УДК 621.396.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНЫХ «СОЗВЕЗДИЙ» ПРИ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

Полушин П.А., *д.т.н., профессор, профессор кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, e-mail: polushin.p@mail*
Корнеева Н.Н., *к.т.н., заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, e-mail: korneevanata@mail.ru*
Архипов Н.А., *аспирант кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, e-mail: polushin.p@mail*
Крамаренко Н.И., *магистрант кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, e-mail: polushin.p@mail*

USING OF ASYMMETRICAL «EYES DIAGRAM» IN DIGITAL SIGNALS PHASE MODULATION

Polushin P.A., Korneeva N.N., Arhipov N.A., Kramarenko N.I.

Currently, differential types of modulation are widely used in information transmission systems to eliminate the uncertainty of phase adjustment during demodulation in the receiver. However, there is a 1-3 dB loss in noise immunity. It is proposed to use asymmetric «constellations» in phase modulation, which make it possible to abandon differential modulation.

Key words: phase modulation, types of differetial modulation, «eyes diagram» in phase modulation.

Ключевые слова: фазовая модуляция, дифференциальные виды модуляции, «созвездие» при фазовой модуляции.

В настоящее время в системах передачи информации широко используются дифференциальные виды модуляции, позволяющие устранить неопределенность подстройки фазы при демодуляции в приемнике. Однако при этом имеет место проигрыш по помехоустойчивости на 1-3 дБ. Предлагается использовать асимметричные «созвездия» при фазовой модуляции, которые дают возможность отказаться от дифференциальной модуляции.

Введение

При детектировании цифровых фазомодулированных (фазоманипулированных) сигналов обычно используется корреляционная обработка принятого сигнала с помощью опорного генератора (ОГ), расположенного в приемнике [1]. При этом принятый сигнал (при использовании модуляции BPSK – binary phase shift keying, двоичной фазовой манипуляции) перемножается с сигналом ОГ, далее результат перемножения интегрируется на интервале времени, равным длительности символа. На основе анализа знака этого напряжения принимается решение о том, какой информационный символ передавался.

При использовании других видов фазовой модуляции (QPSK, QAM и др.) используются два ОГ, вырабатывающих ортогональные сигналы для корреляционной обработки. Решение о том, какая комбинация информационных символов передавалась, принимается на основе анализа соотношения уровней двух выделенных компонент принятого сигнала.

Для синхронизации фазы сигнала ОГ с целью удаления информационной компоненты могут использоваться различные методы, такие, как умножение частоты принятого сигнала, применение схемы Костаса и др. [1-5]. Однако при этом возникает возможность того, что фаза ОГ настроится не на правильную фазу, а на другое ее значение. Оно может отличаться от правильного значения на 180º, на 90º и др. При этом правильная демодуляция становится невозможной.

Одним из основных методов борьбы с неоднозначностью настройки является переход к дифференциальным видам модуляции, когда передаваемая информация заключается не в абсолютном значении фазы принятого символа, а в ее изменении относительно фазы предыдущего принятого символа.

Однако при этом подобные виды модуляции (DBPSK, DQPSK и др.) обладают существенными недостатками. Один из них заключается в том, что в качестве опорного применяется сигнал предыдущего символа, который также поражен шумами, как и сигнал текущего символа. Это заметно ухудшает отношение «сигнал/шум» и увеличивает вероятность ошибки.

Другой недостаток состоит в возможном размножении ошибок, что также ухудшает среднюю помехоустойчивость передачи. В результате наблюдается проигрыш по помехоустойчивости до 3 дБ.

Однако возможно использовать метод, который позволяет правильно настроить сигнал ОГ без применения дифференциальной модуляции и без существенного снижения помехоустойчивости в результате этого. Метод заключается в определенном изменении вида «созвездия», применяемого в передатчике для осуществления фазовой модуляции.

