

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ  
ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

**ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни **«Анени та мікрохвильові пристрої та системи»**

з галузі знань:	17	«Електроніка і телекомунікації»
за спеціальністю:	171	«Електроніка»
за спеціалізацією:		«Електронні прилади та пристрої» «Електронні системи»

Укладач: к.т.н., доц. О.А. Щербина

Конспект лекцій розглянутий та схвалений  
на засіданні кафедри радіоелектронних  
пристроїв та систем

Протокол № \_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_ 2017 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Л. Сібрук

## Лекція № 1 (2 години)

Тема лекції: **Вступ. Основні засади, на яких ґрунтуються положення дисципліни.**

### План лекції

1. Введення в дисципліну.
2. Класифікація антенних систем.
3. Параметри антен.

### Зміст лекції

1. Місце дисципліни в системі підготовки фахівця з електронних приладів та пристроїв. Структурна схема радіоканалу. Радіолінія і її прикінцеві елементи. Використання радіоліній в електронних приладах і пристроях. Вимоги до радіоканалу взагалі і до антен зокрема.

2. При вивченні антенних та фідерних пристроїв необхідно виходити з певної їх класифікації. Це обумовлено тим, що конструктивна різноманітність антенних пристроїв настільки велика, що вивчення всіх існуючих типів антен в межах виділеного для навчальної дисципліни часу просто неможливо. Крім того для певної групи антен при правильному їх доборі можна виділити загальні електродинамічні властивості, принципи дії, характерні конструктивні особливості, що дає можливість обмежитися вивчення окремих представників групи.

Студенту необхідно засвоїти класифікацію антенних пристроїв як за конструктивними так і за областю використання.

3. Параметри антен можна поділити на три основні групи:

Перша група – параметри, що характеризують антену за полем випромінювання – група характеристик випромінювання (характеристика спрямованості (ХС) та діаграма спрямованості (ДС), поляризаційна характеристика антени, коефіцієнт спрямованої дії (КСД) і т. ін).

Друга група – параметри, що характеризують антену за інтенсивністю електромагнітних хвиль, які живлять антену (вхідний опір, опір втрат, хвильовий опір антени).

Третя група – параметри, що характеризують антену як перетворювач одного виду електромагнітних хвиль в інший (коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт підсилення антени, опір або провідність випромінювання, частотна характеристика, смуга пропускання частот, діюча довжина, діюча площа, ефективна температура антени і т. ін.).

## **Лекція № 2 (4 години)**

**Тема лекції: Приймальні антени радіо- та телевізійного мовлення.**

### **План лекції**

1. Приймальні антени радіо- та телевізійного мовлення. Антени кілометрових і гектометрових хвиль.
2. Приймальні антени радіо- та телевізійного мовлення. Антени ультракоротких хвиль.

### **Зміст лекції**

1. Піддіпазони радіохвиль. Електромагнітні хвилі, які обмежені частотами від 3 кГц до 3000 ГГц, називаються радіохвилями. Умови поширення радіохвиль суттєво залежать від частоти, так як від неї, як, при інших однакових обставинах, залежить радіопрозорість різних середовищ. Тому рішенням Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) і Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) рекомендовано усі радіохвилі залежно від їх довжини або частоти розподілити по окремих піддіпазонах.

Особливості розповсюдження хвиль різних діапазонів в атмосфері та іоносфері. Це істотно впливатиме на конструкцію антен для відповідних діапазонів і відповідного призначення.

Антени кілометрових і гектометрових хвиль (Г- і Т-подібні). Антени декаметрових хвиль (диполь Надененко).

2. Антени метрового і дециметрового діапазонів. Побудова та принцип дії. Ненапрявлені антени з коловою поляризацією (турнікетна антена). Напрявлені антени (директорна антена, логоперіодична антена).

## Лекція № 3 (2 години)

Тема лекції: **Анени мобільних абонентських терміналів.**

### План лекції

1. Вібраторні і спіральні антени мобільних телефонів.
2. Низькопрофільні і планарні антени мобільних телефонів.

### Зміст лекції

Історія антен стільникових телефонів починалася з телескопічних антен. Наступним кроком в їх розвитку стали малогабаритні антени. Малогабаритні антени стільникових телефонів підрозділяються на вібраторні, спіральні, низькопрофільні і планарні.

