

УДК 621.391.26

О.Л. Кузнецов, В.А. Таршин, І.Є. Шумейко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ЧАСУ НАСТРОЙКИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АВТОКОМПЕНСАТОРА НА ПОДАВЛЕННЯ АКТИВНОЇ ЗАВАДИ В УМОВАХ ФЛУКТУАЦІЙ ФРОНТУ ЇЇ ХВИЛІ

У статті проаналізовано вплив флуктуацій фронту хвилі активної завади, що виникають внаслідок її поширення у тропосферних неоднорідностях на ефективність роботи кореляційного автокомпенсатора. Методом математичного моделювання отримані залежності коефіцієнта подавлення активної завади від статистичних характеристик її фазових флуктуацій та часу настройки кореляційного автокомпенсатора.

флуктуації фронту хвилі, кореляційний автокомпенсатор

Вступ

Постановка проблеми. Вимоги, що висуваються до заводозахисності сучасних радіолокаційних станцій, постійно зростають. Найбільш поширеним способом боротьби з активними завадами є створення провалу в напрямку на джерело завади в діаграмі спрямованості (ДС) антенної системи кореляційного автокомпенсатора (АК) [1].

Реальні умови поширення заводової хвилі сприяють викривленню її фронту й обумовлюють наявність флуктуацій фази в елементах апертури антени, що знижує ефективність подавлення активної завади.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.

У ряді робіт розглядаються питання, що пов'язані з впливом випадкових фазових викривлень активної завади на якість її подавлення. У роботі [2] проведено аналітичне оцінювання впливу цих викривлень на ефективність роботи АК та отримані чисельні оцінки залежностей коефіцієнта подавлення від статистичних характеристик фазових флуктуацій завади. Далі в роботі [3] шляхом математичного моделювання проаналізовано вплив фазових флуктуацій завади на якість її подавлення при різних співвідношеннях розмірів основної та допоміжної антен АК. Отримані результати свідчать про необхідність продовження досліджень особливостей роботи АК в умовах впливу флуктуацій фазового фронту заводової хвилі.

Метою статті є дослідження часу настройки кореляційного АК на подавлення активної завади в умовах флуктуацій фронту її хвилі за допомогою математичного моделювання роботи АК.

Як основна і допоміжна антени РЛС розглядаються лінійні антенні решітки (АР) з відстанню d між елементами.

Кількість елементів в АР основної антени дорівнює M_0 , а допоміжної - M_1 . При цьому лінійні розміри основної та допоміжної антен дорівнюють

відповідно $L_0 = d(M_0 - 1)$ і $L_1 = d(M_1 - 1)$, їх фазові центри вважаються суміщеними $\ell = 0$ (ℓ – рознесення фазових центрів антен). Максимум ДС допоміжної антени спрямований на джерело завади.

Моделювання флуктуацій фази можна здійснити методом ковзного підсумовування [4]. Даним методом, у припущенні нормального закону розподілу фазових флуктуацій, можна сформулювати дискретні реалізації випадкових процесів з заданою кореляційною функцією.

При цьому використовується лінійний закон спадання коефіцієнта кореляції фазових флуктуацій

$$r_\varphi(x-s) = \begin{cases} 1 - |x-s|/\rho_\varphi & \text{при } |x-s| \leq L/2, \\ 0 & \text{при } |x-s| > L/2, \end{cases} \quad (1)$$

де ρ_φ – радіус кореляції фазових флуктуацій сигналу, що пройшов тропосферу; L – лінійний розмір антени.

Використання такого закону обумовлюється незначною зміною кореляції у межах антени [5].

Алгоритм формування значень випадкової складової фази завади в елементах АР $\varphi_{\text{фл}j}$ зводиться до підсумовування згідно з виразом

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

де σ_φ^2 – дисперсія фазових флуктуацій сигналу, що пройшов тропосферу; $x_k = k \Delta d$ – відліки випадкового безперервного стаціонарного процесу з заданою кореляційною функцією; Δd – крок дискретизації процесу, який обирається рівним кроку АР.

Напруги завади на входах основної і допоміжної каналів АК можна описати такими виразами

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

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

де Φ_i і Φ_j – „і” – а і „j” – а-регулярні складові фази; N – спектральна щільність потужності зовнішньої завади.

