РАЗДЕЛ X. РАДИОТЕХНИКА

Сысолятин Е.А., Хазан В.Л.

Модем с частотно-фазовой модуляцией для адаптивных каналов связи декаметрового диапазона радиоволн

doi: 10.18411/sr-10-06-2021-27

Каналы связи коротковолнового (декаметрового) диапазона радиоволн являются нестационарными, то есть каналами связи с переменными параметрами. Условия связи в такого рода каналах передачи сообщений постоянно меняются и оцениваются как «плохие», «средние» и «хорошие». В плохих и средних условиях связи более предпочтительным методом манипуляции является частотный метод, который по сравнению с фазовым методом манипуляции менее чувствителен к доплеровскому рассеянию спектра сигнала, которое характерно для этих условий связи. В хороших условиях связи более предпочтительным методом манипуляции является метод относительной фазовой манипуляции, который в канале с аддитивным шумом имеет наиболее высокую помехоустойчивость. Так как во время сеансов связи качество канала непрерывно изменяется, то средства связи необходимо непрерывно адаптировать к тем условиям связи, которые существуют в текущий момент времени.

Обычно, если передача ведется методом частотной манипуляции, то при улучшении условий связи повышают либо скорость манипуляции, либо переходят на многочастотную, например, двойную частотную манипуляцию, увеличивая как в том, так и в другом случае пропускную способность канала связи и, соответственно, расширяя полосу частот, которую занимает спектр передаваемого сигнала, что приводит к соответствующей потере помехоустойчивости.

Однако можно избежать расширения спектра ЧМ сигнала при увеличении пропускной способности канала связи в хороших условиях связи увеличивая ее не за счет, например, увеличения скорости манипуляции, а за счет того, что в хороших условиях связи возможно организовать одновременную манипуляцию несущего колебания как по частоте, так и по фазе с сохранением скорости манипуляции, увеличивая его пропускную способность в два или большее число раз без увеличения полосы частот с минимальными потерями помехоустойчивости сигнала.

На рисунке 1 приведена блок-схема модема с ЧМ сигналами.

В отличие от амплитудной и фазовой манипуляции частотная манипуляция занимает более широкую полосу при передаче сообщений с той же скоростью манипуляции.

Сущность сигналов ЧТ заключается в том, что для каждого значения элементов сообщения «1» или «0», передаваемых в тот или иной момент времени, выделяются соответствующие частоты: F_1 и F_0 .

На рисунке 2 приведена блок-схема модема с сигналами, манипулированными методом ОФМ.

В присутствии аддитивного шума однократная относительная фазовая манипуляция энергетически выигрывает у частотной манипуляции порядка 3-х дБ по той причине, что для передачи сообщений использует в два раза менее широкую полосу частот. Суть относительной фазовой манипуляции заключается в том, что значение передаваемого символа сообщения («1» или «0») содержится в двух соседних, следующих друг за другом, элементах. Если начальные фазы этих элементов одинаковые, то передается одно значение символа, а если начальные фазы соседних элементов разные, то передается другое значение символа.

Преимуществом предлагаемого способа повышения пропускной способности канала связи с частотно-манипулированными сигналами за счет дополнительной относительной фазовой манипуляции является то, что при увеличении пропускной способности канала связи не путем увеличения скорости манипуляции и не путем увеличения числа поднесущих, как это делается при двойной частотной манипуляции, а за счет дополнительной манипуляции поднесущих по фазе, полоса частот не изменяется, а относительная фазовая манипуляция в хороших условиях связи превосходит по помехоустойчивости частотную манипуляцию, что в итоге не влечет за собой снижение помехоустойчивости канала в хороших условиях связи при увеличении его пропускной способности при одновременной частотной и относительной фазовой манипуляции.

На рисунке 3 изображена блок-схема модулятора сигнала с ЧМ-ОФМ для одновременной передачи по одному радиоканалу дискретных сообщений от двух корреспондентов.

На рисунке 4 изображена блок-схема соответствующего демодулятора сигналов с ЧМ-ОФМ.