Теоретическое обоснование метода

Рассмотрим методы модуляции (манипуляции, цифровой модуляции) BPSK и QPSK. «Созвездия» этих ви-

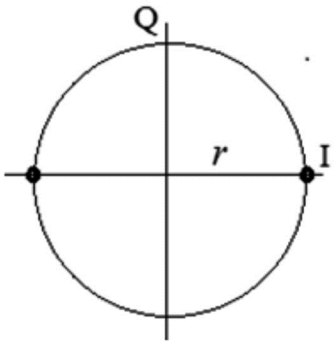


Рисунок 1

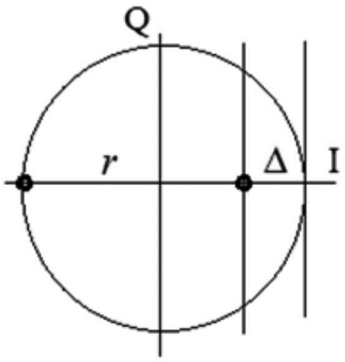


Рисунок 2

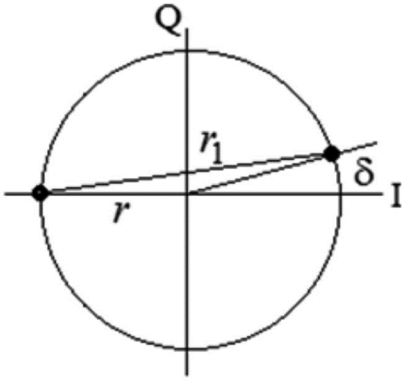


Рисунок 3

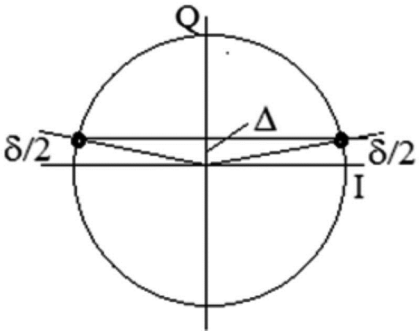


Рисунок 4

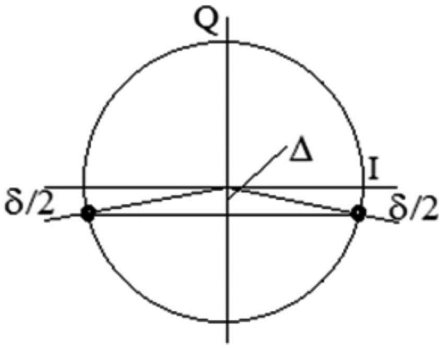


Рисунок 5

дов модуляции образованы точками, расположенными симметрично. В описываемом методе предлагается использовать асимметричное расположение точек в «созвездии».

Для метода BPSK на рисунках 1, 2 и 3 приведены исходный вид «созвездия» (рисунок 1, и два варианта асимметричного созвездия (рисунок 2 с радиальным смещением точки «созвездия» и рисунок 3 с ее угловым смещением). На приемной стороне при классическом виде «созвездия» без использования дифференциальной модуляции начальная фаза ОГ может случайно принимать и значение 0º, и значение 180º. Общий вид «созвездия» из-за его симметричности не изменится и правильная демодуляция затруднительна.

В предлагаемом методе для варианта с радиальным смещением после демодуляции одна из точек созвездия будет расположена ближе к началу координат, чем другая, что укажет на правильное значение фазы ОГ. Для варианта с угловым смещением одной из точек «созвездие» может принимать один из двух видов, приведенных на рисунке 4 и рисунке 5, где первый соответствует «правильной» фазе напряжения ОГ, а второй – его «неправильной» фазе.

Однако применение предлагаемого метода приводит к определенному снижению помехоустойчивости, т.к. расстояние между точками в асимметричном «созвездии» несколько уменьшается. Чем больше выражена асимметрия, тем заметнее ухудшение помехоустойчивости, но тем проще получать правильное значение начальной фазы ОГ.

Определим соответствующие показатели для обоих вариантов асимметричного «созвездия».

Вариант 1 (радиальное смещение точки «созвездия»). Основной причиной возникновения ошибок является воздействие теплового шума, имеющего гауссово распределение и дисперсию, равную σ_0^2. Поскольку при корреляционной демодуляции ошибки возникают из-за одной из двух ортогональных компонент шума, то при классическом виде «созвездия» вероятность возникновения битовой ошибки будет равна

$$P_0(x) = 1 - F[r/\sigma_1] = 0,5 - 0,5erf[r/\sigma_1\sqrt{2}],$$

где $F(\cdot)$ – интегральная гауссова функция; r – амплитуда полезного сигнала; $\sigma_1^2 = 0,5\sigma_0^2$.

