

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи №6.
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯ ПРИ АНТЕНАХ, РОЗТАШОВАНИХ НА
ЗЕМЛІ**
з дисципліни
“Технічна електродинаміка, поширення радіо хвиль, антени”
для студентів спеціальності
G5 (172) Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та
радіотехніка
всіх форм навчання

Методичні вказівки для лабораторної роботи №6 «Дослідження поля при антенах, розташованих на землі» з дисципліни «Технічна електродинаміка, поширення радіо хвиль, антени» для студентів спеціальності G5 (172) Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка всіх форм навчання / Укл. Л.М. Логачова – Запоріжжя: НУ ЗП, 2025. - 21 с.

Укладачі:

Л.М. Логачова, ст. викладач

Рецензент:

С.С. Самойлик, доцент, к.ф.-м.н.

Відповідальний за випуск: Л.М. Логачова, ст. викладач

Затверджено
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 4
від “28” серпня 2025 р.

Затверджено
на засіданні НМК ФІБЕК
Протокол № 5
від “23” вересня 2025 р.

ЗМІСТ

	С.
Лабораторна робота № 6 Дослідження полів при антенах, розташованих на землі.....	4
1 Загальні положення.....	4
2 Поширення радіохвиль над шматково-однорідною плоскою трасою.....	12
3 Розрахункове завдання.....	14
4 Опис експериментальної установки.....	15
5 Порядок виконання роботи.....	17
6 Зміст звіту.....	18
7 Контрольні запитання.....	19
Перелік джерел посилань.....	20
Додаток А. Таблиці косинус - і синус - інтегралів Френеля.....	21

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІВ ПРИ АНТЕНАХ, РОЗТАШОВАНИХ НА ЗЕМЛІ

Мета роботи: дослідити теоретично та експериментально структуру електромагнітного поля над плоскою поверхнею Землі та в Землі. Отримати розподіл електричного поля вздовж однорідної та шматково-однорідної траси.

1 Загальні положення

Анени довгих, середніх, коротких хвиль та навіть ультра коротких хвиль часто розміщують поряд з землею, або безпосередньо на землі. При цьому часто (на даних хвилях до відстаней в сотні км) землю можна вважати плоскою.

Якщо вертикальний вібратор розмістити над ідеально провідною землею, то напруженість поля у верхньому напівпросторі поряд з поверхнею землі (рис. 1.1) визначаються за формулою

$$E_m = \frac{\sqrt{120PD}}{r}. \quad (1.1)$$

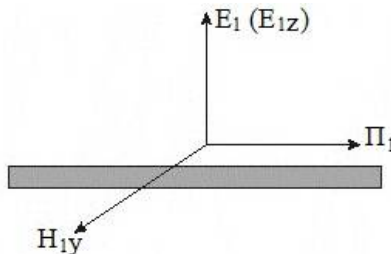


Рисунок 1.1 – Структура поля низько розташованого вертикального вібратора у зоні пласкої землі коли $\sigma_2 = \infty$

Характеристика спрямованості такої антени має максимум, орієнтований вздовж землі. Відповідно до граничних умов електричне поле має одну складову E_n , магнітне поле задовольняє умові

$$\frac{E_r}{H_r} = 120\pi. \quad (1.2)$$

Якщо середовище, поряд з яким розміщений випромінювач, має втрати, і має комплексну діелектричну проникність $\hat{\epsilon} = \epsilon - j60\lambda\sigma$, то частина енергії витікає в землю, проникаючи у глиб земної поверхні.

Тобто, окрім складової вектора Пойнтінга $\dot{\Pi}_{1x}$, яка спрямована у вздовж поверхні землі існує складова $\dot{\Pi}_{1z}$, яка спрямована перпендикулярно до поверхні землі (рис. 1.2).

