

І.О. Коваленко, А.М. Коваль

ІМІТАТОР СЕРЕДОВИЩА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА НАСТРОЙКИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ З ЛІНІЙНО-ЧАСТОТНО-МОДУЛЬОВАНИМ ЗОНДУЮЧИМ СИГНАЛОМ

Наводиться опис принципу роботи та конструктивних особливостей імітатора лінійно-частотно-модульованих сигналів для настройки і контролю радіолокаційних станцій з врахуванням іонізованого штучно створеного або природного середовища.

Використання в сучасних радіолокаційних станціях (РЛС) лінійно-частотно-модульованих (ЛЧМ) широкополосних зондуючих сигналів ставить цілий ряд прикладних задач, пов'язаних з потребами великої точності вимірів з врахуванням електричних параметрів іоносфери та штучно створених областей, до яких відносяться спеціалізовані вибухи ядерних зарядів у атмосфері Землі, направлене лазерне опромінення, спеціальне радіоактивне обшивальне обладнання літальних апаратів тощо. Це – задачі корекції результатів вимірювань високоточних фазових радіодальномірних систем, введення поправок на умови розповсюдження при точному радіопеленгуванні або розпізнаванні об'єктів [1–3] тощо.

Для оцінки впливу дисперсних спотворень зондуючих сигналів при дослідженні, настройці та подальшому контролі перспективних та існуючих РЛС необхідні імітатори радіолокаційних сигналів (цілей). Сформовані імітатором сигнали повинні забезпечувати спотворення, аналогічні спотворенням реальних зондуючих сигналів.

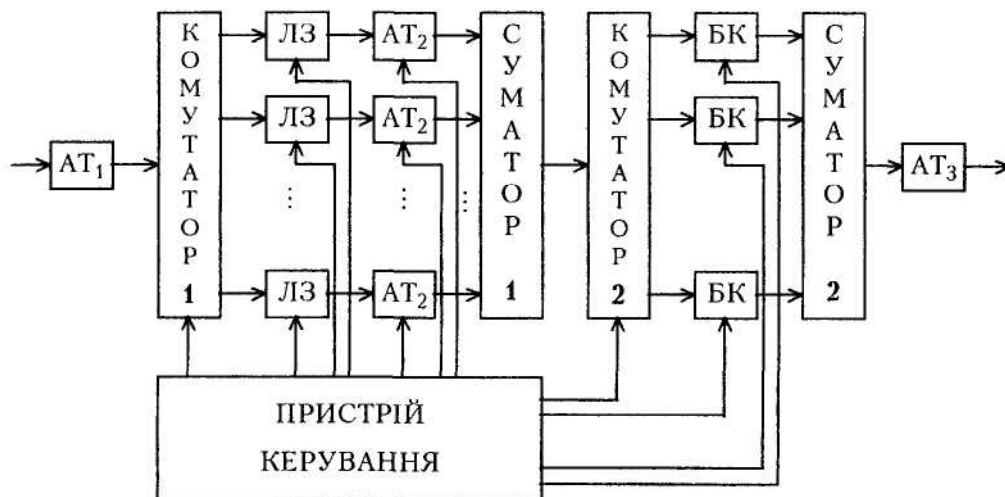


Рис. 1. Структурна схема імітатора

На рис. 1 наведена структурна схема такого імітатора. Принцип його роботи полягає в наступному. Послаблений за потужністю атеньюатором (AT_1) ЛЧМ імпульсний зондуючий сигнал з виходу передавача РЛС поступає на вхід комутатора 1. З використанням останнього, а також наборів ліній затримок і атеньюаторів AT_2 , які керуються пристроєм керування (ПК), формується відбитий сигнал від точкової цілі (при використанні одного каналу з ЛЗ та керований AT_2) або групової цілі з множиною блискучих крапок (при використанні всіх або декількох каналів ЛЗ та керований AT_2) з різною затримкою (віддаленістю) та амплітудою. Комутатор 2 та блоки корекції (БК) в залежності від обраної моделі іонізованого середовища вносять у сформований сигнал фазочастотні спотворення відповідної величини. З виходу AT_3 спотворений сигнал подається на досліджувані блоки приймального пристрою.

Структурна схема БК наведена на рис. 2. Такий принцип його побудови зумовлений наступним.

