Механика Транспорт Комуникации

Научно списание

issn 1312-3823

брой 2, 2009 г.

статия № 0351

http://www.mtc-aj.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА СТРУКТУРНИ СМУЩЕНИЯ ВЪРХУ СИГНАЛИ СЪС СКОКООБРАЗНО ИЗМЕНЕНИЕ НА НОСЕЩАТА ЧЕСТОТА

Антонио Андонов, Галина Чернева
andonov@vtu.bg, cherneva@vtu.bg

ВТУ "Т. Каблешков" - София 1574, БЪЛГАРИЯ

Ключови думи:*радиокомуникации, сигнали със скокообразно изменение на носещата честота, шумоустойчивост*

Резюме: *В предложената работа е изследвана устойчивостта на сигнали със скокообразно изменение на носещата честота към структурни смущения. Изследването е направено за случая на съвпадане на кодовите структури на сигнала и смущението при различни стойности на носещите и тактовите честоти.*

1.Постановка на проблема

Една от най-важните характеристики, определяща ефективността на радиокомуникационната система, е устойчивостта срещу смущения [3,4]. Усъвършенстването на радиосистемите в това направление е свързано с използването на сигнали с разширен спектър. Интересът към тях се обуславя от възможностите да се осигури енергийна и структурна скритост на излъчването, защита от несанкциониран достъп, функциониране в условия на мощни смущения [1,2].

Структурните смущения [6] присъстват често в радиокомуникационните системи. Това са преднамерени смущения, подобни по структура на полезния сигнал, които нерядко го превъзхождат по енергийни показатели и имат вътрешносистемен характер.

Един от възможните начини за постигане на добра устойчивост срещу смущения е използването на сигнали със скокообразно изменение на носещата честота (СИНЧ) [1,5]. Известните методи за оценка на устойчивостта на сигналите със СИНЧ срещу структурни смущения се базират на предположението за съвпадане на носещите и тактовите честоти на формирователите на сигнала и смущенията и на различията на техните кодови структури, определени чрез честотно-времевите им матрици [7]. При това в качеството на критерий за шумоустойчивостта на сигнала се разглежда вероятността за съвпадане на елементите на сигнала с елементите на смущението [1] или вероятността за грешка на радиосистемата [3,4]. При тези

подходи обаче не се отчитат случаите на частично припокриване върху честотно-времевата равнина на елементите на сигнала и смущението, а също и комплексното влияние на съвкупността от елементи на смущението върху произволен елемент на сигнала. Това определя и поставената цел в настоящата статия: да се изследва устойчивостта на сигнали със СИНЧ срещу структурни смущения за случай на съвпадане на техните кодови структури и различни стойности на носещите и тактови честоти.

2. Определяне на комплексен показател за устойчивост на сигнали със СИНЧ срещу структурни смущения

Аналитичният израз, с който се описва сигнала със СИНЧ [1] е:

$$(1) \qquad s_i(t) = U_m \sum_{k=1}^{N} rect\left(t-(k-1)\tau_0\right) e^{j(\omega_{ki} t+\psi_{ki})}\ ,\ i=1\ldots m$$

където:

$$rect\left(t-(k-1)\tau_0\right) = \begin{cases} 1, & (\mathrm{k}-1)\tau_0 \le \mathrm{t} \le k\tau_0 \\ 0, & (\mathrm{k}-1)\tau_0 > \mathrm{t} > \mathrm{k}\tau_0 \end{cases}, t \in [0,T],$$

$T=N\tau_0$ е дължина на сигнала,

τ_0 - дължина на един елемент на сигнала,

N – брой елементи на сигнала,

$\omega_{ki} = \omega_0 + (d_{ki} - \delta_0)\Delta\omega_0$, $\delta_0 = 1,2,..$- цяло число

$\omega_0 = \dfrac{2\pi}{T}$ - носеща честота на сигнала,

$\Delta\omega_0 = \gamma \dfrac{2\pi}{\tau_0}$ е минималното честотно отместване на носещата честота на сигнала, определящо стъпката на квантуване по честота,

$\gamma = 1,2...$е коефициент, осигуряващ условието за ортогоналност на отделните елементи на сигнала.

$d_{ki} \in \{d_k\}$ е разширяващата спектъра кодова последователност, определяща началните фази на първичните сигнали $\psi_{ki} \in \{\psi_k\}$.

