Дегтярьова Л.М. - Одеса, ОГМІ, 2001 р. - с.45.

# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНТЕНИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА

Направленістю антени називається її здатність випромінювати або приймати будь-яку кількість енергії по певним напрямках.

Для якісної оцінки направленіх властивостей антени служить характеристика направленості, а для кількісної оцінки – числові параметри: ширина діаграми направленості  $2\theta$ , коефіцієнт направленої дії  $D$  і коефіцієнт підсилення  $G$ .

Характеристикою направленості антени називається залежність напруженості поля (або випроміненої потужності) від напрямку в просторі в рівновіддалених від антени точках. Графічне зображення цієї залежності  $f(\theta, \varphi)$  називається діаграмою направленості.

Для того, щоб мати уяву про просторовий характер діаграми направленості, звичайно знімають діаграми направленості у двох взаємно перпендикулярних площинах, наприклад, горизонтальної і вертикальної. Побудову знатої діаграми направленості можна робити як в полярній, так і в прямокутній системах координат. Під час побудови діаграми направленості у полярній системі координат із полюса (початок координат) під будь-якими кутами ( $\theta$ ) відкладають радіус-вектор, довжина якого пропорційна напруженості поля (або випроміненої потужності) у напрямку даного радіусу, а потім кінці цих радіусів-векторів з'єднують плавною кривою (рис.1.1).

У прямокутній системі координат по осі абсцис відкладується кут ( $\theta$ ), який характеризує напрямок випромінення у відповідній площині, а по осі ординат – величина напруженості поля (або випроміненої потужності), що представлений на рис.1.2.

Діаграми направленості, які виконані в полярних координатах, відрізняються великою наочністю. У прямокутній же системі координат можна вибрати будь-який масштаб по обох осях і більш чітко виявити структуру складних діаграм, розтягнувши їх вздовж осі абсцис. Звичайно широкі діаграми направленості будують у полярній, а вузькі – в прямокутній системі координат.

Для висновку про направлені властивості антени являють інтерес не абсолютні значення параметрів електромагнітного поля, а їх відносний розподіл. Тому на практиці широко користуються нормованними характеристиками направленості, в яких величини напруженості або потужності виражені відносно їх максимального значення:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{f(\theta, \varphi)}{f_{\max}(\theta, \varphi)} .$$

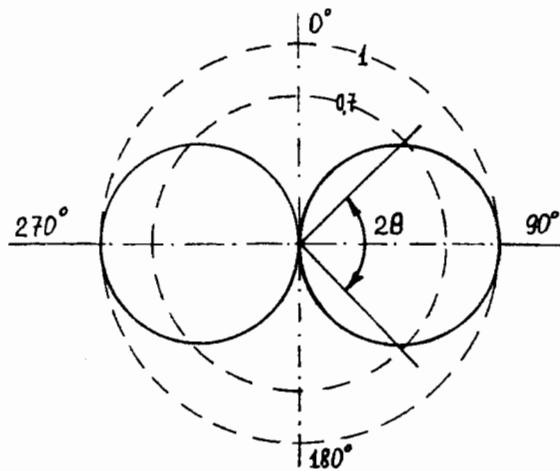


Рис.1.1 - Діаграма направленості антени у полярній системі координат

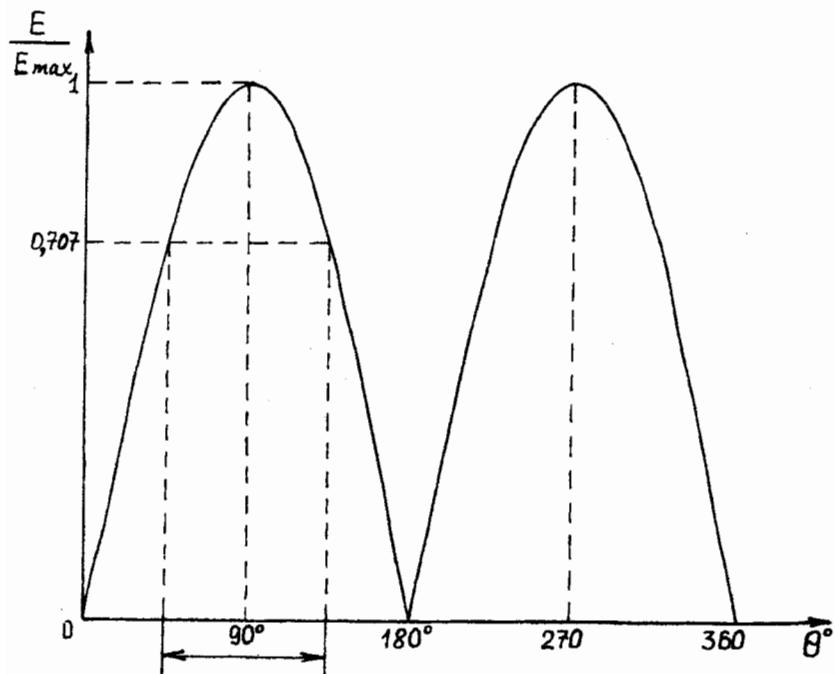


Рис.1.2 - Діаграма направленості антени у прямокутній системі координат

У нормованих діаграмах максимальне значення завжди дорівнює одиниці.

Ширину діаграми направленості ( $2\theta_{0.5}$ ) називається кут між напрямками, вздовж яких напруженість поля зменшується в 0,707 разів у порівнянні з максимальною напруженістю поля (рис.1.2). Якщо діаграма направленості знята по потужності, то ширина діаграми визначається на рівні половини від максимальної потужності.

Симетричний вібратор, що досліджується в роботі, є одним з широко розповсюджених видів антен в діапазонах КХ і УКХ. Симетричний вібратор являє собою прямолінійний, у всередині розділений ізолятором, провід, у якого в симетричних (відносно середини) точках струми рівні по величині і однакові за напрямком. Якщо розподіл струму вздовж вібратора синусоїdalnyj, то для тонкого вібратору характеристика направленості у площині, які проходять через вісь антени (мерідіональних), визначається виразом

$$f(\theta) = \frac{\cos\left(\pi \frac{l}{\lambda} \cos \theta\right) - \cos \pi \frac{l}{\lambda}}{\sin \theta}, \quad (1.1)$$

де  $f(\theta)$  - ненормована функція направленості по напруженості електричного поля;

$\theta$  - кут, який відраховується від осі вібратора;

$l$  - довжина вібратора;

$\lambda$  - довжина хвилі.

Таким чином, форма діаграми направленості симетричного вібратора в мерідіональних площиніх залежить від величини відношення  $\frac{l}{\lambda}$ .

Для півхвилевого вібратора ( $l = 0.5\lambda$ ) характеристика направленості  $f(\theta) \approx \sin \theta$ , тобто діаграма направленості являє собою фігуру, яка нагадує вісімку, що складається з двох кіл (рис.1.3).

Для хвилевого вібратора ( $l = \lambda$ ) нормована характеристика направленості визначається такою формулою

$$F(\theta) = \frac{\cos(\pi \cos \theta) + 1}{2 \sin \theta}. \quad (1.2)$$

У цьому вібраторі спостерігається покращення направлених властивостей у порівнянні з півхвилевим за рахунок двохкратного збільшення загального числа елементарних діполей, які складають симетричний вібратор, кожний із яких має направленість (рис.1.4).

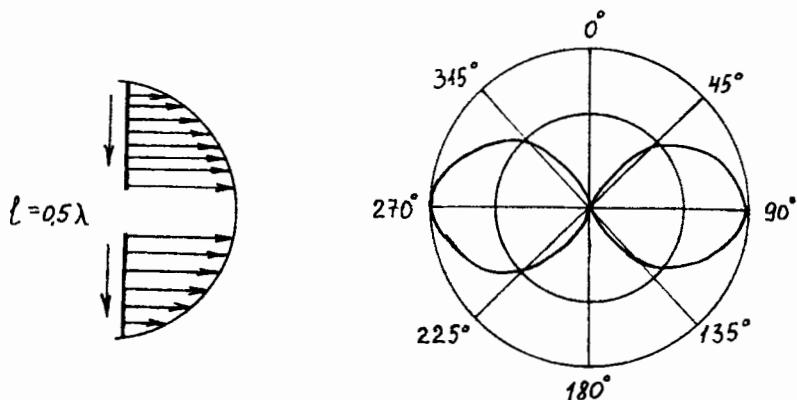


Рис.1.3 - Діаграма направленості симетричного півхвильового вібратору

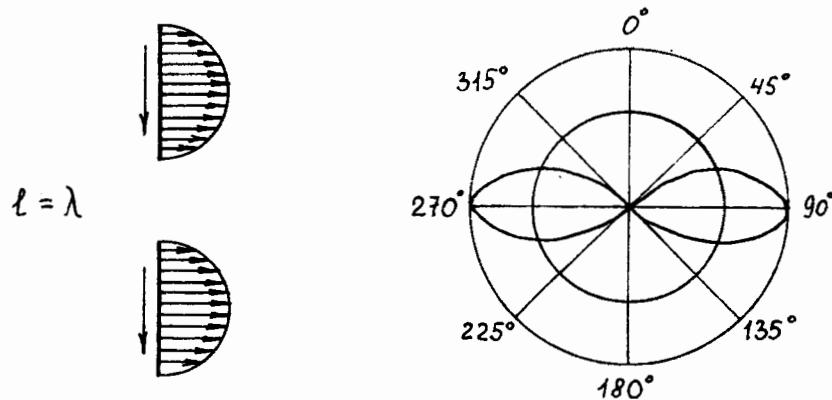


Рис.1.4 - Діаграма направленості хвильового вібратору

Надалі при збільшенні співвідношення  $\frac{l}{\lambda}$  в антені з'являються ділянки з протилежним напрямком струму (рис.1.5 та 1.6), в результаті чого в діаграмі направленості з'являються додаткові пелюстки, а випромінювання в екваторіальній площині ( $\theta=90^\circ$ ) зменшується.

Якщо довжина вібратора  $l = 2\lambda$ , то ділянки із зустрічними напрямками будуть дорівнювати по довжині. Тому випромінювання в екваторіальній площині повністю зникне, бо поля зкомпенсують друг друга, і діаграма направленості буде мати вигляд, який зображений на рис.1.6.

Діаграми направленості, які зображені на рис.1.3 – 1.6, побудовані в припущені тонких вібраторів, тобто таких, у яких діаметр менше довжини. Стослення діаметрів приводить до того, що замість нулів в діаграмах направленості одержуються мінімуми випромінювання, а малі додаткові пелюстки робляться менше помітними.

У площинах, які перпендикулярні осям антени, симетричний вібратор не має направлених властивостей, а, отже, діаграма направленості буде являти собою коло.

Вхідний опір симетричного вібратора має як активну, так і реактивну складові. Якщо довжина вібратора дорівнює або кратна половині довжині хвилі його реактивний опір перетворюється в нуль. Така довжина вібратора називається резонансною.