Миттєві значення напруг завади в основному і допоміжному каналах можна задати такими співвідношеннями:

$$u_0 = \sum_{i=1}^{M_0} a_{0i} \quad (5)$$

$$u_1 = \sum_{j=1}^{M_1} a_{1j} \quad (6)$$

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.

Напряга завади на виході кореляційного АК згідно з [1] дорівнює

$$\bar{u}_\Sigma = \bar{u}_0 + K\bar{u}_1 \quad (7)$$

Принцип компенсації завади полягає у тому, що дисперсія завади на виході АК σ_Σ^2 мінімізується шляхом підбору напруги, що визначає коефіцієнт передачі допоміжного каналу K .

Значення коефіцієнта передачі допоміжного каналу розраховується згідно з таким виразом

$$K = M\left\{\bar{u}_0 \bar{u}_1^T\right\} / M\left\{\bar{u}_1 \bar{u}_1^T\right\} = \sum_{t=1}^T u_{0t} u_{1t} / \sum_{t=1}^T u_{1t}^2 \quad (8)$$

де $M\left\{\bar{u}_0 \bar{u}_1^T\right\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u_{0t} u_{1t}$ – взаємкореляційний момент миттєвих значень напруг завади 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 завади в допоміжному каналі.

Ефективність заводозахисту РЛС оцінюється за допомогою коефіцієнта подавлення завади [1]

$$\eta = \sigma_0^2 / \sigma_\Sigma^2 = \sum_{t=1}^T u_{0t}^2 / \sum_{t=1}^T u_{\Sigma t}^2 \quad (9)$$

де σ_0^2 , σ_Σ^2 – дисперсії завади на вході основного каналу АК та на виході АК відповідно.

Для розрахунку часу настройки АК можна скористатися теоремою Котельникова, згідно з якою крок дискретизації завади за часом визначається таким чином

$$\Delta = 1/2F_{\max} \quad (10)$$

де F_{\max} – максимальна частота спектра завади.

Час настройки АК можна визначити як

$$T_{\text{настр}} = \Delta \cdot t_{\max} \quad (11)$$

де t_{\max} – максимальна кількість дискрет напруги завади, що беруть участь у настроюванні АК (формуванні напруги коефіцієнта передачі допоміжного каналу).

Обмеження $f_0/F_{\max} \approx 1$ (f_0 – робоча частота РЛС) дозволяє замінити вираз (12) співвідношенням

$$\Delta = 1/2F_{\max} \approx \lambda/2c \quad (12)$$

де λ – довжина хвилі РЛС; c – швидкість світла.

Таким чином, остаточний вираз для розрахунку часу настройки АК має вигляд

$$T_{\text{настр}} = (\lambda/2c)t_{\max} \quad (13)$$

Для оцінки впливу флуктуацій фази завади, які обумовлені спотвореннями фронту її хвилі, на ефективності роботи АК зручно користуватися параметром, що описується виразом

$$a_{\text{фл}} = \sigma_\Phi^2 L / \rho_\Phi \quad (14)$$

Вирази для дисперсії σ_Φ^2 і радіуса кореляції ρ_Φ фазових флуктуацій сигналу, що пройшов тропосферу, згідно з [6] мають вигляд

$$\sigma_\Phi^2 = 0,065 C_\epsilon^2 k^2 r L_0^{5/3} \quad (15)$$

$$\rho_\Phi = (0,27 C_\epsilon^2 k^2 r)^{-3/5} \quad (16)$$

де $C_\epsilon^2 = 2 \sigma_\epsilon^2 / L_0^{2/3}$ – структурна постійна; σ_ϵ^2 – дисперсія флуктуацій діелектричної проникності тропосфери; L_0 – зовнішній масштаб турбулентності тропосфери; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; r – шлях, що пройшла хвиля у тропосфері.

Співвідношення (9) дозволяє отримати значення коефіцієнта подавлення завади при заданих значеннях параметра $a_{\text{фл}}$.

На рис. 1 представлені графіки залежності відношення $\sigma_\Phi^2 / \rho_\Phi$ відношення дисперсії до радіуса кореляції фазових флуктуацій завади від шляху r , що пройшла хвиля у тропосфері. Графіки отримані при двох значеннях структурної постійної ($C_\epsilon^2 = 10^{-13}, 10^{-14} \text{ см}^2/3$), трьох значеннях довжини хвилі ($\lambda = 3, 30, 300 \text{ см}$) та значенні зовнішнього масштабу турбулентності $L_0 = 1 \text{ км}$.