Разглеждаме структурно смущение, представляващо сигнал, построен на същия принцип както полезния:

$$(2) \qquad s_{см}(t) = U_m \sum_{k=1}^{N} rect\left(t-(k-1)\tau_{см}\right) e^{j\left(\omega_{k_{см}} t+\psi_{k_{см}}\right)}.$$

Честотите на генераторите на тактовите импулси, формиращи полезния сигнал и преднамереното смущение са съответно f_s и $f_{см}$.

Нека продължителността на елемента на смущението $\tau_{см}$ е

$\tau_{см} = \tau_0 + \Delta\tau$,

където $\Delta\tau = f_{см} - f_s$ е нарастването, предизвикано от разстройката на тактовите честоти на сигнала и смущението.

Тогава началото на k-ия елемент в честотно-времевата матрица на смущението е отместено на време $(k-1)\Delta\tau$ по отношение на честотно-времевата матрица на сигнала.

Ако $\omega_{0_{см}}$ е носещата честота на преднамереното смущение, то

$$\omega_{k_{см}} = \omega_{0_{см}} + \left(d_{k_{см}} + \delta_0\right)\Delta\omega_{см} \ ,$$

където $\Delta\omega_{см} = \gamma\dfrac{2\pi}{\tau_{см}}$.

Нека кодовите структури на сигнала и смущението да съвпадат, което е характерно за ретланслираните и имитационните смущения:

(3) $\psi_{k_{см}} = \psi_{ki}$; $d_{ki} = d_{k_{см}}$.

Степента на взаимодействие между полезния сигнал и преднамереното смущение върху честотно времевата равнина е аналог на тяхната взаимно корелационна функция. Затова е подходящо в качеството на показател на взаимодействието между тях, да се приеме коефициента на взаимна корелация, определен от стойностите на комплексните обвивки на сигнала и смущението:

(4) $$R^2 = \frac{\left[\int_0^T \dot{S}_i(t)S^*_{см}(t)dt\right]^2}{4P_iP_{см}T^2} \ ,$$

където $\dot{S}_i(t)$и $S^*_{см}(t)$ са комплексната и комплексно спрегнатата функции на *i*-тия сигнал и преднамереното смущение, а P_i и $P_{см}$ са средните им мощности .

Като се заместят изрази (1) и (2) в зависимост (4) и се отчете условие (3), се получава аналитична зависимост, която е показател за степента на взаимодействие между сигнала и смущението. Както следва непосредствено от изрази (1) и (2), тази зависимост е функция на относителната разстройка на носещите честоти на сигнала и смущението:

(5) $$\Delta\Omega = \frac{\omega_0 - \omega_{0_{см}}}{N\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{N\omega_0}$$

и на относителната разстройка на тактовите честоти:

(6) $$\Delta f = \frac{f_{см} - f_s}{f_s} = \frac{\Delta\tau}{\tau_0} \ .$$

За по-простия случай, когато тактовите честоти на сигнала и смущението съвпадат, $\Delta\tau$=0 и за коефициента на взаимна корелация се получава:

(7) $$R^2 = \frac{\left[\sin c(\pi\Delta\Omega)\sum_{k=1}^{N} e^{j\pi\Delta\Omega(2k-1)}\right]^2}{N^2} \ ,$$

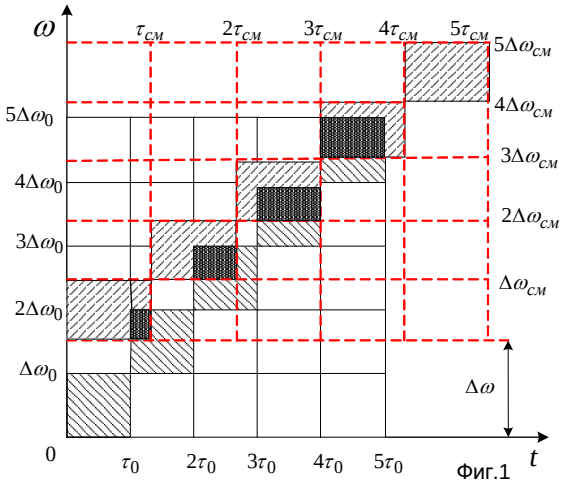
където $\sin c(\alpha) = \dfrac{\sin\alpha}{\alpha}$.