Точна резонансна довжина вібратора на декілька відсотків менше цілого числа півхвиль. Причиною цієї різниці антен від довгих ліній є наявність випромінювання в антенах, які приводять до такої зміни розподілу стоячих хвиль вздовж вібратора, що в його вхідному опорі при довжині, кратній півхвилі, з'являється індуктивна складова, для компенсації якої довжину вібратора потрібно трохи зменшити.

Коефіцієнт скорочення  $K$ , який показує у скільки разів повинна бути зменшена розрахункова довжина вібратора, може бути знайдений по графікам на рис.1.7а – для півхвилевого і на рис.1.7б – для хвилевого вібраторів.

Розглянемо приклад з використанням графіків. Нехай потрібно знайти геометричну довжину півхвилевого вібратора діаметром 2 мм, який працює на частоті  $f = 375$  МГц. Ця частота відповідає довжині хвилі  $\lambda = 80$  см. По графіку (рис.1.7а) знаходимо, що відношенню

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{800}{2} = 400$$

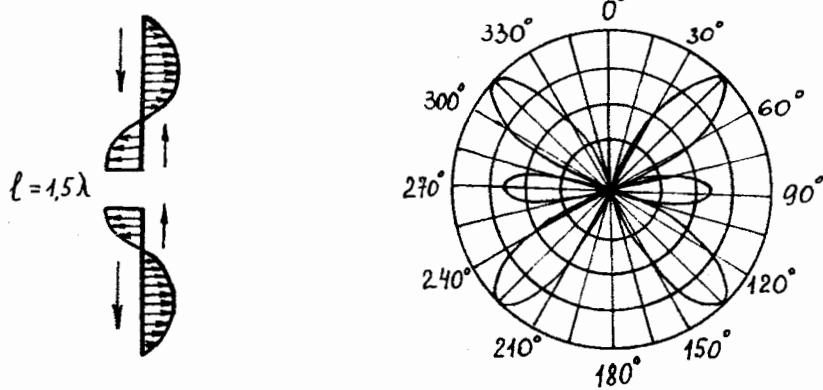


Рис.1.5 - Діаграма направленості вібратору, довжина якого  $1.5\lambda$

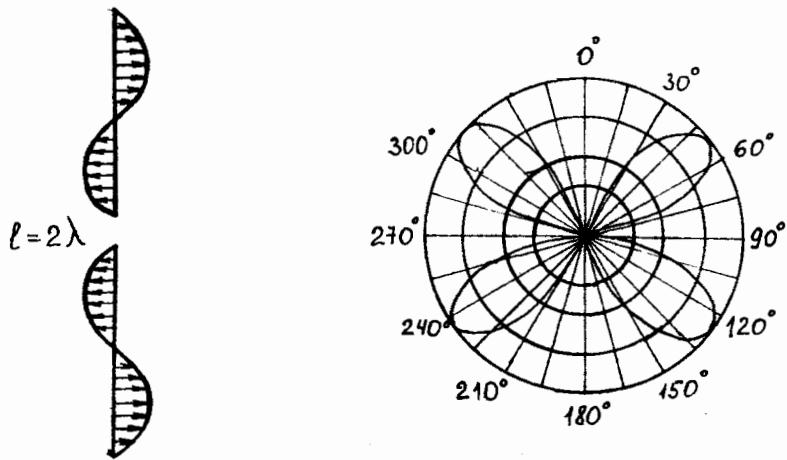
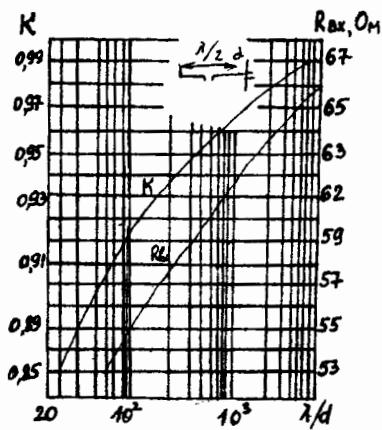
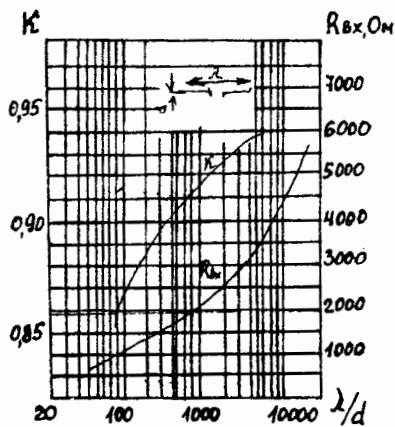


Рис.1.6 - Діаграма направленості вібратору, довжина якого  $2\lambda$



a



б

Рис.1.7 а,б - Залежність коефіцієнта скорочення вібратора від співвідношення  $\lambda/d$

відповідає коефіцієнт скорочення  $K = 0,945$ . Таким чином, скорочена довжина вібратора дорівнює

$$K \cdot \frac{\lambda}{2} = 0,945 \cdot \frac{80}{2} \approx 38 \text{ см.}$$

Якщо змінюється частота сигналу, який приймається, то величина електрорушійної сили на виході симетричного вібратору також буде змінюватися. Це обумовлено, по-перше, зміною реактивної частини вхідного опору антени і, по-друге, зміною характеристики направленості.

Якщо, підтримуючи постійною потужність джерела сигналу, зняти залежність електрорушійної сили від частоти, то одержимо амплітудно-частотну характеристику антени. По формі такої частотної характеристики можна робити висновок про полосу пропускання антени, про її діапазонні властивості.

Резонансні властивості антени залежать від величині її хвилеводного опору, який, у свою чергу, істотно залежить від діаметра вібратора. Із збільшенням діаметру зменшується хвилеводний опір і розширяється полоса пропускання антени.

Фідер, який підводить живлення до симетричного вібратора резонансної довжини, повинен бути узгоджений з ним, тобто хвилеводний опір фідера повинен дорівнювати вхідному опору вібратора. Якщо ж ці опори відрізняються друг від друга, то між фідером і вібратором включається узгоджуючий пристрій. Крім того, якщо симетричний вібратор живиться від несиметричного фідера у вигляді коаксіальної лінії, то крім узгодження вхідного опору вібратора з хвилеводним опором фідера, необхідно зробити симетрування, тобто забезпечити електричну симетріюожної половини вібратора відносно заземленої оболонки фідера. Для рішення цієї задачі фідер підключається до антени через спеціальний симетрючий пристрій.

Напруженість електричного поля, яка створюється антеною, характеризується не тільки амплітудою і фазою, але і поляризацією.

Плошиною поляризації хвилі вважається площа, яка проходить через напрямок її розповсюдження і вектор напруженості електричного поля.

Поляризація хвиль, які випромінюються симетричним вібратором, визначається його положенням у просторі. Вертикально розташований вібратор випромінює вертикально поляризовані хвилі, горизонтальний вібратор – горизонтально поляризовані хвилі.

Електрорушійна сила, яка індуктована у приймальному вібраторі, пропорційна проекції вектора напруженості електричного поля на вісь антени. Якщо приймальний вібратор розташований вздовж силових ліній електричного поля, то електрорушійна сила, буде найбільшою. Якщо ж

приймальний вібратор орієнтований перпендикулярно силовим лініям електричного поля, то ніякої електрорушійної сили у ньому індуктуватися не буде. Тому для одержання максимального приймання передаючий і приймальний вібратори повинні бути однаково орієнтовані у просторі.

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРИТОВОГО ЦИРКУЛЯТОРА

Феритові циркулятори широко використовуються у сучасних метеорологічних радіолокаційних станціях, як антені перемикачі при високому рівні потужності. Ці прилади виконуються на основі восьмиполюсних і шестиполюсних високочастотних вузлів. Перш ніж перейти до розгляду роботи феритових циркуляторів, розглянемо явища у підмагнічених ферітах на НВЧ.

Ферит являє собою хімічний сплав оксиду заліза ( $Fe_2O_3$ ) з окисом металів, таких як нікель, марганець, магніт та інші. Основною різницею феритів від інших феромагнітних матеріалів є їх великий питомий опір порядку 10-100 Ом см. Відносна діелектрична проникність феритів на НВЧ має величину порядка  $\epsilon' = 5 \div 15$ , а відносна магнітна проникність, яка має на низьких частотах доволі великі значення, зменшується до величини, що приблизно дорівнює одиниці.

У простіший моделі феромагнітних матеріалів електрони представлені у вигляді дзигів, які обертаючись навколо своєї осі, створюють механічний момент (дія маси електрона) і магнітний момент (дія заряду) - так називаємий сплин. Після прикладення постійного магнітного поля вісь обертання електрону орієнтується по напрямку цього поля. Наявність механічного моменту робить електрон в механічному відношенні подібно дзигі, яка обертається (гіроскопу). Тому, якщо вісь обертання відхилити, то вона не відразу повернеться у вихідне положення, а буде робити так називаему прецесію навколо вихідного положення (подібно коливанню осі дзиги при її відхиленні від вертикального положення) з частотою  $\omega_o$ , яка називається частотою феромагнітного резонансу. Таким чином, під впливом змінного магнітного поля з частотою  $\omega$  будуть відбуватися вимушені коливання електронів, а амплітуда цих коливань буде тим більша, чим більше  $\omega$  до частоти феромагнітного резонансу. Резонансна частота пропорційна постійному магнітному полю  $H_o$  і дорівнює

$$\omega_o = \vartheta H_o, \quad (2.1)$$

де  $\vartheta = \frac{|e|}{m \cdot c}$  - гідромагнітне відношення для спину;

$e$  - величина заряду;

$m$  - маса електрона;

$c$  - швидкість світла.

Звідси резонансна частота в мегагерцах:

$$f_o(MG) = 284H_o(e). \quad (2.2)$$

Властивості феромагнетіка істотно залежать від того, наскільки близька частота впливаючого поля до резонансної частоти  $\omega_o$ . Остання при реально досяжних полях розташована в діапазоні НВЧ. Необхідно відмітити ще одну особливість цього явища, яка пов'язана з тим, що процесія електронного спину відбувається завжди по годинниковій стрілці відносно напрямку поля. Це приводить до того, що право і лівополяризовані хвилі будуть по-різному взаємодіяти з феромагнітним середовищем, яке являє собою сукупність однаково обертових магнітних моментів. Під правополяризованою хвилею (+) розуміється хвиля, вектор поля  $E$  якої, обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на хвилю, що іде вздовж додатнього напрямку постійного магнітного поля  $H_o$ . Відповідно для лівополяризованої хвилі (-) обертання вектора поля відбувається проти годинникової стрілки.

Таким чином, у підмагніченому фериті електромагнітні хвилі кругової поляризації розповсюджуються так, неначе середовище має різні значення  $\mu$  для хвиль будь-якого напрямку обертання. Для лінійно поляризованої хвилі магнітна проникність не може бути визначена скалярною величиною. Вона є тензором. На рис.2.1 показано зміну магнітної проникності ферита для правоополяризованої хвилі  $\mu_+$  в залежності від постійного магнітного поля  $H_o$  при незмінній частоті  $\omega$ . Якщо явище феромагнітного резонансу супроводжується різким зростанням втрат у фериті, тоді магнітна проникність буде комплексною величиною. Дійсна частина  $\mu'_+$  зображена сущільною лінією, уявна – пунктиром. Поблизу  $H_{o rez}$ , яке відповідає  $\omega_o = \omega$ , відбувається різка зміна  $\mu'_+$  і уявна складова  $\mu''_+$  досягає свого максимального значення, що свідчить про максимум втрат при феромагнітному резонансі.

