



Омский Государственный
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МОДЕМ С ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ АДАПТИВНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН

Д.т.н., профессор кафедры ССиИБ ОмГТУ

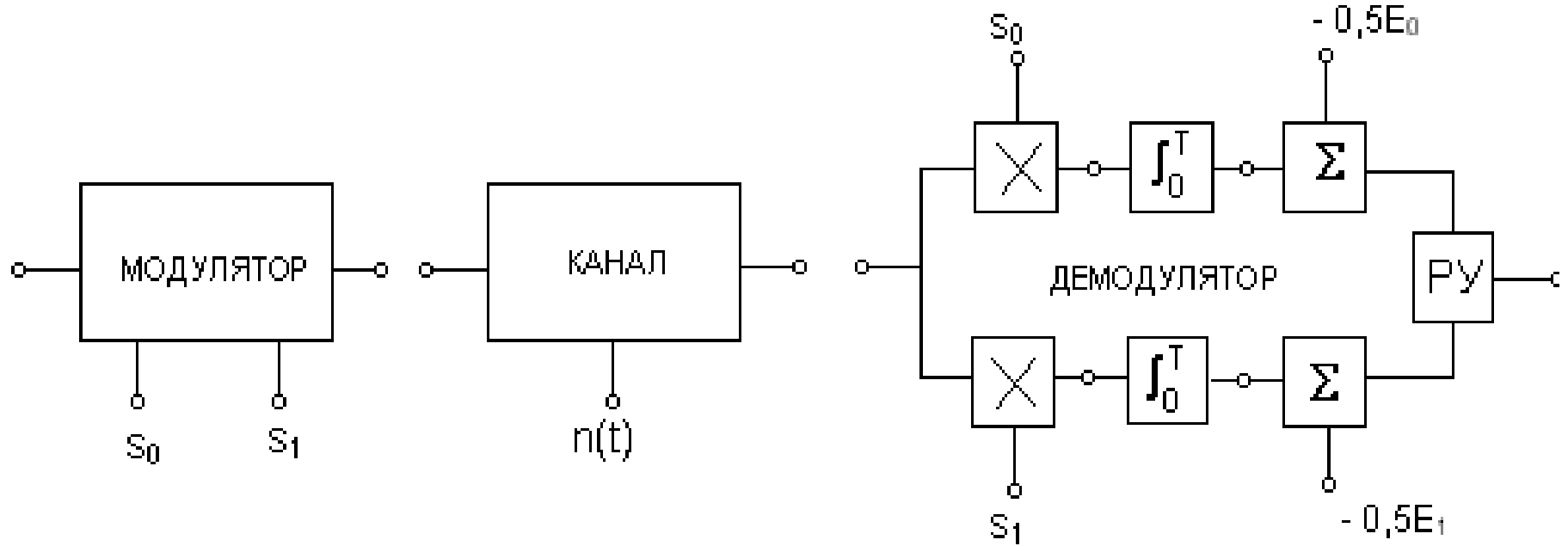
Хазан Виталий Львович

Аспирант ОмГТУ Сысолятин Евгений Александрович

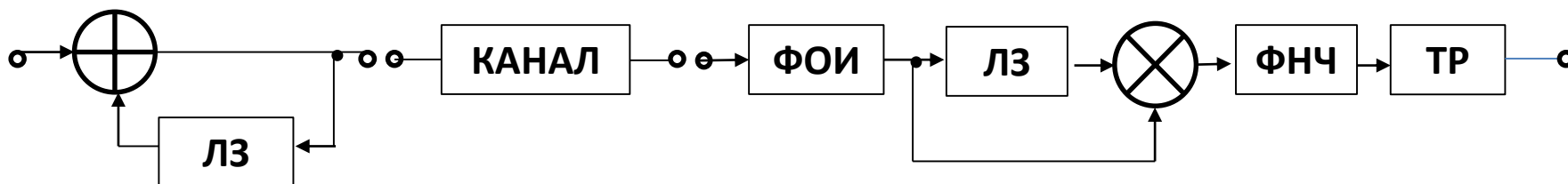
2021 г.

