

Оригінальна стаття

<https://doi.org/10.26565/2311-0872-2019-31-05>

УДК 621.318.134

НЕСПОТВОРЕНИЙ ПРИЙОМ ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ БЕЗ НЕСУЩОЇ ЧАСТОТИ ФЕРИТОВОЮ АНТЕНОЮ

Т. М. Огурцова¹, Н. К. Блинова², Г. П. Почанін¹, С. О. Масалов¹, В. В. Усова¹

¹Інститут радіофізики та електроніки імені О.Я. Усикова Національної академії наук України, 61085,
м. Харків, вул. Академіка Проскури, 4

E-mail: otn_tati@ukr.net

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 61022, м. Харків, м. Свободи, 4

E-mail: blinova@karazin.ua

Надійшла до редакції 24 жовтня 2019 р.

Актуальність. В останні десятиліття сформувався новий напрямок радіолокації, в якому знайшли своє застосування часово та просторово обмежені сигнали з різноманітними видами обвідної та шириною частотного спектру. Застосування таких надширокополосних (НШП) електромагнітних імпульсів при розв'язанні задач підповерхневого зондування вимагає змін у принципах побудови апаратури радіолокаційних систем, у тому числі і приймальних антенних систем.

Актуальною залишається задача побудови малогабаритної імпульсної НШП приймальної антени, яка має високу чутливість та не спотворює форму сигналу, який приймається. В якості таких антен можна використовувати феритові рамочні антени. Застосування феритових стрижнів у приймальних антенах дає змогу підвищити їх чутливість, залишаючи габарити малими. Методи конструювання НШП імпульсних феритових антен знаходяться ще в початковій стадії свого розвитку і потребують всебічних фундаментальних і прикладних досліджень.

Мета роботи. Дослідити форму наведеного струму у приймальній антені, яка являє собою феритовий стрижень, охоплений витком провідника, при збудженні антени імпульсним електромагнітним полем у вигляді найбільш поширених функцій без несущої частоти.

Методи. Для розрахунків наведених струмів у провіднику, який охоплює феритовий стрижень, використовувався метод кінцевих різниць у часовому просторі (FDTD).

Результати. Виявлено взаємозв'язок та визначені співвідношення між оптимальними, з точки зору ефективного неспотвореного прийому сигналу, електродинамічними параметрами феритового елемента антени та частотно-часовими параметрами збуджуючого імпульсного поля у вигляді найбільш поширених функцій без несущої частоти, а саме функцій Гауса, 1-ї та 2-ї похідних за часом функції Гауса.

Висновки. Визначені параметри феритового елемента імпульсної приймальної антени та збуджуючого імпульсного електромагнітного поля без несущої частоти, при яких приймальна антена у вигляді феритового стрижня, охопленого витком провідника, забезпечує чутливий неспотворений прийом імпульсного сигналу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: імпульсне електромагнітне поле, імпульсна надширокополосна приймальна феритова антена, феритовий стрижень, імпульс без несущої частоти, спектральні функції

НЕИСКАЖЕННЫЙ ПРИЕМ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА БЕЗ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ ФЕРРИТОВОЙ АНТЕННОЙ

Т. Н. Огурцова¹, Н. К. Блинова², Г. П. Почанин¹, С. А. Масалов¹, В. В. Усова¹

¹Институт радиофизики и электроники имени А.Я. Усикова Национальной академии наук
Украины, 61085, г. Харьков, ул. Академика Проскуры, 4

E-mail: otn_tati@ukr.net

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 61022, г. Харьков, пл. Свободы, 4

E-mail: blinova@karazin.ua

Актуальность. В последние десятилетия сформировалось новое направление радиолокации, в котором нашли свое применение временно и пространственно ограниченные сигналы с различными видами огибающей и шириной частотного спектра. Применение таких сверхширокополосных (СШП) электромагнитных импульсов при решении задач подповерхностного зондирования требует изменений в принципах построения аппаратуры радиолокационных систем, в том числе и приемных антенных систем.

Актуальной остается задача построения компактной импульсной СШП приемной антенны, которая имеет высокую чувствительность и не искажает форму принимаемого сигнала. В качестве таких антенн можно использовать ферритовые рамочные антенны. Применение ферритовых стержней в приемных антеннах позволяет повысить их чувствительность, оставляя габариты небольшими. Методы конструирования СШП импульсных ферритовых антенн находятся еще в начальной стадии своего развития и требуют всесторонних фундаментальных и прикладных исследований.

Цель работы. Исследовать форму наведенного тока в приемной антенне, которая представляет собой ферритовый стержень, охваченный витком проводника, при возбуждении антенны импульсным электромагнитным полем в виде наиболее распространенных функций без несущей частоты.

Методы. Для расчетов приведенных токов в проводнике, охватывающем ферритовый стержень, использовался метод конечных разностей во временном пространстве (FDTD).

Результаты. Выявлена взаимосвязь и определены соотношения между оптимальными с точки зрения эффективного неискаженного приема сигнала электродинамическими параметрами ферритового элемента антенны и частотно-временными параметрами возбуждающего импульсного поля в виде наиболее распространенных функций без несущей частоты, а именно функций Гаусса, 1-й и 2-й производных по времени функции Гаусса.

Выводы. Определены параметры ферритового элемента импульсной приемной антенны и возбуждающего импульсного электромагнитного поля без несущей частоты, при которых приемная антенна в виде ферритового стержня, охваченного витком проводника, обеспечивает чувствительный неискаженный прием импульсного сигнала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: импульсное электромагнитное поле, импульсная сверхширокополосная приемная ферритовая антенна, ферритовый стержень, импульс без несущей частоты, спектральные функции

UNDISTORTED RECEPTION OF IMPULSE CARRIER-FREE SIGNALS USING A FERRITE ANTENNA

T. N. Ogurtsova¹, N. K. Blinova², G. P. Pochanin¹, S. O. Masalov¹, V. V. Usova¹

¹*O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Science of Ukraine, 12, Ac. Proskura st., Kharkiv, 61085, Ukraine*

E-mail: otn_tati@ukr.net

²*V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine*

E-mail: blinova@karazin.ua

Relevance. In recent decades, a new direction of radar has emerged. Temporarily and spatially limited signals with different types of envelope and the wide width of the spectrum have found their application here. The use of such ultra-wideband (UWB) electromagnetic pulses in subsurface sounding requires changes in the principles of designing of equipment for radar systems, including receiving antenna systems. The urgent task remains to build compact pulsed UWB receiving antennas that have high sensitivity and do not distort the shape of the received signal. As such antennas, ferrite loop antennas can be used. The use of ferrite rods in receiving antennas allows to increase their sensitivity, leaving the dimensions small. Methods of designing UWB pulsed ferrite antennas are still in the initial stage of their development and require comprehensive fundamental and applied research.

