

УДК 621.396.96

Д.С. Калугін, М.Г. Іванець, А.М. Безверхий

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## О ВИЗНАЧЕННІ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОІМПУЛЬСНИХ АНТЕН МЕТОДОМ КІРХГОФА-КОТЛЕРА

Запропонована методика розрахунку тривимірних конструкцій випромінювачів надширокосмугових сигналів, заснована на методі Кірхгофа–Котлера, визначені часові і частотні властивості надширокосмугового сигналу, що випромінює.

**Ключові слова:** надширокосмуговий сигнал, ТЕМ-рупор.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Останнім часом розвиток елементної бази дозволяє на практиці реалізувати накопичений теоретичний багаж в реалізації вимог до сучасних радіотехнічних систем (РТС), таким як отримання некоординатної інформації про мету радіолокації, скритність, перешкодозахищеність передаваної інформації, збільшення швидкості передачі інформації. Традиційні вузькосмугові системи (смуга сигналу багато менше частоти, що несе) мають обмежені можливості при рішенні розглянутих вище завдань. Для збільшення інформаційних можливостей РТС необхідно збільшувати ширину спектру зондуючого сигналу, граничним випадком якого є надширокосмуговий (НШС) сигнал наносекундної тривалості відеоімпульсного типу. Перспективному застосуванню НШС сигналів в радіолокації, радіонавігації, радіозв'язку присвячено немало публікацій [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень и публікацій.** Об'єктивними причинами, стримуючими використання НШС сигналів в радіолокації, являється недосконалість антенних систем, приймальних пристроїв і алгоритмів обробки НШС сигналів [2 – 6]. Для повного використання інформаційних властивостей НШС сигналів (випромінювання з малими спотвореннями форми), необхідно розробка нових, як правило, тривимірних конструкцій антенних систем.

Так само певні труднощі виникають при розрахунку реальних конструкцій короткоімпульсних антен. Що пов'язане, в першу чергу, з необхідністю рішення електродинамічних завдань в широкому частотному діапазоні. Із зростанням можливостей обчислювальної техніки підвищилося значення чисельних методів при рішенні завдань розсіяння, пов'язаних з НШС сигналами. Серед існуючих найбільшого поширення набули високочастотні методи чисельного рішення інтегральних рівнянь електродинаміки при розрахунку двовимірних конструкцій. Реальні ж конструкції мають кінцеві розміри, кромки і вигини, які, являючись імпедансом неоднорідностями, можуть істотно спотворювати випромінюваний сигнал.

**Метою статті** є запропонувати методику розрахунку тривимірних обмежених конструкцій випромінювачів НШС сигналів, засновану на методі Кірхгофа-Котлера, визначити частотні і часові властивості сигналу, що випромінює, НШС.

### Виклад основного матеріалу

Одним з перспективних випромінювачів НШС сигналів є ТЕМ-рупор, що є двома поверхнею, що розходиться в подовжньому і поперечному напрямках за певними законами. На рис. 1 представлена конструкція з наступними профілями поверхні:  $z = 0,5m$ ;  $y = 0,005 + 0,76z$ ;  $x = 0,0375 + 0,08z$ . Для узгодження антени з лінією передачі (вхідний опір – 50 Ом) і вільним простором (хвильовий опір  $Z_b$  в перерізі  $z = L$  складає  $120\pi$ ) кут при вершині візьмемо  $43^\circ$ . Розрахунок хвильових опорів проведемо за методикою, відповідною визначенню характеристик стрічковою лінією передачі [7]:

$$Z_b = 120\pi \frac{a}{b} \left( \frac{a}{b} \ll 1 \right), \quad Z_b = 120 \ln \left( 4 \frac{a}{b} \right) \left( \frac{a}{b} \gg 1 \right),$$

де  $a$  – відстань між смугами,  $b$  – ширина смуги.

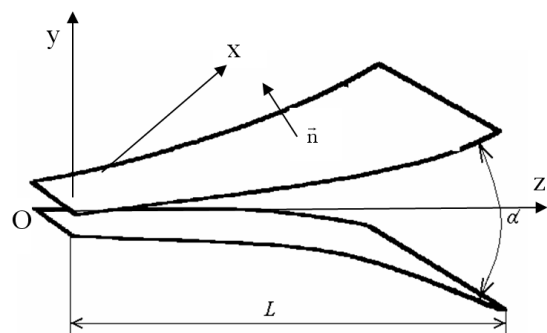


Рис. 1. ТЕМ-рупор

Напруженість магнітного поля можна визначити за допомогою поверхневого інтеграла вигляду

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_S \left\{ -j\omega\epsilon\Psi[\vec{n}, \vec{E}] + [[\vec{n}, \vec{H}], \text{grad}\Psi] + (\vec{n}, \vec{H})\text{grad}\Psi \right\} dS, \quad (1)$$

де  $\omega$  – циклічна частота,  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища поширення,  $\Psi = \exp(jkR)/R$ ,  $k$  –

хвилеве число,  $R$  – відстань до точки спостереження,  $\vec{n}$  – зовнішня нормаль до поверхні  $S$ ,  $\vec{E}$  – напруженість електричного поля,  $S$  – поверхня інтеграції.

