

УДК 621.396.96

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_119

ОБНАРУЖЕНИЕ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛОВ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ МОДУЛЯЦИИ БОЛЕЕ ЕДИНИЦЫ В ЗАДАЧАХ РАДИОМОНИТОРИНГА АВИАЦИОННЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

*Муслим Амирович Межетов,
orcid.org/0000-0002-9509-6169,
кандидат физико-математических наук
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
milsumka@mail.ru*

*Алексей Александрович Шалаев,
orcid.org/0000-0002-8490-5143,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
alexsnow9999@gmail.com*

*Владислав Павлович Чурбаков,
orcid.org/0009-0008-0154-0400,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
vlad.churbakov@yandex.ru*

Аннотация. Связь между воздушным судном и землёй является основным средством, позволяющим организовать управление воздушным движением и обеспечить безопасность и регулярность воздушных перевозок. В целях поддержания работоспособности каналов радиосвязи производится радиоконтроль. В статье рассмотрен вопрос создания алгоритма радиоконтроля, позволяющего классифицировать амплитудно-модулированные сигналы по глубине модуляции, а также показана возможность детектирования перемодулированных колебаний, позволяющая восстановить исходное информационное сообщение с достаточной для его восприятия точностью.

Ключевые слова: перемодуляция, балансная модуляция, анализ сигналов, обнаружение помех, когнитивное радио, радиоконтроль.

DETECTION AND DEMODULATION OF SIGNALS WITH MODULATION INDEXES GREATER THAN ONE IN RADIO MONITORING OF AVIATION RADIO COMMUNICATION

*Muslim A. Mezhetov,
orcid.org/0000-0002-9509-6169,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
milsumka@mail.ru*

*Alexey A. Shalaev,
orcid.org/0000-0002-8490-5143,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
alexsnow9999@gmail.com*

*Vladislav P. Churbakov,
orcid.org/0009-0008-0154-0400,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
vlad.churbakov@yandex.ru*

Abstract. Communication between an aircraft and ground services is the main means of organizing air traffic control and providing the safety and regularity of air transportation. In order to maintain the operability of radio communication channels is to perform radio monitoring. This article considers a radio monitoring algorithm. It makes possible to classify amplitude-modulated signals by modulation depth, to show the possibility of detection of overmodulated oscillations and to restore the initial information message with sufficient accuracy for its perception.

Key words: overmodulation, double-sideband suppressed carrier modulation, signal analysis, interference detection, cognitive radio, radio monitoring.

Введение

Основные требования, предъявляемые к современным авиаперевозкам – безопасность и регулярность. Данные требования невозможно соблюсти без организации процесса управления воздушным движением (УВД), в основе которого лежит связь – обмен информацией между диспетчерской службой и воздушным судном (ВС) [Бондарай и др., 2019; Определение местоположения..., 2021]. При этом связь должна быть бесперебойной, то есть непрерывно обеспечивать возможность сторон осуществлять обмен информацией, что достигается благодаря комплексу мер, включающему в себя поддержание аппаратуры в исправном состоянии и оптимальное использование частотного ресурса [Ерохин и др., 2023; Скрыпник и др., 2014]. Одной из мер, направленных на достижение заданного уровня надёжности для авиационных линий связи (АЛС), является радиоконтроль – процесс выявления мешающих работе систем радиосигналов. Реализуется радиоконтроль посредством

радиомониторинга – оперативного анализа электромагнитного поля в данной точке на наличие в нём сигналов, а также их классификация и определение наиболее вероятного источника излучения. Наиболее информативной характеристикой радиосигналов при их классификации является тип модуляции, качественно определяющий радиотехническую систему [Липатников и др., 2018].

Целью работы является разработка алгоритма, позволяющего подразделять сигналы с изменяющейся амплитудой на амплитудномодулированные, балансномодулированные и перемодулированные, а также детектировать данные типы сигналов.

Постановка задачи

В современных радиосвязных системах широкое применение получила амплитудная модуляция. Её использование обусловлено простотой реализации модуляторов и детекторов даже в аналоговых схемах, без осуществления цифровой обработки сигналов (ЦОС). Однако, с развитием программно-определяемых радиосистем (ПОР) открываются перспективы применения более совершенной, с точки зрения энергоэффективности, балансной модуляции (БМ), ранее не применяемой ввиду сложности реализации модуляторов и детекторов для таких типов сигналов в аналоговых схемах [Туринцев и др., 2022].

В то же время остаётся актуальным вопрос детектирования сигналов с балансной модуляцией, так как схемы, построенные по принципу прямого преобразования, требуют точного восстановления частоты несущей, что не всегда возможно, особенно на подвижных объектах из-за эффекта Доплера. В отдельных случаях в информационном сигнале может присутствовать постоянная составляющая, что может приводить к перемодуляции сигнала. Это может происходить как по причине какой-либо неисправности на передающей стороне, так и из-за специфики информационного сигнала. Соответственно, при построении детекторов БМ сигналов немаловажным является возможность выявить и демодулировать перемодулированный сигнал без искажения информации.