При использовании предлагаемого метода она станет равной

$$P_1(x) = 1 - 0,5F[(r-\Delta)/\sigma_1] - 0,5F(r/\sigma_1).$$

Вариант 2 (угловое смещение точки «созвездия»). В данном случае расстояние между противоположными точками «созвездия» будет равно $r_1 = \sqrt{2}r\sqrt{1+\cos\delta}$. Соответственно, вероятность возникновения ошибки будет равна

$$P_2(x) = 1 - F(r_1/2\sigma_1) = 0,5 - 0,5erf[r\sqrt{1+\cos\delta}/2\sigma_1].$$

Теперь определим вероятность неправильной подстройки фазы ОГ для обоих вариантов.

Вариант 1.

Пусть, подстройка фазы ОГ производится по n символам и требуемое значение фазы ОГ выбрано правильно. Устройство должно суммировать значения всех символов после демодуляции. Каждое из них будет равно либо $-r$, либо $r-\Delta$. Поскольку появление обоих вариантов можно считать равновероятным, то среднее арифметическое значение r_M такой суммы будет близким к $-n\Delta/2$. То есть индикатором правильной настройки фазы является отрицательное значение данной суммы.

В результате действия шума каждое из значений имеет гауссово распределение с дисперсией, равной σ_1^2, поэтому и среднее арифметическое значение так-

же будет иметь гауссово распределение с дисперсией, равной $n\sigma_1^2$. Индикатором правильной настройки фазы ОГ служит знак этой суммы. Если он отрицательный, то фаза генератора настроена правильно. Если он положительный, то фаза ОГ выбрана неправильно, и вместо передаваемой информационной последовательности при демодуляции формируется ее инвертированная копия. Это тоже является решением, и проведением последующего дополнительного инвертирования правильная информационная последовательность восстанавливается.

Ошибка при демодуляции будет иметь место, если в первом случае значение величины r_M получится положительным, а во втором случае – отрицательным.

В обеих ситуациях ее величина будет равна

$$P_{D1} = 1 - F(n\Delta/\sigma_1^2 2\sqrt{n}) = 0,5 - 0,5erf(\Delta\sqrt{n}/2\sigma_1^2).$$

Вариант 2. При таком варианте асимметричного «созвездия» фаза ОГ настроится таким образом, что «созвездие» будет расположено либо как показано на рисунке 4 («правильная» настройка фазы ОГ, либо как показано на рисунке 5 («неправильная» настойка фазы генератора).

Для определения правильности настройки совместно с основным сигналом ОГ используется еще один вспомогательный сигнал, ортогональный ему. Его фаза отличается от фазы основного генератора на 90º. С помощью его сигнала также производится демодуляция входного сигнала. Результаты демодуляции усредняются за n символов, и определяется знак результата усреднения.

Результат усреднения представляет собой проекцию величиной $\Delta = r\sin\delta$ точки «созвездия» на вертикальную ось. Если она положительная, то фаза ОГ настроена правильно. Если проекция отрицательная, то фаза настроена неправильно.

Таким образом, аналогично предыдущему варианту, величина ошибки настройки при длине n анализируемой выборки будет равна

$$P_{D2} = 1 - F(nr\sin\delta/\sigma_1^2 2\sqrt{n}) =$$
$$= 0,5 - 0,5erf(\sqrt{n}r\sin\delta/2\sigma_1^2).$$

Теперь рассмотрим модуляцию QPSK. Здесь также возможны радиальная и угловая деформация «созвездия». На рис. 6 приведены оба этих варианта, обозначенные цифрами 1 и 2 соответственно. Кроме того, для удобства все созвездие повернуто на 45º.

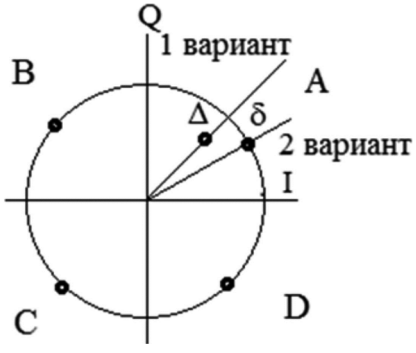


Рисунок 6

Попадание измеренной фазы каждого принятого символа в один из квадрантов (A, B, C, D) будет означать, что принята очередная пара информационных логических сигналов в соответствии с вариантом значений этой пары, приписанным к такому символу.

