

Оглавление

Введение.....	2
Среда проектирования MatLab/Simulink	4
Система связи с псевдослучайной цифровой модуляцией	9
Функциональная схема передающего устройства.....	10
Функциональная схема приемного устройства	12
Заключение	17

Введение

Системы связи, в которых псевдослучайная последовательность используется для расширения спектра, были разработаны еще в первой половине прошлого века. На тот момент они рассматривались, лишь как теоритическая возможность улучшить имеющиеся узкополосные системы, и не были включены в конструкторские решения из-за сложности, связанной с элементарной базой, которая на то время не позволяла реализовать устройства формирования и обработки в приемлемых габаритах. Еще одной причиной, по которой интерес к таким системам связи не возрос в те времена, является отсутствие необходимости иметь высокую помехозащищенность каналов связи, поскольку мощности помех были невысоки. Сегодня, в условиях городской застройки и наличия огромного числа излучателей мощность помех на входе приемника может в несколько раз превышать мощность полезного сигнала[1, 2].

К началу 21 века ситуация в плане материальной базы изменилась, и на смену гигантским аналоговым схемам, приходят программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) с меньшими размерами и огромными возможностями, самые распространённые и доступные для исследователя схемы включают в себя до 1-го миллиона логических единиц, что уместается на плате размером 20 см², по скорости обработки сигналов у таких микросхем нет аналогов. Такая скорость достигается за счет параллельного вычисления, что отличает ПЛИС от процессорных систем. Еще одним достоинством является возможность многократного программирования кристалла, что позволяет дорабатывать устройство, просто перезаписав файл прошивки.

Все эти факторы приводят к тому, что интерес к цифровым системам, использующим для расширения спектра цифровые псевдослучайные последовательности, растет с каждым днем. Решено немало важных проблем связанных с передачей и приемом сверхширокополосных сигналов.

Основным достоинством таких систем, является возможность разделения абонентов в канале связи за счет использования отличных друг от друга шумоподобных модулируемых.

Особенности систем связи с прямым расширением спектра

Методы расширения спектра

Основными способами расширения спектра (широкополосной модуляции) в современных цифровых системах связи являются:

- 1) Метод прямого расширения спектра сигнала или как его принято называть в англоязычной литературе – Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- 2) Псевдослучайная перестройка рабочей частоты или другое название Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Ниже на рис. 1 представлена устоявшаяся модель цифровой широкополосной системы связи с прямым расширением спектра

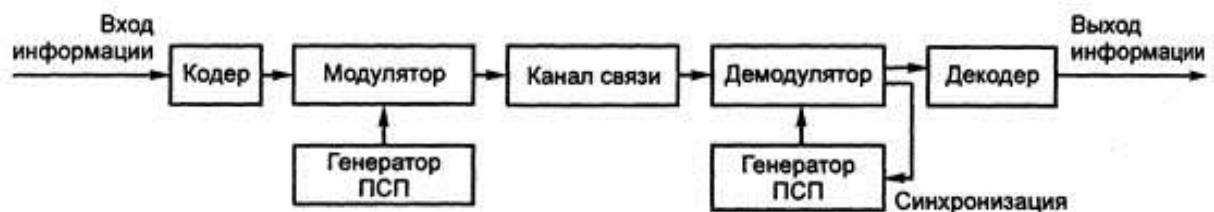


Рис.1. Модель цифровой системы связи с прямым расширением спектра

Генераторы псевдослучайной последовательности (ПСП) на приемной и передающей сторонах одинаковы и используются вначале для расширения спектра передаваемого в канал связи сигнала (передающая сторона), а затем для сжатия и демодуляции (приемная сторона). Проблема синхронизации генераторов на обеих сторонах канала связи является основной проблемой, при реализации широкополосных систем.

Для расширения спектра в таких системах, часто используют двоичную фазовую модуляцию BPSK(от англ. Binary Phase Shift Keying). Информационная манипуляция обычно так же фазовая, однако можно использовать и другие способы. Входные биты информационного сообщения перемножаются с отсчетами ПСП, затем выполняется непосредственно фазовая модуляция. Время за которое входные биты информационного

сообщения остаются в неизменном состоянии в десятки раз больше времени, за которое изменяются отсчеты ПСП.