В системах радиоконтроля автоматизация процесса определения типа модуляции исследуемого сигнала является одним из наиболее важных направлений в развитии средств радиомониторинга [Межетов и др., 2017; Патрикеев, 2016]. В совокупности с определением несущей частоты, определение типа модуляции позволяет автоматически выдвинуть гипотезу о принадлежности исследуемого сигнала к той или иной радиотехнической системе, что существенно снижает нагрузку на оператора средства радиоконтроля. Однако, конечным критерием для определения назначения источника исследуемого сигнала служит передаваемая им информация, поэтому помимо определения типа модуляции и несущей частоты для средства радиомониторинга важно также быть способным демодулировать любые сигналы, которые возможно принять. Ввиду этого демодуляция перемодулированных и балансномодулированных сигналов, а также

определение явления перемодуляции являются актуальной задачей в сфере создания систем автоматизированного радиоконтроля.

Анализ влияния перемодуляции на БМ и АМ сигналы

Эффект перемодуляции возникает тогда, когда модулирующее колебание при амплитудной модуляции меняет свой знак [Оценка эффективности..., 2012]. В этом случае происходит смена фазы высокочастотного заполнения модулированного сигнала на 180 градусов, что приводит к частичной компенсации энергетики несущего колебания и в спектре отображается как уменьшение модуля гармоники на несущей частоте. При этом, если добиться полного отсутствия постоянной составляющей в информационном сигнале, т.е.

$$\int_0^{t_k} i(t) dt = 0, \quad (1)$$

где $i(t)$ – информационный сигнал, t_k – длительность сообщения, то энергетика высокочастотного заполнения без смещения фазы будет численно равна энергетике заполнения со смещением фазы на 180° , что приведёт к полной компенсации несущего колебания в сигнале. Полученный сигнал называют балансомодулированным, и в сравнении с АМ сигналом, БМ сигнал, занимая ту же полосу частот, выигрывает с точки зрения затрачиваемой на его передачу энергии, так как передатчик не излучает не содержащую никакой информации гармонику на несущей частоте. На практике добиться выполнения условия (1) для реальных сигналов невозможно, и в балансомодулированном сигнале на несущей частоте всегда будет присутствовать малая по амплитуде гармоника, по величине которой можно косвенно судить об исправности передающей системы [Карелин, 2021].

В системах связи, основанных на балансомодулированных сигналах, явление глубокой перемодуляции является нормальным и не нарушает работу системы. Для систем, использующих амплитудную модуляцию, это явление является пагубным, так как при нём типовой амплитудный детектор не способен восстановить информационный сигнал.

С целью определения степени влияния перемодуляции на детектируемый сигнал было проведено моделирование в программной среде LabView [Сергеев, 2020]. На рисунках 1-5 приведены искажения во временной и частотной областях, получаемые при детектировании перемодулированного сигнала с различными глубинами модуляции. Тестовый сигнал – случайно сгенерированный спектр в диапазоне 300 – 700 Гц, имитирующий речевое сообщение.



Рисунок 1 – Глубина модуляции 1, искажений нет



Рисунок 2 – Глубина модуляции 1.4, искажения незначительны, восприятие речи возможно

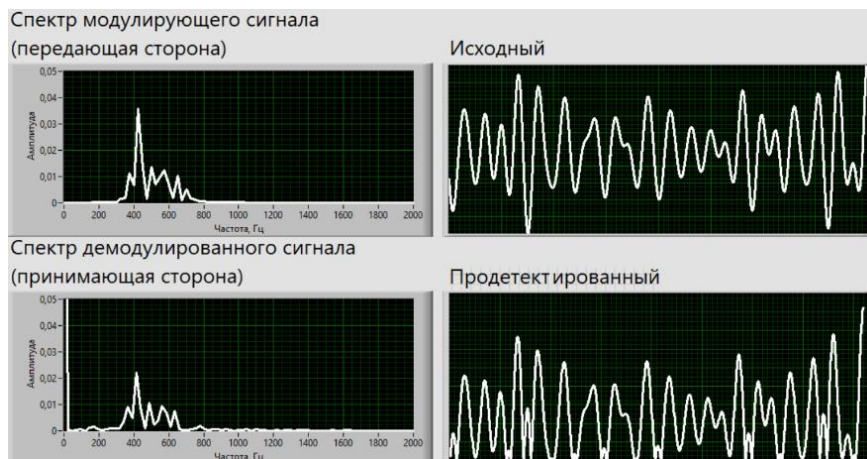


Рисунок 3 – Глубина модуляции 2, заметные искажения сигнала, восприятие речи затруднено

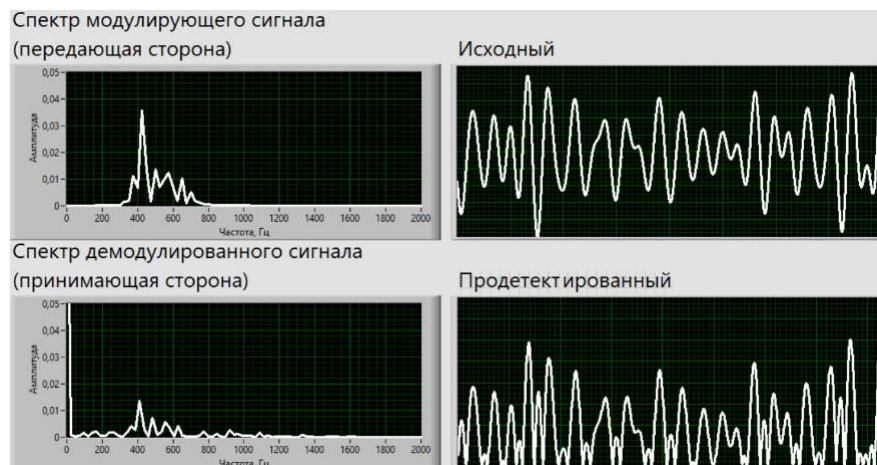


Рисунок 4 – Глубина модуляции 2.8, спектр сигнала искажён, энергетика перераспределилась в область более высоких частот, восприятие речи невозможно