Из-за воздействия шумов фаза очередного символа может попасть не в нужный квадрант, а в соседний или в противоположный. При использовании кода Грея это приведет, соответственно, либо к ошибке в одном из пары информационных символов, либо в обоих информационных символах.

При той же длительности символов средняя вероятность возникновения ошибки из-за воздействия шумов будет равна для недеформированного «созвездия»

$$P_0 = 2\cdot 0,5[1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})] + [1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})]^2 =$$
$$= [1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})] + [1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})]^2.$$

Для радиальной деформации

$$P_1 = 0,75\{[1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})] + [1 - F(r/\sigma_1\sqrt{2})]^2\} +$$
$$+0,25\{1 - F[(r-\Delta)/\sigma\sqrt{2}]\} + 0,25\{1 - F[(r-\Delta)/\sigma_1\sqrt{2}]\}^2.$$

Для угловой деформации

$$P_1 = 0,75\{1 - F(\frac{r}{\sigma_1\sqrt{2}}) + [1 - F(\frac{r}{\sigma_1\sqrt{2}})]^2\} +$$
$$+0,25\cdot 0,5\{1 - F[\frac{r\sin(45° - \delta)}{\sigma_1}]\} + 0,25\times$$
$$\times 0,5\{1 - F[\frac{r\cos(45° - \delta)}{\sigma_1}]\} +$$
$$+0,25\{1 - F[\frac{r\sin(45° - \delta)}{\sigma_1}]\}\{1 - F[\frac{r\cos(45° - \delta)}{\sigma_1}]\}.$$

Определим вероятность неправильной подстройки фазы ОГ для обоих вариантов. Рассмотрим «созвездие» без поворота на 45º (рисунок 7).

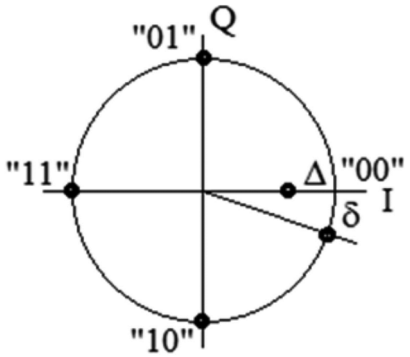


Рисунок 7

При удалении влияния модуляции учетверением частоты с последующей подстройкой генератора и делением его частоты на четыре, или с использованием схемы Костаса, фаза колебания генератора примет одно из четырех значений, близких к 0º, к 90º, к 180º или к 270º. Далее с использованием асимметричности «созвездия» определяется, какой из этих вариантов в текущий момент имеет место.

Пусть при «правильном» значении фазы генератора соответствие значений фазы и пары информационных символов таково, что фазе 0º соответствует пара логических символов «00», фазе 90º соответствует «01», фазе 180º соответствует «11» и фазе 270º соответствует «10».

