

І.О. Коваленко, к.т.н., доц.

Д.М. Шостачук, асист.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

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

*Розглянуті особливості розповсюдження радіовипромінюючих сигналів через іонізоване середовище з відліком впливу магнітного поля Землі. Проведений статистичний аналіз вимірника фазових спотворень для нелінійного середовища.*

При проектуванні та експлуатації радіовипромінюючих систем, призначених для роботи з космічними об'єктами, важливо правильно оцінювати похибки, внесені іонізованим середовищем (ІС). При розповсюдженні радіовипромінюючих сигналів через ІС останні спотворюються в просторі. Крім цього, великий вплив на розповсюдження здійснює магнітне поле Землі. З врахуванням цього впливу ІС стає анізотропним. В 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 в таких випадках є важким завданням, оскільки лінійна теорія справедлива для опису нескінченно малих збуджень. При будь-яких кінцевих значеннях збуджень повинні з'являтися нелінійні ефекти. З лінійної теорії випливає, що навіть в термодинамічному рівноважному плазмовому середовищі малі електромагнітні коливання і хвилі внаслідок дисипативних процесів поглинаються носіями заряду і з часом їх амплітуда зменшується. Нелінійні ефекти можливо описати тільки в рамках нелінійної теорії [1].

Під фазовими спотвореннями (ФС) радіовипромінюваних сигналів мають на увазі спотворення сигналу, який пройшов через лінійну систему (ІС), із частотною характеристикою (ЧХ):

$$K(\omega) = K_0 \cdot \exp[j\alpha \cdot \varphi(\omega)],$$

де  $K_0$  – незалежна від частоти стала;  $\varphi(\omega)$  – відома функція частоти;  $\alpha$  – змінний параметр.

Однак, як підкреслювалось вище, ІС не є лінійним середовищем внаслідок впливу на нього магнітного поля Землі. Тому, виходячи з цього, в межах нелінійної теорії збурення ІС може бути описано іншою ЧХ:

$$K(\omega, \bar{H}) = K_0(\bar{H}) \exp[j\alpha(\bar{H}) \cdot \varphi(\omega, \bar{H})].$$

Параметр  $\alpha(\bar{H})$  при  $\frac{d\varphi(\omega, \bar{H})}{d\omega} \neq \text{const}$  є підлеглою вимірюваною мірою ФС.

Оптимальну обробку сигналів та оптимальне вимірювання ФС в класичній постановці в рамках нелінійних ефектів в даному випадку неможливо. Їх треба проводити з врахуванням впливу магнітного поля Землі.

**Постановка задачі.** Знайти схему оптимального вимірника параметра  $\alpha$  імпульсного сигналу із випадковою рівномірно розподіленою початковою фазою та невідомим терміном приходу, що приймається на фоні нормального білого шуму та оцінити потенційну точність вимірювання.

Оптимальність розуміється в значенні мінімуму дисперсії вимірювання. Оптимальна оцінка  $\alpha^*$  параметра  $\alpha$ , як відомо зі статичної теорії оптимального вимірювання, знаходиться як центр тяги густини апостеріорного розподілу та, як можна показати, при високих відношеннях сигнал/завада співпадає при цьому з оцінкою максимальної правдоподібності [2]:

$$J = \int_{\tau} \rho(\tau) I_1 \left( \frac{2Z(\alpha, \tau)}{N_0} \right) \frac{dZ(\alpha, \tau)}{d\alpha} d\tau = 0, \quad (1)$$

де  $\rho(\tau)$  – апостеріорна густина ймовірності;

$I_1(U)$  – функція Бесселя 1-го рівня;

$N_0$  – спектральна густина шумів.

Однак цей критерій діє в межах лінійної теорії. Для того, щоб він діяв в 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) інфо-

рмация про величину та знак магнітного поля Землі надходить на модулятор, на інший вхід якого подається сигнал з виходу гетеродина. Промодульоване коливання (рис. 1) зрівнюється з приймальним, внаслідок цього компенсується вплив магнітного поля Землі на іонізоване середовище.

