



Міністерство транспорту та зв'язку України
Державна адміністрація зв'язку
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторної роботи

«Дослідження принципів побудови та характеристик антен базових станцій мобільного зв'язку»

з дисципліни

«Системи мобільного зв'язку»

Модуль 1 — Функціональні пристрої радіоканалу систем мобільного зв'язку

для студентів денної та заочної форм навчання
факультетів інформаційних мереж та телекомунікаційних систем

Одеса 2011

УДК 629.396.67

Укладач М.Б. Проценко

Рецензенти: проф. кафедри ТЕД та СРЗ, д.т.н., проф. ОНАЗ Цалієв Т.А.;
доц. кафедри ТЕД та СРЗ, доц. ОНАЗ Бойко М.П.
старш. викл. кафедри ТЕД та СРЗ, к.т.н. Нестерук С.В.

Метою методичних вказівок є допомога студентам при вивченні теоретичних положень модуля 1 — Функціональні пристрої радіоканалу систем мобільного зв'язку, теми 1.3 — Антенні пристрої базових та абонентських станцій систем мобільного зв'язку, а саме, принципів побудови антен базових станцій мобільного зв'язку у вигляді панельних антен, дослідженні їх характеристик в рамках лабораторного практикуму, ознайомлення з основними етапами проведення лабораторної роботи та особливостями оформлення результатів дослідження в звітному протоколі.

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форм навчання факультетів інформаційних мереж та телекомунікаційних систем.

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні методичного семінару кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку (протокол № 1 від 28.09.2010 р.)

ЗМІСТ

1	Загальні вимоги до виконання лабораторної роботи	4
2	Лабораторна робота	4
2.1	Мета роботи	4
2.2	Ключові положення	4
2.3	Ключові питання	15
2.4	Домашнє завдання	16
2.5	Лабораторне завдання	18
2.6	Опис алгоритму та особливостей програми	19
2.7	Зміст звіту	22
2.8	Рекомендована література	22
	Додаток А. Вихідні дані для виконання досліджень	23
	Додаток Б. Текст програми «Аналіз геометричних параметрів та характеристик випромінювання панельних антен»	24
	Додаток В. Зразок звіту	28

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Зміст роботи повинен бути заздалегідь вивчений на основі методичних вказівок із залученням теоретичного матеріалу з лекційного курсу, відповідної літератури.

Лабораторна робота виконується бригадами у складі 2-х — 3-х студентів, кожен з яких виконує індивідуальне завдання.

Звіт складається кожним студентом та захищається в індивідуальному порядку.

Вихідні дані для виконання завдань досліджень вибираються кожним студентом відповідно до передостанньої (m) та останньої (n) цифр номера залікової книжки, наведених в Додатку А.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

«Дослідження принципів побудови та характеристик антен базових станцій мобільного зв'язку»

2.1 Мета роботи

Метою лабораторної роботи є поглиблення теоретичних знань з теми 1.3 — Антенні пристрої базових та абонентських станцій систем мобільного зв'язку та оволодіння розрахунковими методиками аналізу характеристик випромінювання панельних антен базових станцій мобільного зв'язку.

2.2 Ключові положення

Структурна схема антенно-фідерного тракту базової станції мобільного зв'язку, елементи, що входять до її складу

На рис. 1 зображені типові (зразкові) схеми антенно-фідерних трактів базових станцій мобільного зв'язку, зокрема, на рис. 1,а показана схема антенно-фідерного тракту з колінеарною (неспрямованою) антеною, а на рис. 1,б — з панельною (спрямованою) антеною.

Цифрами на рис. 1 позначені наступні елементи, що входять до складу базової станції мобільного зв'язку, точніше її антенно-фідерного тракту: 1) неспрямована антена; 2) спрямована антена; 3) кабельна вставка; 4) головний фідер; 5) грозорозряджувач; 6) пристрій заземлення фідера; 7) двохсмуговий суматор; 8) приймач базової станції.

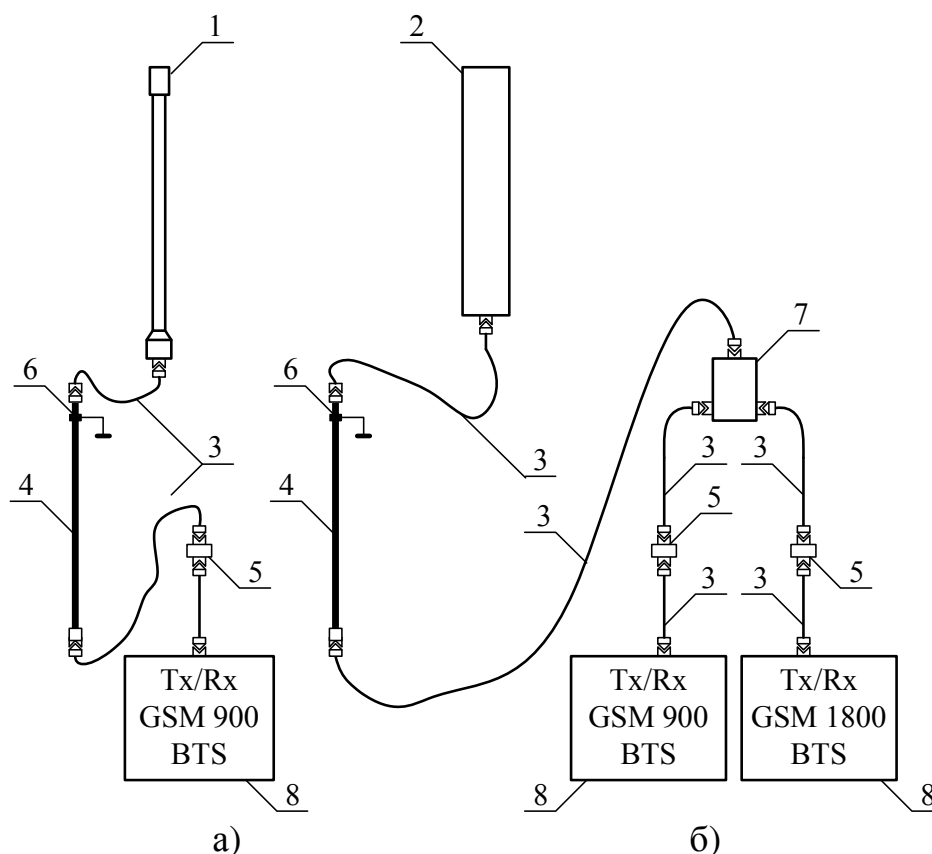


Рисунок 1 — Типові схеми антенно-фідерного тракту базових станцій мобільного зв'язку

Анени базових станцій мобільного зв'язку випускаються в двох основних модифікаціях: **неспрямовані антени** та **спрямовані антени**.

Неспрямована антена (Omni) базової станції мобільного зв'язку, є антенною решіткою, що складається з напівхвильових вібраторів, які розташовані співвісно, так звана *колінеарна* антена. Як правило, напівхвильові вібратори збуджуються рівноамплітудно та синфазно, іноді із запізненням по фазі, що забезпечує нахил головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС) у вертикальній площині для оптимізації зони покриття. Залежно від кількості напівхвильових вібраторів діапазон зміни коефіцієнтів посилення (КП) антен складає 2,15...11,0 дБі.



Спрямовані антени базових станцій мобільного зв'язку у вигляді *панельної* антени (Panel) є антенними решітками, що складаються з напівхвильових вібраторів, розташованих над металевим екраном та об'єднаних за допомогою жорстких коаксіальних кабелів. Залежно від типу, антена має один, два, чотири або шість зовнішніх рознімачів, що фактично указує на число незалежних антен, розміщених в одному корпусі. Моделі розрізняються шириною головної пелюстки ДС в

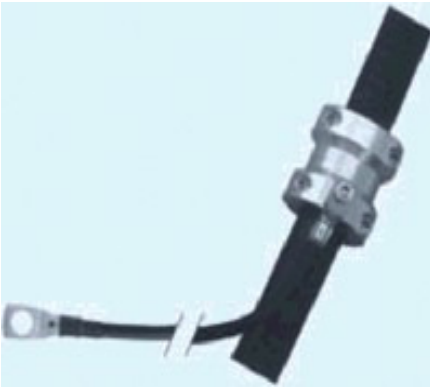
горизонтальній площині (60° , 90° , 105° чи 120°), КП (6,5... 18,5 дБі), а також величиною потужності, що підводиться (100...500 Вт). У ряді моделей передбачений електричний нахил променя (фіксований або регульований), який забезпечується відповідною схемою живлення.

Серед останніх розробок, особливе місце займають панельні антени з подвійною похилою поляризацією (XPol, XXPol — антени). Подібні антени складаються з двох, чотирьох або шести незалежних дипольних систем. На основі таких антен розроблені багатодіапазонні антени (Multi-band), зокрема: дводіапазонні (Dual-band) на частоти 900/1800 МГц, тридіапазонні (Triple-band) на частоти 900/1800/2000 МГц.

Подільники (суматори) потужності призначені для розподілу потужності між декількома антенами (випромінюючими елементами) в складних антенних системах. Вони можуть бути також використані для формування розгалужених кабельних мереж. Подільники потужності випускаються на всі необхідні частотні діапазони, рівні підведеної потужності від 100 до 500 Вт. Відомі подільники потужності з рівним діленням (splitter) на 2/3/4 канали та нерівним діленням на 2 канали (tapper) з втратами на ділення 6/10/15 дБ. Конструкції подільників потужності та технологія їх виробництва забезпечують рівень власних втрат не більше 0,05 дБ, а герметичний корпус дозволяє використовувати їх в складних погодних умовах при температурах $-60^\circ \dots +55^\circ \text{C}$.

