

УДК 621.391.82

Шефер О.В., к.т.н.

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ АДАПТИВНОГО ПЕРЕНАЛАГОДЖЕННЯ ТА ІНВЕРСНОГО КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЯВЛЕННЯ КОРИСНОГО СИГНАЛУ

Shefer O.V. The increase of radio technical noise immunity systems by adaptive premaligant and inversive correlation approach to the detection of the beneficial signal.

In article the ways of radio engineering noise stability systems increase which have an expanded scope are offered, in comparison with the known methods.

The main purpose is the increase of noise immunity and the reduction in degree of electromagnetic waves radio distortion. To achieve this purpose it is possible reduce the electromagnetic compatibility distortion degree in the telemetry range, in case of external interference signals impact. Using of the offered adaptive synchronous change-over approach in combination with determination of the useful signal hidden by noise parameters differs in the increased profitability.

The relative noise stability of radio engineering functioning control systems of SC is as a result provided. Essential increase in the relation of signal / noise can be reached by decrease in level of a hindrance and increase in size of transfer coefficient. The used vernier inverse - correlation method showed the acceptable results for identification of a noisy beneficial signal.

Keywords: noise immunity, radio technical system, adaptive tuning, inversive correlation, beneficial signal.

Шефер О.В. Підвищення завадостійкості радіотехнічних систем шляхом адаптивного переналагодження та інверсного кореляційного підходу до виявлення корисного сигналу.

У статті запропоновано шляхи підвищення завадостійкості радіотехнічних систем, котрі мають розширену область застосування. Використання розробленого підходу адаптивного синхронного переналагодження у поєднанні із визначенням параметрів прихованого шумами корисного сигналу, відрізняється підвищеною економічністю.

Забезпечується відносна завадостійкість функціонування радіотехнічних систем управління КА. Використаний ноніусний інверсно-кореляційний метод показав прийнятні результати для виявлення зашумленого корисного сигналу.

Ключові слова: завадостійкість, радіотехнічна система, адаптивне переналагодження, інверсна кореляція, корисний сигнал

Шефер А.В. Повышение помехоустойчивости радиотехнических систем путем адаптивной перенастройки и инверсного корреляционного подхода к выявлению полезных сигналов.

В статье предложены пути повышения помехоустойчивости радиотехнических систем, которые имеют расширенную область применения. Использование разработанного подхода адаптивной синхронной перенастройки в сочетании с определением параметров скрытого шумами полезного сигнала, отличается повышенной экономичностью.

В результате обеспечивается относительная помехоустойчивость функционирования радиотехнических систем управления КА. Использованный нониусный инверсно-корреляционный метод показал приемлемые результаты для выявления зашумленного полезного сигнала.

Ключевые слова: помехоустойчивость, радиотехническая система, адаптивная перенастройка, инверсная корреляция, полезный сигнал.

Вступ

Велика кількість керованих об'єктів потребує саме якісного зв'язку. Проблеми зі зв'язком виникають внаслідок природної, або штучно створеної зашумленості корисного сигналу, в наслідок електромагнітної несумісності радіотехнічних системи (РТС). Це можуть бути багатокіштовні і небезпечні, у випадку руйнування, космічні апарати та об'єкти військово-промислового комплексу.

© Шефер О.В., 2017

Постановка задачі. Залишається актуальною задача розробки універсальних методів виявлення і ідентифікації параметрів корисних сигналів за шумовими сигналами. Розв'язання цієї проблеми дозволить запобігти аварій, із відповідними негативними наслідками. Щоб забезпечити своєчасність виявлення та ідентифікації, необхідно мати метод, котрий дозволить виявити корисний сигнал із їх суміші з випадковим процесом за умови значних співвідношень шум – періодичний сигнал.

Аналіз літературних джерел. Основним напрямом підвищення завадостійкості приймально-передавального тракту космічного апарату (КА) є підтримка відношення сигнал / шум не нижче встановленого значення [1]. Існуючі методи розв'язання даного завдання засновані на виборі необхідної потужності (РТС), або пов'язані із використанням схем автоматичного регулювання чутливості (підсилення) радіосигналу, або побудовані на базі логарифмічних підсилювачів [2, 3].

Використання методів першого типу погіршує умови електромагнітної сумісності РТС, застосування ж методів другого і третього типів призводить до зниження дальності дії телеметрії, у випадку впливу зовнішніх сигналів завад, як зазначено у [4].