Рисунок 5 – Глубина модуляции 5, сигнал близок к балансному, энергетика перераспределилась в область более высоких частот, восприятие речи невозможно

Исходя из проведённого моделирования, было установлено, что даже незначительная перемодуляция сигнала приводит к полной невозможности демодулировать его при помощи пикового детектора, применяемого в большинстве современных АМ приёмниках. Несмотря на то, что в аналоговых передатчиках получение перемодулированных сигналов маловероятно, в цифровых системах, особенно в ПОР, это возможно в случае нарушения работы источника информационного сигнала, например – выхода из строя диодного ограничителя или ошибки в работе программной части радиосистемы. Мониторинг радиосетей и обнаружение перемодуляции в системах передачи информации, использующих АМ сигналы, в таком случае помогут оперативно определить их неисправность, что положительно скажется на общей надёжности данного канала связи [О восстановлении формы..., 2021].

Материалы и методы

В общем виде АМ модуляцию можно представить в виде следующего выражения:

$$S(t)_{am} = s(t) \cdot \sin(w_{нес} \cdot t + \varphi_0), \quad (2)$$

где $s(t)$ – информационный сигнал, $w_{нес}$ – угловая частота несущего колебания, φ_0 – начальная фаза несущего колебания [Баженов и др., 2019]. Если в сигнале $s(t)$ есть постоянная составляющая, такая, что на всём временном интервале, на котором сигнал определён, функция $s(t) \geq 0$, то такой сигнал называется амплитудномодулированным. Если это условие не выполняется, то перемодулированным. Если же выполняется условие (1), то сигнал является балансомодулированным. В то же время следует обратить внимание на то, что все три типа модуляции представляются одинаковым выражением – в виде произведения информационного сигнала на несущее гармоническое колебание. Тогда будет справедлива следующая запись:

$$S(t)_{am} = 0 \text{ при } s(t) = 0 \vee \sin(w_{нес} \cdot t + \varphi_0) = 0. \quad (3)$$

Очевидно, что при амплитудной модуляции полученный сигнал будет принимать значение 0 только при смене полупериода несущего колебания. В то же время, в случае с перемодулированным или балансомодулированным сигналами, функция $S(t)_{am}$ будет равна 0 в том числе и при переходах через ось времени информационного сигнала $s(t)$. При этом, фаза высокочастотного заполнения будет изменяться на 180 градусов, так как при переходе через ноль функция $s(t)$ поменяет знак у всего произведения (2). Таким образом, можно сказать, что при смене знака информационного сигнала в случае с перемодулированными и балансомодулированными сигналами будет изменяться полупериод высокочастотного заполнения.

Результаты моделирования и исследования

Для демонстрации данного явления было проведено моделирование в программной среде LabView [Ерохин и др., 2021] сигналов с перемодуляцией. Получено три возможных варианта изменения полупериода высокочастотного заполнения, показанных на рисунках 6.а), 6.б) и 6.в).

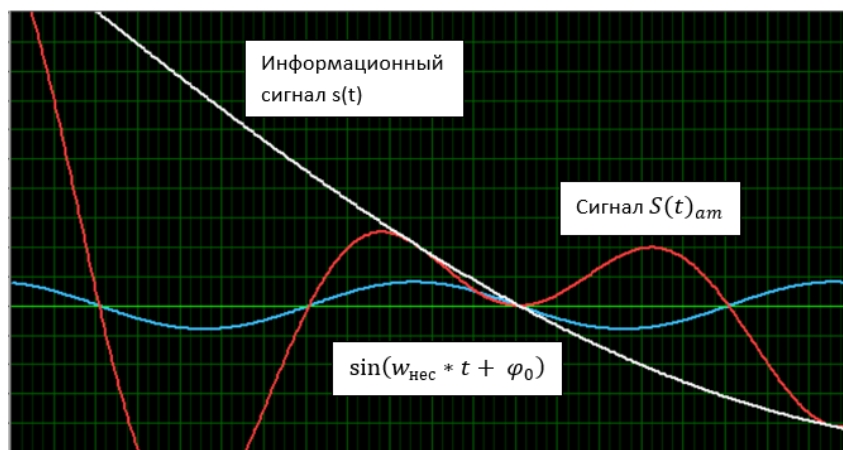


Рисунок 6.а) – Смена знака информационного сигнала совпадает со сменой знака несущего колебания: результирующий знак произведения (2) не изменяется, и полупериод ВЧ колебания удваивается