Таким чином, над поверхнею землі з кінцевою провідністю завжди існують дві складові електричного поля \dot{E}_{1x} та \dot{E}_{1z} . Визначимо співвідношення між ними.

$$\dot{H}_{1y} = \frac{\dot{E}_{1z}}{120\pi}. \quad (1.3)$$

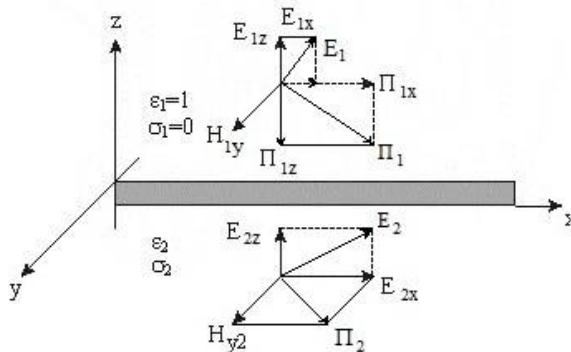


Рисунок 1.2 – Структура поля низько розташованого вертикального вібратора у зоні плоскої землі коли σ_2 має кінцеве значення

Якщо вважати що відома вертикальна складова електричного поля \dot{E}_{1z} , то у випадку плоскої хвилі у повітрі горизонтальна складова магнітного поля \dot{H}_{1y} дорівнює [1]

Отримаємо складові поля на границі повітря – земля. Для цього скористуємося граничними умовами Щукіна – Леонтовича, через те, що реальні ґрунти майже завжди такі, що модуль їх комплексної діелектричної проникності значно більше одиниці

$|\dot{\epsilon}_2| = \sqrt{\epsilon_2^2 + (60\lambda\sigma)^2} \gg 1$. Перетворимо наближені граничні умови

$$\dot{E}_{1x} = \dot{Z}_{2c} \dot{H}_{1y} \quad (1.4)$$

стосовно до границі розподілу повітря – напівпровідникова земна поверхня ($\dot{\epsilon}_{a_1} = \epsilon_0$, $\dot{\mu}_{a_1} = \mu_0$, $\dot{\epsilon}_{a_2} = \epsilon_2 \epsilon_0$, $\dot{\mu}_{a_2} = \mu_0$).

Характеристичний опір землі

$$\dot{Z}_{c_2} = \sqrt{\frac{\mu_{a_2}}{\dot{\epsilon}_{a_2}}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \dot{\epsilon}_2}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\dot{\epsilon}_2}} \quad (1.5)$$

тобто з граничних умов (1.4), можна знайти тангенціальну складову напруженості магнітного поля у повітрі

$$\dot{H}_{1y} \approx \frac{\dot{E}_{1x}}{120\pi} \sqrt{\dot{\epsilon}_2}. \quad (1.6)$$

Прирівнявши (1.3) та (1.6) отримаємо складову E_{1x}

$$\dot{E}_{1x} = \frac{\dot{E}_{1z}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_2}}, \quad (1.7)$$

Співвідношення (1.7) дозволяє вирішити задачу про поширення радіохвиль в атмосфері без урахування поля напівпровідникової землі, вплив якої автоматично враховується граничною умовою (1.6).

З (1.7) видно що вертикальна складова поля \dot{E}_{1z} над поверхнею землі завжди більша за горизонтальну складову \dot{E}_{1x} . Тобто у повітрі $\dot{E}_{1z} \gg \dot{E}_{1x}$.

Виразимо через нормальну складову електричного поля у повітрі E_{1z} напруженості електричного і магнітного полів у ґрунті на межі розділу ґрунт-повітря визначаються складові \dot{E}_{2x} , \dot{E}_{2z} , \dot{H}_{2y} з точних граничних умов: тангенційних складових електричного та магнітного полів на межі розділу є рівними у обох середовищах

$$\dot{H}_{1y} = \dot{H}_{2y}, \quad \dot{E}_{1x} = \dot{E}_{2x}. \quad (1.8)$$

Умови (1.8) дають зв'язок між \dot{E}_{1x} та \dot{E}_{2x} з яких випливає, що

$$\dot{E}_{2x} = \frac{\dot{E}_{1z}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_2}}, \quad (1.9)$$

а з умови (1.8) для тангенційних складових магнітного поля \dot{H}_{1y} , \dot{H}_{2y} , з яких випливає що

$$\dot{H}_{2y} = \frac{\dot{E}_{1z}}{120\pi}. \quad (1.10)$$

Для отримання складової \dot{E}_{2z} , необхідно скористуватися точними граничними умовами для нормальних складових електричного поля

$$\dot{E}_{1z} \cdot \epsilon_1 = \dot{E}_{2z} \cdot \dot{\epsilon}_2, \quad (1.11)$$

де $\epsilon_1 = 1$ - відносна діелектрична проникність повітря;

$\dot{\epsilon}_2$ - комплексна відносна діелектрична проникність ґрунту.

