

Руководство к лабораторному практикуму: ОСНОВЫ ТЕХНИКИ СВЯЗИ

Плата EMONA Communications для NI ELVIS III



Лабораторная работа 11: Двоичная фазовая манипуляция

Перечень изменений

Дата	Что изменено
7/7/2018	Оформлена окончательная версия документа

© 2018 Emona Instruments Pty Ltd

Все авторские права на все руководства пользователя по Emona TIMS/ETT-Series/DxIQ, руководства к лабораторным практикумам и прилагаемое к ним программное обеспечение принадлежат компании Emona Instruments Pty Ltd и ее подразделениям. Все права защищены.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА КОПИРОВАНИЕ РУКОВОДСТВ ТИМСМАРКОЙ

Лицензионное соглашение предоставляет ограниченные полномочия только тем образовательным учреждениям, которые приобрели учебное лабораторное оборудование Emona TIMS/ETT/DxIQ. Эти полномочия включают в себя тиражирование (полностью или частично) и/или распространение любых руководств пользователя и лабораторных практикумов TIMS/ETT/DxIQ, изданных компанией Emona Instruments, для исключительного использования студентами этих учреждений.

Ограниченные полномочия не предусматривают никаких лицензионных выплат компании Emona.

Компании Emona Instruments Pty Ltd принадлежат права на любые переизданные и/или вторичные документы.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Компания Emona Instruments Pty Ltd уважает чужие права на интеллектуальную собственность и призывает читателей к тому же самому. Этот ресурс защищен законами об авторском праве и интеллектуальной собственности.

LabVIEW и National Instruments являются торговыми марками корпорации National Instruments.

Все другие торговые марки и наименования компаний, упомянутые здесь, являются собственностью соответствующих компаний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

Читатель принимает на себя все риски, связанные с использованием настоящего ресурса и всей информации, теоретических сведений, программ, которые там содержатся или описываются. Этот ресурс может содержать технические неточности, типографические ошибки, прочие ошибки и упущения, а также устаревшую информацию. Ни автор, ни издатель не несут никакой ответственности за любые ошибки и упущения, за обновление любой информации, за любые нарушения патентных и других прав интеллектуальной собственности.

Автор и издатель не дают никаких гарантий, включая, без ограничений, любые гарантии на полноту данного ресурса и любой информации, теоретических сведений или программ, содержащихся или описываемых в ресурсе. Также они не дают никаких гарантий, что любые содержащиеся или описываемые в данном ресурсе информация, теоретические сведения и программы не нарушают ничьих патентных прав и иных прав интеллектуальной собственности. **ДАННЫЙ РЕСУРС ПОСТАВЛЯЕТСЯ "КАК ЕСТЬ". НЕ ДАЮТСЯ НИКАКИЕ ГАРАНТИИ, ЯВНЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЕМЫЕ, ЛЮБЫЕ И ВСЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОЙ ПРИГОДНОСТИ, ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЦЕЛИ И ОТСУТСТВИЯ НАРУШЕНИЙ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ.**

Никаких прав и лицензий не предоставляются издателем или автором под любым патентом или другим правом на интеллектуальную собственность явно, косвенно или по решению суда.

НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ ИЗДАТЕЛЬ ИЛИ АВТОР НЕ БУДУТ НЕСТИ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ЛЮБОЙ ПРЯМОЙ, КОСВЕННЫЙ, УМЫШЛЕННЫЙ, НЕУМЫШЛЕННЫЙ, СТРАХОВОЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИЛИ ВТОРИЧНЫЙ УЩЕРБ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ДАННЫМ РЕСУРСОМ И ЛЮБОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ СВЕДЕНИЯМИ И ПРОГРАММАМИ, КОТОРЫЕ ТАМ СОДЕРЖАТСЯ И ОПИСЫВАЮТСЯ, ДАЖЕ ЕСЛИ ОСВЕДОМЛЕННЫ О ВОЗМОЖНОСТИ ТАКОГО УЩЕРБА И ДАЖЕ ЕСЛИ ЕГО ПРИЧИНОЙ ИЛИ ЕГО СПОСОБСТВОВАНИЮ ЯВЛЯЛАСЬ НЕВНИМАТЕЛЬНОСТЬ ИЗДАТЕЛЯ, АВТОРА ИЛИ ИНЫХ ЛИЦ. Применяемый закон не допускает исключений или ограничений по неумышленному или вторичному ущербу. Следовательно, вышеприведенные исключения или ограничения к вам не относятся.

