

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання практичних робіт з дисципліни

“ ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ТА ТЕХНІКА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ ”

для студентів 4 курсу гідрометеорологічного інституту

«Затверджено»
на засіданні методичної комісії
факультету КН
протокол № __ від ____ 2015р.
Голова комісії
_____ Л.Б. Коваленко

«Узгоджено»
Декан ГМІ
_____ Овчарук В.А.

«Затверджено»
на засіданні Кафедри АСМНС
протокол № __ від ____ 2015р.
Зав. каф. АСМНС
_____ Б.В. Перелигін

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання практичних робіт з дисципліни

“ ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ТА ТЕХНІКА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ ”

Одеса 2015

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання практичних робіт з дисципліни

“ ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ТА ТЕХНІКА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ ”

для студентів 4 курсу гідрометеорологічного інституту

«Затверджено»
методичною комісією факультету КН
протокол № _____ від _____ 2015р.

Одеса 2015

Збірник методичних вказівок до виконання практичних робіт з дисципліни «Електродинаміка та техніка надвисоких частот» для студентів 4 курсу навчання за напрямом підготовки «Гідрометеорологія».

Укладач: Лімонов О.С., к.т.н., Бучинська І.В., асист. ОДЕКУ, 2015 р., стр. 24.

ЗБІРНИК
Методичних вказівок до виконання практичних робіт
з дисципліни
«Електродинаміка та техніка надвисоких частот»

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Теоретична частина (7 семестр).....	6
Практична частина	7
Практичне заняття №1 «Сутність фізичних закономірностей ЕМП».....	7
Практичне заняття №2 «ЕМП в різних системах координат»	8
Практичне заняття №3 «Змінне електромагнітне поле. Електромагнітна хвиля»	9
Практичне заняття №4 «Граничні умови».....	9
Практичне заняття №5 «ЕМП елементарного вібратора в ближній та далекій зоні»	10
Теоретична частина (8 семестр).....	13
Практична частина	14
Практичне заняття №1 «Вертикальні та горизонтальні антени»	14
Практичне заняття №2 «Антенні решітки»	15
Практичне заняття №3 «Рупорні та лінзові антени»	17
Практичне заняття №4 «Метод зон Френеля»	18
Практичне заняття №5 «Інтерференційний множник Землі»	19
Організація контролю знань та вмінь студента.....	20

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Електродинаміка та техніка надвисоких частот» відносяться до циклу вибіркових дисциплін з підготовки спеціалістів з напрямку підготовки Гідрометеорологія 6.040105 за спеціальністю «Метеорологія», шифр ПДВ: ГМ-9.

Мета курсу: підготовка спеціалістів, які володіють знаннями в області радіометеорологічного та радіолокаційного забезпечення гідрометеорологічного спостереження навколишнього середовища.

Завдання: вивчення дисципліни полягає у засвоєнні методів аналізу електричних, магнітних та радіоелектронних кіл, елементів техніки НВЧ (надвисоких частот), перспективи їх розвитку.

Загальний обсяг навчального часу визначається навчальним планом.

Дисципліна «Електродинаміка та техніка надвисоких частот» є дисципліною, що дозволяє спеціалістам вивчити будову та принцип використання електродинаміки та техніки НВЧ в пристроях отримання та обробки метеорологічної інформації.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

Знати: рівняння електромагнітного поля, елементи техніки НВЧ, характеристики та конструкції антен НВЧ, особливості розповсюдження ЕМХ (електромагнітних хвиль) в навколишньому середовищі.

Вміти: виконувати інженерні розрахунки параметрів ЕМХ, параметри різних типів антен, вплив навколишнього середовища на характеристики МРЛ.

Мати компетенції по застосуванню сучасних засобів оцінювання електромагнітних полів та елементів техніки НВЧ.

Мета методичних вказівок: допомогти студентам засвоїти методику виконання імпедансних розрахунків параметрів електромагнітного поля, параметрів різних типів антен, вплив зовнішнього середовища на характеристики МРЛ.

Збірник методичних вказівок призначені для виконання практичних робіт в 7 та 8 семестрах.

Оцінювання практичних робіт проводиться за результатами розрахунків та усного опитування. Перед початком виконання практичних завдань, необхідно ознайомитись з основними теоретичними положеннями по темі заняття. вміти відповідати на контрольні питання.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. О.С. Лімонов «Теорія електромагнітного поля», конспект лекцій: Одеса Екологія: - 2011.-144с.
2. О.С. Лімонов «Электродинаміка та ТСВЧ », конспект лекцій: Одеса-2014, електронний варіант.

Додаткова:

3. F.R. Connor. Fntenas, Edward Arnold,1995, Great Britain an the Bath Press, Avon.
4. Д.И. Воскресенский «Устройства СВЧи Антенны» М.: Радиотехника, 2006. - 376с.
5. К. Ротхаммель, Антенны, том 1, Додека: 2005. - 410с.
6. К. Ротхаммель, Антенны, том 2, Минск, 11-е издание: 2007. - 414с.