На рис.2.1б показано зміну магнітної проникності ферита для лівополяризованої хвилі  $\mu_-$  у залежності від  $H_o$ . Ця крива іде плавно і втрати у фериті одержуються значно менші і не мають вираженого резонансного характеру. Як видно, тільки для хвилі правого обертання характерний феромагнітний резонанс. Із співвідношення (2.1) випливає, що характер кривих на рис.2.1 зберіжеться, якщо вважати, що змінюються

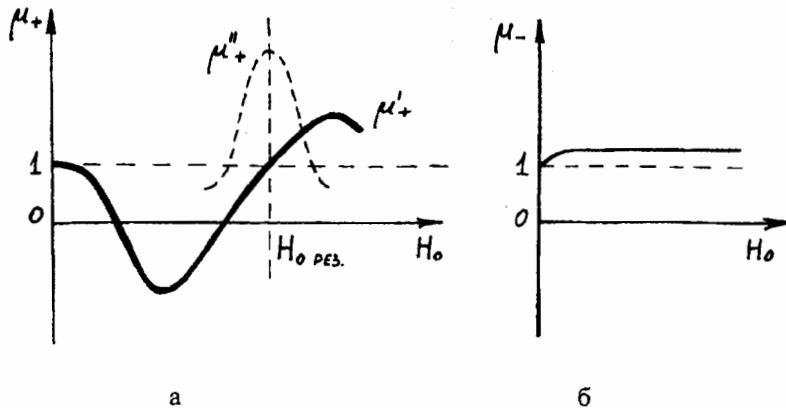


Рис.2.1(а,б) - Зміна магнітної проникності ферита.

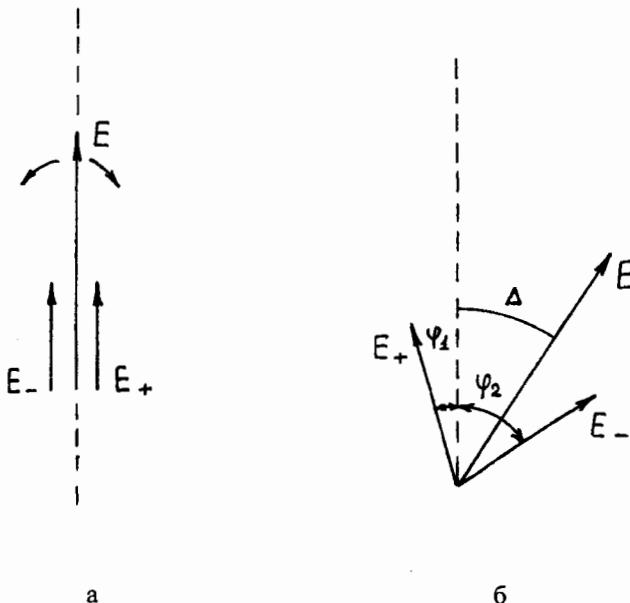


Рис.2.2 (а,б) - Ефект Фарадея

не поле, а частота коливань  $\omega$ . Різні значення величин  $\mu'_+$  і  $\mu'_-$  для одного і того ж значення  $H_0$  свідчать проте, що фазові швидкості розповсюдження хвиль кругової поляризації різного напрямку обертання будуть різними, так як в одному випадку  $v_{op+} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon' \mu'_+}}$ , а в іншому -

$$v_{op-} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon' \mu'_-}}.$$

Лінійно поляризовану електромагнітну хвиллю можна представити у вигляді суми двох хвиль кругової поляризації з протилежними напрямками обертання (рис.2.2а). Внаслідок того, що  $v_{op-} < v_{op+}$ , при розповсюджені лінійно поляризованої хвилі у напрямку вздовж силових ліній постійного магнітного поля відбувається поворот площини поляризації – ефект Фарадея.

Для визначення величини цього поворота розглянемо положення векторів поля в точці, яка віддалена від вихідної в сторону руху хвилі на відстань  $l$  (рис.2.2б). Внаслідок великої швидкості  $v_{op+}$  вектор  $E_+$  відстас від відповідного вектора, що зображеній на рис.2.2а на кут  $\varphi_1$ , який менший кута  $\varphi_2$  поворота вектора  $E_-$ . Тому сумарний вектор  $E$  і, відповідно, площа поляризації хвилі обертається у просторі за годинниковою стрілкою на кут

$$\Delta = \varphi_2 - 0.5(\varphi_1 + \varphi_2) = 0.5(\varphi_2 - \varphi_1) = 0.5 [\beta l \sqrt{\epsilon} \cdot (\sqrt{\mu_-} - \sqrt{\mu_+})], \quad (2.3)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт фази хвилі.

Якісна картина розглянутих явищ зберігається і у тому випадку, коли розповсюдження хвилі відбувається у середовищі, яке частково заповнене феритом, як, наприклад, у круглому хвилеводі. вздовж осі якого розташований циліндричний поздовжно намагнічений феритовий стержень (рис.2.3).

Розглянуті явища в поздовжньо намагнічених феритах використовуються в техніці НВЧ. На рис.2.4 приведено прямокутний хвилевід з феритовою пластинкою, яка установлена паралельно вузькій стінці. Постійне магнітне поле  $H_0$  прикладено поперечно напрямку розповсюдження хвилі у хвилеводі. Якщо у хвилеводі з феритовою пластинкою розповсюджується хвиля  $H_{10}$ , то силові лінії магнітного поля утворюють замкнуті контури, які лежать у площині, що паралельні широким стінкам хвилевода. Поздовжні і пореречні складові магнітного поля зсунуті між собою по фазі на  $90^\circ$ . Це означає, що в будь-якій точці

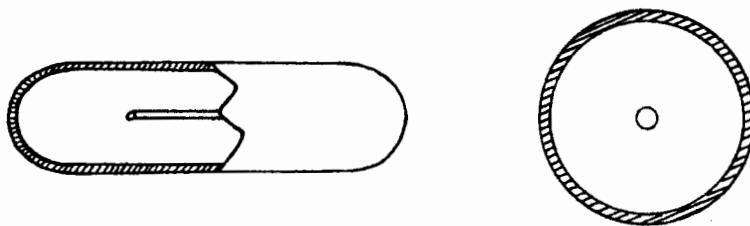


Рис.2.3 - Феритовий стержень у круглому хвилеводі

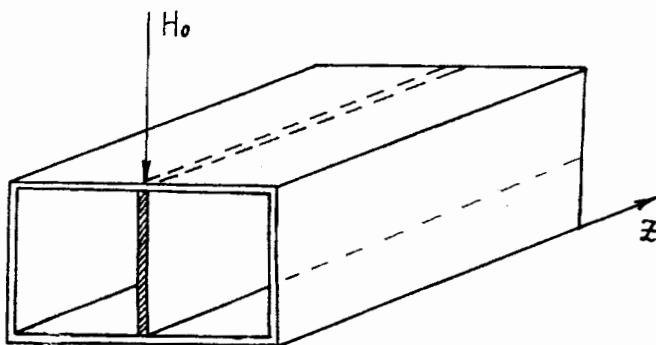


Рис.2.4 - Феритова пластинка у прямокутному хвилеводі

(за винятком точок на осі хвилевода і на його бокових стінках) магнітне поле являє собою поле обертових поляризацій. На деякій відстані від бокових стінок, де амплітуди складових магнітного поля однакові, одержується магнітне поле з круговою поляризацією. Напрямок обертання поляризації залежить від напрямку руху хвилі і від того, з якої сторони від середньої лінії хвилевода знаходиться розглядувана точка. При намагнічуваному полі  $H_o$ , яке орієнтоване, як показано на рис.2.4, осі обертання електронів у фериті орієнтуються вздовж  $H_o$ , тобто перпендикулярно до площини, в якій лежать силові лінії змінного магнітного поля. При цьому, як і в поздовжньо намагнічених феритах, значення магнітної проникності ферита буде залежати від напрямку руху хвилі у хвилеводі. Тому фазовий зсув

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} l \cdot \sqrt{\epsilon'_e \mu_+}$$

хвилі, яка розповсюджується зліва направо вздовж феритової пластини довжиною  $l$ , буде менше, ніж відповідний фазовий зсув

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} l \cdot \sqrt{\epsilon'_e \mu_-}$$

хвилі, яка розповсюджується у протилежному напрямку, де  $\epsilon'_e$  і  $\mu_{\pm}$  - осереднені значення відносних діелектричної і магнітної проникностей ферита, які враховують часткове заповнення поперечного розрізу хвилевода. Пристрої НВЧ, які створюють різні зсуви фаз для хвиль, що розповсюджуються у різних напрямках, називаються пристріями з невзаємним фазовим зсувом або диференціальними. Диференційний фазовий зсув визначається таким чином:

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} l \cdot \sqrt{\epsilon'_e} \cdot (\sqrt{\mu'_{e-}} - \sqrt{\mu'_{e+}}), \quad (2.4)$$

При порівняно товстих феритових пластинках, які намагнічені сильним поперечним полем  $H_o$ , спостерігається ефект зміщення поля. Суть явища полягає у тому, що при одному напрямку розповсюдження хвилі ферит має велику магнітну проникність і концентрує поблизу себе магнітне поле, а при зворотньому напрямку розповсюдження магнітна проникність ферита близька до одиниці і феррит мало впливає на структуру поля у хвилеводі. Рис.2.5а ілюструє розподіл амплітуд

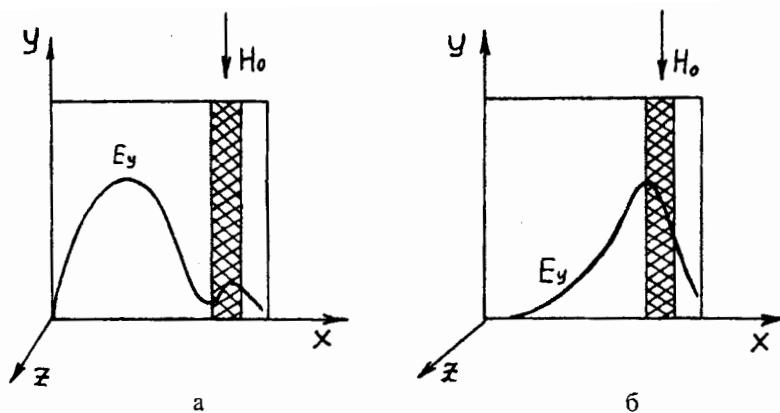


Рис.2.5 (а,б) - Розподіл амплітуди електричного поля у поперечному розрізі хвилевода

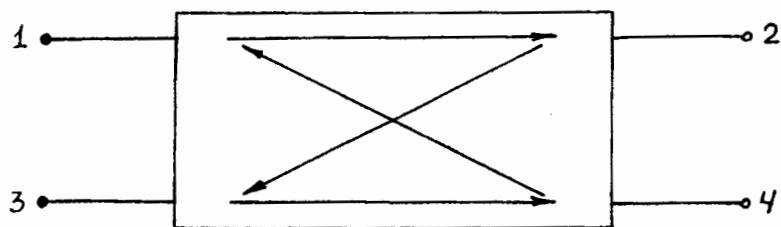


Рис.2.6 - Принципіальна схема чотирьохплечового циркулятору

електричного поля у поперечному розрізі хвилевода для розповсюдження в сторону додатніх  $Z$ , а на рис.2.5б – в сторону від'ємних  $Z$ .