Графіки залежності коефіцієнта подавлення η від кількості дискрет завади t , отриманих за визначеною методикою при фіксованих значеннях параметра $a_{\text{фл}}$, надані на рис. 2.

З графіків на рис. 1 видно, що при проходженні електромагнітної хвилі крізь тропосферу з випадковими неоднорідностями флуктуації її фронту виявляють себе тим значніше, чим менше довжина хвилі і більше розмір неоднорідності.

З графіків на рис. 2 видно, що зі збільшенням значення параметра $a_{\text{фл}}$ (зростанням впливу фазових флуктуацій завади) на порядок значення коефіцієнта подавлення завади зменшується приблизно на 10 дБ і значно зменшується кількість дискрет t , необхідних для настройки АК, тобто для підтримки ефективності його роботи на рівні, що обмежується тільки флуктуаціями фази завади.

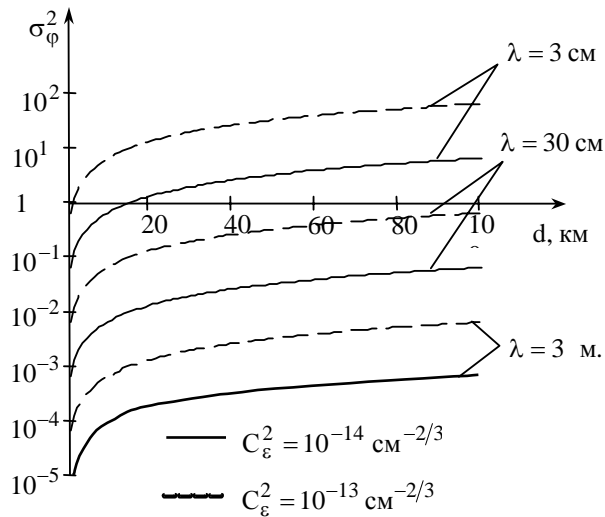


Рис. 1. Графіки залежності відношення $\sigma_{\phi}^2/\rho_{\phi}$ до радіуса кореляції фазових флуктуацій завади від шляху Γ

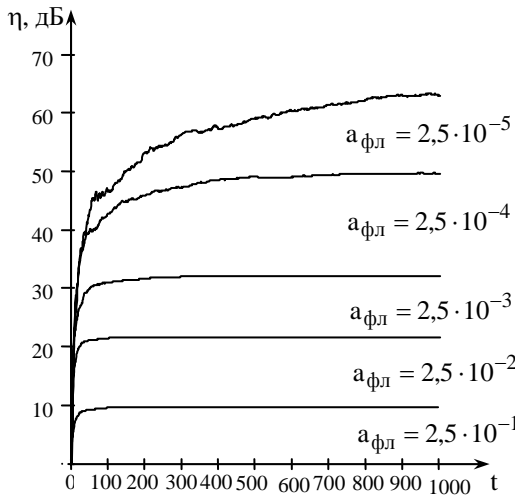


Рис. 2. Графіки залежності коефіцієнта подавлення η від кількості дискрет завади t

Так, для $a_{\phi l} \cong 10^{-4}$ кількість необхідних для настройки АК дискрет завади буде $t \geq 500$, а для $a_{\phi l} \cong 10^{-3}$ - $t \geq 50$.

Висновки

Отримані результати свідчать про те, що зі збільшенням інтервалу дискретизації (робочої довжини хвилі РЛС) і при зменшенні впливу фазових флуктуацій завади збільшується час настройки АК, забезпечуючи при цьому збільшення коефіцієнта подавлення завади.

З практичної точки зору, отримані результати дозволяють оцінити ефективність роботи АК при цифровій обробці прийнятого сигналу в умовах флуктуацій фронту хвилі завади.

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.: ХНУРЭ. – 2004. – Вып. 136. – С. 95-101.
3. Минервин М.М., Кузнецов О.Л., Шумейко И.С. Анализ влияния фазовых флуктуаций завады на эффективность работы автокомпенсаторов активных шумовых завады при використанні антен з різними розмірами // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2006. – №3(6). – С. 36-38.
4. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1971. – 328с.
5. Минервин Н.Н. Влияние случайных искажений в тропосфере помеховой волны на эффективность ее подавления корреляционным автокомпенсатором // Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ. – 2006. – Вып. 147. – С. 149-156.
6. Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. – М.: Радио и связь, 1983. – 220 с.

Надійшла до редколегії 14.09.2007

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