1. Ще кілька років тому в стільникових телефонах і стаціонарних радіосистемах широко використовувалися спіральні антени поперечного випромінювання з щільною накруткою спіралі. Габарити звичайних несиметричних вібраторних антен у формі прямого стрижня дорівнюють чверті хвилі прийнятого сигналу. Настільки довгі антени складно вбудовувати в корпус мобільного телефону, тому розробникам потрібно було штучно вкоротити монополь до прийнятної фізичної довжини, зберігаючи при цьому незмінними його електричні розміри. Найбільш ефективний спосіб вирішення цього завдання – заміна прямолінійних провідників спіральними, згорнутими в гвинтову лінію.

2. Широке застосування в радіотелефонах знайшли такі типові низькопрофільні антени як мікросмужкові і F-подібні антени. Конструктивне розміщення антен здійснюється на лицьовій або бічній стороні корпусу.

Популярним варіантом низькопрофільних всеспрямованих випромінювачів є сімейство планарних інверсних L- і F-подібних антен. Першим зразком таких антен можна вважати найпростіший L-подібний вібратор, розташований в перевернутому вигляді ("інверсний") над плоским екраном.

## Лекція № 4 (4 години)

Тема лекції: **Антени супутникового телебачення.**

### План лекції

1. Однодзеркальні антени
2. Дводзеркальні антени

### Зміст лекції

Існує декілька типів систем супутникового зв'язку, які за висотою орбіт поділяються на три класи: LEO (Low Earth Orbit) – з низькими земними орбітами: висоти орбіт від 700 до 1500 км; MEO (Medium Earth Orbit) – з середньовисотними орбітами; GEO – (Geostationary Earth Orbit) – з геостаціонарними орбітами. У сучасному світі є потреба у постійному зв'язку. Існує достатньо велика кількість антен для забезпечення стаціонарного супутникового зв'язку (спіральні, дзеркальні), конструювання та принцип дії яких і буде розглянуто на цих лекціях.

Існує декілька типів побудови дзеркальних антен: однодзеркальні антени (прямофокусні, офсетні); дводзеркальні антени (за схемами Грегорі і Косагрена). Також необхідно розбиратись у побудові опромінювачів дзеркальних супутникових антен.

1. Дзеркальні антени (рефлекторні антени) складаються з опромінювача та відбивача (рефлектора). Рефлектор являє собою поверхню спеціальної форми, виготовлену із провідного матеріалу (металу), і призначена для формування діаграми спрямованості потрібної форми. У більшості випадків її переріз в одній площині відповідає параболічному закону.

Основними елементами однодзеркальної антени є дзеркало (рефлектор) і опромінювач. Джерелом електромагнітних хвиль є опромінювач, який представляє собою слабонапрявлену антену. Фронт хвиль, що створюється опромінювачем, сферичний і хвилі поширюються у бік дзеркала. Призначенням дзеркала є перетворення сферичного фронту хвилі у плоский, що забезпечує формування гострої діаграми спрямованості. Такий принцип дії дзеркальної антени ґрунтується на властивостях параболоїда обертання.

2. Дводзеркальні антени мають у своєму складі два дзеркала (основне та допоміжне) і опромінювач. Опромінювач, як і в однодзеркальній антені представляє собою слабонапрявлене джерело електромагнітних хвиль. Випромінювання опромінювача потрапляє на допоміжне дзеркало і після відбиття від нього спрямовується у бік основного дзеркала, основна функція якого формувати поле випромінювання з плоским фронтом.

## Лекція № 5 (2 години)

Тема лекції: **Анени супутникової системи навігації та зв'язку.**

### План лекції

1. Порівняння супутникових систем навігації
2. Принцип побудови патч антени супутникової навігації.
3. Принцип побудови квадрифілярних антен для супутникового зв'язку

### Зміст лекції

1. Існує достатньо багато систем супутникової навігації: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, IRNSS та ін. і кожна з країн-розробників вдосконалюють ці системи. Необхідно знати переваги та недоліки кожної з систем.

