

## **ГАРАНТИРАНИ НИВА НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТ НА РАДИОКОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ СЪС СКОКООБРАЗНО ИЗМЕНЕНИЕ НА НОСЕЩАТА В УСЛОВИЯ НА РАДИОЕЛЕКТРОННО ПОДАВЯНЕ**

**Антонио Андонов**

[andonov@vtu.bg](mailto:andonov@vtu.bg)

*VTU „Тодор Каблешков”, София 1574, ул. „Гео Милев” 158*

**БЪЛГАРИЯ**

***Резюме:** Към съвременните радиокомуникационни системи с осигурителна отговорност се предявява изискването да се гарантира, че вероятността за грешка няма да надвиши предварително зададена допустима стойност, независимо от изменящата се активност на канала. В предложената работа е представена концепция и вероятностно-времеви метод за анализ на шумоустойчивостта на радиокомуникационна система със скокообразно изменение на носещата в условия на радиоелектронно подаване.*

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

### **1. УВОД**

Повишаването на шумоустойчивостта на радиокомуникационните системи в условия на въздействие на организирани смущения е важен научнотехнически проблем при тяхното изследване, проектиране и експлоатация. Процесът на функциониране на системите за радиовръзка в условията на радиоелектронно подаване по своята физическа същност представлява радиоелектронен конфликт. В този конфликт от една страна участва системата за радиовръзка, а от друга страна – системата за радиоелектронно подаване, състояща се в общ случай от станция за радиотехническо разузнаване, осигуряваща откриване и измерване на параметрите на сигнала и непосредствено станцията, генерираща смущения.

Ефективността на радиотехническите системи характеризира тяхната способност да изпълняват поставените задачи в зададени условия на функциониране и следователно зависят от много фактори: живучест, надеждност, шумозащитеност и други [1,2].

най-важният от тези фактори, определящ качеството на функциониране на радиотехническата система, е шумозащитеността. Проблемът за повишаване шумоустойчивостта на системите за радиовръзка и управление до настоящия момент не е намерил своето пълно решение в повечето приложни задачи. В сегашно време разработването на методи за повишаване шумоустойчивостта срещу преднамерени смущения се извършва в две направления. Първото от тях е свързано с търсенето на специални алгоритми за предаване на информация, минимизиращи влиянието на преднамерените смущения: използване на сложни сигнали и шумоустойчиво кодиране. Второто – синтез на специални алгоритми за обработка на сигнали, обезпечаващи независимост на статистиката, анализирана от демодулатора, от въздействието на смущенията. В този случай структурата на демодулатора е инвариантна и съответства на оптимално приемане в гаусов канал.

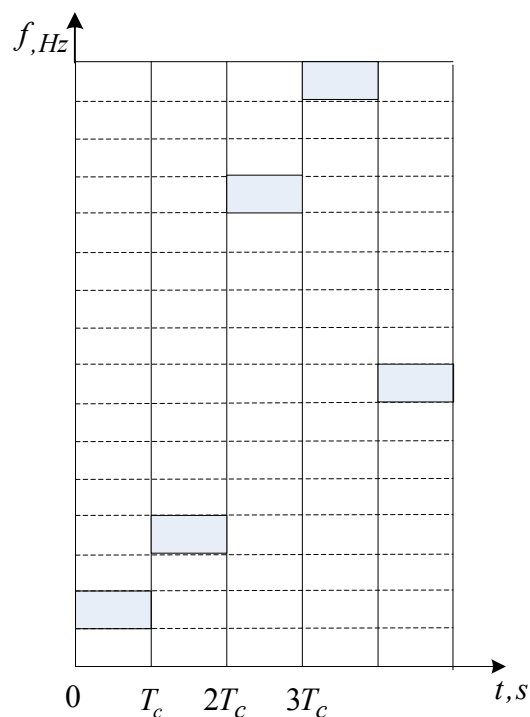
Развитието на първото направление е с изключително значение от теоретична гледна точка, тъй като при успешното решаване на задачите за синтез на алгоритми за предаване на информация в негаусови канали могат да бъдат получени нови фундаментални резултати на статистическата теория на връзките. Например в това направление особено перспективно е развитието на теорията за синтез на сигнали при оптималното направление на които се минимизира стойността на показателя за шумоустойчивост. Следва да се подчертае особената роля на изследването на алгоритми за предаване на информация със сложни широколентови сигнали. Този път е свързан с умерно (честотно-времево) кодиране на всеки елемент на сигнала: чрез формиране на псевдослучайно превключване на работните честоти или използване на псевдослучайни последователности, манипулиращи фазата на сигнала.

