

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

С. І. Пільтяй

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ТА ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітніми програмами «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»,
«Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»,
«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»
спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент *Мирончук О. Ю.*, PhD
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Мартинюк С. Є.*, к.т.н., доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 4 від 19.01.2023 р.)
за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету
(протокол № 15/2022 від 19.12.2022 р.)*

Посібник містить умови та приклади розв'язання задач, які виносяться на модульні контрольні роботи із навчальної дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль». Використовуючи навчальний посібник, матеріали лекцій, практичних занять із дисципліни та рекомендовану літературу, студенти можуть самостійно розв'язувати наведені задачі та готуватися до контрольних робіт. Особливу увагу приділено задачам, які виникають при дослідженні поширення, відбиття та заломлення плоских електромагнітних хвиль у середовищах і хвиль у хвилеводах.

Навчальний посібник буде корисним студентам радіотехнічних, радіофізичних та телекомунікаційних спеціальностей для здобуття досвіду розв'язання задач із електродинаміки та поширення радіохвиль, для підготовки до модульних контрольних робіт та екзаменів.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розв'язання прикладу модульної контрольної роботи на тему «Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль».....	5
Розв'язання прикладу модульної контрольної роботи на тему «Поширення електромагнітних хвиль у хвилеводах»	9
Варіанти модульної контрольної роботи на тему «Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль»	13
Варіанти модульної контрольної роботи на тему «Поширення електромагнітних хвиль у хвилеводах»	23
Рекомендована література	33
Додаток. Відносні діелектричні проникності однорідних речовин.....	34

Вступ

Навчальна дисципліна «Електродинаміка та поширення радіохвиль» є фундаментальною і належить до дисциплін базової підготовки (цикл дисциплін загальної підготовки) за освітніми програмами «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка.

Отримані знання та навички після вивчення дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль» студенти використовують надалі в курсах «Пристрої надвисоких частот», «Антени», «Електромагнітна сумісність радіоелектронних систем», «Електромагнітна стійкість та інформаційна захищеність», «Основи теорії радіолокаційних систем», «Антенні системи», «Основи телебачення та телевізійні системи», «Мобільні телекомунікаційні системи», «Радіопланування мереж мобільного зв'язку», «Системи мобільного зв'язку нових поколінь», «Радіоелектронні медичні системи і комплекси», «Гібридні та монолітні інтегральні пристрої мікрохвильового діапазону», «Радіосистемна інженерія», «Супутникові інформаційні системи», «Смарт-системи», а також при виконанні курсових та дипломних робіт.

Метою навчальної дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль» є вивчення основних властивостей електромагнітного поля, набуття студентами конкретних знань і вмінь, формування таких здатностей: визначати основні характеристики електромагнітних хвиль; формувати електромагнітні хвилі з різними видами поляризації; вимірювати поляризаційні діаграми і визначати за ними поляризацію; розв'язувати крайові задачі електродинаміки; розраховувати і вимірювати параметри ліній передачі і резонаторів; вимірювати розподіли полів у лініях передачі та резонаторах.

Для контролю здобутих студентами знань передбачено виконання модульних контрольних робіт за основними розділами курсу. Даний посібник містить приклади задач для розв'язання студентами на контрольних роботах і при самостійній підготовці до них.

Розв'язання прикладу модульної контрольної роботи на тему «Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль»

Задача 1

На стіну будівлі нормально падає плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1900 МГц. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 мВ/м. Товщина стіни рівна 50 см. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 9$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,01$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Розв'язок

За формулами Френеля для нормального падіння знаходимо коефіцієнти проходження через межі поділу повітря-стіна (T_{21}) і стіна-повітря (T_{12}):

$$T_{21} = \frac{2\sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} = \frac{2}{1+3} = \frac{1}{2}; \quad T_{12} = \frac{2\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} = \frac{2 \cdot 3}{1+3} = \frac{3}{2}.$$