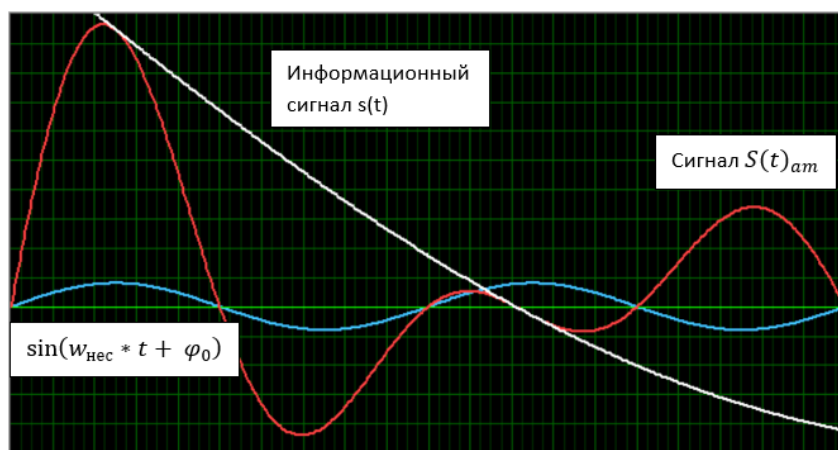


Рисунок 6.б) – Информационный сигнал за один период несущего колебания изменяет свой знак однократно, эта смена не совпадает со сменой знака несущего колебания: у результирующего колебания обнаружены два уменьшенных полупериода – до и после перехода огибающей через ось времени

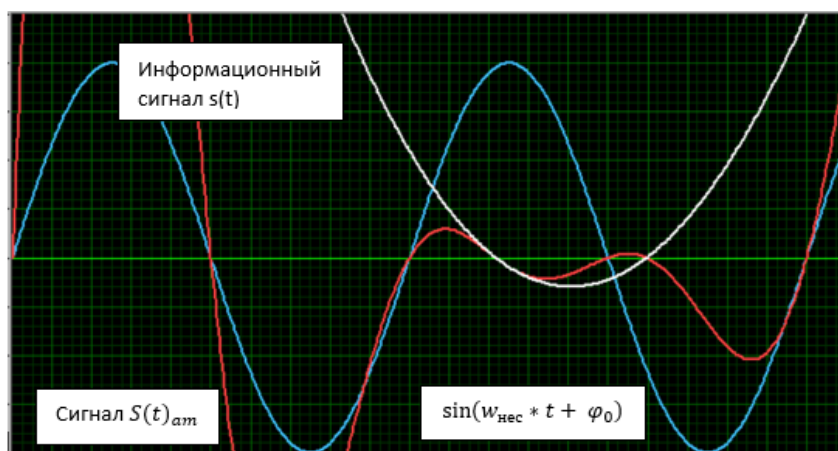


Рисунок 6.в) – Информационный сигнал за один период несущего колебания изменяет свой знак несколько раз: количество уменьшенных полупериодов у результирующего колебания будет вдвое больше числа смен знака у огибающей за данный период несущего колебания

Выявленное свойство балансномодулированного сигнала предлагается использовать для определения тех точек в сигнале, после которых полученные значения с амплитудного детектора необходимо брать с обратным знаком, что позволит восстанавливать информационный сигнал на приёмной стороне как у балансномодулированных, так и у перемодулированных колебаний. Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 7.

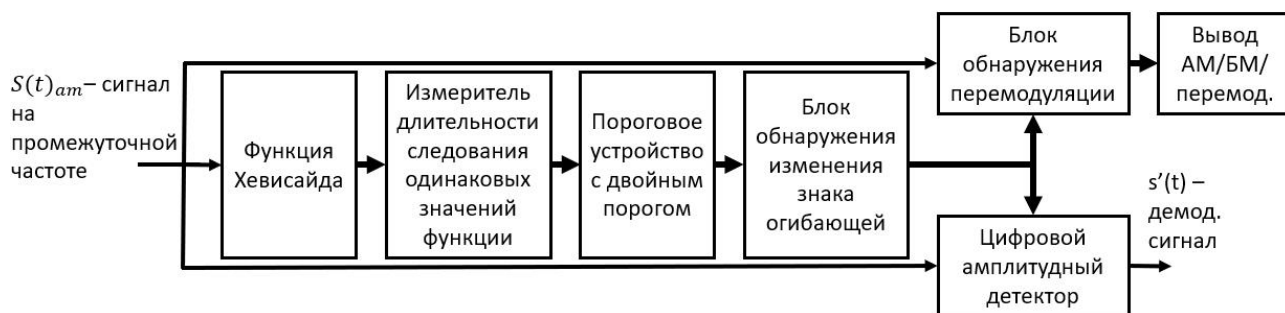


Рисунок 7 – Структурная схема универсального амплитудного детектора

Принятый сигнал, перенесённый на промежуточную частоту, подаётся на цепь устройства обнаружения перехода огибающей через ось времени. Этот сигнал представлен на рисунке 8.