Както се вижда от израз (7), при $\Delta\Omega$=1, 2,...= цяло число, *R*=0, което съответства на ортогонални сигнал и смущение.

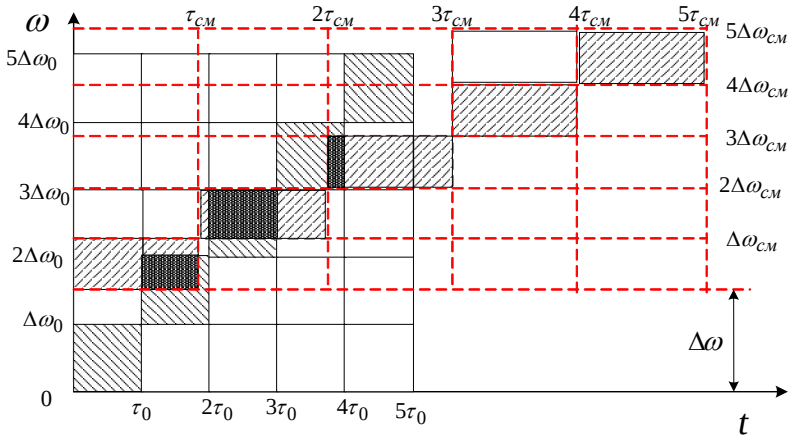
3. Възможности за увеличаване устойчивостта на сигнали със СИНЧ срещу преднамерени смущения

Взаимодействието между полезния сигнал и смущение (2) е илюстрирано чрез честотно-времевите им матрици. Разгледан е случаят на пет-елементни сигнал и смущение (N=5), $\delta_0 = 3$ и $\{d_k\}$=1, 2, 3, 4, 5, при което се получава диагонална честотно-времева матрица, показана на фиг.1. Тя е получена за произволни стойности на $\Delta\tau$. и $\Delta\omega$.

Проследено е изменението на площта на припокриване на елементите на сигнала и смущението, което е показател за степента на тяхното взаимодействие. Това е направено при изменение на $\Delta\tau$, респ. $\tau_{см}$ (фиг.2) и при иззменение на разстройката на носещите честоти $\Delta\omega$ (фиг.3).



Фиг.1



Фиг.2

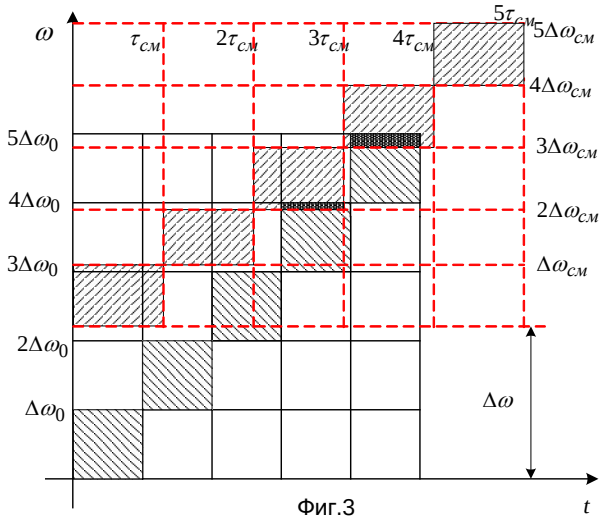
От получените графични зависимости могат да се направят следните изводи:

1. Увеличаването на разстройката на тактовите честоти води до изменение на честотно-времевата матрица не само по времевата ос (вследствие на увеличаване на $\Delta\tau$), но и по честотната ос, вследствие намаляването на $\Delta\omega_{см}$. В резултат на това намалява броят на засегнатите елементи на сигнала от смущението.