З виразу (1.11) можна отримати вертикальну складову електричного поля \dot{E}_{2z} у ґрунті

$$\dot{E}_{2z} = \frac{\dot{E}_{1z}}{\dot{\epsilon}_2}. \quad (1.12)$$

З виразів (1.12) і (1.10) та граничних умов (1.8) витікає, що горизонтальна складова в ґрунті або у морській воді є більшою за вертикальну складову $\dot{E}_{2x} \gg \dot{E}_{2z}$. Тому в даному випадку необхідно застосовувати антени з горизонтальною поляризацією.

Таким чином, усі складові поля у першому і другому середовищі виражені через \dot{E}_{1z} , причому $\dot{E}_{1z} > \dot{E}_{1x}$, $\dot{E}_{2z} < \dot{E}_{2x}$. Це означає, що наявність напівпровідникової Землі істотно змінює структуру напруженості поля випромінювача вертикальної поляризації. Крім вертикальної складової \dot{E}_{1z} в електричному полі випромінювача на границі розподілу з'являється горизонтальна складова \dot{E}_{1x} (1.7), амплітуда і фаза якої визначається електричними параметрами ґрунту.

Наявність складової \dot{E}_{1x} призведе до того, що вектор Пойнтінга (і фронт хвилі) виявляються нахиленими до поверхні Землі, у зв'язку з чим частина електромагнітної енергії поглинається ґрунтом (рис. 1.2). Крім того, виникнення горизонтальної складової, яка є несинфазною з вертикальною, призведе до того, що в точці прийому результуюче поле над поверхнею землі і в землі поляризоване еліптично (рис. 1.3).

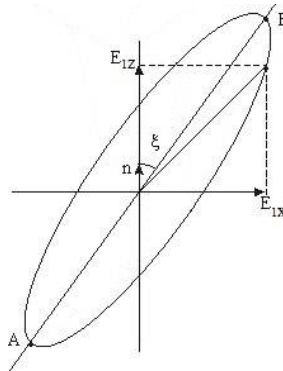


Рисунок 1.3 – Еліпс поляризації хвилі, що поширюється уздовж пласкої поверхні землі

Кут ξ між великою віссю AB еліпса поляризації та нормаллю до поверхні \bar{n} визначається зі співвідношення

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{1}{\sqrt{|\dot{\epsilon}_2|}}.$$

Наявність горизонтальних складових електричного поля \dot{E}_{1x} та \dot{E}_{2x} дозволяє здійснювати прийом радіохвиль на горизонтальні антени у вигляді проводів, розтягнутих в напрямку поширення хвилі над землею і в землі. Глибоко в землю провід не занурюється, бо усередину хвиля швидко загасає.

Для визначення величини вертикальної складової електричного поля над землею \dot{E}_{1z} використовують формулу Шулейкіна – Ван-дер-Поля [2]

$$E_{1z} = \frac{\sqrt{120PD}}{r} |\dot{V}|, \quad (1.13)$$

у якій зменшення напруженості поля над реальною землею по зрівнянню з напруженістю поля у вільному просторі враховується множителем послаблення \dot{V} . Таким чином, задача знаходження напруженості поля над напівпровідниковою поверхнею зводиться до визначення модуля множника послаблення $|\dot{V}|$. Відповідно до методу Шулейкіна – Ван-дер-Поля розраховують чисельну відстань, яку для вертикально поляризованого випромінювача знаходять за формулою

$$\rho_B = \frac{\pi r \sqrt{(\varepsilon_2 - 1)^2 + (60\lambda\sigma_2)^2}}{\lambda |\dot{E}_2|^2}, \quad (1.14)$$

