

УДК 621.376.52

Демодуляция фазоманипулированного сигнала

А.М Сотников.

Аннотация

Объектом исследований в настоящей статье является демодулятор сигналов с фазовой манипуляцией. Целью исследований является разработка демодулятора с повышенной помехозащищенностью. В процессе выполнения работы разработана структурная и принципиальная схемы, приведены результаты математического моделирования разработанного устройства. Предложенный способ повышения помехозащищенности использован при разработке демодулятора сигналов с фазовой манипуляцией.

Ключевые слова: фазовая манипуляция; демодулятор

Двухфазная фазовая манипуляция сигнала является наиболее помехоустойчивым видом модуляции. Однако при детектировании фазоманипулированного сигнала возникают сбои из-за влияния помех в процессе демодуляции (явление переворота фазы несущей). Поэтому для получения неискаженной исходной информации необходимо уменьшать влияние помех на процесс демодуляции. В известных устройствах, построенных по схеме Пистолькорса (схема восстановления несущей по методу удвоения частоты) данное явление проявляется особенно сильно [1].

В разработанном устройстве реализован способ устранения результата воздействия помехи при помощи стробирования демодулированной последовательности [2].

Функциональная схема демодулятора фазоманипулированных сигналов представлена на рис.1, где

КГ – кварцевый генератор,

ФД – Фазовый детектор,

ВН – схема восстановления несущей частоты,

ФИ – формирователь импульсов по фронту/срезу,

ФС – схема формирования строба символа,

ФМИ – схема формирования межсимвольного интервала,

схема И (1), схема И (2) – первая и вторая схема логическое И соответственно,
схема ИЛИ – схема логическое ИЛИ,
Тт – счетный триггер,
Дт – D – триггер.