Визначимо тангенс кута електричних втрат у матеріалі стіни:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\sigma}{2\pi f \epsilon \epsilon_0} = \frac{0,01}{2\pi \cdot 1900 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 0,0105.$$

Оскільки $\operatorname{tg}\delta \ll 1$, то можна використати спрощену формулу для коефіцієнта загасання плоскої електромагнітної хвилі у середовищі з низькими втратами:

$$\alpha = \frac{\pi f}{c} \cdot \sqrt{\epsilon} \cdot \operatorname{tg}\delta = \frac{\pi \cdot 1900 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{9} \cdot 0,0105 \text{ [м}^{-1}\text{]} = 0,627 \text{ [м}^{-1}\text{]}.$$

Амплітуда електричного поля після проходження стіни є добутком коефіцієнтів проходження, експоненціального множника, що враховує загасання, і амплітуди електричного поля падаючої хвилі:

$$E = T_{21} \cdot e^{-\alpha l} \cdot T_{12} \cdot E_0 = \frac{1}{2} \cdot \exp(-0,627 \cdot 0,5) \cdot \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ мВ/м} = 0,55 \text{ мВ/м}.$$

Відповідь: 0,55 мВ/м.

Задача 2

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 57 \cdot \vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 61 \cdot e^{i87^\circ} \cdot \vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Розв'язок

Введемо позначення для амплітуд і початкових фаз електричного поля:

$$\vec{E}_1 = Ae^{i\varphi_A} \vec{e}_x; \vec{E}_2 = Be^{i\varphi_B} \vec{e}_y,$$

де $A = 57$; $B = 61$; $\varphi_A = 0^\circ$; $\varphi_B = 87^\circ$. Різниця початкових фаз $\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A = 87^\circ$.

Використавши результат задачі 4.3 із [1] із уведеними позначеннями, отримаємо коефіцієнт еліптичності:

$$r(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}} = 10 \lg \frac{3249 + 3721 + 596}{3249 + 3721 - 596} = 0,74 \text{ дБ.}$$

Відповідь: 0,74 дБ.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню полістиролу ($\varepsilon = 2,56$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 79° .

Розв'язок

1) При нормальному падінні перпендикулярна і паралельна відносно площини падіння поляризації стають такими, які неможливо розрізнити. Тоді

коефіцієнти відбиття $R_\perp = R_\parallel = -\frac{\sqrt{\varepsilon} - 1}{\sqrt{\varepsilon} + 1} = -\frac{\sqrt{2,56} - 1}{\sqrt{2,56} + 1} = -0,23$. Комплексна

амплітуда відбитої хвилі $\vec{E}_v = R_\perp \cdot \vec{E}_{n\perp} + iR_\parallel \cdot \vec{E}_{n\parallel}$. $\vec{E}_v = R \cdot (\vec{E}_{n\perp} + i\vec{E}_{n\parallel}) = R \cdot \vec{E}_n$.

Відбита хвиля має колову поляризацію при куті падіння $\varphi = 0^\circ$.

2) Колова поляризація перетворюється в лінійну при падінні під кутом Брюстера $\varphi_B = \arctg \sqrt{\varepsilon} = \arctg \sqrt{2,56} = 58^\circ$.

3) При куті падіння 79° поляризація відбитої хвилі є еліптичною.

За законом Снелла знаходимо кут заломлення: $\theta = \arcsin\left(\frac{\sin 79^\circ}{\sqrt{2,56}}\right) \approx 38^\circ$.

Коефіцієнти відбиття визначаємо за формулами Френеля для оптики:

$$R_{\perp} = -\frac{\sin(\varphi - \theta)}{\sin(\varphi + \theta)} = -\frac{\sin(41^\circ)}{\sin(117^\circ)} = -0,736. \quad R_{\parallel} = -\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \theta)}{\operatorname{tg}(\varphi + \theta)} = -\frac{\operatorname{tg}(41^\circ)}{\operatorname{tg}(117^\circ)} = 0,443.$$

Співвідношення осей відбитої хвилі $r = \left| \frac{\dot{E}_{B\parallel}}{\dot{E}_{B\perp}} \right| = |R_{\parallel}/R_{\perp}| = 0,6$.