а для горизонтально поляризованого випромінювача

$$\rho_z = \frac{\pi r \sqrt{(\varepsilon_2 - 1)^2 + (60\lambda\sigma_2)^2}}{\lambda}. \quad (1.15)$$

З формул (1.14) та (1.15) випливає, що чисельна відстань ρ є величина безрозмірна і залежить від відстані r між передавальною та приймальною антенами, довжини хвилі λ і властивостей поверхні

землі (ε_2, σ_2), над якою поширюються хвилі. В окремому випадку, коли $\varepsilon_2 \gg 1$ (море), формула (1.14) спрощується

$$\rho_e = \frac{\pi r}{\lambda |\dot{\varepsilon}_2|}, \quad \rho_z = \frac{\pi r}{\lambda} |\dot{\varepsilon}_2|.$$

Якщо струми провідності значно перевищують струми зміщення в ґрунті, тобто $60\lambda\sigma_2 \gg \varepsilon_2$, то

$$\rho_e = \frac{\pi r}{60\lambda^2\sigma}, \quad \rho_z = \pi r 60\sigma.$$

Якщо навпаки, то

$$\rho_e = \frac{\pi r}{\lambda \varepsilon_2}, \quad \rho_z = \frac{\pi r \varepsilon_2}{\lambda}.$$

Існують наближені формули, які зв'язують відстань та множник послаблення

$$|\dot{V}| \approx \frac{2 + 0,3\rho_{e,z}}{2 + \rho_{e,z} + \rho_{e,z}^2}. \quad (1.16)$$

Якщо $\rho_{e,z} > 25$ вираз для $|\dot{V}|$ спрощується

$$|\dot{V}| \approx \frac{1}{2\rho_{e,z}}.$$

З формул (1.14) - (1.16) випливає, що при зменшенні провідності ґрунту σ_2 , або при збільшенні фізичної відстані r множник послаблення зменшується, в той час як збільшення довжини хвилі, навпаки, викликає збільшення множника послаблення при майже

рівних умовах. На великих відстанях, коли $\rho_{e,z} > 25$, напруженість поля \dot{E}_{1z} зворотно пропорційна квадрату відстані r .

Через сферичність землі застосування формули Шулейкіна – Ван-дер-Поля можливе тільки на відносно невеликих відстанях, в межах яких поверхню землі можна апроксимувати площиною.

2 Поширення радіохвиль над шматково-однорідною плоскою трасою

Найбільш істотний вплив на поширення радіохвиль на неоднорідній трасі чинять її кінцеві ділянки, які безпосередньо межують з передавальною та приймальною антенами, і носять умовну назву “злітний” та “посадочний” майданчики.

Фізична природа цього явища міститься у послаблюючій дії напівпровідникової землі на приземні радіохвилі. Основний потік енергії як би “піднімається” над поверхнею землі і поширюється у вільному просторі на деякій висоті над землею.

В основі точного рішення задач поширення радіохвиль над неоднорідною поверхнею та при виводі формули Шулейкіна – Ван-дер-Поля лежить припущення, що модуль комплексної діелектричної проникності кожної з ділянок траси значно більше одиниці. Це дозволяє використовувати наближені граничні умови і вирішивши хвильове рівняння (або рівняння Максвелла) отримати вираз для множника послаблення хвилі, яка поширюється над неоднорідною трасою. Для траси з двох різнорідних ділянок, у яких чисельні відстані великі ($\rho_1 \gg 1$, $\rho_2 \gg 1$), множник послаблення [3,5]

$$V = \frac{1}{2 \sqrt{\frac{\rho_1}{r_1} \frac{\rho_2}{r_2} (r_1 + r_2)}}, \quad r_1 \neq 0, \quad r_2 \neq 0. \quad (2.1)$$

