

ГРАДІЄНТИ ВЕКТОРІВ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО І МАГНІТНОГО ПОЛІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДИПОЛЯ ГЕРЦА НА КІНЦЕВІЙ ВІДСТАНІ

Стаття присвячена комплексному аналізу просторової структури електромагнітного поля, що випромінюється диполем Герца, який традиційно використовується як базова модель для дослідження природних і техногенних джерел електромагнітних хвиль у довгохвильовому діапазоні. Актуальність роботи визначається необхідністю глибшого розуміння процесів випромінювання у ближній та проміжній зонах, де електромагнітне поле має складну амплітудно-фазову структуру та відхиляється від асимптотичних закономірностей дальньої зони. На основі класичних виразів для компонент поля диполя Герца отримано аналітичні співвідношення для градієнтів амплітуд і фаз електричних та магнітних складових, нормованих до довжини хвилі. Показано, що всі характеристики поля — модулі компонент, різниця фаз, хвильовий опір, фазові швидкості та їх градієнти — визначаються лише відносною відстанню r/λ . Це дозволяє встановити універсальні закономірності зміни структури хвильового процесу в околі диполя. Проведено чисельне моделювання, яке дає змогу простежити поведінку поперечних компонент та їх градієнтів, а також градієнтів різниці фаз у перехідних зонах. Виявлено характерні межі ближньої, проміжної та дальньої зон, що узгоджуються з теоретичними результатами попередніх досліджень. Показано, що градієнти амплітуд у ближній зоні досягають максимальних значень, різко зменшуючись у напрямку дальньої зони, тоді як фазові характеристики демонструють складну нелінійну поведінку. Особливу увагу приділено аналізу фазових швидкостей ортогональних компонент поля. Встановлено, що фазова швидкість електричної компоненти досягає швидкості світла на певній відстані $r/\lambda \approx 0.15$, тоді як у ближчій області вона є меншою. Фазова швидкість магнітної компоненти зростає при наближенні до джерела. Отримані результати поглиблюють сучасне розуміння фізики електромагнітних хвиль у неасимптотичних зонах та можуть бути використані при моделюванні випромінювання блискавок, високовольтних комутаційних розрядів та інших імпульсних джерел.

Ключові слова: Електромагнітне поле, напруженість, ближня та проміжна області випромінювання

Постановка проблеми. Для вивчення фізичних процесів випромінювання електромагнітних хвиль природними джерелами, наприклад, грозових розрядів, розрядів у високовольтних лініях електропередачі, розрядів індустриального походження, наприклад, у процесі експлуатації електротранспорту та інше, в діапазонах довгих хвиль як математичну модель опису цих процесів застосовна теорія випромінювання диполя Герца. Характер хвильових процесів випромінювання диполя Герца в його ближній, проміжній та дальній зонах випромінювання добре вивчений [1-4]. У [5] розраховані зміни амплітуд і фаз компонент векторів напруженості електричного та магнітного полів залежно від відстані до точки спостереження, нормованого до довжини хвилі. Розглянуто також різницю фаз поперечних компонентів векторів напруженості електричного та магнітного полів. Ці дані можна використовувати для аналізу процесів випромінювання різних джерел електромагнітних полів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Диполь Герца [6] визначається як

електрично-коротка і нескінченно тонка пряма нитка струму, в якій щільність струму рівномірна по всій його довжині. Диполь Герца зазвичай використовується як «будівельний блок» для побудови фізично реалізованих розподілів струму, що демонструються такими пристроями, як дротяні антени [7-9]. Метод полягає в моделюванні цих відносно складних розподілів струму як суми диполів Герца, що зводить проблему до проблеми підсумовування внесків окремих диполів Герца, причому кожен диполь Герца має відповідне (тобто різне) положення, величину та фазу [10].