Для застосування формули (1) до завдань про розрахунок поля випромінюючих систем по заданому розподілу поля на поверхні антени необхідно так задати поля на ділянці поверхні  $S$ , щоб розривши на межі ділянки поверхні був би пов'язаний з деяким еквівалентним розподілом струмів і зарядів, що задовольняє рівнянню безперервності.

Якщо поверхня  $S$  має кінцеві розміри, то згідно з методом Кирхгофа-Котлера треба ввести лінійні заряди по контуру, що обмежує екран [8]:

$$\sigma = \frac{2}{i\omega} (\vec{\tau}, \vec{H}),$$

де  $\sigma$  – провідність середовища,  $\vec{\tau}$  – дотична до поверхні  $S$ .

Враховуючи, що  $(\vec{\tau}, \vec{E}) = (\vec{n}, \vec{H}) = [\vec{n}, \vec{E}] = 0$ , вираз (1) перетвориться до вигляду

$$\vec{H} = \frac{1}{2\pi} \int_S [[\vec{n}, \vec{H}_i], \text{grad}\Psi] dS \quad (2)$$

де  $\vec{H}_i = H_0 \exp[j(kR - \omega t)] \vec{r}_0$  – поле джерела,  $H_0$  – амплітуда джерела,  $\vec{r}_0$  – радіус-вектор точки спостереження.

Вираз (2) є основним розрахунковим для визначення поля в дальній зоні. У разі використання НШС сигналу вираження (2) перетвориться до виду

$$\vec{H}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_S [[\vec{n}, \vec{H}_i(\omega)], \text{grad}\Psi] dS. \quad (3)$$

Розглянемо випадок збудження ТЕМ-рупора відеоімпульсом гауса струму одиничної амплітуди тривалістю 1 нс. На рис. 2 представлена форма НШС сигналу.

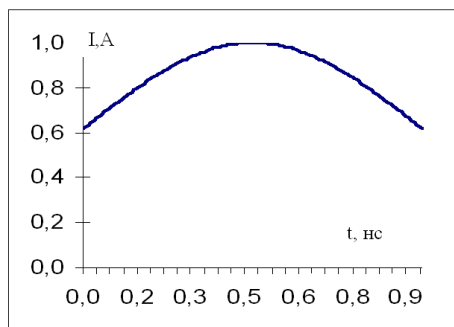


Рис. 2. Форма НШС сигналу

На рис. 3 представлений амплітудно-частотний спектр (АЧС) НШС сигналу, видно, що при тривалості відеоімпульса струму 1 нс (рис. 2), спектр випромінюваного сигналу складає 4 ГГц, середня частота  $f_0 = 2$  ГГц. З рис. 3 видно, що при тривалості відеоімпульса струму 1 нс, спектр випромінюваного сигналу складає 4 ГГц, середня частота  $f_0 = 2$  ГГц.

Для визначення поля в далекій зоні відповідно до виразу (3), поверхня  $S$  розбивається на  $N$  осередків, що не перетинаються. В межах кожного осередку, як це зазвичай робиться в аналогічних випадках, вважаємо щільність струму постійною. З урахуванням специфіки поверхні подовжні розміри осередків складають  $0,1 \lambda_{\min}$ , де  $\lambda_{\min}$  – найменша довжина хвилі, представлена в спектрі сигналу. Через крихту розмірів осередків можна рахувати фронт хвилі у поверхні антени плоским.

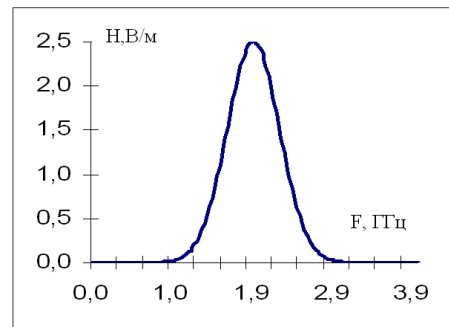


Рис. 3. АЧС спектру НШС сигналу

Розрахована відповідно до (3) часова структура випромінюваного сигналу у напрямі головного максимуму представлена на рис. 4.