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення завадостійкості та зменшення ступеня спотворення електромагнітних коливань радіодіапазону РТС.

Для досягнення мети необхідно максимально усунути зазначені недоліки існуючих методів підвищення завадостійкості. Пропонується використовувати адаптивне синхронне переналагодження потужності випромінювання РТС та динамічного діапазону, з урахуванням енергетичних параметрів вхідних впливів, а також використання кореляційного підходу до виявлення корисного сигналу із суміші шум - сигнал.

Адаптивне синхронне переналагодження параметрів випромінювання РТС.

Представимо вихідні електромагнітні коливання радіодіапазону РТС $y(t)$, згідно із [4, 5] у вигляді:

$$y(t) = y_l(t) + y_{nl}(t) + n(t), \quad (1)$$

де $y_l(t)$, $y_{nl}(t)$ – відповідно лінійна і нелінійна складові вихідного сигналу;
 $n(t)$ – внутрішні шуми РТС.

Тоді відношення сигнал/шум на вході РТС із урахуванням компонент нелінійних спотворень радіосигналу, згідно із [5] може бути описано виразом:

$$\sigma = \frac{x(t)}{n_0(t) + \mu(t)} \cdot \gamma, \quad (2)$$

де $x(t)$, $\mu(t)$ – рівень корисного сигналу і сигналу завад на вході РТС, відповідно;

$n_0(t)$ – рівень зашумленості РТС; γ – коефіцієнт погіршення відношення сигнал/шум внаслідок нелінійності характеристик тракту приймання - передачі. Цей коефіцієнт лежить у межах $0 \leq \gamma \leq 1$, причому для лінійного режиму РТС $\gamma = 1$.

Суттєве підвищення відношення сигнал/шум, у відповідності із (2), може бути досягнуто шляхом зниження рівня перешкоди $\mu(t)$ і підвищення величини коефіцієнта γ (до одиниці). Це відбувається за рахунок штучного введення режиму роботи РТС у лінійну область, за допомогою зменшення коефіцієнта передачі та одночасним підвищенням рівня корисного сигналу $x(t)$, за рахунок відповідного збільшення потужності випромінювання РТС [6], рис. 1.

Даний метод можна реалізувати шляхом забезпечення формуванням на виході РТС спеціального сигналу θ , котрий співпадає з нелінійною складовою вихідного сигналу $y_{nl}(t)$, згідно з (1).

Виділений сигнал θ слугує керуючим впливом для переналагодження коефіцієнта передачі та потужності випромінювання РТС. Шляхом адаптивного узгодження рівня

корисного сигналу на вході РТС, за допомогою зміни коефіцієнта підсилення каскадів приймача, можна розширити його лінійний динамічний діапазон і усунути його перевантаження сигналами завад значного рівня, під час протікання перехідних процесів T_s .