2. В основному як антени приймачів супутникової системи навігації використовують патч антени прямокутної або круглої форм. Прямокутні патч антени можуть бути розроблені за допомогою моделі лінії передачі, що достатньо для антен із середньою шириною полоси пропускання. Патч антени з шириною полоси пропускання менше 1% або більше, ніж 4%, вимагають резонансного аналізу для отримання точних результатів. Але модель лінії передачі охоплює більшість конструкцій. Мода нижчого порядку  $TM_{10}$  збуджується, коли ефективна довжина всієї патч антени є півхвильовою.

3. В діапазонах сантиметрових, дециметрових і метрових хвиль застосовують спіральні антени. Конструктивно такі антени мають вигляд спіралі, один кінець якої вільний, а другий приєднується до центрального провідника коаксіального кабелю. Зовнішня оболонка кабелю приєднується до диска, який служить противагою антени. Крім того, диск виконує функцію рефлектора, зменшуючи випромінювання в задній півпростір.

Квадрифілярна антена – це об'єднання чотирьох спіральних антен, характеристики спрямованості яких в результаті сумування набуває всенапрявленості.

Квадрифілярні спіральні антени добре відомі в антенній техніці. Вони використовуються в різноманітних радіоелектронних системах в якості антен кругової поляризації, які мають достатньо малі габарити і забезпечують направлене однобічне випромінювання.

## Лекція № 6 (4 години)

Тема лекції: **Анени базових станцій транкінгових та стільникових систем рухомого зв'язку.**

### План лекції

1. Ненапрявлені одноелементні антени базових станцій
2. Багатоелементні ненапрявлені антени базових станцій
3. Напрявлені антени базових станцій

### Зміст лекції

За Регламентом Радіозв'язку для систем комунікації з рухомими об'єктами виділені смуги у всіх діапазонах частот. Для сухопутного мобільного зв'язку найчастіше використовують частоти від 25 МГц до 4 ГГц.

Виходячи з напрямлених властивостей, антени поділяють на не напрямлені (з більш менш рівномірним випромінюванням радіохвиль в горизонтальній площині), і напрямлені (випромінювання яких концентрується в окремих секторах горизонтальної площини). В вертикальній площині випромінювання перших і других антен базових станцій зосереджується в кутових секторах, що прилягають до горизонту. Очевидно, що чим менша кутова ширина сектора в вертикальній площині, тим більший радіус робочої зони при незмінній потужності випромінювання.

1. Ненапрявлені одноелементні антени виготовляють на основі симетричних і несиметричних вібраторів. Конструктивно найбільш простою однохвостовою антеною є несиметричний вібратор. Незважаючи на невисокий коефіцієнт підсилення (0 дБ), несиметричний вібратор застосовують досить часто. Особливо це стосується пересувних або тимчасових базових станцій, а також ретрансляторів транкінгових мереж.

2. Вагомим недоліком ненапрявлених одноелементних антен є їх значна ширина діаграми спрямованості в вертикальній площині, що зменшує площу обслуговування станцією, оскільки радіус обслуговування базової станції суттєво залежить від концентрації потоків енергії над поверхнею землі. Для ефективного використання потужності передавача, необхідно встановлювати на базові станції антени з вузькою ДС у вертикальній площині, головні пелюстки якої б були притиснуті до поверхні землі.

Відомо, що вузькі ДС у вертикальній площині формуються багатоелементними антенами, а саме – лінійними антенними решітками, елементами яких можуть бути симетричні вібратори. Виходячи з цих міркувань, передавачі базових станцій часто працюють в комплекті з лінійними антенними решітками. Однією з простих лінійних (колінеарних) антенних решіток є антена Франкліна

3. У стільникових системах зв'язку, в основному, використовують секторні антени, які дають можливість в різних чарунках багаторазово використовувати одну і ту ж частоту при найбільшому числі абонентів. На базовій станції, що обслуговує тільки одну чарунку, встановлюють антени з секторними ДС, що опромінюють чарунку в певному секторі, кут розхилу

якого може становити  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  або  $180^\circ$ . Нині найбільш поширеними секторними антенами є панельні антени.