При збільшенні напруженості підмагнічуваного поля  $H_o$  до значень, які близькі до резонансних, затухання хвиль правого напрямку обертання істотно зростає. Це приводить до великої різниці у затуханні хвиль, які розповсюджуються у протилежних напрямках у хвилеводі з поперечно підмагніченою пластинкою. Вказаною властивістю використовується у феритових циркуляторах.

Циркулятор – це багатоканальний пристрій, у якому електромагнітні хвилі розповсюджуються з одного канала в інший тільки у певній послідовності. Принципіальна схема чотирьохплечового циркулятора зображена на рис.2.6, де показані напрямки передачі енергії. Наприклад, з плеча 1 енергія надходить тільки у плече 2, а з плеча 2 – тільки в плече 3 і так далі. У розглядуваному прикладі циркуляція відбувається в послідовності:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ .

У метеорологічній радіолокаційній техніці широке застосування знайшли циркулятори поляризаційного типу, Y - циркулятори і фазові циркулятори.

Поляризаційний циркулятор оснований на використанні ефекта Фарадея в поздовжньо намагніченому ферриті. На рис.2.7. схематично показана конструкція чотирьохплечового хвилеводного циркулятора.

У круглому хвилеводі знаходиться феритовий стержень, який намагнічується поздовжнім полем  $H_o$ . Соленоїд, який створює це поле, на рисунку не показаний. Розміри круглого хвилевода вибираються так, що в ньому можуть розповсюджуватися тільки хвилі типу  $H_{11}$ , а в чотирьох прямокутних хвилеводах, які з'єднанні з круглим, - тільки хвилі типу  $H_{10}$ . Плечі 1 і 2 - це прямокутні хвилеводи, які з'єднуються з круглим хвилеводом в торець, причому площини широких стінок хвилевода 1 і хвилевода 2 повернуті навколо осі круглого хвилевода на  $45^\circ$  відносно друг друга. Хвилеводи 3 і 4 розгорнуті також на кут  $45^\circ$  (рис.2.7г). Параметри феритового стержня і величина підмагнічуваного поля вибираються так, що на довжині стержня площа поляризації хвилі типу  $H_{11}$  обертається на кут  $45^\circ$ . Якщо поляризація хвилі типу  $H_{11}$  така, як показано на рис.2.7б, то боковий хвилевод 3 знаходиться в положенні пропускання, а торцевий хвилевод 1 - в положенні замикання по відношенню до хвилі  $H_{11}$ . При поляризації хвилі  $H_{11}$ , яка зображена на рис.2.7в, в положенні пропускання знаходиться торцевий хвилевод 1, а в положенні замикання – боковий хвилевод 3. В положенні замикання круглий і прямокутний хвилеводи розв'язані, а в положенні пропускання електромагнітна енергія повністю

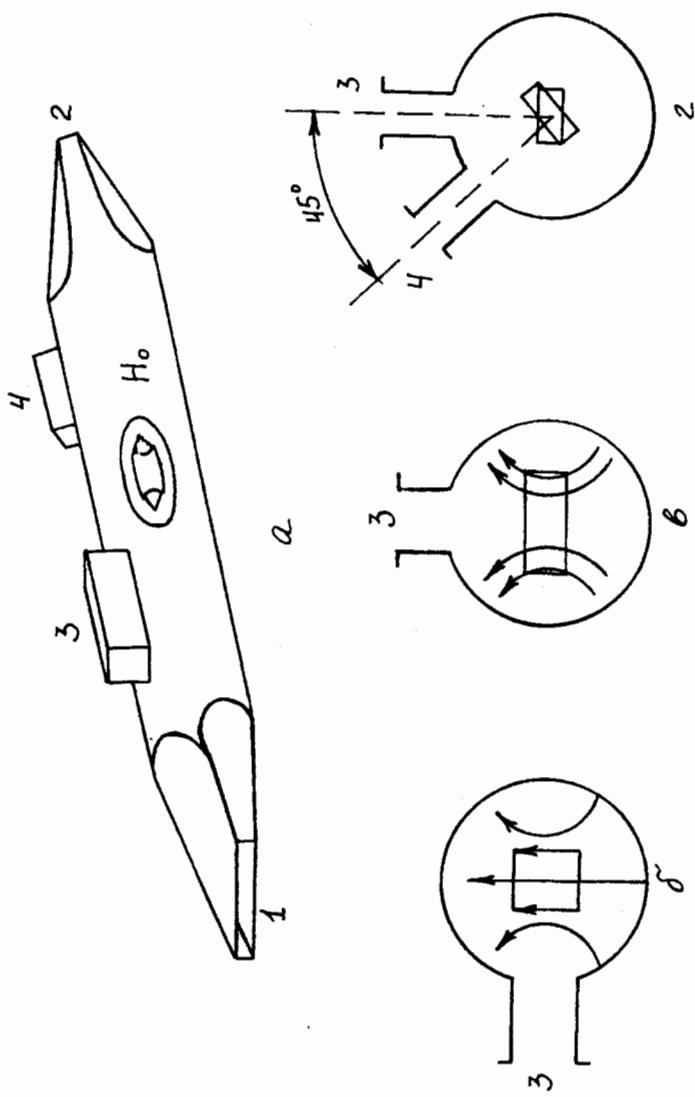


Рис.2.7 - Конструкція чотирьохплечевого хвильоводного циркулятору

переходить з прямокутного хвилевода у круглий і навпаки. Положення замикання і пропускання для хвилеводів 2 і 4 визначаються також, як і для хвилеводів 1 і 3. Під час передачі електромагнітної енергії через циркулятор при підключені генератору до плеча 1 і узгоджених навантажень до інших плеч, плече 3 буде при цьому в положенні замикання. Пройшовши ферит, хвиля типу  $H_{11}$  повернеться проти годинникової стрілки на  $45^\circ$  і буде мати поляризацію, при якій плече 4 знаходиться в положенні замикання, а плече 2 – пропускання. Таким чином, з плеча 1 електромагнітна енергія проходить тільки в плече 2. При підключені генератору до плеча 2 виявляється закритим плече 4.

Пройшовши ферит, хвиля  $H_{11}$  обертається на  $45^\circ$  за годинниковою стрілкою і виявляється в положенні пропускання по відношенню до плеча 3, а до плеча 1 – замикання. Таким чином, електромагнітна енергія з плеча 2 переходить тільки в плече 3. Аналогічним шляхом можна показати, що з плеча 3 електромагнітна енергія передається тільки в плече 4, а з плеча 4 – в плече – 1. Матриця розсіювання ідеалізованого чотирьохплечового циркулятору буде мати вигляд:

$$|S| = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (2.5)$$

Оскільки  $S_{21}=S_{32}=S_{43}=S_{14}=1$ , тобто циркуляція відбувається в послідовності  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ . При зміні напрямку підмагнічуваного поля  $H_o$  на зворотнє реалізується послідовність  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ . У циркулятор (рис.2.8) являє собою з'єднання під кутом  $120^\circ$  трьох ліній передачі (хвилеводних, коаксимальних, полоскових). У центрі зчленування ліній знаходиться намагнічений вздовж осі феритовий стержень або диск 4. Якщо б в трійнику не було б ферита, то хвиля, яка надходить в плече 1, ділилася б порівно між плечима 2 і 3. При наявності намагніченого ферита хвілі, які проходять в плечі 2 і 3, будуть суперпозицією двох полів: первинного і вторинного, що перевипромінений феритовим стержнем. Первинні поля в стержнях 2 і 3 в силу симетрії будуть синфазні і однакові по амплітуді. Амплітуди і фази перевипромінених полів в плечах 2 і 3 залежать від розмірів і параметрів феритового стержня. Регулюючи параметри ферита підмагніченим полем, можна добитися, щоб при рівності амплітуд первинні і перевипромінені поля в плечі 2 були синфазні, а в плечі 3 – протифазні. При цих умовах електромагнітна енергія з плеча 1 повністю переходить в плече 2. Так як система симетрична, то коливання з плеча 2 будуть передаватися тільки в

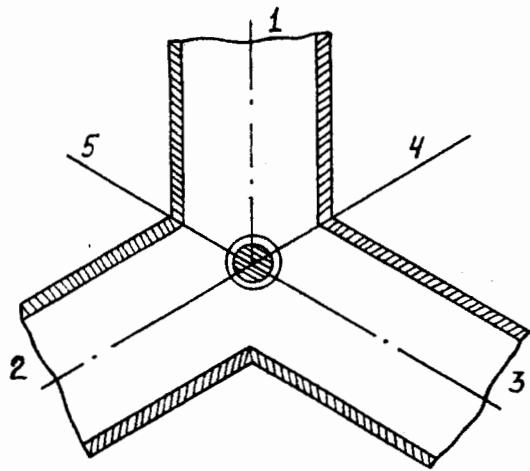


Рис.2.8 - Конструктивна схема Y-циркулятора

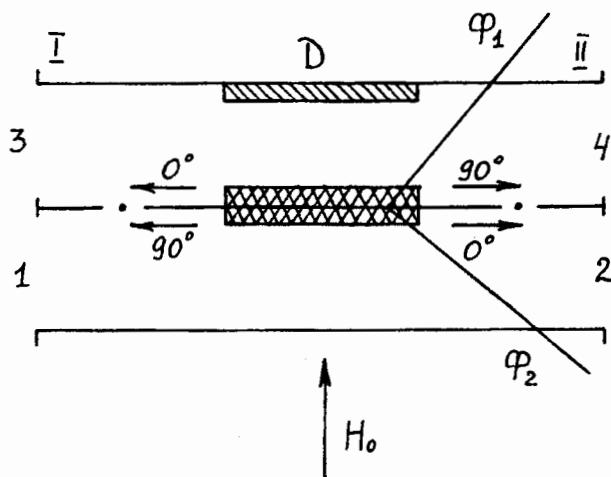


Рис.2.9 - Схема фазового циркулятору з двома хвилевидними щілинними мостами

плече 3, а з плеча 3 – в плече 1, тобто буде реалізована послідовність передачі  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ . При зміні напрямку підмагнічуваного ферит поля, послідовність передачі змінюється на зворотню:  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ .

