

УДК 621.396.677

Г. В. Єрмаков, І. М. Майборода, А. В. Ірха, В. М. Клішин

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

Розглянуто можливості застосування багаточастотних просторово-часових і надширококутових сигналів наносекундної тривалості для функціонального ураження вхідних трактів приймальних пристроїв засобів зв'язку та систем управління. Обґрунтовано часові та енергетичні параметри ультракоротких сигналів, достатні для функціонального ураження радіокомпонентів.

К л ю ч о в і с л о в а: надширококутовий, функціональне ураження, багаточастотний, просторово-часовий.

Постановка проблеми. Розширення області застосування, зростання складності завдань, виконання яких покладається на засоби зв'язку та системи управління, призводять до ускладнення апаратних засобів і розширення їхніх функцій. Завдяки використанню напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем можливою є мінімізація розмірів апаратури засобів зв'язку. Незважаючи на переваги застосування напівпровідникових елементів, необхідно відзначити, що дані елементи найбільш чутливі до дії потужних електромагнітних імпульсів (ЕМІ), електричний і магнітний вплив яких призводить до відмови елементів радіоелектронної апаратури.

Одним з нових технічних шляхів виведення з ладу радіоелектронних засобів зв'язку (РЕЗЗ) є вплив на них потужного ЕМІ [1].

Найбільш уразливими до впливу потужного ЕМІ є радіоелектронні елементи вхідних трактів приймальних пристроїв, спецобчислювачів і керуючих комп'ютерів (обмежувачі, малозумлячі підсилювачі з низьким рівнем шуму, змішувачі, формувачі тактових імпульсів, комутатори і т. ін.), побудованих на основі твердотільних напівпровідникових структур (діодів, транзисторів і мікросхем).

Ефект функціонального ураження, що слабо залежить від призначення системи, спричинює такі наслідки [2]:

- невідновлювані (катастрофічні, необоротні) відмови;
- відновлювані (тимчасові) відмови;
- функціональні порушення працездатності, характерні для традиційних видів завад (помилкові спрацювання виконавчих схем).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі відомі два основні напрямки створення засобів функціонального ураження (ФУ) з малою тривалістю впливаючих імпульсів [3–5]:

- 1) на основі фокусування ЕМІ в передавальних фазованих антенних решітках з використанням багаточастотних просторово-часових сигналів;
- 2) на основі надширококутових сигналів (НШС) відеоімпульсного типу.

Перший напрямок достатньо добре вивчено [3]. Багаточастотні просторово-часові сигнали являють собою сукупність гармонійних сигналів

$$S_{MF}(t) = \sum_{n=0}^m A_n \cdot \cos[2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t], \quad (1)$$

де $n = 0, 1, 2, \dots, m$ – номер гармонійної складової сигналу $S_{MF}(t)$; A_n, f_n – амплітуда і частота гармонійної складової.

Часова форма і обвідна спектра багаточастотного сигналу для семи гармонійних складових від $f_0 = 1,2$ ГГц до $f_6 = 1,8$ ГГц з кроком $s = 0,1$ ГГц, та $A = 1$, нормовані за амплітудою, представлені на рис. 1. Зазначимо, що період сигналу $S_{MF}(t)$ є обернено пропорційним кроку s .

Сигнал $S_{MF}(t)$ можна отримати безпосередньо в передавальній антені як суму сигналів від безлічі гармонійних генераторів. Інший спосіб – це фокусування (формування просторово-часового сигналу) в потрібній точці простору випромінювання від кожного з гармонійних передавачів. Основним недоліком першого напрямку є мала відносна ширококутовість випромінюваного сигналу.