Теоретична частина (7 семестр)

Вивчення теоретичної частини засновано на базових поняттях. В результаті вивчення теорії студент здобуває знання основних і додаткових рівнянь електромагнітного поля, рівнянь електромагнітних хвиль, передавальних систем, елементів техніки надвисоких частот, антенних пристроїв, поширення електромагнітних хвиль. Нижче наведено теми теоретичної частини дисципліни.

1. Направлені системи

1.1 Класифікація. Процеси в лініях передач. Параметри електромагнітних хвиль в передавальних лініях. Сталий режим в лінії. Погоджена лінія. Параметри електромагнітних хвиль в передавальних лініях. Неспотворююча лінія [1], с. 98-105.

1.2 Поняття про спрямовані системи. Неузгоджена лінія. Відрізки коротко замкнутої лінії. Резонансні ланцюги [1], с. 109-114.

1.3 Резонансні кола. Коефіцієнт напруги стоячої хвилі. Графічне рішення рівнянь лінії [1], с. 114-125.

2. Теорія електромагнітного поля(ЕМП)

2.1 Сутність фізичних закономірностей ЕМП Основні рівняння електромагнітного поля. Загальна суть рівняння. Максвела. Інтегральна форма рівнянь Максвела. Рівняння Максвела – узагальнене формулювання експериментальних законів. Закон збереження зарядів. Основні рівняння електромагнітного поля. Перетворення інтегральних рівнянь Максвела в диференціальні. Рівняння безперервності. Щільність сили Лоренца. Матеріальні рівняння [1], с. 5-21.

2.2 ЕМП в різних системах координат. Основні рівняння векторного поля. Основні характеристики векторного поля. Інтегральні характеристики поля. Основні рівняння електромагнітного поля. Загальна суть рівняння Максвела. Інтегральна форма рівнянь Максвела. Рівняння Максвела – узагальнене формулювання експериментальних законів [1], с. 11-16.

2.3 Змінне ЕМП. Електромагнітна хвиля Постановка задачі. Хвильове рівняння. Загальні співвідношення між векторами \vec{E} , \vec{D} , \vec{H} . Фазова і променева швидкості. Змінне електромагнітне поле у діелектрику. Класифікація середовищ на надвисоких частотах. Плоска хвиля у діелектрику. Плоска хвиля напівпровідниковому середовищі. Змінне електромагнітне поле в провідному середовищі. Поширення плоскої хвилі в провідному середовищі. Електромагнітні хвилі в плазмі. Основні характеристики електромагнітних хвиль. Поляризація плоских електромагнітних хвиль. Загальний випадок поляризації [1], с. 55-74.

2.4 Граничні умови. Електростатика. Магнітостатика Енергетичні співвідношення в електромагнітному полі. Енергія електростатичного поля. Енергія зарядів в просторі. Енергія електростатичного поля в анізотропному середовищі. Еліпсоїд енергії [1], с. 23-40.

2.5 ЕМП елементарного вібратора в ближніх та дальніх зонах. Випромінювачі електромагнітних хвиль. Елементарний вібратор. Поняття елементарно-

го вібратора. Електромагнітне поле елементарного вібратора. Зони вібратора. Близня зона. Далека або хвильова зона. Елементарні випромінювачі, їх характеристики і діаграми спрямованості. Поле двох елементарних вібраторів. Когерентні і некогерентні коливання. Час когерентності. Довжина когерентності. Тимчасова когерентність. Просторова когерентність [1], с. 127-131.

Програма практичних модулів

Таблиця 2

Змістовні модулі	Теми	Кіл-сть аудиторних годин	Кіл-сть годин СРС
7 семестр			
ЗМ-П1	1. Сутність фізичних закономірностей електромагнітних полів. 2. Електромагнітні поля в різних системах координат. 3. Змінне електромагнітне поле. Електромагнітна хвиля. 4. Граничні умови. 5. Електромагнітне поле елементарного вібратора в ближній та далекій зоні	15	22
		15	22

Практична частина

Практичне заняття №1 «Сутність фізичних закономірностей ЕМП»

Мета практичного заняття: набути практичних навичок в засвоєнні фізичних закономірностей ЕМП.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття рівнянь Максвелла, їх фізичну інтерпретацію. Для чого студент повинен використовувати літературу [1], с. 5-21.

Задача 1.1. Розрахувати параметри рівнянь Максвелла ΔxH , $\Delta\Phi$:

- a) в декартовій системі;
- b) в системі циліндричних координат;
- c) в системі сферичних координат.

Задача 1.2. Розрахувати параметри рівнянь Максвелла ΔxD , $\Delta^2\Phi$:

- a) в декартовій системі;
- b) в системі циліндричних координат;
- c) в системі сферичних координат.

Задача 1.3. Представити координати градієнта:

- a) в декартовій системі;

- b) в системі циліндричних координат;
- c) в системі сферичних координат.