В роботі [11] методом векторного потенціалу у часовому просторі одержані уточнені вирази для усіх компонентів ближнього поля диполя Герца, що збуджується струмом із довільною часовою залежністю. Для випадку скачкоподібного збуджуючого струму побудовані часові залежності векторного потенціалу від координат точки спостереження поблизу випромінювача для класичних, уточнених і точних виразів у вигляді квадратур, що розраховані чисельно.

У дисертаційній роботі [12] розв'язано наукову задачу розвитку теорії електромагнітних хвиль та коливань у ближній і проміжній зонах випромінювачів, які збуджуються хвилею змінного струму. При цьому отримані наступні результати. Розв'язано нову фундаментальну задачу радіофізики визначення випромінювання криволінійного диполя Герца, який є елементом дуги кола довільного радіуса, в ближній, проміжній та дальній зонах спостереження.

Показано, що електромагнітна хвиля диполя Герца рухається зі швидкістю світла c лише на великих відстанях від джерела випромінювання, наближаючись до c асимптотично. Отримані результати проливають світло на фізичні процеси поблизу диполя Герца.

В роботах Найдено В. І. [13-15] шляхом аналізу руху каузальних і екстремальних поверхонь виконано аналіз швидкості вектору Пойнтінга і густини енергії електромагнітних хвиль, випромінених диполем Герца, збудженим імпульсом Гауса. Дослідження цих характеристик відкриває можливості визначення швидкості окремих частин імпульсів, наприклад, схилів, а не тільки каузальних поверхонь. Спираючись на відсутність передачі енергії через каузальну поверхню, сформульовано математично підтверджений погляд на звуження або розширення імпульсу, зміну його форми, співвідношення швидкості частин імпульсу зі швидкістю світла c . Показано, що електромагнітна хвиля диполя Герца рухається зі швидкістю світла c лише на великих відстанях від джерела випромінювання, наближаючись до c асимптотично. Це дослідження дає право говорити, що «швидкість світла c — є швидкість електромагнітної хвилі у вакуумі на далеких відстанях від джерела випромінювання. Ця добавка «на далеких відстанях від джерела випромінювання» не важлива на світлових хвилях з довжиною хвилі в мікрометри, але є важливою з природної і понятійної точок зору і на радіохвилях. Отримані результати проливають світло на фізичні процеси поблизу диполя Герца, які не мали пояснення через відсутність інформації про напрями і швидкості вектора Пойнтінга і густини енергії електромагнітних хвиль поблизу диполя.

Мета дослідження. Метою цієї статті є вивчення градієнтів амплітуд та фаз компонентів електричного та магнітного полів випромінювання диполя Герца залежно від координат точок спостереження.

Виклад основного матеріалу. Класична теорія електромагнітного поля при розрахунку диполя Герца довжиною l , що збуджується ефективним струмом I , який змінюється за гармонічним законом $e^{i\omega t}$ визначає вектори поля в залежності від довжини хвилі λ , відстані від випромінювача r до точки спостереження і кутової сферичної координати Θ .

Комплексні амплітуди компонентів векторів напруженості електричного та магнітного полів випромінювання диполя Герца напишемо аналогічно [5] у вигляді:

Енергетичні системи та обладнання

$$\underline{H}_\varphi = \frac{I \cdot l}{\lambda^2} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2} \cdot \sin \Theta \cdot e^{-i\Psi_{H_\varphi}} ; \quad (1)$$

$$\underline{E}_\Theta = \frac{I \cdot l \cdot z_0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \cdot r^4 - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \cdot r^3} \cdot \sin \Theta \cdot e^{-i\Psi_{E_\Theta}} ; \quad (2)$$

$$\underline{E}_r = \frac{I \cdot l \cdot z_0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \cdot r^3} \cdot \cos \Theta \cdot e^{-i\Psi_{E_r}} ; \quad (3)$$

$$\text{де } \Psi_{H_\varphi} = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} - \tan^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot r}{\lambda} \right) \quad (4)$$

$$\Psi_{E_\Theta} = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} - \tan^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot r}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi \cdot r} \right) ; \quad (5)$$

$$\Psi_{E_r} = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} + \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{2\pi \cdot r} \right) . \quad (6)$$