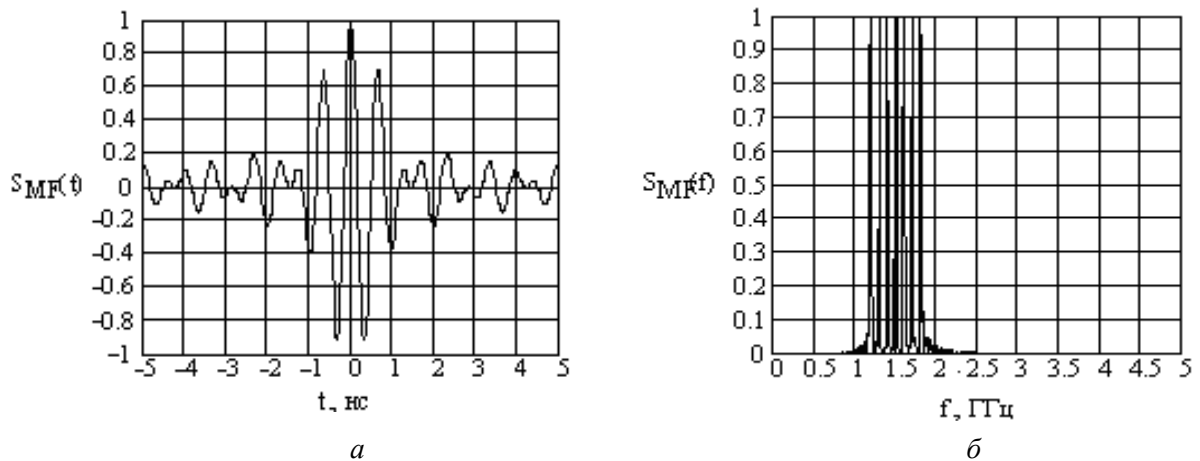


Рис. 1. Структура (а) та спектр (б) багаточастотного просторово-часового сигналу

Основною перевагою другого напрямку є той факт, що надширокополосний засіб ФУ не призначений для ураження певної системи або класу систем. Він може використовуватися скоріше для заглушення широкого діапазону різних систем. Під НШС [6] (рис. 2) розуміється сигнал відеоімпульсного типу наносекундної тривалості з великою відносною шириною спектра ($\Delta f / f_{\text{сєр}} \approx 1$, де Δf – ширина спектра зондуючого сигналу; $f_{\text{сєр}}$ – середня частота). Зауважимо, що роботи, пов'язані з практичним використанням НШС сигналів, достатньо добре відомі, наприклад [1; 4].

