

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 σ_0^2 , σ_{Σ}^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 σ_{φ}^2 , радіуса кореляції ρ_{φ} 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; Δd – 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 σ_{φ}^2 , радіуса кореляції $\rho_{\varphi} = \rho_0$ і кількості елементів антенної решітки M . Крок дискретизації випадкового процесу Δd 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 Φ_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 σ_φ^2 і радіуса кореляції ρ_φ 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 ν значень коефіцієнта подавлення (при ν значеннях параметра B) необхідно $\nu \times T$ раз повторити процедуру відповідно до виразів (2) – (8) і ν раз згідно (10) – (12).

При цьому вхідними даними є наступні величини: дисперсія фазових флукуацій завади σ_φ^2 , радіус кореляції фазових флукуацій завади ρ_φ , розмір основної антени L , розмір допоміжної антени L_1 , рознесення фазових центрів основної і допоміжної антен ℓ . 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 η 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 η_{\max} відповідає випадку коли $L_1 = L_{1\max} = L_0$, а мінімальне коли $L_1 = L_{1\min} = 0,02L_0$.

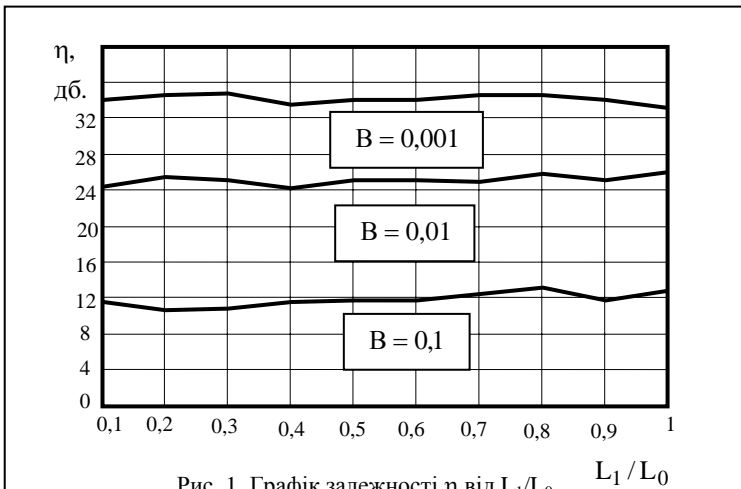


Рис. 1. Графік залежності η від L_1/L_0

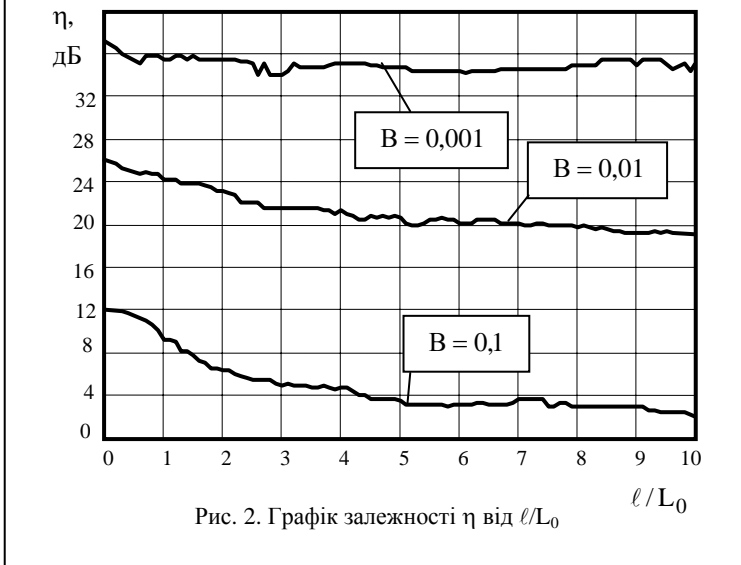


Рис. 2. Графік залежності η від ℓ/L_0

Графіки залежності коефіцієнта подавлення завади η від відношення розносу фазових центрів ℓ 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.