Відповідь: 1) 0° ; 2) 58° ; еліптична поляризація, 0,6.

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 20° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Розв'язок

За другим законом Снелла: $n \sin \theta = \sin \varphi$.

При повному внутрішньому відбитті: $\sin \varphi = 1$; $n = 1/\sin \theta$.

Кут Брюстера $\varphi_B = \arctg n = \arctg (1/\sin \theta) = 71^\circ$.

Відповідь: 71° .

Задача 5

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 10 ГГц дорівнює 0,4. На частоті 20 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ε і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Розв'язок

За результатами задачі 5.2 із [2] частотна характеристика коефіцієнта відбиття від пластини описується наступною формулою:

$$\dot{R}_\Sigma(f) = 2R_1 e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \beta(f)l\right)} \sin \beta(f)l,$$

де $\beta(f)$ — залежність коефіцієнта фази від частоти f , l — товщина пластини, R_1 — коефіцієнт відбиття від межі поділу повітря-пластина. Як видно, модуль коефіцієнта відбиття є періодичною функцією частоти. Оскільки на частоті 20 ГГц пластина є прозорою для електромагнітних хвиль, то $|\dot{R}_\Sigma(20 \text{ ГГц})| = 0$. Тоді на кратній до неї частоті 10 ГГц може спостерігатися лише нуль або максимум модуля коефіцієнта відбиття. Відповідно до умови це є максимум.

$$\text{Таким чином: } |\dot{R}_\Sigma(f_1)| = 2|R_1| = 0,4; |R_1| = 0,2.$$

$$\text{За формулою Френеля для нормального падіння [3]: } |R_1| = \frac{\sqrt{\varepsilon} - 1}{\sqrt{\varepsilon} + 1}.$$

$$\text{Тоді: } \sqrt{\varepsilon} = \frac{1 + |R_1|}{1 - |R_1|}; \quad \varepsilon = \left(\frac{1 + |R_1|}{1 - |R_1|}\right)^2 = \left(\frac{1,2}{0,8}\right)^2 = 2,25.$$

За таблицями відносних діелектричних проникностей однорідних діелектриків (див. додаток) визначаємо, що матеріалом пластини є поліетилен.

Відповідь: $\varepsilon = 2,25$, поліетилен.

Розв'язання прикладу модульної контрольної роботи на тему «Поширення електромагнітних хвиль у хвилеводах»

Задача 1

Прямокутний хвилевід поперечним перерізом $23 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$ заповнений полістиролом ($\epsilon = 2,55$). Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 11 ГГц ?

Розв'язок

Запишемо умову можливості поширення електромагнітної хвилі певного типу у хвилеводі [4]: $f_{\text{кр}} < f$.

Для заданих в умові задачі розмірів хвилеводу отримуємо:

$$f_{\text{кр}}^{H_{nm} \text{ (або } E_{nm})} = \frac{300 [\text{мм} \cdot \text{ГГц}]}{2\sqrt{2,55}} \sqrt{\left(\frac{m}{23 \text{ мм}}\right)^2 + \left(\frac{n}{10 \text{ мм}}\right)^2} = 93,9 \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{23}\right)^2 + \left(\frac{n}{10}\right)^2} \text{ ГГц}.$$

Таким чином, у даному випадку для різних комбінацій індексів хвиль потрібно перевірити наступну умову:

$$93,9 \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{23}\right)^2 + \left(\frac{n}{10}\right)^2} \text{ ГГц} < 11 \text{ ГГц}.$$

Хвилі типу E із індексами 0 не існують у хвилеводі прямокутного поперечного перерізу, оскільки для них буде нульове значення усіх компонент електромагнітного поля. У результаті отримуємо, що у хвилеводі на заданій частоті можливим є поширення хвиль $H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{11}, E_{11}$.

