

*Р. А. Ефремов**

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА

Повышение устойчивости к воздействию преднамеренных и непреднамеренных помех и обеспечение работы в сложной электромагнитной обстановке возможно только при применении широкополосных шумоподобных сигналов. В общей теории оптимальной обработки шумоподобных сигналов (ШПС) различают взаимокорреляционные и автокорреляционные методы приема. Взаимокорреляционные методы обычно более эффективны, но в приемных устройствах в этом случае необходимо хранить копии опорных сигналов и осуществлять их синхронизацию с входным сигналом. Обеспечение синхронизации является достаточно сложной (в ряде случаев невыполнимой) задачей, если отношение сигнал/шум на входе приемника меньше единицы или сигнал в канале связи сильно искажается.

Автокорреляционные методы используют в качестве опорных сигналов задержанные копии принимаемых сигналов и не требуют специальных устройств синхронизации.

Существует два, наиболее известных, метода передачи дискретной информации основанные на автокорреляционном приеме: метод

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А. А. Дахновича.

фазоразностной модуляции (ФРМ) (в котором модулируемым параметром является разность фаз двух посылок сигнала) и метод Ланге-Мюллера, который использует корреляционно-временную модуляцию.

В результате настоящего исследования разработан новый метод передачи дискретной информации, отличающийся от существующих тем, что модуляция осуществляется изменением структуры двух соседних посылок шумоподобного сигнала. При этом если передается сигнал логическая «единица», то структура передаваемого ШПС не меняется, если передается логический «ноль», то структура меняется на зеркальную копию (относительно оси времени) ранее переданной посылки сигнала. Предлагаемый метод модуляции поясняется на рис. 1.

Демодуляцию такого сигнала можно выполнить автокорреляционным алгоритмом, вычисляющим значение автокорреляционной функции (АКФ) в максимуме бокового лепестка. Для этого на приемной стороне должно быть два коррелятора, каждый из которых настроен на период следования ШПС. В первом корреляторе производится перемножение принятого сигнала с задержанной на период T копией и интегрирование на интервале T , тем самым реализуется вычисление значения АКФ.

Во втором корреляторе так же производится вычисление значения АКФ, но перед перемножением, задержанный сигнал предварительно «зеркально отображают» относительно временной оси. Структурная схема демодулятора приведена на рис. 2.

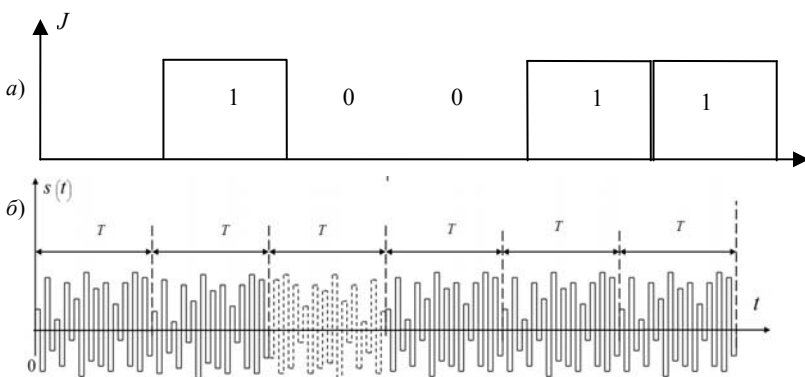


Рис. 1. Иллюстрация метода модуляции двоичных символов:

a – сигнал на входе модулятора; *b* – сигнал на выходе модулятора

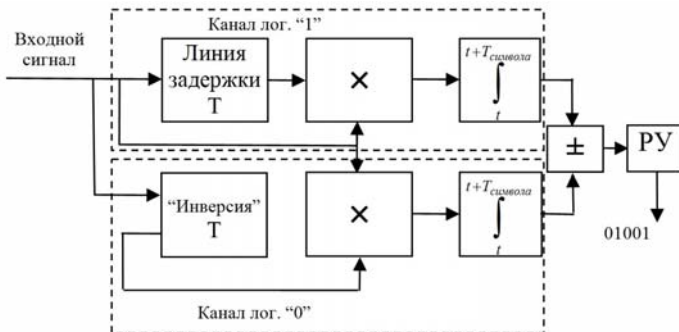


Рис. 2. Блок-схема автокорреляционного демодулятора

Решающее устройство считает принятым тот символ, который соответствует каналу с максимальным значением АКФ на выходе.

Проведем вычисление помехоустойчивости разработанного метода передачи информации.