Закономірності зміни амплітуд та фаз цих компонентів залежно від відстані до точки спостереження, нормованого до довжини хвилі, детально проаналізовані в [5] у випадку, коли довжина хвилі включена до множників, що нормують:

$$E_{\Theta 0} = E_{r0} = \frac{I \cdot l \cdot z_0}{\lambda^2} ;$$

$$H_{\varphi 0} = \frac{I \cdot l}{\lambda^2} .$$

Нормовані до цих множників модулі компонентів поля можна записати у вигляді:

$$\frac{|\underline{H}_\varphi|}{H_{\varphi 0}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2} \cdot \sin \Theta ; \quad (7)$$

$$\frac{|\underline{E}_\Theta|}{E_{\Theta 0}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \cdot r^4 - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \cdot r^3} \cdot \sin \Theta ; \quad (8)$$

$$\frac{|\underline{E}_r|}{E_{r0}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot r^2 + 1}}{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3 \cdot r^3} \cdot \cos \Theta . \quad (9)$$

Енергетичні системи та обладнання

Перейдемо до аналізу градієнтів амплітуд та фаз ортогональних компонентів електромагнітного поля випромінювання диполя Герца. Диференціювавши вирази (7)...(9) по змінній r/λ , отримаємо вирази для градієнтів модулів векторів поля:

$$\text{grad}_{(r/\lambda)} \left(\frac{|H_\varphi|}{H_{\varphi 0}} \right) = \frac{\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 2}{4\pi \cdot \left(\frac{r}{\lambda} \right)^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 1}} \sin \Theta ; \quad (10)$$

$$\text{grad}_{(r/\lambda)} \left(\frac{|E_\Theta|}{E_{\Theta 0}} \right) = \frac{\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \cdot r^4 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 3}{8\pi^2 \cdot \left(\frac{r}{\lambda} \right)^4 \cdot \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \cdot r^4 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 1}} \sin \Theta ; \quad (11)$$

$$\text{grad}_{(r/\lambda)} \left(\frac{|E_r|}{E_{r0}} \right) = \frac{2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 3}{4\pi^2 \cdot \left(\frac{r}{\lambda} \right)^4 \cdot \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot r^2 + 1}} \cos \Theta ; \quad (12)$$

Різниця фаз ортогональних компонентів електричного та магнітного полів, як і межі ближньої та дальньої зони випромінювання диполя Герца, залежать тільки від відношення r/λ [12]:

$$\Psi_{E_\Theta} - \Psi_{H_\varphi} = \tan^{-1}(kr) - \tan^{-1} \left(kr - \frac{1}{kr} \right), \quad (13)$$

А градієнт цієї функції буде

$$\text{grad}_{(r/\lambda)} \left(\frac{|H_\varphi|}{H_{\varphi 0}} \right) = 2\pi \cdot \frac{3k^2 r^2}{k^6 r^6 + 1}, \quad (14)$$

де $k=2\pi/\lambda$ – хвильове число.

Відношення E_Θ/H_φ , що має фізичний зміст хвильового опору простору, визначається лише відносною відстанню r/λ .

Нормоване до хвильового опору вільного простору дальньої зони випромінювання це співвідношення набуває вигляду:

$$\frac{Z_B}{Z_0} = \frac{1}{120\pi} \cdot \frac{\sqrt{k^4 r^4 - k^2 r^2 + 1}}{kr \cdot \sqrt{k^2 r^2 + 1}}. \quad (15)$$

Градієнт цього відношення:

$$\text{grad}_{(r/\lambda)} \left(\frac{Z_B}{Z_0} \right) = \frac{2\pi}{120\pi} \cdot \frac{2k^4 r^4 - 2k^2 r^2 - 1}{k^2 r^2 \cdot (k^2 r^2 + 1) \cdot \sqrt{k^6 r^6 + 1}}. \quad (16)$$

