

УДК 621.396.963.391:621.391.828

І.О. Коваленко к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

К.Б. Тимошенко, старший офіцер

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

СТАТИСТИЧНИЙ СИНТЕЗ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА ФАЗОВИХ СПОТВОРЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Розглянуті особливості розповсюдження радіовипромінювальних сигналів через іонізоване середовище з відліком магнітного поля Землі. Проведений статистичний синтез багатоканального вимірювача фазових спотворень для нелінійного середовища.

При проектуванні та експлуатації радіовипромінювальних систем, призначених для роботи з космічними об'єктами, важливо правильно оцінювати похибки, внесені іонізованим середовищем (ІС). При розповсюдженні радіовипромінювальних сигналів через ІС останні спотворюються в просторі. Крім цього, великий вплив на розповсюдження здійснює магнітне поле Землі. З урахуванням цього впливу ІС стає анізотропним. У ньому виникають такі процеси, як поглинання хвилі, що розповсюджується, радіовипромінювальні сигнали набувають дисперсійних та рефракційних спотворень. Крім цих ефектів в іонізованому середовищі виникають нелінійні ефекти. Використання геометричної оптики у таких випадках є важким завданням, оскільки лінійна теорія справедлива для опису нескінченно малих збуджень. При будь-яких кінцевих значеннях збурень повинні з'являтися нелінійні ефекти. Нелінійні ефекти можливо описати тільки в рамках нелінійної теорії.

Припустимо, що фазова характеристика спотворень $\varphi(\omega)$ може бути представлена як лінійна комбінація відомих функцій $\varphi_i(\omega)$:

$$\varphi(\omega) = \sum \alpha_i \varphi_i(\omega), \quad (1)$$

де α_i – змінні параметри.

Функції $\varphi_i(\omega)$ – будемо називати базовими. Під вимірюванням фазових спотворень розуміється вимірювання параметрів α_i .

Постановка задачі: знайти схему оптимального вимірювання параметрів α_i імпульсного сигналу із випадковою початковою фазою та невідомим терміном приходу, який приймається на фоні нормального білого шуму.

Мається на увазі оптимальність мінімуму дисперсії вимірювання. Розуміється, що розподілення навчальної фази рівномірне, а апостеріорна густина $\rho(\tau)$ терміну приходу сигналів τ не має вузьких піків, порівняних за шириною з піком кореляційного інтегралу сигналу.

Оптимальні оцінки $(\alpha_1^*, \dots, \alpha_n^*)$ параметрів $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ сходяться з оцінками по максимальному відношенню правдоподібності $\ell(\bar{\alpha})$, де $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$. Умови максимуму

$\frac{\partial \ell(\bar{\alpha})}{\partial \alpha_i} = 0$ при $\alpha_i = \alpha_i^*$, $i = 1, \dots, n$ приводять до системи рівнянь:

$$J_i = 0 \text{ при } \alpha_i = \alpha_i^*, i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$J_i = \int_{\tau} p(\tau) I_1 \left(\frac{2Z(\bar{\alpha}, \tau)}{N_0} \right) \frac{\partial Z(\bar{\alpha}, \tau)}{\partial \alpha_i} d\tau, \quad (3)$$

де $I_1(U)$ – функція Бесселя 1-го порядку; N_0 – спектральна густина шумів.

Однак цей критерій діє в межах лінійної теорії. Для того, щоб він діяв у межах нелінійної теорії, необхідно включати вплив магнітного поля Землі до оптимальної обробки сигналу, що пройшов через іонізоване середовище. Для цього з виходу феромагнітного датчика (ФД) інформація про величину та знак магнітного поля Землі надходить на модулятор, на інший

вхід якого подається сигнал із виходу гетеродина. Промодульоване коливання зрівнюється з приймальним, внаслідок цього компенсується вплив магнітного поля Землі на іонізоване середовище (рис. 1).