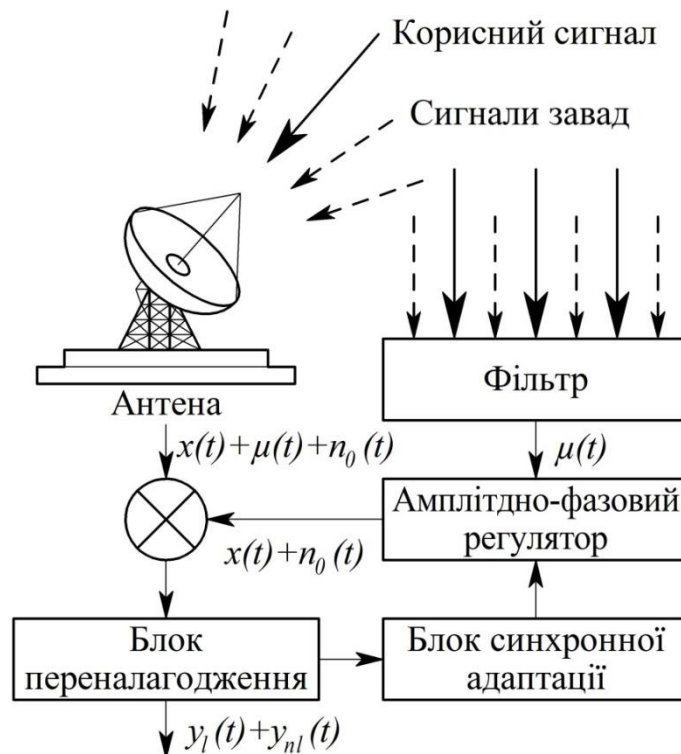


Рис. 1. Адаптивне перенастроювання із фільтрацією корисного сигналу

Використання кореляційного підходу до виявлення корисного сигналу із суміші шум – сигнал. Виділити корисний сигнал можна використавши кореляційний алгоритм, оскільки він має більш високі експлуатаційні характеристики та точність, у порівнянні з іншими типами фільтрів [7, 9, 10].

Суміш періодичного сигналу і випадкової перешкоди розкладається в ряд Фур'є:

$$\left. \begin{aligned} b_i &= \frac{2}{n} \sum_{t=1}^k y(t) \cdot \sin i\omega_0 ht \\ c_i &= \frac{2}{n} \sum_{t=1}^k y(t) \cdot \cos i\omega_0 ht \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де h – крок у часі, $i = \overline{1, m}$; ω_0 – базова частота, береться менше інтервалу корелювання періодограми $\left(\omega_0 \approx \frac{1}{4} \frac{2\pi}{nh} \right)$. Обчислюється амплітуда A_i i -х гармонік ряду $A_i = (b_i^2 + c_i^2)^{\frac{1}{2}}$.

Якщо деяке A_j із A_i ($i = \overline{1, m}$) більше заданого порогового значення A_n , то вважається, що в $y(t)$ існує на частоті $j\omega_0$ періодичність. Поріг, як функція частоти ω задається таким чином, щоб за відсутності періодичності виконувалась умова

$$P(A_j > A_n(j\omega_0)) = P_{\text{ПР}}, \quad (4)$$

де $P_{\text{ПР}}$ – ймовірність помилкового прийняття рішення про наявність періодичності.

Тоді ефективність частотного порогового методу буде визначатися ймовірністю виявлення P_b корисного сигналу амплітуди A_c за умови заданої ймовірності $P_{\text{ПР}}$ помилкового

рішення. Визначимо ймовірність P_b виявлення корисного сигналу. За відсутністю періодичності, коефіцієнти b_i і c_i в (3) є випадковими некорельованими величинами з нульовим математичним очікуванням і дисперсією σ_{ab}^2 . Двовірна щільність розподілення a і b має вигляд:

$$f(a, b) = \exp\left(-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma_{ab}^2}\right), \quad (5)$$

тобто вона являє собою ймовірність виходу вектора (a, b) за межі кола з радіусом A_n із центром на початку координат. Тоді

$$P_{nm} = \exp\left(-\frac{A_n^2}{2\sigma_{ab}^2}\right), \quad (6)$$

тобто одиниця мінус ймовірність попадання в еліпс розсіювання. З (6) знаходимо значення порогу A_n :

$$A_n = \sigma_{ab} \sqrt{-2 \ln P_{nm}}. \quad (7)$$

На площині (a, b) визначимо підобласті виявлення і невиявлення корисного сигналу з амплітудою A_c і нульовою фазою.

Для кожної частоти $i\omega_0$ амплітуди сигналу $y(t)$ і шуму $\mu(t)$ векторно складаються: $\vec{A}_c + \vec{\mu}$. Межею області виявлення буде лінія

$$A_n = |\vec{A}_c + \vec{\mu}|, \quad (8)$$

тобто коло радіуса A_n . Центр кола розташовано на відстані A_c від початку координат. Коло невиявлення з центром у точці $(0, -A_c)$ наведено на рис.2.

Тоді ймовірність невиявлення дорівнює двократному інтегралу від $f(a, b)$ в цьому колі, а ймовірність виявлення – одиниці мінус ймовірність невиявлення:

$$P_e = 1 - \int_{-A_c + A_n}^{-A_c + A_n} \int_{\sqrt{A_n^2 - (a + A_c)^2}}^{\sqrt{A_n^2 - (a + A_c)^2}} f(a, b) da db. \quad (9)$$