Це антенні решітки, що конструктивно виконуються як дзеркальні антени з плоским дзеркалом. У горизонтальній площині їх ДС повинна перекривати визначений сектор чарунки, а у вертикальній площині ДС мусить бути гостронапрявленою з максимумом випромінювання спрямованим вздовж лінії горизонту, або ж нахилена під невеликим кутом вниз від лінії горизонту.



## Лекція № 7 (4 години)

Тема лекції: **Анени станцій радіоконтроля та радіомоніторингу.**

### План лекції

1. Цілі і завдання системи радіоконтролю
2. Вимоги до рівнів випромінювань
3. Технічні засоби та обладнання станцій радіомоніторингу
4. Огляд антен станцій радіоконтролю (контрольні та вимірювальні)

### Зміст лекції

1. Постійне зростання інтенсивності використання радіочастотного спектру і його перевантаження завжди супроводжувалася необхідністю вирішення надзвичайно гострих проблем позбавлення взаємних перешкод між радіоелектронними засобами. Це вимагало розробки процедур проведення міжнародної координації всіх систем зв'язку, прийняття міжнародних стандартів на параметри засобів зв'язку, розробки методів контролю діючих систем і методів частотного планування мереж радіозв'язку.

Радіоконтроль є частиною державної системи управління використанням радіочастотного спектру і міжнародно-правового захисту присвоєння радіочастот або радіочастотних каналів. Він здійснюється спеціальною радіочастотною службою при відповідному міністерстві держави. Завдання радіоконтролю складається в забезпеченні загального процесу управління використанням радіочастотного спектру та вирішення проблем, які пов'язані з забезпеченням електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ)

2. В рамках даної теми розглядаються деякі з існуючих стандартів, які встановлюють норми рівнів випромінювання електромагнітного поля.

ГОСТ 12.1.006-84 (СРСР) і ДСНіП № 239-96 (Україна) встановлюють допустимі рівні електромагнітного поля (ЕМП) на робочих місцях і вимоги до проведення контролю електромагнітної обстановки (ЕМО).

В діапазоні частот 60 кГц-300 МГц ЕМП оцінюється напруженістю поля електричної і магнітної складових. Напруженість поля на робочих місцях не повинна перевищувати граничні рівні. Дозволяється перевищення рівня напруженості не більше ніж в 2 рази на час, що не перевищує 50% тривалості дня.

У діапазоні частот 300 МГц-300 ГГц ЕМП оцінюється поверхневою щільністю потоку енергії випромінювання (ППЕ). Максимальне значення ППЕ не повинно перевищувати  $1000 \text{ мкВт} / \text{см}^2$ .

3. Відповідно до завдань служби радіомоніторингу основне призначення засобів радіомоніторингу – це забезпечення:

- постійного або періодичного моніторингу завантаженості спектра в певних смугах частот;
- виявлення та аналіз нових радіовипромінювань;

- оцінка технічних параметрів і визначення характеристик радіовипромінювання;
- пеленгація і визначення місця розташування джерел радіовипромінювання (ДРВ).

Ці завдання вирішуються при складній електромагнітній обстановці і вимагають використання великої кількості технічних засобів, які виконують певні функції і можуть використовуватися як автономно, так і в сукупності з іншими – в складі систем, комплексів, станцій радіомоніторингу.

Засоби радіомоніторингу повинні виконувати безліч функцій, основні з яких:

- панорамний спектральний аналіз смуг і діапазонів частот, радіочастотних каналів, окремих частот в реальному масштабі часу з максимальною швидкістю, розносом по частоті, часу і простору і з адаптацією до електромагнітної обстановці;
- швидкий пошук нових радіовипромінювань, вимірювання їх параметрів, ідентифікація випромінювань, перевірка відповідності параметрів вимогам нормативних документів та умовам дозволів на експлуатацію, а також легальності роботи цих джерел;
- реєстрація параметрів радіовипромінювань та ведення бази даних радіовипромінювань;
- технічний аналіз радіосигналів;
- вимір напруженості електромагнітного поля або щільності потоку потужності;
- знаходження і визначення місця розташування ДРВ;
- вимір додаткових параметрів радіовипромінювання.

4. У складі антен систем радіомоніторингу часто використовуються такі самі антенні елементи, що і у складі телекомунікаційних систем.