Содержание

Лабораторная работа 11: Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)	5
Цель работы	6
Предварительные условия	6
Необходимые инструментальные средства и технологии	7
Ожидаемые результаты.....	7
Часть 1: BPSK модуляция.....	8
1.1 Предварительное обсуждение	8
1.2 Генерация BPSK сигнала.....	9
1.3 Исследование спектра BPSK сигнала.....	14
Часть 2: Демодуляция BPSK сигнала с помощью детектора произведения	15
2.1 Исследование спектра BPSK при демодуляции с помощью детектора произведений.....	17
2.2 Реконструкция восстановленных данных с помощью компаратора.....	18
Часть 3: Помехи.....	19
3.1 Моделирование канала связи с ограниченной полосой пропускания и аддитивным белым гауссовым шумом	20
Рисунок 1: BPSK сигнал и исходный поток данных	8
Рисунок 2: Схема соединений для генерации BPSK сигналов	11
Рисунок 3: Блок-схема генерации BPSK сигнала.....	12
Рисунок 4: Модифицированная схема генерации BPSK сигнала	13
Рисунок 5: Схема соединений для демодуляции BPSK сигнала с помощью детектора произведений	15
Рисунок 6: Блок-схема демодуляции BPSK сигнала с помощью детектора произведений	16
Рисунок 7: Схема соединений для реконструкции восстановленных данных ...	18
Рисунок 8: Блок-схема реконструкции восстановленных данных.....	19
Рисунок 9: Схема соединений для зашумленного канала связи с ограниченной полосой пропускания	20
Рисунок 10: Блок-схема зашумленного канала связи с ограниченной полосой пропускания.....	21
Рисунок 11: Аддитивный белый гауссовский шум с шириной спектра 120 кГц для моделирования канала связи	22

Лабораторная работа 11: Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)

Цель работы

После выполнения этой лабораторной работы вы должны уметь:

1. Генерировать реальный BPSK сигнал
2. Описывать BPSK сигнал во временной и частотной областях
3. Объяснять, как демодуляция с помощью умножителя применяется для BPSK сигнала
4. Объяснять необходимость восстановления данных при BPSK демодуляции

Предварительные условия

Вы должны выполнить лабораторные работы 1 и 2 и быть знакомыми с оборудованием, его применением и мерами предосторожности при работе с оборудованием.

Необходимые инструментальные средства и технологии

Платформа: NI ELVIS III

Измерительные приборы:

- Осциллограф в режиме измерений во временной области
- Осциллограф в режиме БПФ
- Функциональный генератор

- Установка приборов:
<http://www.ni.com/documentation/en/ni-elvis-iii/latest/getting-started/installing-the-soft-front-panel/>
 - Доступ к приборам
<https://measurementslive.ni.com>
 - Руководство пользователя
<http://www.ni.com/en-us/support/model.ni-elvis-iii.html>
- Учебные пособия
https://www.youtube.com/playlist?list=PLvcPluVaUMIWm8ziaSxv0gwtshBA2dh_M

Аппаратные средства:

плата Emona Communications

Компоненты, используемые в этой лабораторной работе:

- 4 шнура с разъемами BNC - штекер "банана" 2 мм
- Проводники со штекерами 2 мм
- Наушники или микронаушники

-
- ✓ Доступ к прибору
<http://www.ni.com/en-us/support/model.emonacommunications-board-for-ni-elvis-iii.html>

ПО: Функциональный генератор NI ELVIS III

Файл для данной лабораторной работы:
ECB_120k-noise.csv

-
- ✓ Доступ к прибору
<https://measurementslive.ni.com>
-

Ожидаемые результаты

В этой лабораторной работе вы должны собрать для отчета:

- ✓ Результаты вычислений
- ✓ Результаты измерений
- ✓ Результаты наблюдений

Преподавателю, скорее всего, необходимо предъявить полный отчет о работе. Узнайте у вашего преподавателя, есть ли конкретные требования к отчету или шаблон для его оформления.

Часть 1: BPSK модуляция

1.1 Предварительное обсуждение

AM и FM модуляторы позволяют передавать цифровые сигналы с разделением каналов. Чтобы не путать модуляторы сообщений в цифровой форме и модуляторы музыкальных и речевых сигналов, их принято называть соответственно ASK и FSK (амплитудные и частотные манипуляторы, соответственно).