Відповідь: $H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{11}, E_{11}$.

Задача 2

На частоті 30 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям круглого хвилеводу становить 12 мм . Знайти діаметр хвилеводу.

Розв'язок

Основною електромагнітною хвилею у круглому хвилеводі є хвиля H_{11} .

Запишемо формулу для довжини хвилі H_{11} круглого хвилеводу [4]:

$$\lambda_{\text{ХВ}}^{\text{H}_{11}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{1,706D}\right)^2}}.$$

Перетворимо цю формулу для знаходження невідомого діаметра круглого хвилеводу:

$$\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{ХВ}}^{\text{H}_{11}}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{1,706D}\right)^2; \quad D = \frac{\lambda_0}{1,706 \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{ХВ}}^{\text{H}_{11}}}\right)^2}} = 10,6 \text{ мм}.$$

Відповідь: 10,6 мм.

Задача 3

Фазова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 20 ГГц дорівнює $1,8 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{ХВ}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Розв'язок

Довжина хвилі H_{10} пов'язана із фазовою швидкістю та частотою наступною формулою [5–7]:

$$\lambda_{\text{ХВ}} = \frac{v_{\phi}}{f} = \frac{1,8 \cdot c}{f} = \frac{1,8 \cdot 300 [\text{мм} \cdot \text{ГГц}]}{20 \text{ ГГц}} = 27 \text{ мм}.$$

Фазова швидкість хвилі типу H_{10} розраховується за формулою [8]:

$$v_{\phi}^{\text{H}_{10}} = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}}.$$

Перетворивши цю формулу відносно розміру a , отримуємо:

$$a = \frac{c}{2f \sqrt{1 - \left(\frac{c}{v_{\phi}}\right)^2}} = 9 \text{ мм}.$$

Характеристичний опір хвилі H_{10} прямокутного хвилеводу визначаємо за формулою [5–7]:

$$Z_{H_{11}} = \frac{120\pi [\text{Ом}]}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} = \frac{Z_0 v_{\phi}^{H_{11}}}{c} = 120\pi [\text{Ом}] \cdot 1,8 = 679 \text{ Ом}.$$

Відповідь: 27 мм; 9 мм; 679 Ом.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 20 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 4$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 9 ГГц для хвилі основного типу.

Розв'язок

Основною хвилею круглого хвилеводу є хвиля H_{11} . Її групову швидкість та довжину хвилі визначають за формулами [8–10]:

$$v_{\text{гр}}^{H_{11}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{кр}}}{f}\right)^2} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{1,706 D f \sqrt{\epsilon\mu}}\right)^2} = 1,31 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

$$\lambda_{\text{хв}}^{H_{10}} = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon\mu - \left(\frac{c}{1,706 D f}\right)^2}} = 19,1 \text{ мм}.$$

Відповідь: $1,31 \cdot 10^8$ м/с.; 19,1 мм.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 9 мм × 4,5 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 18–30 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Розв'язок

Потужність, яку передає основна хвиля H_{10} у прямокутному хвилеводі, розрахуємо як інтеграл по поверхні поперечного перерізу від середнього значення вектора Пойнтинга:

$$\langle P \rangle = \int_{S_{\perp}} \langle \vec{\Pi} \rangle dS = \frac{1}{2} \int_{S_{\perp}} \operatorname{Re}(\dot{\vec{E}} \times \vec{H}^*) d\vec{S} = \frac{1}{2} \int_0^b \int_0^a \left(E_m \sin \frac{\pi x}{a} \right) \cdot \left(\frac{E_m \sin \frac{\pi x}{a}}{Z_{H_{10}}} \right) dx dy =$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^b \int_0^a E_m^2 \left(\sin \frac{\pi x}{a} \right)^2 \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af} \right)^2}}{120\pi \text{ Ом}} dx dy = E_m^2 \cdot \frac{ab}{4} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af} \right)^2}}{120\pi \text{ Ом}}.$$

Підставивши параметри із умови задачі, у межах смуги частот отримуємо діапазон зміни потужності:

$$\langle P(18 - 30 \text{ ГГц}) \rangle = 91,3 - 201 \text{ кВт}.$$

Отже, мінімальна потужність, при якій настає пробиття, дорівнює 91,3 кВт.