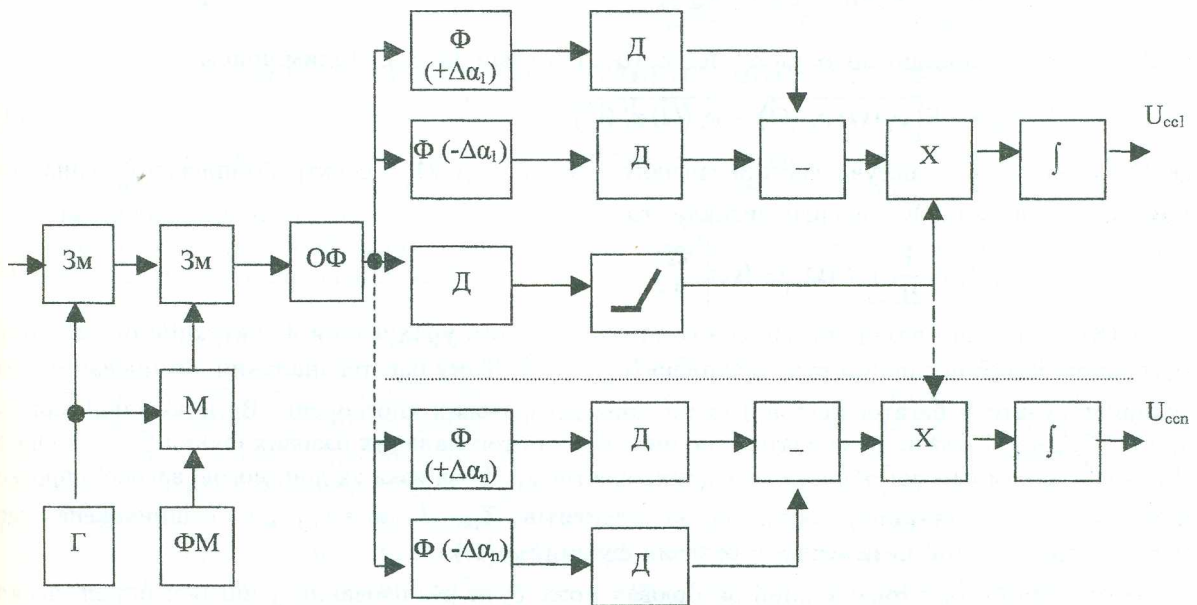


Рис. 1. Багатоканальний вимірювач фазових спотворень:

ОФ – оптимальний фільтр; Зм – змішувач сигналів; Г – гетеродин; М – модулятор;
 ФМ – ферромагнітний датчик; Д – детектори;
 $\Phi(\pm\Delta\alpha)$ – фільтри, що вводять позитивні та негативні фазові спотворення

З (2) та (3) видно, що схема вимірювання сукупності параметрів $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ може бути реалізована у вигляді n -канального вимірювача, причому кожен канал розраховується на вимірювання свого параметра (α) . При високих відношеннях сигнал/шум та невеликих відхиленнях очікуваних спотворень від істинних, використовуючи асимптотичний метод Лапласа для обрахування інтегралів у (3), отримаємо:

$$J_i \approx C \frac{\partial Z(\bar{\alpha}, \tau_m)}{\partial \alpha_i}, \tag{4}$$

де C не залежить від $\bar{\alpha}$; τ_m – значення τ , яке відповідає максимуму $Z(\bar{\alpha}, \tau)$.

В подальшому для знаходження кореляційного інтеграла $Z(\bar{\alpha}, \tau)$ в області піка представимо його сумою регулярної $Z_c(\bar{\alpha}, \tau)$ та флуктуаційної $\zeta(\bar{\alpha}, \tau)$ складових:

$$Z(\bar{\alpha}, \tau) = Z_c(\bar{\alpha}, \tau) + \zeta(\bar{\alpha}, \tau). \tag{5}$$

Причому

$$\zeta(\bar{\alpha}, \tau) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{N}(t) \left[\frac{\dot{Z}_c^*(\bar{\alpha}, \tau)}{Z_c(\bar{\alpha}, \tau)} \dot{X}^*(t, \bar{\alpha}, \tau) \right] dt. \tag{6}$$