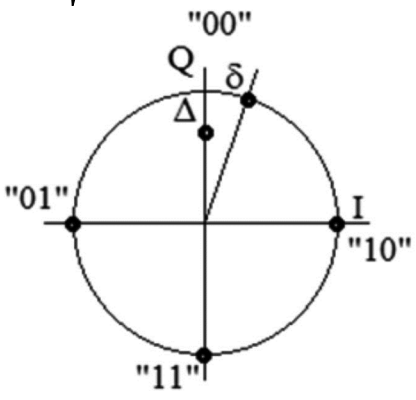


Рисунок 8

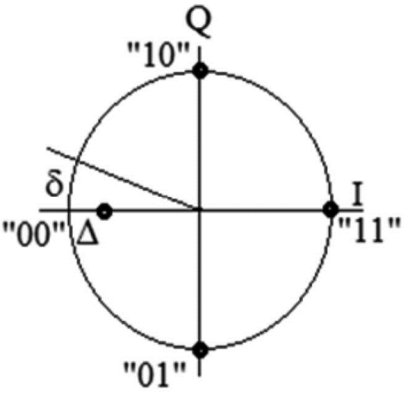


Рисунок 9

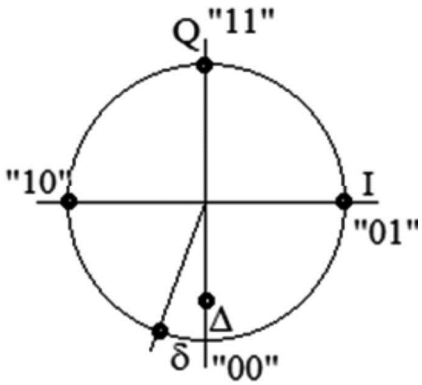


Рисунок. 10

Если же к фазе сигнала ОГ при подстройке дополнительно добавилось одно из других трех возможных, то, если станет известно, какое из них добавилось, в этой ситуации нет необходимости перестраивать фазу ОГ. Тогда достаточно определить, какая из них добавилась к «правильной» фазе, и уже на основе получившейся фазы генератора демодулировать принимаемый сигнал на основе одного из приведенных на рисунках 7-10 вариантов соответствия фазы и значения пары логических сигналов. Например, при правильной фазе генератора (рисунок 7) паре символов «00» соответствуют значения ортогональных составляющих $I > 0$, $Q \approx 0$, паре символов «01» – $I \approx 0$, $Q > 0$, паре символов «11» – $I < 0$, $Q \approx 0$, а паре символов «01» – $I \approx 0$, $Q < 0$.

При добавлении к правильной фазе генератора угла, равного 90º (рисунке 8), паре символов «10» соответствуют значения ортогональных составляющих $I > 0$, $Q \approx 0$, паре символов «00» – $I \approx 0$, $Q > 0$, паре символов «01» – $I < 0$, $Q \approx 0$, а паре символов «11» – $I \approx 0$, $Q < 0$. и т.д.

Для демодуляции QPSK используются два ортогональных напряжения. Пусть одно из них будет опорным, а другое, фаза которого сдвинута относительно опорного на 90º, – дополнительным. Определение, какая фаза сформирована, производится следующим образом. С помощью обоих генераторов производится вспомогательная демодуляция, то есть определяются значения ортогональных составляющих I и Q принимаемых символов. Далее для всех принятых символов складываются все полученные значения Q и I по отдельности каждой из обеих ортогональных компонент и определяются знаки и величины этих сумм, соответственно, r_{IM} и r_{QM}. Поскольку появление логических нулей и единиц в передаваемой последовательности можно считать равновероятным, то сочетание из знаков укажет на то дополнительное значение фазы, которое добавилось к ее правильному значению.

В частности, если будет зафиксировано сочетание: $r_{IM} > 0$, $r_{QM} \approx 0$, то сформирована «правильная» фаза ОГ (рисунок 7), если сочетание $r_{IM} \approx 0$, $r_{QM} > 0$, то при формировании фазы ОГ к нему добавилось значение 90º (рисунок 8). Если будет зафиксировано сочетание $r_{IM} < 0$, $r_{QM} \approx 0$, то при формировании фазы ОГ к нему добавилось значение 180º (рисунок 9). Если будет зафиксировано сочетание $r_{IM} \approx 0$, $r_{QM} < 0$, то при формировании фазы ОГ к нему добавилось значение 270º (рисунок 10). В соответствии с этим будет использован один из вариантов демодуляции.

Вариант 1 (радиальная деформация).

Как и в случае использования модуляции BPSK, подстройка фазы ОГ производится по n символам. Пусть требуемое значение фазы ОГ выбрано правильно. Устройство суммирует значения всех символов по отдельности по каждой ортогональной составляющей. По составляющей I каждое из них будет равно либо $-r$, либо r-Δ. Поскольку появление обоих вариантов можно считать равновероятным, то среднее арифметическое значение r_{IM} такой суммы будет близким к $-n\Delta/2$. По составляющей Q значения будут равны либо r, либо $-r$. Среднее арифметическое значение r_{QM} такой суммы будет близким к нулю.

В результате действия шума каждое из значений имеет гауссово распределение с дисперсией, равной σ_1^2, поэтому и среднее арифметическое значение обеих сумм также будет иметь гауссово распределение с дисперсией, равной $n\sigma_1^2$. Индикатором правильной настройки будет выполнение условий: $r_{IM} < 0$, $|r_{QM}| < |r_{IM}|$.