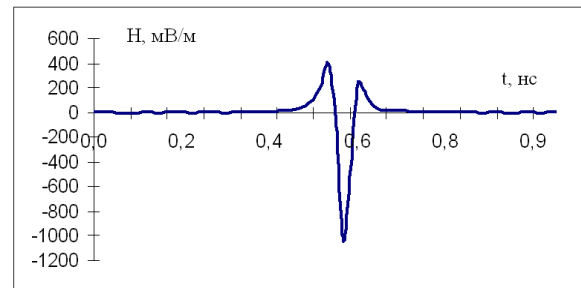


Рис. 4. Форма НШС сигналу у напрямі головного максимуму

Відмітимо, що при зміні просторових координат точки спостереження, форма імпульсу не змінювалася, мінялося лише абсолютне значення негативного піку. Це можна пояснити узгодженням ТЕМ-рупора з лінією передачі і вільним простором.

## Висновки

Відмітимо, що при зміні просторових координат точки спостереження, форма імпульсу не змінювалася, мінялося лише абсолютне значення негативного піку. Це можна пояснити узгодженням ТЕМ-рупора з лінією передачі і вільним простором. Розрахунки показали, що запропонований метод розрахунку антенних систем дозволяє значно зменшити час розрахунку їх характеристик (в порівнянні з використанням формул Стреттона-Чу), а також дозволяє врахувати особливості поведінки щільності поверхневого струму на кромках поверхні.

Аналіз часової структури сигналу, що випромінює, показував, що випромінюваний сигнал має роздільну здатність близько 15 см; запропонована конструкція ТЕМ-рупора є добре узгодженою конструкцією і може бути використана як елемент НШС антенних решіток як в локаторах підповерхневого зондування так і в радіолокаторах. Надалі передбачається розробка НШС антенних решіток.

### Список літератури

1. Астанин Л.Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / Л.Ю. Астанин, А.А. Костылев. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
2. Borysenko A.A. Impulse Radar Emergency System To Prevent Damage Due To Harmful Objects In Vegetation / A.A. Borysenko // Proc. Of IEEE International Radar Conference. – 2000. – P. 116 – 121.
3. Радченко Ю.С. Обобщенная функция неопределенности составных сверхширокополосных сигналов / Ю.С. Радченко, С.В. Сохнышев // Радиоэлектроника. – 2001. – № 6. – С. 33 – 43.

4. Astanin L.Y. Ultra Wideband Signals – A New Step In Radar Development / L.Y. Astanin, A.A. Kostylev // IEEE AES System Magazine. – 1992, March. – P. 12 – 15.

5. Анализ ТЕМ-рупорной антенны с помощью метода конечных разностей во временной области / А.М. Бобришов, И.И. Мецераков, Г.К. Усков, Е.А. Руднев // Антенны. – 2011. – № 4. – С. 33 – 43.

6. Андреев Ю.А. Малогабаритные сверхширокополосные антенны для излучения мощных электромагнитных импульсов / Ю.А. Андреев, Ю.И. Буянов, В.И. Кошелев // Журнал радиоэлектроники. – 2006. – № 2. – С. 5 – 33.

7. Фельдштейн А.Л. Справочник по элементам волноводной техники / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич, В.П. Смирнов. – М.: Сов. радио, 1967. – 651 с.

8. Семенов А.А. Теория электромагнитных волн / А.А. Семенов. – М.: Изд-во МГУ. – 320 с.

Надійшла до редколегії 31.08.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ АНТЕН МЕТОДОМ КИРХГОФА-КОТЛЕРА

Д.С. Калугин, М.Г. Иванец, А.М. Безверхий

Предложенная методика расчета трехмерных конструкций излучателей сверхширокополосных сигналов, основанная на методе Кирхгофа-Котлера, определены временные и частотные свойства излученного сверхширокополосного сигнала.

**Ключевые слова:** сверхширокополосный сигнал, ТЕМ-рупор.

### AT CERTAIN SENTINEL DESCRIPTIONS OF KOROTKOIMPUL'SNYKH AERIALS BY OF KIRKHOFF-KOTLER METHOD

D.S. Kalugin, M.G. Ivanets, A.N. Bezverhiy

Offered methods of calculation of three-dimensional constructions of emitters of ultrawideband signals, based on the method of Kirkhgof-kotler, sentinel and frequency properties of the radiated ultrawideband signal are certain.

**Keywords:** ultrawideband, TEM-megaphone.