Грозорозряджувачі необхідні для захисту устаткування від розряду блискавки. Варіанти розряджувачів істотно розрізняються як за конструкцією, так і за принципом дії. Так, в розряджувачі POLYPHASER встановлені діодні вставки, закорочуючі лінію при певних значеннях наведеної напруги. Принцип дії розряджувача TERACOM заснований на використанні відрізка коаксіальної лінії, що шунтує постійний струм, в чверть довжини робочої хвилі. Розряджувачі SPINNER представлені в двох модифікаціях. Перша має відрізок шунтуючої лінії, а друга містить газову капсулу з інертним газом, який іонізується під дією імпульсу високої напруги. Всі вказані типи розряджувачів мають ряд моделей, що відрізняються робочим діапазоном частот, рівнем потужності, що пропускається, граничними величинами пробивної напруги та струму розряду. Розряджувачі мають низькі власні втрати (менше 0,2 дБ) та широкий діапазон робочих температур $-40^\circ \dots +50^\circ \text{C}$.





Пристрій заземлення фідера (уземлювач) застосовується для зняття наведеного статичного потенціалу із зовнішнього провідника кабелю, а також для забезпечення ефективної роботи грозорозряджувача, конструкція якого не передбачає наявності окремого заземлюючого провідника. Сукупність уземлювач-грозорозряджувач найефективніше захищає устаткування від електричних розрядів та статичного заряду. Уземлювачі випускаються на всі діаметри кабелів.

Радіочастотні коаксіальні кабелі, які використовуються в базових станціях мобільного зв'язку, можна умовно розділити на дві основні групи: *кабелі загального застосування та особливо гнучкі.*

Кабелі загального застосування (маркування RF) забезпечують передачу радіочастотного сигналу від базової станції до антени та назад. Діаметр кабелю: 3/8", 1/2", 5/8", 7/8", 1 1/4", 1 5/8" і 2 1/4". Кабелі характеризуються низьким згасанням за рахунок використання в них спіненого поліетилену високої щільності (маркування HD) та постійним хвильовим опором (50 Ом) в широкому діапазоні частот. Внутрішній провідник кабелю робиться з мідного дроту, мідної трубки або алюмінієвого дроту, вкритого міддю. Зовнішній провідник є мідною гофрованою трубкою або мідною стрічкою, згорнутою в спіраль. Ззовні внутрішній та зсередини зовнішній провідники вкриті тонкою поліетиленовою плівкою, а простір між провідниками заповнений спіненим поліетиленом із ступенем розширення до 80%. Така багатошарова конструкція додатково забезпечує підвищену вологостійкість. Кабелі здатні працювати в діапазоні температур $-60^{\circ}\dots+70^{\circ}\text{C}$.



Особливо гнучкі кабелі (маркування RFF) використовуються в кабельних вставках, що поєднують основний фідер з антеною, або з устаткуванням. Діаметр кабелю також стандартизований: 1/4", 3/8", 1/2", 7/8". На відміну від кабелів загального призначення, в даних кабелях застосовується спінений поліетилен низької щільності (маркування LD), а зовнішній провідник виконаний зі спіралевидної гофри з меншим кроком. Таке технічне рішення дозволяє істотно зменшити мінімальний радіус багатократного вигину кабелю та підвищити його гнучкість.

Кабельні вставки застосовуються для з'єднання основного фідера з антеною, або з базовою станцією. Крім того, вставки демпфують механічні

коливання, що виникають під дією погодних чинників, і тим самим знімають механічне навантаження з рознімів на антені, головному фідері та базовій станції. Готові кабельні вставки мають довжину 1,2 та 3 метри, виготовляються з особливо гнучкого кабелю з прямими або кутовими рознімами на кінцях.

Коаксіальні розніми виготовляються на всі діаметри кабелів загального застосування та особливо гнучких і відрізняються відповідними типами (типу N; 7/16 DIN та ін.) Окрім кабельних рознімів, виготовляються панельні або апаратні розніми, які використовуються в різній апаратурі, а також коаксіальні адаптери для переходу з одного типу розніму на інший. Розніми характеризуються низьким перехідним опором контактів (менше 0,001 Ом), низьким відносним рівнем інтермодуляційних складових (–156 дБ), високим ступенем узгодження з кабелем (КСХН не більше 1,03), багаторазовістю використання (до 10000 згвинчувань). Розніми розрізняються за конструкцією,



методом зборки та установлення їх на кабель та способом герметизації. Так, герметизація рознімів SPINNER забезпечується спеціальним силіконовим компаундом, який закачується всередину розніму в простір між зовнішньою частиною розніму та зовнішнім



провідником кабелю, розніми WISI — компаундом або термоусадною трубкою. Розніми TERACOM не потребують спеціального захисту. Крім того, додаткові кільця в конструкціях цих рознімів забезпечують їх працездатність навіть при пошкодженні оболонки кабелю.



Конструктивні особливості та характеристики випромінювання панельних антен базових станцій мобільного зв'язку

Панельні антени є плоскими антенними решітками з аперіодичним рефлектором (плоским металевим екраном), в яких як антенні елементи часто використовуються симетричні напівхвильові вібратори (довжина симетричного вібратора $2l = \lambda/2$, де λ — довжина електромагнітної хвилі).

Ескіз панельної антени базової станції мобільного зв'язку зображений на рис. 2. Тут же пояснюються основні геометричні параметри антени, зокрема: кількість антенних елементів та відстань між ними в поперсі позначена відповідно m та d_m ; кількість поверхів та відстань між ними позначена відповідно n та d_n ; відстань від антенних елементів до аперіодичного рефлектора (металевого екрану) позначена змінною d_e .

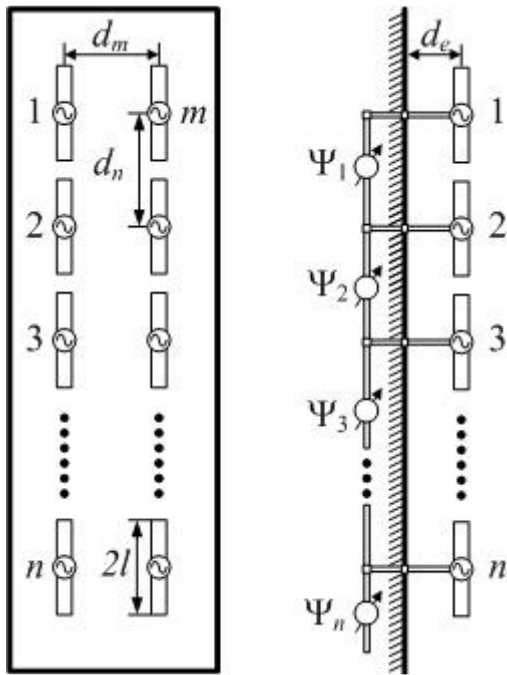


Рисунок 2 — Ескіз панельної антени базової станції мобільного зв'язку

Антенні елементи на поверхсі панельної антени зазвичай збуджуються рівноамплітудно та синфазно, а поверхи панельної антени або рівноамплітудно та синфазно $\Psi_1 = \Psi_2 = \Psi_3 = \dots = \Psi_n$, або рівноамплітудно та з лінійним фазовим зсувом $\Delta\Psi$. Лінійний фазовий зсув $\Delta\Psi = \Psi_1 - \Psi_2 = \Psi_2 - \Psi_3 = \dots$ джерел збудження дозволяє в незначних межах змінювати напрям максимального випромінювання θ_{\max} антени без істотної зміни форми її діаграми спрямованості (ДС).

Для інженерного (наближеного) розрахунку та аналізу характеристик спрямованості панельної антени, зокрема, ДС в основних ортогональних площинах (E - та H -площині) можемо скористатися наступними формулами:

$$f^E(\theta) = f_{\hat{a}\hat{e}}^E(\theta) f_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^E(\theta, d_e) f_{\hat{\delta}\hat{\alpha}\hat{\phi}}^E(\theta, n, d_n, \Delta\Psi) \quad \text{при } -\pi/2 < \theta < \pi/2, \quad (1)$$

$$f^H(\varphi) = f_{\hat{a}\hat{e}}^H(\varphi) f_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^H(\varphi, d_e) f_{\hat{\delta}\hat{\alpha}\hat{\phi}}^H(\varphi, m, d_m) \quad \text{при } -\pi/2 < \varphi < \pi/2, \quad (2)$$

де $f_{\hat{a}\hat{e}}^E(\theta)$ $f_{\hat{a}\hat{e}}^H(\varphi)$ – ДС антенного елемента (симетричного вібратора) в ортогональних площинах; $f_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^E(\theta, d_e)$ $f_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^H(\varphi, d_e)$ – множники системи, що характеризують вплив аперіодичного рефлектора (плоского металевого екрана) на ДС антенної системи у відповідних ортогональних площинах; $f_{\hat{\delta}\hat{\alpha}\hat{\phi}}^E(\theta, n, d_n, \Delta\Psi)$, $f_{\hat{\delta}\hat{\alpha}\hat{\phi}}^H(\varphi, m, d_m)$ – множники решітки у відповідних ортогональних площинах, які залежать від кількості антенних елементів, відстані між ними та фазового зсуву джерел збудження.