На рис. 2 изображена функциональная схема (модель) системы связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).



Рис. 2. Модель системы связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты

При ППРЧ расширение спектра в отличие от прямого метода расширения происходит за счет перестройки по случайному закону рабочей (несущей) частоты модулятора. В приемнике реализуют обратную процедуру, что приводит к сужению спектра сигнала. Недостаток такой системы в том, что при смене частоты модуляции наблюдаются скачки начальной фазы несущей. Этот факт приводит к необходимости использования некогерентной демодуляции на приемной стороне, что заметно снижает эффективность кодирования.

При использовании рассмотренных способов расширения спектра на выходе модулятора формируется радиосигнал с полосой частот в несколько десятков раз превышающей занимаемую исходным сообщением полосу частот. Энергия такого сигнала распределена во всей выделенной полосе, а не сосредоточена вблизи несущего колебания, как это наблюдается у узкополосных сигналов. Такая частотная избыточность дает ряд преимуществ, таких как:

- 1) Высокая помехоустойчивость
- 2) Многоабонентность канала связи, за счет использования отличных друг от друга ПСП.
- 3) Дешевизна реализации

- 4) Высокая энергетическая скрытность за счет низкого уровня спектральной плотности.

Среда проектирования MatLab/Simulink

Система проектирования оптимально ориентированная под решаемую задачу значительно упрощает процесс исследования и позволяет получить необходимые расчеты в максимально короткие сроки. За десятки лет существования ЭВМ разработано огромное количество численных методов, используемых при решении проблем разных прикладных областей. Для каждой такой области созданы системы автоматизированного проектирования, которые объединяют в себе весь необходимый набор методов и решений, а так же предоставляют удобный и понятный интерфейс. Настоящая магистерская работа направлена на проектирование цифровых приемного и передающего устройств. Основным результатом работы является описание этих устройств на языке VHDL (англ. VHSIC (Very high speed integrated circuits) Hardware Description Language). Однако для описания устройства стандартным способом, т.е. написанием текста с соблюдением всех синтаксических требований языка VHDL, требуется огромное количество времени. Учитывая человеческий фактор, вероятность появления ошибок и опечаток при наборе текста крайне высока, что, в свою очередь, так же приводит к затрате времени при отладке.

Учитывая особенности работы и для уменьшения времени разработки системы связи, произведен поиск автоматизированного программного продукта, который значительно упрощает процесс проектирования и тестирования цифровых динамических систем. По результатам поиска, принято решение использовать среду разработки MatLab.

MatLab (от англ. «Matrix Laboratory») – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений[3]. Основным языком программирования является одноименный высокоуровневый язык, включающий основанные на матрицах структуры данных. Среда широко используется в таких областях, как:

- 1) Цифровая обработка сигналов и радиосвязь

2) Обработка видеоизображений

3) Автоматизация тестирования и измерений и т.п.

MatLab обладает огромным набором расширений, что позволяет обмениваться данными с различными внешними устройствами и сторонними средами, такими как LabView (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench). LabView среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США), который ориентирован на пользователя, не имеющего опыта программирования. Такой набор возможностей превращает MatLab в главный инструмент для решения широкого спектра научных и прикладных задач в таких областях, как разработка систем управления и проектирование коммуникационных систем[3]. Однако самой важной особенностью этой среды разработки, является встроенная подсистема Simulink.

Simulink – это система имитационного блочного моделирования динамических систем, которая основывается на программных средствах MatLab, но позволяет создавать модели из стандартных блоков в графическом виде. Визуальное представление дает возможность значительно упростить процесс создания модели, поиска ошибок, модификации модели другими пользователями, что в целом позволяет добиваться результатов гораздо быстрее, чем при использовании языка MatLab в чистом виде. Кроме того, пользователю предоставляется возможность автоматической генерации кода на языках C, VHDL, Verilog по созданной модели, что позволяет переносить модель системы сразу после отладки на кристалл (микроконтроллеры, ПЛИС).