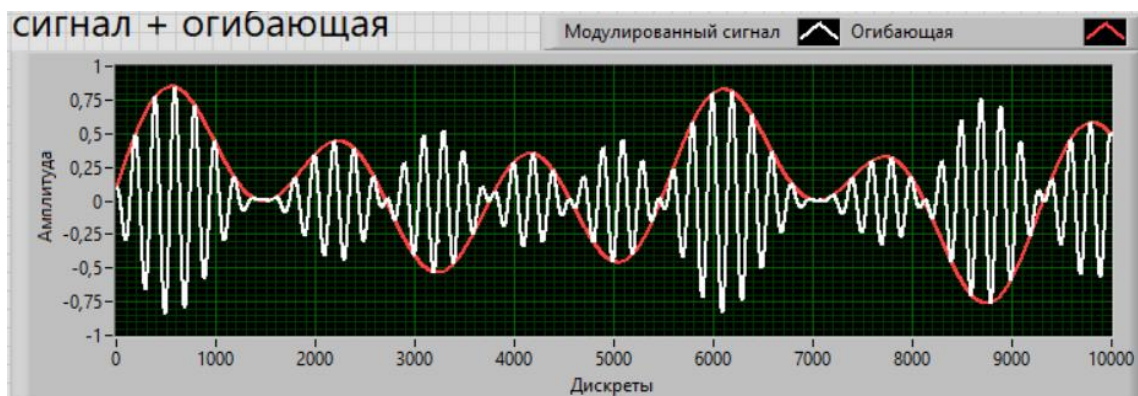


Рисунок 8 – Попадающий на вход универсального амплитудного детектора сигнал

В начале цепи установлен блок функции Хевисайда [Арефьев и др., 2021], предназначенный для выделения из сигнала информации о полупериодах ВЧ заполнения. На рисунке 9 представлена осциллограмма сигнала на выходе с данного блока.

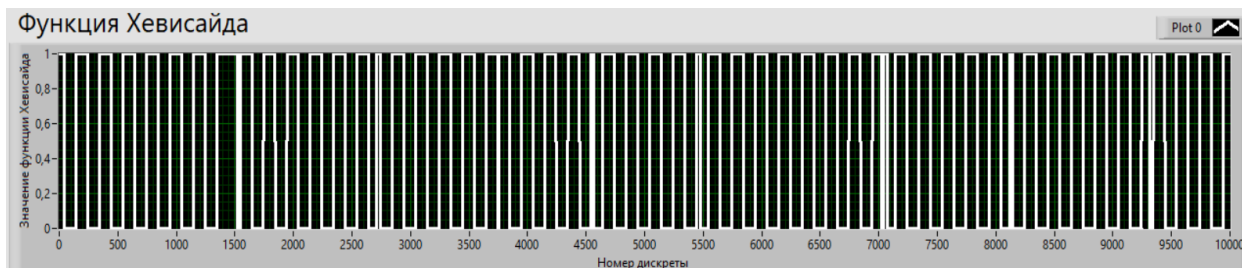


Рисунок 9 – Сигнал, получаемый с выхода блока функции Хевисайда: длительность прямоугольных импульсов численно равна длительности положительных полупериодов принимаемого колебания

Полученный сигнал с блока функции Хевисайда попадает на вход в блок измерителя длительности следования одинаковых значений функции. Этот блок подсчитывает ширину прямоугольных импульсов, как со значением 1 (положительный полупериод), так и со значением 0 (отрицательный полупериод). Вместе с блоком функции Хевисайда данный блок образует измеритель длительности полупериодов. На выходе с данного блока получается массив данных, значения которого равны длительности полупериодов принимаемого сигнала.

Поскольку при цифровой обработке возникают ошибки, связанные с дискретностью получаемых значений, перед анализом полученный массив точек проходит через пороговое устройство с двойным порогом, в котором устраняются малые флуктуации измеренных значений полупериодов, вызванных дискретностью счёта. Значения, принадлежащие диапазону 0,05 от моды полупериода (считается, что так как несущая частота много больше самой высокой частоты информационного сигнала, то мода от полученного значения полупериодов будет численно равна истинному полупериоду несущего колебания), приравниваются к полученному значению моды. Полученный массив для данного сигнала приведён на рисунке 10.

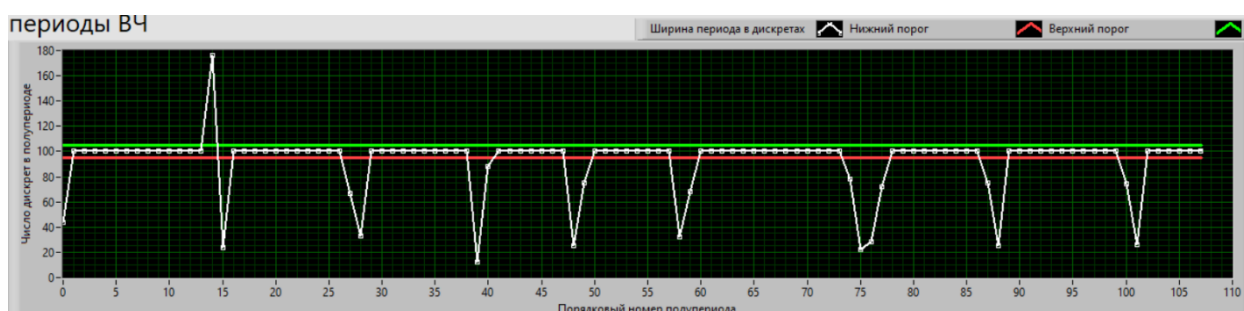


Рисунок 10 – Получаемый набор точек с измерителя полупериодов и визуализация двойного порога

После порогового устройства в блоке обнаружения изменения знака огибающей производится анализ длительностей полупериодов. Каждое изменение полупериода в большую сторону, а также каждое второе идущее подряд изменение полупериода в меньшую сторону свидетельствуют о