- Передача дискретных сообщений по коротковолновым каналам связи в плохих и средних условиях связи обычно ведется методом частотной манипуляции, который по сравнению с фазовым методом манипуляции менее чувствителен к характерному для этих условий связи доплеровскому рассеянию спектра сигнала.
- В хороших условиях связи пропускную способность канала связи обычно увеличивают либо за счет повышения скорости манипуляции, либо за счет использования режима двойной частотной манипуляции, что как в одном, так и в другом случае приводит к расширению спектра сигнала.
- Предлагается метод адаптации канала связи к условиям связи, при котором в хороших условиях повышается его пропускная способность без изменения скорости манипуляции и, соответственно, без расширения спектра сигнала за счет одновременной манипуляции несущего колебания как по частоте, так и по фазе.
- При этом если одновременно с частотной манипуляцией используется однократная относительная фазовая манипуляция, то пропускная способность канала связи увеличивается в два раза. А если одновременно с частотной манипуляцией используется двукратная относительная фазовая манипуляция, то пропускная способность канала связи увеличивается в три раза.
- В плохих условиях связи по каналу связи методами ЧМ и ОФМ передается одна и та же информация и результаты принятых модемами ФМ и ОФМ решений сравниваются между собой для оценки качества канала связи. Если в течение определенного отрезка времени решения на выходе ЧМ и ОФМ модемов полностью совпадают, то канал связи признается хорошим и с помощью ОФМ модема начинают передавать информацию, отличающуюся от той, которая передается с помощью ЧМ модема.