За функціональним призначенням антени моніторингових систем можна поділити на три загальні групи: антени виявлення (контрольні); вимірювальні антени; пеленгаторні антени.

Цей поділ умовний, так як калібровані контрольні антени можуть використовуватись як вимірювальні, а направлені вимірювальні антени, в разі використання в режимі обертання, використовуються як пеленгаторні і т.д. Нерухомі пеленгаторні антени здебільшого використовуються як антенні системи.

Класифікація моніторингових антен за діапазоном має такий вигляд: антени ВЧ діапазону; антени ДВЧ/УВЧ діапазону; антени НВЧ діапазону.

Головна відмінність моніторингових антен – робота тільки в режимі приймання.

Через відмінність поширення радіохвиль в різних частотних діапазонах, станції радіоконтролю для діапазону ВЧ і ДВЧ/НВЧ виконуються окремо.

Антенні системи для станцій радіомоніторингу КХ діапазону розгортаються на віддалені від населених пунктів (для прикладу, для

розгортання пеленгаторної антенної системи залежно від смуги робочих частот необхідний майданчик діаметром від 50 до 300 м).

ДВЧ/НВЧ станції радіоконтролю розгортаються безпосередньо на території міст або поблизу. Геометричні розміри антен значно менші, ніж для КХ. Але через складнішу електромагнітну обстановку вимоги з боку ЕМС до антен моніторингу ДВЧ/НВЧ більш жорсткі.

У загальному випадку набір антен для стаціонарної КХ станції радіомоніторингу містить в собі:

- одну пеленгаторну антену з апертурою до 300 м;
- один рамковий радіопеленгатор, що обертається, для смуги частот 2 - 3 МГц;
- одну ненаправлену антену для смуги частот 2 - 30 МГц;
- одну гостроспрямовану антенну систему для приймання горизонтальної поляризованих хвиль;
- одну гостроспрямовану антенну систему для приймання вертикально поляризованих хвиль.

Комплект антен ДВЧ/НВЧ станцій може містити в собі від 2 до 10 антен різноманітного призначення для різних діапазонів хвиль.

В рамках даної тематики необхідно провести окремо огляд контрольних і вимірювальних антен радіомоніторингу ВЧ і ДВЧ/НВЧ діапазонів та пеленгаторних антен.

## Лекція № 8 (2 години)

Тема лекції: **Антени радіорелейних станцій.**

### План лекції

1. Тропосферні радіорелейні системи та радіорелейні системи прямої видимості
2. Антени радіорелейних станцій
3. Антени тропосферних систем

### Зміст лекції

1. Радіорелейні системи – бездротові системи радіозв'язку, в яких сигнали передаються за допомогою наземних ретрансляційних станцій, які поєднані у радіорелейні лінії зв'язку. Ці лінії включають в себе ланцюги приймально-передавальних станцій (кінцевих, проміжних, вузлових), які послідовно здійснюють багатократну ретрансляцію сигналу (приймання, перетворення, підсилення і передавання). За принципом організації зв'язку радіорелейні системи можна поділити на тропосферні (до 300-450 км) та прямої видимості (до 40-50 км).

2. Враховуючи необхідність передавання радіосигналів на значні відстані в радіорелейних системах прямої видимості використовуються антенні системи з вузькою головною пелюсткою ДН у горизонтальній та вертикальній площинах (від 5 до 1,5 градусів). А через необхідність забезпечення постійного надійного зв'язку між певною парою приймально-передавальних радіорелейних станцій, їх антени юстируються та жорстко закріплюються на щоглах, дахах будівель, домінуючих елементах рельєфу. Потужність передавачів радіорелейних станцій не перевищує 30 Вт.

З урахуванням виділених для радіорелейного зв'язку частот здебільшого використовуються дзеркальні антени. Принцип дії дзеркальних антен різних конструкцій було детально розглянуто у попередніх лекціях. В цьому підрозділі необхідно розглянути приклади однодзеркальних антен радіорелейних станцій.

3. На відміну від радіорелейних станцій прямої видимості до засобів тропосферного зв'язку висувуються більш жорсткі вимоги щодо потужності передавачів, чутливості приймачів і особливо щодо параметрів антенних систем. Ці вимоги обумовлені значним затуханням радіосигналу на трасі поширення. Тому для забезпечення надійного зв'язку в тропосферних лініях потужність передавача може сягати 3-10 кВт, а площа антени може перевищувати 1000 м<sup>2</sup>.