The purpose of work is to investigate the shape of the induced current in the receiving antenna consisting of a ferrite rod with a loop of a conductor when the antenna is excited by a pulsed electromagnetic field of the form of the most common carrier-free signals.

Methods. To calculate the currents induced in a conductor that encloses a ferrite rod, the finite difference time domain method (FDTD) was used.

Results. There were revealed the relationships between optimal from the point of view of effective undistorted signal reception, the electrodynamic parameters of the ferrite element of the antenna, and the time-frequency parameters of the exciting pulse field in the form of the most common carrier-free functions, namely, the Gaussian functions, the 1st and 2nd derivatives in time of the Gauss function.

Conclusions. The parameters of the ferrite element of the pulsed receiving antenna and the carrier-free exciting pulsed electromagnetic field, at which the receiving antenna in the form of a ferrite rod with a loop of conductor provides sensitive undistorted reception of the pulse signals were determined.

KEYWORDS: pulsed electromagnetic field, pulsed ultra-wideband receiving ferrite antenna, ferrite rod, pulse without carrier frequency, spectral functions

ВСТУП

Використання часово та просторово обмежених електромагнітних полів (імпульсів) з різноманітними видами обвідної та шириною спектра розширило можливості традиційної радіолокації [1-4].

Зокрема, такі імпульси широко використовуються при розв'язанні практичних задач підповерхневого зондування. У цій області радіолокації актуальною залишається задача побудови малогабаритної імпульсної НШС приймальної антени, яка має високу чутливість та не спотворює форму сигналу, що приймається.

В якості таких антен можна використовувати рамочні антени з феритовими стрижнями. Наявність фериту суттєво впливає на процеси, які відбуваються в антені при прийомі НШС імпульсного сигналу. В даному випадку виявляються задіяними одразу два механізми. По-перше, виток проводника є елементом, який більш чутливий до швидких змін магнітного поля. Повільні зміни індукують в ньому дуже малий струм. А використання феритового стрижня, який намагнічується повільніше і концентрує в собі збуджуюче антену магнітне поле, дозволяє значно збільшити магнітну індукцію i , відповідно, струм, що індукується повільно змінюваною частиною сигналу. Таким чином, використання феритових стрижнів у

приймальних магнітних антенах дає змогу підвищити їх чутливість, незважаючи на малі габарити антени [5-8].

Оскільки феритовий стрижень є елементом, який визначає характеристики антени, то його електродинамічні параметри повинні бути оптимізовані за геометричними та електрофізичними властивостями.

У роботі [9] було приведено розв'язок задачі дифракції електромагнітного імпульсу з гаусовою обвідною та високочастотним наповненням на ізотропному магнітодіелектричному круговому циліндрі нескінченної довжини з комплексною магнітною проникністю. Така структура може бути теоретичною моделлю імпульсної НШС приймальної антени, яка складається з феритового стрижня, охопленого витком провідника.

У роботі [10] було визначено взаємозв'язок між оптимальними, з точки зору ефективного неспотворюючого прийому сигналу, електродинамічними параметрами феритового елемента (магнітна проникність, геометричні розміри циліндра) та частотно-часовими параметрами збуджуючого імпульсного електромагнітного поля у вигляді функції Гауса з високочастотним наповненням. Було показано, що для побудови імпульсної НШС приймальної антени на основі феритового стрижня, охопленого витком провідника, необхідно, щоб параметри стрижня та збуджуючого НШС імпульсу задовольняли співвідношенню $2a\sqrt{\epsilon\mu}/\lambda_0 \approx 0,5$ та ширина спектру не повинна значно перебільшувати ширину смуги частот спектральної функції стрижня в області її локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у $\sqrt{\epsilon}$ разів. У наведеному співвідношенні і далі a – радіус циліндра, ϵ та μ – відносні діелектрична та магнітна проникності фериту відповідно, λ_0 – довжина хвилі високочастотного заповнення.

Наступним кроком досліджень обрано виявлення оптимального взаємозв'язку між параметрами феритового стрижня і збуджуючого імпульсного електромагнітного поля інших обмежених у часі сигналів без несущої частоти, а саме сигналів у вигляді функції Гауса, 1-ї та 2-ї похідної функції Гауса. Саме такі часові залежності відбитих полів зустрічаються на практиці НШС рефлектометричних та радіолокаційних вимірювань найчастіше.

Для розрахунків наведених струмів у провіднику, який охоплює феритовий стрижень, будемо використовувати метод FDTD [11], який дозволяє розрахувати форму прийнятих імпульсів струму.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Досліджуванним об'єктом є феритова антена, яка моделюється циліндром з радіусами 0,25 см або 0,5 см, з довжиною 20 см, відносними електричною проникністю $\epsilon = 5$ та магнітною проникністю $\mu = 30$. Циліндр розміщений у середовищі з відносними електричною $\epsilon = 1$ та магнітною $\mu = 1$ проникностями. Циліндр посередині охоплює виток ідеального провідника. Ця структура збуджується плоскими імпульсними електромагнітними хвилями з часовою залежністю у вигляді функції Гауса, а також 1-ї та 2-ї похідних функції Гауса. Геометричні параметри феритового циліндра є такими, що відповідають параметрам реальних феритових стрижнів.

Зазвичай в структурі феритового виробу є не тільки малорухомі домени, які забезпечують велику магнітну проникність фериту на низьких частотах, а й такі домени, що можуть рухатися швидко і намагнічуватись під впливом швидкозростаючого (або швидкоспадаючого) магнітного поля [12]. На даному етапі досліджень дисперсією діелектричної і магнітної проникності фериту в смугі частот, що відповідає спектру збуджуючих сигналів, знехтуємо.

На Рис. 1 представлені фото феритової антени (Рис. 1а) та її модель для чисельного моделювання із зазначенням взаємної орієнтації стрижня та напрямку падіння збуджуючого електромагнітного імпульсу (Рис. 1б).

На Рис. 2 представлені спектральні характеристики феритових стрижнів (на осі стрижня) з радіусами $a = 0,25; 0,5$ см та відносними магнітною та діелектричною проникностями $\mu = 30; \epsilon = 5$ [13]. Ці характеристики знадобляться надалі для аналізу умов неспотвореного прийому імпульсних сигналів феритовою антеною. Ширину смуги частот спектральної функції стрижня будемо вимірювати в області її першого локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у $\sqrt{\epsilon}$ разів.