Розташування панельної антени у відповідних площинах (E - та H -площині) та відлік кутів θ та φ у цих площинах пояснюється на рис. 3.

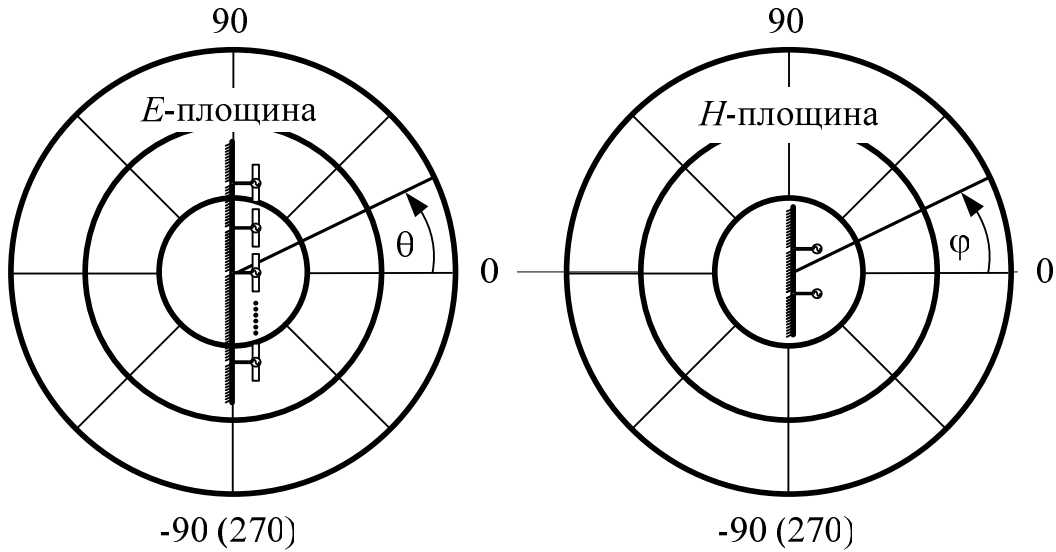


Рисунок 3 — Основні ортогональні площини та відлік кутів

ДС симетричного вібратора в E -площині можна обчислити за формулою

$$f_{\text{ає}}^E(\theta) = \left| \frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos kl}{\cos \theta} \right|, \quad (3)$$

де $k = 2\pi/\lambda$ — хвильове число вільного простору; кут θ відлічується від нормалі до антенного елемента (див. рис. 3).

При $2l = \lambda/2$ значення $kl = \pi/2$ та вираз (3) матиме наступний вигляд

$$f_{\text{ає}}^E(\theta) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right|. \quad (4)$$

При $\theta = \pm \pi/2$ вираз (4) дорівнює

$$f_{\text{ає}}^E\left(\pm \frac{\pi}{2}\right) = \left| \frac{0}{0} \right| \equiv 0.$$

ДС симетричного вібратора в H -площині можна обчислити за формулою

$$f_{\text{ає}}^H(\varphi) = |1 - \cos kl|. \quad (5)$$

При $2l = \lambda/2$ вираз (5) матиме наступний вигляд

$$f_{\hat{a}\hat{e}}^H(\varphi) = 1, \quad (6)$$

тобто ДС симетричного вібратора в H -площині не залежить від кутової змінної φ .

Для обчислення множників системи, що характеризують вплив аперіодичного рефлектора (плоского металевого екрану), вважатимемо, що розміри екрану досить великі, а це у свою чергу дозволяє скористатися методом дзеркальних зображень та розглянути антенний елемент з екраном як двоелементну антенну решітку з протифазним збудженням елементів, розташованих на відстані $2d_e$ один від одного. Виключаючи проміжні перетворення, отримуємо вирази для розрахунку множників системи у відповідних ортогональних площинах

$$f_{\hat{a}\hat{e}\hat{\theta}}^E(\theta, d_e) = |\sin(kd_e \cos \theta)|; \quad (7)$$

$$f_{\hat{a}\hat{e}\hat{\varphi}}^H(\varphi, d_e) = |\sin(kd_e \cos \varphi)|. \quad (8)$$

При $d_e = \lambda/4$ значення $kd_e = \pi/2$ та вирази (7) та (8) матимуть наступний вигляд

$$f_{\hat{a}\hat{e}\hat{\theta}}^E\left(\theta, d_e = \frac{\lambda}{4}\right) = \left| \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) \right|; \quad (9)$$

$$f_{\hat{a}\hat{e}\hat{\varphi}}^H\left(\varphi, d_e = \frac{\lambda}{4}\right) = \left| \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi\right) \right|. \quad (10)$$

Множники решітки з урахуванням рівноамплітудного з лінійним фазовим зсувом $\Delta\Psi$ збудження в E -площині та рівноамплітудного синфазного збудження антенних елементів в H -площині можна обчислити за формулами

$$f_{\hat{d}\hat{a}\hat{\theta}}^E(\theta, n, d_n, \Delta\Psi) = \left| \frac{\sin\left[\frac{n(kd_n \sin \theta - \Delta\Psi)}{2}\right]}{n \sin\left[\frac{kd_n \sin \theta - \Delta\Psi}{2}\right]} \right|; \quad (11)$$

$$f_{\hat{d}\hat{a}\hat{\varphi}}^H(\varphi, m, d_m) = \left| \frac{\sin\left[\frac{m(kd_m \sin \varphi)}{2}\right]}{m \sin\left[\frac{kd_m \sin \varphi}{2}\right]} \right|. \quad (12)$$

У разі, коли відстань між поверхами плоскої антенної решітки $d_n = \lambda/2$ значення $kd_n = \pi$ та вираз (11) можна представити в наступному вигляді

$$f_{\text{д\text{а}o}}^E \left(\theta, n, d_n = \frac{\lambda}{2}, \Delta\Psi \right) = \left| \frac{\sin \left[\frac{n(\pi \sin \theta - \Delta\Psi)}{2} \right]}{n \sin \left[\frac{\pi \sin \theta - \Delta\Psi}{2} \right]} \right|. \quad (13)$$

Взаємозв'язок між напрямом максимального випромінювання та лінійним фазовим зсувом збуджувальних джерел визначається виразом

$$\Delta\Psi = kd_n \sin \theta_{\text{max}} \quad (14)$$

або з урахуванням $d_n = \lambda/2$, $kd_n = \pi$

$$\Delta\Psi = \pi \sin \theta_{\text{max}}. \quad (15)$$

При $m = 2$ (два антенні елементи в поперсі) вираз (12) можна записати у вигляді

$$f_{\text{д\text{а}o}}^H (\varphi, m = 2, d_m) = \left| \cos \left(\frac{kd_m \sin \varphi}{2} \right) \right|. \quad (16)$$

Таким чином з урахуванням наведених формул (3) — (16) вирази (1) та (2) можна представити у вигляді

$$f^E (\theta) = \left| \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2} \sin \theta \right)}{\cos \theta} \right| \left| \sin \left(\frac{\pi}{2} \cos \theta \right) \right| \left| \frac{\sin \left[\frac{n(\pi \sin \theta - \Delta\Psi)}{2} \right]}{n \sin \left[\frac{\pi \sin \theta - \Delta\Psi}{2} \right]} \right|, \quad (17)$$

$$f^H (\varphi, d_m) = \left| \sin \left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi \right) \right| \left| \cos \left(\frac{kd_m \sin \varphi}{2} \right) \right|, \quad (18)$$

при $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ і $-\pi/2 < \varphi < \pi/2$.

У формулах (17) та (18) враховано, що довжина антенного елемента (симетричного вібратора) $2l = \lambda/2$, відстань до аперіодичного рефлектора (плоского металевого екрану) $d_e = \lambda/4$, відстань між поверхами плоскої антенної решітки $d_n = \lambda/2$, кількість антенних елементів у поперсі $m = 2$.

При аналізі ДС антени часто використовують параметри, що визначають ширину головної пелюстки ДС за рівнем половинної потужності у відповідних ортогональних площинах $2\Delta\theta_{0,707}$ та $2\Delta\phi_{0,707}$. Оскільки ДС антени зазвичай зображають у вигляді кутової залежності амплітуди напруженості електромагнітного поля, то рівень половинної потужності відповідає значенню 0,707 від максимальної амплітуди напруженості електричного поля. У логарифмічному масштабі рівень половинної потужності відповідає значенню -3 дБ від максимальної амплітуди напруженості електромагнітного поля.

Для інженерного (наближеного) розрахунку КП антени (вважатимемо, що втрати в антені відсутні, тобто ККД антени рівний одиниці та відповідно КП рівний коефіцієнту направленої дії) можемо скористатися наступною формулою

$$G = G_{\dot{a}\dot{e}} G_{\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}} G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^A(n, d_n) G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^H(m, d_m), \quad (19)$$

де $G_{\dot{a}\dot{e}}$ – КП антенного елементу (симетричного вібратора); $G_{\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}}$ – парціальний КП, що враховує вплив аперіодичного рефлектора (плоского металевого екрану); $G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^A(n, d_n)$, $G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^H(m, d_m)$ – парціальні КП плоскої антенної решітки у відповідних ортогональних площинах.