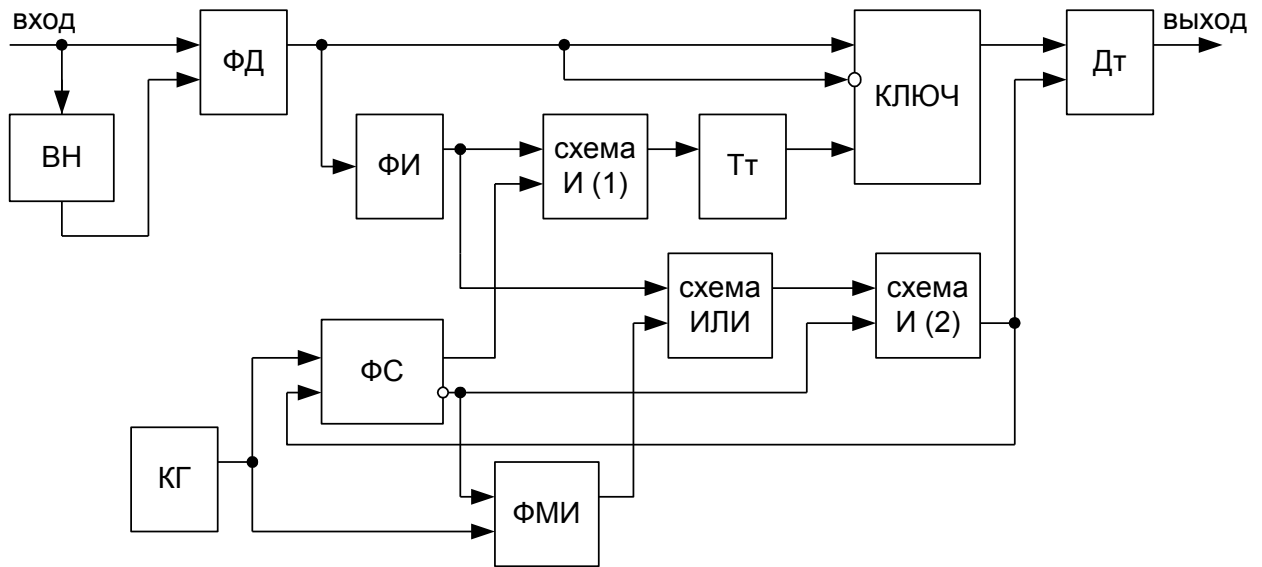


Рис.1 Функциональная схема демодулятора фазоманипулированных сигналов

Демодулятор фазоманипулированных сигналов работает следующим образом. В исходном состоянии на выходах фазового детектора, ключа, D-триггера, формирователя импульсов по фронту/срезу, схемы ИЛИ, обеих схем И, формирователя строга символа, формирователя межсимвольного интервала, схемы И, счетного триггера – состояние логического (лог.) “0”. Выход ключа замкнут на выход фазового детектора без инверсии.

На рис.2 представлены временные диаграммы функционирования устройства, где

- а) временная диаграмма переданной последовательности двоичных символов,
- б) временная диаграмма на выходе фазового детектора,
- в) временная диаграмма на выходе ключа,
- г) временная диаграмма на выходе формирователя импульсов по фронту/срезу,
- д) временная диаграмма на выходе схемы И (2),
- е) временная диаграмма на выходе D-триггера (выход демодулятора)
- ж) временная диаграмма на прямом выходе формирователя строга символа
- з) временная диаграмма помехи,
- и) временная диаграмма на выходе счетного триггера,
- к) временная диаграмма на выходе формирователя межсимвольного интервала.