При ASK каждому из двух уровней цифрового сигнала ("0" или "1") соответствует одно из двух значений амплитуды несущей. При FSK этим же уровням цифрового сигнала соответствуют две частоты. Наконец, существует еще один вид модуляции, называемый *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) – *двоичная фазовая манипуляция*, где поток двоичных данных (Data stream) переключает фазу несущего колебания. На рисунке 1 показан BPSK сигнал, который согласован по времени с изменениями модулирующего цифрового сигнала.

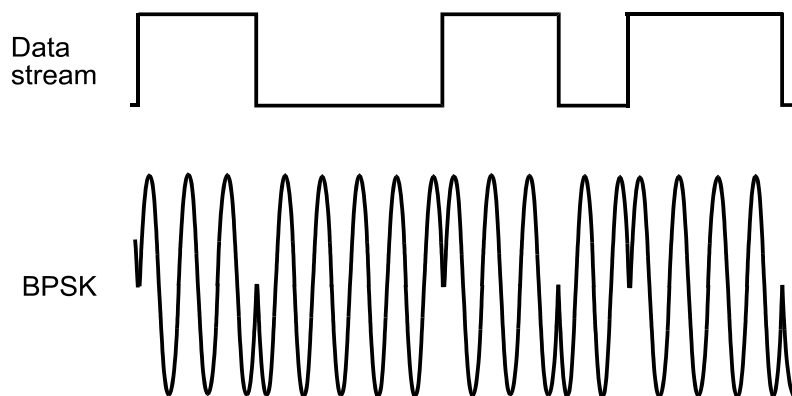


Рисунок 1: BPSK сигнал и исходный поток данных

Следует обратить внимание, что когда логический уровень цифрового сигнала меняется на противоположный, фаза модулированного сигнала изменяется на 180° . Если, например, сигнал BPSK движется к положительному пику и изменяется логический уровень цифрового сигнала, то направление изменения сигнала BPSK становится противоположным, и его значения движутся к отрицательному пику (и наоборот).

Возможно, вы не сразу заметили, но присмотревшись внимательнее, вы обнаружите, что чередующиеся полупериоды огибающей BPSK сигнала совпадают по форме с исходным сообщением. Это означает, что BPSK сигнал на самом деле является сигналом с *двухполосной модуляцией с подавлением несущей* – *double-sideband suppressed carrier (DSBSC)*. Таким образом, для генерации BPSK сигнала и восстановления данных из него можно использовать традиционные DSBSC модуляторы и демодуляторы, принцип действия которых поясняется в лабораторных работах 6 и 9, соответственно.

Не исключено, что у вас могут возникнуть сомнения, какой из видов модуляции наиболее предпочтительный: ASK, FSK или BPSK. При прочих одинаковых достоинствах метод BPSK обладает наилучшей помехозащищенностью, которое обеспечивает наименьшее количество ошибок при приеме данных. На втором месте оказывается FSK, а на последнем – ASK. В тоже время ASK и FSK модуляторы дешевле в изготовлении. Например, FSK применялась в самых доступных по цене телефонных модемах.

1.2 Генерация BPSK сигнала

При выполнении этого эксперимента вы, реализуя математическую модель BPSK сигнала, сгенерируете его с помощью модуля MULTIPLIER (умножитель) на плате EMONA. Цифровое сообщение моделируется модулем SEQUENCE GENERATOR (генератор последовательностей). Далее вы восстановите исходное сообщение с помощью другого умножителя и исследуете искажения. Наконец, с помощью компаратора выполните реконструкцию восстановленных данных.

Время выполнения эксперимента – около 40 минут.

Включение питания платы EMONA Communications

1. Убедитесь, что кнопка *Board Power* включения питания платы в левом верхнем углу NI ELVIS III находится в состоянии OFF (не светится).
2. Аккуратно вставьте плату EMONA Communications в слот станции NI ELVIS III, убедившись, что она полностью зафиксирована спереди и сзади.
3. Убедитесь в том, что станция NI ELVIS III подключена к компьютеру с помощью USB кабеля, и компьютер включен.
4. Включите питание платы, нажав один раз на кнопку *Board Power*, и убедитесь в том, что она светится. Светодиоды на плате EMONA Communications также должны светиться. Если они не светятся, немедленно выключите питание платы и проверьте, правильно ли она вставлена и подключена.
5. Откройте в вашем браузере утилиту Instrument Launcher (утилита запуска измерительных приборов) и выберите нужные измерительные приборы.