При $2l = \lambda/2$

$$G_{\dot{a}\dot{e}} = 1,64 \text{ (2,15 дБі)}. \quad (20)$$

Припускаючи, що розміри екрану досить великі відносно довжини хвилі λ , екран плоский високопровідний

$$G_{\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}} = 2,0 \text{ (3,01 дБі)}. \quad (21)$$

Парціальні КП плоскої антенної решітки у відповідних ортогональних площинах можна обчислити за формулами

$$G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^A(n, d_n) = \frac{n^2}{n + 2 \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) \frac{\sin i kd_n}{i kd_n}}; \quad (22)$$

$$G_{\dot{\delta}\dot{a}\dot{\delta}}^H(m, d_m) = \frac{m^2}{m + 2 \sum_{i=1}^{m-1} (m-i) \frac{\sin i kd_m}{i kd_m}}. \quad (23)$$

де $k = 2\pi/\lambda$ — хвильове число вільного простору.

При $d_n = d_m = \lambda/2$ значення аргументу синуса $kd_n = kd_m = \pi$ та формули (22), (23) спрощуються до вигляду

$$G_{\text{д\text{а}o}}^{\text{A}} \left(n, d_n = \frac{\lambda}{2} \right) = n; \quad (24)$$

$$G_{\text{д\text{а}o}}^{\text{H}} \left(m, d_m = \frac{\lambda}{2} \right) = m. \quad (25)$$

Для випадку, коли кількість антенних елементів у поверсі $m = 2$ та елементи розташовуються на довільній відстані d_m один від одного, вираз (23) матиме вигляд

$$G_{\text{д\text{а}o}}^{\text{H}} (m = 2, d_m) = \frac{2}{1 + \frac{\sin kd_m}{kd_m}}. \quad (26)$$

Таким чином з урахуванням наведених формул (20) — (26) вираз (19) можна представити у вигляді

$$G(n, d_m) = 1,64 \cdot 2 \cdot n \cdot \frac{2}{1 + \frac{\sin kd_m}{kd_m}}. \quad (27)$$

або

$$G(n, d_m) = 2,15 + 3,01 + 10 \cdot \lg n + 10 \cdot \lg \frac{2}{1 + \frac{\sin kd_m}{kd_m}} \text{ дБі}. \quad (28)$$

У формулах (27) та (28) також враховано, що довжина антенного елемента (симетричного вібратора) $2l = \lambda/2$, відстань до аперіодичного рефлектора (плоского металевго екрану) $d_e = \lambda/4$, відстань між поверхами плоскої антенної решітки $d_n = \lambda/2$, кількість антенних елементів у поверсі $m = 2$.

Для обчислення КП довільної антени (також з урахуванням ККД = 1) відома загальна формула вигляду

$$G = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} f^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi}, \quad (29)$$

проте при безпосередньому використанні формули (29) особливу математичну складність представляє визначення просторової характеристики спрямованості антени за потужністю $f^2(\theta, \varphi)$.

З урахуванням додаткових спрощень та перетворень вираз (29) може бути приведений до вигляду

$$G = \frac{4\pi}{2\Delta\theta_{0,707} 2\Delta\varphi_{0,707}} \quad (30)$$

або

$$G = 10 \log \frac{4\pi}{2\Delta\theta_{0,707} 2\Delta\varphi_{0,707}} \text{ дБi}, \quad (31)$$

де чисельні значення ширини головної пелюстки ДС в основних ортогональних площинах $2\Delta\theta_{0,707}$ та $2\Delta\varphi_{0,707}$ необхідно підставляти в радіанах.

2.3 Ключові питання

Питання для допуску до лабораторної роботи:

1. Коротко поясніть схему антенно-фідерного тракту базової станції мобільного зв'язку, включаючи її елементи.
2. Поясніть конструктивні відмінності та особливості характеристик спрямованості колінеарних та панельних антен, які використовуються у складі базових станцій мобільного зв'язку.
3. Поясніть призначення та особливості подільників (суматорів) потужності.
4. Поясніть призначення та особливості грозозоряджувачів та уземлювачів кабелю.
5. Поясніть призначення та особливості радіочастотних коаксіальних кабелів (кабелів загального призначення та особливо гнучких кабелів).
6. Поясніть призначення та особливості кабельних вставок та коаксіальних рознімів.

Питання до захисту лабораторної роботи:

1. Запишіть інженерну формулу для обчислення ДС панельної антени у вертикальній площині (E -площина). Поясніть кожен з множників.
2. Запишіть інженерну формулу для обчислення ДС панельної антени в горизонтальній площині (H -площина). Поясніть кожен з множників.
3. Поясніть залежність ширини головної пелюстки ДС від відносних розмірів антени, кількості елементів та відносної відстані між ними.
4. Поясніть залежність напрямку максимального випромінювання антени від лінійного фазового зсуву джерел збудження елементів та від відносної відстані між ними.
5. Поясніть взаємозв'язок КП панельної антени з її відносними розмірами, шириною головної пелюстки ДС.

Питання підвищеної складності*:

1. Виведіть формулу (7) або (8).
2. Виведіть формулу (11) або (12).
3. Виведіть формулу (16).
4. Виведіть формулу (22) або (23).
5. Виведіть формулу (30).

*Обґрунтована відповідь на будь-яке питання підвищеної складності зараховується як виконання та захист лабораторної роботи з максимальним балом.

2.4 Домашнє завдання

1. Вивчіть теоретичні положення (ключові положення), використовуючи методичні вказівки, конспект лекцій та рекомендовану літературу.
2. Підготуйте відповіді на ключові питання (питання для допуску до лабораторної роботи).
3. Підготуйте макет звіту (зразки титульного листа та змісту протоколу наведені в Додатку В).
4. Вивчіть алгоритм та особливості програми.
5. Розв'яжіть задачу (результат розв'язування задачі відноситься до вихідних даних для виконання лабораторної роботи).
6. Ознайомтесь із змістом каталога фірми KATHREIN (електронний варіант даного каталога додається до електронного варіанта методичних вказівок, а також знаходиться в роздрукованому вигляді в лабораторії).

Завдання. Визначте необхідний коефіцієнт посилення (КП) антени базової станції мобільного зв'язку $G_{\text{БС}}$ при заданій дальності D та заданому запасі на завмирання $L_{\text{завм}}$. Чисельні значення D та $L_{\text{завм}}$ вибрати з табл. А1 «Вихідні дані для домашнього завдання» (див. Додаток А).

Методичні рекомендації для розв'язання задачі. Потужність сигналу на вході приймача абонентської станції мобільного зв'язку визначається згідно виразу

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}} G_{\text{АН}} G_{\text{АН}}}{L_{\text{АН}} L_{\text{АН}} L_{\text{на}} L_{\text{за}}}, \quad (32)$$

де $P_{\text{вх}}$, $P_{\text{вх}}$ – потужності сигналу на виході передавача базової станції та на вході приймача абонентської станції мобільного зв'язку, відповідно, Вт (або мВт — мілліватт); $G_{\text{АН}}$, $G_{\text{АН}}$ – КП антен базової та абонентської станції мобільного зв'язку, відповідно (безрозмірні величини); $L_{\text{АН}} L_{\text{АН}}$ – ослаблення сигналу за рахунок втрат в антенно-фідерних трактах базової та абонентської

станції мобільного зв'язку, відповідно (безрозмірні величини); $L_{\text{н\`a}}, L_{\text{ч\`a\`a\`i}}$ – ослаблення сигналу, обумовлені згасанням при розповсюдженні та завмираннями, відповідно (безрозмірні величини).

У логарифмічному вигляді формулу (32) можна записати як

$$P_{\text{\`a\`o\` \`a\`N}} = P_{\text{\`a\`e\` o\` \`A\`N}} + G_{\text{\`A\`N}} + G_{\text{\`A\`N}} - L_{\text{\`A\`N}} - L_{\text{\`A\`N}} - L_{\text{\`n\`a}} - L_{\text{\`ч\`a\`a\`i}}, \quad (33)$$

де $P_{\text{\`a\`e\` o\` \`A\`N}}, P_{\text{\`a\`o\` \`a\`N}}$ визначені в дБВт (або дБм); $G_{\text{\`A\`N}}, G_{\text{\`A\`N}}$ – у дБі (розмірність дБі означає, що КП визначений щодо ізотропного випромінювача); $L_{\text{\`A\`N}}, L_{\text{\`A\`N}}$ та $L_{\text{\`n\`a}}, L_{\text{\`ч\`a\`a\`i}}$ – у дБ.