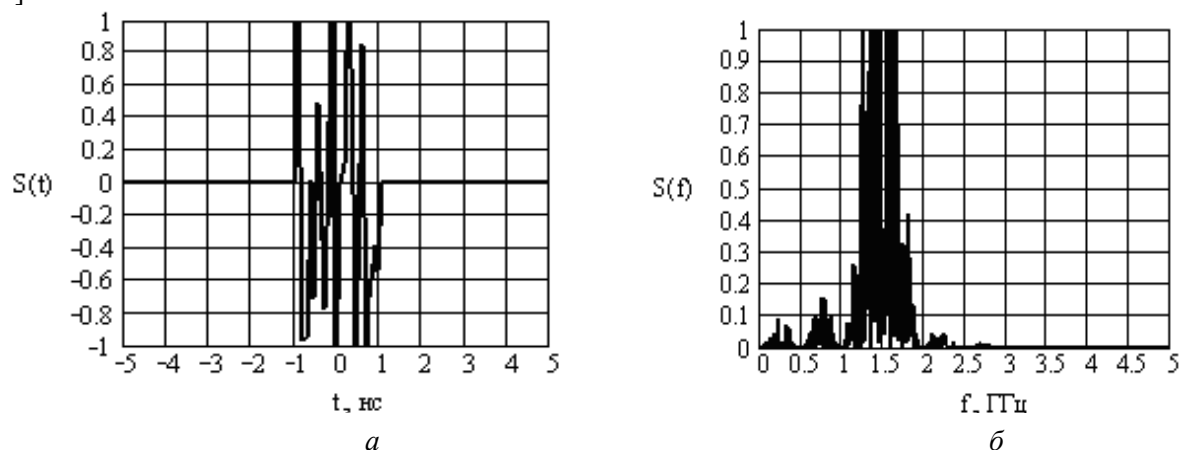


Рис. 2. Структура (а) та спектр (б) НШС

Запропоновані типи сигналів можуть бути використані для ФУ вхідних трактів приймальних пристроїв засобів зв'язку та систем управління. Для оцінювання можливостей застосування таких сигналів для функціонального ураження РЕЗЗ необхідно обґрунтувати вимоги до їх часових і енергетичних параметрів.

Метою статті є обґрунтування вимог до часових та енергетичних параметрів потужних ультракоротких сигналів для ФУ радіоелементної бази вхідних трактів приймальних пристроїв засобів зв'язку та систем управління.

Виклад основного матеріалу. Результатом впливу ЕМІ на вхідні тракти приймального пристрою РЕЗЗ з метою його функціонального ураження є необоротне виведення з ладу радіоелементів функціональних пристроїв: антенних підсилювачів з низьким рівнем шуму, кристалічних змішувачів, транзисторних підсилювачів проміжної частоти і детекторів. При цьому повинні виконуватися певні вимоги до часових та енергетичних параметрів уражаючого сигналу.

У оцінюванні часових параметрів ЕМІ для ФУ необхідно враховувати, що у деяких випадках для захисту вхідних кіл можуть застосовуватися спеціальні пристрої захисту з малим часом спрацьовування, які блокують приймальні пристрої за наявності на їх входах будь-яких сигналів

завад. Час спрацьовування кращих пристроїв захисту складає близько 10 нс. Отже, тривалість руйнівного сигналу τ_i повинна відповідати умові

$$\tau_i \leq \tau_k = 10 \text{ нс}, \quad (2)$$

де τ_k – час спрацьовування пристроїв захисту у разі перевищення заданого максимального рівня сигналу у вхідних колах приймачів РЕЗЗ.

Втрати енергії впливаючого ЕМІ при проходженні через вхідні кола приймального тракту РЕЗЗ у даному випадку залежать від співвідношення між смугою пропускання приймального тракту і шириною спектра руйнівного імпульсу. У більшості випадків ці втрати не перевищують $-10 \dots -15$ дБ.

Період T_i імпульсів необхідно вибирати таким чином, щоб коливання самозбудження до надходження кожного наступного сигналу з пачки загасали не більше ніж на 50...70 %, тобто

$$T_i \leq (0,7 \dots 1,2) \tau_n \approx \frac{0,7 \dots 1,2}{\pi \Delta f_n} \approx \frac{0,22 \dots 0,38}{\Delta f_n}, \quad (3)$$

де Δf_n і τ_n – смуга пропускання і стала часу встановлення власних коливань приймального пристрою пригнічуваних РЕЗЗ.

Як випливає з (3), період проходження необхідно вибирати з урахуванням смуги пропускання реальних приймальних пристроїв РЕЗЗ. Наприклад, для $\Delta f_n \leq 10$ МГц $T_i \leq 220 \dots 380$ нс і, відповідно, значення швидкості таких періодичних послідовностей руйнівних імпульсів при $\tau_i \leq 5$ нс становитиме $Q = T_i / \tau_i \leq 50 \dots 80$.

Проведені дослідження [1; 4] показали, що співвідношення для кількісної оцінки необхідної потужності на вході напівпровідникового пристрою, що призводить до його деградації, можна записати в такому вигляді [4]

$$P_{\text{фп}} = K_{\text{п}} \tau_{\text{пачки}}^{-2} S_{p-n} K_{\text{сп}}, \quad (4)$$

де $K_{\text{п}}$ – константа (стала ушкодження), що залежить від типу напівпровідникового приладу і має розмірність $[\text{кВт} \cdot (\text{мкс})^{1/2} \cdot \text{см}^{-2}]$; $\tau_{\text{пачки}}$ – сумарний час впливу пачки коротких імпульсів на РЕЗЗ; S_{p-n} – площа $p-n$ переходу в см^2 ; $K_{\text{сп}}$ – коефіцієнт втрат через неузгодженість ширини спектра ЕМІ (Δf_p) із смугою пропускання (Δf_n) приймача уражаємих РЕЗЗ.

