

УДК [534/322/3+621/376.4]:004.94

ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ С ДИСКРЕТНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

ФАМ К. Б., КАРПУШКИН Э. М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В докладе рассматриваются структурные схемы формирователя псевдослучайных сигналов с ЧМн и результаты компьютерного моделирования для АКФ ЧМн сигналов.

Abstract. The report discusses the block diagrams of the generator of pseudo-random signals with FSK and the results of computer simulation for the ACF of FSK signals

Введение

В современных радиосистемах передачи информации всё большей акцент делается на широкополосные радиосистемы (ШПРС). ШПРС позволяет существенно улучшить такие показатели качества как помехозащищенность, скрытность действия возможность борьбы с многолучевостью и замираниями, возможность работы в одной и той же полосе частот множеству других радиосистем в том числе и узкополосных. Из всех сложных сигналов с ДЧМ наибольший интерес для ШПРС представляют шумоподобные или псевдослучайные сигналы (ПС-сигналы), у которых фаза несущего колебания изменяется по закону дискретной псевдослучайной видеопоследовательности (ПСП).

Анализация ПС-сигналов с ДЧМ

Прямым следствием развития сигналов с частотной модуляцией явились дискретные частотно-модулированные (ДЧМ) сигналы. ДЧМ – сигнал состоит из радиоимпульсов, которые имеют одинаковые огибающие $A_0(t)$, разные частоты, расположенные во времени в соответствии с периодической последовательностью случайных чисел N_i , $i = 1, 2, 3, \dots, N$, – номер элемента в последовательного разброса дискретных значений частоты в пределах $F_{эф}$ и случайностью скорости изменения частоты, благодаря псевдослучайности следования частот.

В настоящее время наиболее исследованными из ПС-сигналов с ДЧМ являются сигналы постоянной амплитуды (A_0) с постоянным шагом дискретности по частоте (Δf), с постоянной длительностью элемента (τ_0), с постоянной начальной фазой (φ_0) и ортогональностью элементов по частоте и времени. Аналитически такой сигнал в пределах одного периода $N\tau_0 = T$ может быть записан в виде

$$S(t) = A_0 \sum_{i=1}^N \text{rect}[t - (i-1)\tau_0] \exp[-j(\omega_0 t + (N_i - N_n)2\pi\Delta f t + \varphi_0)] \quad (1)$$

Где N_i - номер числовой последовательности на позиции i ;

N – число дискретных частот (число элементов числовой последовательности);

$$N_n = \begin{cases} \frac{N+1}{2}, & \text{если } N - \text{нечетно} \\ \frac{N}{2}, & \text{если } N - \text{четно} \end{cases}$$

$$\tau_0 = \frac{1}{\Delta F}, \Delta F = f_e - f_{e-1}, e = 1, 2, 3, \dots, N$$

На рисунке 1 структурная схема формирователя ПС-сигнала с ДЧМ. В состав схемы входят синтезатор сетки (N+1) когерентных частот (СЧ), цифровой коммутатор (ЦК) и источник цифровой информации (ЦИ). Датчик случайных чисел (ДСЧ) с частотой f_T формирует параллельный двоичный код.

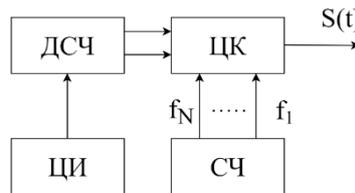


Рис. 1. Структурная схема шумоподобных сигналов с ЧМн

В ДСЧ работает генераторы M-последовательностей. Они позволяют получить псевдослучайную последовательность чисел, причем код числа снимается с разрядов регистра сдвига. Например, M-последовательности значности $N=7 \rightarrow 1110010$ соответствует последовательность чисел в двоичном виде 111, 011, 001, 100, 010, 101, 110, а в десятичном -7, 3, 1, 4, 2, 5, 6.

Число различных кодов равно N. Цифровой коммутатор ставит в соответствие каждому двоичному коду (числу последовательности) конкретно закрепленное за ним значение дискретной частоты, и только сигнал этой частоты в течение времени $\frac{1}{\Delta F} = \tau_0$ пропускается на выход формирователя ПС-сигнала.