Вибухи ядерних зарядів у атмосфері Землі, направлене лазерне опромінювання, використання спеціальних радіоактивних обшивок літаків тощо [1, 2] зумовлюють появу областей штучної іонізації (ОШ). Характерний масштаб неоднорідностей в ОШ лежить у межах від одиниць до сотень кілометрів, тому для радіолокаційного діапазону довжин хвиль величина відношення λ/ν не перевищує значення 10 [2]. Для іоносфери величина λ/ν ще менша. Через це нульове наближення геометричної оптики є достатнім для оцінки спотворень сигналів, які пройшли через іонізоване середовище.

Розрахунок спотворень сигналів можна провести, визначивши фазову характеристику середовища з врахуванням її двократного проходження. Вона визначається у вигляді [2]:

$$\Phi(f) = \frac{4\pi f}{c} \int_L \sqrt{1 - \left(\frac{f_{na}(l)}{f}\right)^2} dl,$$

де $f_{na} = 80,8N(l)$ – плазмова частота іонізованого середовища;

$N(l)$ – електронна концентрація (ел/м) на відстані l від локатора вздовж траси L .

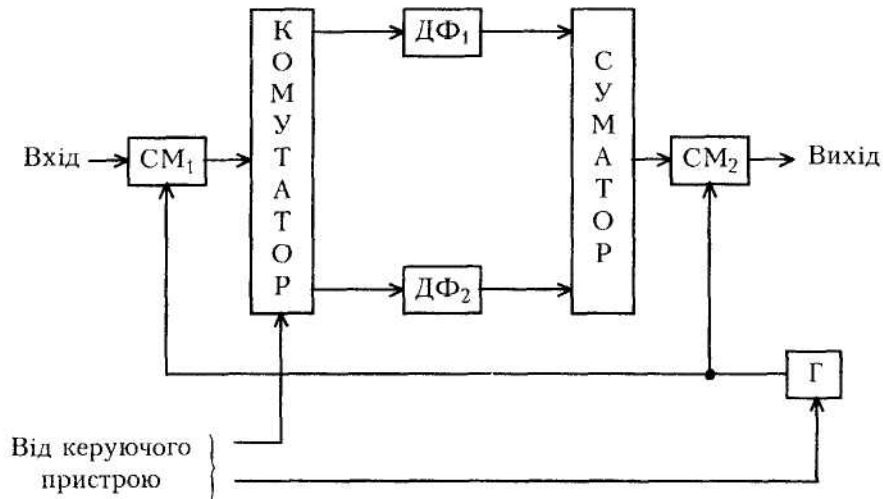


Рис. 2. Структурна схема блоку корекції

Розкладаючи $\Phi(f)$ в ряд Тейлора відносно несучої частоти сигналу, отримаємо

$$\Phi(f) = \Phi_0(f) + \Phi'_0(f)(f - f_0) + 0,5\Phi''_0(f)(f - f_0)^2 + \dots \quad (1)$$

Перші два члени враховують початкову фазу та групове запізнення на частоті f_0 і не приводять до зміни обвідної сигналу. Наступні члени характеризують фазові спотворення – квадратичні, кубічні та більш високих ступенів і призводять відповідно до лінійного, квадратичного і т.п. законів зміни групового запізнення. Оскільки ці спотворення викликані дисперсією середовища, то спотворення подібного виду можна ввести за допомогою дисперсних фільтрів (ДФ).

У загальному випадку передаточну характеристику ДФ можна подати у вигляді

$$\Phi(f) = \sum_{n=0}^N \alpha_n (f - f_0)^n, \quad (2)$$

де α_n – параметри, які залежать від властивостей матеріалу, з якого виготовлений ДФ.

Співставляючи (1) та (2), приходимо до висновку, що найпростіше побудувати БК таким чином, щоб кожний з них вносив у сигнал фазові спотворення певного вигляду – квадратичні, кубічні тощо. Саме цим зумовлено використання в імітаторі (рис. 1) набору БК.

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях $(f - f_0)$ у (1) та (2), отримуємо значення параметра:

$$\alpha_n = (-1)^n \frac{161.6(n-1)\pi N_L(l)}{cf^{(n+1)}}, n = 2, 3, 4, \dots, \quad (3)$$

де $N_L(l) = 2 \int_L N(l)dl$ – інтегральна електронна концентрація.