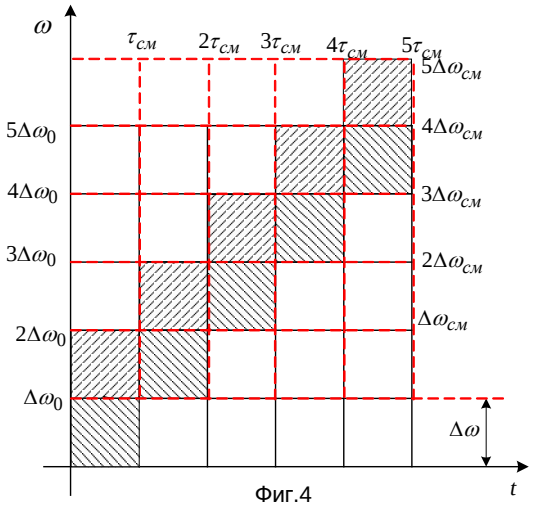
2. При увеличаване на разстройката на носещите честоти изменението на честотно-времевата матрица става само по честотната ос, но чрез подходящ избор на $\Delta\omega$ може да се постигне по-малка площ на припокриване на елементите на сигнала и съобщението.

На фиг.4 е показан случай на ортогонални сигнал и смущение (R=0) при $\Delta\Omega$=1.

Въз основа на получените резултати се предлага следният алгоритъм за адаптация на сигнала със СИНЧ към въздействащите структурни смущения, с цел реализиране на по-добра устойчивост. Той се реализира на два етапа и е илюстриран с блоковата схема, дадена на фиг.5.



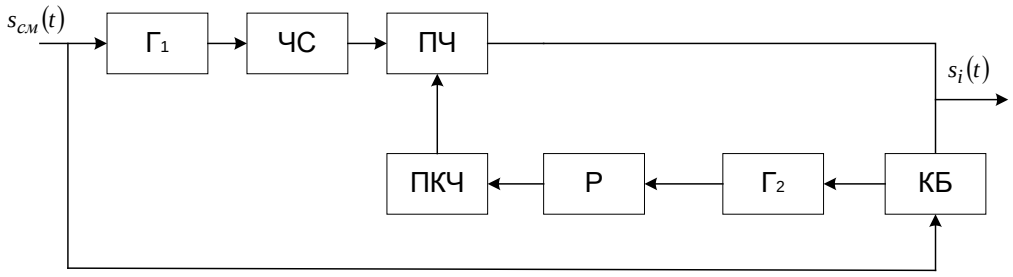
Фиг.3



Фиг.4

На първия етап се осигурява еднаквост на тактовите честоти на сигнала и смущението, с цел $\Delta\tau$=0. Това се реализира чрез външна синхронизация на преднамереното смущение с честотата на тактовите импулси на генератора Γ_1, подавани на входа на честотния синтезатор (ЧС). На втория етап се сканира носещата честота на сигнала в граници $\left[(k-0{,}5)\tau_{см}\ ,(k+0{,}5)\tau_{см}\right]$, k=1,2,.. , до установяване на стойност, за която R=0. За тази цел в корелационния блок (КБ) се измерва коефициента на взаимна корелация между сигнала и смущението. Резултатът от измерването се подава на генератор Γ_2, който е включен пр

регистъра Р и преобразувателя код-честота (ПКЧ) към преобразувател на честота (ПЧ).



Фиг.5

4. Изводи

Резултатите от изследванията в настоящата статия показват, че чрез незначително изменение на носещата и тактовата честоти, без да се променя кодовата структура, може значително да се подобри устойчивостта на сигнала със СИНЧ срещу преднамерено смущение със същата структура. Това определя една от възможностите за защита на сигналите със СИНЧ от структурни смущения, а именно чрез „избягване" на сигнала от смущението, а не на „противоборство" с него, както това се реализира при сигналите с непосредствена модулация на носещата честота.

Литература

[1] Р.К.Диксон, Широкополосные системы: пер. с англ./ Под ред. В.И.Журавлева.- М., Связь, 1979.

[2] John Fakatselis, Madjid A.Belkerdid, Processing Gain for Direct Sequence Spread Spectrum Communication Systems and PRISM™. Application Note 9633, Harris Semiconductor, 1996.

[3] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М., Вильямс, 2003

[4] Прокис Дж. Цифровая связь, пер. с англ. под ред. Д.Д.Кловского, - М.: Радио и связь, 2000

[5] M.K.Simon, J.K.Omura, R.A.Scholtz, B.K.Levitt , Spread Spectrum Communication, vol.I-III, Rockville, MD., Computer Science Press, 1985

[6] Палий А.И. Радиоэлектронная борьба . М. 1981

[7] D.J.Torrieri, Principles of Secure Communication Systems, Dedham, MA.: Artech House, Inc., 1985