

Герасименко Е.С., Шерстюков С.А.

Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации».

### Быстрый алгоритм демодуляции двоичных сигналов с относительной фазовой манипуляцией

Для обработки сигналов с фазовой манипуляцией применяются различные методы и способы. Разработан алгоритм обработки двоичных сигналов с относительной фазовой манипуляцией (ОФМ), отличающийся минимально возможным количеством арифметических операций на период обработки сигнала. Структурная схема данного алгоритма представлена на рис. 1. Информационный символ передается за счет разности фаз принимаемого и предшествующего элементов, равной 0 или  $\pi$ .

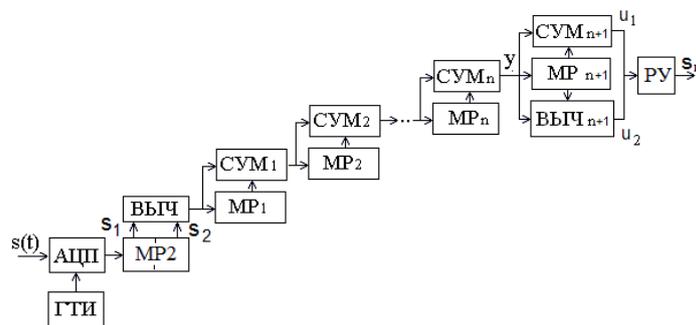


Рис. 1. Структурная схема алгоритма когерентной демодуляции сигнала с относительной фазовой манипуляцией

Отклик алгоритма  $u_i$  для принятого элемента длительностью  $N$  периодов складываются в блоке СУМ<sub>n+1</sub> и вычитаются в блоке ВЫЧ<sub>n+1</sub> со значением  $u_{i-N}$  для предшествующего элемента, записанным в многоразрядном регистре сдвига МР<sub>n+1</sub> емкостью  $N$  отсчетов. В результате получаются следующие функции:

$$u_{1i} = y_{0i} + y_{0(i-N)} = \sum_{k=0}^{2N-1} (s_{1(i-k)} - s_{2(i-k)}), \quad (1)$$

$$u_{2i} = y_{0i} - y_{0(i-N)} = \sum_{k=0}^{N-1} (s_{1(i-k)} - s_{2(i-k)}) - \sum_{k=N}^{2N-1} (s_{1(i-k)} - s_{2(i-k)}). \quad (2)$$

Если величина на выходе сумматора  $u_1 = \pm 4NS$  значит фазы принятых элементов одинаковы. Знак определяется значением 0 или  $\pi$ . При этом на выходе вычитателя  $u_2 = 0$ . Если значения  $u_1 = 0$  и  $u_2 = \pm 4NS$  значит фазы чередуются 0,  $\pi$  или  $\pi$ , 0.

Рассматриваемый алгоритм демодуляции способен детектировать все возможные комбинации фаз. Для данного случая их 4. Фактически реализуется прием сигнала «в целом» [1]. При этом работа решающего устройства заключается в сравнении модулей двух значений  $u_1$  и  $u_2$ , и если  $|u_1| \geq |u_2|$ , то при  $u_1 \geq 0$  фазы двух принятых равны 00, а иначе  $\pi\pi$ , а если  $|u_1| < |u_2|$  то при  $u_2 \geq 0$  фазы двух принятых равны 0 $\pi$ , а иначе  $\pi 0$ .

Сигналы с ОФМ позволяют бороться с обратной работой демодулятора при обработке ФМ сигналов, и в этом случае необходимо определять модули величин  $u_1$  и  $u_2$  для формирования в РУ решения о наличии или отсутствии изменения фазы соседних элементов: если  $|u_2| > |u_1|$ , то принимается решение об изменении фазы на  $\pi$ , а в противном случае – об одинаковых фазах

соседних информационных элементов.

В рамках исследования разработана программа статистического имитационного моделирования когерентного демодулятора сигналов с двоичной фазовой манипуляцией, ее рабочее окно показано на рис. 4. В верхней его части расположены поля редактирования несущей частоты (по умолчанию  $f_0 = 10 \text{ МГц}$ ), объема выборки символов  $L = 1000000$ , числа  $N = 64$  периодов  $T_0 = 1/f_0$  в информационном символе и значения отношения сигнал/шум  $h \text{ дБ}$  (начальное, конечное и шаг изменения [3]).

В левой части рабочего окна расположен выпадающий список выбора цифровой модели узкополосного приемного тракта при  $N_M = 0$  (тракт отсутствует) и  $N_M = 16, 32, 64$ , а также поле ввода значения отклонения фазы  $\Delta\varphi$  опорного генератора от состояния идеальной синхронизации (по умолчанию  $\Delta\varphi=0$ ). Ниже расположена таблица вывода результатов моделирования с теоретическим и экспериментальными значениями вероятности ошибки. В графической области показана теоретическая (сплошная линия) и полученная в результате статистического имитационного моделирования (отмечена точками) зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум  $h \text{ дБ}$ .