Проте, існуючий технічний рівень виготовлення ДФ не завжди дає змогу виготовити їх з параметрами, які визначаються виразом (3). До того ж, висотний профіль електронної концентрації іоносфери постійно змінюється. Тому у БК необхідно використовувати серійні дисперсні фільтри з довільними параметрами α_n .

Для того, щоб внести у сигнал квадратичні фазові спотворення додатного або від'ємного знаку, в БК використовуються два ДФ (рис. 2) з фазовими характеристиками (рис. 3,б)

$$\Phi_1(f) = \alpha_2(f - f_0)^2 \text{ та } \Phi_2(f) = -\alpha_2(f - f_0)^2,$$

які відповідають лінійній залежності групової затримки від частоти різного знаку (рис. 3,а). Величина фазових спотворень у цьому випадку визначається сигналом помилки ПК, пропорційно якому гетеродин ("Г" – на рис. 2) зміщує сигнал за частотою на різні ділянки фазової характеристики ДФ 1 або 2. Величина сигналу помилки за відомою або заданою $N(l)$ визначається за частотою

$$f_n = \pm f_0 + \left\{ (-1)^n \frac{161.6(n-1)\pi N_L(l)}{c f^{(n+1)} \alpha_n} \right\}^{1/n}$$

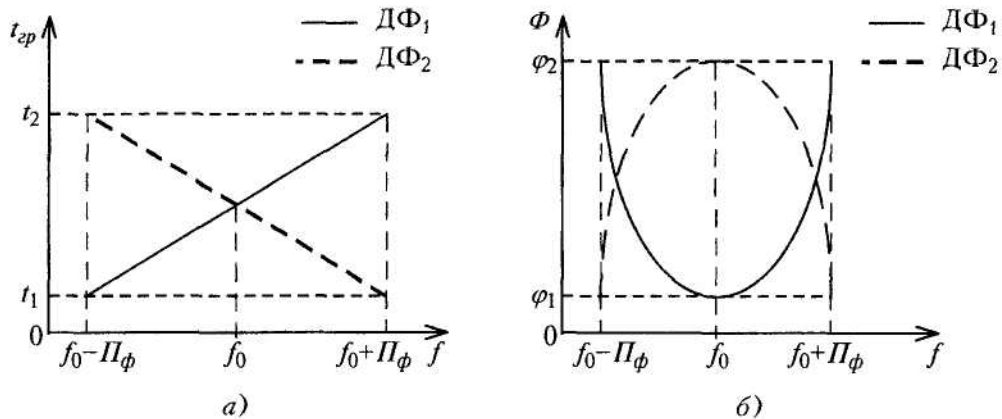


Рис. 3. Характеристики дисперсних фільтрів

Очевидно, що сигнал помилки обмежується полосою пропускання ДФ, рівною $2\Pi\Phi$. СМ2 призначений для зворотного перетворення частоти сигналу. Вибір ДФ (знаку фазових спотворень) здійснюється за допомогою комутатора, який теж керується ПК (рис. 2).

Структурна схема БК у випадку внесення фазових спотворень вищих ступенів не змінюється. Необхідно лише використовувати ДФ з фазовими характеристиками відповідних ступенів n .

$$\Phi_n(f) = \alpha_n(f - f_0)^n \text{ та } \Phi_n(f) = -\alpha_n(f - f_0)^n$$

Таким чином, задавшись моделлю розподілення $N(l)$ в ОШІ або іоносфері (або використовуючи поточні вимірювання $N(l)$), можна внести у сигнал різні за знаком фазові спотворення. Це забезпечується шляхом підключення тієї кількості блоків корекції, яка необхідна для точної степеневі апроксимації фазової характеристики середовища.

Структурна схема імітатора (рис. 1) може бути суттєво спрощена, якщо взяти до уваги те, що на практиці, як правило, враховуються тільки квадратичні та кубічні фазові спотворення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Плохих А.П., Важенин Н.А. Методы и средства модификации среды при наблюдениях воздушных объектов // Зарубежная радиоэлектроника, 1992. – № 9.
2. Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. – М.: Радио и связь, 1983.
3. Коваленко И.А. и др. Авт. свидетельство СССР № 330404 от 1.12.1991 г. Имитатор ионизации среды.

КОВАЛЕНКО Іван Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- радіофізика та електроніка;
- нестационарна електродинаміка;
- метрологія.

КОВАЛЬ Аркадій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- радіофізика та електроніка;
- математичне моделювання технічних систем;
- метрологія.