Переведення одиниць вимірювання в дБ та навпаки здійснюється за формулами

$$P, \text{\`a\`A\`A\`o} = 10 \lg \left(\frac{P, \text{\`A\`o}}{1, \text{\`A\`o}} \right); \quad P, \text{\`a\`A\`i} = 10 \lg \left(\frac{P, \text{\`i\`A\`o}}{1, \text{\`i\`A\`o}} \right);$$

$$P, \text{\`a\`A\`A\`o} = P, \text{\`a\`A\`i} - 30 \quad \text{та} \quad P, \text{\`a\`A\`i} = P, \text{\`a\`A\`A\`o} + 30$$

$$P, \text{\`A\`o} = 10^{\frac{P, \text{\`a\`A\`A\`o}}{10}}; \quad P, \text{\`i\`A\`o} = 10^{\frac{P, \text{\`a\`A\`i}}{10}};$$

$$G, \text{\`a\`A\`3} = 10 \lg \left(\frac{G}{G_3} \right), \quad \text{де } G_3 = 1 \text{ — КП ізотропного випромінювача;}$$

$$G = 10^{\frac{G, \text{\`a\`A\`3}}{10}}.$$

Для обчислення необхідного КП антени базової станції мобільного зв'язку $G_{\text{\`A\`N}}$ в разях згідно формули (32) можна скористатися виразом

$$G_{\text{\`A\`N}} = \frac{P_{\text{\`a\`o\` \`a\`N}} L_{\text{\`A\`N}} L_{\text{\`A\`N}} L_{\text{\`n\`a}} L_{\text{\`ч\`a\`a\`i}}}{P_{\text{\`a\`e\` o\` \`A\`N}} G_{\text{\`A\`N}}}, \quad (34)$$

або для визначення $G_{\text{\`A\`N}}$ в дБ згідно формули (33) виразом

$$G_{\text{\`A\`N}} = P_{\text{\`a\`o\` \`a\`N}} + L_{\text{\`A\`N}} + L_{\text{\`A\`N}} + L_{\text{\`n\`a}} + L_{\text{\`ч\`a\`a\`i}} - P_{\text{\`a\`e\` o\` \`A\`N}} - G_{\text{\`A\`N}}. \quad (35)$$

Чисельні значення $P_{\text{\`a\`o\` \`a\`N}}, P_{\text{\`a\`e\` o\` \`A\`N}}, G_{\text{\`A\`N}}, L_{\text{\`A\`N}}, L_{\text{\`A\`N}}$ задані для всіх варіантів однаковими (див. доповнення до табл. А1, Додаток А). Чисельне значення $L_{\text{\`ч\`a\`a\`i}}$ вибирається з табл. А1 «Вихідні дані для домашнього завдання» (див. Додаток А) відповідно до варіанта.

Для обчислення $L_{\text{\`n\`a}}$ можна скористатися формулами

$$L_{\text{нв}} = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \text{ або } L_{\text{нв}} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 20 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) \quad (36)$$

де D – максимальна дальність дії базової станції мобільного зв'язку; λ – довжина електромагнітної хвилі.

Чисельне значення D вибирається з табл. А1 «Вихідні дані для домашнього завдання» (див. Додаток А) відповідно до варіанту. Чисельне значення λ задане для всіх варіантів однаковим (див. доповнення до табл. А1, Додаток А).

При розрахунку $L_{\text{нв}}$ згідно (36) значення D та λ необхідно привести до єдиних одиниць вимірювання.

2.5 Лабораторне завдання

1) На основі заданого значення ширини головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності в H -площині $2\Delta\varphi_{0,707}$ (див. табл. А2 «Вихідні дані для лабораторного завдання», Додаток А) визначте відстань d_m між антенними елементами на поперсі.

Для цього скористайтеся формулою (18) та її програмовою реалізацією (див. Додаток Б).

Проміжні результати відображайте в табл. 1

Таблиця 1

d_m/λ								
$2\Delta\varphi_{0,707}$, град								

2) На основі розрахованого в ході виконання домашнього дослідження значення КП антени базової станції $G_{\text{АН}}$ визначте необхідну кількість поверхів n у плоскій антенній решітці.

Для цього скористайтеся формулою (27) або (28) та її програмовою реалізацією (див. Додаток Б). При дробовому значенні проведіть округлення до цілого. Результат запишіть у звіт.

3) На основі заданого напрямку головної пелюстки ДС антени θ_{max} (див. табл. А2 «Вихідні дані для лабораторного завдання», Додаток А) визначте необхідний фазовий зсув $\Delta\Psi$.

Для цього скористайтеся формулою (15) та її програмовою реалізацією (див. Додаток Б). Результат запишіть у звіт.

4) З використанням отриманих значень n — кількості поверхів у плоскій антенній решітці (п.2 лабораторного завдання) та $\Delta\Psi$ — необхідного фазового зсуву (п.3 лабораторного завдання) визначте ширину головної пелюстки ДС

антени за рівнем половинної потужності в E -площині $2\Delta\theta_{0,707}$ та уточнене значення θ_{\max} .

Для цього скористайтеся формулою (17) та її програмовою реалізацією (див. Додаток Б). Результати запишіть у звіт.

5) З використанням отриманих значень $2\Delta\varphi_{0,707}$ (п.1 лабораторного завдання) та $2\Delta\theta_{0,707}$ (п.4 лабораторного завдання) визначте КП панельної антени.

Для цього скористайтеся формулою (30) або (31) та її програмовою реалізацією (див. Додаток Б). Результат запишіть у звіт та порівняйте з отриманим в ході домашніх досліджень значенням.

6. Якісно зобразіть в звіті отримані ДС панельної антени базової станції мобільного зв'язку.

7. Зробіть докладні висновки.

2.6 Опис алгоритму та особливостей програми

Макет лабораторної роботи «Дослідження принципів побудови та характеристик антенних систем базових станцій мобільного зв'язку» є програмою (див. Додаток Б), написаною в програмовому середовищі MATHCAD — математично орієнтованій універсальній системі. Програма дозволяє проводити розрахунки та моделювання характеристик випромінювання панельних антен базових станцій мобільного зв'язку у вигляді плоскої антенної решітки. Розрахунок та аналіз характеристик випромінювання проводиться залежно від кількості, геометричних параметрів антенних елементів, їх розташування в плоскій антенній решітці та заснований на використанні інженерних (наближених) формул.

Головними особливостями програми, які визначаються в першу чергу можливостями програмового середовища MATHCAD, є: здійснення обчислень з використанням спеціальної системи символів найбільш наближених до традиційної форми запису; проведення складних обчислень та здійснення відповідно до них побудови графіків.

Алгоритм роботи з програмою полягає в наступному:

1) Запуск програмового середовища MATHCAD на персональному комп'ютері, встановленому на робочому місці (включення персонального комп'ютера та запуск програмового середовища MATHCAD здійснює викладач).

2) Відкриття файла «СМЗ М1 Антени базових станцій. xmcad» (місцезнаходження файла «СМЗ М1 Антени базових станцій. xmcad» указує викладач).

3) Перевірка результату розв'язання домашньої задачі (у разі невідповідності результату, необхідний КП антени базової станції мобільного зв'язку перераховується з використанням програми).

4) Введення вихідних даних (місцезнаходження вихідних даних в програмі ілюструється на рис. 4).

5) Введення чисельного значення змінної, що визначає відстані між антенними елементами на поверхсі антенної решітки в межах $d_m = 0,1 \lambda \dots 0,5 \lambda$ (місцезнаходження змінної, що визначає відстань між антенними елементами в програмі, ілюструється на рис. 5).

6) Розрахунок ДС антени в H -площині (розрахунок та побудова графіка ДС антени в H -площині в полярній системі координат за заданими даними здійснюється в програмі автоматично).

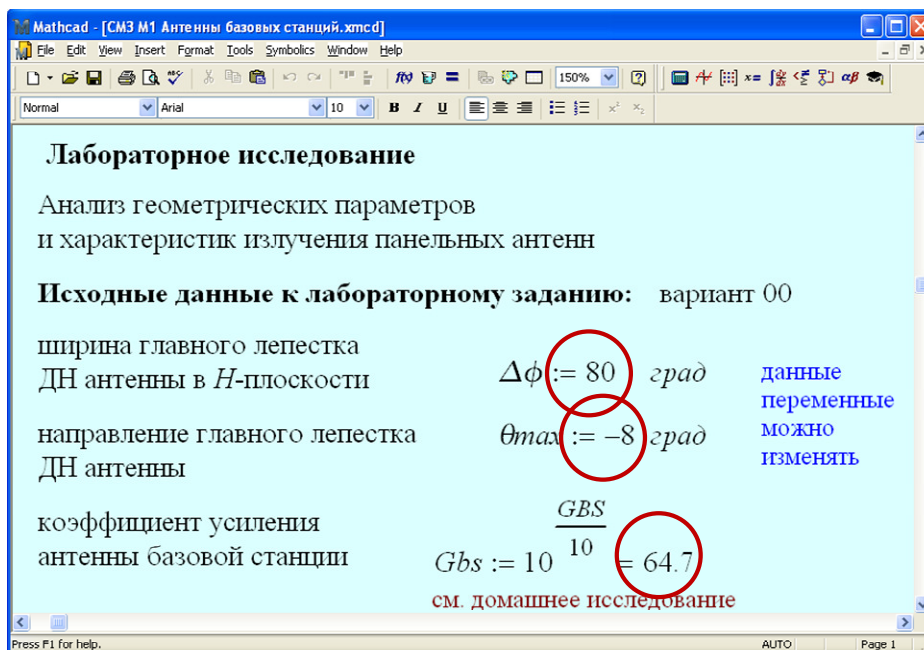


Рисунок 4 – Уведення вихідних даних

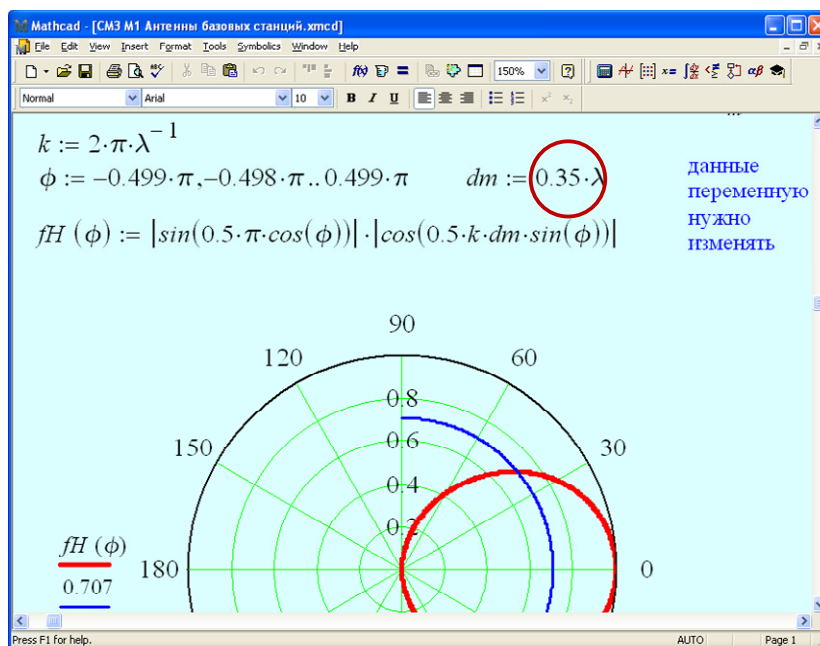


Рисунок 5 – Уведення чисельного значення змінної, яка визначає відстані між антенними елементами на поверхсі антенної решітки

