

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАЗОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ ЗАВАДИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ АВТОКОМПЕНСАТОРІВ АКТИВНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД ПРИ ВИКОРИСТАННІ АНТЕН З РІЗНИМИ РОЗМІРАМИ

У статті проаналізовані залежності відносного ослаблення потужності завади при використанні автокомпенсаторів від статистичних характеристик її фазових флуктуацій і розмірів антенних систем. Методом математичного моделювання отримані залежності коефіцієнта подавлення завади від співвідношення розмірів основної ті допоміжної антен при різному ступені впливу фазових флуктуацій.

*фазові флуктуації, антенні системи, автокомпенсатор, шумові завади*

### Вступ

**Постановка проблеми.** У радіолокації подавлення зовнішньої завади найчастіше здійснюється шляхом формування провалу в напрямку на джерело завади в діаграмі спрямованості (ДС) антенної системи кореляційного автокомпенсатора (АК) [1].

Випадкові неоднорідності атмосфери і багатотрасовість поширення завадової хвилі викривлюють її фронт і приводять до флуктуацій фази в окремих елементах апертури антени, що знижує якість подавлення завади.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [2] проведено аналіз впливу фазових флуктуацій завадової хвилі на ефективність її подавлення, були отримані чисельні оцінки залежностей коефіцієнта подавлення від дисперсії і радіуса кореляції фазових флуктуацій завади.

У відомих роботах розглянуті питання, що пов'язані з впливом способів побудови антенних систем на якість завадозахисту. Однак, ці результати отримані без оцінки впливу випадкових фазових викривлень завади.

**Формулювання мети статті.** Ціллю статті є дослідження впливу характеристик антенних систем на ефективність подавлення завади в умові флуктуацій фронту її хвилі.

### Виклад основного матеріалу

В якості критерію ефективності завадозахисту приймаємо коефіцієнт подавлення завади [1]

$$\eta = \sigma_0^2 / \sigma_\Sigma^2, \quad (1)$$

де  $\sigma_0^2$ ,  $\sigma_\Sigma^2$  – дисперсія завади на вході основного каналу АК та на виході АК відповідно.

Чисельні оцінки залежностей коефіцієнта подавлення, від характеристик антенної системи в умовах флуктуацій фронту завадової хвилі одержимо за допомогою математичного моделювання.

Моделювання флуктуацій фази можна здійснити методом ковзного підсумовування [3]. Даним методом, у припущенні нормального закону розподілу фазових флуктуацій, можна формувати дискретні реалізації випадкових процесів з обмеженою у просторі (часі) кореляційною функцією. При цьому мається можливість формування значень випадкової складової фази завади в елементах антенної решітки (АР), задавши значення дисперсії фазових флуктуацій завадового сигналу  $\sigma_\varphi^2$ , радіуса кореляції  $\rho_\varphi$  і кількості елементів антенної решітки  $M$ .

Оцінювання погрішності моделювання показує, що значення відносної помилки моделювання складають не більш 0,01, що є припустимим.

Алгоритм формування реалізацій випадкового процесу з трикутною кореляційною функцією зводиться до ковзного рівноважного підсумовування ортонормованої послідовності випадкових чисел з наступною формулою

$$\varphi_{\text{фл}j} = \frac{\sigma_\varphi}{\sqrt{V}} \sum_{k=1}^V x_{k+j-1}, \quad (2)$$

де  $V = \rho_0 / \Delta d$  – є цілим числом;  $\Delta d$  – крок дискретизації процесу;  $\rho_k = k \Delta d$  – відліки деякого випадкового безперервного стаціонарного процесу з заданою кореляційною функцією.

Цим способом формуються значення випадкової складової фази завади в елементах АР  $\varphi_{\text{фл}j}$ , при завданні значень дисперсії фазових флуктуацій завадового сигналу  $\sigma_\varphi^2$ , радіуса кореляції  $\rho_\varphi = \rho_0$  і кількості елементів антенної решітки  $M$ . Крок дискретизації випадкового процесу  $\Delta d$  обирається рівним кроку АР –  $d$ .