Відповідь: 91,3 кВт.

Варіанти модульної контрольної роботи на тему «Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль»

Варіант 1

Задача 1

На поверхню тefлону ($\epsilon = 2,05$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$) із вакууму падає плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією. Знайти, при яких кутах падіння: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 22° .

Задача 2

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена антеною мобільного телефону на частоті 900 МГц, нормально падає на стіну кімнати. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,3 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 5$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,0079$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 3

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 7 ГГц дорівнює 0,46. На частоті 14 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 4

Дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями поширюються вздовж осі z . Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 22e^{i \cdot 93^\circ} \vec{e}_y$; $\vec{E}_2 = 25\vec{e}_x$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 5

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на плоску границю з немагнітним діелектриком без втрат кут Брюстера дорівнює 51° . За якої умови і яким буде для цієї пари середовищ кут повного внутрішнього відбиття?

Варіант 2

Задача 1

Плоска електромагнітна хвиля падає нормально з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат. На частоті 6 ГГц модуль коефіцієнта відбиття становить 0,36. На частоті 12 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 2

На стіну будівлі нормально падає плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1800 МГц. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,2 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon=9$, $\mu=1$, $\sigma = 0,0178$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню поліетилену ($\epsilon = 2,25$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 71° .

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 64° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Задача 5

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 50\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 48e^{i \cdot 86^\circ} \vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Варіант 3

Задача 1

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на плоску границю з немагнітним діелектриком без втрат кут Брюстера дорівнює 67° . За якої умови і яким буде для цієї пари середовищ кут повного внутрішнього відбиття?

Задача 2

Дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями поширюються вздовж осі z . Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 45e^{i \cdot 92^\circ} \vec{e}_y$; $\vec{E}_2 = 49\vec{e}_x$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню полістиролу ($\epsilon = 2,56$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 29° .

Задача 4

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 3 ГГц дорівнює 0,4. На частоті 6 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 5

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена антеною мобільного телефону на частоті 900 МГц, нормально падає на стіну кімнати. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,4 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 4$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,0153$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Варіант 4

Задача 1

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 35\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 32e^{i87^\circ}\vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 2

Плоска електромагнітна хвиля падає нормально з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат. На частоті 8 ГГц модуль коефіцієнта відбиття становить 0,46. На частоті 16 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1800 МГц, нормально падає на стіну будівлі. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,3 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 6$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,007$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 57° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Задача 5

На поверхню тефлону ($\epsilon = 2,05$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$) із вакууму падає плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією. Знайти, при яких кутах падіння: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 32° .

Варіант 5

Задача 1

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена антеною мобільного телефону на частоті 900 МГц, нормально падає на стіну кімнати. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,2 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon=4$, $\mu=1$, $\sigma=0,0056$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 2

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 5 ГГц дорівнює 0,36. На частоті 10 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 3

Дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями поширюються вздовж осі z . Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 23e^{i \cdot 91^\circ} \vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 24\vec{e}_y$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 4

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню поліетилену ($\epsilon = 2,25$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 45° .

Задача 5

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на плоску границю з немагнітним діелектриком без втрат кут Брюстера дорівнює 60° . За якої умови і яким буде для цієї пари середовищ кут повного внутрішнього відбиття?

Варіант 6

Задача 1

На стіну будівлі нормально падає плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1800 МГц. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,4 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon=9$, $\mu=1$, $\sigma = 0,0089$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 2

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 70\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 62e^{i85^\circ}\vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню полістиролу ($\epsilon = 2,56$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 79° .