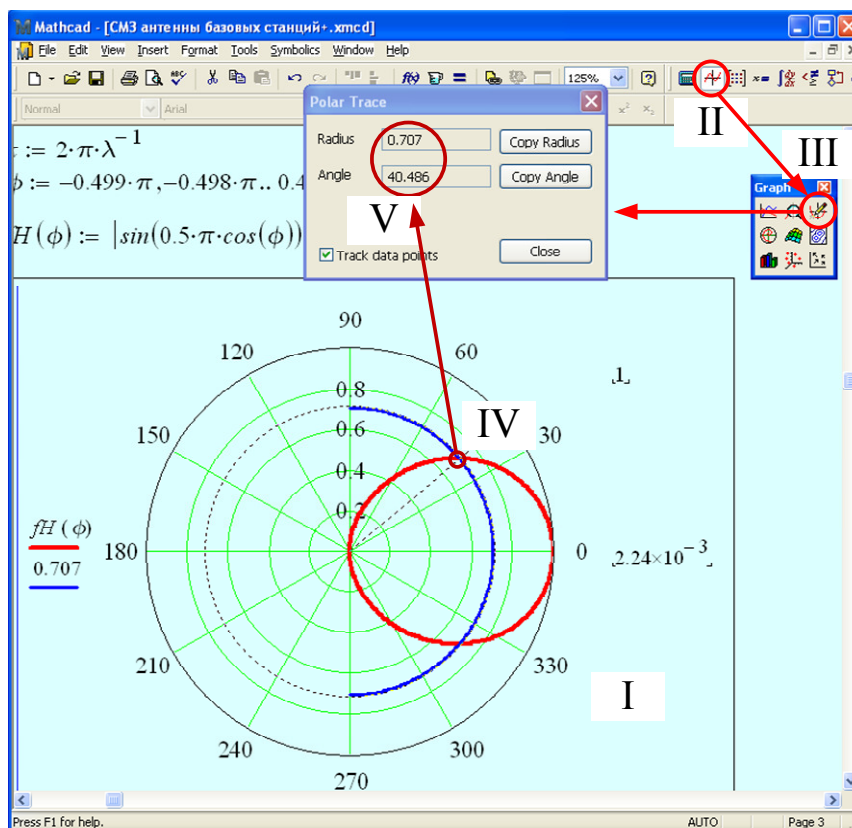


Рисунок 6 – Визначення ширини ДС антени

7) Вимірювання ширини головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності в H -площині.

Процедура вимірювання ширини головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності пояснюється на рис. 6, зокрема:

— виділення рисунку — I (виділення рисунку здійснюється натисненням лівої кнопки «мишки» при знаходженні курсора на рисунку);

— відкриття вікна «Polar Trace» (відкриття вікна «Polar Trace» здійснюється послідовним виконанням наступних дій: активізація піктограми «Graph Toolbar» — II, внаслідок чого з'являється вікно «Graph»; активізація піктограми «Trace» у вікні «Graph» — III, внаслідок чого з'являється вікно «Graph Toolbar»;

— вимірювання кутової координати φ_1 однієї з точок перетину ДС антени (червона крива) та кола радіусом 0,707 (синя крива) (виділення необхідної точки на графіку здійснюється натисненням лівої кнопки «мишки» при знаходженні курсора на цій точці, що приводить до появи пунктирної лінії, що проходить через центр системи координат та дану точку — IV, в результаті у вікні «Polar Trace» з'являються полярні координати точки перетину кривих — V);

— вимірювання кутової координати φ_2 іншої точки перетину ДС антени (червона крива) і кола радіусом 0,707 (синя крива) (процес аналогічний вищеприписаному);

— визначення ширини головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності (з урахуванням розташування ДС антени в полярній системі координат та відліку кутів у даній системі ширина головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності визначається за формулою $2\Delta\varphi_{0,707} = |\varphi_1 - (\varphi_2 - 360)|$ град.)

8) Підбір оптимальної відстані між антенними елементами на поверхсі антенної решітки (змінюючи відстань d_m/λ (див. п. 5)) та проводячи подальше вимірювання ширини ДС антени в H -площині (див. п. 7)), потрібно домогтися, щоб $2\Delta\varphi_{0,707}$ відповідало заданому значенню).

9) Визначення кількості поверхів в антенній решітці (обчислення кількості поверхів в антенній решітці за заданими та розрахованими даними, а також округлення отриманого результату до цілого числа здійснюється в програмі автоматично).

10) Визначення лінійного фазового зсуву джерел збудження (визначення лінійного фазового зсуву джерел збудження за заданими даними здійснюється в програмі автоматично).

11) Розрахунок ДС антени в E -площині (розрахунок та побудова графіка ДС антени в E -площині в полярній системі координат за заданими даними здійснюється в програмі автоматично).

12) Вимірювання ширини головної пелюстки ДС за рівнем половинної потужності в E -площині та уточнення кута нахилу ДС (процедура вимірювання

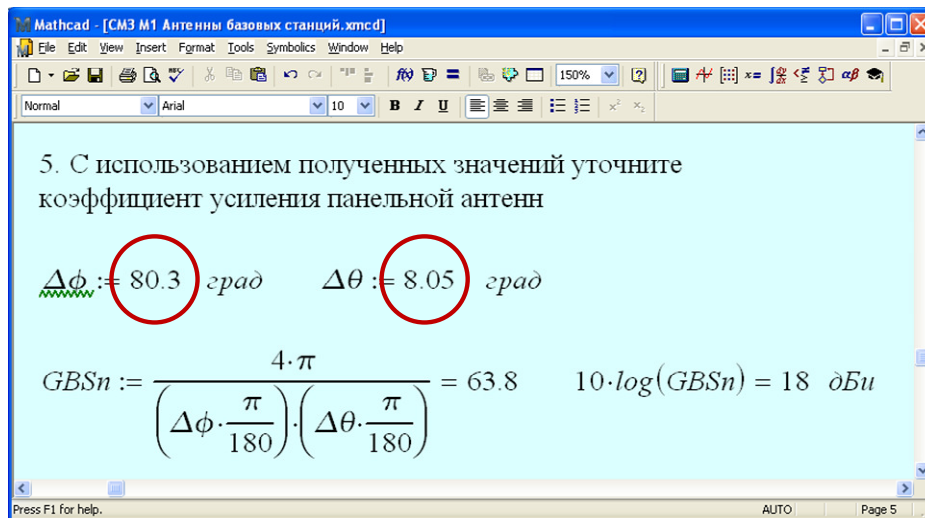


Рисунок 7 – Уведення чисельних значень ширини головної пелюстки ДС в E - і H -площинах

ширини ДС антени за рівнем половинної потужності в E -площині та уточнення кута нахилу головної пелюстки ДС аналогічні вищеписаній (див. п. 7) з урахуванням формули $2\Delta\theta_{0,707} = |\theta_1 - \theta_2|$, град.).

13) Визначення уточненого значення КП панельної антени (після введення отриманих даних, а саме $2\Delta\phi_{0,707}$ (див. п.7)) та $2\Delta\theta_{0,707}$ (див. п.12)), визначення КП антени за розрахованими даними здійснюється в програмі автоматично). Місцезнаходження даних, що вводяться, в програмі ілюструються на рис. 7.

2.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи (див. Додаток В) повинен містити:

- 1) Титульний лист установленого зразка.
- 2) Мета роботи.
- 3) Завдання на домашні дослідження та їх результати.
- 4) Завдання на лабораторні дослідження та їх результати.
- 5) Висновки.

Висновки з роботи повинні включати як констатуючу частину, що відображає основні отримані результати, так і аналітичну, в якій проводиться порівняльний аналіз даних теоретичного та експериментального досліджень, а також пояснення отриманих результатів.

2.8 Рекомендована література

Основна

- 1) Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов [Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д. и др.]; под. ред. Г.А. Ерохина. – [3-е изд.] – М.: Горчая линия – Телеком, 2007. – С.58-247.
- 2) Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов / В.Г. Кочержевский, Г.А. Ерохин, Н.Д. Козырев. – М.: Радио и связь, 1989. – С.74-244.

Додаткова

- 3) Base Station Antennas, Filters, Combiners and Ampilifers for Mobile Communications 790...6000 MHz / KATHREIN Antennen Electronic / Catalogue Issue 01.2009. – www.kathrein.de
- 4) Алехин Ю.Н. Антенно-фидерные устройства для базовых станций сотовой и подвижной связи / Ю.Н. Алехин, Е.В. Лазарева // Мобильные системы. – 2002. – №3.