Контрольні питання

1. Дайте визначення ЕМП.
2. Дайте визначення функції точки.
3. Дайте визначення центрального ЕМП.
4. Дайте визначення координатного завдання поля.
5. Які системи координат використовуються при вивченні полів?
6. Що таке градієнт поля?
7. Як розраховується градієнт скалярного поля?
8. Що таке оператор Гамільтона?
9. Що таке вектор-функції точки?
10. Що таке центральне векторне поле?

Практичне заняття №2 «ЕМП в різних системах координат»

Мета практичного заняття: набути практичних навичок в засвоєнні представлення основних параметрів векторного ЕМП в різних системах координат.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про представлення електромагнітного поля в різних системах координат. Для чого студент повинен використовувати літературу [1], с. 10-16.

Задача 2.1. Задати векторне ЕМП за допомогою трьох скалярних полів:

- a) в декартовій системі;
- б) в системі циліндричних координат;
- в) в системі сферичних координат.

Задача 2.2. Розрахувати формулу переходу з однієї системи координат в іншу:

- a) з декартових координат в циліндричній;
- б) з циліндричних координат в декартову;
- в) з декартових координат в сферичну;
- г) з сферичних координат в декартову.

Задача 2.3. Розрахувати дивергенцію векторного ЕМП в різних системах координат.

Задача 2.4. Розрахувати ротор векторного ЕМП в різних системах координат.

Контрольні питання

1. Що таке векторне ЕМП?

2. Які типи векторного ЕМП відомі?
3. В яких координатах задається векторне ЕМП?
4. Що таке дивергенція векторного ЕМП?
5. Що таке ротор векторного ЕМП?
6. Яке відношення у скалярних ортах векторного ЕМП?
7. Яке відношення у векторних ортах векторного ЕМП.
8. Що таке оператор Лапласа і як він виражається в різних системах координат?
9. Які правила розрахунку дивергенції?
10. Які правила розрахунку ротора?

Практичне заняття №3 «Змінне електромагнітне поле. Електромагнітна хвиля»

Мета практичного заняття: набути практичних навичок в засвоєнні процесів ЕМП та ЕМХ.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття змінного ЕМП та ЕМХ. Для чого студент повинен використовувати літературу [1], с. 55-70.

Задача 3.1. Розрахувати хвильове рівняння у вигляді рівнянь Максвелла для переміного ЕМП в діелектриці та провіднику.

Задача 3.2. Розрахувати рівняння коефіцієнтів затування та коефіцієнта фази ЕМХ в діелектриці.

Задача 3.3. Розрахувати рішення рівняння Максвелла для діелектричного та провідникового середовища.

Контрольні питання

1. Що таке I рівняння Максвелла?
2. Що таке II рівняння Максвелла?
3. Що таке III рівняння Максвелла?
4. Що таке IV рівняння Максвелла?
5. Що таке фазова швидкість?
6. Що таке хвильове число?
7. Що таке коефіцієнт фази?
8. Що таке коефіцієнт затування?
9. Що таке глибина проникнення ЕМХ в провідниковому середовищі?
10. Який коефіцієнт затування ЕМХ в провідниковому середовищі?

Практичне заняття №4 «Граничні умови»

Мета практичного заняття: набути практичних навичок в засвоєнні процесів ЕМХ.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття граничних умов ЕМХ. Для чого студент повинен використовувати літературу [1], с. 29-40.

Задача 4.1. Одержати граничну умову для вектора \vec{D} .

Задача 4.2. Одержати граничну умову для вектора \vec{H} .

Задача 4.3. Одержати граничну умову для вектора \vec{E} .

Задача 4.4. Одержати граничну умову для вектора \vec{B} .

Задача 4.5. Представити рівняння Максвелла для електростатики.

Задача 4.6. Представити рівняння Максвелла для магнітостатики.

Контрольні питання

1. Які граничні умови для вектора \vec{D} ?
2. Які граничні умови для вектора \vec{H} ?
3. Які граничні умови для вектора \vec{E} ?
4. Які граничні умови для вектора \vec{B} ?
5. Яке рівняння Максвелла для електростатики?
6. Яке рівняння Максвелла для магнітостатики?
7. Що таке статичне поле?
8. Як визначається електростатичний потенціал?
9. Як визначається векторний потенціал?
10. Як визначається аналогічний магнітний потенціал за допомогою рішення рівняння Пуассона?

Практичне заняття №5 «ЕМП елементарного вібратора в ближній та далекій зоні»

Мета практичного заняття: набути практичних навичок в засвоєнні розрахунків ЕМП елементарного вібратора в далекій та ближній зонах.

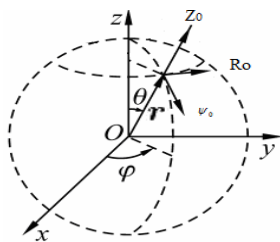
Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про теорію появи ЕМП елементарного вібратора в далекій та ближній зонах.

Для чого студент повинен використовувати літературу [1], с. 127-131.