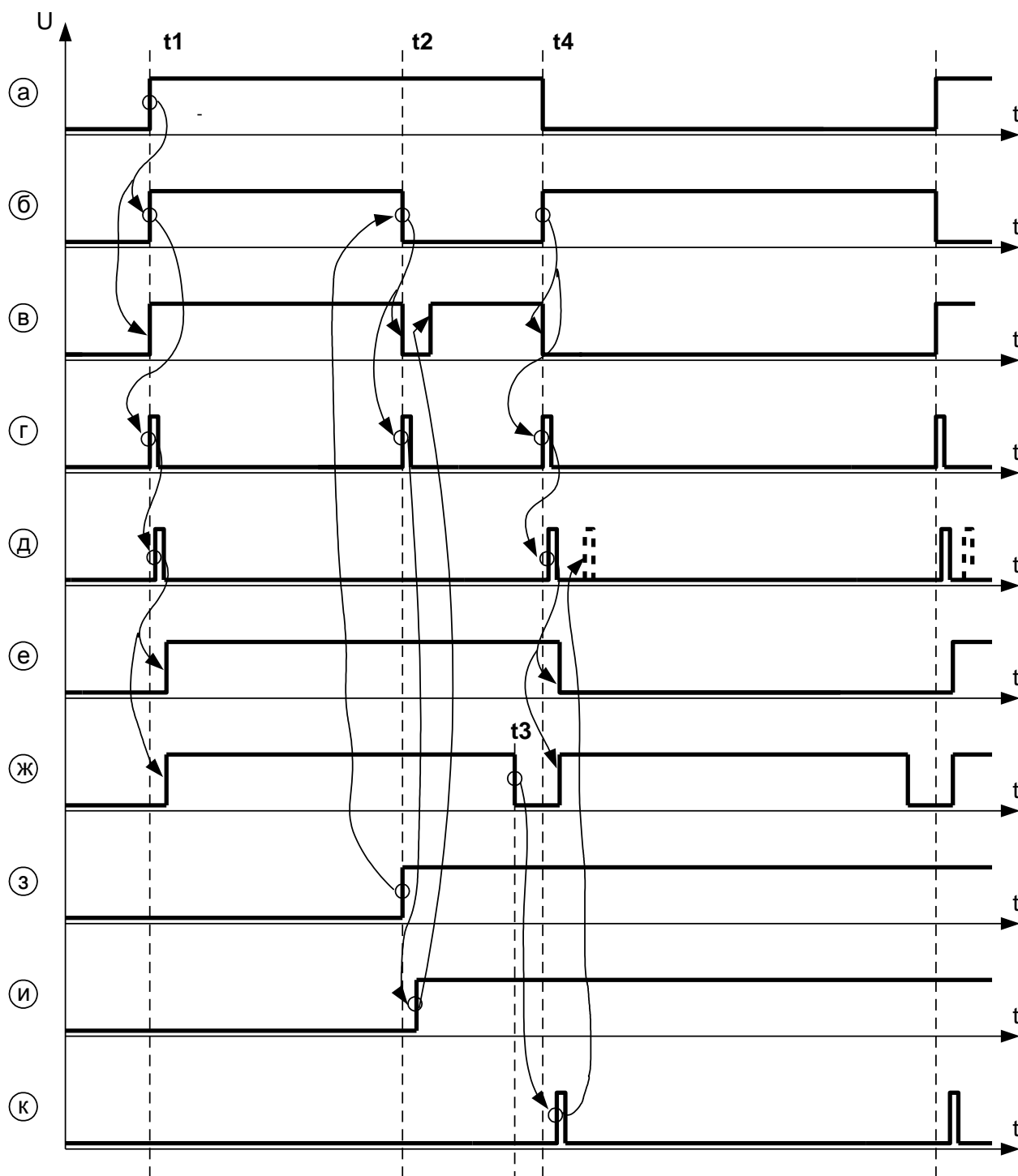


Рис.2 Временные диаграммы функционирования устройства

Пусть передается последовательность двоичных символов (рис.2а). Сигнал с несущей частотой, манипулированной по фазе на 180° , поступает на вход схемы восстановления несущей. на выходе формируется опорное напряжение с частотой равной несущей частоте фазоманипулированного сигнала и фазой точно подстроенной под фазу входного сигнала. В результате на выходе фазового детектора появляется переданная последовательность двоичных символов, которые подвержены воздействию помех.

В результате действия фронта импульса, в момент времени t_1 , состояние выхода фазового детектора изменится с лог. "0" на лог. "1" (рис.2б). На выходе ключа установится лог."1" (рис.2в). По этому фронту на выходе формирователя импульсов по фронту/срезу появится импульс уровнем лог."1" (рис.2г). Этот импульс сформирует на выходе схемы И(2) импульс уровнем лог."1" (рис.2д), т.к. на втором входе схемы И(2) присутствует разрешающий уровень лог."1" с инверсного выхода формирователя строба символа. Фронт импульса на выходе схемы И(2), воздействуя на тактовый вход D-триггера, изменит состояние его выхода на лог."1" (рис.2е) и запустит формирователь строба символа (построенный на основе счетчика импульсов, тактовый вход которого соединен с выходом кварцевого автогенератора). На прямом выходе формирователя строба символа установится уровень лог."1" (рис.2ж).

Таким образом, сформируется строб символа, который является разрешающим для схемы И(1). На инверсном выходе формирователя строба символа установится уровень лог."0", который является запрещающим для схемы И(2).

Пусть в момент времени t_2 под воздействием внешних факторов (помехи) (рис.2з) состояние выхода фазового детектора изменилось на лог."0" (рис.2б). При этом состояние выхода ключа установится в лог."0" (рис.2в). При изменении состояния на выходе фазового детектора, на выходе формирователя импульсов по фронту/срезу сформируется импульс (рис.2г). На выходе схемы логическое ИЛИ сформируется импульс, который не окажет влияния на состояние выхода формирователя строба символа, а на выходе схемы И(1) сформируется импульс уровнем лог."1". По фронту этого импульса выход счетного триггера изменит свое состояние на лог."1" (рис.2и) и на выходе ключа установится лог."1", т.е. выход ключа замкнется на инверсный вход.

В момент времени t_3 (перед окончанием информационного символа) на выходе формирователя строба символа установится лог."0" (рис.2ж), а на инверсном выходе лог."1". По фронту перепада уровня запустится формирователь межсимвольного интервала (построенного аналогично формирователю строба символа). Во время отсчета межсимвольного интервала разрешено изменение состояния выхода D-триггера и всего устройства.