Додаток А

Таблиця А1 — Вихідні дані для домашнього завдання

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , км	17,2	17,5	17,9	18,2	18,9	19,4	20,0	20,6	21,2	21,8
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{\text{çàâ}}$, дБ	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5

Доповнення до таблиці А1

$$P_{\text{âòÀÑ}} = -77 \text{ дБм}; P_{\text{âèòÀÑ}} = 5 \text{ Вт (або 37 дБм)}; G_{\text{ÀÑ}} = 0 \text{ дБi}; L_{\text{ÀÑ}} = 2 \text{ дБ};$$

$L_{\text{ÀÑ}} = 1 \text{ дБ}; \lambda = 0,324 \text{ м} (f = 925 \text{ МГц} \text{ — середнє значення діапазону } 890 \dots 960 \text{ МГц}).$

Таблиця А2 — Вихідні дані для лабораторного завдання

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$2\Delta\varphi_{0,707}$, рад	120	105	90	60	120	105	90	60	120	105
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
θ_{max} , град	-8	-6	-4	-8	-6	-4	-8	-6	-4	-8

n – остання цифра номера залікової книжки

m – передостання цифра номера залікової книжки

Додаток Б

Лабораторне дослідження

Аналіз геометричних параметрів
та характеристик випромінювання панельних антен



Вихідні дані для лабораторного завдання:

варіант 00

ширина головної пелюстки
ДС антени в H -площині

$$\Delta\phi := 70 \quad \text{град}$$

дані змінні можна
змінювати

напрямок головної пелюстки
ДС антени

$$\theta_{max} := -7 \quad \text{град}$$

коефіцієнт посилення
антени базової станції

$$G_{bs} := 10^{\frac{GBS}{10}} = 64.685$$

див. домашнє дослідження

Виконання

1. На основі заданого значення ширини головної пелюстки
ДС антени за рівнем половинної потужності в H -площині
визначте відстань між антенними елементами на поверхсі dm

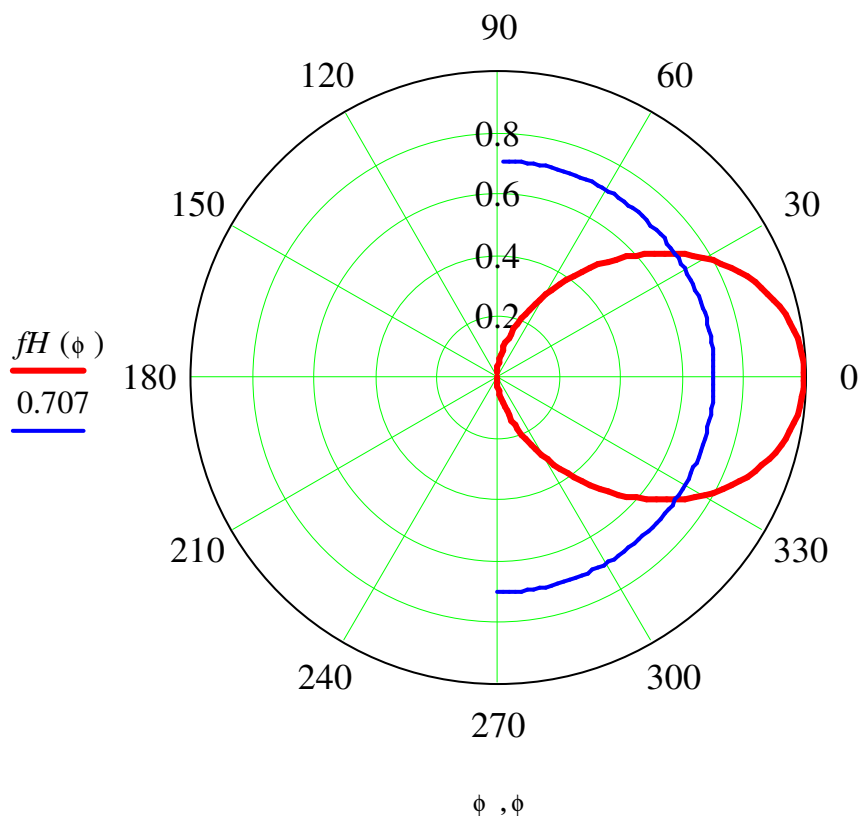
$$k := 2 \cdot \pi$$

$$\phi := -0.499 \cdot \pi, -0.49 \cdot \pi .. 0.499 \cdot \pi$$

$$dm := 0.415$$

дану змінну
потрібно
змінювати

$$f_H(\phi) := |\sin(0.5 \cdot \pi \cdot \cos(\phi))| \cdot |\cos(0.5 \cdot k \cdot dm \cdot \sin(\phi))|$$



2. На основі розрахованого в ході виконання домашнього дослідження значення коефіцієнта посилення антени базової станції G_{AN} визначте необхідну кількість поверхів n плоскої антенної решітки

$$dm \cdot \lambda^{-1} = 0.35 \quad dm = 0.114 \quad \lambda$$

$$G_{bs} = 64.7$$

$$nn := \frac{G_{bs}}{1.64 \cdot 2 \cdot 2} \cdot \left(1 + \frac{\sin(k \cdot dm)}{k \cdot dm} \right) = 13.5 \quad n := \text{round}(nn) = 13$$

3. На основі заданого напрямку головної пелюстки ДС панельної антени визначте необхідний фазовий зсув джерел збудження

$$\theta_{max} = -8 \quad \text{градуси} \quad \theta_{max} \cdot \frac{\pi}{180} = -0.14 \quad \text{радіани}$$

$$\Delta\Psi := \pi \cdot \sin\left(\theta_{max} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = -0.437 \quad \text{радіани} \quad \Delta\Psi \cdot \frac{180}{\pi} = -25.1 \quad \text{градуси}$$

4. З використанням отриманих значень: кількості поверхів плоскої антенної решітки та потрібного фазового зсуву визначите ширину головної пелюстки ДС за рівнем половинної потужності в E -площині

$$n = 13 \quad \Delta\Psi = -0.437 \quad \text{радіани}$$

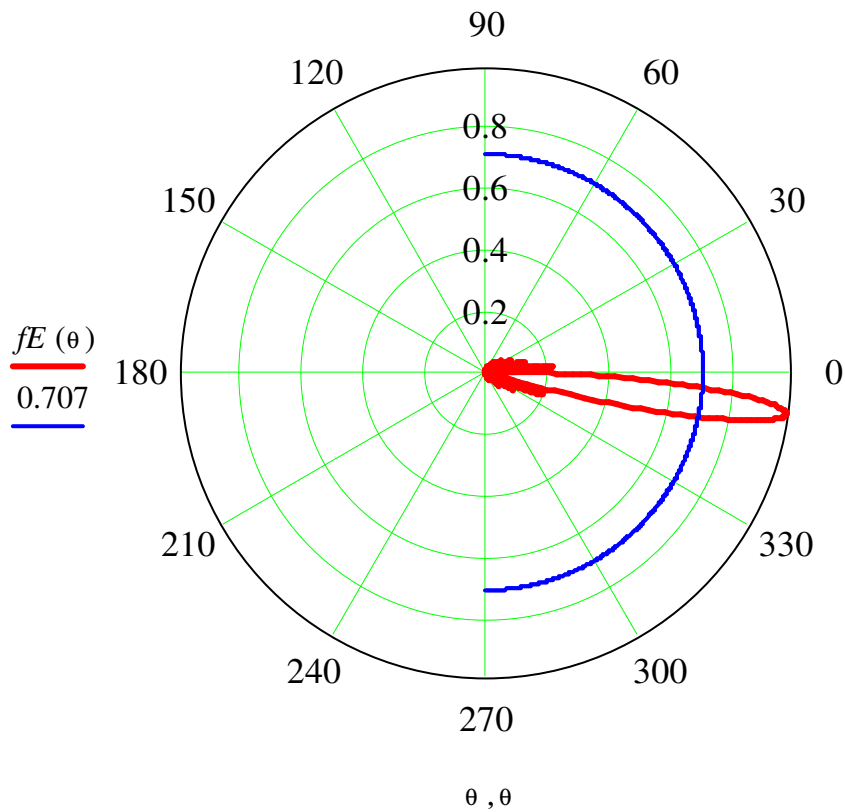
$$\theta := -0.499 \cdot \pi, -0.498 \cdot \pi \dots 0.499 \cdot \pi$$

$$f1E(\theta) := \left| \frac{\cos(0.5 \cdot \pi \cdot \sin(\theta))}{\cos(\theta)} \right|$$

$$f2E(\theta) := |\sin(0.5 \cdot \pi \cdot \cos(\theta))|$$

$$f3E(\theta) := \left| \frac{\sin[0.5 \cdot n \cdot (\pi \cdot \sin(\theta) - \Delta\Psi)]}{n \cdot \sin[0.5 \cdot (\pi \cdot \sin(\theta) - \Delta\Psi)]} \right|$$

$$fE(\theta) := f1E(\theta) \cdot f2E(\theta) \cdot f3E(\theta)$$



5. З використанням отриманих значень уточніть коефіцієнт посилення панельної антени

$$\Delta\phi := 80.3 \quad \text{або} \quad \Delta\theta := 8.05 \quad \text{або}$$

$$GBSn := \frac{4 \cdot \pi}{\left(\Delta\phi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \left(\Delta\theta \cdot \frac{\pi}{180} \right)} = 63.8$$

$$10 \cdot \log(GBSn) = 18$$

Додаток В

*Міністерство транспорту та зв'язку України
Державна адміністрація зв'язку
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова*

*Кафедра технічної
електродинаміки
та систем радіозв'язку*

ЗВІТ

з лабораторної роботи

*«Дослідження принципів побудови та характеристик
антен базових станцій мобільного зв'язку»*

*Виконав: студент гр. ТС 3.401
Петров Петро Петрович
Номер залікової книжки 000000*

*Перевірив: проф. каф. ТЕД та СРС
Проценко М.Б.*

Одеса 2011

Метою лабораторної роботи є поглиблення теоретичних знань з теми 1.3 — Антенні пристрої базових та абонентських станцій систем мобільного зв'язку та оволодіння розрахунковими методиками аналізу характеристик випромінювання антен базових станцій мобільного зв'язку у вигляді панельних антен.