При моделюванні роботи АК в умовах викривлень фронту хвилі завадового сигналу за основу приймається антенна система до складу якої вхо-

дять дві антени і дві діаграмо-створюючих схеми (ДСС).

Антени являють собою лінійні еквидистантні антенні решітки. Кількість елементів в АР основної антени дорівнює  $M_0$ , а допоміжної  $M_1$ .

Лінійні розміри основної та допоміжної антен дорівнюють відповідно  $L_0 = d(M_0 - 1)$  і  $L_1 = d(M_1 - 1)$ . Рознесення у просторі фазових центрів антен дорівнює  $\ell = dk$ , де  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Розглянемо загальний випадок, коли  $L_1 \leq L_0$ , а рознесення фазових центрів антен  $l \geq 0$ .

Миттєві значення напруги завади на входах основного і допоміжного каналів можна описати наступними вираженнями

$$a_{0i} = N \cos(\Phi_i + \varphi_{\text{фл}i}), \quad i = 1 \dots M_0; \quad (3)$$

$$a_{1j} = N \cos\left(\varphi_{\text{фл}}\left(j + \frac{M_0 - M_1 + \ell}{2}\right)\right), \quad j = 1 \dots M_1; \quad (4)$$

$$a_{1j} = N \cos\left(\Phi_j + \varphi_{\text{фл}}\left(j + \frac{M_0 - M_1 + \ell}{2}\right)\right). \quad (5)$$

де  $\Phi_i$  –  $i$ -а регулярна складової фази;  $N$  – спектральна щільність потужності зовнішньої завади.

Вираження (4) записано за умовою, що максимум головної пелюстки ДС допоміжної антени є спрямованим строго на джерело завади, а вираження (5) за умовою, що максимуми головних пелюсток ДС допоміжної та основної антен співпадають.

Значення  $M_0$  і  $M_1$  підбираються таким чином, щоб їхня різниця  $M_0 - M_1$  була парною. Розмірність вектору значень флукуаційної складової фази завади  $\bar{\varphi}$  визначається за умовою

$$M = \begin{cases} M_0 & \text{при } \ell \leq \frac{M_0 - M_1}{2}; \\ M_0 + \ell - \frac{M_0 - M_1}{2} & \text{при } \ell > \frac{M_0 - M_1}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

Миттєві значення напруг завади на виходах ДСС основного і допоміжного каналів пов'язані з виразами (4-6) наступними співвідношеннями:

$$u_0 = \sum_{i=1}^{M_0} a_{0i}; \quad (7)$$

$$u_1 = \sum_{j=1}^{M_1} a_{1j}. \quad (8)$$

Описані операції дозволяють сформувати по одному миттєвому значенню  $u_0$  і  $u_1$  напруг завади на виходах ДСС основного і допоміжного каналів, що підключені до відповідних входів АК. Для того, щоб одержати вектори  $\bar{u}_0$  і  $\bar{u}_1$  розмірністю  $1 \times T$ , елементи яких будуть містити значення напруг завади у фіксовані моменти часу, необхідно  $T$  разів

повторити зазначену процедуру згідно виразів (2–8). При цьому враховується той факт, що час обробки одного значення напруги перешкоди, як в антені, так і в АК значно менш ніж інтервал дискретизації. Це дозволяє обробляти всі часові відліки завади незалежно друг від друга. Отже, при моделюванні роботи АК значення векторів  $\bar{u}_0$  і  $\bar{u}_1$  можна формулюються незалежно.