необходимости инвертировать сигнал, получаемый с амплитудного детектора, до следующей точки изменения информационным сигналом своего знака. Определение же конкретного отсчёта, на котором требуется начать инвертировать сигнал с амплитудного детектора, определяется путём суммирования значений длительности полупериодов, обработанных блоком обнаружения изменения знака огибающей. В результате работы данного блока формируется массив точек – набор порядковых номеров тех дискрет, с которых нужно начать инвертировать огибающую с амплитудного детектора. Этот набор точек подаётся как на сам цифровой амплитудный детектор, осуществляющий демодуляцию и инвертирование соответствующих участков сигнала, так и на блок обнаружения перемодуляции. Полученное в результате детектирования перемодулированного сигнала информационное сообщение приведено на рисунке 11.

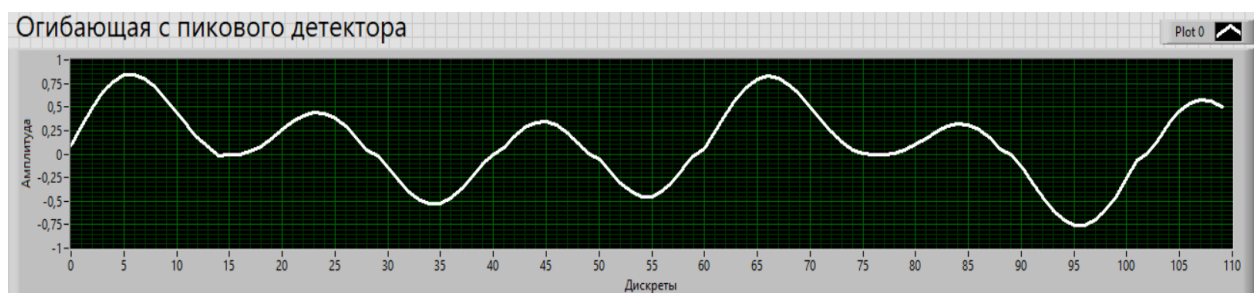


Рисунок 11 – Продетектированный перемодулированный сигнал: в сравнении с огибающей на рисунке 8 наблюдаются минимальные искажения, вызываемые дискретностью обработки сигнала

Блок обнаружения перемодуляции представляет собой коммутирующее устройство, два интегратора и устройство оценки и решения. Структурная схема данного блока приведена на рисунке 12.

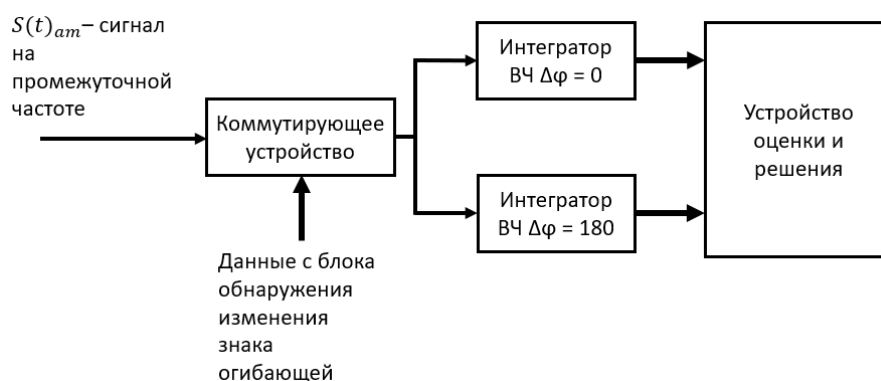


Рисунок 12 – Структурная схема блока обнаружения перемодуляции

Коммутирующее устройство, согласно данным с блока обнаружения изменения знака огибающей, поочерёдно коммутирует на соответствующие интеграторы инвертированную и не инвертированную по фазе часть сигнала.

После окончания работы интеграторов, устройство оценки и решения сравнивает полученные на интеграторах значения, и, если на одном из каналов обнаружен 0, а на другом – конечное численное значение – выдаёт сигнал о наличии амплитудной модуляции. Если же на обоих каналах значение, в пределах заданного диапазона, одинаковое и отличное от 0 – устройство выдаёт сигнал о наличии балансной модуляции. Если же оба значения не равны 0, но в то же время и не равны друг другу – устройство выдаёт сигнал о наличии перемодуляции.

Примечательно также, что описанный выше способ демодуляции сигналов применим, в том числе, и к двухпозиционной фазовой манипуляции (ФМн), что не противоречит описанной выше теории, так как описать такой сигнал можно через выражение (2), где в качестве $s(t)$ будет выступать последовательность импульсов со значениями 1 и -1. Тогда, с точки зрения формирования, такой фазоманипулированный сигнал можно также отнести к разновидности балансномодулированных сигналов, что и объясняет возможность предлагаемой системы его демодулировать. Результат моделирования демодуляции двухпозиционного ФМн сигнала предлагаемым алгоритмом изображён на рисунке 13.