Зміна фазових швидкостей електричних і магнітних компонентів поля, нормованих до швидкості світла, детально проаналізовано в [12]. Їхні градієнти по змінній r/λ :

$$\text{grad}_{\left(\frac{r}{\lambda}\right)} \left(\frac{V_{\varphi H\varphi}}{c} \right) = 2\pi \frac{kr - (k^2 r^2 + 1) \cdot \tan^{-1}(kr)}{(k^2 r^2 + 1) \cdot [kr - \tan^{-1}(kr)]^2}. \quad (17)$$

$$\text{grad}_{\left(\frac{r}{\lambda}\right)} \left(\frac{V_{\varphi E\vartheta}}{c} \right) = 2\pi \frac{kr(k^2 r^2 + 1)^2 - (k^6 r^6 + 1) \cdot \tan^{-1} \left(kr - \frac{1}{kr} \right)}{(k^6 r^6 + 1) \cdot \left[kr - \tan^{-1} \left(kr - \frac{1}{kr} \right) \right]^2}. \quad (18)$$

Отримані співвідношення дозволяють досліджувати загальні закономірності зміни характеристик полів випромінювання та його градієнтів залежно від відстані від диполя до точки спостереження.

Для аналізу закономірностей зміни фізичних характеристик електромагнітного випромінювання диполя Герца – амплітуд, фаз, фазових швидкостей компонент поля – залежно від відстані, нормованої до довжини хвилі, було складено комп'ютерні програми та проведено відповідні розрахунки. На рис.1 наведено залежності відносних амплітуд поперечних компонент E і H і градієнтів цих величин залежно від відстані до точки спостереження. Розрахунки проведені для напрямку, що є перпендикулярним до диполлю.

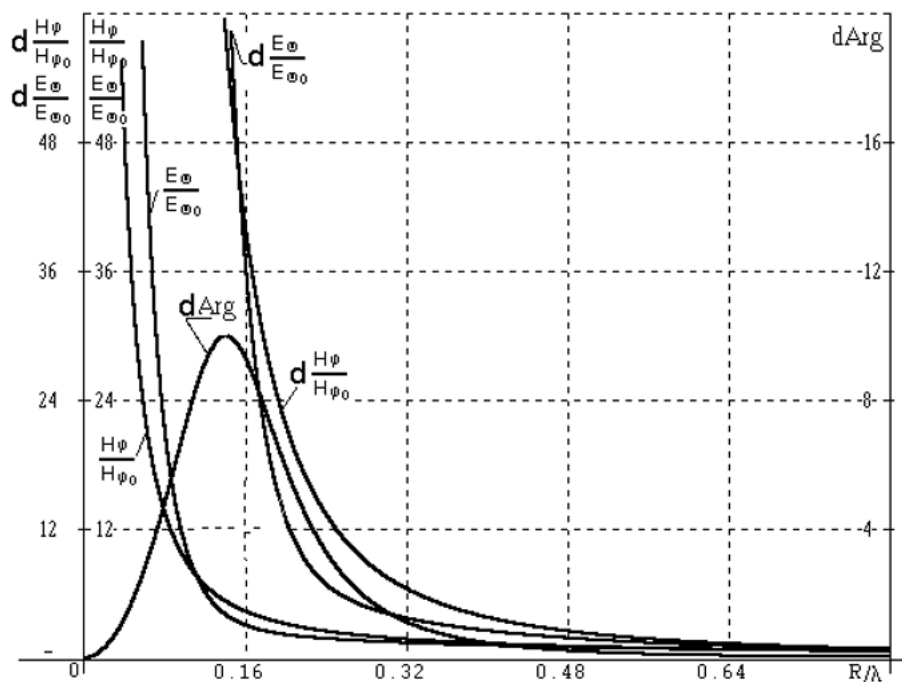


Рисунок 1 – Залежність відносних амплітуд поперечних компонентів ($E_{\vartheta} / E_{\vartheta 0}$, $H_{\varphi} / H_{\varphi 0}$), градієнта різниці фаз цих векторів ($d\text{Arg}$), їх градієнтів ($d(E_{\vartheta} / E_{\vartheta 0})$, $d(H_{\varphi} / H_{\varphi 0})$) від відношення r/λ