Допустим, что в момент времени t_4 (до окончания длительности межсимвольного интервала) состояние выхода фазового детектора изменилось (в результате передачи лог."0") на лог."1" (рис.2б). На выходе ключа установится лог."0", а на выходе формирователя импульсов по фронту/срезу сформируется импульс (рис.2г). На выходе схемы логическое ИЛИ сформируется импульс, который сформирует на выходе схемы И(2) импульс (рис.2д), записывающий в D-триггер новое значение выхода ключа (рис.2в), а также запустит формирова-

тель строга символа (рис.2ж), который запретит сравнение на схеме И(2). Появившийся, после окончания длительности межсимвольного интервала, на выходе формирователя межсимвольного интервала импульс (рис.2к) сформирует импульс на выходе схемы логическое ИЛИ, который не пройдет через схему И(2) (показан пунктиром на рис.2д).

Если же состояние выхода фазового детектора не изменится, то после окончания длительности межсимвольного интервала на выходе формирователя межсимвольного интервала сформируется импульс (рис.2к), который сформирует импульс на выходе схемы логическое ИЛИ. Это вызовет появление импульса на выходе схемы И(2). По фронту этого импульса, перезапустится формирователь строга символа, а в D-триггер перезапишется старое значение уровня сигнала с выхода ключа. Далее процесс повторится.

Таким образом, смена информации оказывается возможной только во время формирования межсимвольного интервала, а смена информации в момент действия строга символа считается ложной и последовательность с выхода фазового детектора инвертируется. Другими словами, время действия помехи ограничено длительностью межсимвольного интервала и, по сравнению с длительностью символа, составляет относительно малую часть. Это указывает на уменьшение вероятности сбоя или на увеличение помехоустойчивости демодулятора при прочих равных условиях.

На основании выше изложенного была построена математическая модель. Результаты математического моделирования приведены на рис.3 и рис.4.

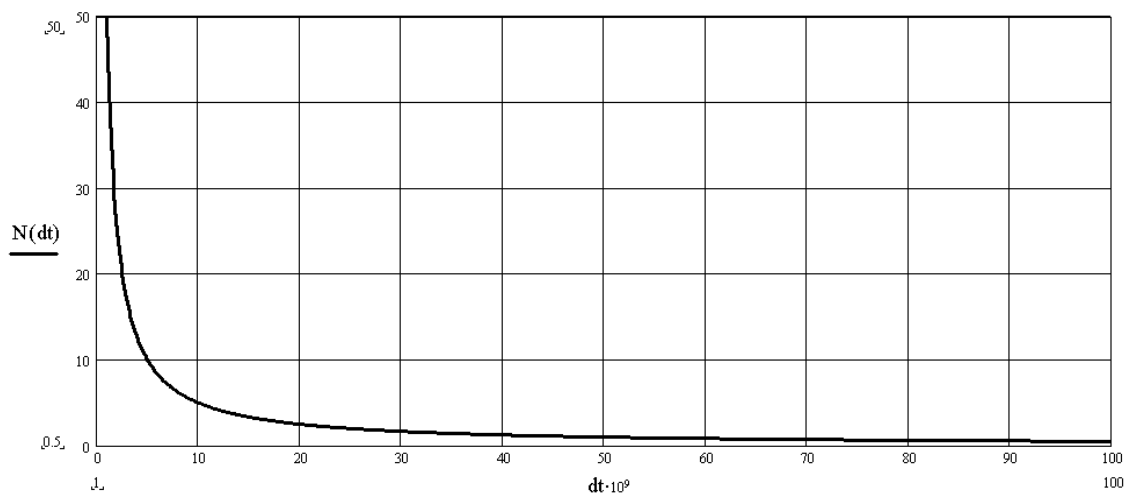


Рис.3 Зависимость количества стробируемых символов от разности между T_c и $(T_{стр} + T_i)$.