Фазовий циркулятор з двома хвилеводно-щілинними мостами (рис.2.9) складається з двох послідовно розташованих трьохдицибельних хвилеводно-щілинних мостів I і II, двох феритових невзаємних фазообертачів  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ , діелектричної пластини Д. Параметри фазообертачів і поперечне підмагнічуване поле підібрані так, що в одному напрямку створюється зсув по фазі, що дорівнює  $\pi/2$  плюс постійна  $\varphi$ , а при зворотньому напрямку передачі – на кут  $\varphi$ , що дорівнює постійній  $\varphi_1$ , як показано стрілками на рис.2.9. У верхньому хвилеводі за допомогою діелектричної пластинки Д створюється додатковий зворотній фазовий зсув на  $90^\circ$  по відношенню до хвилі у хвилеводі без цієї пластини. При підключені генератору до плеча 1 першого щілинного мосту енергія ділиться порівно між верхнім і нижнім хвилеводами і не надходить в плече 3 в силу направленості мосту. При діленні в першому мосту фаза хвилі у верхньому хвилеводі відстає на кут  $90^\circ$ , а пройшовши далі по невзаємному фазообертачу, випробує додаткове відставання по фазі на кут  $90^\circ$  і ще на  $90^\circ$  за рахунок діелектричної пластини, в той час як у нижньому хвилеводі хвilia цих фазових зсувів не одержує. Пройшовши ділення у другому щілинному мості, обидві хвилі випробують додатковий фазовий зсув на  $90^\circ$ . У підсумку, в плечі 4 другого мосту обидві хвилі випробують зсув фаз  $90^\circ$  і відповідно  $270^\circ$ , тобто стають протифазні, а в плечі 2 – зсуви фаз  $0^\circ$  і  $360^\circ$ , тобто синфазні. Таким чином, енергія з плеча 1 надходить тільки в плече 2. Аналогічним чином можна показати, що з плеча 2 енергія надходить в плече 3 і т.д. Отже, у розглянутому фазовому циркуляторі реалізується послідовність  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ . Найбільш простим циркулятором мостового типу є Y – циркулятор з передачею енергії  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ . У мостових циркуляторах не вся енергія, яка надходить в плече 1 направляється в задане плече, тому що частина енергії відгалужується у інші плечі і загублюється у фериті. Для кількісної оцінки властивостей циркулятора вводяться 2 параметри: величина розв'язки між плечима  $A$  і величина прямих втрат  $L$ . Ці параметри визначаються за допомогою співвідношень:

$$A_{13} = 10 \lg \frac{P_{11}}{P_{31}}, \text{ dB}$$

$$A_{21} = 10 \lg \frac{P_{22}}{P_{12}}, \text{ dB}$$

$$A_{32} = 10 \lg \frac{P_{33}}{P_{23}}, \text{ дБ}$$

$$A_{12} = 10 \lg \frac{P_{11}}{P_{21}}, \text{ дБ}$$

$$A_{23} = 10 \lg \frac{P_{22}}{P_{32}}, \text{ дБ}$$

$$A_{31} = 10 \lg \frac{P_{33}}{P_{13}}, \text{ дБ}. \quad (2.6)$$

З виразу (2.6) випливає, що розв'язка між плечима 1 і 2 є  $A_{21}$ , а прямі втрати -  $L_{12}$ ; розв'язка між плечима 2 і 3 є  $A_{32}$ , а прямі втрати -  $L_{23}$ ; розв'язка між плечима 3 і 1 є  $A_{13}$ , а прямі втрати -  $L_{31}$ . Величина розв'язки між плечима і прямих втрат для заданої конструкції визначаються величиною напруженості магнітного поля і значенням частоти ВЧ-генератору. Для Y-циркулятора розв'язка між плечима при фіксованій частоті до 35 дБ при прямих втратах 0,2 дБ. При цьому коефіцієнт стоячої хвилі зі сторони вхідного плеча не перевищує 1,05. Ці цифри швидко погіршуються із зміною частоти генератора, що живить, тому що порушуються оптимальні співвідношення по амплітуді і фазі між електромагнітними полями у плечах циркулятора. Так, при зміні частоти всього на 1% розв'язка між плечима погіршується у два рази, а прямі втрати зростають. Одночасно збільшуються і відбивання від плеч циркулятора. Y-циркулятори 3-см діапазона працюють при значеннях намагнічуваного поля, які менше резонансного, і визначаються по формулі:

$$H_o = \frac{f}{2,8} . \quad (2.7)$$

Тут  $H_o$  - резонансне значення напруженості магнітного поля, ер (ерстед);

$f$  - частота високочастотних коливань генератору, МГц.

Магнітна система циркулятора виконується на постійних магнітах і є компактною і малогабаритною.

## Лабораторна робота № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНТЕНІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА

Метою роботи є дослідження направленних і діапазоних властивостей симетричного вібратора, ознайомлення з методикою вимірювання характеристик направленності антен.

#### Описання лабораторної установки.

Для дослідження симетричного вібратора на рис.1 приведена схема установки, яка складається з генератора дециметрового діапазона (ГД), що живиться через узгоджений і симетрючий пристрій 1 в передаючу антenu 2, яка використовується, як частотно-незалежна у робочому діапазоні частот.

Дослідною антеною є приймальна антена 3. Вона може обертатися у горизонтальній площині на  $360^\circ$  з відліком кутів повороту по лімбу. Крім того, для дослідження впливу поляризації поля і зняття діаграмами направленості в площині, яка перпендикулярна осі вібратора, обидві антени (передаюча і приймальна) можуть обертатися у вертикальній площині на кут  $90^\circ$ .

Для дослідження впливу геометричних розмірів симетричного вібратора на його характеристику направленості і полосу пропускання в роботі передбачені змінні вібратори різної довжини і діаметру. Щоб уникнути включення дуже довгих і тонких вібраторів, зважаючи на їх малу механічну жорсткість, дослідження вібраторів довжиною  $l=15\lambda$  і  $l=2\lambda$  робиться при переході на більш високу частоту генератора.

Електрорушійна сила з виходу приймальної антени надходить на детектор 4, а випрямлений детектором струм вимірюється мікроамперметром 5 магнітоелектричної сили. Наближенно можна вважати, що показання приладу пропорційні потужності, що приймається, або квадрату напруженості поля. Фільтр нижніх частот, який включається в проводи, що йдуть до приладу, розв'язує мікроамперметр і антenu по високій частоті (рис.2).

У лабораторній роботі діаграми направленості дослідних антен знімаються в режимі прийому, що більш зручніше, ніж в режимі випромінювання.

Діаграма направленості антени є характеристикою, яка не залежить від відстані. Дляожної антени під час знімання діаграмами направленості

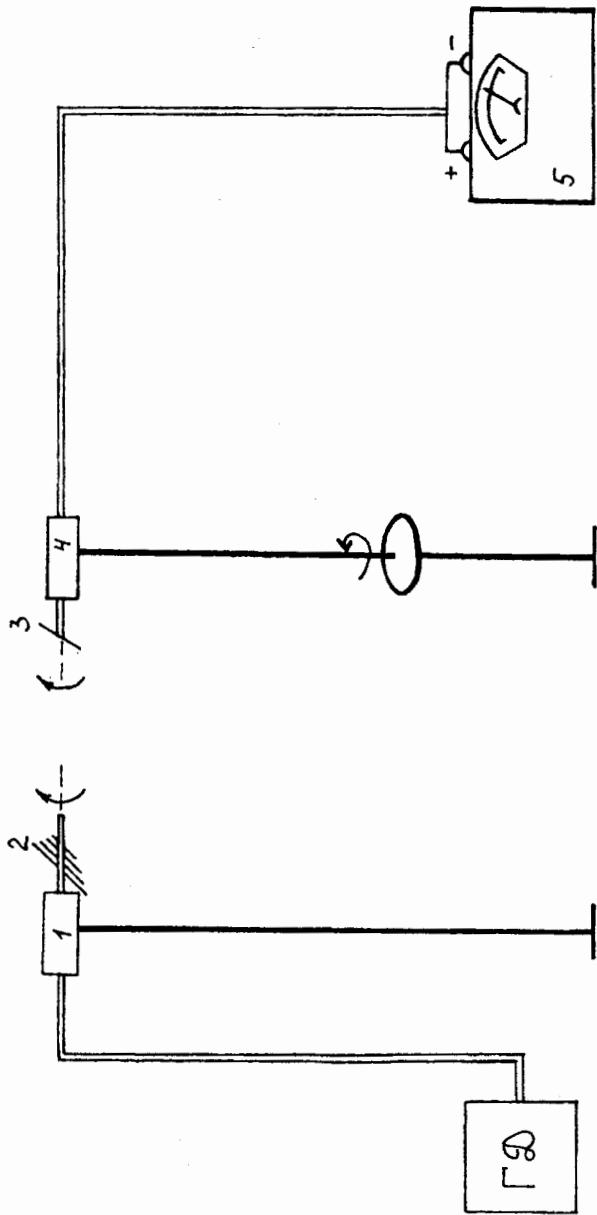


Рис.1 – Схема установки симетричного вібратору

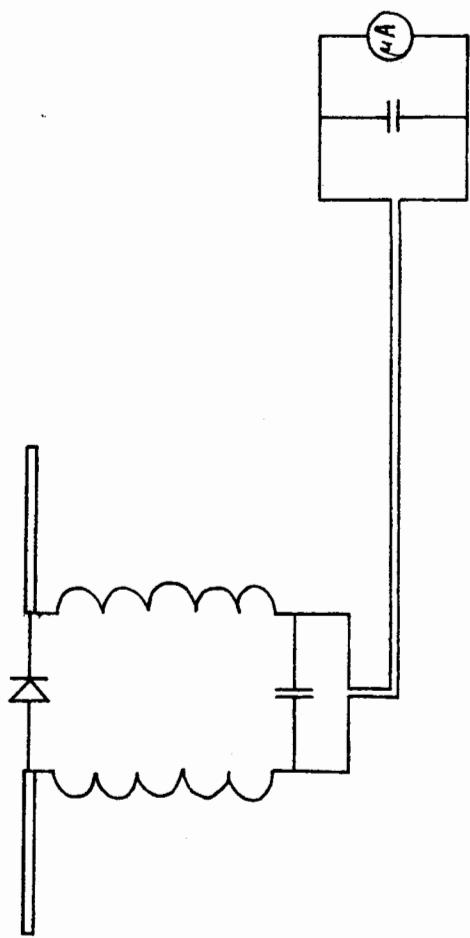


Рис2 – Схема фільтру низьких частот

можна підібрати мінімальну відстань між передаючою і приймальною антеною, при якій діаграма направленості практично одержується такою ж, як і на безконечно великій відстані. Для цього відстань між антенами повинна бути такою, щоб дослідна приймальна антена виявилася у дальній зоні випромінення передаючої антени, тобто в області простору, де напруженість поля убиває зворотньо пропорційно відстані. Для дослідних антен у даній роботі – ця відстань повинна бути не менше ( $5 \div 10$ )  $\lambda$ .

Для зняття діаграми направленості в меридіональній площині, яка проходить через вісь вібратора, передаюча і приймальна антени розташовані горизонтально: приймальна антена обертається навколо своєї осі, а передаюча - залишається непорушною.