При подальшій практичній реалізації схеми за рівнянням (1) часткову похідну

$$\frac{dZ(\alpha, \tau)}{d\alpha}$$

при невеликих значеннях  $\Delta\alpha$  можна приблизно представити у вигляді різниці:

$$\frac{1}{2\Delta\alpha} [Z(\alpha + \Delta\alpha, \tau) - Z(\alpha - \Delta\alpha, \tau)].$$

Далі апріорну густину  $\rho(\tau)$  в (1) можна винести із-під знака інтеграла, а функцію  $I_1(U)$  реалізувати за допомогою нелінійного елемента, наприклад, обмежувача знизу (рис. 1).

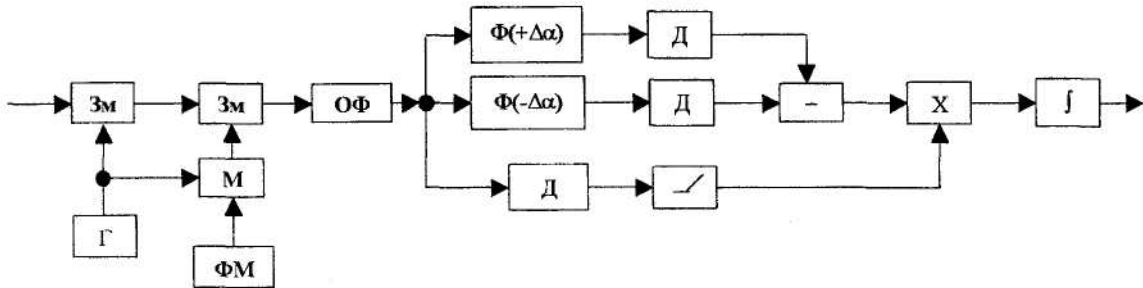


Рис. 1. Вимірювач фазових спотворень:

ОФ – оптимальний фільтр; ЗМ – змішувачі сигналів; Г – гетеродин;  
 М – модулятор; ФМ – феромагнітний датчик; Ф ( $\pm \Delta\alpha$ ) – фільтри,  
 що вводять позитивні та негативні фазові спотворення; Д – детектори

На виходах фільтрів  $\Phi(+\Delta\alpha)$  та  $\Phi(-\Delta\alpha)$ , що вводять у сигнал позитивні та негативні фазові спотворення відомого виду, одержуються величини, пропорційні до  $Z(\alpha + \Delta\alpha, \tau)$  і  $Z(\alpha - \Delta\alpha, \tau)$  відповідно. Фільтри можуть бути реалізовані на фазових комірках (дисперсійних лініях затримки). Наявність операції стробування за допомогою нелінійного перетворення  $Z(\alpha, \tau)$  пояснюється випадковістю терміну приходу сигналу.

Потенційна точність вимірювача буде визначатися дисперсією флюктуаційної складової сигналу та точністю вимірювання магнітного поля Землі. Аналіз потенційної точності виходить за межі цієї статті.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А., Колебания и волны в плазменных средах. – М.: Изд-во Московского университета, 1990.
2. Алмазов В.Б., Манжое В.Н. Получение и обработка радиолокационной информации. – Х.: Изд-во академии, 1985.
3. Кривелев А.П., Франков В.Н. Об анализе фазочастотных искажений сигналов. – М.: Радиотехника и электроника. – № 10. – 1973.

КОВАЛЕНКО Иван Олексійович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:  
 – кібернетика.

ШОСТАЧУК Дмитро Миколайович – асистент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:  
 – магнітом'які феромагнітики;  
 – вимірювання геомагнітного поля в космічному просторі;  
 – магнітометричні системи орієнтації штучних супутників;  
 – методи нелінійної оптимізації.