Вероятность неправильной настройки будет равна:

$$P_{D1} = [1 - F(\Delta\sqrt{n}/2\sigma_1)][F(\Delta\sqrt{n}/2\sigma_1) - F(-\Delta\sqrt{n}/2\sigma_1)].$$

Поскольку все четыре варианта значения сформированной дополнительной фазы равноправны, то и ошибка в трех остальных случаях будет иметь такое же выражение.

Вариант 2 (угловая деформация).

Здесь тоже сравниваются значения двух сумм результатов демодуляции принимаемых символов с ортогональными напряжениями, но значения пар логических символов по-другому соответствуют значениям сумм.

При правильном формировании фазы ОГ дополнительная фаза отсутствует (рисунок 7), соответствующие значения сумм будут $r_{IM} \approx 0$, $r_{QM} < 0$. При формировании дополнительной фазы 90º (рисунок 8) соответствующие значения сумм будут $r_{IM} > 0$, $r_{QM} \approx 0$. При формировании дополнительной фазы 180º (рисунок 9) соответствующие значения сумм будут $r_{IM} \approx 0$, $r_{QM} > 0$. При формировании дополнительной фазы 270º (рисунок 10) соответствующие значения сумм будут $r_{IM} < 0$, $r_{QM} \approx 0$.

Аналогично предыдущему варианту, вероятность неправильной настройки при любом значении дополнительной фазы будет равна:

$$P_{D1} = [1 - F(r\sin\delta\sqrt{n}/2\sigma_1)][F(r\sin\delta\sqrt{n}/2\sigma_1) -$$
$$-F(-r\sin\delta\sqrt{n}/2\sigma_1)].$$

Поскольку здесь также все четыре варианта значения сформированной дополнительной фазы равноправны, то и ошибка в трех остальных случаях будет иметь такое же выражение.

На рисунках 11-13 приведены в качестве примера графики зависимостей, полученных на основе приведенных выражений. Графики на рисунке 11 показывают зависимость вероятности битовой ошибки для модуляции BPSK (графики под номером 2) и QPSK (графики под номером 1) от величины отношения «сигнал/шум». Графики для ситуации отсутствия асимметрии обозначены точками, для радиальной симметрии – сплошными линиями, а для ситуации угловой асимметрии – прерывистыми линиями. Параметры асимметрии: $\Delta = 0{,}3r$, $\delta = 0{,}3$ радиан.

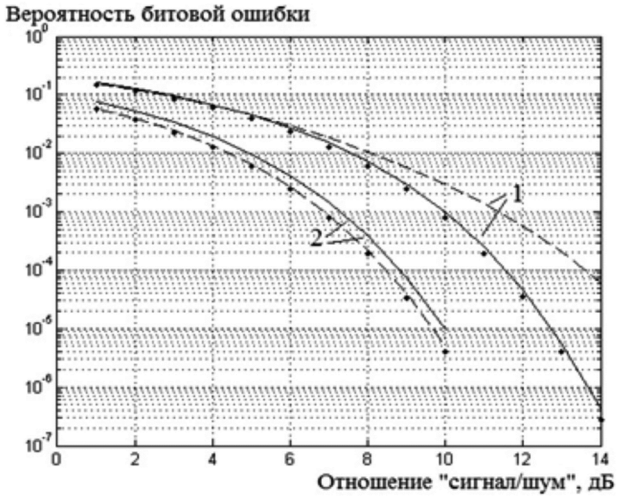


Рисунок 11

Графики на рисунке. 12 относятся к модуляции BPSK, графики на рисунке 13 – к модуляции QPSK. Сплошные линии соответствуют радиальной асимметрии, прерывистые – угловой. Номера графиков на обоих рисунках относятся к количеству усредняемых символов: 1) $n = 10$, 2) $n = 20$, 3) $n = 30$.

Реализация описанных методов введения асимметрии в «созвездие»

На рисунках 14 и 15 приведены структурные схемы для реализации метода введения асимметрии при BPSK (рисунок 14 для радиальной деформации и рисунок 15 для угловой) и QPSK (рисунок 16 для радиальной и для угловой деформации).

