

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі здійснено аналітичне дослідження розподілу напруженості електричного поля мережі стільникового зв'язку. Розглянуто вплив земної поверхні на поширення радіохвиль за припущення, що земна атмосфера однорідна. Використані аналітичні співвідношення для розрахунку складових електромагнітного поля вертикально розташованого електричного диполя, як передавальної антени базової станції.

Ключові слова: електромагнітне поле, електричне поле, вектор напруженості, стільникова мережа.

Abstract

In the work, an analytical study of the distribution of the electric field strength of the cellular network is carried out. The effect of the earth's surface on the propagation of radio waves is considered under the assumption that the earth's atmosphere is homogeneous. Analytical relations are used to calculate the components of the electromagnetic field of a vertically positioned electric dipole, as a transmission antenna of a base station.

Keywords: electromagnetic field, electric field, voltage vector, cellular network.

Вступ

Визначення параметрів каналу зв'язку має ключове значення при розробці будь-якої системи зв'язку [1]. Властивості каналу, внесені спотворення і завади, а також припустима ширина спектра переданого сигналу визначають максимальну швидкість передачі даних при заданій якості. Таким чином, перед проектуванням будь-якої системи зв'язку розроблювач повинен визначити параметри каналу передачі даних у цій системі [1].

Параметри каналу передачі сигналу залежать від типу системи зв'язку [1, 2]. Властивості каналів різних систем – стільникових, супутникових або призначених для зв'язку всередині приміщень – мають значні відмінності друг від друга.

Метою роботи є аналітичне дослідження розподілу напруженості електричного поля мереж стільникового зв'язку стандарту GSM-900.

Результати дослідження

Під радіопокриттям розуміють можливість передачі повідомлень в локальних мережах заданої просторової зони. Як правило, межею зони є коло, у центрі якої розташована базова станція [2].

Розглянемо класичні умови здійснення радіозв'язку з заданою надійністю і достовірністю [2]. Таких умов дві:

- спотворення сигналу в процесі передачі не повинні перевищувати допустимих норм;
- повинне бути забезпечене визначене перевищення потужності сигналу над потужністю різного роду завад на вході приймача, що залежить від необхідної достовірності прийому.

Перша умова визначає смугу частот неспотвореної передачі тобто швидкість і кількість каналів. Згадані технічні параметри однозначно закладені при проектуванні апаратури для локальних мереж зв'язку. Тому перша умова виконується автоматично.

При формулюванні другої умови потрібно оперувати значеннями потужностей сигналу і перешкод, що істотно залежать від конкретних умов експлуатації системи. Предметний аналіз показаних умов дозволяє не тільки визначити зони радіопокриття, але і виробити рекомендації по

зміні конфігурації й експлуатаційні параметри системи з метою розширення цих зон [3].

Умовою радіопокриття просторової зони при організації зв'язку в локальних мережах варто вважати забезпечення необхідного перевищення в зоні прийому рівня сигналу над рівнем перешкод [1, 4]

$$E \leq E_n, \quad (1)$$

де E - напруженість поля, що створюється передавальною антеною; E_n - необхідна напруженість поля в точці прийому, обумовлена рівнем зовнішніх і внутрішніх перешкод.

В випадку коли рівень зовнішніх перешкод великий, а ККД приймальної антени не занадто малий (режим великих зовнішніх перешкод), внутрішніми шумами приймача можна знехтувати [5, 6]. У такому випадку необхідна напруженість може бути визначена з виразу

$$E_n = K \cdot E_{\partial 1} \cdot \sqrt{\frac{B}{D_2}}, \quad (2)$$

де K - коефіцієнт перевищення по напрузі рівня сигналу над рівнем перешкод, або коефіцієнт захисту; $E_{\partial 1}$ - діюча (середньоквадратична) напруженість поля зовнішніх перешкод віднесена до одиничної смуги частот (звичайно 1 кГц); B - смуга частот у якій визначається потужність шуму; D_2 - коефіцієнт направленої дії приймальної антени.

У випадку використання низкочутливих приймачів необхідно враховувати і шуми приймача

$$E_n = K \cdot \sqrt{(E_{\partial 1})^2 \cdot \frac{B}{D_2} + \frac{U_0^2}{\eta_2 \cdot L_{д2}}}, \quad (3)$$

де η_2 - ККД приймальної антени; $L_{д2}$ - діюча висота приймальної антени, U_0 - гранична чутливість приймача мобільної станції, що пов'язана з реальною чутливістю співвідношенням

$$U_0 = \frac{U_p}{\gamma}, \quad (4)$$

де γ - відношення сигнал/шум, прийняте при визначенні реальної чутливості радіоприймача.