Процесс создания цифровой системы связи при использовании среды автоматического проектирования MatLab/Simulink значительно упрощается, к тому же, полученные при моделировании данные могут использоваться в среде LabView, что способствует проведению дальнейших экспериментов, связанных с передачей модулированного сигнала по каналу связи.

Система связи с псевдослучайной цифровой модуляцией

В предыдущих параграфах были представлены свойства и способы генерации псевдослучайных последовательностей и основным достоинством, которое относится к устройствам, использующим в качестве модулированного сигнала отсчеты случайных последовательностей, является высокая помехозащищенность таких систем связи. Однако еще одним немаловажным достоинством является возможность организовать одновременную работу большого числа абонентов в общей полосе частот, без взаимного влияния абонентов друг на друга. Это достигается за счет свойств корреляционной функции, которая равна корреляционному моменту при совпадении двух случайных величин и равна нулю в противном случае. Каждому абоненту соответствует псевдослучайная последовательность с отличным распределением, поэтому при вычислении корреляции влияние других абонентов отсутствует.

При создании модели системы связи было принято решение использовать квадратурную фазовую модуляцию (QPSK, от англ. Quadrature Phase Shift Keying) для псевдослучайной последовательности. Потому как такой способ модуляции является базовым и широко используется при создании современных цифровых телекоммуникационных устройств, то применение его в качестве функционального блока позволяет организовать эффективное и достаточно простое устройство. Основным оценочным фактором при создании системы связи является простота алгоритмов, используемых для реализации разработанных решений. Создание портативного устройства работающего в широкой полосе частот и при этом недорогого в плане реализации должно привлекать внимание потребителя.

Основной проблемой в плане практической реализации устройств подобного класса является проблема синхронизации передающего и приемного устройств. На настоящее время предложено достаточное количество возможных решений этой проблемы, но их эффективность

ограничена за счет сложных схем организации процесса синхронизации. Многокаскадные устройства с возможностью слежения за состоянием синхронизации значительно увеличивают ресурсоемкость схем при создании готового устройства [4]. В настоящей работе синхронизация достигается за счет добавления к результату квадратурной фазовой модуляции (QPSK) псевдослучайной последовательности информационным сообщением, результат двоичной фазовой модуляции (BPSK от англ. Binary Phase Shift Keying) другой случайной последовательности заранее известными значениями некоторой управляющей последовательности. В результате суммирования двух таких шумоподобных сигнала они не оказывают влияния друг на друга и могут безошибочно детектироваться в приемном тракте.

Предложенные решения были реализованы, в процессе выполнения магистерской работы, и в результате разработана программная модель для среды MatLab/Simulink. Модель демонстрирует работоспособность системы связи с псевдослучайной цифровой модуляцией.

Функциональная схема передающего устройства

Функциональная схема передающей части системы представлена на рис. 4.1. Последовательность битов информационного сообщения поступает на вход блока 1, в котором каждая пара битов отображается в одну из точек QPSK-созвездия (QPSK, от англ. Quadrature Phase Shift Keying). Полученные комплексные значения $I + iQ$ умножаются на комплексные отсчеты $\xi + i\eta$ псевдослучайной последовательности, генерируемой в блоке 2. Псевдослучайные отсчеты ξ и η являются отсчетами белого гауссового шума с нулевым средним и дисперсией σ^2 . Отсчеты вещественной и мнимой части комплексного шума некоррелированы. Если обозначить за T_b временной интервал, определяющий скорость поступления битов информационного сообщения в блок 1, то время T_s , за которое происходит изменение значения комплексного сигнала $I + iQ$, составляет $T_s = 2T_b$.

Временной интервал T_n , на котором остаются неизменными комплексные случайные значения $\xi + i\eta$, в несколько десятков раз меньше символьного интервала T_s .