На рисунке 14 на основе принятого сигнала блоком автоподстройки фазы (БАПФ) фаза ОГ подстраивается под фазу несущей. В корреляторе (Корр) с помощью напряжения ОГ производится корреляционная обработка принятых сигналов, т.е. их перемножение на напряжение ОГ и усреднение результатов перемножения на интервале длительности символа. В усреднителе (Уср) усредняется определенное количество значений демодулированных символов, а в детекторе знака (ДЗ) определяется знак получившегося результата усреднения.

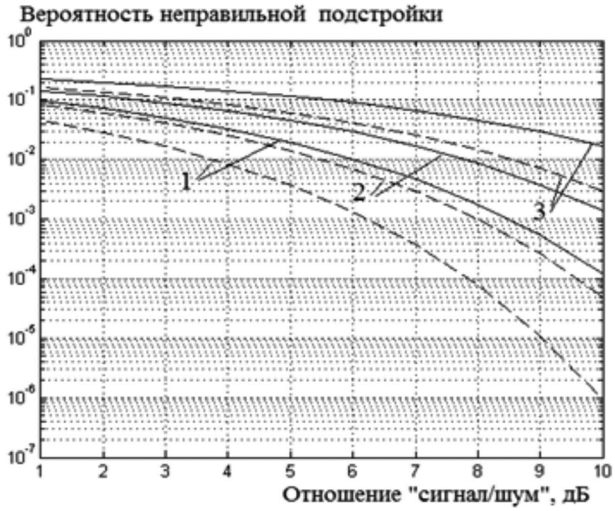


Рисунок 12

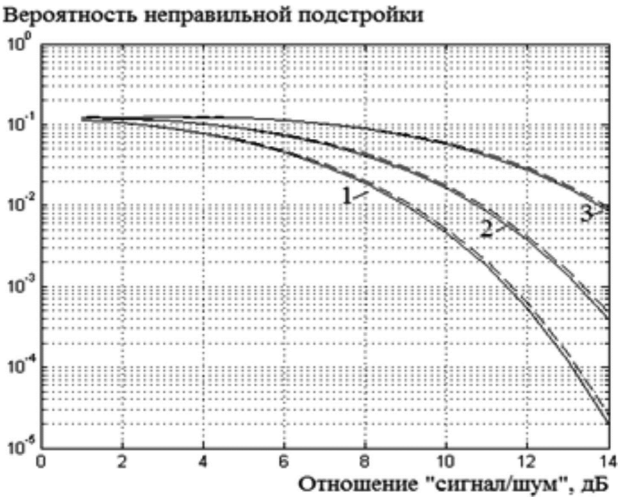


Рисунок 13

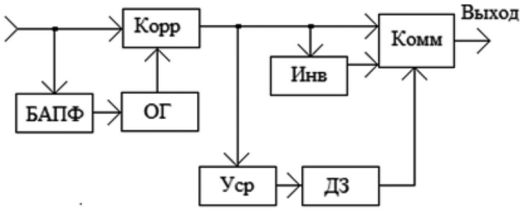


Рисунок 14

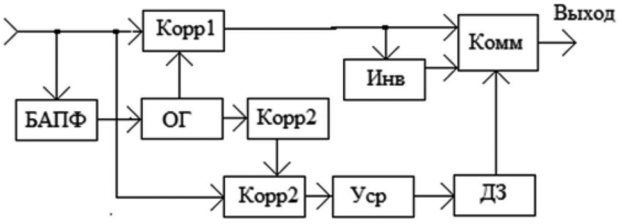


Рисунок 15

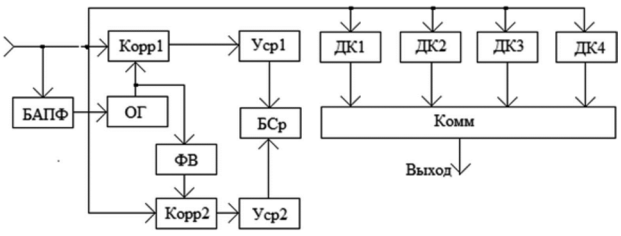


Рисунок 16

Этот знак укажет на наличие или отсутствие добавленной фазы 180º к «правильной» фазе ОГ, то есть последовательность принятых символов демодулирована правильно или она получилась инвертированной. Этот знак управляет работой коммутатора (Комм). В одной ситуации, когда фаза ОГ сформирована правильно, коммутатор подключает на выход схемы для дальнейшей обработки сигнал непосредственно с выхода корреляторa. В другой ситуации, если к «правильной» фазе ОГ добавилась дополнительная фаза 180º, сигнал корреляторa инвертируется в инверторе (Инв). Правильный результат демодуляции восстанавливается и подается коммутатором на выход схемы.