Для визначення напруженості поля, що утворюється передавальною антеною, у місці прийому, урахування впливу поверхні Землі, і неоднорідності атмосфери, вводиться поняття функції ослаблення поля вільного простору V , яку також називаються множителем ослаблення

$$\bar{V} = \frac{\bar{E}}{E_0} = |V| \cdot \exp(j \cdot \arg V), \quad (5)$$

де E - напруженість поля на відстані R від передавальної антени при поширенні в реальних умовах; E_0 - напруженість поля на тій ж відстані при поширенні у вільному просторі. На підставі (5) можна записати

$$\bar{E} = |\bar{E}_0| \cdot \exp(j \cdot \varphi_0 + \arg V), \quad (6)$$

$$|\bar{E}_0| = \frac{\sqrt{30 \cdot P_1 \cdot D_1}}{r}, \quad (7)$$

де $|\bar{E}_0|$ - діюче значення напруженості поля у вільному просторі; P_1 - потужність випромінювання в передавальній антені; D_1 - коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени

$$\varphi_0 = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot r, \quad (8)$$

де φ_0 - фаза хвилі при розповсюдженні у вільному просторі.

Відомо, що значення функції ослаблення V залежить від багатьох чинників:

- відстані між передавальною і приймальною антенами;
- висоти підйому антен над поверхнею Землі;
- довжини хвилі;
- виду поляризації радіохвиль;
- характеру рельєфу місцевості на трасі;
- стану атмосфери.

Для чисельного визначення значення V необхідно вирішити задачу дифракції електромагнітної хвилі навколо поверхні Землі. Вирішення такої задачі на основі рівнянь Максвелла і припущення, що Земля є гладкою сферичною поверхнею, а атмосфера однорідна, у загальному виді дане в [5, 6]. Надалі вирішення уточнюється за рахунок поправок, що враховують неоднорідність електричних параметрів Землі й атмосфери.

У результаті вирішення, з урахуванням відповідних граничних умов на поверхні Землі, отримано вираз

$$V(x, y_1, y_2, q) = e^{j \cdot \frac{\pi}{4}} \cdot 2 \cdot \sqrt{\pi \cdot x} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{e^{j t_s \cdot x}}{t_s - q^2} \cdot \frac{\omega_1 \cdot (t_s - y_1)}{\omega_1 \cdot (t_s)} \cdot \frac{\omega_1 \cdot (t_s - y_2)}{\omega_1 \cdot (t_s)}, \quad (9)$$

$$x = \frac{R}{R'}, \quad (10)$$

де x - параметр; R - відстань між передавальною і приймальною антенами; R' - безрозмірна відстань між антенами;

$$R' = \sqrt[3]{\frac{R_3^2 \lambda}{\pi}}, \quad (11)$$

де R_3 - радіус Землі; λ - довжина хвилі;

$$y_1 = \frac{h_2}{h'}, \quad (12)$$

де y_1 - приведена висота приймальної антени;

$$h' = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3 \lambda^2}{\pi}}, \quad (13)$$

$$y_2 = \frac{h_1}{h'}, \quad (14)$$

де y_2 - приведена висота передавальної антени;

$$q = j \cdot \sqrt[3]{\frac{R_3 \cdot \lambda}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2 - j \cdot 60 \cdot \sigma_2 \cdot \lambda}}, \quad (15)$$

де q - параметр, що визначає характеристики ґрунту для вертикальної поляризації; ε_2 , σ_2 - електричні параметри поверхні Землі діелектрична проникність і провідність ґрунту; $\omega_1(t_s - y)$ - функція Эйри; t_s - корені характеристичного рівняння

$$\omega_1'(t_s) - q \cdot \omega_1(t_s) = 0. \quad (16)$$

Складові електромагнітного поля вертикально розташованого електричного диполя (рисунок 1), що використовується в якості передавальної антени можуть бути визначені в такий спосіб

$$E_\rho = -\frac{\sqrt{30 \cdot P_1 \cdot D_1}}{R} \cdot e^{-\frac{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}} \cdot V(x, y_1, y_2, g), \quad (17)$$

$$E_{\theta} = -\frac{1}{m} \cdot \frac{\sqrt{30 \cdot P_1 \cdot D_1}}{R} \cdot e^{\frac{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}} \cdot V(x, y_1, y_2, g),, \quad (18)$$

$$H_{\varphi} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_1 \cdot D_1}}{120 \cdot \pi \cdot R} \cdot e^{\frac{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}} \cdot V(x, y_1, y_2, g),, \quad (19)$$

$$m_0 = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot R_3}{\lambda}}. \quad (20)$$