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 20° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Задача 5

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 9 ГГц дорівнює 0,4. На частоті 18 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Варіант 7

Задача 1

На поверхню тефлону ($\epsilon = 2,05$; $\operatorname{tg} \delta = 0$; $\mu = 1$) із вакууму падає плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією. Знайти, при яких кутах падіння: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 22° .

Задача 2

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена антеною мобільного телефону на частоті 900 МГц, нормально падає на стіну кімнати. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,3 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 5$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,0079$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 3

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 7 ГГц дорівнює 0,46. На частоті 14 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 4

Дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями поширюються вздовж осі z . Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 22e^{i \cdot 93^\circ} \vec{e}_y$; $\vec{E}_2 = 25\vec{e}_x$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 5

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на плоску границю з немагнітним діелектриком без втрат кут Брюстера дорівнює 51° . За якої умови і яким буде для цієї пари середовищ кут повного внутрішнього відбиття?

Варіант 8

Задача 1

Плоска електромагнітна хвиля падає нормально з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат. На частоті 6 ГГц модуль коефіцієнта відбиття становить 0,36. На частоті 12 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 2

На стіну будівлі нормально падає плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1800 МГц. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,2 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon=9$, $\mu=1$, $\sigma = 0,0178$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню поліетилену ($\epsilon = 2,25$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 71° .

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 64° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Задача 5

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 50\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 48e^{i \cdot 86^\circ} \vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Варіант 9

Задача 1

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на плоску границю з немагнітним діелектриком без втрат кут Брюстера дорівнює 67° . За якої умови і яким буде для цієї пари середовищ кут повного внутрішнього відбиття?

Задача 2

Дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями поширюються вздовж осі z . Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 45e^{i \cdot 92^\circ} \vec{e}_y$; $\vec{E}_2 = 49\vec{e}_x$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією падає із вакууму на поверхню полістиролу ($\epsilon = 2,56$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$). Знайти кути падіння, при яких: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 29° .

Задача 4

При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат модуль коефіцієнта відбиття на частоті 3 ГГц дорівнює 0,4. На частоті 6 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 5

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена антеною мобільного телефону на частоті 900 МГц, нормально падає на стіну кімнати. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,4 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 4$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,0153$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Варіант 10

Задача 1

Уздовж осі z поширюються дві плоскі електромагнітні хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями. Їх комплексні амплітуди (у В/м) $\vec{E}_1 = 35\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = 32e^{i87^\circ}\vec{e}_y$. Визначте коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль. Відповідь виразити в децибелах.

Задача 2

Плоска електромагнітна хвиля падає нормально з вакууму на пластину немагнітного середовища без втрат. На частоті 8 ГГц модуль коефіцієнта відбиття становить 0,46. На частоті 16 ГГц ця пластина є прозорою для електромагнітних хвиль. Знайдіть відносну діелектричну проникність ϵ і визначте матеріал пластини, якщо відомо, що це однорідний діелектрик.

Задача 3

Плоска електромагнітна хвиля, випромінена базовою станцією на частоті 1800 МГц, нормально падає на стіну будівлі. Амплітуда електричного поля падаючої хвилі становить 1 В/м. Товщина стіни рівна 0,3 м. Електричні параметри матеріалу стіни: $\epsilon = 6$, $\mu = 1$, $\sigma = 0,007$ См/м. Знехтувавши повторними відбиттями, визначити амплітуду електричного поля з іншого боку стіни.

Задача 4

При падінні плоскої електромагнітної хвилі з немагнітного діелектрика без втрат на плоску границю з вакуумом кут повного внутрішнього відбиття дорівнює 57° . Знайдіть кут Брюстера для цієї пари середовищ.

Задача 5

На поверхню тефлону ($\epsilon = 2,05$; $\text{tg}\delta = 0$; $\mu = 1$) із вакууму падає плоска електромагнітна хвиля з коловою поляризацією. Знайти, при яких кутах падіння: 1) поляризація відбитої хвилі залишається коловою, 2) відбувається перетворення колової поляризації в лінійну. Визначити вид поляризації та відношення осей для кута падіння 32° .