З огляду на необхідність концентрації енергії у вузькому промені в системах тропосферного зв'язку використовуються дзеркальні параболічні антени. Через великі розміри дзеркала антени, дзеркало виконують перфорованими або каркасними, між ребрами жорсткості яких закріплені металеві дроти. Крім того, через можливість зміни метеорологічних умов (за порою року, часом доби, кліматичними явищами і т.д.), конструкція антени повинна забезпечувати настроювання кута місця випромінювання.

## Лекція № 9 (4 години)

Тема лекції: **Антені решітки радіолокаційних систем.**

### План лекції

1. Скануючі антенні решітки
2. Особливості фазованих антенних решіток
3. Частотне сканування
4. Фазове сканування
5. Комутаційне керування

### Зміст лекції

1. В системах радіолокації, радіоастрономії, метеорологічного зв'язку існує необхідність у керуванні положенням променя антени у просторі. В деяких випадках достатньо механічного способу, при використанні якого положення ДС в просторі змінюється шляхом обертання всієї антени. Але з ростом коефіцієнта підсилення (і відповідно зі зменшенням ширини ДС) з метою збільшення розрізняювальної здатності антенні пристрої стають все більш громіздкими. Зменшення ширини ДС вимагає підвищення швидкості зміщення променя, щоб огляд заданого сектора відбувався в заданий проміжок часу. Необхідно було створити інші (не механічні) методи керування положенням променя в просторі. Швидкість переміщення променя (сканування) можна істотно підвищити, використовуючи електромеханічні способи керування.

Скануючі антенні решітки – антени, що здатні змінювати положення ДС в просторі або з метою огляду певної ділянки простору, як це використовується в радіолокаційних системах, або з метою створення певної інформації на рухомих об'єктах, що перебувають в полі випромінювання антени. Як приклад застосування скануючих антен з такою метою можна навести мікрохвильову систему посадки літаків (MLS), в якій по моментам опромінення бортових антен визначаються координати літака в просторі.

Антенні решітки, в розкритті яких регулюється фазовий розподіл поля, називаються фазованими антенними решітками (ФАР). Фазовий розподіл може змінюватися за допомогою зміни частоти збуджуючих антену коливань (при частотному скануванні), або за допомогою зміни фази коливань, що збуджують окремі випромінювачі (при фазовому скануванні).

2. Напрямок максимального випромінювання при незмінній відстані між випромінювачами залежить від зсуву фаз струмів суміжних випромінювачів і від довжини хвилі (частоти коливань). Положенням максимального випромінювання можна керувати за допомогою зміни частоти струмів живлення випромінювачів (частотне сканування), або шляхом зміни фаз цих струмів (фазове сканування). Як приклад в даній лекції необхідно розглянути плоскі антенні решітки.

Збільшення відхилення напрямку максимального випромінювання від перпендикуляра до лінії розміщення випромінювачів в решітці розширює головну пелюстку ДС. Оскільки напрям максимального випромінювання

завжди перпендикулярний еквіфазній площині розкриву антени, то можна вважати що зміна зсуву фаз в збудженні випромінювачів в процесі сканування приводить до повороту еквіфазної площини.

3. Частотне сканування дає можливість створювати відносно прості антенні системи з керованим положенням променя. Живлення випромінювачів в антенній решітці здійснюється послідовним або паралельним способами.

Коли потрібно сформувати ДС з головною пелюсткою нульового порядку, то необхідно використовувати лінію передачі з дисперсією. В цьому випадку залежність коефіцієнта сповільнення від частоти забезпечує необхідну зміну фазового зсуву та можливість керування положенням променя в просторі.

Для характеристики якості частотного сканування використовують параметр, який визначається через величину повороту ДС в градусах, що приходить на один відсоток зміни частоти або довжини хвилі. Цей параметр називають куточастотною чутливістю.

4. При фазовому скануванні частота генератора залишається незмінною, а фаза коливань збудження кожного з випромінювачів решітки регулюється за допомогою фазообертачів.