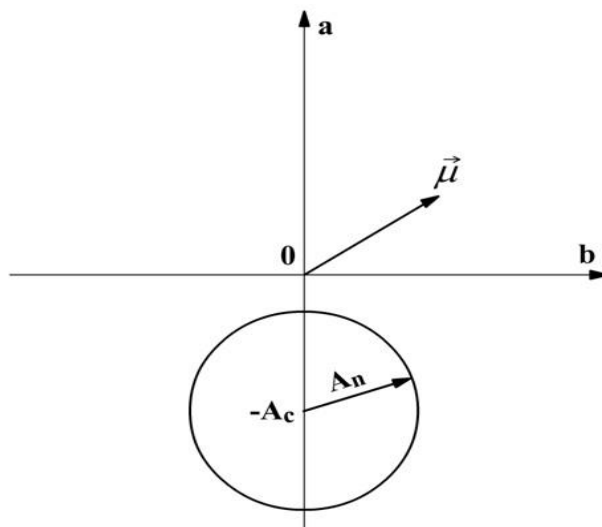


Рис. 2. Підобласті виявлення і невиявлення корисного сигналу

Для визначення σ_{ab} була набрана статистика. Для реалізацій шуму $\mu(t)$ знайдемо значення коефіцієнтів (3) і усереднено із 40 реалізацій шуму при $k = 1450$ і $h = 1/160$ с:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{40} \sum_{k=1}^{40} A_{ik} \quad (10)$$

Для розрахунку P_e обчислювались σ_{ab} , поріг A_n , інтеграл (9) і далі P_e сигналу $x(t) = A_c \cdot \sin(b\pi hk)$ для різних значень $P_{\text{пп}}$ і A_c . Результати обчислень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність відсотку виявлення сигналу з амплітудою A_c від порогового значення A_n і ймовірності P_n помилки

A_n	P_n	A_c	% виявлення корисного сигналу
1,36	0,01	1,2	43
1,36	0,01	1,5	68
1,36	0,01	2,0	94
1,67	0,001	1,2	19
1,67	0,001	1,5	40
1,67	0,001	2,0	81
1,67	0,001	2,5	97
1,67	0,001	3,0	99,9

Спектри виявлення корисного сигналу із суміші шуму та прихованої періодичності представлено на рис. 3 – 6.

У відповідності до табл.1 маємо відчутний вигреш інверсного ноніусного кореляційного підходу до виявлення корисного сигналу.