Для зняття діаграми направленості в екваторіальній площині (перпендикулярній осі вібратора) передаюча і приймальна антени розташовані вертикально, і приймальна антена обертається також ж навколо вертикальної осі.

Під час зняття діаграми направленості необхідно слідкувати за тим, щоб потужність генератору, яка живить передаючу антenu, залишалася постійною. Цю потужність треба підібрати таку, щоб в положенні максимального прийому стрілка індикаторного приладу відхилялася не менше, ніж на дві третини шкали. Для скорочення вирахування нормуванні діаграми дуже зручно установити показання приладу при максимальному відхиленні на 100 поділок. При вимірюванні бокових пелюстків діаграми направленості достатньо фіксувати їх максимуми і мінімуми. Для зняття амплітудно-частотою характеристики антени необхідно установити її у напрямку максимума діаграми направленості. Потім, змінюючи частоту генератора через  $\pm 5$  МГц від основної частоти, зробити запис рівнів сигналів, що приймаються, по показанням мікроамперметра. Полоса пропускання антени визначається при цьому на рівні 0,5 від максимального показання приладу. Як джерело живлення передаючої антени в роботі використовується генератор ГЧ-107.

### Використовувана апаратура.

1. Генератор ГЧ-107.
2. Передаюча антена.
3. Приймальна антена.
4. Узгоджуючий пристрій.
5. Детектор.
6. Мікроамперметр.
7. Фільтр нижніх частот.

### Порядок виконання роботи.

1. По заданим значенням частоти  $f_1$  і діаметру антени  $d_1$  визначити геометричну довжину (з врахуванням скорочення) півхвильового і хвильового вібраторів.

№ варіанту	$f_1$	$d_1$
1	100	2
2	150	4
3	200	3
4	250	5
5	300	2
6	350	2
7	400	2
8	500	1
9	600	1
10	700	1

2. Визначити довжину півхвильового вібратора (з врахуванням скорочення) для тієї ж частоти  $f_1$ , але для більшого діаметру антени  $d_2$ .

3. Визначити електричну довжину (без врахування скорочення) вібраторів довжиною  $l=1.5\lambda$  і  $l=2\lambda$  для заданої частоти генератора.

4. Розрахувати нормовану характеристику направленості вібратора довжиною  $l=\lambda$  в меридіальній площині. Результати розрахунку занести в табл.2.

Таблиця 2 - Нормована характеристика направленості вібратору ( $l=\lambda$ )

$\theta^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$F(\theta)$										

По даним розрахунку побудувати діаграму направленості в полярних координатах.

5. Розрахувати один пелюсток нормованої характеристики направленості вібратору довжиною  $l=2\lambda$  в меридіональній площині. Результати розрахунку занести в табл.3.

Таблиця 3 - Нормована характеристика направленості вібратора  $l=2\lambda$

$\theta, {}^\circ$	20	30	40	50	60	70	80	90
$f(\theta)$								
$F(\theta)$								

По даним розрахунку побудувати діаграму направленості антени в полярних координатах, викреслюючи інші пелюстки симетрично розрахованому.

6. Підготовити генератор ГЧ-107 до роботи.

7. Установити частоту генератора, яка дорівнює  $f_1$ . Зняти діаграму направленості по потужності тонкого півхвильового вібратору, який розрахований у п.1. в екваторіальній площині в секторі кутів від 0 до  $360^\circ$ . Результати вимірювань занести в табл.4.

Таблиця 4 - Результати вимірювань діаграми направленості півхвильового вібратору в екваторіальній площині

$\theta, {}^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$\alpha$											
$\alpha/\alpha_{\max}$											

Де  $\alpha$  - показання індикаторного приладу для даного напрямку;

$\alpha_{\max}$  - максимальне показання приладу.

8. Повернути передаючу антенну на  $90^\circ$  навколо горизонтальної осі так, щоб випромінювалася горизонтальна поляризована хвиля. Переконатися, що відсутнє приймання сигналів при вертикальному розташуванні приймального вібратора. Обертаючи на  $90^\circ$  вісь приймальної антени, спостерігати як збільшуються показання індикаторного приладу.

9. Зняти діаграму направленості тонкого півхвильового вібратору по напруженості поля в меридіональній площині в секторі кутів  $0\div 360^\circ$ . Результати вимірювань записати в табл.5.

Таблиця 5 - Результати вимірювань діаграми направленості півхвильового вібратора в меридіональній площині

$\theta, {}^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$\alpha$											
$\alpha/\alpha_{\max}$											

10. Зняти амплітудно-частотні характеристики півхвильових вібраторів. Результати вимірювань записати в табл.6.

Таблиця 6 - Амплітудно-частотні характеристики півхвильових вібраторів

$f, M\Gamma\mu$	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
$\alpha$										
$\alpha/\alpha_{\max}$										

11. Установити і дослідити хвильовий вібратор, який розрахований у п.1. Зняти його характеристику направленості в меридіональній площині. Результати вимірювань записати в табл.7.

Таблиця 7 - Результати вимірювань діаграми направленості хвильового вібратора в меридіональній площині

$\theta, {}^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$\alpha$											
$\alpha/\alpha_{\max}$											

12. Установити по черзі вібратори, які розраховані у п.3, довжиною  $l=15\lambda$  і  $l=2\lambda$  замість дослідної антени. Орієнтуючі приймальні вібратори на передаючу антенну у напрямку очікуваного максимума діаграми направленості, добитися найбільшого відхилення стрілки мікроамперметра підстройкою частоти генератора поблизу її розрахункового значення і невеликих поворотів дослідних вібраторів в меридіональній площині вібраторів довжиною  $l=15\lambda$  і  $l=2\lambda$ . Результати вимірювань записати в табл.8. і табл.9.

Таблиця 8 - Результати вимірювань діаграми направленості вібратора  $l=15\lambda$  в меридіональній площині

$\theta, {}^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$\alpha$											
$\alpha/\alpha_{\max}$											

Таблиця 9 - Результати вимірювань діаграми направленості вібратора  $l=2\lambda$  в меридіональній площині

$\theta, {}^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$\alpha$											
$\alpha/\alpha_{\max}$											

13. Побудувати нормовані діаграми направленості в полярних координатах по даним п.п. 7, 9, 11, 12. експериментальні діаграми будувати на одному листі з відповідною розрахунковою діаграмою. Висновки і порівняння експериментальних і теоретичних діаграм направленості записати.

14. Для діаграм направленості в меридіональній площині півхвильового і хвильового вібраторів визначити ширину діаграми направленості і порівняти її з теоретичною величиною.

15. Побудувати АЧХ півхвильових вібраторів. Характеристики вібраторів будувати на одному листі у відносних масштабах по осям. По характеристикам графічно визначити полоси пропускання антен. Зробити висновок про залежність полоси пропускання від діаметра вібратора.

### Контрольні запитання.

1. Як розподілені струм і напруга вздовж симетричного вібратора довжиною:  $l = 0,5 \lambda$ ;  $l = \lambda$ ;  $l = 1,5 \lambda$ ;  $l = 2 \lambda$ ?

2. Чим відрізняється нормована характеристика направленості від ненормованої?

3. Яку форму має діаграма направленості симетричного вібратора в площині, яка проходить через вісь вібратора при:  $l = 0,5 \lambda$ ;  $l = \lambda$ ;  $l = 1,5 \lambda$ ;  $l = 2 \lambda$ ?

4. Яку форму має діаграма направленості симетричного вібратора у площині, що перпендикулярна його осі?

5. Як визначається ширина діаграми направленості по напруженості поля і по потужності?

6. Як відбивається на формі діаграми направленості збільшення діаметру проводу вібратора?

7. Що таке амплітудно-частотна характеристика антени?

8. Від чого залежить ширина полоси пропускання вібратора?

9. Для чого робиться скорочення резонансної довжини вібратора?  
Від чого залежить величина скорочення?

10. Чим визначається поляризація поля симетричного вібратора?

### Література.

1. Белоцерковский Г.Б. Антени.- М. - ч.ІІ.- 1980.- с.27-35.

## Лабораторна робота № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРИТОВОГО ЦИРКУЛЯТОРУ

Метою лабораторної роботи є дослідження основних високочастотних параметрів феритового циркулятору.

#### Описання лабораторної установки.

Функціональна схема установки приведена на рис.1.

Феритовий циркулятор (рис.2) складається з двох щілинних мостів  $M_1$  і  $M_2$ , феритового елемента  $\Phi_e$ , секції, яка зсновує фазу, узгоджуваного навантаження (УН), постійного магніта (Пм), здвоєної хвилеводної секції.

Принцип роботи циркулятора оснований на використанні фазових властивостей щілинного моста і невзаємних фазових явищ у феритах. Щілинний міст являє собою два відрізка прямокутних хвилеводів, які мають загальну вузьку стінку, у якій прорізана щілина, що утворює ділянку зв'язку між двома хвилеводами (рис.3).

Властивості щілинного мосту абсолютно однакові з сторони будь-якого плеча при умові, що інші три плеча навантажені на узгоджені навантаження. Якщо в плече 1 подана енергія, то у цьому плечі розповсюджується хвиля типу  $H_{01}$ , яка збуджує на межі щілини хвилі типу  $H_{01}$  і  $H_{02}$ , і мають однакові амплітуди. Ці хвилі у верхньому каналі будуть у фазі, в нижньому - в протифазі. По мірі розповсюдження цих хвиль у здвоєному хвилеводі хвиля типу  $H_{02}$  буде випереджати по фазі хвилю типу  $H_{01}$  за рахунок різниці у фазовій швидкості. Довжина щілини вибирається таким чином, щоб це випередження складало  $90^\circ$ . Після проходження ділянки здвоєного хвилевода, хвилі типу  $H_{02}$  і  $H_{01}$  будуть зсунуті по фазі на  $90^\circ$  перед входом в плече 4 і на  $-90^\circ$  перед входом в плече 3. У результаті складення цих хвиль в плечах 3 і 4 утворюються хвилі типу  $H_{01}$ , які мають різні амплітуди і зсунуті між собою на  $90^\circ$ . При цьому рівень потужностей в плечах 3 і 4 буде одинаковий. В плече 2 енергія розповсюджуватися не буде, тому що перед входом в плече 2 хвилі  $H_{01}$  і  $H_{02}$  знаходяться в протифазі і компенсують друг друга.