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Збуджуючий сигнал у вигляді функції Гауса. На Рис. 3 представлені імпульси у вигляді функції Гауса з тривалостями $2T_0 = 0,2; 0,4; 0,8; 1,2$ нс (Рис. 3а) та їх нормовані спектри (Рис. 3б). Тривалість імпульсів будемо визначати як подвоєний проміжок часу T_0 , за який величина квадрата його амплітуди зменшується в e разів у порівнянні з максимальним значенням, а ширину спектра – на рівні, де значення спектральної функції зменшується в \sqrt{e} разів.

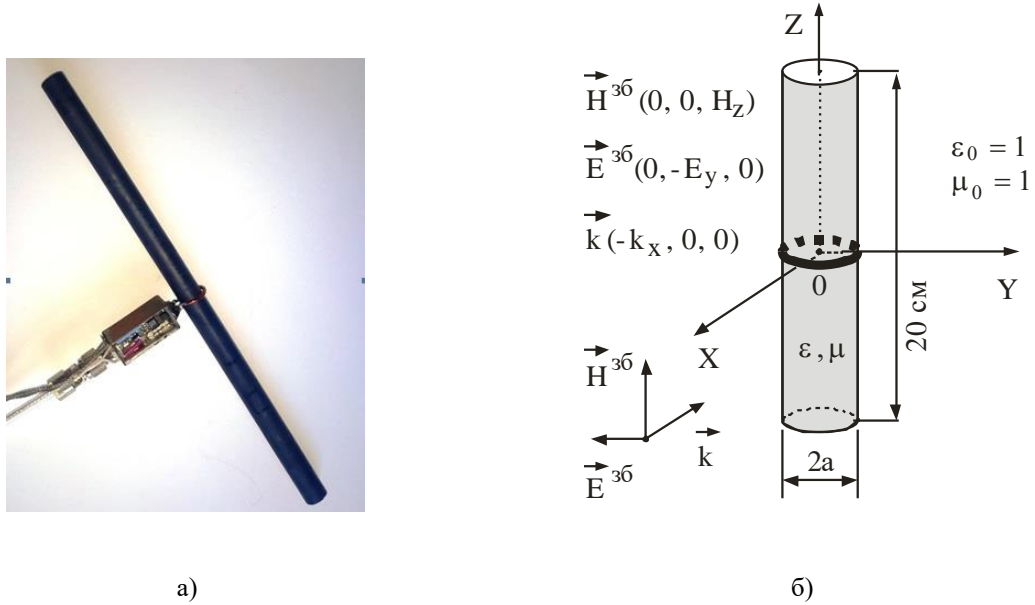


Рис. 1. а) Фото феритової антени, б) модель антени для чисельного моделювання.

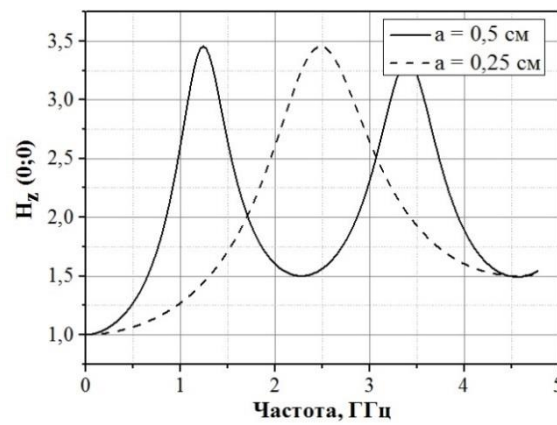


Рис. 2. Спектральні характеристики феритового стрижня.

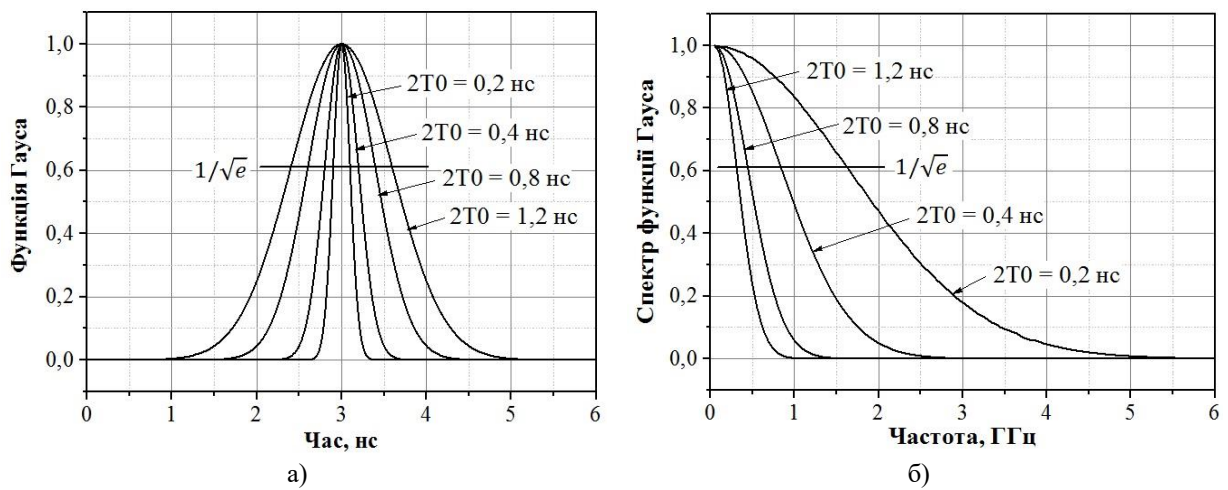


Рис. 3. а) Функції Гауса та б) їх спектри.

На Рис. 4 представлені розраховані у результаті чисельного моделювання часові залежності наведених імпульсів струму у провіднику, який охоплює феритові стрижні з радіусами $a = 0,25$ см (перший стовбець) та $a = 0,5$ см (другий стовбець). Збуджуючі імпульси мають вигляд функцій Гауса та тривалості $2T_0 = 0,2; 0,4; 0,8; 1,2$ нс.