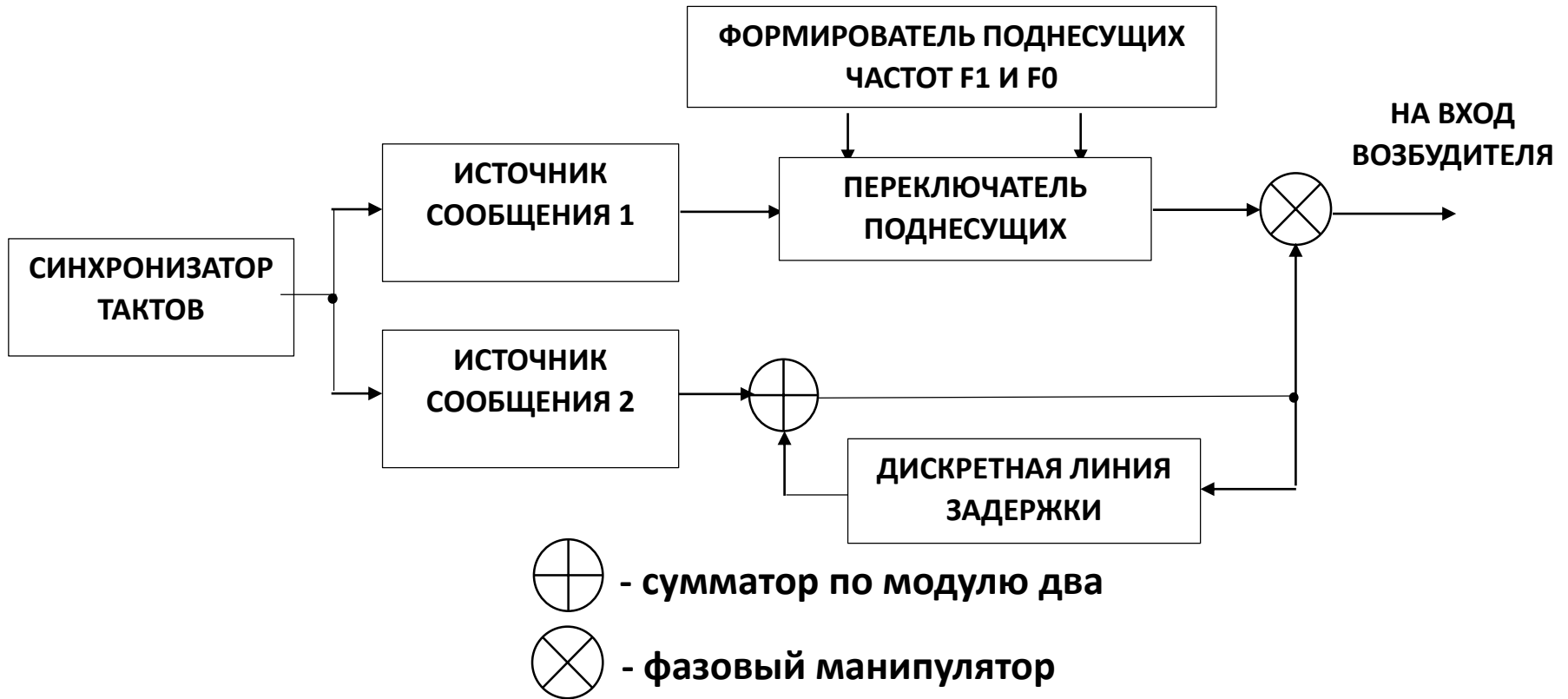
БЛОК-СХЕМА МОДЕМА С ЧМ



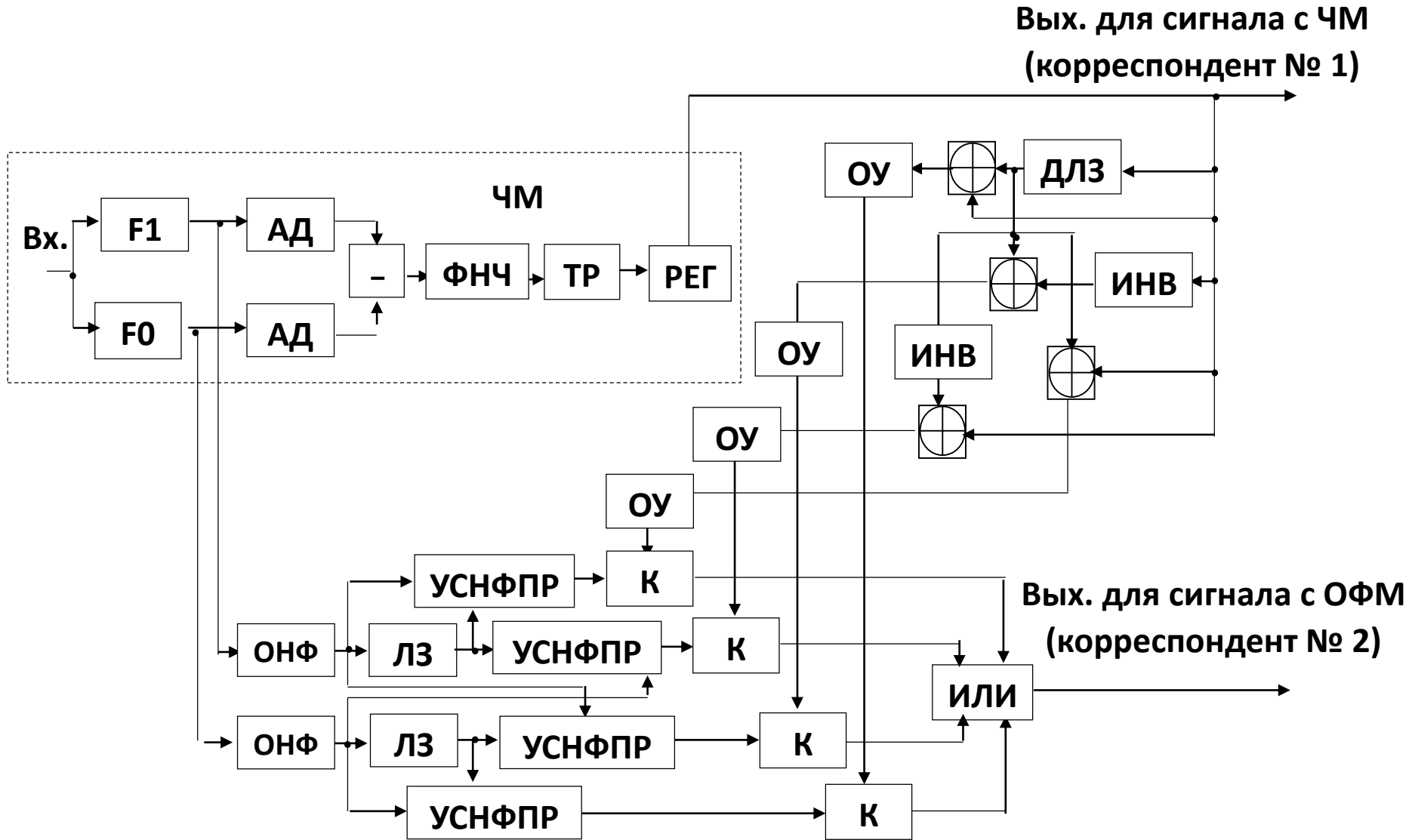
БЛОК-СХЕМА МОДЕМА С ОФМ



МОДУЛЯТОР СИГНАЛА С ЧМ-ОФМ



ДЕМОДУЛЯТОР СИГНАЛА С ЧМ-ОФМ



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

- **Модем с частотно-фазовой модуляцией для адаптивных каналов связи декаметрового диапазона радиоволн.**
-
- 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.
- 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**).
- 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;
 - **ОУ** – определители уровней напряжений.

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: (F1 и F1), (F1 и F0), (F0 и F1) и (F0 и F0)**. 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**