Тут $\dot{Z}_c(\bar{\alpha}, \tau)$, $\dot{X}(t, \bar{\alpha}, \tau)$, $\dot{N}(t)$ – комплексне значення кореляційного інтегралу та комплексні огинаючі очікуемого сигналу та шуму відповідно. Далі $Z(\bar{\alpha}, \tau)$ розкладається в ряд Тейлора у точці $(\bar{\alpha}_0, \tau_0)$, а сигнальна та флуктуаційна складові обмежуються квадратичним та лінійним приближеннями відповідно:

$$Z(\alpha, \tau) = Z_c(\bar{\alpha}_0, \tau_0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{k=1}^{n+1} Z_{ik}(\alpha_i - \alpha_{0i})(\alpha_k - \alpha_{0k}) + \zeta(\bar{\alpha}_0, \tau_0) + \sum_{i=1}^{n+1} \zeta_i(\alpha_i - \alpha_{0i}). \tag{7}$$

Беручи часткові похідні $\frac{\partial Z(\bar{\alpha}, \tau_m)}{\partial \alpha_i}$ від (7) та підставляючи в (4), отримуємо:

$$J_i = C \left[\sum_{k=1}^n Z_{ik} (\alpha_k - \alpha_{0k}) + \alpha_{mk} \right], \quad (8)$$

де Z_{ik} – часткові похідні по α_i та α_k від $Z_c(\bar{\alpha}, \tau)$ в точці $(\bar{\alpha}, \tau_0)$. Таким чином:

$$Z_{ik} = -E \left[\overline{\varphi_i(\Omega) \varphi_k(\Omega)} - \overline{\varphi_i(\Omega) \varphi_k(\Omega)} \right], \quad (9)$$

де $\Omega = \omega - \omega_0$, ω_0 – несуча частота сигналу. Якщо $G_0(\Omega)$ – спектр комплексної огинаючої зондуючого сигналу, E – енергія сигналу, то:

$$f(\Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} f(\Omega) \left| G_0(\Omega) \right|^2 \frac{\partial \Omega}{2\pi}. \quad (10)$$

З (8) видно, що вихідний ефект i -го вимірювача без урахування флуктуаційної складової α_{mi} пропорційний поєднаній сумі відхилень $(\alpha_k, \dots, \alpha_{0k})$. Тому багатоканальний вимірювач можна використовувати в багатоканальній схемі корекції фазових спотворень. Вимірювальні канали при необхідності можна розв'язати шляхом вибору ортогональних базових функцій, що видно з (9), або шляхом вагової обробки вихідних ефектів J_i . Розв'язка за допомогою вагової обробки можлива, якщо матриця, складена із елементів Z_{ik} , $i, k = 1, \dots, n$ не вироджена, що еквівалентно лінійній незалежності базових функцій $\varphi_i(\Omega)$.

Таким чином, багатоканальний вимірювач може бути реалізованим у вигляді паралельного включення одноканальних вимірювачів, розрахованих на вимірювання фазових спотворень, описаних базовими функціями $\varphi_i(\Omega)$, із загальним оптимальним фільтром. Априорну густину $\rho(\tau)$ в (3) можливо винести з-під знаку інтеграла, а функцію $I_1(U)$ – реалізувати за допомогою нелінійного елемента, наприклад, обмежувача знизу (рис. 1).

Потенційна точність вимірювача буде визначатися дисперсією флуктуаційної складової сигналу та точністю вимірювання магнітного поля Землі.

Чим складніша система (більше n), тим можлива її нормальна робота при більших відношеннях сигнал/шум.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Алмазов В.Б., Манжос В.Н. Получение и обработка радиолокационной информации. – Х.: Издательство академии, 1985.
2. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Колебания и волны в плазменных средах. – М.: Издательство Московского университета, 1990.
3. Кривелёв А.П., Франков В.Н. Об анализе фазочастотных искажений сигналов. – М.: Радиотехника и электроника. – № 10. – 1973.
4. Минервин Н.Н. Искажение ионосферой радиолокационных сигналов с линейно-частотной модуляцией // Труды академии АРТА. – № 64. – 1963.

КОВАЛЕНКО Іван Олексійович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- нелінійні явища та моделі;
- кібернетика.

ТИМОШЕНКО Костянтин Борисович – старший офіцер відділу наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- методи нелінійної оптимізації.

Подано 13.05.2004