Конфигурация осциллографа

Channel Voltage range (Масштаб по оси напряжения)	2 V/div (2 В/дел)
Horizontal Timebase (Масштаб по оси времени)	50us/div (50мкс/дел)
Trigger (Запуск)	Analog Edge, Chan 1, Rising (Аналоговый "фронт", канал 1, нарастающий)
Probe Attenuation (Коэффициент деления пробника)	1x

Конфигурация функционального генератора

Channel 1 (Канал 1)	Custom (Пользовательский)
Update rate (Частота обновления)	500kS/s (500 кОтсчетов/с)
Waveform file (Файл с данными для генерации сигнала)	ECB_120knoise.csv

BPSK сигнал можно сгенерировать, реализовав математическую модель модуляции по методу DSBSC. За подробной информацией об этом методе обратитесь к разделу предварительных обсуждений лабораторной работы 6.

6. Соберите схему, как показано на рисунке 2.

Примечание: Вставьте черные штекеры кабеля осциллографа в гнездо заземления (GND).

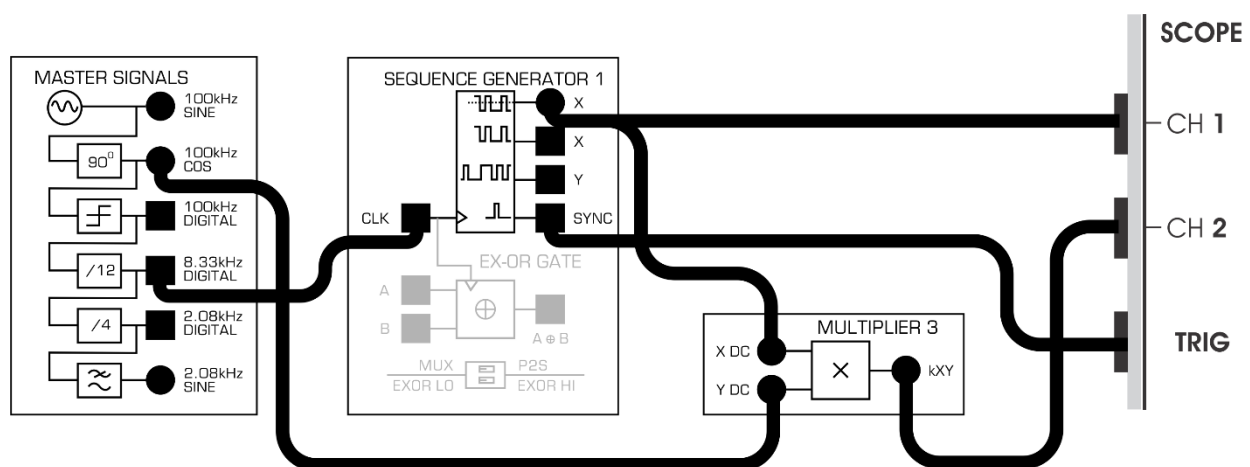


Рисунок 2: Схема соединений для генерации BPSK сигналов

Собранную схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3. Исходный цифровой сигнал формируется генератором последовательностей (SEQUENCE GENERATOR), выход которого SYNC используется для запуска осциллографа, чтобы обеспечить стабильное отображение осциллограммы. BPSK сигнал генерируется путем реализации математической модели с помощью модуля умножителя (MULTIPLIER).