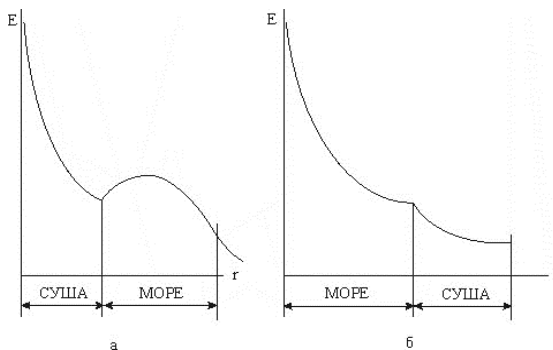


Рисунок 2.1 – Залежність напруженості поля від відстані на неоднорідній трасі

Вираз (2.1) дозволяє виявити специфічний ефект, який проявляється при поширенні хвиль над шматково-однорідною трасою. В той час, як над однорідним ґрунтом зі збільшенням відстані напруженість поля завжди зменшується, на неоднорідних трасах може спостерігатися значний зріст амплітуди напруженості поля при переході траси на ділянки з більш високою провідністю, наприклад, з суші на море (рис. 2.1, а).

В випадку, коли передавач знаходиться на морі, а прийом здійснюється на суші, перехід від моря до суші супроводжується істотним зменшенням напруженості поля (рис. 2.1, б).

3 Розрахункове завдання

За наведеними раніше формулами і даними таблиці 3.1, а також даних, загальних для усіх бригад: робочої довжини хвилі $\lambda=3,2$ см.; провідності моря $\sigma = 10^5 \frac{C.M}{M}$; електричних параметрів суші $\varepsilon_2 = 3$, $\sigma_2 = 0$. Треба зробити наступні розрахунки в пунктах 3.1 – 3.4.

3.1 Нормовану горизонтальну складову електричного поля $\frac{E_{1x}}{E_{1z}}$ і кут нахилу ξ результуючого вектора E .

3.2 Нормовану вертикальну $\frac{E_{1z}}{E_{2z}}$ і горизонтальну $\frac{E_{2z}}{E_{1z}}$ складові електричного поля в “суші”, а також кут ξ .

3.3 Побудувати розподіл нормованої величини вертикальної складової напруженості електричного поля над однорідною трасою типу “море” і однорідною трасою типу “суша”.

3.4 Побудувати розподіл нормованої вертикальної складової напруженості електричного поля вздовж шматково-однорідної траси “суша–море”.

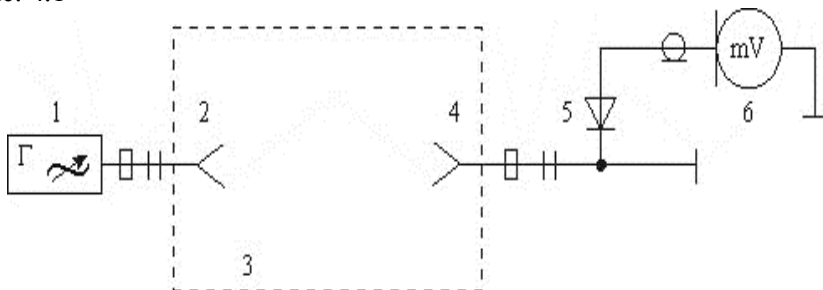
Дані взяти з таблиці 3.1. Розрахунки п. п. 3.4 проводити для r від 5 до 55 см. Пронормувати, прийнявши за одиницю значення при $r=0$. Побудувати залежності на окремих графіках. Для траси “суша – море” формули (1.8) та (2.1) дають однакові результати при $r = r_{\text{суші}}$ тільки для $\rho \gg 1$. Ця умова в моделі радіотраси не виконується через малі розміри моделі. При розрахунку необхідно виконати нормування множника послаблення, обчисленого за формулою (2.1), таким чином, щоб прирівняти його до множника послаблення, який визначається за формулою (1.8) *при $r=0$* .

Таблиця 3.1 - Дані для розрахунків

№ бригади		1	2	3	4	5	6	7
Траса, см	суша	20	25	30	35	40	45	15
	море	35	30	25	20	15	10	40

4 Опис експериментальної установки

Структурна схема експериментальної установки зображена на рис. 4.1



1 – генератор НВЧ коливань; 2 – передавальна антена; 3 – модель радіотраси; 4 – приймальна антена; 5 – хвилеводна детекторна секція; 6 – мілівольтметр.