Завдання на домашнє дослідження

Завдання. Визначте необхідний коефіцієнт посилення антени базової станції мобільного зв'язку $G_{\text{АН}}$ при заданій дальності D та заданому запасі на завмирання $L_{\text{заї}}$.

Початкові дані для домашнього завдання

$$L_{\text{заї}} = 11 \text{ дБ}; D = 18,5 \text{ км. (варіант 00)}$$

$$P_{\text{до АН}} = -77 \text{ дБм}; P_{\text{ає о АН}} = 37 \text{ дБм}; G_{\text{АН}} = 0 \text{ дБи}; L_{\text{АН}} = 3 \text{ дБ}; L_{\text{АН}} = 1 \text{ дБ}; \\ \lambda = 0,324 \text{ м} (f = 925 \text{ МГц} — \text{середнє значення діапазону } 890 \dots 960 \text{ МГц}).$$

Результати домашнього дослідження

Для обчислення необхідного коефіцієнта посилення антени базової станції мобільного зв'язку $G_{\text{АН}}$ в дБ скористаємося виразом

$$G_{\text{АН}} = P_{\text{до АН}} + L_{\text{АН}} + L_{\text{АН}} + L_{\text{на}} + L_{\text{заї}} - P_{\text{ає о АН}} - G_{\text{АН}}$$

$$\text{де } L_{\text{на}} = 20 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) \text{ дБ.}$$

$$L_{\text{на}} = 20 \lg \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 18500}{0,324} \right) = 117,1 \text{ [дБ]}$$

$$G_{\text{АН}} = -77 + 3 + 1 + 117,1 + 11 - 37 - 0 = 18,1 \text{ [дБи]} \text{ або } G_{\text{АН}} = 64,7$$

Відповідь: необхідний коефіцієнт посилення антени базової станції мобільного зв'язку $G_{\text{АН}} = 18,1 \text{ дБи}$ або $G_{\text{АН}} = 64,7$.

Завдання на лабораторні дослідження

Вихідні дані для лабораторного завдання

$$G_{\text{АН}} = 64,7; \quad \Delta\varphi_{0,707} = 80 \text{ град}; \quad \theta_{\text{max}} = -8 \text{ град.} \quad (\text{варіант 00})$$

Результати лабораторних досліджень

1. На основі заданого значення ширини головної пелюстки ДС панельної антени в Н-площині $2\Delta\varphi_{0,707} = 80$ град визначимо відстань між антенними елементами в поперсі dm .

Таблиця 1

dm/λ	0,1	0,2	0,3	0,34	0,35	0,36	0,4	0,5
$2\Delta\varphi_{0,707}$, град	115,9	106,7	90,0	82,5	80,3	78	73,3	61

Найбільше відповідає завданню $dm = 0,35$

2. На основі розрахованого в ході виконання домашнього дослідження значення коефіцієнта посилення антени базової станції $G_{\text{АН}}$ визначимо необхідну кількість поверхів n плоскої антенної решітки.

Отримане значення $n = 13$

3. На основі заданого напрямку головної пелюстки ДС антени, а саме $\theta_{\text{max}} = -8$ град., визначимо необхідний фазовий зсув $\Delta\Psi$.

Отримане значення $\Delta\Psi = 21,5$ град.

4. З використанням отриманих значень $n = 13$ та $\Delta\Psi = 21,5$ град визначимо ширину головної пелюстки ДС антени за рівнем половинної потужності в Е-площині $2\Delta\theta_{0,707}$ та уточнене значення θ_{max} .

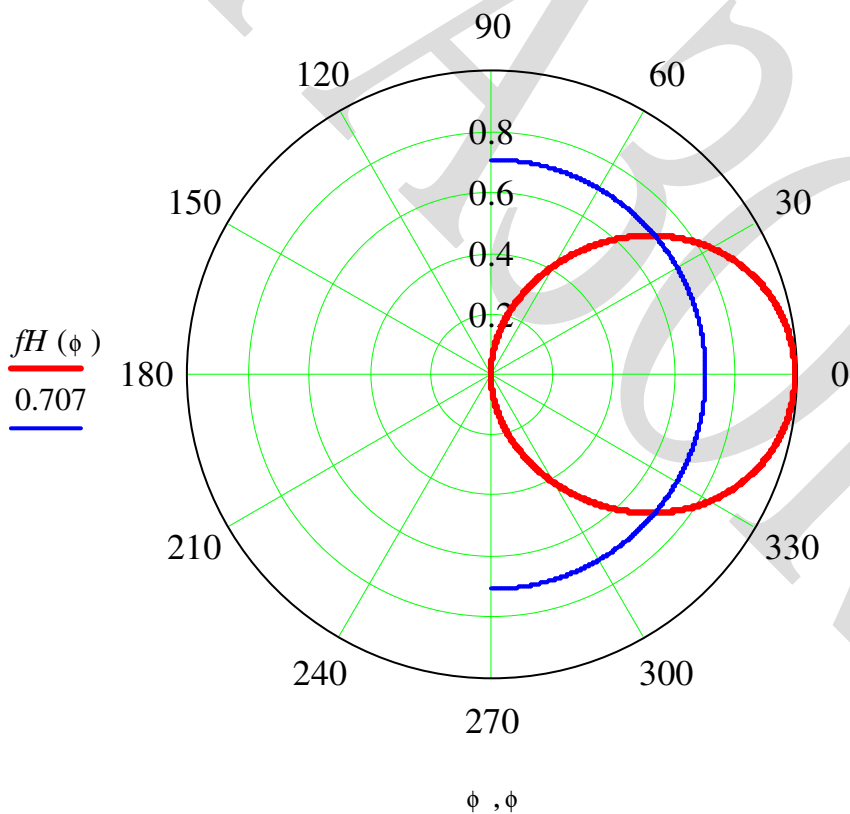
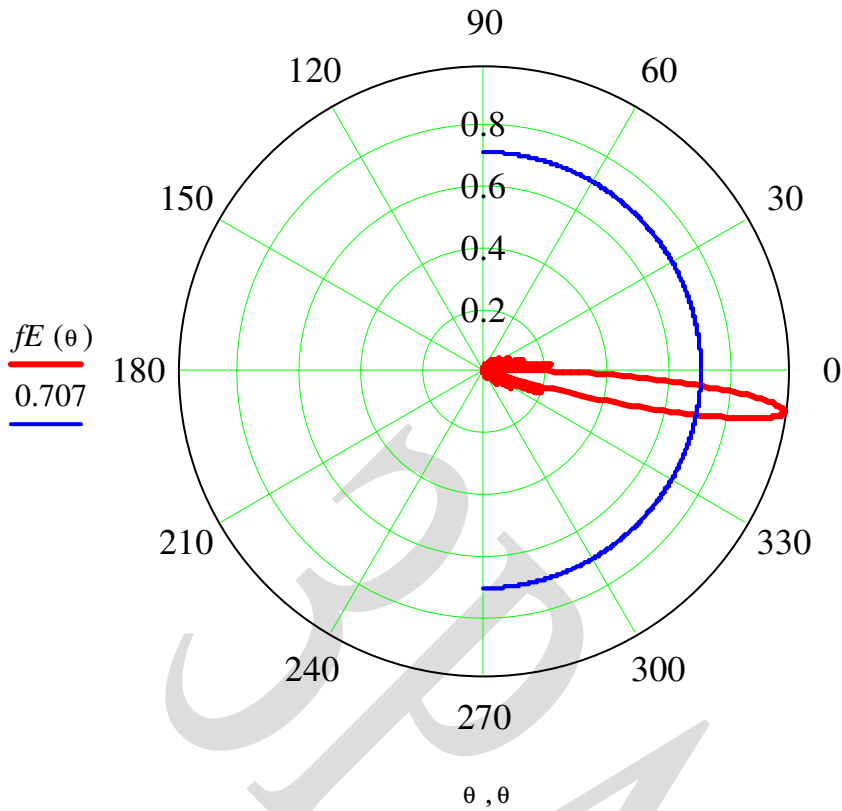
Отримане значення $2\Delta\theta_{0,707} = 8,05$ град та $\theta_{\text{max}} = -8$ град

5. З використанням отриманих значень $2\Delta\varphi_{0,707} = 80,3$ град та $2\Delta\theta_{0,707} = 8,05$ град визначимо коефіцієнт посилення панельної антени.

Отримане значення $G_{\text{АН}} = 63,8$ або $G_{\text{АН}} = 18$ дБі

Результат домашнього дослідження $G_{\text{АН}} = 64,7$ або $G_{\text{АН}} = 18,1$ дБі.

б. ДС панельної антени базової станції мобільного зв'язку



Висновки: В ході виконання лабораторної роботи проведені наступні дослідження... В результаті досліджень отримано... Згідно з отриманими результатами.... Таким чином мету лабораторної роботи досягнуто.