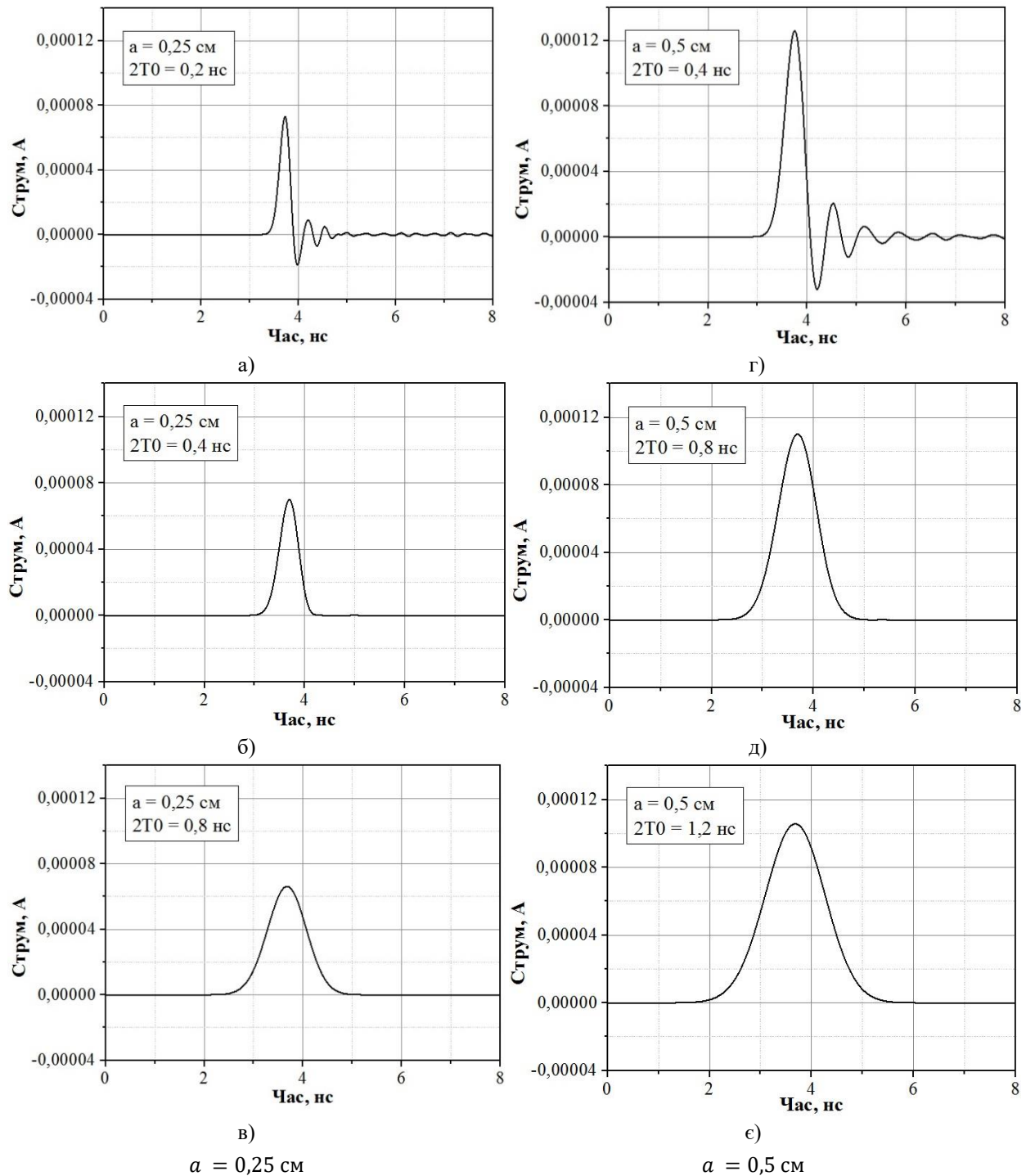


Рис. 4. Імпульси струму, наведені у провіднику, який охоплює феритовий стрижень радіусом $a = 0,25$ см (перший стовбець) та радіусом $a = 0,5$ см (другий стовбець) імпульсами електромагнітного поля з часовою залежністю у вигляді функції Гауса.

Дослідимо, як залежать спотворення форми наведеного в провіднику імпульсу струму від параметрів задачі. Будемо називати величину $2a\sqrt{\varepsilon\mu}$ «ефективним» діаметром стрижня, а величину $2T_0 \cdot c$ – «ефективною» просторовою тривалістю функції Гауса, де c – швидкість світла.

У Таблиці 1 зведені параметри збуджуючих імпульсів, спектральних функцій стрижнів, розраховані відношення «ефективного» діаметру стрижнів $2a\sqrt{\varepsilon\mu}$ до «ефективної» просторової тривалості $2T_0 \cdot c$ функції Гауса для імпульсів, зображених на Рис. 4.

Таблиця 1.

Тривалість функції Гауса $2T_0$, нс	0,2	0,4	0,8	1,2
Ширина спектру функції Гауса Δf , ГГц	3,2	1,6	0,8	0,53
$a = 0,25$ см				
Ширина спектру спектральної функції стрижня, ГГц	1,6			
$\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{2T_0 \cdot c}$	1	0,5	0,26	0,17
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.	-	+	+	
$a = 0,5$ см				
Ширина спектру спектральної функції стрижня, ГГц	0,8			
$\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{2T_0 \cdot c}$	2	1	0,52	0,34
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.		-	+	+

Аналізуючи дані Таблиці 1, можна зробити висновок, що форма наведеного імпульсу струму не спотворюється, якщо виконується умова

$$\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{2T_0 \cdot c} \leq 0,5 \quad (1)$$

та ширина спектру збуджуючого імпульсу не перевищує ширину смуги частот спектральної функції стрижня в області її першого локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у \sqrt{e} разів (Рис. 4 б, в, д, е).

В інших випадках (Рис. 4. а, г) з'являються післяімпульсні коливання, яких немає в електромагнітному полі, що збуджує стрижень.

Збуджуючий імпульс у вигляді 1-ї похідної функції Гауса. В радіолокаційних застосуваннях сигнали, як правило, не несуть в своєму спектрі складової поля, що відповідає нульовій частоті. Вони зазвичай мають форму знакозмінної функції. Прикладом такої функції є 1-а похідна за часом від функції Гауса.

На Рис. 5 зображені імпульси у вигляді 1-ї похідної функції Гауса з тривалостями $T = 0,8; 1,6; 3,2; 4,8$ нс (Рис. 5 а) та їх нормовані спектри (Рис. 5 б). Тривалість імпульсу T визначатимемо так, як показано вертикальними рисками для імпульсу з $T = 4,8$ нс. Введемо поняття «ефективної» тривалості імпульсу, яку будемо вимірювати на рівні $1/\sqrt{e}$ від максимального значення амплітуди, позначимо її Δt . Ширину спектру будемо визначати на рівні $1/\sqrt{e}$ від його максимального значення.