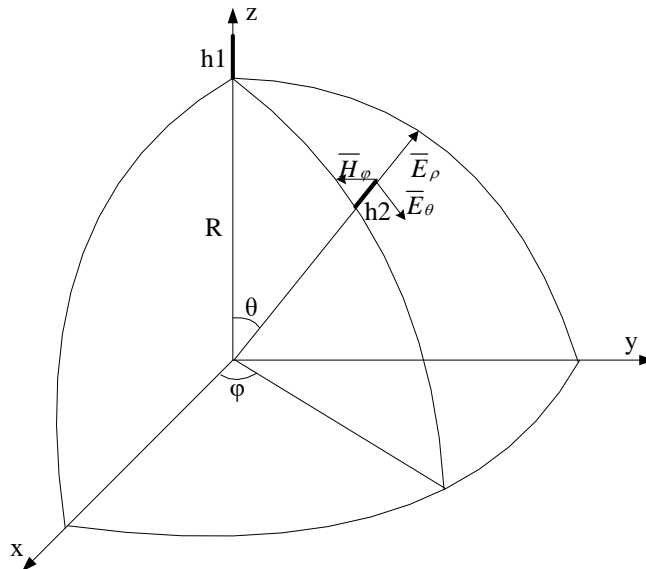


Рис. 1. Складові електромагнітного поля вертикально розташованого електричного диполя

Складова E_0 обумовлює появу еліптичної поляризації поля. Співвідношення (15)-(17) можуть застосовуватися у випадку використання антен із високим значенням коефіцієнт спрямованої дії D.

Для вертикального диполя вважають, що $|E_0| < |E_p|$. Це дозволяє знехтувати складову E_0 .

Співвідношення (9) може бути спрощене якщо провести його аналіз по окремих параметрах x , y , q .

При вертикальній поляризації розмір $|q|$ може змінюватися в широких межах. Так наприклад, у діапазоні УКВ при $\lambda \rightarrow 0$ параметр $|q| \rightarrow \infty$.

Проведені розрахунки показують, що при $|q| > 30$ співвідношення (9) дає результати, що добре збігаються з тими, які впливає для випадку $|q| \rightarrow \infty$.

Висновки

У роботі здійснено аналітичне дослідження розподілу напруженості електричного поля мережі стільникового зв'язку. Розглянуто вплив земної поверхні на поширення радіохвиль за припущення, що земна атмосфера однорідна. Насправді ж земна атмосфера неоднорідна і ця неоднорідність робить істотний вплив на поширення радіохвиль.

Напруженість електричного поля E в неоднорідній атмосфері для заданого розподілу діелектричної проникності ϵ може бути визначена з розв'язку рівнянь Максвелла, при відповідних граничних умовах. Проте розв'язок рівнянь Максвелла зв'язаний зі значними труднощами і може бути проведений для обмеженого виду залежності діелектричної проникності, що є функцією відстані від поверхні Землі. Тому, для розрахунку поля на практиці використовують наближені методи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слоболдьянок П.В., Благодарний В.Г. Антени телекомунікаційних та моніторингових систем / За ред. Л.Я. Ільницького. – Київ: НАУ, 2012. – 240 с.
2. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. Пристрої надвисоких частот та антени: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013. – 188 с.
3. Семенов А.О., Гнатенко А.Ю., Козюк М.Е. Дослідження спрямованих та енергетичних характеристик антени Надененко. Тези доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 12-14 грудня 2022 р., Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 46-47. ISBN 978-617-529-397-3
4. Семенов А.О., Шутило М.А., Луцький Є.Ф., Зубарев О.В. Дослідження впливу поверхні землі на спрямовані властивості пасивних логоперіодичних антен цифрового телебачення стандартів DVB-T і DVB-T2. Збірник тез доповідей II міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 29-31 жовтня 2013 року, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 206-208.
5. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Куляс Р.О., Шпильовий О.О. Гнучка двохсмугова LTE антена для радіочастотних технологій доступу носимих пристроїв бездротових інфокомунікаційних і сенсорних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 4 2022. Частина 1. С. 32-38. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/07>
6. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Білик О.В., Шпильовий О.О. Дослідження густини потоку електромагнітного випромінювання від елементарного електричного випромінювача у ближній та проміжних зонах. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 3 2022. С. 13-19. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/03>

Семенов Андрій Олександрович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Шпильовий Олександр Олександрович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shpiloviyyu64@gmail.com

Білик Ольга Володимирівна — аспірантка кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: o.bilyk888@gmail.com

Semenov Andriy Oleksandrovych — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Shpylovyi Oleksandr Oleksandrovych — PhD student of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shpiloviyyu64@gmail.com

Bilyk Olga Volodymyrivna — PhD student of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: o.bilyk888@gmail.com