Також наведено градієнт різниці фаз ортогональних компонентів електричного і магнітного полів випромінювання диполя Герца в напрямку головного максимуму випромінювання залежно від відношення r/λ . Видно, що на відстані довжини хвилі $r/\lambda \approx 0.04$, що визначається у [12] як межа ближньої зони, градієнт різниці фаз становить ≈ 0.12 від свого максимального значення. Він досягає максимуму при $r/\lambda \approx 0.141$ і далі зменшується. При $r/\lambda \approx 0.62$, яка визначається у [12] як межа дальньої зони, градієнт різниці фаз зменшується до

≈ 0.008 свого максимуму.

Відносний модуль магнітної компоненти поля H_φ , нормований до $H_{\varphi 0}$ згідно (7), на межі ближньої та проміжної зон випромінювання становить ≈ 58.3 , а на межі проміжної та дальньої зон – ≈ 0.83 . У той самий час, градієнт нормованого модуля H_φ в цих же межах змінюється від 2488 до 1.43.

Модуль електричної компоненти поля E_θ , нормований до $E_{\theta 0}$ згідно з (8), на межі ближньої та проміжної зон випромінювання становить приблизно 192, а на межі проміжної та дальньої зон – приблизно 4.1. Градієнт нормованого модуля E_θ в цих же межах змінюється від $15 \cdot 10^3$ (при $r/\lambda \approx 0.04$) до 1.27 (при $r/\lambda \approx 0.62$).

На рис.2 наведено залежності фазових швидкостей та його градієнтів від відносної відстані до диполя. Фазова швидкість поперечної електричної компоненти при $r/\lambda \approx 0.15$ дорівнює швидкості світла, а при менших відстанях вона менша за швидкість світла. Градієнт цієї величини має два екстремуми: при $r/\lambda \approx 0.18$ і при $r/\lambda \approx 0.36$. Фазова швидкість магнітної компоненти та її градієнт зростають зі зменшення відстані до джерела.

