

## **СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЕ НА НЕСИНУСОИДАЛНИ ЦИФРОВИ НОСЕЩИ В СВРЪХШИРОКОЛЕНТОВИ АВАЦИОННО КОСМИЧЕСКИ РАДИОЛИНИИ ЗА ВРЪЗКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**Радостина Христова<sup>1</sup>, Зоя Хубенова<sup>2</sup>, Антонио Андонов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Висше транспортно училище – София*

<sup>2</sup>*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*  
e-mail: zhubenova@space.bas.bg; andonov@vtu.bg

**Ключови думи:** цифрови носещи, електромагнитни вълни, надеждност и шумоустойчивост на радиокомуникациите.

**Резюме:** В предложената работа преходът към свръхширококолентови сигнали на базата на несинусоидални цифрови носещи се разглежда, от една страна като по-нататъшно развитие на класа дискретни сигнали, а от друга като технологична реализация на пределната ширококолентовост на сигналите. Проведен е анализ и оценка на ефективността от използване на несинусоидални цифрови носещи в свръхширококолентови авиационно космически радиолинии за връзка и управление. Предлага се и се обосновава решение на задачата за избор на вида на носещата на радиосигналите на основата на функции на Уолш в дискретните радиоканали по различни критерии и се оценява тяхната шумоустойчивост.

## **PROPERTIES AND APPLICATION OF NON-SINUSOID DIGITAL CARRIERS IN ULTRA-BROADBAND AVIATION SPACE RADIOLLINES FOR CONNECTION AND CONTROL**

**Radostina Hristova<sup>1</sup>, Zoya Hubenova<sup>2</sup>, Antonio Andonov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*University of Transport– Sofia*

<sup>2</sup>*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
e-mail: zhubenova@space.bas.bg; andonov@vtu.bg

**Keywords:** digital carriers, electromagnetic waves, reliability and noise immunity of radio communications

**Abstract:** In the proposed work, the transition to ultra- broadband signals based on non-sinusoidal digital carriers is considered, on the one hand, as a further development of the class of discrete signals and, on the other, as a technological realization of the marginal signal bandwidth. An analysis and evaluation of the effectiveness of the use of non-sinusoidal digital carriers in ultra- broadband aerospace radio links for communication and control. A solution to the problem of choosing the type of carrier of radio signals based on Walsh functions in discrete radio channels is proposed and justified according to different criteria and their noise resistance is evaluated.

### **Въведение**

Както е известно, максималната ефективност на канала за връзка се достига, когато използваните сигнали максимално съответстват на изискванията на канала. Обаче, пълнотата на това съответствие често е ограничено от много причини от теоретичен и практически характер. Ако в качеството на изходно се приеме условието, че сигналът има хармонична носеща, то проблемът за избор на сигнала се свежда до определяне на оптимална модулирана функция и метода на модулация. Това е традиционна постановка в теория на сигналите и системите за връзка. За това използваните ширококолентови сигнали в системите с разширен

спектър, т.е. сигналите, честотната лента на които съществено превишава лентата на предаваните съобщения, има аналогова (хармонична) носеща и дискретна (цифрова) разширяваща последователност. Аналогово-цифровата структура на широколентовите комуникационни системи се обяснява с ред причини от исторически и технически характер.

В исторически план, теорията и техниката на излъчване и разпространение на радиовълните интензивно се е развила в направление на хармоничните сигнали. Това е свързано с факта, че основни критерии на радиокомуникациите дълго време са били разстояние и надеждност на връзката, а хармоничните носещи удовлетворяват тези критерии. Изискванията по отношение на електромагнитната съвместимост, шумозащитеност, увеличаване на скоростта на предаване и други са вторични по отношение към развитието на радиоканалите с хармонични носещи. Съществено значение са имали и техническите причини, свързани с явлението резонанс, което е много удобно за селекция на хармонични колебания, както и фактът, че хармоничните колебания са собствени функции за линейни системи с постоянни параметри и при преминаване през линейни канали не изменят своята форма. За това технически много по-просто е да се построи приемник на известни по форма сигнали.

### Избор на носещи в широколентови канали

Преходът към свръхшироколентови сигнали се разглежда, от една страна като по-нататъшно развитие на класа дискретни сигнали, а от друга като технологична реализация на пределната широколентовост на сигналите.

Конструктивният път към увеличаване на базата на дискретния сигнал се състои в намаляване на дължината на елементарния символ. За това задачата за избор на дискретен сигнал за шумозащитена система се решава по пътя на синтеза на сигнала с минимална дължина на символа. В този случай се осъществява преход към нестационарно излъчване (нестационарен сигнал). Нестационарността се определя от това, че формата на елементите на цифровите носещи се определя от преходната характеристика на линията за връзка. По този начин сигналът заема цялата физическа честотна лента на линията за връзка. Очевидно е, че е невъзможно да се реализира широколентов цифров сигнал с база, по-голяма от стойността  $2f_0T_c$ .