Задача 5.1. Розрахувати миттєве значення ЕМП елементарного вібратора в ближній зоні. Ближня зона визначається відстанню R точки спостереження від вібратора, для яких $kR \ll 1$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - хвильове число. При цьому довжина вібратора дорівнює $l \ll R$.

В сферичній системі координат:



$$\dot{E}_R = -j \frac{I_{CM} \cdot l \cdot \cos \theta}{2\pi\omega E_a R^3};$$

$$\dot{E}_\theta = -j \frac{I_{CM} \cdot l \cdot \sin \theta}{2\pi\omega E_a R^3};$$

$$H_\psi = -j \frac{I_{CM} \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi R^4}.$$

Миттєве значення:

$$E_{R(t)} = \frac{P_{CT}(t) \cdot \cos \theta}{2\pi E_a R^3}; \quad E_{\theta(t)} = \frac{P_{CT}(t) \cdot \sin \theta}{4\pi E_a R^3}; \quad H_\psi = \frac{I_{CT}(t) \cdot l \cdot \sin \theta}{4\pi R^3};$$

$$\text{де } P_{CT}(t) = \frac{I_{CM} \cdot l}{10} \sin(\omega t + \varphi); \quad I_{CT}(t) = I_{CM} \cos(\omega t + \varphi).$$

В ближній зоні диполя \dot{E} визначається електричним моментом диполя, \dot{H} - струмом, це область квазістаціонарного поля. В цій зоні ЕМП не випромінюється.

Для величин:

$$I_{CM}=10\text{А}; \quad l=0,5 \text{ м}; \quad R= 1 \text{ м}; \quad \lambda=10 \text{ м}; \quad \Theta=45^\circ; \quad E_a=E_0; \quad E_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-19} \frac{\Phi}{H}$$

Визначити миттєве значення ЕМП $E_R(t)$, $E_\theta(t)$, $H_\psi(t)$ в ближній зоні.

Задача 5.2. Розрахувати миттєве значення ЕМП елементарного вібратора в далекій зоні $R \gg \lambda$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Залишив члени з $\frac{1}{kR}$ в нижній степені, отримуємо в сферичній системі координат:

$$\dot{E}_R = \frac{k \cdot I_{CM} \cdot l}{2\pi \cdot \omega \cdot E_a} \cdot \frac{e^{-jkR}}{R} \cdot \cos \theta; \quad \dot{E}_\theta = j \frac{k \cdot I_{CM} \cdot l}{4\pi} \cdot Z_c \frac{e^{-jkR}}{R} \cdot \sin \theta;$$

$$\dot{H}_\psi = j \frac{k \cdot I_{CM} \cdot l}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkR}}{R} \cdot \sin \theta; \quad \mu = \mu_a = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}; \quad E_0 = E_a = \frac{1}{35\pi} \cdot 10^{-9} \frac{\Phi}{\text{м}};$$

$$Z_c = \frac{k}{\omega \cdot E_a} = \sqrt{\frac{\mu_a}{E_a}} [\text{Ом}];$$

Складова E_R в kR раз менше, ніж \dot{E}_θ , та її треба ігнорувати.

Миттєве значення:

$$\dot{E}(t) = -\theta^\circ \frac{k \cdot I_{CM} \cdot l}{4\pi \cdot R} \cdot Z_c \sin \theta \cdot \sin(\omega t - kR + \psi);$$

$$\dot{H}(t) = -\psi^\circ \frac{k \cdot I_{CM} \cdot l}{2\pi \cdot R} \cdot \sin \theta \cdot \sin(\omega t - kR + \psi).$$

В середовищі без втрат вектори E и H в будь якій точці далекої зони мають однакову фазу. Рівняння постійних фаз: $t - \frac{R}{v} = const$.

Для величин:

$I_{CM}=10A$; $l=1$ м; $R= 100$ м; $\lambda=0,1$ м; $\Theta=\psi=45^\circ$; $E_a=E_0$; $\mu_a = \mu_0$.

Визначити миттєве значення $E(t)$ та $H(t)$ ЕМН в далекій зоні.

Контрольні питання

1. Дайте визначення елементарного вібратора?
2. Який дипольний момент має диполь Герца?
3. Які додатки вносять основний вклад в поле в ближній зоні?
4. Які додатки вносять основний вклад в поле в далекій зоні?
5. Чому пропорційна амплітуда напруги поля в далекій зоні?
6. Дайте визначення найближчої зони вібратора?
7. Дайте визначення тимчасової зони вібратора?
8. Дайте визначення далекої зони вібратора?
9. Яке поняття опору виміру вібратора?
- 10.Що представляє собою поверхня рівних фаз?

Теоретична частина (8 семестр)

Вивчення теоретичної частини засновано на базових методах аналізу електричних, магнітних та радіоелектронних кіл, основ спектрального аналізу сигналів. В результаті вивчення теоретичної частини студент здобуває знання з основних теорій антен та антенних пристроїв.