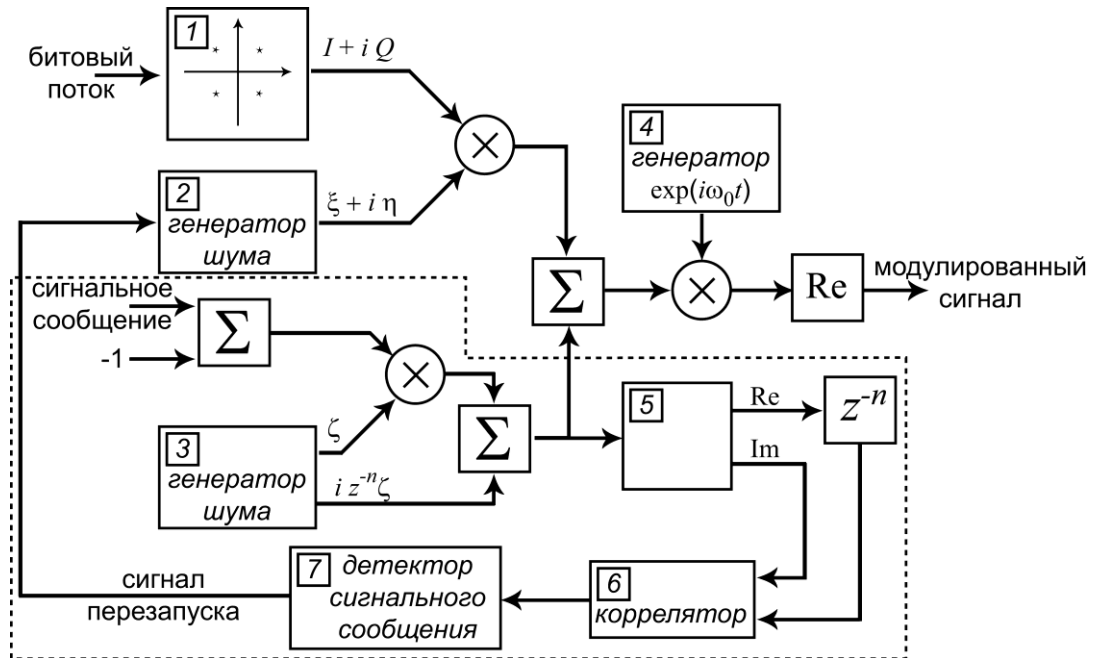


Рис. 4.1. Функциональная схема передающей системы с псевдослучайной цифровой модуляцией

Блоки, представленные в нижней части функциональной схемы и обведенные пунктирной линией, предназначены для передачи сигнального сообщения, обеспечивающего синхронизацию приемного и передающего трактов. Последовательность заранее заданных значений битов сигнального сообщения переводится в биполярную форму, после чего умножается на псевдослучайные отсчеты ζ белого гауссового шума с нулевым средним и дисперсией σ^2 , генерируемого в блоке 3. Скорость передачи битов сигнального сообщения совпадает со скоростью смены модуляционных символов в блоке 1 и определяется временным интервалом T_s . Скорость генерации отсчетов ζ задается временным интервалом T_n . На выходе сумматора в нижней части схемы формируется комплексный сигнал, вещественная часть которого представляет собой результат модуляции сигнальным сообщением псевдослучайного шума ζ , а мнимая —

немодулированные отсчеты ζ , задержанные на n временных интервалов T_n . Величина задержки n является параметром системы связи. Этот сигнал добавляется к результату модуляции псевдослучайной комплексной последовательности $\xi + i\eta$ модуляционными символами $I + iQ$. Результирующая псевдослучайная последовательность переносится в область высоких частот путем умножения на комплексное колебание с частотой ω_0 . Вещественная часть, сформированного таким образом сигнала является результатом модуляции.