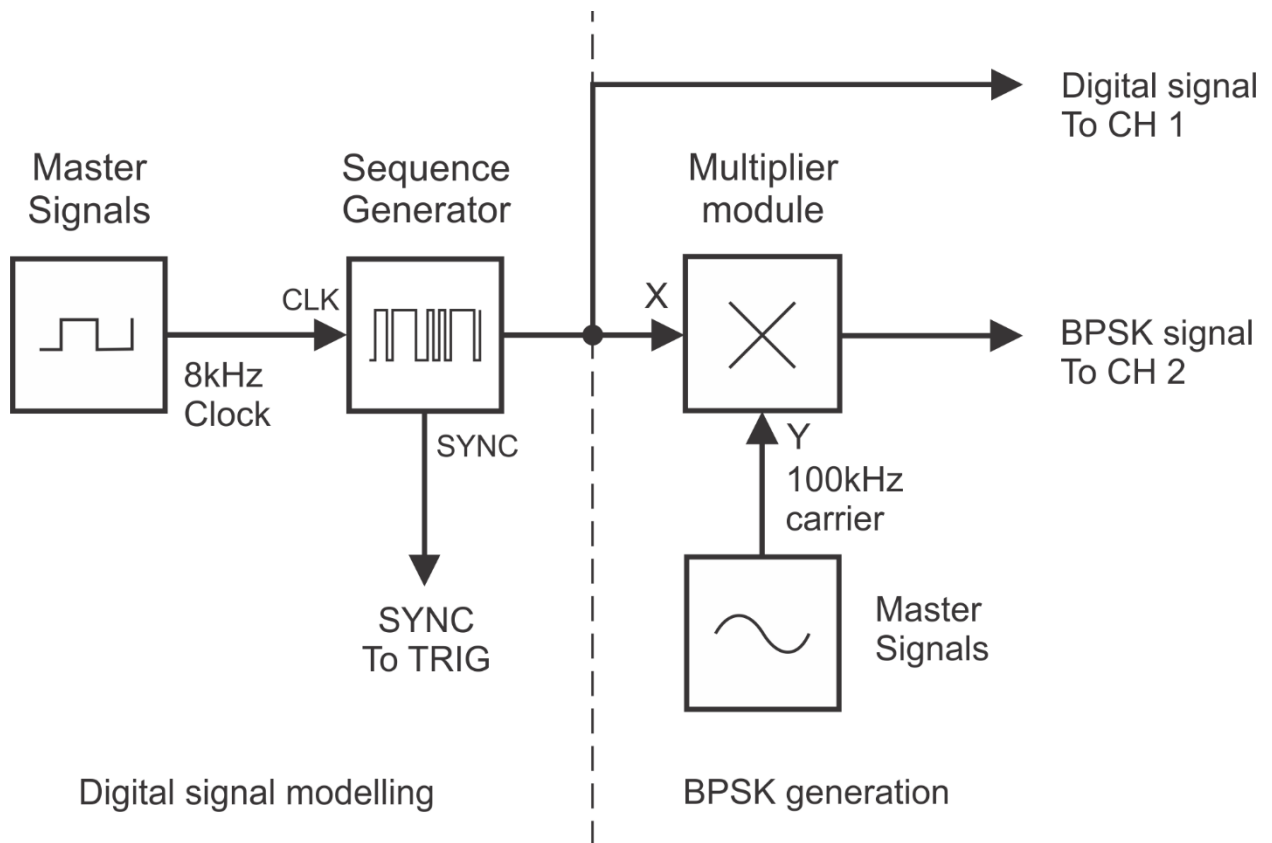


Рисунок 3: Блок-схема генерации BPSK сигнала

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Master Signals – генератор опорных сигналов, 8 kHz Clock – импульсы синхронизации 8 кГц, CLK – вход импульсов синхронизации, Sequence Generator – генератор последовательности, SYNC To TRIG – синхросигнал на вход запуска

BPSK generation – генерация BPSK сигнала:

Multiplier module – модуль умножителя, 100kHz carrier – несущая 100 кГц, Master Signals – генератор опорных сигналов, Digital signal To CH1 – цифровой сигнал к каналу 1, BPSK signal To CH 2 – BPSK сигнал к каналу 2

7. Запустите осциллограф станции NI ELVIS III.
8. Установите следующие настройки осциллографа:
 - *Scale Channel 2: 2V/div (Масштаб по оси напряжения для канала 2)*
 - *Input Coupling: DC (Связь с источником сигнала по постоянному току – для обоих каналов)*
 - *Timebase: 100μs/div (Масштаб по оси времени)*
 - *Trigger Type: Digital Edge (Тип сигнала запуска – цифровой фронт)*
 - *Trigger Source: TRIG (Источник сигнала запуска)*
9. Активируйте входы каналов 1 и 2 осциллографа, чтобы одновременно наблюдать исходный сигнал на выходе генератора последовательностей и BPSK сигнал на выходе умножителя.

10. Сравните эти сигналы.

1-1 Какие свойства BPSK сигнала говорят о том, что это сигнал DSBSC?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, еще раз прочитайте раздел предварительного обсуждения.