Значення коефіцієнта передачі допоміжного каналу розрахуємо згідно наступного вираження

$$K = \frac{M \left\{ \bar{u}_0 \bar{u}_1^T \right\}}{M \left\{ \bar{u}_1 \bar{u}_1^T \right\}}, \quad (9)$$

де  $M \left\{ \bar{u}_0 \bar{u}_1^T \right\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u_{0t} u_{1t}$  – взаємо-кореляційний момент напруг перешкоди в основному і допоміжному каналах;  $M \left\{ \bar{u}_1 \bar{u}_1^T \right\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u_{1t}^2$  – дисперсія напруги перешкоди в допоміжному каналі.

Вираження (8) можна перетворити до наступного виду

$$K = \frac{\sum_{t=1}^T u_{0t} u_{1t}}{\sum_{t=1}^T u_{1t}^2}. \quad (10)$$

Напруга завади на виході АК дорівнює

$$\bar{u}_\Sigma = \bar{u}_0 + K \bar{u}_1. \quad (11)$$

Коефіцієнт подавлення завади розрахуємо згідно (1) як відношення дисперсії завади на вході основного каналу АК до дисперсії завади на виході АК.

$$\eta = \frac{\sum_{t=1}^T u_{0t}^2}{\sum_{t=1}^T u_{1t}^2}. \quad (12)$$

Вираження (12) дозволяє отримати значення коефіцієнта подавлення завади при заданих значеннях дисперсії  $\sigma_\varphi^2$  і радіуса кореляції  $\rho_\varphi$  фазових флукуацій фронту хвилі завадового сигналу.

При оцінці ефективності роботи АК в умовах флукуацій фази завади, обумовлених викривленнями фронту її хвилі, для зручності аналізу був обраний узагальнений параметр  $B = \sigma_\varphi^2 L / \rho_\varphi$ .

Таким чином, щоб отримати  $\nu$  значень коефіцієнта подавлення (при  $\nu$  значеннях параметра  $B$ ) необхідно  $\nu \times T$  раз повторити процедуру відповідно до виразів (2) – (8) і  $\nu$  раз згідно (10) – (12).

При цьому вхідними даними є наступні величини: дисперсія фазових флукуацій завади  $\sigma_\varphi^2$ , радіус кореляції фазових флукуацій завади  $\rho_\varphi$ , розмір основної антени  $L$ , розмір допоміжної антени  $L_1$ , рознесення фазових центрів основної і допоміжної антен  $\ell$ . При моделюванні діапазон зміни відношення розміру допоміжної антени до розміру основний був обраний у межах  $L_1/L_0 = 0,02 \dots 1$ .

На рис. 1 зображені графіки залежності коефі-

цієнта подавлення завади  $\eta$  від відношення розміру допоміжної антени до розміру основної антени  $\frac{L_1}{L_0}$ , результати отримани при трьох значеннях параметра  $B$ ,  $M_0 = 100$ ,  $M_1 = 0,02M_0 \dots M_0$ ,  $\ell = 0$ ,  $\chi = 1000$ . При цьому завада впливає по максимуму першого бічного пелюстку ДС основної антени, а максимум головного пелюстку ДС допоміжної антени спрямований на джерело завади. Максимальне значення коефіцієнта подавлення  $\eta_{\max}$  відповідає випадку коли  $L_1 = L_{1\max} = L_0$ , а мінімальне коли  $L_1 = L_{1\min} = 0,02L_0$ .