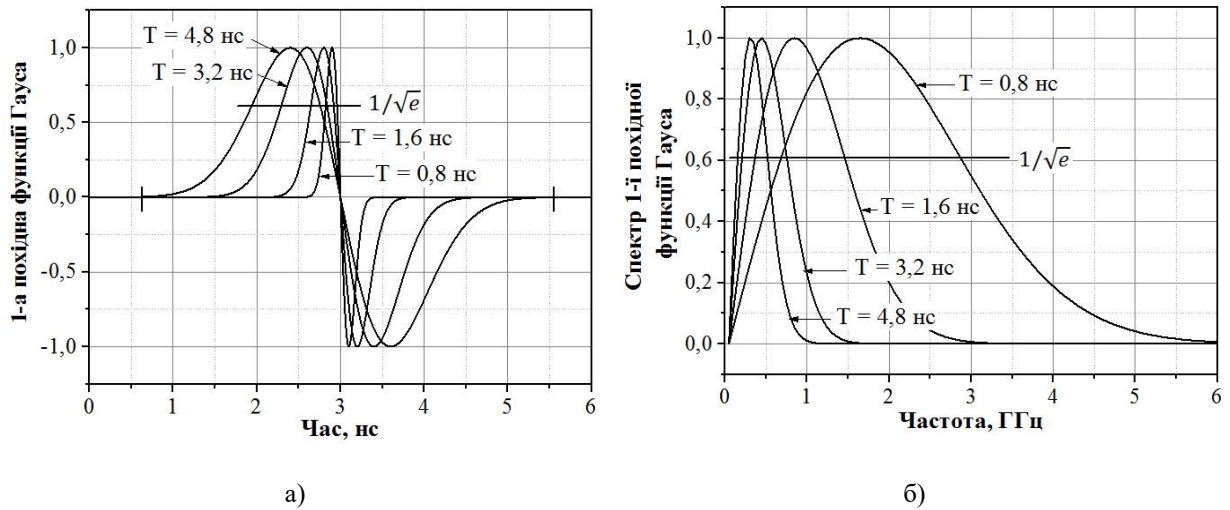
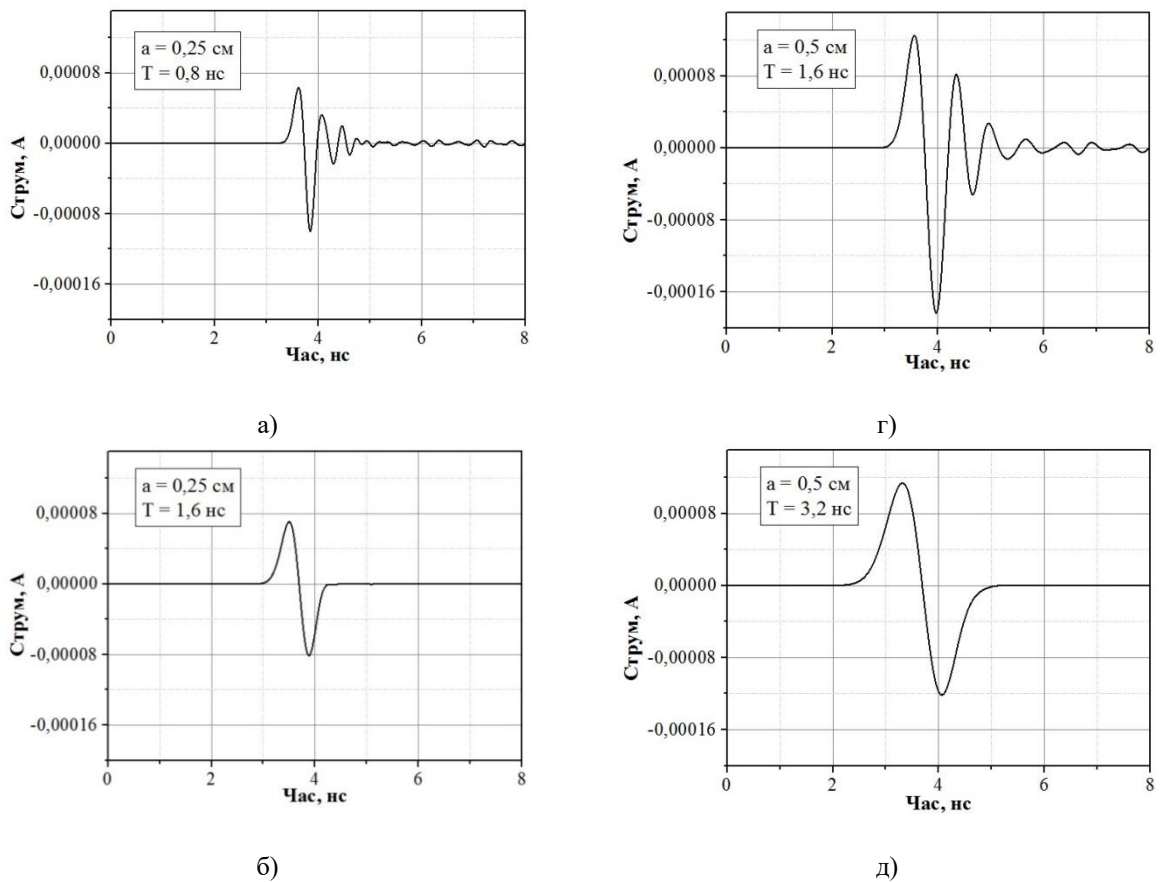


Рис. 5. а) 1-і похідні функції Гауса та б) їх частотні спектри.

На Рис. 6 представлені розраховані у результаті чисельного моделювання часові залежності наведених імпульсів струму у провіднику, який охоплює феритові стрижні з радіусами $a = 0,25$ см (перший стовбець) та $a = 0,5$ см (другий стовбець). Збуджуючі імпульси мають вигляд 1-х похідних функцій Гауса та тривалості $T = 0,8; 1,6; 3,2; 4,8$ нс.