Принцип керування фазовими співвідношеннями в антенній решітці визначається схемою живлення випромінювачів і способом керування фазообертачами.

Живлення випромінювачів може бути фідерним або просторовим. При фідерному живленні кожен випромінювач решітки з'єднується з генератором за допомогою лінії передачі. Розрізняють три основні схеми живлення: послідовну, паралельну і змішану.

5. Антени з комутаційним керуванням поділяють на два типи. Керування фазовим розподілом здійснюється або за допомогою комутаторів, або за допомогою комутаційних фазообертачів. В першому випадку комутатори приєднують випромінювачі до однієї з фідерних ліній, кількість яких дорівнює числу дискретних значень фази. На вході фідерних ліній встановлені фазообертачі, за допомогою яких хвилі струмів живлення набувають необхідні фазові зсуви.

В другому випадку випромінювачі приєднуються до фідера через комутаційний фазообертач. Кожен з комутаційних фазообертачів в своєму складі має комутатор на  $m$  положень. Фазовий зсув визначається тільки положенням комутатора.

## Лекція № 10 (2 години)

Тема лекції: *Вимірювання параметрів антен та антенно-фідерних трактів.*

### План лекції

1. Вимірювання вхідного опору антени
2. Вимірювання напруженості поля випромінювання

### Зміст лекції

1. Існує декілька класичних методів вимірювання вхідного опору антени: резонансний, за допомогою мостових схем, за допомогою вимірювальних ліній, за допомогою рефлектометру та змішані.

Вимірювання вхідного опору антени резонансним методом ґрунтується на використанні якостей коливальних контурів різко змінювати поблизу резонансу струм чи напругу при незначній зміні опору. Для визначення вхідного пору на частотах від самих низьких до десятків тисяч мегагерц широко використовуються мостові схеми. Мостові схеми забезпечують більш високу точність вимірювання. Відрізок фідера, який включає пристрій, що дозволяє виміряти криву розподілу напруги, називається лінією вимірювання. При підключення антени до лінії вимірювання за кривою розподілу напруги у фідері визначають коефіцієнт біжучої хвилі, а звідси знаходять вхідний опір.

2. Для визначення характеристик випромінювання антен (діаграми спрямованості, коефіцієнта підсилення і т.д.) необхідно виміряти напруженість електромагнітного поля. Практично при вимірюваннях визначають завжди напруженість електричного поля. Вимірювання напруженості поля випромінювання антени виконують як на відстанях прямої оптичної видимості від антени, так і в області за горизонтом. На відстанях прямої видимості амплітуда поля у кожній точці має визначену величину. На великих відстанях амплітуда поля часто підпадає під флуктуацію.

Вимірювання напруженості поля роблять за допомогою схеми приймального приладу, що включає калібровані приймальні антени, фідер та приймач. В основі розрахунків напруженості поля лежить теорія приймання радіохвиль.

## Література

1. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. «Анени та пристрої надвисоких частот»: Підручник для ВНЗ/ За ред. Л.Я. Ільницького. – К: Укртелеком, 2003. – 496с.
2. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. «Пристрої надвисоких частот та анени»: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013. – 188с.
3. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слоболлдянюк П.В., Благодарний В.Г. «Анени телекомунікаційних та моніторингових систем», За ред Л.Я. Ільницького. – К., 2012. – 240 с.
4. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. «Анени-фидерные устройства и распространение радиоволн»: Учебник для вузов/ Под. ред. Г.А. Ерохина – 2 изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 491с.
5. «Микроэлектронные устройства СВЧ». Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов/ Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алехин и др./ Под. ред. Г.И. Веселова – М.: Высшая школа, 1988. – 280с.
6. Нефёдов Е.И. «Устройства СВЧ и антенны»: Учеб. Пособие для студ. вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 384с.
7. Справочник по радиоконтролю. Международный союз электросвязи: Женева, 1995. – 442с.
8. Фролов О.П. «Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи». – М.: Радио и связь, 2001. – 416с.
9. Фролов О.П. «Антенны земных станций спутниковой связи». – М.: Радио и связь, 2000. – 376с.
10. Фуско В. «СВЧ цепи». – М.: Радио и связь, 1990. – 228с.