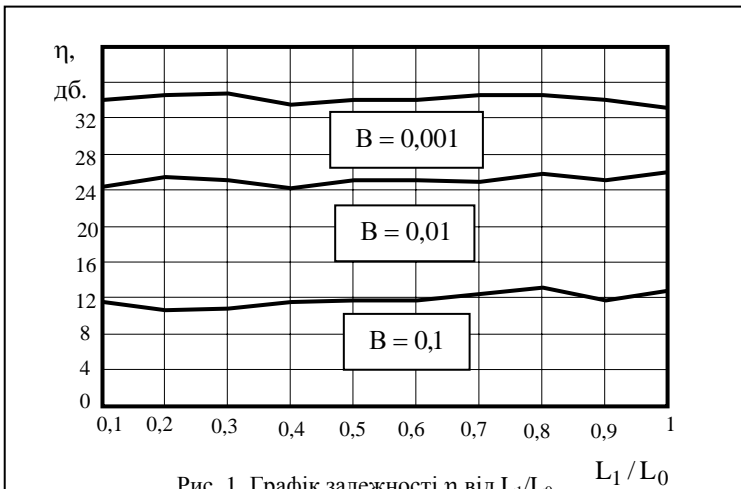


Рис. 1. Графік залежності  $\eta$  від  $L_1/L_0$

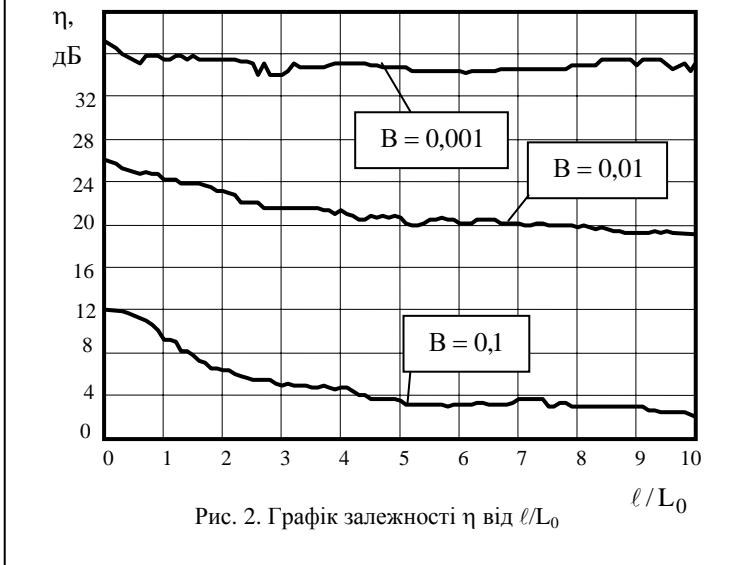


Рис. 2. Графік залежності  $\eta$  від  $\ell/L_0$

Графіки залежності коефіцієнта подавлення завади  $\eta$  від відношення розносу фазових центрів  $\ell$  до розміру основної антени  $L_0$  представлені на рис. 2.

З приведених на рис. 1 графіків видно, що при фіксованому значенні параметра  $B$ , різниця між максимальним і мінімальним значеннями коефіцієнта подавлення приблизно складає  $\eta_{\max} - \eta_{\min} < 3\text{дБ}$ .

Зі збільшенням значення параметра  $B$  на порядок (ростом впливу фазових флуктуацій завадового сигналу), значення коефіцієнта подавлення знижується більш ніж на 10 дБ, при цьому різниця  $\eta_{\max} - \eta_{\min}$  зменшується. Графіки, що зображені на рис. 2 показують, що зі збільшенням розносу фазових центрів основної і допоміжної антен, підсилюється вплив фазових флуктуацій завадового сигналу на зниження коефіцієнта подавлення завади.

### Висновки

Таким чином, якість подавлення завади істотно обмежується фазовими флуктуаціями завадової хвилі, що виникають внаслідок реальних умов поширення і прийому завади. З практичної точки зору, отримані результати дозволяють оцінити можливі втрати в ефективності роботи автокомпенсаторів активних завад.

### Список літератури

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: З.А.О. “МАКВИС”, 1988. – 828 с.
2. Минервин Н.Н., Васюта К.С., Шумейко И.Е. Влияние флуктуаций фронта волны помехового сигнала на эффективность его подавления / Радиотехника. – Х.: ХТУРЭ, 2004. – Вып. 136. – С. 95-101.
3. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1971. – 328 с.

Надійшла до редколегії 7.08.2006

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