Очевидно, что что-то происходит, когда изменяется логический уровень выходного сигнала модуля Sequence Generator, однако, чтобы разглядеть это требуется более высокое разрешение. Получить более качественное изображение помогут следующие действия.

11. Внесите изменения в схему в соответствии с рисунком 4.

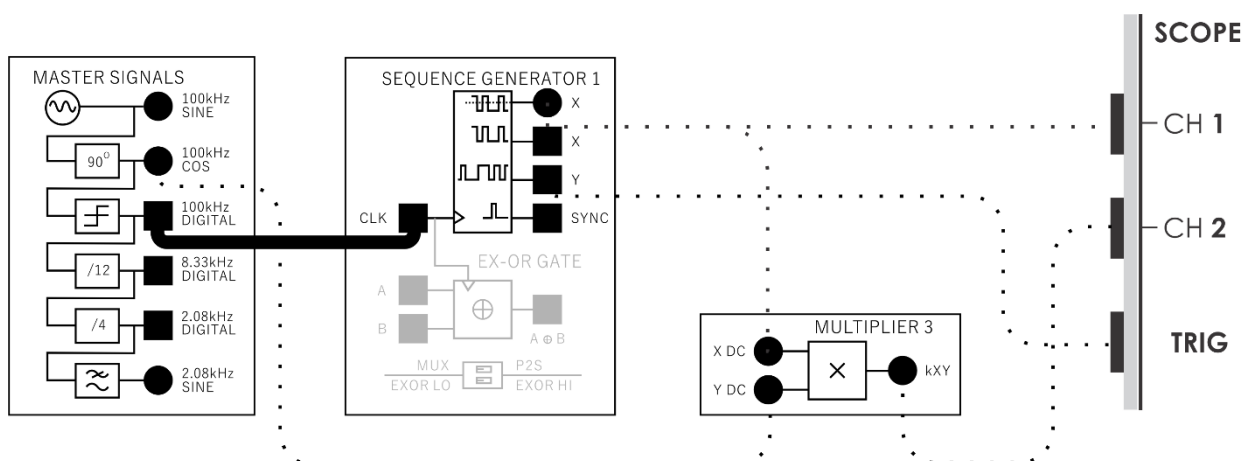


Рисунок 4: Модифицированная схема генерации BPSK сигнала

12. Установите масштаб по оси времени осциллографа 10 мкс/дел.

1-2 Что происходит с BPSK сигналом при изменениях логического уровня цифрового сигнала?

13. Переключите на короткое время источник несущей с выхода 100kHz Cos на выход 100kHz Sine и обратите внимание на изменения в точках перехода. Убедитесь, что вы понимаете причину этого явления. Верните прежний источник несущей (100kHz Cos).

1-3 Почему для несущей 100 кГц Sine сигнал BPSK при переключениях выглядит по-другому?

1.3 Исследование спектра BPSK сигнала

В одной из предыдущих лабораторных работ вы познакомились с основами анализа спектра цифрового потока данных (PN последовательности). В этом эксперименте вы будете исследовать, как такой сложный сигнал выглядит после переноса на несущую в процессе модуляции, а также что происходит в частотной области во время демодуляции с помощью умножителя.

1. Снова соедините вход *CLK* модуля Sequence Generator с выходом *8.33kHz Digital* модуля Master Signals.
2. Включите осциллограф в режим FFT. Измените масштаб по оси времени на 1 мс/дел. Установите диапазон частот от 0 Гц до 200 кГц, в качестве источника сигнала для получения БПФ спектра (FFT Source) выберите канал 2, а также задайте окно Блэкмана-Харриса (Blackman-Harris) вместо используемого по умолчанию прямоугольного (Rectangular) окна.
3. Теперь установите полосу обзора, скажем, от 70 кГц до 130 кГц, чтобы более детально рассмотреть интересующую область частот.
4. Сделайте скриншот полученного БПФ спектра и вставьте его в ваш отчет. Прокомментируйте скриншот, чтобы идентифицировать сфотографированные сигналы. Если необходимо, то с помощью курсоров выделите важные уровни и точки перехода сигнала.

1-4 На какой частоте в спектре находится первый "нуль"? Чему он соответствует?