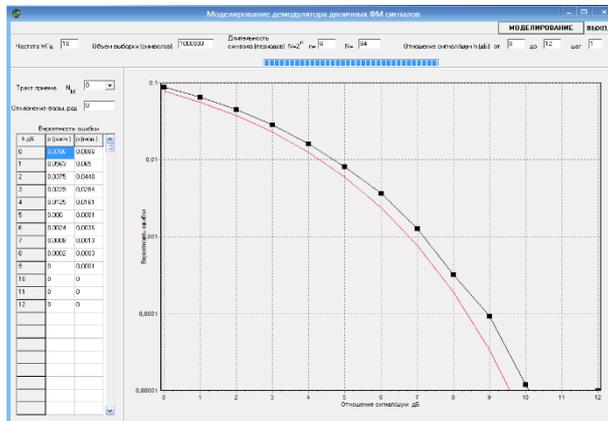


Рис. 4. Программа статистического имитационного моделирования когерентного демодулятора сигналов с двоичной фазовой манипуляцией

Приведенные на рис. 4 результаты соответствуют  $N = 64$ ,  $N_M = 0$  и  $\Delta\varphi = 0$ . Как видно, моделирование подтверждает теоретические расчеты.

На рис. 5 а и рис. 5 б представлены результаты моделирования при использовании узкополосного приемного тракта при  $N_M = N/4 = 16$  - сравнительно широкая полоса пропускания радиотракта (рис. 5 а) и  $N_M = N/2 = 32$  - узкая полоса пропускания (рис. 5 б).

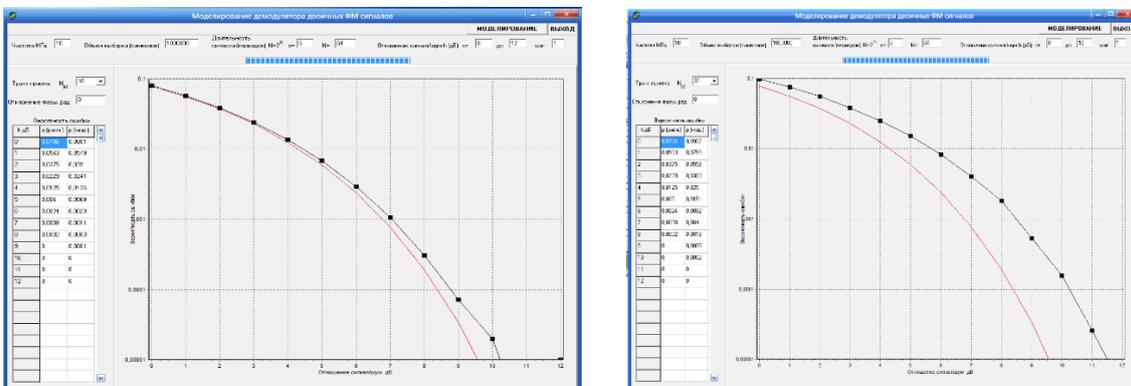


Рис. 5. Результаты моделирования при использовании узкополосного приемного тракта при

а)  $N_M = 16$ ; б)  $N_M = 32$

Как видно, снижение полосы пропускания приемного тракта (при изменении  $N_M$  от 0 до  $N/4 = 16$ ) не приводит к заметному изменению вероятности ошибки, хотя при этом шум становится узкополосным и его мощность уменьшается в несколько раз, а в более узкополосном тракте (при  $N_M = N/2 = 32$ ) помехоустойчивость значительно ухудшается за счет падения энергии элемента сигнала. Таким образом, моделирование подтверждает сделанные ранее выводы о влиянии узкополосности приемного тракта на помехоустойчивость демодулятора. Необходимость использования узкополосных приемных трактов при  $N_M > N/4$  может возникнуть при наличии в них, например, узкополосных помех.

Приведенные результаты моделирования свидетельствуют о том, что предлагаемый быстрый цифровой алгоритм когерентной демодуляции фазоманипулированных сигналов оптимально выделяет информационный сигнал из входного шума.

Рассматриваемая программа позволяет оценить влияние на вероятность ошибки детерминированного смещения  $\Delta\varphi$  фазы опорного (тактового) сигнала (погрешности фазовой синхронизации). Нарушение синхронного режима когерентного демодулятора приводит к значительному снижению помехоустойчивости.

Предлагаемый быстрый алгоритм демодуляции двоичных сигналов с относительной фазовой манипуляцией отличается от существующих выполнением минимально возможного числа простых арифметических операций на период сигнала, что подтверждается классической теорией цифровой обработки сигналов.

### Литература

1. Финк Л. М Теория передачи дискретных сообщений. / Л. М Финк. – М. : Советское радио, 1970. – 728 с.
2. Герасименко Е. С. Алгоритм цифровой демодуляции четырехпозиционных ФМ сигналов. // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии. 2017. – № 3-2. – С. 119-125.
3. Герасименко Е. С. «Программа моделирования устройства демодуляции двухпозиционных фазоманипулированных сигналов» : программа для ЭВМ / Е. С. Герасименко // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Свидетельство № 2017615092; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03 мая 2017 г.