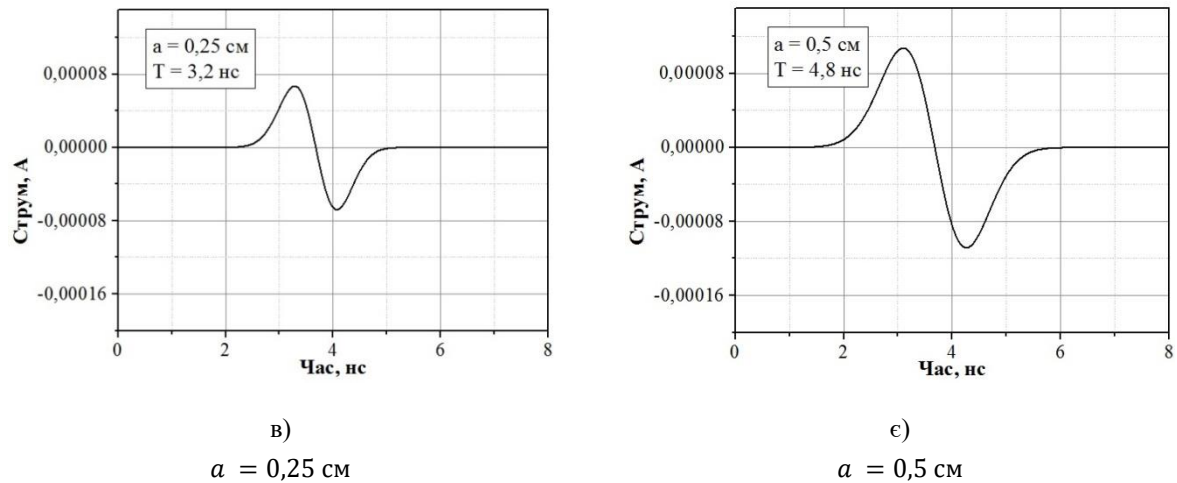


Рис. 6. Імпульси струму, наведені у провіднику, який охоплює феритовий стрижень радіусом $a = 0,25 \text{ см}$ (перший стовбець) та радіусом $a = 0,5 \text{ см}$ (другий стовбець) імпульсами електромагнітного поля з часовою залежністю у вигляді 1-ї похідної функції Гауса.

У Таблиці 2 зведені параметри збуджуючих імпульсів, спектральних функцій стрижнів, розраховані відношення «ефективного» діаметру стрижнів $2a\sqrt{\epsilon\mu}$ до «ефективної» просторової тривалості $\Delta t \cdot c$ 1-ї похідної функції Гауса для імпульсів, зображених на Рис. 6.

Таблиця 2.

Тривалість 1-ї похідної функції Гауса T , нс	0,8	1,6	3,2	4,8
Ширина спектру 1-ї похідної функції Гауса Δf , ГГц	2,18	1,09	0,55	0,36
«Ефективна» просторова тривалість Δt , нс	0,15	0,3	0,6	0,9
$a = 0,25 \text{ см}$				
Ширина спектру спектральної функції циліндра, ГГц	1,6			
$\frac{2a\sqrt{\epsilon\mu}}{\Delta t \cdot c}$	1,36	0,68	0,34	0,23
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.	-	+	+	
$a = 0,5 \text{ см}$				
Ширина спектру спектральної функції циліндра, ГГц	0,8			
$\frac{2a\sqrt{\epsilon\mu}}{\Delta t \cdot c}$	2,72	1,36	0,68	0,46
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.		-	+	+

Як бачимо, форма наведеного імпульсу струму не спотворюється, якщо виконується умова

$$\frac{2a\sqrt{\epsilon\mu}}{\Delta t \cdot c} \leq 0,5 \quad (2)$$

та ширина спектру збуджуючого імпульсу не перевищує ширину смуги частот спектральної функції стрижня в області її першого локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у \sqrt{e} разів (Рис. 6 б, в, д, є).

На відміну від умови (1) замість параметра $2T0$, при оцінці умов неспотвореного прийому на перший план виходить час Δt .

Збуджуючий імпульс у вигляді 2-ї похідної функції Гауса. Якщо радіолокаційний імпульс з часовою залежністю у вигляді 1-ї похідної від функції Гауса відбивається від діелектричного шару, він набуває форми другої похідної за часом від функції Гауса [2]. Тому важливим для практики є розгляд задачі реєстрації феритовою антеною імпульсу у вигляді 2-ї похідної і визначення умов неспотвореного прийому таких сигналів.

На Рис. 6 зображені імпульси у вигляді 2-ї похідної функції Гауса з тривалостями $T = 0,85; 1,7; 3,4; 5,1$ нс (Рис. 6 а) та їх нормовані спектри (Рис. 6 б). Тривалість імпульсу визначатимемо так, як показано вертикальними рисками для імпульсу з $T = 5,1$ нс. Введемо поняття «ефективної» тривалості імпульсу, яку будемо вимірювати на рівні $1/\sqrt{e}$ від модуля максимального значення амплітуди, позначимо її Δt . Ширину спектру будемо визначати на рівні $1/\sqrt{e}$ від його максимального значення.

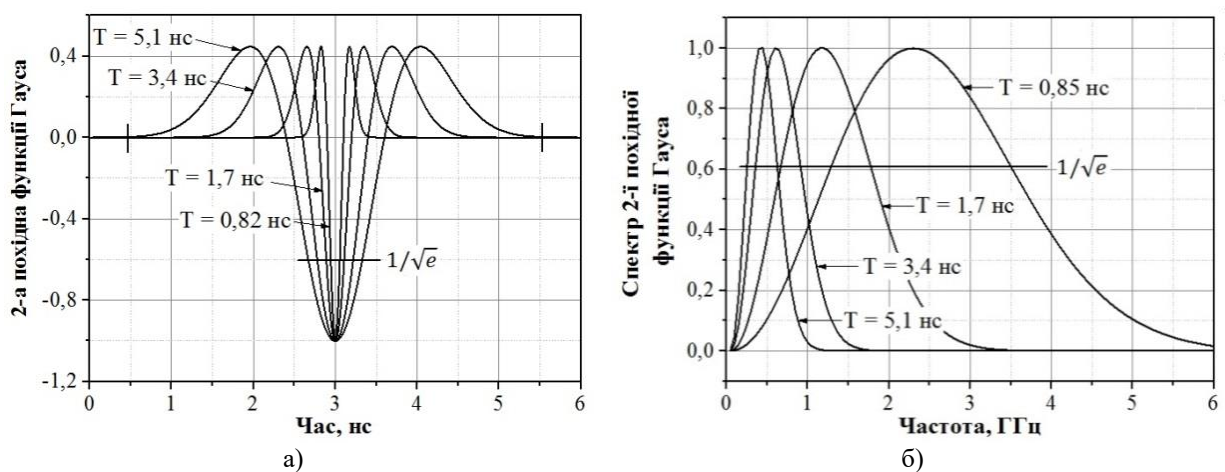
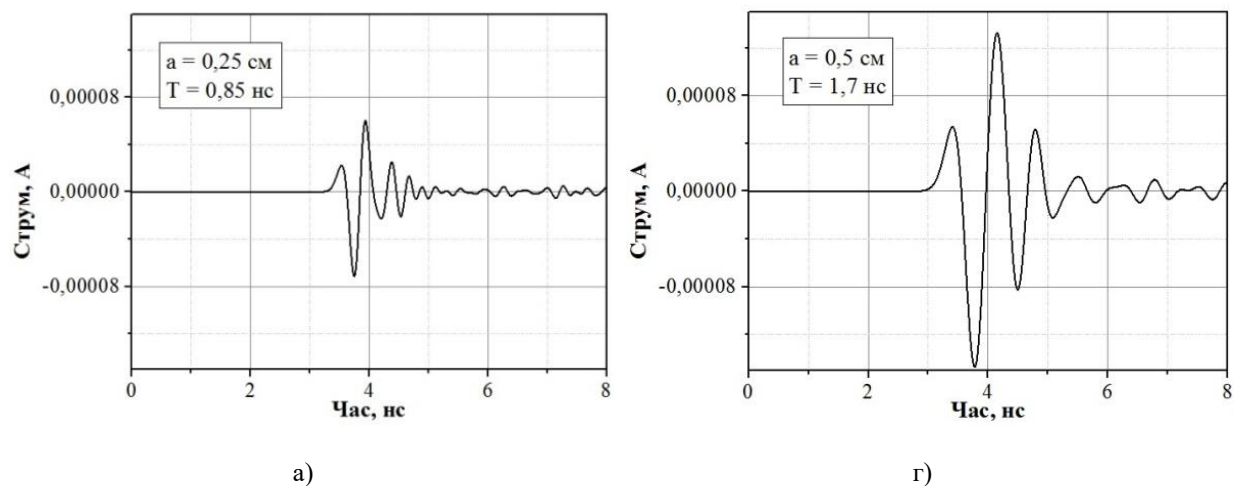