В схеме для угловой деформации (рисунок 15) обозначения блоков такие же, но дополнительно добавлены еще один коррелятор (Корр 2) и блок фазовращателя на 90º (Фв). На второй коррелятор подается напряжение, ортогональное напряжению, подаваемому на первый коррелятор. Далее его выходное напряжение также усредняется за определенное количество символов, и детектор знака определяет знак результата усреднения. На основе его управляется коммутатор, подключая на выход схемы либо сигнал непосредственно с первого корреляторa, либо после инвертора.

На рисунке 16 приведена схема, реализующая метод для радиальной и угловой деформации при модуляции QPSK. Сформированный сигнал ОГ может иметь либо «правильную» фазу, либо к нему может добавиться фаза, равная 90º, 180º, или 270º. Каждый из декодеров ДК1, ДК2, ДК3 и ДК4 настроен для декодирования одного из этих четырех вариантов. Для определения, какой же из них имеет место в текущий момент, входной сигнал демодулируется с помощью двух корреляторов, на которые подаются ортогональные напряжения. В блоке сравнения (БСр) анализируется сочетание значений результатов усреднения выходных напряжений корреляторов и, в соответствии с описанным правилом, управляется коммутатор, подключающий на выход схемы тот из четырех декодеров, который правильно декодирует входной сигнал.

Заключение

Использование деформированного вида «созвездий» при фазовой модуляции позволяет отказаться от применения дифференциальных видов модуляции, что дает возможность повысить помехоустойчивость передачи информации на 1-3 дБ. Вводимая асимметрия может быть различного вида, однако предпочтительнее угловая асимметрия, полнее использующая энергетические возможности передатчика.

Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

2. Полушин П.А., Киселев А.Ю., Шалина В.В. Исследование влияния шумов приемника на систему фазовой автоподстройки с умножением частоты при использовании фазоманипулированных сигналов. Проектирование и технология электронных средств. 2022. № 2. С. 26-29.

3. Полушин П.А., Никитин О.Р. Модификация схемы Костаса для автоподстройки фазы в системах с подавленной несущей. Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2022. № 2. С. 58-66.

4. Патент РФ № 208271 на полезную модель «Устройство фазовой автоподстройки системы с фазовой модуляцией», авторы Полушин П.А., Никитин О.Р., Прасолов А.В., Бобрус С.Ю., Зарегистрирован 01.12.21, Бюл. № 34.

5. Lee-Fang Wei. Rotationally Invariant Convolutional Channel Coding with Expanded Signal Space. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. vol. SAC-2, no. 5, September, 1984.

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей организации на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).

Журнал «Цифровая обработка сигналов» издается с 1999 года. Выходит ежеквартально, тиражом 200 экз.

Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в Перечень изданий, рекомендуемый ВАК РФ для публикации результатов научных исследований соискателями ученой степени доктора и кандидата технических наук в области радиотехники, связи, вычислительной техники, электроники, приборостроения, информационных технологий, информационно-измерительных и управляющих систем. Журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в базу данных Web of Science –Russian Science Citation Index.

Планируемые сроки издания отдельных номеров журнала:

– № 1 март 2025 г. Тематический выпуск: «ЦОС в инфокоммуникационных системах».

– № 2 июнь 2025 г. Тематический выпуск по материалам 27-й Международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение-DSPA».

– № 3 сентябрь 2025 г. Тематический выпуск: «Цифровая обработка изображений».

– № 4 декабрь 2025 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».

Ориентировочная стоимость рекламных услуг:

4-я (внешняя) страница цветной обложки – 25 тысяч рублей.

2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки – 15 тысяч рублей.

1\2 цветной внутренней полосы – 8 тысяч рублей.

Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора

д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович, телефон 8-903-834-81-81.

Предложения прошу направлять по адресу: E-mail: vityazev.v.v@rsreu.ru или info@dspa.ru