1. Теорія антени та РРВ.

1.1 Вертикальні та горизонтальні антени. Вертикальний монополь. Горизонтальний провідник у вільному просторі. Ромбічна антена. Горизонтальний провідник близько землі. Напівхвильовий діополь. Функція висоти [2], с. 204-214.

1.2 Антенні решітки. Антена біжучої хвилі. Антенні решітки. Точкові джерела. Перемноження діаграм. Типові решітки. Решітки з діополів. Решітка Уда-Яги. Лінійні та плоскі антенні решітки. Лінійні решітки осьового випромінювання [2], с. 217-226.

1.3 Рупорові та лінзові решітки. Рупорні антени. Дзеркальні антени. Параболічні антени. Лінзові антени. Спіральні антени. Циліндрова спіральна антена [2], с. 245-248, 252-257.

1.4 Метод зон Френеля. Зони Френеля. Зони Френеля в просторі. Перша зона Френеля на поверхні Землі. Дифракція електромагнітних хвиль. Амплітуда поля за дифракційним екраном [2], с. 284-289.

1.5 Інтерференційний множник землі. Множник Землі. Електричні властивості іоносфери. Іоносфера [2], с. 310-312.

Програма практичних модулів

Таблиця 2

Змістовні модулі	Теми	Кіл-сть аудиторних годин	Кіл-сть годин СРС
8 семестр			
ЗМ-П2	1. Вертикальні та горизонтальні антени. 2. Антенні решітки. 3. Рупорні та лінзові антени. 4. Метод зон Френеля. 5. Інтерференційний множник Землі	32	31
Разом		32	31

Практична частина

Практичне заняття №1 «Вертикальні та горизонтальні антени»

Мета практичного заняття – набути практичних навичок в засвоєнні фізичних закономірностей вертикальних та горизонтальних антен.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час практичного заняття студент повинен вміти виконувати розрахунки різних параметрів вертикальних та горизонтальних антен, їх властивості. Для чого студент повинен використовувати літературу [2], с. 204-214.

Задача 1.1. Вектор щільності електричного поля, випроміненого вертикальною антеною довжиною dl , представлений вектором \vec{E} на відстані R від центру, дорівнює:

$$\vec{E} = \frac{60\pi I}{\lambda r} \cdot dl \cdot \sin \theta \cdot e^{-2\pi j R/\lambda},$$

де θ – кут між точкою, де вимірюється \vec{E} з віссю антени; λ – довжина хвилі в вільному просторі.

Дано: довжина антени $dl= 1$ м, $\lambda=10$ м.

Розрахувати опір випромінювання антени. Визначити природу реактивного компонента імпедансу антени.

Задача 1.2. Розрахувати мінімальну пікову потужність, необхідну для імпульсного радара, щоб побачити ціль з відбиваючою поверхнею та дальністю 120 км. Радар має наступні параметри: робоча частота 1.3 ГГц; чутливість приймача -10^5 дБВт (дБв відносно 1 мВт); посилення антени 34 дБ; атмосферне затухання 0,008 дБ/км. Що визначають довжину імпульсу радара та частоти повторення імпульсів?

Розв'язок.

Відношення випроміненою потужності до чутливості:

$$\frac{P_T}{P_r} = \frac{(4\pi)^3 \cdot r^4}{G_T \cdot G_R \cdot \sigma \cdot \lambda^2} \text{ або } P_T = \frac{(4\pi)^3 \cdot r^4 \cdot P_r}{G_T \cdot G_R \cdot \sigma \cdot \lambda^2}.$$

Так як атмосферне затухання траєкторії втрати визначаються як:

$$A_{\text{тм.втрати}} = 2 \times 120 \times 0,008,$$

то випромінювана потужність повинна збільшитись на величину атмосферних втрат.

Звідси

$$P_T = \frac{(4\pi)^3 \cdot r^4 \cdot P_r \cdot A_{\text{тм.втрати}}}{G_T \cdot G_R \cdot \sigma \cdot \lambda^2},$$

де $k=120 \text{ км}=1,2 \cdot 10^5 \text{ м}$; $G_E=G_K=34 \text{ дБ}$; $B=2512$; $y=10 \text{ м}^2$; $f \cdot \lambda = 3 \cdot 10^8$;
 $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{1,3 \cdot 10^5} = 0,23 \text{ м}$.

Чутливість приймача дорівнює $P_r = -105 \text{ дБ}$; $B = -135 \text{ дБ}$; $BW = 10^{-13,5} \text{ Вт}$.

Знайти величину P_T . Тривалість імпульсу відповідає дальності $R_{\min} = \frac{c\tau}{2}$,
 період повторення - $R_{\max} = \frac{cT}{2}$.