На рисунке 4 обозначено:

F1 – фильтр для колебания с поднесущей частотой, на которой передается символ «1»;

F0 – фильтр для колебания с поднесущей частотой, на которой передается символ «0»;

АД – амплитудные детекторы;

«-» – вычитатель сигналов;

ФНЧ – фильтр нижних частот;

ТР – триггер;

РЕГ – регенератор;

ОНФ – определитель начальных фаз поднесущих (фазометр);

ЛЗ – линии задержки результатов измерений начальных фаз поднесущих на один элемент сообщения;

УСНФПР – устройства сравнения начальных фаз элементарных посылок и принятия решений;

К – ключи;

ИЛИ – схема, пропускающая на выход те сигналы, которые поступают на любой из ее входов;

ДЛЗ – дискретная линия задержки;

ИНВ – инверторы сигнала;

сумматоры напряжений;

ОУ – определители уровней напряжений.

Входной сигнал подается на вход фильтров F1 и F0. Если передается символ «1», то на выходе фильтра F1 появляется гармоническое колебание. Если передается символ «0», то гармоническое колебание появляется на выходе фильтра F0. После амплитудных детекторов АД, стоящих после фильтров F1 и F0 выпрямленные напряжения вычитаются друг из друга и поступают на вход фильтра нижних частот (ФНЧ), после которого стоит триггер ТР. Принятое триггером дискретное решение

преобразуется регенератором РЕГ в окончательную форму, которая может быть принята декодером ЧМ сигнала (для 1-го корреспондента).

Для демодуляции сигнала 2-го корреспондента необходимо сравнивать начальные фазы двух следующих друг за другом элементарных посылок. Эти две, следующие друг за другом, элементарные посылки могут иметь одинаковые или разные частоты. Всего возможно четыре сочетания частот: (F_1 и F_1), (F_1 и F_0), (F_0 и F_1) и (F_0 и F_0). Поскольку в отдельно взятые моменты времени невозможно заранее знать номинал частоты, на которой придет очередная элементарная посылка, то необходимо все время сравнивать начальные фазы элементарных посылок для всех 4-х возможных сочетаний передаваемых пар элементов (задержанных и не задержанных по времени). Окончательный выбор наиболее вероятного варианта производится после того, как определяется фактический результат принятого решения о приеме двух следующих друг за другом элементарных посылок для варианта ЧМ модема (для 1-го корреспондента). Эта операция может быть организована с помощью дискретной линии задержки, которая позволяет производить сравнение решений для 1-го корреспондента, принятых до наступления текущего времени элементов сообщения и принимаемых в текущий момент времени. Организация такого рода операции возможна посредством суммирования принятых регенератором ЧМ частотного демодулятора решений (0 и 1) и инверторов сигнала, превращающих решения «1» в «0» и наоборот решения «0» в «1». При этом, если две следующих друг за другом элементарных посылки имеют значения «1» и «1», то инверторы не требуются и на выходе соответствующего сумматора будет напряжение, равное удвоенному напряжению, подаваемому на индивидуальные входы этого сумматора. На выходах остальных сумматоров в этом случае напряжение будет, как минимум, в два раза меньше. Если друг за другом передается пара элементарных посылок «0» и «0», то на выходе сумматора, который стоит в цепи с двумя инверторами сигналов (без задержки и с задержкой элементов сообщения) напряжение будет тоже, как минимум, в два раза большим по сравнению с напряжением на выходах остальных трех сумматоров. Для сумматора последовательностей «1» и «0» требуется инвертировать элемент, который имеет задержку по времени, а для сумматора последовательностей «0» и «1» требуется инвертировать элемент, который не имеет задержку по времени.

Уровни напряжений на выходах сумматоров анализируются определителями уровней напряжения ОУ и наибольшее из всех напряжений (равное удвоенному напряжению, подаваемому на входы сумматоров), открывает соответствующий ключ К и пропускает на выход демодулятора ОФМ (2-го корреспондента) через элемент ИЛИ решение, которое имеет наибольшую вероятность быть правильным.

Преимуществом предлагаемого способа повышения пропускной способности каналов связи является то, что предлагаемый способ за счет частотной манипуляции позволяет обеспечивать высококачественную связь в средних и плохих условиях, а в хороших условиях связи пропускная способность канала связи за счет дополнительной фазовой манипуляции увеличивается и при коэффициенте увеличения пропускной способности в 2-3 раза существенного снижения помехоустойчивости канала связи не происходит. Коэффициент увеличения пропускной способности зависит от кратности, используемой относительной фазовой манипуляции. Если используется однократная относительная фазовая манипуляция, то пропускная способность канала связи с частотно-манипулированными сигналами увеличивается в два раза. Если используется двукратная относительная фазовая манипуляция, то пропускная способность канала связи с частотной манипуляцией увеличивается в три раза