Пусть логической «единице» соответствует сигнал $A(t)$, а логическому «нулю» $B(t)$, при этом каждый из них рассматривается на интервале двух посылок $2T$:

$$A(t) = a_0(t) + a_0(t - T), \quad B(t) = a_0(t) + a'_0(t - T),$$

где $a_0(t)$ – ШПС длительностью T , полученное путем выборки из стационарного эргодичного случайного процесса с нормальным распределением и равномерным спектром, ограниченным частотой F ; $a'_0(t)$ – является «зеркальной копией» ШПС $a_0(t)$ относительно временной оси; T – длительность символа.

Модулированный сигнал с аддитивной помехой в виде нормального случайного процесса $W(t)$ со спектральной плотностью мощности W в случае символа логической «единицы» можно представить следующим образом – $A(t) + W(t)$, а для логического «нуля» $B(t) + W(t)$. Для логической «единицы» сигнал на выходе вычитателя $C_{\text{выч}}(t)$ будет случайной величиной, которую можно записать следующим образом:

$$C_{\text{выч}}(t) = \int_0^T [A(t) + W(t)][A(t - T) + W(t - T)] dt - \int_0^T [A(t) + W(t)][A'(t - T) + W'(t - T)] dt.$$

Если выполняется условие $FT \geq 30$ [1], то ее математическое ожидание M и дисперсию D можно определить из выражений

$$M = E_A^T = AFT, \quad D = [AW + W^2/2 + A^2/2 + AW + W^2/2]FT,$$

где A – спектральная плотность мощности случайных процессов $a_0(t)$ и $a'_0(t)$; E_A^T – энергия ШПС $a_0(t)$. Выполняя аналогичный анализ для сигнала логического «нуля» и подставляя результаты в формулу вероятности появления ошибочного бита [2], получим следующее выражение:

$$P = \Phi\left(AFT / \sqrt{(A^2/2 + 2AW + W^2)FT}\right)$$

или

$$P = \Phi\left(h / \sqrt{2 + FT/h^2 + h^2/2FT}\right),$$

где F – полоса частот сигнала; $\Phi(x)$ – Гауссов интеграл ошибок; $h^2 = (A/W)FT = E_A^T/W$ – отношение энергии символа к спектральной плотности мощности помехи.

Графики вероятности символьной ошибки для описанного способа модуляции и демодуляции, а также известных способов, проиллюстрированы на рис. 3.

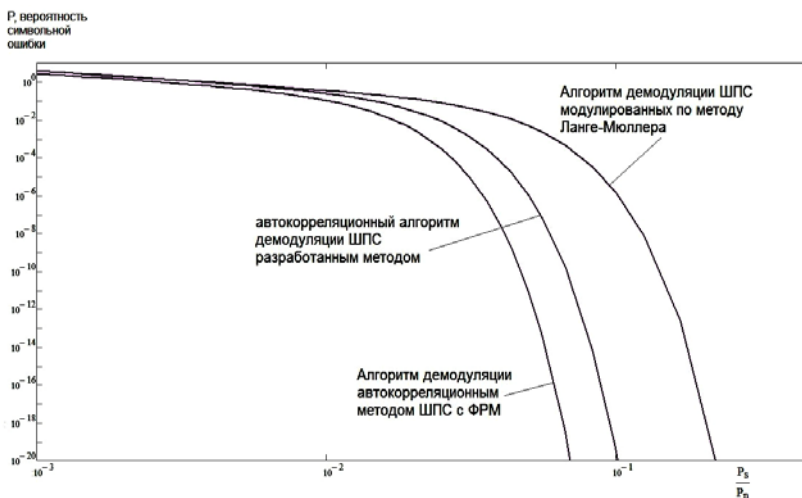


Рис. 3. Вероятность символьной ошибки для различных методов приема ШПС при $B = FT = 10\,000$

Из полученных графиков видно, что разработанный метод передачи информации уступает в помехоустойчивости методу ФРМ с автокорреляционным приемом, однако существует возможность повысить его помехоустойчивость путем использования составного ШПС и автокорреляционного алгоритма демодуляции на основе анализа значений АКФ в множестве точек, соответствующих максимумам боковых лепестков АКФ принимаемых сигналов.

Список литературы

1. *Окунев, Ю. Б.* Широкополосные системы связи с составными сигналами / Ю. Б. Окунев, Л. А. Яковлев ; под ред. А. М. Заездного. – Москва : Связь, 1968. – 168 с.

2. *Скляр, Бернард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Бернард Скляр ; пер. с англ. – 2-е изд. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

Кафедра «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»