Сформированный в нижней части схемы комплексный сигнал, содержащий сигнальное сообщение, разделяется в блоке 5 на вещественную и мнимую части. Вещественная часть задерживается на n временных интервалов T_n и вместе с мнимой частью подается на вход блока 6, вычисляющего взаимную корреляцию входных сигналов на временном интервале T_s . Знак сигнала на выходе коррелятора полностью определяется значениями битов сигнального сообщения. В блоке 7 производится накопление детектированных битов сигнального сообщения. В момент времени, когда детектируется последний бит сигнального сообщения, блок 7 генерирует сигнал перезапуска генераторов псевдослучайных последовательностей ξ и η .

Функциональная схема приемного устройства

Функциональная схема приемной части системы связи представлена на рис. 4.2. Модулированный высокочастотный сигнал с несущей частотой ω_0 умножением на синфазную и квадратурную составляющие несущего колебания и фильтрацией фильтрами нижних частот (блоки 2 и 3 на схеме) переносится на нулевую частоту. Синфазная компонента задерживается на n временных интервалов T_n и совместно с квадратурной компонентой поступает на вход блока 4. В этом блоке вычисляется взаимная корреляция

входных сигналов на временном интервале T_s . В силу взаимной некоррелированности отсчетов псевдослучайной последовательности ζ с отсчетами последовательностей ξ и η знак сигнала на выходе коррелятора 4 полностью определяется значениями бит сигнального сообщения. Значения бит сигнального сообщения накапливаются в блоке 5, который по приему последнего бита сигнального сообщения генерирует сигнал перезапуска генераторов псевдослучайных последовательностей ξ и η в блоке 6.

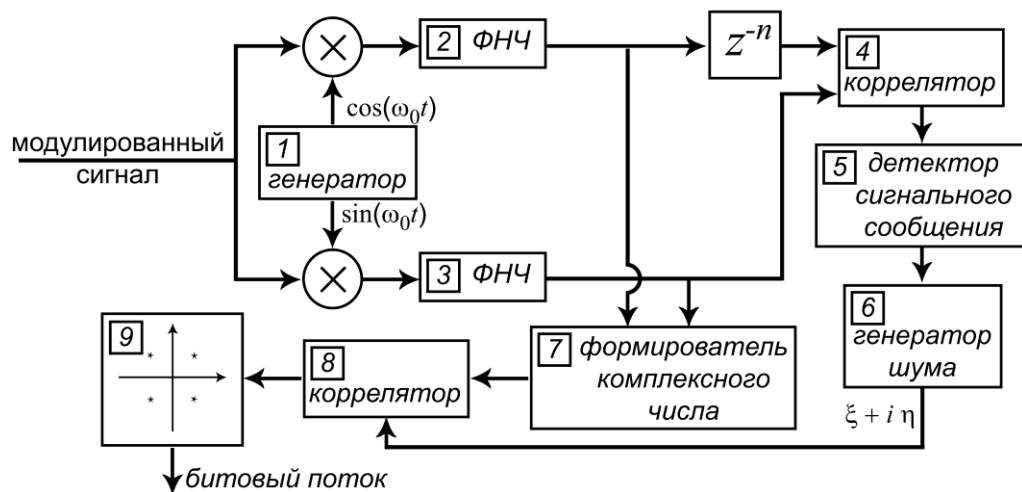


Рис. 4.2. Функциональная схема приемной системы

В блоке 7 из последовательности значений синфазной и квадратурной составляющих на выходах фильтров низких частот формируется комплексный сигнал, подающийся на вход коррелятора 8. На второй вход блока 8 поступает комплексный сигнал $\xi + i\eta$, генерируемый в блоке 6. В блоке 8 производится расчет взаимной корреляции последовательности отсчетов входных комплексных сигналов на временном интервале равном T_s . Знак вещественной и мнимой части отсчетов сигнала на выходе коррелятора полностью определяется значениями сигнала $I + iQ$, которыми модулировался псевдослучайный комплексный сигнал. В блоке 9 производится отображение точек созвездия QPSK в значения дибитов информационного сообщения.