Използването на двата вида сложни шумоподобни сигнали повишава значително да се повиши шумоустойчивостта на линията за връзка при въздействие на преднамерени смущения с цената на въвеждането на многократен честотно временен излишък в сигнала и съответното усложняване на неговата обработка от приемника.

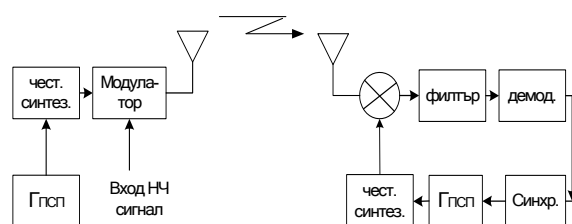
## 2. ТЕОРЕТИКО-ИГРОВ ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА

Първите разработки на радиокомуникации с разширен спектър са във военната област. Както е установено, радиостанциите с фиксирани честоти са твърде чувствителни към съвременните методи за радиопротиводействие, тъй като могат да бъдат бързо прехванати и селективно смущавани. За да се избегне този недостатък, като мярка за борба с радиопротиводействието бяха предложени системите със скокообразно изменение на носещата честота (СИНЧ), фиг.1, фиг.2. Използването на метода на СИНЧ позволява осигуряването на висока шумоустойчивост на предаването на информация при въздействие на преднамерени смущения в условията на радиоелектронна борба или в случай на ограничена информация за възможните смущения в канала. Подобна ситуация с конфликтен характер възниква също при осъществяване на радиовръзка с подвижни

обекти, когато параметрите на канала се изменят непрекъснато по неизвестен закон.



Фиг.1 Честотно-времева матрица на сигнал със СИНЧ



Фиг.2 Радиокомуникационна система със СИНЧ

За оценка на шумоустойчивостта на сигнали със СИНЧ в условията на преднамерени смущения е подходящ теоретико-игровия подход за математически анализ на формализиран модел на конфликтната ситуация, която възниква в реални условия на работа. При този подход може да се приеме, че антагонистичната игра се провежда между операторите на системата за предаване на информация и системата, излъчваща смущения. Сигналите със СИНЧ се формират от синтезатора на честоти (фиг.2) със стъпка

$$(1) \quad \Delta f = \frac{F}{N},$$

където  $F$  е честотната лента на системата за предаване на информация. На всеки

елементарен интервал с дължина  $\tau$  се генерират импулси с честота на запълване:

$$(2) \quad f_i = f_0 + y_i \Delta f,$$

където  $i$  е номерът на импулса, а  $\{y_i\}^N$  определя вероятността за избор на честотите. Състоянията  $\{f_i\}$  на СИНЧ във всеки момент на времето  $t_j$  се определят от честотите, на които се съществува предаването. Състоянието на противодействащата система се характеризира с вектора  $\vec{\Delta} = (\Delta_1 \dots \Delta_N)$ , където  $\Delta_i$  е отношението на мощността на смущението на честота  $f_i$  към общата

мощност на сигнала и  $\sum_{i=1}^N \Delta_i = \Delta_{max}$ , където

$\Delta_{max}$  е максимално възможното превишаване на смущенията над сигнала. При този подход синтезът на противодействащите системи се свежда до определяне на стратегиите на операторите на системите със СИНЧ и на тези за организиране на смущенията относно избора на състоянията в съответните моменти на времето. С оглед теоретико-игровия аспект за оценка на шумоустойчивостта в качеството на платежна функция може да бъде избрана вероятността за грешка, определяна чрез отношението на мощностите на смущението  $\Delta_i$  и  $i$ -тия сигнал т.е.  $p = p(i, \Delta) = k_i(x)$ , където  $k_i(x)$  е функция, отчитаща структурата на организирания смущения, вида и формата на полезния сигнал, определени от съответната система за модулация и кодиране. Стратегията на системи със СИНЧ се определя от съвкупността  $\{y_i\}$  за избор на честота  $f_i$ . Съответно стратегията на оператора на системата за организиране на смущенията напълно ще се описва с  $N$ -мерната функция на разпределение на вероятностите  $F_{\Delta}(x)$  на вектора  $\vec{\Delta}$ . Ако е известна стратегията  $\{y_i\}$ , то стратегията  $F_{\Delta}(x)$  трябва да максимизира средната вероятност за грешка:

$$p(\{y_i\}, F_{\Delta}) = \int \sum_{\Delta_i=1}^N p(i, \Delta) y_i dF_{\Delta}(x) =$$