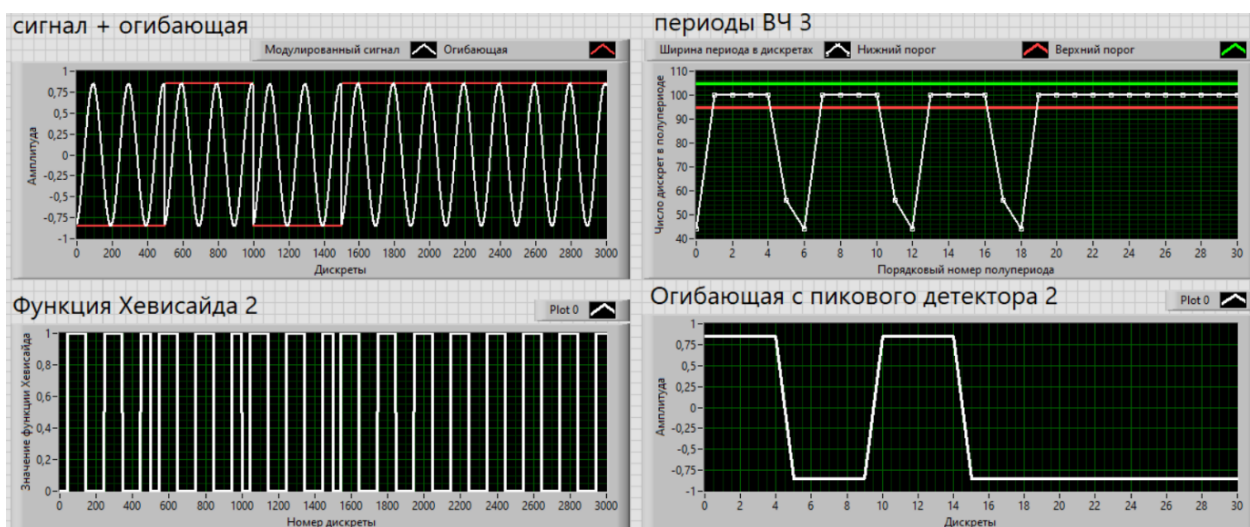


Рисунок 13 – Результат демодуляции двухпозиционного ФМн сигнала предлагаемым способом

Заключение

В рамках программного моделирования предлагаемый способ демодуляции сигналов с подавленной несущей показал свою работоспособность на тестовых сигналах в виде последовательности импульсов и модели речевого сообщения, сгенерированного псевдослучайным образом.

Применение предлагаемого алгоритма в средствах радиомониторинга позволит расширить спектр решаемых радиоконтролем задач, а также увеличить степень его автоматизации, что в совокупности поможет более эффективно использовать частотный ресурс и быстрее выявлять неисправности

передающих устройств. В то же время предлагаемый алгоритм подходит и для применения его в качестве детектора в приёмных устройствах, работающих с БМ сигналами, а также позволит восстанавливать информационную составляющую ВЧ сигнала при нарушении нормальной работы АМ передатчиков, что повысит надёжность связи и увеличит безопасность полётов в целом.

Библиографический список

Арефьев Р. О. Применение помехоустойчивого кодирования при обработке сообщений локальной корректирующей станции / Р. О. Арефьев, С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 22-32. EDN YMDPPC.

Баженов Н. Р. Новые задачи метрологического обеспечения измерений параметров радиотехнических сигналов / Н. Р. Баженов, А. В. Мыльников, И. М. Малай // Альманах современной метрологии. 2019. № 2(18). С. 23-36. EDN WIOCAT.

Бондарай А. А. Системный анализ процесса измерения угла места воздушной цели трассовым многочастотным радиолокационным комплексом / А. А. Бондарай, Б. В. Лежанкин // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : Сборник трудов VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Иркутск, 14–16 октября 2019 года. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2019. С. 104-114. EDN ESJMYF.

Ерохин В. В. Автоматизированный программно-аппаратный комплекс в среде LabView для исследования эффективности подавления ПЭМИН / В. В. Ерохин, Е. В. Зайнулин // Вестник научных конференций. 2021. № 5-2(69). С. 23-24. EDN SPKRAV.

Ерохин В. В. Оценка параметров траекторного движения БПЛА при различной конфигурации источников навигационной информации / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Э. А. Болелов // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77, № 6. С. 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. EDN MVHGGW.

Карелин В. Е. Особенности реализации детектора объектов на ВПП в системах улучшенного видения // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации - 2020 : Сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, Иркутск, 08–09 декабря 2020 года. Том 1. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2021. С. 137-144. EDN FVUUNC.

Липатников В. А. Глава 1. Проблема радиоконтроля источников радиоизлучений. Сигналы и помехи / В. А. Липатников, О. В. Царик, В. В. Карганов // Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография. СПб.: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. С. 23-193. EDN UZIGDM.

Межетов М. А. Выделение сигналов тактовой синхронизации в системах передачи информации режима VDL-2 / М. А. Межетов, С. В. Туринцев // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2017. № 2. С. 191-200. EDN YOXNJL.

О восстановлении формы амплитудной диаграммы направленности антенно-фидерного устройства навигационного космического аппарата по результатам наземных наблюдений /

А. С. Завгородний, В. Л. Воронов, И. В. Рябов [и др.] // Альманах современной метрологии. 2021. № 1(25). С. 35-43. EDN XUUCPY.

Определение местоположения воздушного судна в многопозиционной системе наблюдения на основе мультilaterационной технологии / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Т. Ю. Портнова, Н. В. Поваренкин // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 92-105. EDN QPUUJP.