Где T_c – длительность символа информации, с,

$T_{стр}$ – длительность строга символа, с,

T_i – длительность межсимвольного интервала, с,

$$dt = T_c - [T_{стр} + T_i], c$$

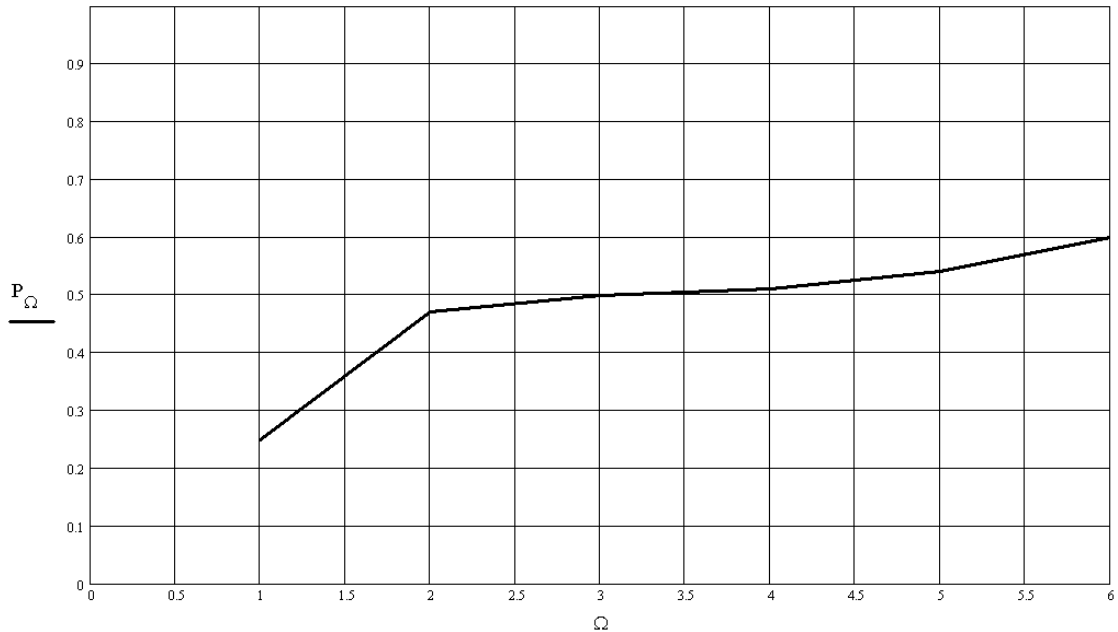


Рис.4 Зависимость вероятности ошибки от частоты появления помехи.

Где Ω - частота появления помехи за время длительности символа информации.

Все функциональные блоки (кроме формирователя импульсов по фронту/срезу, формирователя строка символа и формирователя межсимвольного интервала) могут быть выполнены по известным общепринятым схемам. Формирователь импульсов по фронту/срезу выполнен в виде последовательно соединенных элемента задержки и элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, второй вход которого соединен со входом элемента задержки и является входом формирователя импульсов по фронту/срезу. Выходом является выход элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Формирователь строка символа и формирователь межсимвольного интервала могут быть реализованы на стандартных элементах серии 1533 (1533ТМ2, 1533ИЕ7, 1533ЛА3, 1533ЛН1) по одинаковой схеме за исключением того, что в формирователь межсимвольного интервала добавлен элемент инверсии.

Таким образом, рассмотренное устройство обладает более высокой помехозащищенностью и стабильностью работы в отличие от рассмотренных аналогов при прочих равных условиях.

Библиографический список

1. Дж.Спилкер “Цифровая спутниковая связь” Пер.с англ./Под ред. В.В.Маркова - М., “Связь” 1979 – 592с.

2. Демодулятор фазоманипулированных сигналов патент № 2257679 С1, Н 04 L 27/22
RU 2004111918/09, 19.04.2004, 27.07.2005 Бюл.21.

Сведения об авторах

Сотников Алексей Михайлович, инженер ОАО «РКБ»ГЛОБУС»;

Тел. 89206379253.