Рис. 6. а) 2-ї похідні функції Гауса та б) їх частотні спектри

На Рис. 7 представлені розраховані у результаті чисельного моделювання часові залежності наведених імпульсів струму у провіднику, який охоплює феритові стрижні з радіусами $a = 0,25$ см (перший стовбець) та $a = 0,5$ см (другий стовбець). Збуджуючі імпульси мають вигляд 2-х похідних функцій Гауса та тривалості $T = 0,85; 1,7; 3,4; 5,1$ нс.



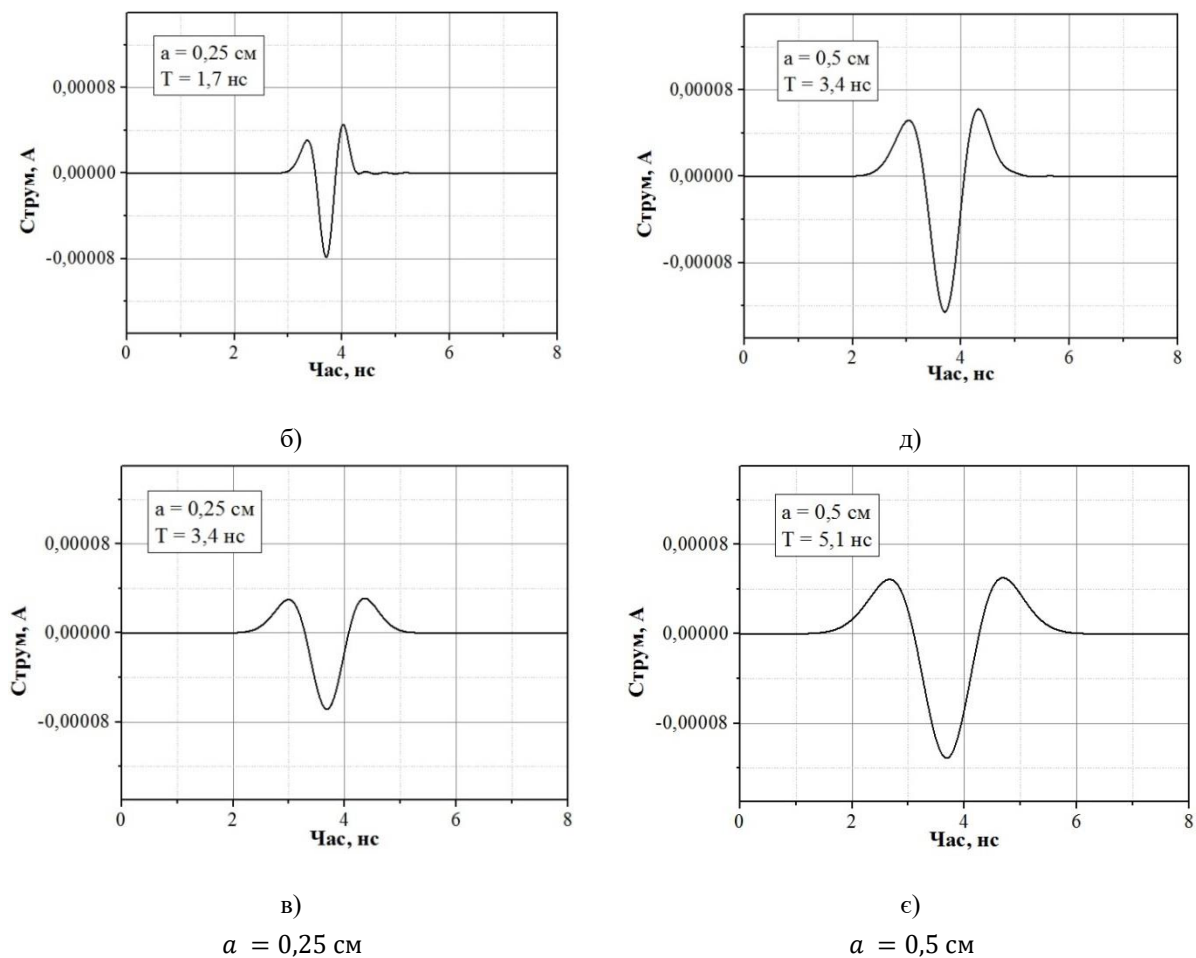


Рис. 7. Імпульси струму, наведені у провіднику, який охоплює феритовий стрижень радіусом $a = 0,25 \text{ см}$ (перший стовбець) та радіусом $a = 0,5 \text{ см}$ (другий стовбець) імпульсами електромагнітного поля з часовою залежністю у вигляді 2-ї похідної функції Гауса

У Таблиці 3 зведені параметри збуджуючих імпульсів, спектральних функцій стрижнів, розраховані відношення «ефективного» діаметру стрижнів $2a\sqrt{\epsilon\mu}$ до «ефективної» просторової тривалості $\Delta t \cdot c$ 2-ї похідної функції Гауса для імпульсів, зображених на Рис. 7.

Таблиця 3.