Контрольні питання

1. Що таке вертикальний монополь.
2. Як виглядає діаграма спрямованості вертикального монополя довжиною $l = \lambda/2$?
3. Як виглядає діаграма спрямованості вертикального монополя довжиною $l = \lambda$?
4. Горизонтальний провід у вільному просторі – резонансна або нерезонансна антени?
5. Намалювати діаграму спрямованості довжина горизонтальної антени якої дорівнює $l = 2\lambda$?
6. Скільки головних пелюсток горизонтальної антени спрямовані на малих кутах?
7. Яка діаграма спрямованості у ромбічній антені?
8. Чому дорівнює кожна сторона ромбічної антени в довжині хвиль?
9. Ромбічна антена – резонансна або нерезонансна?
10. Ромбічна антена – вузькополосна або широкополосна?

Практичне заняття №2 «Антенні решітки»

Мета практичного заняття – набути практичних навичок з розрахунку антенних решіток.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час практичного заняття студент повинен вміти розраховувати антенні решітки, їх властивості. Для чого студент повинен використовувати літературу [2], с. 217-226.

Задача 2.1. Наземна станція приймає випромінювання супутника на частоті $f=136 \text{ МГц}$. Супутник знаходиться на відстані $r=500 \text{ м}$ та випромінює потужність $P=0,5 \text{ Вт}$ антеною з посиленням $G=3 \text{ дБ}$ в ізотропному середовищі. ЕМВ розподіляється в вільному просторі з імпульсом $z_0=120 \text{ р}$. Наземна антена має посилення $G_n=1000 \text{ дБ}$, відносно ізотропної антени $A = \frac{\lambda^2}{4T}$.

Розрахувати:

- а) щільність потоку потужності $|S|$;
- б) щільність поля E в точці прийому

Розв'язок:

$$а) |S| = E \cdot H = \frac{E^2}{120\pi}, \text{ де } E = \frac{\sqrt{30G \cdot P}}{r}; |S| = \frac{30G \cdot P}{r^2 \cdot 120\pi}.$$

$$б) E = \frac{\sqrt{30G \cdot P}}{r}, \text{ або } P_{\text{наз}} = S \cdot A \cdot G_{\text{наз}}, \lambda = \frac{c}{f}$$

Задача 2.2 Передаюча антена має опір випромінення $R_{\text{випр}}=50$ Ом, посилена потужності $G_p = 100$ направлена на передавач на відстань $r = 60$ км, струм антени $I_a = 0,5$ А.

Знайти:

- а) щільність потоку потужності S в точці приймання;
- б) щільність на передачу в децибелах.

Розв'язок:

Повна потужність, випромінюваної до передання антени дорівнює $I_a^2 \cdot R_{\text{зм}}$. Вона поширюється по поверхні сфери $4\pi r^2$ на дальність r .

Щільність поля на відстані r буде дорівнювати:

$$а) S = \frac{I_a^2 \cdot R_{\text{зм}}}{4\pi r^2}$$

напруга поля на відстані r буде дорівнювати E : $S = E \cdot H = \frac{E^2}{120\pi}$,

при посиленні G_p випромінювана потужність збільшується в G_p раз:

$$G_p = \frac{I_a^2 \cdot R_{\text{зм}}}{4\pi r^2} = \frac{E^2}{120\pi}$$

$$\text{та } E^2 = 30G_p \cdot I_a^2 \frac{R_{\text{зм}}}{r^2}, E = \frac{\sqrt{30G_p \cdot I_a^2 \cdot R_{\text{зм}}}}{r}, H = \frac{E}{120\pi}.$$

б) втрати на передачу:

$$P_{\text{пр.макс}} = \frac{U^2}{4\pi R_{\text{зм}}}; U = E \cdot l; \frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр.макс}}} = \frac{I^2 \cdot R_{\text{зм}} \cdot G_p}{P_{\text{пр.макс}}};$$

$$\text{Втрати на передачу} = 10 \lg \frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр.макс}}}$$

Задача 2.3. Логоперіодична антена має частотний діапазон $f_{\text{мін}} \div f_{\text{макс}}$. Розрахувати розмір елементів та кут вершини антени α для заданих величин τ та σ .

Розв'язок:

$$а) \text{Визначення кута } \alpha = 2 \tan^{-1}[(1 - \tau)(4\sigma)];$$

$$б) \text{Визначення довжини } L_{\text{мін}} \text{ та } L_{\text{макс}};$$

в) Розрахувати довжину елементів антени ([2], с. 231-233).

Контрольні питання

1. Як визначити напругу поля двох точкових джерела?
2. Як визначити напругу поля П випромінювання?
3. Як визначити результуюче поле антенної решітки шляхом перемноження діаграм?
4. Як визначається ширина діаграми спрямованості решітки компліментарних діполей?
5. Як визначається ширина діаграми спрямованості решітки горизонтально розміщених синфазних діполей?
6. Як визначається діаграма спрямованості антенної решітки включення m, x, n елементарних діполей?
7. Яке визначення антени Уда-Яги?
8. Як розрахувати ширину діаграми спрямованості щільності антенної решітки?
9. Яке визначення логоперіодичної антени?
10. Логоперіодична антена – резонансна або нерезонансна?