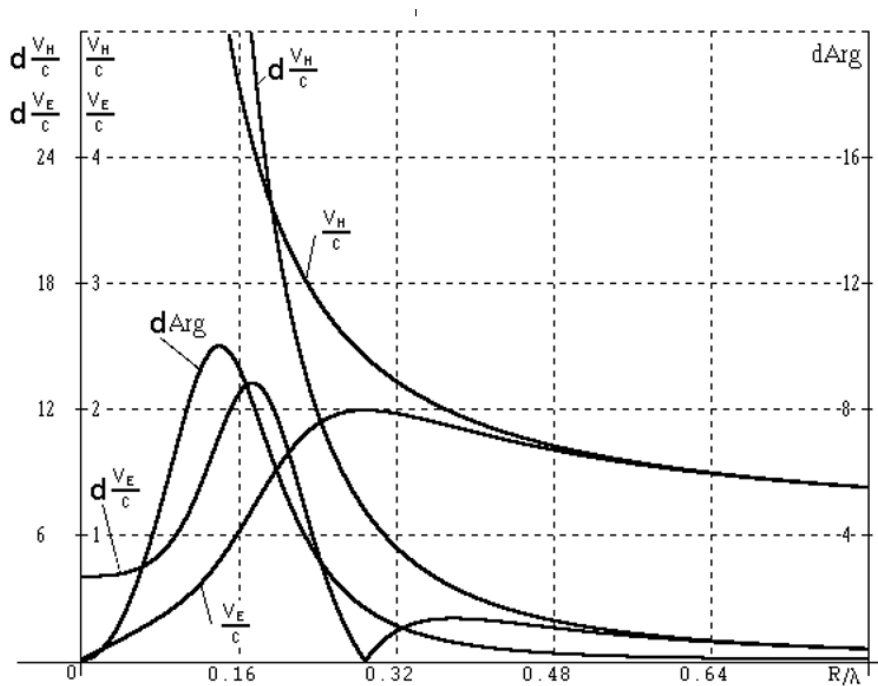


Рисунок 2 – Залежність фазових швидкостей магнітної (V_H/c) та електричної компоненти (V_E/c) та їх градієнти ($d(V_H/c)$, $d(V_E/c)$) у ближній та проміжній зонах випромінювання від відношення r/λ .

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень показано, що відношення поперечних компонентів електричного і магнітного полів випромінювання диполя Герца, різниця їх фаз і фазових швидкостей, а також їх градієнтів, визначається тільки відношенням відстані від диполя до точки спостереження до довжини хвилі. Амплітуди компонентів, а також їх градієнти залежать не тільки від r/λ , але і від довжини хвилі, що увійшла до множника, що нормує. Відносна зміна градієнтів напруженостей поля у ближній та проміжній областях відбувається більш інтенсивною, ніж зміна амплітуд цих компонентів.

Список використаних джерел

1. Карпов Ю. О., Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. В. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле/ за ред. проф. Ю. О. Карпова – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. – 338 с. ISBN 978-966-289-006-8.
2. Maxwell J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism. / J. C. Maxwell // Cambridge: Cambridge University Press, 2010, doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511709333>.
3. Schantz H. G. The flow of electromagnetic energy around electric dipole / H. G. Schantz // *Am. J. Phys.*, vol. 63, no. 6, pp. 513–520, 1995.
4. Schantz H. G. "Electromagnetic energy around Hertzian dipoles / H. G. Schantz // *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 43, no. 2, pp. 50–62, 2001, doi: <https://doi.org/10.1109/74.924604>.
5. Горобець М.М. Градієнти напруженості полів випромінювання / М.М. Горобець // Збірник наукових праць III Республіканської науково-технічної конференції "Методи і засоби вимірювань у галузі електромагнітної сумісності". – Вінниця: МНІП ТЕДЕМС ВПІ, 1991. – Вип.2. – С. 95 – 100.
6. Hertz H. *Of Finite Velocity of Propagation of Electromagnetic Action*. Sitzungsber: D. Berl. Akad. D. Wiss., 1888.
7. Balanis C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. / C. A. Balanis // New Jersey: Wiley, 2016. – 1104 p. <https://www.wiley.com/en-us/Antenna+Theory%3A+Analysis+and+Design%2C+4th+Edition-p-9781118642061>.
8. Nepa P. Near-field-focused microwave antennas: Near-field shaping and implementation / P. Nepa, A. Buffi // *IEEE Antennas Propag. Mag.*, 2017, vol. 59, no. 3, pp. 42–53. doi: <https://doi.org/10.1109/MAP.2017.2686118>.
9. Manteghi M. Fundamental limits, bandwidth, and information rate of electrically small antennas: Increasing the throughput of an antenna without violating the thermodynamic Q-factor / M. Manteghi // *IEEE Antennas Propag. Mag.*, 2019, vol. 61, no. 3, pp. 14–26. doi: <https://doi.org/10.1109/MAP.2019.2907892>.
10. Ellingson, Steven W. *Electromagnetics*, Blacksburg, VA: Virginia Tech Publishing. -2020. - Vol. 2. - 228 p. <https://doi.org/10.21061/electromagnetics-vol-2>.
11. Думин А.Н. Близьке нестационарне поле диполя Герца / А.Н. Думин, В.А. Плахтий, Я.С. Вольвач, О.А. Думина // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка». 2014. № 24. С. 29-34.
12. Тривайло О. В. Хвильові процеси у ближній зоні випромінюючих систем, які збуджуються хвилею струму, що біжить : автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук : 01.04.03 – "Радіофізика" / О. В.Тривайло ; Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Х., 2012. – 23 с.
13. Naidenko V. I. Evolution of electromagnetic waves radiated by a Hertzian dipole / V. I. Naidenko // *VIII International Conference on Antenna Theory and Techniques*, 2011, pp. 63–68, doi: <https://doi.org/10.1109/ICATT.2011.6170714>.
14. Naidenko V. Velocity of the fields radiated Hertz dipole excited by Gaussian pulse / V. I. Naidenko // *IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, 2020, pp. 154–160, doi: <https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252662>.
15. Найденко В. І. Швидкість енергетичних характеристик електромагнітних хвиль, випромінених диполем Герца, збудженим імпульсом Гауса / В. І. Найденко // Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка. - 2021. - 64(7), С. 411–421. <https://doi.org/10.20535/S0021347021070025>