Най-целесъобразно е вследствие на простотата при физическата реализация, в качеството на цифрови носещи да се използват двоични кодови последователности, при което на символа „0“ ще съответства отрицателно ниво на сигнала, а на символа „1“ – на положително. Такъв двунивов сигнал е най-просто реализуем при използване на енергия от източник на постоянен ток.

Известни са голям брой двоични кодови последователности, които по принцип могат да бъдат използвани в качеството на цифрови носещи [1]. Обаче носещата на радиосигнала трябва да удовлетворява редица специфични изисквания, основните от които са: ортогоналност, пълнота и затвореност на системата функции, балансираност, ограниченост по отношение на дължината на серията кодови символи, детерминираност, периодичност, наличие на модулируеми информативни параметри, простота на схемите за генериране и модулация и др. Посочените изисквания следват от анализа на технико-икономическата ефективност на системите за предаване на информация. Синтезът на носещи по такъв многомерен критерий за качество е свързан с принципни трудности, които се определят от невъзможността за точна количествена оценка на много важни изисквания към носещата на сигнала.

### Цифрови носещи на основата на функции на Уолш

Основен критерий за избор на носещи обикновено се счита способността за пренасяне на енергия в точката на приемане. Това пряко следва от същността на различните методи за предаване на информация. Количествено този показател се определя чрез електромагнитната енергия, излъчвана в далечната зона. Анализът на решенията на уравненията на Максвел за възбуждащите токове, принадлежащи към клас цифрови функции показва, че средната излъчвана мощност може да бъде толкова по-голяма, колкото е по-голям средния брой на изменение на символите, при условие, че при всяка смяна на символ „1“ с „0“ и обратно се излъчва една и съща енергия. От тук следва, че задачата за избор на цифрови носещи се свежда до удовлетворяване на условието:

$$(1) \quad \begin{aligned} & \text{Max} E[i(t)], K_l \geq K_{0l} \\ & l \in w-l, i \in \lambda \end{aligned}$$

където  $\lambda$  е множеството цифрови носещи;  $K_l$  – останалите (освен  $E(i)$ ) критерии, които трябва да се удовлетворят от носещата;  $w$  – целият брой на критериите.

Носещите, удовлетворяващи горното условие, не трябва да притежават дълги серии еднакви импулси. Анализът показва, че най-пълно горното условие се удовлетворява от меандрови функции, описвани чрез функции на Уолш, независимо от порядъка на ранжиране на критериите  $K_l$ .

Известни са различни способи за определяне и подреждане на функциите на Уолш, от които за комуникационните системи е най-целесъобразно да се използва подреждане в зависимост от броя на промените на знака (т.е. преминаване през нулата) за един период. Това позволява сравнителен анализ с хармоничните носещи, подредени по честота. Функциите на Уолш  $Wal_n(T_w, t)$  с номер  $n$  и период  $T_w$  могат да се определят като произведение на функциите на Радемахер (меандрови функции) в следния вид:

$$(2) \quad Wal_n(T_w, t) = \prod_{l=1}^m [Rad_l(T_w, t)]^{\alpha_l},$$

където:  $l$  е броят на разредите на числото  $n$ , записано в код на Грей;  $\alpha_l$  – стойността на  $l$ -тия разряд (нула или единица);  $m = \lceil \log_2 n \rceil$  е номера на диадата на функцията на Уолш;  $(\lceil \rceil)$  е цялата част на числото, определяна като:

$$(3) \quad \text{sign} \left( \sin 2^l \frac{\pi t}{T_w} \right)$$

Израз (2) определя прост алгоритъм за формиране на функции на Уолш, състоящ се в умножение на меандрови функции.

От изключително значение е, че системата функции на Уолш, както и тази на хармоничните функции е пълна и ортогонална. За това разлагането на сигналите в базиса на тези функции може да се проведе с произволна точност.

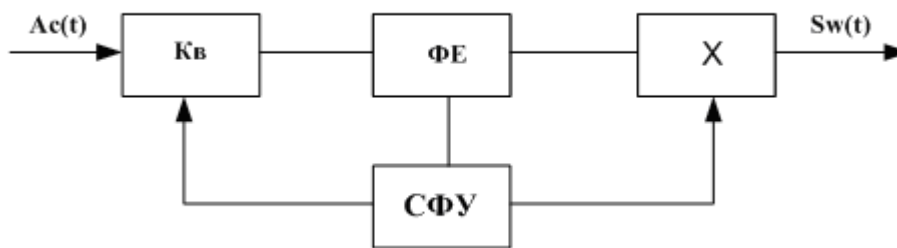
Функциите на Уолш притежават свойствата затвореност и асоциативност и тяхната средна е равна на нула. Системата функции на Уолш се състои от четни и нечетни функции [2].