(3)

$$= \int \sum_{\Delta_i=1}^N k_i(x) y_i dF_{\Delta}(x)$$

В този случай съответно вероятността за грешка в системата със СИНЧ ще бъде:

$$(4) \quad p\{y_i\} = \max_{F_{\Delta}} p(\{y_i\}, F_{\Delta}).$$

Следователно задачите за теоретико-игров синтез на системите, при зададени множества на състоянията  $\{f_i\}$  и  $\Delta_i$  се свежда до решаване на следната минимаксна задача:

$$\max_{F_{\Delta}} p(\{y_i\}, F_{\Delta}) =$$

(5)

$$= \max_{F_{\Delta}} \int \sum_{\Delta_i=1}^N k_i(x) y_i dF_{\Delta}(x) \rightarrow \min_{y_i}$$

От физически съображения е ясно, че при еднаквост на качеството на връзката за различните честоти, техният избор при псевдослучайно изменение на работната честота трябва да бъде равновероятно

$y_i = \frac{1}{N}$ . Едновременно с това за пълното

определяне на оптималната стратегия на системата, създаваща смущения, е необходимо да се определи функцията на разпределение на смущението  $F_{\Delta}$  по честотата, максимизираща средната вероятност за грешка в системата със СИНЧ. Ако нейната шумоустойчивост се определи с максималната стойност на превишението на сумарната мощност на смущенията над мощността на сигнала, при която се гарантира необходимата достоверност, при произволно разпределение на смущенията по честотата, то оценката на шумоустойчивостта съвпада с решението на поставената минимаксна задача. В този случай нейното решение ще определи оптималните стратегии  $\{y_i^*\}$  и  $F_{\Delta}^*$ , осигуряващи изпълнението на следните неравенства при произволни разпределения  $\{y_i\}$  и  $F_{\Delta}$ :

$$(6) \quad p(\{y_i^*\}, F_{\Delta}) \leq p(\{y_i^*\}, F_{\Delta}^*),$$

$$(7) \quad F_{\Delta}^* \leq p(\{y_i^*\}, F_{\Delta}^*).$$

Това означава, че преходът на системата със СИНЧ от  $\{y_i^*\}$  към която и да е друга

стратегия е нецелесъобразен, тъй като ще доведе до снижаване достоверността на връзка. Аналогично изменението на стратегията на смущението относно  $F_{\Delta}^*$  също е нецелесъобразно, тъй като вероятността за грешка в смущаваната система може само да се снижи.

При зададена функционална зависимост  $k_i(x)$ , т.е. при конкретизиране на вида на сигнала, на модема и структурата на смущенията с подтисканите честоти, предложеният подход позволява определяне на гарантираните нива на работоспособност на системи със СИНЧ в различни ситуации, при отчитане на статистическите характеристики на сигналите и шумовата обстановка.

### 3. ИЗВОДИ

В реални условия на работа на радиотехническата система, конфликтна ситуация възниква в случай на преднамерени смущения.

Подобна ситуация може също да се наблюдава при предаване на информация по канал с неизвестни параметри, когато операторът на радиотехническата система се стреми да максимизира скоростта на предаване на информацията, а операторът на системата за радиоелектронно подавяне, т.е. природата се стреми да я минимизира. Същевременно, като се използва въведената трактовка на конфликтна ситуация в предложената статия, е възможно да се определи гарантираните нива на шумоустойчивост при въздействие на най-неблагоприятното за конкретната ситуация смущение.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гичев Г. Теория на игрите. С. Наука и изкуство. 1980
- [2] Крапивин Ф. Теоретико-игровые методы синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях. М. Сов. радио. 1982.

## ECM – RESISTANCE FREQUENCY HOPPING, SPREAD SPECTRUM RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

Antonio Andonov  
[andonov@vtu.bg](mailto:andonov@vtu.bg)

Higher School of Transport “T. Kableshkov”, Geo Milev Str. 158, 1574 Sofia  
BULGARIA

**Key words:** Radio communication systems, frequency hopping, spread spectrum signals, noise-resistance

**Abstract:** The modern radio communication systems with safety responsibility are required to guarantee that the error-probability given will not exceed the preliminary specified permissible value independently of the variability activity of the channel.

The paper presents the concept and analysis method for jamming resistance of frequency hopping, spread spectrum radio communication systems under electronic countermeasures (ECM) conditions are represented from based probabilistic-temporal model.