Результати розрахунку відповідно до формули (4) для випадку внутрішньосмугового функціонального ураження приймачів РЕЗЗ та двох значеннях $K_{\text{сп}}$, а саме: 10 і 15 дБ, наведені в таблиці.

Т а б л и ц я

Необхідні значення Тип напівпровідникового елемента	$K_{\text{п}}$	$S_{p-n}, \text{см}^2$	$\tau_{\text{пачки}}, \text{мкс}$	$P_{\text{фп}}, \text{Вт}$	
				для $K_{\text{сп}}=10$ дБ	для $K_{\text{сп}}=15$ дБ
Діоди комутуючі, транзистори малопотужні	0,1	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	255,0	0,06...3,1	0,2...9,48
Діоди мікрохвильові	0,01	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	255,0	0,006...0,31	0,002...0,95
Схеми інтегральні	0,1	$10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-3}$	255,0	0,006...0,012	0,002...0,4

Результати розрахунків показують, що для здійснення внутрішньосмугового функціонального ураження пачкою імпульсів з сумарним часом впливу 255 мкс мікрохвильових діодів та інтегральних схем необхідна потужність на вході приймачів РЕЗЗ 0,006...0,4 Вт, а комутуючих діодів і малопотужних транзисторів 0,06...9 Вт.

Наведені значення потужності у точці ураження дозволяють розрахувати значення напруженості випроміненого електричного поля, достатньої для ФУ радіоелементів вхідних трактів приймальних пристроїв. Очевидно, що тривалість пачки уражаючих імпульсів може бути і меншою. Необхідно, щоб потужність, яка виділяється на радіоелементі, відповідала даним, наведеним у таблиці. Менша тривалість пачки (для тої самої енергії) є технологічно більш вигідною за умови, що вона може бути реалізована на існуючій елементній базі.

Висновки

У статті обґрунтовані часові та енергетичні параметри ультракоротких сигналів, достатні для функціонального ураження елементної напівпровідникової бази вхідних трактів приймальних пристроїв засобів зв'язку та систем управління. Отримані дані можуть бути використані у процесі розроблення вимог до антенних систем засобів ФП, а також створення ймовірнісної моделі деградації радіокомпонентів.

Список використаних джерел

1. Кравченко, В. И. Электромагнитное оружие [Текст] / В. И. Кравченко. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2008. – 185 с.
2. Драбкин, В. Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем [Текст] / В. Д. Драбкин, А. И. Куприянов, В. Г. Пономарёв, Л. Н. Шустов. – М. : Вузовская книга, 2007. – 468 с.
3. Гомозов, В. И. Пространственно-фазово-частотная фокусировка сигналов в плоских ФАР при V-образной дискретизации частот [Текст] / В. И. Гомозов, А. В. Гомозов, С. В. Титов // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный науч.-техн. сб. – 2001. – № 122. – С. 201–207.
4. Панов, В. В. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ средств функционального поражения [Текст] / В. В. Панов, А. А. Саркисян // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 10. – С. 22–24.
5. Єрмаков, Г. В. Определение мощности сверхширокополосной непреднамеренной помехи на входе приемника системы связи [Текст] / Г. В. Єрмаков, С. Н. Власик // Системи управління, навігації та зв'язку. – К. : ЦНДІ НУ. – 2010. – Вип. 2 (14). – С. 44–48.
6. Хармут, Х. Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи [Текст] / : пер. с англ. / Х. Ф. Хармут. – М. : Радио и связь, 1985. – 376 с.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2011 р.