Gorobets N.N., Romanichenko H.N., Kapustian O.Ye.

GRADIENTS OF TENSION VECTORS OF ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS OF RADIATING DIPOLAR HERTZ ON END DISTANCE

The article is devoted to a comprehensive analysis of the spatial structure of the electromagnetic field emitted by a Hertzian dipole, which is traditionally used as a basic model for the study of natural and man-made sources of electromagnetic waves in the long-wavelength range. The relevance of the work is determined by the need for a deeper understanding of the radiation processes in the near and intermediate zones, where the electromagnetic field has a complex amplitude-phase structure and deviates from the asymptotic regularities of the far zone. Based on the classical expressions for the components of the Hertzian dipole field, analytical relations for the gradients of the amplitudes and phases of the electric and magnetic components normalized to the wavelength were obtained. It is shown that all the characteristics of the field — the moduli of the components, the phase difference, the wave impedance, the phase velocities and their gradients — are determined only by the relative distance r/λ . This allows us to establish universal regularities of the change in the structure of the wave process in the vicinity of the dipole. Numerical simulations have been performed, which allow us to trace the behavior of transverse components and their gradients, as well as phase difference gradients in the transition zones. Characteristic boundaries of the near, intermediate, and far zones have been identified, which are consistent with the theoretical results of previous studies. It has been shown that the amplitude gradients in the near zone reach maximum values, sharply decreasing towards the far zone, while the phase characteristics demonstrate complex nonlinear behavior. Special attention has been paid to the analysis of the phase velocities of orthogonal field components. It has been established that the phase velocity of the electric component reaches the speed of light at a certain distance $r/\lambda \approx 0.15$, while in the near region it is lower. The phase velocity of the magnetic component increases as it approaches the source. The results obtained deepen the modern understanding of the physics of electromagnetic waves in non-asymptotic zones and can be used in modeling lightning radiation, high-voltage switching discharges, and other pulsed sources.

Keywords: Electromagnetic field, tension, near and intermediate area of radiation.

Стаття надійшла 10.12.2025 р.

УДК 621.314.69

doi.org/10.31498/2522-9990302025347198

Костенко В. О., Капустян О.Є.

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИГНАЛІЗАЦІЇ ВІД ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

У статті показано, що одним із важливих напрямків розвитку електроенергетичної галузі в Україні є удосконалення та побудова електроенергетичних систем, що забезпечують надійне, енергоефективне та якісне енергопостачання. Однією із складових є система охорони повітряних ліній електропередач високої напруги. Це обумовлено тим, що пошкодження електричних мереж позначається на якості та надійності електропостачання споживачів. Тому важливою є задача швидкого і точного визначення місця пошкодження. Дослідження присвячено розробці системи одержання електроенергії в одиниці ват на кожній опорі лінії електропередачі та оцінці можливості реалізації