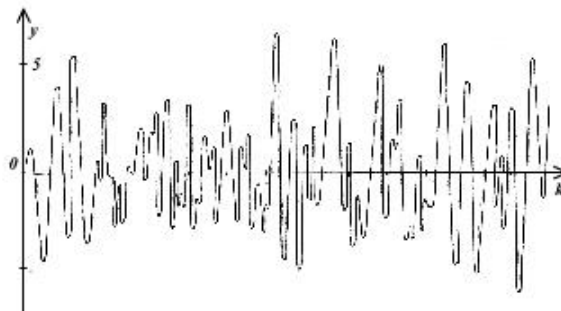


Рис. 3. Зашумлений корисний сигнал

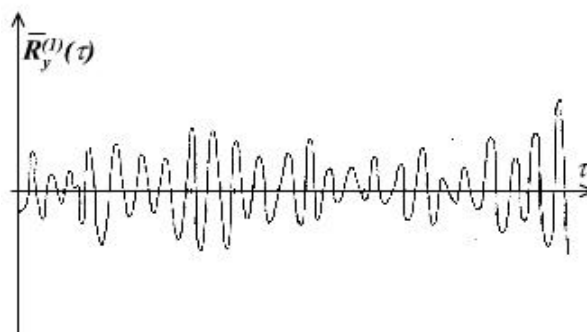


Рис. 4. Перша інверсна кореляція від суміші шуму та корисного сигналу

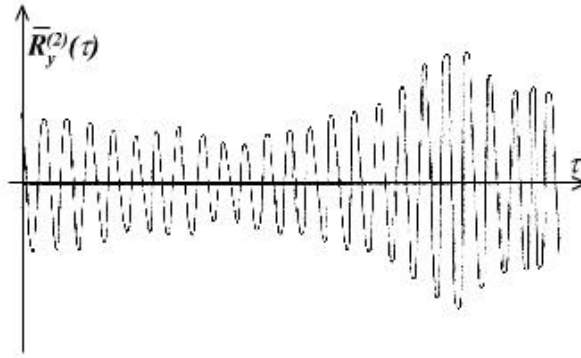


Рис. 5. Друга інверсна кореляція від суміші шуму та корисного сигналу

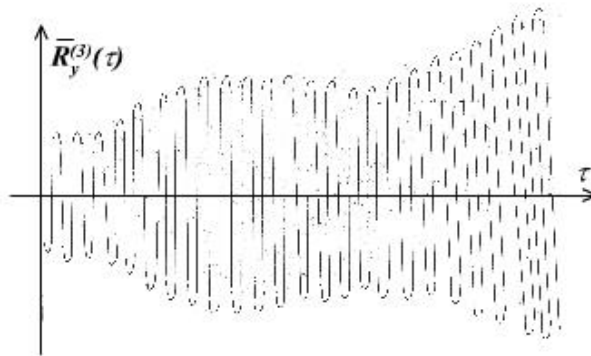


Рис. 6. Третя інверсна кореляція від суміші шуму та корисного сигналу

Даний кореляційний фільтр самоналаштовується до миттєвого значення нелінійної складової вихідного сигналу РТС $\lim_{\gamma \rightarrow \infty} Z(t + \tau) = y_{nl}(t) \cong Z(t + T_p)$, де T_p – період часу, котрий потрібен для автоналаштування фільтра, зараз досяжні значення T_p близько одиниць мікросекунд і менше, що дозволяє порівняно просто виконати задану умову $T_p \ll T_s$.

Застосування такого самоналаштування дозволить усунути багато суттєвих недоліків і обмежень детермінованих фільтрів із апріорно-визначеними параметрами [8].

Висновки

У результаті проведених досліджень, запропоновано шляхи підвищення завадостійкості РТС, котрі мають розширену область застосування, в порівнянні з відомими методами. Використання даного підходу адаптивного синхронного переналагодження у поєднанні із визначенням параметрів прихованої шумами періодичності, відрізняється підвищеною економічністю, так як за інших рівних умов не потрібно "грубих" регулювань коефіцієнта передачі. Також забезпечується відносна завадостійкість функціонування РТС при малопотужних випромінюваннях, що особливо важливо для РТС управління КА. Запропонований ноніусний інверсно-кореляційний метод може бути з успіхом використано, як альтернативу відомому кореляційному [9] у випадку, коли треба виявити зашумлений корисний сигнал.

Список використаної літератури

1. Кантор Л. Я./ Расцвет и кризис спутниковой связи / Л. Я. Кантор // Электросвязь, 2007. – №7. – С. 19-23.
2. Зюко А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации/ А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, Л. В. Банкет, П. В. Иващенко. – М: Радио и связь, 1985 – 272 с.

3. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.
4. Козелков С. В. Пути повышения помехоустойчивости радиотехнических систем на основе адаптивной синхронной перестройки приемопередающего тракта / Д.П. Пашков, С.А. Тыщук // Системи обробки інформації. – 2002. – №6(22). – С. 216-219.
5. Егоров Е.И. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи / Е.И. Егоров, Н. И. Калашников, А.С. Михайлов. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
6. Егоров И.П. Система пространственной режекции помех на основе когерентного весового суммирования / И. П. Егоров, П. В. Русаков, В. В. Павлов, Д. Д. Ганзий // Радиотехника. – М., 2007. – № 11. – С 3–5.
7. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. В 3-х вып. Вып. 3. Измерение электромагнитных помех и измерительная аппаратура: Сокр. пер. с англ./Под.ред. А. Д. Князева. – М.: Сов. радио, 1979. – 464 с.
8. Максимов М. В. Защита от радиопомех / М. В. Максимов, М. П. Бобнев, Б. Х. Кривицкий. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
9. Волгин В.В., Каримов Р.Н. Оценка корреляционных функций в промышленных системах управления. М.: Энергия, 1978. – 79 с
10. Кулій В.М., Сільвестров А.М., Шефер О.В. Ноніусно-кореляційний метод контролю вібрацій механічних систем // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2002 №5(25) С. 93 – 99.

Автор статті

Шефер Олександр Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та електропривода, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: +38 050 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

Author of the article

Shefer Oleksandr Vitaliiovych – candidate of Sciences (technical), Associate Professor of automation and electric drive Department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: +38 050 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

Дата надходження в редакцію: 28.01.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. С.В. Козелков