Рисунок 4.1 – Структурна схема експериментальної установки:

Приймальна антена може вільно переміщуватися по всій довжині траси.

Основна складова експериментальної установки – модель траси. При моделюванні розмір траси зменшуємо у співвідношенні $\frac{\lambda_{\text{моделі}}}{\lambda_{\text{дійсне}}}$. Але при цьому електричні параметри траси необхідно змінити

так, щоб не змінилася величина ρ . З формули (1.6) видно, що для цього необхідно збільшити ϵ_2 або σ_2 траси. Так, для моделювання середньохвильової траси ($\lambda \approx 300$ м), яка пройде над морем з,

$\sigma_2 = 4 \frac{\text{См}}{\text{м}}$ на хвилі $\lambda = 3.2$ см провідність моделі повинна досягати $10^4 \dots 10^5 \frac{\text{См}}{\text{м}}$, тобто для моделювання моря можна використовувати

метал.

Провідність еквівалентної сухопутної траси повинна складати приблизно $10^2 \frac{C_M}{M}$. Відсутність матеріалу з такою провідністю змушує відмовитися від точного моделювання середньохвильової траси над дуже сухим ґрунтом $\sigma_2 \approx 10^{-5} \frac{C_M}{M}$.

Модель траси являє собою прямокутний ящик, заповнений сухим піском. Провідність його не перевищує $10^{-2} \frac{C_M}{M}$. Модель дозволяє прослідити ефекти, які мають місце на реальних трасах. Для моделювання неоднорідної траси маємо набір металевих пластин.

5 Порядок виконання роботи

5.1 Ввімкнути генератор і мілівольтметр, дати апаратурі прогрітись, добитися усталеної генерації НВЧ – коливань.

5.2 Зняти амплітудний розподіл поля вздовж однорідних трас: “море” (метал), “суша” (пісок). Приймальну антену переміщувати в межах моделі радіотраси.

5.3 Виміряти амплітудний розподіл поля вздовж неоднорідної траси “суша – море” для того варіанта траси, який розраховувався.

5.4 Виміряти залежність амплітуди напруженості поля від відстані для двох трас : “суша - море - суша” і “море – суша – море”.

Вказівки:

1. При вимірюванні розподілу напруженості поля вважати, що амплітудна характеристика детекторної секції квадратична. Тому напруженість поля прямо пропорційна квадратному кореню з показань мілівольтметра.

2. Вимірювальний зонд повинен переміщуватись на висоті не більше 2...3 мм від поверхні траси.

3. Обмежені розміри лабораторної установки призводять до малого загасання хвиль, відбитих від границь траси, і до появи інтерференційних максимумів напруженості поля в точці прийому. В тій області, де ці спотворення особливо значні, необхідно зняти розподіл поля в екстремальних точках і потім провести усереднену криву.

6 Зміст звіту

6.1 Результати попередніх розрахунків.

6.2 Експериментальні результати розподілу відносних величин напруженості поля вздовж кожної з трас.

Результати розрахунку і експерименту необхідно поєднати на одному графіку, окремому для кожного виду траси. Експериментальні і розрахункові криві напруженості поля нормуються до рівня поля при мінімальній відстані g .

7 Контрольні запитання

7.1 За якою ознакою ґрунт поділяють на провідники та діелектрики?

7.2 Які точні та наближені граничні умови виконуються на границі розподілу “повітря – земля” ?

7.3 Намалювати і пояснити хід кривих, які показують залежність множника послаблення від коефіцієнту заповнення неоднорідної траси сушею (морем).

7.4 Вплив зміни параметрів ґрунту та довжини хвилі на поле поряд з поверхнею землі.

7.5 Сутність явища берегової рефракції. Що таке помилка пеленга і як вона виникає ?

7.6 Які умови повинні виконуватися при моделюванні траси ? Чи виконуються вони при роботі на лабораторній установці ?

7.7 При яких умовах розрахунок напруженості поля можна вести за формулою Шулейкіна – Ван-дер-Поля?

7.8 Сутність методики Шулейкіна – Ван-дер-Поля для розрахунку напруженості поля при поширенні хвиль поблизу земної поверхні.