Принцип роботи феритового циркулятору полягає у тому, що при подачі енергії в плече 1 вона розгалужується в канали 3 і 4 щілинного моста  $M_1$ . При цьому фаза хвилі у каналі 4 змінюється на

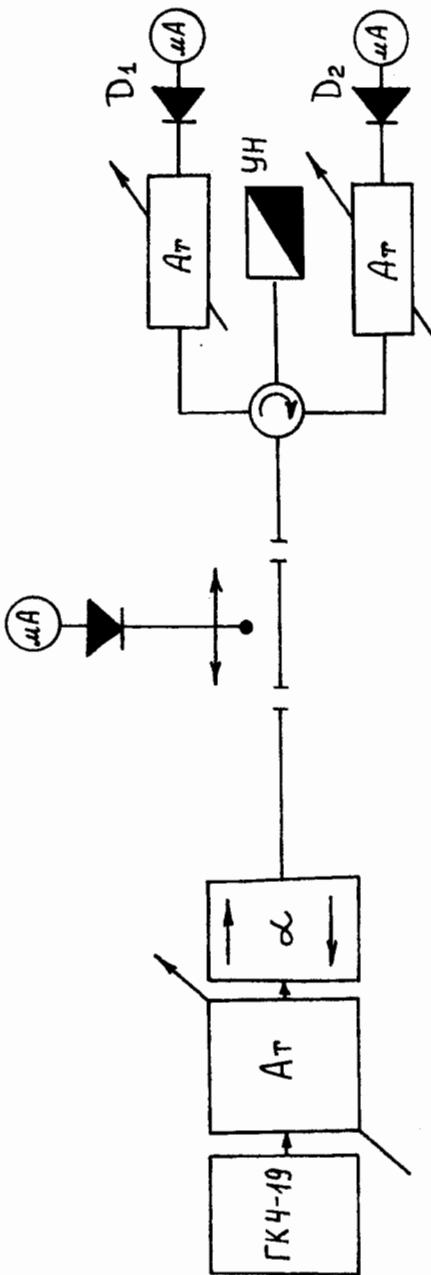


Рис.1 – Функціональна схема установки для вимірювання характеристик циркулятору

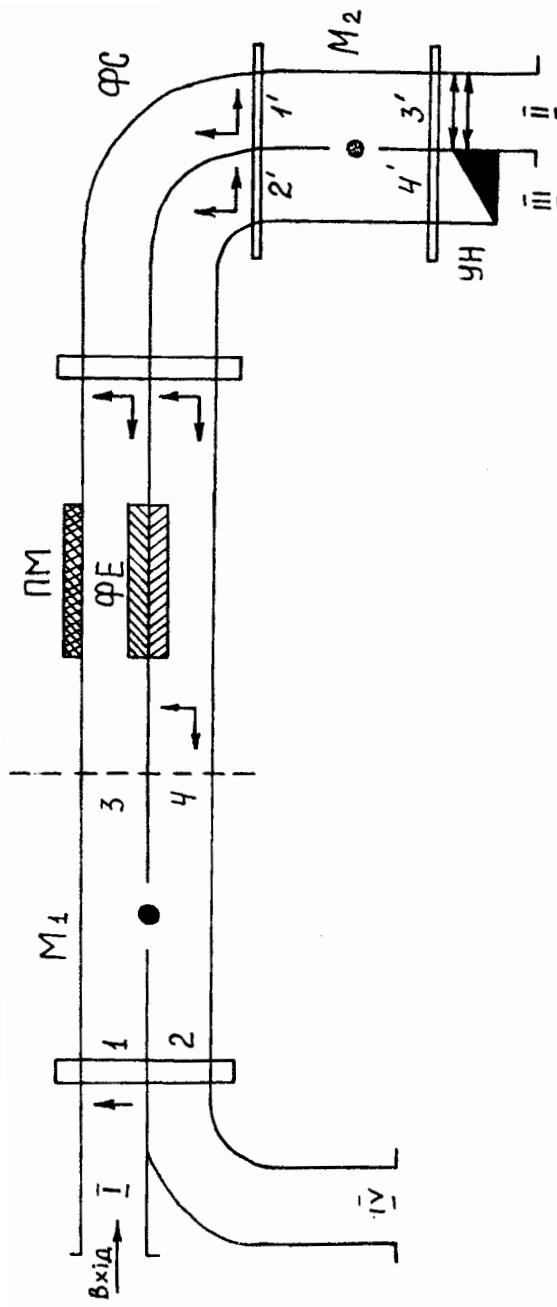


Рис.2 – Функціональна схема феритового циркулятору

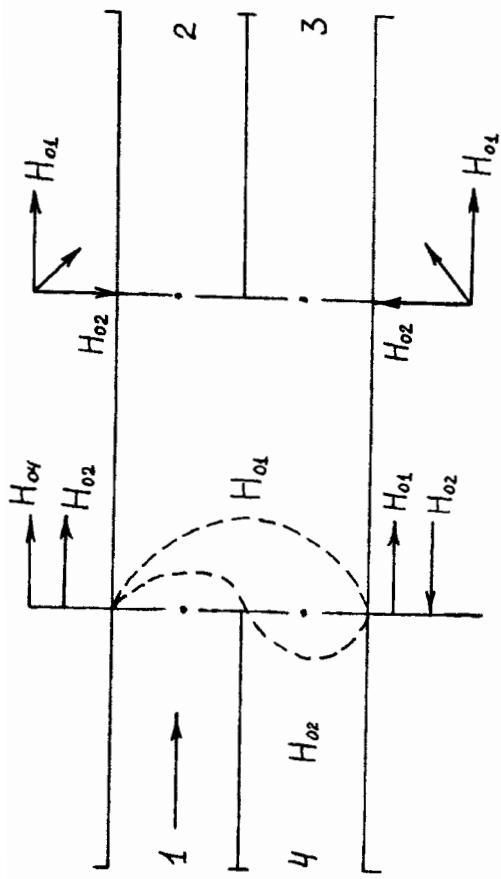


Рис.3 – Функціональна схема хвильевого циліндричного мосту

$90^\circ$  по відношенню до фази хвилі в каналі 3. Полярність постійного магніта вибрана таким чином, що при розповсюджені енергії від входу 1 ферит в каналі 3 змінює фазу хвилі на  $90^\circ$ , а фаза хвилі в каналі 4 залишається незмінною. У результаті проходження енергії через ферити фази хвиль в обох каналах робляться розвиненими. Після проходження через секцію, яка зсновує фазу, фаза хвилі в каналі 3 випереджає (верхній хвилевід) на  $90^\circ$  фазу хвилі в каналі 4 (нижній хвилевід). Підійшовши до другого щілинного мосту з вказаними фазами і пройшовши через нього, вся енергія попадає в плече 3.

### Підготовка установки до роботи.

#### Підготовка прилада ГК4-19А до включення.

1. Перед включенням належить зробити зовнішній огляд приладу, перевірити плавність обертання і чіткість фіксації всіх ручок управління.
2. Перевірити і, при необхідності, переключити блок живлення на потрібну напругу мережі. Перемикання робиться за допомогою колодки перемикача (40) після зняття захисного ковпачка.

*Примітка. Із завода прилад надходить включеним на 220 в.*

3. З'єднати кабелем живлення основний блок приладу з блоком живлення. Кабель підключається відповідно до рознятъ (20) і (41).
4. Поставити тумблер (36) в положення "Викл.". Підключити блок живлення до мережі за допомогою мережевого шнуря, фішка якого вставляється у гнізда (39).

#### Включення приладу.

Перед включенням приладу в мережу необхідно:

1. Повернути ручку "Уст.потужн." (17) до відказу проти годинникової стрілки (положення мінімальної потужності).
2. Тумблер стрілочного індикатора (13) поставити в положення "Струм змішув." щоб уникнути перевантаження індикатору, а тумблер (12) - в положення "Робота".
3. Ручку "Яскравість" (4) повернути до відказу проти годинникової стрілки.
4. Після цього включити мережу, для чого тумблер (36) перевести в положення "Мережа". При цьому повинна сталяхнути сигнальна лампочка (42). Тумблер (37) ставиться в положення "Вентилятор".
5. Дати приладу прогрітися протягом 3-4 хвилин.

#### Попереднє регулювання.

1. Установити хвилеводні перемикачі (18) і (19) в положення "Генер.сигн." або "Вимір. потужн.", атенюатори (21) і (30) поставити

в положення 7 дБ, а граничний атенюатор (23) – в положення максимального затухання. Для цього їх ручки повернути до відказу за годинниковою стрілкою.

2. Перемикач "Вид роботи" (6) поставити в положення "Контроль", ручку "Частота" (7) поставити приблизно в середнє положення, а ручку "Амплітуда позначки" (34) повернути проти годинникової стрілки до упору.

3. Ручками "Яскравість" (4) і "Фокус" (3) відрегулювати на екрані (5) електронно-променевої трубки чітку лінію розгортки, ручкою "Зміщен. X" (2) установити лінію розгортки посеред екрану, а ручкою "Зміщен. Y" (1) - трохи нижче середини.

4. Перемкнути тумблер стрілочного індикатору (13) в положення "Потужність", і ручкою з маркіровкою "Уст. нуля" (10) зкоректувати нуль індикатору потужності при максимальній чутливості.

*Примітка. Під час роботи пристроя ГК4-19А в умовах температури нижче або вище нормальної установки нуля і чутливості допоміжного моста робиться потенціометрами, які відповідно розташовані під ручками з надписом - "Установка нуля" і "Чутливість" (R56 і R54).*

5. Перевірити калібривку індикатору потужності. Для цього тумблер (12) перевести з положення "Робота" в положення "Калібривка"; зкоректувати за допомогою ручки (11) чутливість термісторного мосту до одержання відхилення в 1 мВт. Після цього повернути тумблер (12) в положення "Робота".

#### Робота пристроя як генератора сигналів.

##### а). Установка частоти високочастотних коливань.

1. Поставити хвилеводні перемикачі (18) і (19) в положення "Спектр". Ввести девіацію ручкою (8), повернув її за годинниковою стрілкою. На екрані електронно-променевої трубки повинна спостерігатися зона генерації пристроя, яку обертанням ручки "Напр.відбив." (15) установлюють посеред екрану. Якщо необхідно, то ручкою "Уст.потужн." (17) треба збільшити потужність коливань генератору до одержання зручної для спостереження величини зони генерації.

2. Установити по шкалі хвилеміра (22) потрібну частоту і повернути ручку "Амплітуда позначки" (34) по часовій стрілці. Спостерігаючи на екрані електронно-променевої трубки зону генерації обертати ручку "Устан. частоти" (16) до появи у центрі зони частотної позначки хвилеміру. При цьому належить коректувати напругу відбивача ручкою (15), підтримуючи зону генерації у центрі екрану. Якщо при цьому ручка (15) доходить до упору, то необхідно перейти до іншої зони генерації, повернув ручку у протилежному напрямку. Відрегулювати ручкою (34) амплітуду частотної позначки, яка зручна для спостереження.

3. Поступово вивести девіацію, обертаючи повільно ручку (8) проти годинникової стрілки, і якщо необхідно, коректувати напругу відбивача,

щоб частотна позначка залишалася посеред лінії розгортки. Розстроїти хвилемір на декілька десятків малих ділень шкали. Повністю вивести девіацію, повернув ручку (8) до упору проти годинникової стрілки, після чого генератор буде працювати в режимі немодульованих коливань.

### *Примітка.*

1. Для більш точної установки частоти високочастотних коливань прилад поставити в режим "Каліброка рівня потужності" (пункт "б") і показання індикатору потужності 0,9-1,0 мВт невеликими змінами напруги відбивача добитися різкого падіння показання індикатору (резонанс), що відбувається в момент точної настройки генератору на частоту хвилеміра.