Основные структурные и спектрально-корреляционные свойства ДЧМ-сигналов вида (1) изложены ниже

1. Максимально возможное число ДЧМ-сигналов определяется числом различных числовых последовательностей $\{N_i\}: Z = (N-1)!$
2. Амплитудные спектр модуляции периода ДЧМ сигнала представляет собой сумму спектров элементов с различными f_i :

$$S(j2\pi) = \tau_0 \sum_{i=1}^N \frac{\sin \pi(\Delta F N_i - f)\tau_0}{\pi(\Delta F N_i - f)\tau_0} \exp[-j2\pi f \tau_0 (i - \frac{1}{2})] \quad (2)$$

3. Двумерная АКФ комплексной огибающей ПС-сигнала с ДЧМ записывается следующим образом:

$$\rho(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(t)A^*(t-\tau) \exp(j2\pi ft) dt \quad (3)$$

На рисунке 2 и 3 приведена форма АКФ вычислена при $N=2$ и $N=7$ в среде Симулинк

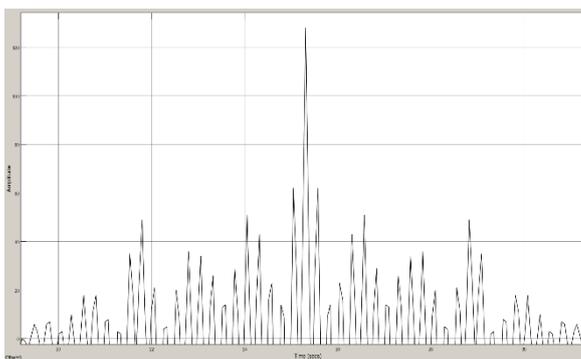


Рис. 2. АКФ при N=2

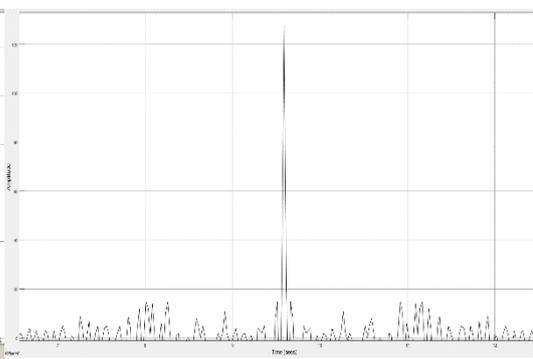


Рис. 3. АКФ при N=7

4. Коэффициент частотно-временной связи ПС-сигнала с ДЧМ определяется так

$$K_{\tau f} = \frac{1}{4\pi^2 T_{эф} F_{эф}} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\partial^2 \rho(\tau, f)}{\partial f \partial \tau} \Big|_{\tau=0, f=0} \right\} \quad (4)$$

Исходя из описанных основных свойств ПС-сигналов с ДЧМ, отметим основные достоинства и недостатки этого класса сигналов.

Основные достоинства:

- возможность получения большого ансамбля квазиортогональных сигналов;
- база сигнала В равна квадрату значности (N^2) модулирующей числовой последовательности;
- спектр сигнала в пределах $F_{эф}$ близок к равномерному и обеспечивает лучшее использование выделенной полосы;
- ширина основного пика АКФ сигнала на уровне 0,5 не превышает величины τ_0/N , т.е. коэффициент сжатия по временной оси пропорционален N^2 ;
- возможность получения боковых остатков АКФ, не превышающих величины $1/N$;
- высокая структурная скрытность.

Основные недостатки:

- сложность формирования ансамбля когерентных ПС-сигналов, связанная с аппаратными трудностями получения сетки когерентных дискретных частот;
- сложность реализации когерентной цифровой обработки сигнала.

Заключение

ПС-сигналы с ДЧМ из-за указанных недостатков находят пока ограниченное применение в РТС, но их потенциальные возможности вероятно, будут реализованы с совершенствованием элементной базы РИС.

Список использованных источников:

1. Информационные технологии в радиотехнических системах / под ред. И. Б. Федорова. – М.: МГТУ Им. Н. Э. Баумана, 2003.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003.
3. Карпушкин, Э.М. Радиотехнические системы. Минск: БГУИР, 2011
4. Карпушкин, Э.М. Основы теории радиотехнических систем. Минск: БГУИР, 1993.