Варіанти модульної контрольної роботи на тему «Поширення електромагнітних хвиль у хвилеводах»

Варіант 1

Задача 1

Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у заповненому поліетиленом ($\varepsilon = 2,25$) круглому хвилеводі діаметром 1 см на частоті 20 ГГц.

Задача 2

Групова швидкість хвилі типу H_{11} у заповненому повітрям круглому хвилеводі на частоті 3,1 ГГц дорівнює $0,5 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Знайти довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, його діаметр D , характеристичний опір.

Задача 3

Прямокутний хвилевід перерізом 58 мм \times 25 мм заповнений діелектриком із проникностями $\varepsilon = 3$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 2,7 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 4

На частоті 12 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 33,2 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 16 мм \times 8 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 10–16 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 2

Задача 1

Фазова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 41 ГГц дорівнює $1,8 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 2

Прямокутний хвилевід поперечним перерізом 48 мм \times 24 мм заповнений полістиролом ($\epsilon = 2,55$). Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 6 ГГц?

Задача 3

Круглий хвилевід діаметром 11 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 2$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 16 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 4

На частоті 10 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям круглого хвилеводу становить 37 мм. Знайти діаметр хвилеводу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 2 мм \times 1 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 90–100 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 3

Задача 1

На частоті 30 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 12 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 2

Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у заповненому тефлоном ($\epsilon = 2,05$) круглому хвилеводі діаметром 3 см на частоті 9 ГГц.

Задача 3

Групова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 48 ГГц дорівнює $0,5 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 6 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 2$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 26 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 11 мм \times 5,5 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 15–25 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 4

Задача 1

Прямокутний хвилевід поперечним перерізом $23 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$ заповнений полістиролом ($\epsilon = 2,55$). Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 11 ГГц ?

Задача 2

На частоті 30 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям круглого хвилеводу становить 12 мм . Знайти діаметр хвилеводу.

Задача 3

Фазова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 20 ГГц дорівнює $1,8 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 20 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 4$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 9 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см . У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом $9 \text{ мм} \times 4,5 \text{ мм}$ збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот $18\text{--}30 \text{ ГГц}$. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 5

Задача 1

Групова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 10 ГГц дорівнює $0,8 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 2

Прямокутний хвилевід перерізом 23 мм \times 10 мм заповнений діелектриком із проникностями $\varepsilon = 4$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 10 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 3

Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у заповненому полістиролом ($\varepsilon = 2,55$) круглому хвилеводі діаметром 5 см на частоті 4,8 ГГц.

Задача 4

На частоті 4 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям круглого хвилеводу становить 11 см. Знайти діаметр хвилеводу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 23 мм \times 10 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 8–12 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 6

Задача 1

Прямокутний хвилевід перерізом $16 \times 8 \text{ мм}^2$ заповнено тefлоном ($\epsilon = 2,05$). Які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 15 ГГц?

Задача 2

На частоті 5 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 90,7 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 3

Фазова швидкість хвилі типу H_{11} у заповненому повітрям круглому хвилеводі на частоті 28 ГГц дорівнює $1,4 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Знайти довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, його діаметр D , характеристичний опір.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 30 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 4$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 5 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом $7,2 \text{ мм} \times 3,4 \text{ мм}$ збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 25–35 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 7

Задача 1

Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у заповненому поліетиленом ($\varepsilon = 2,25$) круглому хвилеводі діаметром 1 см на частоті 20 ГГц.

Задача 2

Групова швидкість хвилі типу H_{11} у заповненому повітрям круглому хвилеводі на частоті 3,1 ГГц дорівнює $0,5 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Знайти довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, його діаметр D , характеристичний опір.