Практичне заняття №3 «Рупорні та лінзові антени»

Мета практичного заняття – набути практичних навичок в розрахунку рупорних та лінзових антен.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття рупорних та лінзових антен. Для чого студент повинен використовувати літературу [2], с. 245-248, с. 252-257.

Задача 3.1(а). Розрахувати коефіцієнт посилення пірамідального рупора, який має геометричну поверхню A , та випромінює хвилю довжиною λ .

Задача 3.1(б). Розрахувати параметр пірамідального рупора розміром L для довжини хвилі ℓ .

Визначити потрібні розміри розкриття a, b, A величини Θ_H, Θ_E, G .

Розв'язок:

$$a = (3L \cdot \lambda)^{0,5}$$

$$\Theta_H = 80^{\lambda/L}$$

$$b = 0,81 \cdot a$$

$$E = 53^{\lambda/L}$$

$$A = a \cdot b$$

$$G = 4 \cdot p \cdot A \cdot \frac{k}{\lambda^2}$$

Задача 3.2. Показати графічну форму діелектричної лінзи. За графіком визначити форму поверхні лінзи для точки випромінювання O . Яка форма поверхні лінзи для індексу рефракції $n > 1$?

Задача 3.3. Визначити форму поверхні метало пластинчастої лінзи при індексі рефракції $n < 1$.

Контрольні питання

1. Які існують типи рупорних антен?
2. Як визначити коефіцієнт посилення рупорної антени?
3. Як визначити оптимальний розмір a пірамідального рупора?
4. Як визначається коефіцієнт посилення G H - секторіального рупора?
5. Як визначається розмір a E - секторіального рупора?
6. Як визначається ширина проміну Θ в H - площині для конічного рупора?
7. Як визначається форма поверхні діелектричної лінзи при коефіцієнті рефракції $n > 1$?
8. Як визначається форма поверхні діелектричної лінзи при коефіцієнті рефракції $n < 1$?
9. Яке визначення метало пластинчастої лінзи?
10. Яке визначення зонування і для чого воно потрібно?

Практичне заняття №4 «Метод зон Френеля»

Мета практичного заняття – набути практичних навичок в засвоєнні теорії метода зон Френеля.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття метода зон Френеля. Для чого студент повинен використовувати літературу [2], с.284-289.

Задача 4.1. Показати графічно кількісну оцінку впливу ділянок фронту на формування поля в точці спостереження. Як утворюються зони Френеля?

Задача 4.2. Показати графічно сумарне поле точці спостереження в залежності від числа діючих зон.

Задача 4.3. Показати графічний вигляд зони Френеля в просторі.

Задача 4.4. Показати графічне формування зони Френеля на поверхні Землі. Від чого залежить розмір та положення 1-ї зони Френеля на Землі.

Задача 4.5. Розрахувати розмір площадки для радіолокатора, використавши метод зон Френеля.

Контрольні питання

1. Чому дорівнює площа кожної зони Френеля?
2. Як визначити радіус n -ї зони Френеля?
3. Як впливає збільшення номера зони Френеля на сумарне поле?

4. Який вигляд має зона Френеля в просторі?
5. Який вигляд має зона Френеля на поверхні Землі?
6. На якій відстані від радіолокатора починається перша зона Френеля?
7. Який вплив відноситься до дифракції Френеля?
8. Які впливи відносяться до дифракції Фраунгофера?
9. В якому випадку дифракція є дифракцією Френеля?
10. В якому випадку дифракція є дифракцією Фраунгофера?

Практичне заняття №5 «Інтерференційний множник Землі»

Мета практичного заняття – набути практичних навичок в засвоєнні прийняття інтерференційного множника Землі.

Завдання на підготовку до практичного заняття

Під час підготовки до практичного заняття студент повинен повторити теоретичні відомості про поняття інтерференційного множника Землі. Для чого студент повинен використовувати літературу [2], с. 310-312.

Задача 5.1. Вивести формулу інтерференційного множника Землі.

Задача 5.2. Вивести формулу інтерференційного множника Землі для хвилі горизонтальної поляризації.

Задача 5.3. Вивести формулу максимумів множника Землі та визначити величину максимумів.

Задача 5.4. Визначити напрямлення максимумів множника Землі.

Задача 5.5. Визначити величину мінімумів множника Землі та їх напрямлення.

Задача 5.6. Визначити кількість пелюсток множника Землі на висоті антени h_a та довжині хвилі λ .

Контрольні питання

1. Які причини різниці фаз прямої та хвилі, що падає?
2. Які причини різниці амплітуд прямої та хвилі, що падає?
3. За якою теоремою знаходиться множник Землі $F_3(\theta)$?
4. Як визначається максимум множника Землі?
5. Як визначається проміжне значення множника Землі?
6. Як направлений перший мінімум множника Землі при горизонтальній поляризації?
7. Як змінюється направленість максимумів та мінімумів множника Землі для вертикальної?
8. Яка буде направленість максимумів та мінімумів множника Землі з урахуванням кута Брюстера для вертикальної поляризації та Землі як ідеального діелектрика?
9. Чому дорівнює кількість пелюсток множника Землі?
10. Чому дорівнює максимум множника Землі при ідеальній провідності Землі?