Численная модель рассмотренной приемо-передающей системы была реализована в среде для моделирования динамических систем Mathworks

MatLab\Simulink. При моделировании использовались следующие параметры системы. Дисперсия гауссовых псевдослучайных последовательностей ξ , η и ζ устанавливалась равной $\sigma^2 = 1$. Задержка n при формировании псевдослучайного комплексного сигнала, содержащего сигнальное сообщение, была равна $n = 10T_n$. Символьный временной интервал был равен $T_s = 64T_n$. Кроме того, между моделями передающего и приемного трактов на пути модулированного сигнала вставлялась задержка, имитирующая задержку сигнала в канале связи. Эта задержка обеспечивала начальную асинхронность псевдослучайных значений ξ и η в модуляторе и демодуляторе.

На рис. 4.3 представлен пример осциллограммы, полученной при моделировании системы связи. Осциллограмма 1 представляет развертку во времени значений информационного цифрового сигнала – последовательность восьмиразрядных целых чисел. Осциллограмма 2 – развертка сигнала в синфазном канале приемного тракта на выходе фильтра нижних частот. Как и следовало ожидать, этот сигнал представляет собой белый гауссов шум. Временная развертка значений вещественной и мнимой частей сигнала на выходе блока 8 в приемном тракте представлена осциллограммами 3 и 4 соответственно. На осциллограмме 5 приведена развертка детектированного информационного сигнала.