Задача 3

Прямокутний хвилевід перерізом 58 мм \times 25 мм заповнений діелектриком із проникностями $\varepsilon = 3$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 2,7 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 4

На частоті 12 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 33,2 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 16 мм \times 8 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 10–16 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 8

Задача 1

Фазова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 41 ГГц дорівнює $1,8 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 2

Прямокутний хвилевід поперечним перерізом 48 мм \times 24 мм заповнений полістиролом ($\epsilon = 2,55$). Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 6 ГГц?

Задача 3

Круглий хвилевід діаметром 11 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 2$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 16 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 4

На частоті 10 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям круглого хвилеводу становить 37 мм. Знайти діаметр хвилеводу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 2 мм \times 1 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 90–100 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 9

Задача 1

На частоті 30 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 12 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 2

Визначити, які типи хвиль можуть поширюватись у заповненому тefлоном ($\epsilon = 2,05$) круглому хвилеводі діаметром 3 см на частоті 9 ГГц.

Задача 3

Групова швидкість хвилі типу H_{10} у заповненому повітрям прямокутному хвилеводі на частоті 48 ГГц дорівнює $0,5 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначити довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, розмір широкої стінки a , характеристичний опір.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 6 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 2$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 26 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом 11 мм \times 5,5 мм збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 15–25 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Варіант 10

Задача 1

Прямокутний хвилевід перерізом $16 \times 8 \text{ мм}^2$ заповнено тefлоном ($\epsilon = 2,05$). Які типи хвиль можуть поширюватись у цьому хвилеводі на частоті 15 ГГц?

Задача 2

На частоті 5 ГГц довжина основної хвилі заповненого повітрям прямокутного хвилеводу становить 90,7 мм. Знайти ширину хвилеводу.

Задача 3

Фазова швидкість хвилі типу H_{11} у заповненому повітрям круглому хвилеводі на частоті 28 ГГц дорівнює $1,4 \cdot c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Знайти довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{\text{хв}}$, його діаметр D , характеристичний опір.

Задача 4

Круглий хвилевід діаметром 30 мм заповнений діелектриком із проникностями $\epsilon = 4$, $\mu = 1$. Розрахувати групову швидкість і довжину хвилі в хвилеводі на частоті 5 ГГц для хвилі основного типу.

Задача 5

Пробиття повітря виникає при амплітуді електричного поля 30 кВ/см. У заповненому повітрям прямокутному хвилеводі перерізом $7,2 \text{ мм} \times 3,4 \text{ мм}$ збуджується хвиля основного типу за допомогою генератора, який працює в смузі частот 25–35 ГГц. При якій потужності, що передається хвилеводом у режимі біжної хвилі, в ньому виникає пробиття?

Рекомендована література

1. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Збірник задач: навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 88 с.
2. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 54 с.
3. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 1. Основи теорії електромагнітного поля: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2009. — 286 с.
4. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2010. — 435 с.
5. Найденко В. І. Конспект лекцій із курсу «Електродинаміка та поширення радіохвиль». 2021. 692 с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль». Укладачі В. С. Вунтесмері, О. М. Купрій, А. Ф. Левіна. Видання 2-ге, виправлене та доповнене. — Київ, 2011. — 68 с.
7. Прикладна електродинаміка інформаційних систем / А. С. Андрущак, З. Ю. Готра, О. С. Кушнір. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 304 с.
8. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Методичні вказівки та завдання розрахунково-графічної роботи: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / О. М. Купрій, В. І. Найденко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 25 с.
9. Технічна електродинаміка. Конспект лекцій / Укл. В.В. Пілінський, П.В. Попович. — К.: Національний Технічний Університет України «КПІ», 2006. — 224 с.
10. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. — Львів: «Бескид Біт», 2003. — 352 с.

Додаток. Відносні діелектричні проникності однорідних речовин

Речовина	Відносна діелектрична проникність ϵ
Тефлон	2,05
Парафін	2,24
Поліетилен	2,25
Полістирол	2,55
Плексиглас	2,6
Лід	3,2
Плавлений кварц	3,78
Скло	4–5
Кремній (силікон)	11,8
Арсенід галію	13,0