За целите на сравнителния анализ на системата функции на Уолш с двоичните кодови последователности са от значение за следните структурни свойства на функциите на Уолш. Същите е възможно да се разбият на диади (групи), които се характеризирани с числото  $m = \lceil \log_2 n \rceil + 1$ , т.е. с броя двоични разряди на номера на функцията. С нарастване на номера на диадата, количеството на функциите в нея нараства в съответствие с числото  $2^{m-1}$ . Затова те притежават свойството балансираност и са съставени от серии, съдържащи един или два символа, при което общия брой серии е  $(n+1)$  за период  $T_w$ . Тези функции са детерминирани последователности, съдържащи  $L_w = 2^m$  символи върху период с максимална дължина. Във всеки период общия брой единици е равен на броя на нулите. Следователно, функциите на Уолш съвместно с инверсните функции представляват биортогонални кодове.

За предаване на информация е необходимо да се модулира носещата на Уолш в съответствие с предаваното съобщение. Модулираната в съответствие със съобщението носеща на Уолш се нарича сигнал на Уолш.

За сигналите с цифрова носеща са приложими всички видове модуляции, характерни за сигналите с хармонична носеща. Обаче, тъй като сигналите на Уолш имат четири независими параметъра, то при използването им в качеството на носещи е възможна още и кодова модуляция, т.е. манипулация в съответствие с номера на носещата. При използване на хармонични носещи такава манипулация е невъзможна.

На фиг.1 е показана структурна схема на амплитуден модулатор.



Фиг. 1. Структурна схема на амплитуден модулатор

На фиг.1 с  $K_B$  е означено квантуващото устройство (дискретизация по ниво), ФЕ е фиксиращ елемент, осъществяващ дискретизация и фиксация на амплитудите с период  $\tau_{K_B}$ , кратен на периода на носещата на Уолш, генерирана от синтезатора ФУ.

При модулация на сигналите на Уолш по честота е необходимо да се отчете, че за разлика от хармоничните сигнали, временното положение на сигнала на Уолш и честотите му не са свързани мултипликативно.

Въз основа на гореизложеното, следва че на основата на функциите на Уолш е възможно да се създадат свръхширококолентови носещи от два вида: непрекъснати и дискретни (импулсни). Изборът на конкретния вид носещи на Уолш зависи от възможностите за използване на техните характеристики при техническата реализация на системи за предаване на информация с цифрови сигнали.

В системите за предаване на информация сигналите представляват функции, както на текущото време, така и на предаваното съобщение. Времевата зависимост определя формата, а информационната зависимост характеризира вида модулация. Ако сигналите се предават по неизкривяващ канал и се приемат единствено на фона на бял шум, качеството на приемане се определя само от вида модулация и не зависи от формата на предаваните сигнали. Както формата на сигнала, така и вида на модулацията могат да се оптимизират, т.е. да се съгласуват с даден комуникационен канал. Разработването на различни подходи за съгласуване на сигналите с канала за връзка е един от пътищата за обезпечаване на функционална устойчивост на комуникационните системи [3, 4], като се осигурява гарантирано ниво на работоспособност на системата в различни ситуации, с отчитането на статистическите характеристики на сигнала, канала и шумовата обстановка.

### Заклучение

Вследствие възможностите за техническа реализация, в качеството на цифрови носещи най-често се използват двоични кодови последователности. Обаче носещата на сигнала трябва да удовлетворява редица специфични изисквания, основните от които са следните: ортогоналност, пълнота и затвореност на системата функция, периодичност, възпроизводимост, наличие на модулируеми информационни параметри, простота на генерация и т.н. Анализът показва, че цифровите носещи на основата на функциите на Уолш най-пълно удовлетворяват тези изисквания и обобщаването и систематизацията на свойствата им е широко разгледано в специализираната литература.

Разгледаните достойнства на ширококолентовите технологии, основани на използването на цифрови носещи и сигнали на Уолш, позволяват същите да се разглеждат като перспективна алтернатива на традиционната „синусоидална“ технология, използвана в настояще време в безпроводните технологии, използвани в радиоканалите в специални комплекси за информационно взаимодействие, включително в комплексите с безпилотни летателни апарати и други комплекси на мобилната високоскоростна радиовръзка. В момента активно се използват смесени методи за модулация на сигнали на Уолш. Такава модулация е особено целесъобразна при построяването на т.нар. съвместни (многофункционални) системи.

### Литература:

1. Хармут, Х. Ф., Теория секветного анализар М. Мир 1980, 577с.
2. Феер, К., Беспроводная цифровая связь, пер. С англ М.Радио и связь, 2008, 262 с.
3. Стефанова, И., Андонов А. Приложение на несинусоидални електромагнитни вълни за повишаване на функционалната устойчивост на радиокомуникации със специално предназначение. С., ВТУ. 2018.
4. Урядников, Ю. Ф. Теория помехозащищенных радиоканалов управления и связь. МО, 2001.