Тривалість 2-ї похідної функції Гауса T , нс	0,85	1,7	3,4	5,1
«Ефективна» просторова тривалість Δt , нс	0,11	0,22	0,44	0,66
Ширина спектру 2-ї похідної функції Гауса Δf , ГГц	2,2	1,1	0,55	0,37
$a = 0,25 \text{ см}$				
Ширина спектру спектральної функції циліндра, ГГц	1,6			
$\frac{2a\sqrt{\epsilon\mu}}{\Delta t \cdot c}$	1,86	0,93	0,46	0,31
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.	-	-	+	
$a = 0,5 \text{ см}$				
Ширина спектру спектральної функції циліндра, ГГц	0,8			
$\frac{2a\sqrt{\epsilon\mu}}{\Delta t \cdot c}$	3,72	1,86	0,92	0,62
«-» - форма наведеного імпульсу струму спотворена; «+» - форма наведеного імпульсу струму неспотворена або спотворена незначно.		-	-	+

Як бачимо, форма наведеного імпульсу струму не спотворюється, якщо виконується умова

$$\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{\Delta t \cdot c} \leq 0,5 \quad (3)$$

та ширина спектру збуджуючого імпульсу не перевищує ширину смуги частот спектральної функції стрижня в області її першого локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у \sqrt{e} разів (Рис. 7 в, є).

ВИСНОВКИ

Отже, у разі, коли збуджуючий імпульс має вигляд функцій Гауса, 1-ї та 2-ї похідної функції Гауса без носійної частоти, для побудови імпульсної надширокопосмугової приймальної антени на основі феритового стрижня, охопленого витком провідника, необхідно, щоб параметри стрижня та збуджуючого поля задовольняли певним умовам. Ці умови наступні:

1) відношення «ефективного діаметра» стрижня до «ефективної» тривалості імпульсу не повинно перевищувати 0,5, тобто повинні виконуватися відношення $\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{2T_0 \cdot c} \leq 0,5$ для збуджуючого імпульсу у вигляді функції Гауса та $\frac{2a\sqrt{\varepsilon\mu}}{\Delta t \cdot c} \leq 0,5$ для збуджуючих імпульсів у вигляді 1-ї та 2-ї похідної функції Гауса;

2) ширина спектру збуджуючого імпульсу не повинна перевищувати ширину смуги частот спектральної функції стрижня в області її першого локального максимуму на рівні, де амплітуда зменшується у \sqrt{e} разів.

Отримані результати корисні при проектуванні приймальних пристроїв для реєстрування НШС імпульсних сигналів.

Робота виконана в рамках держбюджетної НДР «Випромінювання і приймання гармонічних та імпульсних електромагнітних полів антенами магнітного і електричного типу з локальними магнітними і діелектричними неоднорідностями» (№ держреєстрації ДРН№0118U002021, 2018-2020) та частково в рамках держбюджетної НДР «Розвиток методів і засобів радіофізичної інтроскопії оптично непрозорих середовищ природного та штучного походження» (№ держреєстрації 0117U004035, 2017-2019).

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ


Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Authors' ORCID ID

T.M. Ogurtsova  <https://orcid.org/0000-0002-3376-5814>

N.K. Blinova  <https://orcid.org/0000-0001-9388-0008>

G.P. Pochanin  <http://orcid.org/0000-0002-3211-4390>

S.O. Masalov  <http://orcid.org/0000-0003-1295-3493>

V.V. Usova  <https://orcid.org/0000-0002-2716-9151>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shirman IaD. O pervykh otechestvennykh issledovaniyakh po SShP lokatsii [About the first domestic studies on UWB location]. Radiotekhnika i elektronika. 1991;36(1):96-100. [in Russian].
2. Kharmut KhF. Nesinusoidalnye volny v radiolokatsii i svyazi [Nonsinusoidal waves in radar and communications]. red. A.P. Maltceva. Moskva: Radio i svyaz, 1985. 376 p. [in Russian].
3. Astanin Liu, Kostylev AA. Osnovy sverkhshirokopolosnykh radiolokatsionnykh izmerenii [Basics of ultra-wideband radar measurements]. Moskva: Radio i svyaz. 1989. 192 p. [in Russian].
4. Masalov SA, Pochanin GP. Problemy i puti razvitiia sverkhshirokopolosnoi videoimpulsnoi georadiolokatsii [Problems and development paths of ultra-wideband video pulse georadar]. Radiofizika i elektronika. Kharkov: Institut radiofiziki i elektroniki NAN Ukrainy. 2005;10:633-640. [in Russian].
5. Khomich VI. Priemnye ferritovye anteny [Ferrite Receiving Antennas]. Moskva-Leningrad: Gos. energoizdat, 1960;370. 64 p. [in Russian].
6. Bobkov AM. Shirokopolosnaia priemnaia ferritovaia antenna s kombinirovannym serdechnikom [Combined core wideband receive ferrite antenna]: patent rossiiskoi federatsii 2256264, H01Q7/08 (RU). № 2004110863/09; Zaiavleno 2004.04.06.; Opubl. 2005 Jul. 10.
7. Krymskii VV. Magnitnaia antenna [Magnetic antenna]: A.s. 1681356 SSSR, MKI H01Q 7/06 / (SSSR). № 4349964/09; Zaiavleno 26 Dec. 1987; Opubl. 1991 Sep 30., Biul. №36. S.35. [in Russian].

8. Ogurtsova TN, Pochanin GP, Kholod PV. Sensitivity of UWB ferrite receiving antennas. Second International Workshop Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals; – 2004 Sep. 19-22; Sevastopol. IEEE; 2004.p. 278-281.
9. Ogurtsova TN, Pochanin GP, Sidorenko YuB. Excitation of an electromagnetic field pulse in the magnetodielectric cylinder. Telecommunications and Radio Engineering. 2013;72(9):777-789.
10. Ogurtcova TN. Vybory parametrov ferritovogo elementa dlia impulsnoi SShP priemnoi anteny [Selection of parameters of a ferrite element for a pulse UWB receiving antenna]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Radioelektronika. 2016;59(9):27-35. [in Russian].
11. Taflove A, Hagness S. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 3rd ed. Boston, London: Artech House. 2005. 1038 p.
12. Bozort R. Ferromagnetizm [Ferromagnetism]. Moskva: Inostrannaia literatura. 1956. 784 p. [in Russian].
13. Ogurtcova TN, Sidorenko IuB. Vozbuzhdenie potoka magnitnoi indukcii vnutri magnetodielektricheskogo tsilindra [Magnetic induction flux excitation inside a magnetodielectric cylinder]. Radiofizika i elektronika. Kharkov: In-t radiofiziki i elektron. NAN Ukrainy. 2009;14(3):259-266. [in Russian].