2. При всіх вказаних регулюваннях стрілочний індикатор у залежності від положення тумблера (13) показує чи струм детектора змішувача, чи потужність, яка підводиться до термістора. Не потрібно потужність генератору збільшувати настільки, щоб прилад зашкалював.

3. Якщо температура сильно відрізняється від нормальної (20°C), то для одержання максимальної точності відліку повинна враховуватися від'ємна температурна поправка хвилеміра: - 0,3 МГц / 10°C .

4. Якщо потрібна велика стабільність роботи генератору, то необхідно дати приладу прогрітися не менше півгодини. Крім того, після кожної значної перестройки частоти генератору (більше ніж на 100 малих поділок шкали), робити точне регулювання частоти через 1-2 хвилини.

### **б). Каліброка рівня потужності.**

Переставити хвилеводний перемикач (19) в положення "Контроль". Обережно обертаючи ручку "Устан. потужн." (17), установити початковий рівень потужності 1 мВт. Перед каліброкою рівня потужності завжди рекомендується перевіряти нуль і каліброку індикатору потужності, як це було описано вище.

1. Хвилеводні перемикачі (18) і (19) поставити в положення "Генер. сигн."

2. Підключити до приладу ГК4-19А дослідний пристрій.

3. Установкою розв'язуючих (21), (30) атенюаторів і граничного атенюатора (23) ввести потрібне послаблення в тракт. При цьому необхідно мати на увазі таке. Загальне послаблення складається з послаблення граничного атенюатора, затухання узгоджених атенюаторів і початкового затухання хвилеводного тракту, а також затухання з'єднувальних елементів. Під час роботи з граничним атенюатором необхідно умовою є установка узгоджених атенюаторів в положення 7 дБ.

Для визначення послаблення граничного атенюатора на лімбі останнього є три шкали для відліку послаблення на трьох фіксованих

частотах. Для інших значень частоти величина послаблень визначається шляхом лінійної інтерполяції (або екстраполяції) по двом відлікам.

*Приклад 1.*

Робоча частота відповідає 110 одиницям. На шкалі 90 відраховано 44 дБ, на шкалі 150 відраховано 42,6 дБ. На 60 одиниць припадає різниця 1,4 дБ.

$$\Delta = 110 - 90 = 20 \text{ одиницям, що відповідає: } \frac{20 \cdot 1,4}{60} \approx 0,5 \text{ дБ.}$$

$$\text{Значення затухання } 44 - 0,5 = 43,5 \text{ дБ.}$$

*Приклад 2.*

На частоті, яка відповідає 20 одиницям, необхідно установити затухання 63 дБ. Якщо по шкалі установити 63 дБ, то по шкалі 90 буде 61,3 дБ. На 60 одиниць припадає різниця 1,7 дБ.

$$\Delta = 30 - 20 = 10 \text{ одиницям, що відповідає } \frac{10 \cdot 1,7}{60} \approx 0,28 \approx 0,3 \text{ дБ.}$$

Отже, необхідно на шкалі 30 установити затухання  $60 - 0,3 = 62,7$  дБ.

При деякому навику роботи ця інтерполяція (або екстраполяція) робиться з достатньою точністю "на око".

Точні величини затухання узгоджених атенюаторів і початкового затухання тракту приводяться на градуйованому графіку, який знаходиться на внутрішній стороні кришки прилада.

Установка рівня каліброваної потужності порядку від 2,5 дБ до 16 дБ нижче мілівату (мВт) робиться по шкалам атенюаторів  $A_1$  і  $A_2$ . При цьому граничний атенюатор уstanавлюється на 0.

Шкали узгоджених атенюаторів  $A_1$  і  $A_2$  відкалибровані на середній частоті діапазону, яка відповідає 90 одиницям. Для інших частот величина послаблення визначається по графіку шляхом лінійної інтерполяції.

*Приклад 3.*

Робоча частота відповідає 120 одиницям. Атенюатор  $A_1$  в положенні 5 дБ. По графіку визначається частотна поправка по послабленню для даного значення шкали на частоті, яка відповідає 150 одиницям, і яка дорівнює, припустимо, 0,4 дБ. Тоді точна величина послаблення буде дорівнювати

$$5 + \frac{0,4 \cdot (120 - 90)}{150 - 90} = 5,2 \text{ дБ.}$$

Частотні поправки  $A_1$ ,  $A_2$ , і величина початкового затухання приводяться на градуйованому графіку, який знаходиться на внутрішній стороні кришки приладу.

4. Щоб одержати на виході максимальний рівень потужності узгоджені і граничні атенюатори потрібно установити на мінімум затухання, і необхідний рівень (некалібраний) потужності регулюється ручкою установки потужності (17). У цьому випадку операція по калібрувані рівня потужності відпадає

#### Підготовка приладу 28-ІМ до роботи.

Під час підготовки приладу до роботи ручки управління необхідно поставити в таке положення:

- ручку перемикача "Діапазон частот" – положення "200 – 10 000";
- ручку "Підсилення" – вліво до упора;
- перемикач "Вольтметр" – положення "Викл.";
- увімкнути шнур живлення в мережу, тумблер "Мережа" поставити в положення "Вкл.", при цьому повинна спалахнути сигнальна лампочка на передній шкалі приладу; дати приладу прогрітися протягом кількох хвилин.

Перед проведенням вимірювань необхідно провести калібрувку прилада, для чого необхідно:

- ручку "Вхідна напруга" декадного атенюатора установити в положення "К";
- помітити відхилення стрілки приладу, а потім перекинути перемикач "Вольтметр" в положення "Вкл." і повільно обертаючи ручку "Підсилення", добитися того ж відхилення стрілки приладу;
- перемикач "Кристал-Болометр" установити в положення "Кристал"; з'єднати вхід підсилювача за допомогою коаксіального кабеля з виходом детекторної секції, яка змонтована на тринозі рупорного випромінювача;
- за допомогою ручок "Вхідна напруга" установити очікувані межі вимірюваних напруг.

#### Використовувана аппаратура.

1. Генератор ГК4-19А.
2. Вимірювальна лінія.
3. Феритовий вентель Е8-24.
4. Атенюатор Д5-21, 2 шт.
5. Детекторна голівка Е7-6, 2 шт.
6. Феритовий циркулятор.

## Порядок виконання роботи.

1. Підготовити до роботи і включити генератор.
2. Ознайомитися з будовою вимірювальної лінії.
3. Ознайомитися з будовою елементів високочастотного тракту (феритовий розв'язуючий вентиль, атенюатори, хвилеводи).
4. Установити по хвилеводу частоту генератора.
5. Зробити калібрування детекторних голівок схеми, тобто порівняти значення вимірюваної потужності НВЧ-коливань (в умовних одиницях) з показаннями індикаторних приладів.

### Порядок градуювання такий:

а). Градуювання детектора вимірювальної лінії.

Для цього вихідний фланець вимірювальної лінії закоротити металічною пластинкою. При цьому в лінії буде чисто стояча хвилля, для якої напруженість поля вздовж лінії застосовується по синусоїdalному закону:

$$E = E_{\max} \cdot \sin K_Z Z, \quad (1)$$

де  $K_Z$  - фазова постійна,

$Z$  - поздовжня координата.

Переміщуючи зондову голівку вимірювальної лінії, знайти положення мінімума напруженості поля, яке у даному випадку відповідає нульовому значенню струму індикаторного прилада. Положення мінімума при цьому бажано б знайти поблизу поздовжнього розміру щілини лінії. Це значення координати  $Z_o$  приймається надалі за умовний кінець лінії - початок відліку фаз.

Потім методом "виделки" (2-х відліків) знайти координату найближчого максимума напруженості поля  $Z_{\max}$  (струм індикатора відповідає повній шкалі приладу).

Різниця координат положення зондової голівки при максимумі і мінімумі струму прилада повинна відповідати чверті довжини хвилі в лінії  $|Z_o - Z_{\max}| = \frac{\lambda_x}{4}$ . Плавно перемішуючи зондову голівку від положення максимума до мінімума, занести в табл. I значення координат  $Z_i$ , які відповідають деяким вибраним значенням струму індикатора - 5-10 значень. Для зручності вибрати  $E_{\max} = 100$  одиниць.

Таблиця 1

I	$Z_i$	$Z_o - Z_i$	$\sin 2\pi(z_o - z_i) / \lambda_x$	$E_i = \frac{100 \sin 2\pi(z_o - z_i)}{\lambda_x}$
100				
90				
80				
70				
60				
50				
40				
30				
20				
10				
0				

Розрахувавши величину  $E_i$ , побудувати графік залежності  $E = f(I)$ , який є градуїровочним для детектора лінії.

### 6). Градуювання детекторних голівок $\Delta_1$ і $\Delta_2$ .

Для цього детекторні голівки спільно з атенюатором по черзі під'єднати до вихідного фланця вимірювальної лінії. Регулюючи рівень потужності в схемі за допомогою атенюаторів вимірювального генератору ГК4-19 порівняти показання індикаторних приладів детекторних голівок  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$  з показаннями приладу вимірювальної лінії. По результатам такого порівняння побудувати залежність струмів приладів  $I_1$  і  $I_2$  детекторних голівок  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$  від напруженості поля  $E$ , використовуючи градуїровочну криву  $E = f(I)$ .

6. Виміряти величини розв'язок і прямого послаблення між плечима циркулятора.

$$A_{13} = 10 \lg \frac{P_1}{P_3}, \text{ dB}$$

$$A_{14} = 10 \lg \frac{P_1}{P_4}, \text{ dB}$$

$$A_{21} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \quad \text{dB}$$

$$A_{23} = 10 \lg \frac{P_2}{P_3}, \quad \text{dB} \quad , \quad (2)$$

$$L_{12} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad \text{dB}$$

$$L_{24} = 10 \lg \frac{P_2}{P_4}, \quad \text{dB} \quad . \quad (3)$$

### Контрольні запитання.

1. Якими основними властивостями володіють феритові циркулятори ?
2. Якими параметрами прийнято характеризувати роботу циркуляторів ?
3. Опишіть принцип дії феритових Y-циркуляторів.
4. Перерахуйте основні конструкції циркуляторів.
5. У чому полягає ефект Фарадея ?

### Література.

1. Бова М.Т., Резников Т.Б. Антенны и устройства СВЧ.- Киев, "Вища школа", - 1977.- 150 с.
2. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л. Антенны и устройства СВЧ.- М., Изд-во МАИ.- 1984.- 185 с.

Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни "Метеорологічна радіолокаційна техніка".

Укладачі: д.т.н, доцент Корбан В.Х., к.г.н., ас. Дегтярьова Л.М.

---

Підп. до друку 01.08.01      Формат А5      Палір офс.  
Умовн.друк.арк. 1,5      Тираж 50      Зам. N № 093  
**Надруковано з готових оригінал-макетів**

---

Одеський гідрометеорологічний інститут  
65016, Одеса, вул. Львівська , 15

---