Оценка эффективности типовой авиационной комплексной системы навигации / В. С. Марюхненко, Ю. Ф. Мухопад, Е. И. Антипин, С. В. Туринцев // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2012. № 2. С. 25-35. EDN OYXKML.

Патрикеев О. В. Подавление помех в широкополосных каналах связи // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию Университета, Москва, 18–20 мая 2016 года. Москва: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2016. С. 145. EDN XBAODD.

Сергеев А. Д. Среда разработки LABVIEW // Энигма. 2020. № 23. С. 162-165. EDN GUOPWR. Скрыпник О. Н. Подавление помех в широкополосных радиоканалах диапазона УВЧ / О. Н. Скрыпник, О. В. Патрикеев, Н. Г. Астраханцева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 209. С. 129-135. EDN SXXTON.

Туринцев С. В. Программная реализация алгоритма кодирования и декодирования местоположения ВС в дискретно-адресном режиме вторичной радиолокации / С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро "Туполев", 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2022. С. 115-121. EDN YGUUUY.

References

Arefyev R. O., Turintsev S. V., Turintseva M. S. (2021). The use of noise-resistant coding in the processing of messages from a local correction station. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviicii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviicii». 22-32. EDN YMDPPC. (in Russian)

Bazhenov N. R., Mylnikov A. V., Malay I. M. (2019). New tasks of metrological support for measuring parameters of radio signals. *Al'manah sovremennoj metrologii*. 2 (18): 23-36. EDN WIOCAT. (in Russian)

Bondarai A. A., Lezhankin B. V. (2019). System analysis of the process of measuring the angle of an air target by a multi-frequency radar tracking system. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviicii : Sbornik trudov VIII Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferencii*, Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviicii. 104-114. (in Russian)

Erokhin V. V., Zainullin E. V. (2021) Automated hardware and software complex in LabVIEW environment to study the effectiveness of PEMIN suppression. *Vestnik nauchnyh konferencij*. 5-2(69): 23-24. EDN SPKRAV. (in Russian)

Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Portnova T. Yu., Povarenkin N. V. (2021). Determining the location of an aircraft in a multi-position surveillance system based on multilateration technology. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii». 92-105. EDN QPUUJP (in Russian)

Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Bolelov E. A. (2023). Estimation of the parameters of the trajectory movement of an unmanned aerial vehicle with different configurations of navigation information sources. *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*. 6: 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. (in Russian)

Karelin V. E. (2020). Features of the implementation of a runway object detector in enhanced vision systems. *Aktual'nye problemy razvitiya aviacionnoj tekhniki i metodov ee ekspluatatsii - 2020: Sbornik trudov XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i aspirantov, Irkutsk, 08–09 dekabrya 2020 goda. Tom 1. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii"*. 137-144. EDN FVUUHC (in Russian)

Lipatnikov V. A., Tsarik O. V., Karganov V. V. (2018). The problem of radio monitoring of radio emission sources. Signals and interference. *Metody radiokontrolya. Teoriya i praktika: Monografiya*. SPb.: Chastnoe nauchno-obrazovatel'noe uchrezhdenie dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya Gumanitarnyj nacional'nyj issledovatel'skij institut «NACRAZVITIE». 23-193. EDN UZIGDM (in Russian)

Maryukhnenko V. S., Mukhopad Yu. F., Antipin E. I., Turintsev S. V. (2012). Evaluating the effectiveness of a typical aviation integrated navigation system. *Polet. Obshcherossijskij nauchno-tekhnicheskij zhurnal*. 2: 25-35. EDN OYXKML (in Russian)

Mezhetov M. A., Turintsev S. V. (2017). Isolation of clock synchronization signals in VDL-2 mode information transmission systems. *Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk*. 2: 191-200. EDN YOXNJL. (in Russian)

Patrikeev O. V. (2016). Suppression of interference in broadband communication channels. *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: Sbornik tezisov dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu Universiteta, Moscow: Akademiya imeni N.E. Zhukovskogo*. 145. EDN XBAODD (in Russian)

Sergeev A. D. (2020). LabView development environment. *Enigma*. 23: 162-165. EDN GUOPWR (in Russian)

Skrypnik O. N., Patrikeev O. V., Astrakhantseva N. G. (2014). Suppression of interference in broadband UHF radio channels. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii*. 209: 129-135. EDN SXXTOH (in Russian)

Turintsev S. V., Turintseva M. S. (2022). Software implementation of the algorithm for encoding and decoding the location of aircraft in the discrete-address mode of secondary radar *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii: Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii posvyashchennoj prazdnovaniyu 100-letiya konstruktorskogo byuro "Tupolev", 55-letiya Irkutskogo filiala MGTU GA, 75-letiya Irkutskogo aviacionnogo tekhnicheskogo kolledzha, Irkutsk, 13–14 oktyabrya 2022 goda. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii"*. 2: 115-121. EDN YGUUUY. (in Russian)

Zavgorodniy A. S., Voronov V. L., Ryabov I. V. (2021). On restoring the shape of the amplitude radiation pattern of the antenna-feeder device of a navigation spacecraft based on the results of ground-based observations. *Al'manah sovremennoj metrologii*. 1(25): 35-43. EDN XUUCPY. (in Russian)