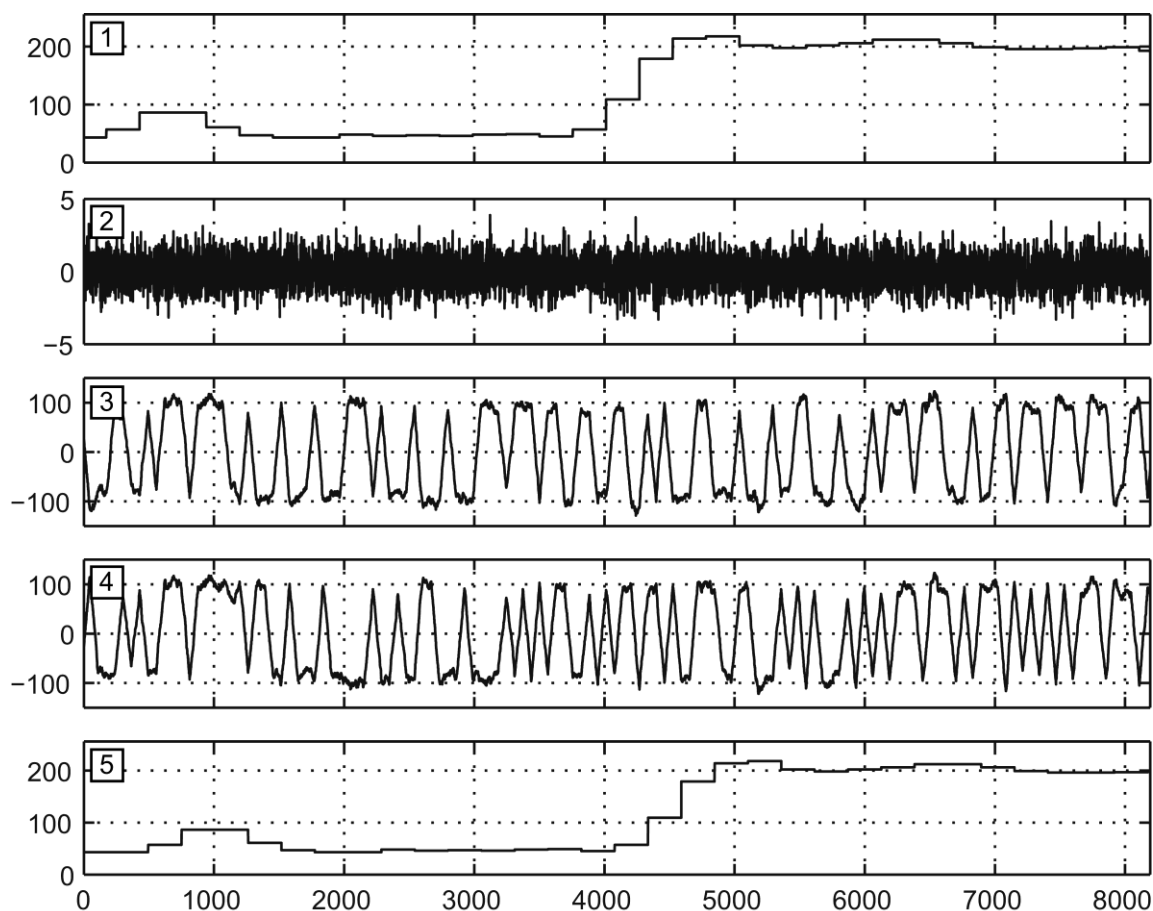


Рис. 4.3. Пример осциллограммы, полученной при моделировании системы связи

Полученные при моделировании осциллограммы полностью подтверждают работоспособность предложенной схемы системы связи с псевдослучайной цифровой модуляцией. Несмотря на начальную рассинхронизацию генераторов псевдослучайных цифровых последовательностей в приемном и передающем трактах, после передачи и приема первого сигнального сообщения происходит перезапуск этих генераторов, что обеспечивает успешную демодуляцию сигнала. Это демонстрируется осциллограммами 1 и 5, на которых сигналы совпадают с точностью до временной задержки. Осциллограммы 2, 3, 4 демонстрируют вполне ожидаемый эффект усиления сигнала при корреляционной обработке. Действительно, если амплитуда псевдослучайного модулированного сигнала на осциллограмме 2 не превышает по абсолютной величине значения 4, то на осциллограммах 3 и 4, демонстрирующих временную развертку сигнала на выходе коррелятора, значения колеблются в диапазоне от -100 до 100.

Коэффициент усиления полностью определяется величиной отношения $\frac{T_s}{T_n}$ и может меняться в широких пределах при задании параметров системы связи.

По результатам проделанной работы были сформулированы следующие научные положения:

1. В системе связи с цифровой псевдослучайной модуляцией отношение сигнал/шум на выходе коррелятора в приемном тракте определяется отношением длительности модуляционного символа к масштабу корреляции псевдослучайного модулирующего цифрового сигнала и, как следствие, обратно пропорционально скорости передачи информации, что позволяет варьировать помехоустойчивость такой системы связи в широких пределах.
2. Синхронизация приемного и передающего устройств в системе связи с псевдослучайной цифровой модуляцией возможна за счет взаимной некоррелированности разных псевдослучайных последовательностей, что позволяет реализовать одновременную передачу по каналу связи сигнального (синхронизирующего) и информационного сообщений, без взаимного влияния.

Заключение

Проведен анализ существующих способов цифровой модуляции сигналов. В качестве основы для реализации разрабатываемой системы связи предложено использовать QPSK (от англ. Quadrature Phase Shift Keying) модуляцию. Разработана численная модель QPSK-модулятора и демодулятора в среде моделирования динамических систем MatLab/Simulink.

Предложена и реализована синхронизирующая система с BPSK (англ. Binary Phase Shift Keying) модуляцией, основная идея заключается в передаче по каналу связи, одновременно, информационного и управляющего сообщений. Управляющий сигнал, представляет собой некоторую заранее известную последовательность чисел. После детектирования всех членов этой последовательности в приемном и передающем устройствах генерируется сигнал перезапуска источника псевдослучайной последовательности.

Для восстановления принимаемого сообщения используется корреляционная обработка. Знак вещественной и мнимой части отсчетов сигнала на выходе коррелятора полностью определяется значениями, которыми модулировался псевдослучайный комплексный сигнал.

По результатам численного эксперимента в среде MatLab/Simulink получены осциллограммы, которые полностью подтверждают работоспособность разработанной системы связи.

Список литературы

1. Прокис Дж. Цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Варакин Л.Е. Система связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 394 с., ил.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с., ил. (Серия проектирование).