Організація контролю знань та вмінь студента

В 7 семестрі при виконанні практичних робіт кожен студент повинен відповісти на теоретичні питання і практично виконує відповідну роботу. Оцінюється практична робота в рамках виділених на неї балів, причому 50% цих балів припадає на оцінку готовності студента до практичної роботи з теоретичних питань і 50% на оцінку практичного виконання роботи. При отриманні студентом позитивної оцінки за відповідь на теоретичні питання він одержує допуск до виконання практичної роботи, після чого практично виконує практичну роботу. Якщо у студента немає допуску то і роботу він не виконує. Після демонстрації результатів виконання практичної роботи викладачу і його ухвалення студент оформлює звіт згідно з нормативними документами після чого захищає звіт у формі відповіді на запитання викладача по ходу виконання практичної роботи і її результати.

При денній формі навчання якщо за практичний і теоретичний модулі студент одержав не менше половини кількості балів (≥ 25 балів з теоретичної частини, та ≥ 25 балів з практичної частини), що відведені на них, студент одержує допуск до заліку.

Наприкінці 7 семестру студенти пишуть залікову контрольну роботу. Оцінка за залікову контрольну роботу еквівалентна % правильних відповідей на запитання.

Сума балів, яку одержав студент за всі контрольні роботи, індивідуальне завдання і за практичний модуль формують інтегральну оцінку студента з навчальної дисципліни.

Для денної форми навчання інтегральна оцінка (В) за дисципліну розраховується за формулою:

$$B = 0,75 \times O3 + 0,25 \times OЗКР,$$

де ОЗ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) за змістовними модулями, ОЗКР – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) залікової контрольної роботи.

Наприкінці сесії студент отримує інтегральну оцінку з дисципліни за всіма системами оцінювання наступним чином:

- для денної форми навчання студент, який не має на початок заліково-екзаменаційної сесії заборгованості по дисципліні, отримує якісну оцінку (зараховано або не зараховано) згідно з табл. 3 за умови: 1) якщо має на останній день семестру інтегральну суму балів поточного контролю достатню ($O3 \geq 60$ %) для отримання позитивної оцінки, 2) має $OЗКР \geq 50$ % від максимально можливої суми балів за залікову контрольну роботу (таблиця 3).

В 8 семестрі сума балів, яку одержав студент за контрольні роботи і за практичний модуль формують модульну семестрову підсумкову оцінку даного

студента з навчальної дисципліни, яка може досягти 100 балів. Якщо за практичний модуль студент одержав не менше половини кількості балів, що відведені на практичний модуль, студент одержує допуск до екзамену і здає письмовий екзамен.

Загальна оцінка за дисципліну є середнім арифметичним між інтегральною оцінкою і оцінкою за заданий екзамен.

Для денної форми навчання якщо дисципліна закінчується іспитом. Тоді складає студент письмовий іспит за затвердженим розкладом та процедурою, яка виписана в “Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів”, причому загальний бал успішності з дисципліни є усередненим між кількісною оцінкою поточних контролюючих заходів та кількісною оцінкою, одержаною студентом на іспиті; якщо ж кількісна оцінка, одержана студентом на іспиті, менше 50% від максимально можливої, то загальний бал успішності дорівнює балу успішності на іспиті 20 балів.

Білет з іспиту вміщує в себе тестові завдання, загальна екзаменаційна оцінка виставляється від загальної кількості правильних відповідей екзаменаційного білета в процентах.

Наприкінці сесії студент отримує загальну оцінку з дисципліни за всіма системами оцінювання (табл. 3).

Таблиця 3

Шкала оцінювання

За шкалою ECTS	За національною системою		Бал успішності
	для іспиту	для заліку	
A	5 (відмінно)	зараховано	90-100
B	4 (добре)	зараховано	82-89,9
C	4 (добре)	зараховано	74-81,9
D	3 (задовільно)	зараховано	64-73,9
E	3 (задовільно)	зараховано	60-63,9
FX	2 (незадовільно)	не зараховано	35-59,9
F	2 (незадовільно)	не зараховано	1-34,9

Базові нормативні знання, які забезпечать задовільну оцінку на підсумковому контролі є такими:

- лінії передач;
- типи сигналів;
- направлені системи;
- резонансні кола;
- електромагнітні поля;
- граничні умови полів;
- електромагнітні поля;

- електромагнітні хвилі;
- хвилеводні моди;
- основні елементи техніки НВЧ;
- вібраторні антени;
- системи випромінення;
- види антен;
- антени НВЧ;
- дзеркальні антени;
- лінзові антени;
- рупорні антени;
- радіохвилі в вільному просторі;
- відбиття;
- зона Френеля;
- рефракція;
- іоносферне розповсюдження.