7.9 Структура поля хвилі, яка поширюється поблизу напівпровідникової поверхні у повітрі і в землі.

7.10 Що розуміють під електричними параметрами ґрунтів?

7.11 Чому для пояснення механізму поширення радіохвиль над неоднорідною трасою можна використовувати уявлення про “злітному” та “посадочному” майданчиках?

Перелік джерел посилань

1. Рубан А. І., Гогоці Ю. Г., Гусак О. Г. Теорія поля : підручник. Суми : Сумський державний університет, 2023. – 279 с.
2. Пілінський В.В., Швайченко В.Б. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 343 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/2df0ef72-19a8-4865-89d5-420ef55ccb19> (дата звернення 15.04.2026)
3. Логачова Л. М. Бугрова Т.І. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок : навч. посіб. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 236 с.
4. Герасимчук В.С., Васильченко Г.С., Кравцов В.І. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах. навч. посіб. К.: Книги України ЛТД, 2010. 470 с.
5. Ільїнов М.Д., Гурський Т.Г., Борисов І.В., Гриценко К.М. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої. Навчальний посібник. К.: ВІПІ, 2018. 250 с.

Додаток А [4]

Таблиці косинус - і синус - інтегралів Френеля

R=0, ... , 3.25

$$C(R) = \int_0^R \cos\left[\frac{\pi}{2} \cdot U^2\right] dU$$

$$S(R) = \int_0^R \sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot U^2\right] dU$$

R	C(R)	S(R)
0	0.0000000	0.0000000
0.5	0.0499999	0.0000654
0.1	0.0999975	0.0005236
0.15	0.1499813	0.001767
0.2	0.1999211	0.0041876
0.25	0.2497592	0.0081756
0.3	0.299401	0.014117
0.35	0.3487063	0.02239
0.4	0.3974808	0.0333594
0.45	0.4454682	0.0473692
0.5	0.4923442	0.0647324
0.55	0.5377111	0.0857189
0.6	0.5810954	0.1105402
0.65	0.6219488	0.1393324
0.7	0.6596523	0.1721364
0.75	0.693526	0.2088771
0.8	0.7228442	0.2493413
0.85	0.7468577	0.2931575
0.9	0.7648231	0.3397762
0.95	0.7760395	0.3884568
1.0	0.7798936	0.438259
1.05	0.7759098	0.4880459
1.1	0.7638071	0.5364978
1.15	0.7435566	0.5821423
1.2	0.7154384	0.623401
1.25	0.6800916	0.6586558
1.3	0.6385515	0.6863339
1.35	0.5922678	0.7050108
1.4	0.5430967	0.7135268
1.45	0.4932593	0.7111118
1.5	0.4452612	0.697508
1.55	0.4017716	0.6730791
1.6	0.3654593	0.6388918

R	C(R)	S(R)
1.65	0.338794	0.596755
1.7	0.3238206	0.5491994
1.75	0.3219265	0.4993865
1.8	0.3336223	0.4509379
1.85	0.3583658	0.4076833
1.9	0.3944586	0.3733375
1.95	0.4390467	0.3511261
2.0	0.4882481	0.3433943
2.05	0.5374219	0.3512427
2.1	0.5815767	0.3742451
2.15	0.6158948	0.4103026
2.2	0.6363245	0.4556856
2.25	0.6401743	0.5052971
2.3	0.6266184	0.5531669
2.35	0.5970233	0.5931492
2.4	0.5550034	0.6196941
2.45	0.5061459	0.6289442
2.5	0.4573894	0.619188
2.55	0.4181432	0.5915369
2.6	0.3889302	0.5499935
2.65	0.3804562	0.5010901
2.7	0.3924835	0.452662
2.75	0.4232547	0.4139823
2.8	0.4674864	0.3915152
2.85	0.5170743	0.3900195
2.9	0.5623856	0.4101248
2.95	0.5942435	0.4481093
3.0	0.6057438	0.4963104
3.05	0.5941194	0.5444698
3.1	0.5616131	0.5818378
3.15	0.5154127	0.5996474
3.2	0.4661592	0.5933846
3.25	0.4263098	0.56425