Часть 2: Демодуляция BPSK сигнала с помощью детектора произведения

Поскольку BPSK сигнал отличается от DSBSC сигнала только тем, что вместо речи или музыки он переносит цифровое сообщение, его можно демодулировать с помощью DSBSC демодулятора. В этом эксперименте нужно выполнить демодуляцию с помощью детектора произведения.

1. Установите масштаб по оси времени $200\mu\text{s}/\text{div}$.
2. Найдите модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (перестраиваемый ФНЧ) на плате и поверните его элемент управления *TUNE* по часовой стрелке до упора.
3. Установите коэффициент передачи *GAIN* перестраиваемого ФНЧ в среднее положение.
4. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 5.

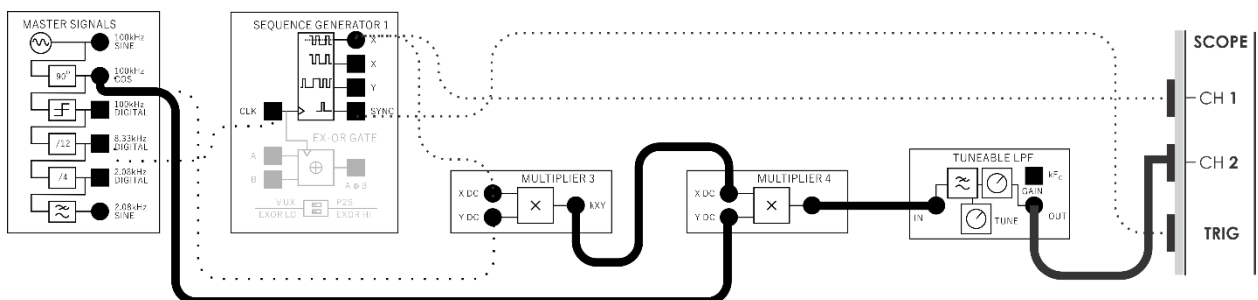


Рисунок 5: Схема соединений для демодуляции BPSK сигнала с помощью детектора произведений

Генератор BPSK сигнала и демодулятор можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 6. Для восстановления цифровых данных из BPSK сигнала используется детектор произведения, который состоит из второго умножителя и перестраиваемого ФНЧ.

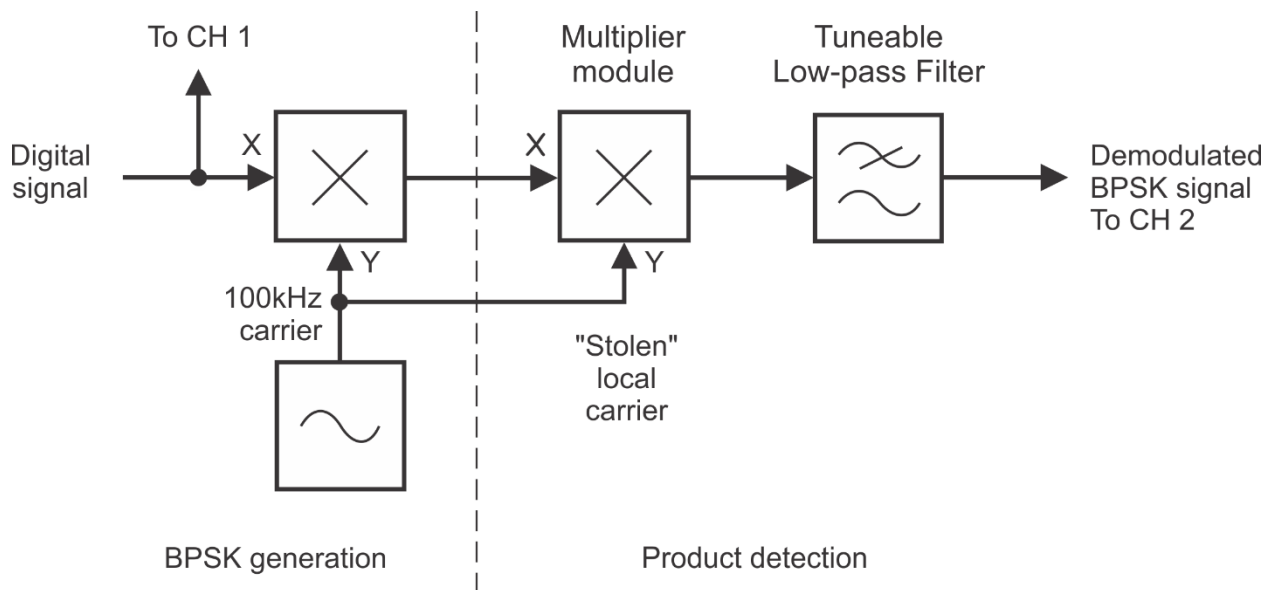


Рисунок 6: Блок-схема демодуляции BPSK сигнала с помощью детектора произведений

BPSK generation – генерация BPSK сигнала:

Digital signal – цифровой сигнал, To CH1 – к каналу 1, 100kHz carrier – несущая 100 кГц

Product detection – детектор произведения:

Multiplier module – модуль умножителя, "Stolen" local carrier – заимствованная локальная несущая, Tuneable Low-pass filter – перестраиваемый ФНЧ, Demodulated BPSK signal To CH 2 – демодулированный BPSK сигнал – к каналу 2

5. Сравните исходный и восстановленный цифровые сигналы.

2-1 Почему восстановленный сигнал не является точной копией исходного сигнала?

2-2 Какое устройство требуется для "реконструкции" цифрового сигнала?

2.1 Исследование спектра BPSK при демодуляции с помощью детектора произведений

1. Включите осциллограф в режиме FFT. Измените значение масштаба по оси времени на 1 мс/дел.
2. Установите полосу частот для обзора от 0 Гц до 250 кГц, чтобы сделать скриншот всего диапазона спектра.
3. На одном из каналов осциллографа наблюдайте сигнал на **входе** перестраиваемого ФНЧ. Сделайте скриншот полученного БПФ спектра и вставьте его в ваш отчет. Прокомментируйте скриншот, чтобы идентифицировать сфотографированные сигналы. Если необходимо, то с помощью курсоров выделите важные уровни и точки перехода сигнала.

2-3 Почему в спектре есть гармоники в окрестности частоты 200 кГц?

2-4 Почему в спектре есть гармоники вблизи частоты 0 Гц?

2.2 Реконструкция восстановленных данных с помощью компаратора

Компаратор является полезной схемой для реконструкции искаженных цифровых сигналов. В этом эксперименте вы используете компаратор для "очистки" демодулированного BPSK сигнала.

1. Соедините вход *REF* модуля Comparator с гнездом заземления GND (0 В).
2. Модифицируйте схему, как показано на рисунке 7.

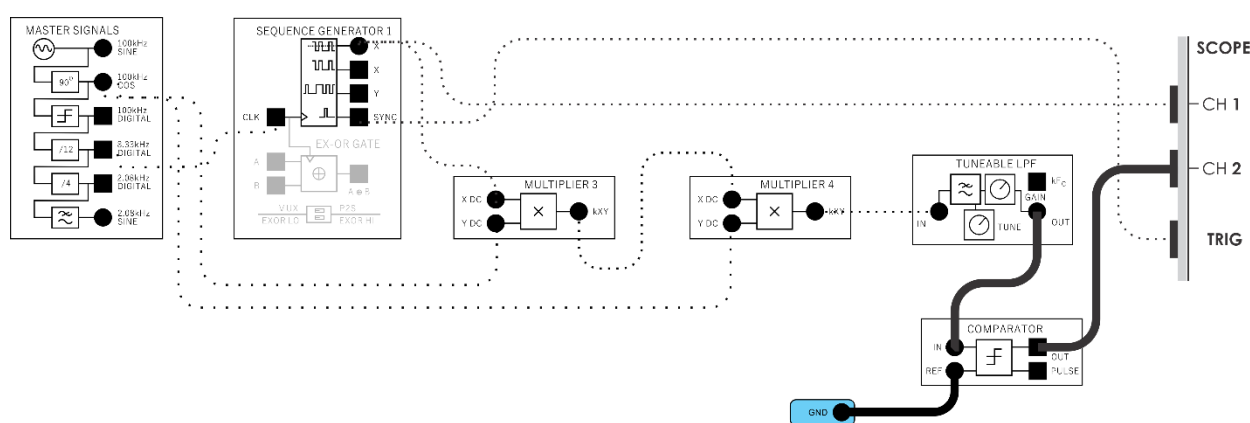


Рисунок 7: Схема соединений для реконструкции восстановленных данных

BPSK генератор, демодулятор и устройство реконструкции цифрового сигнала от искажений можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 8.

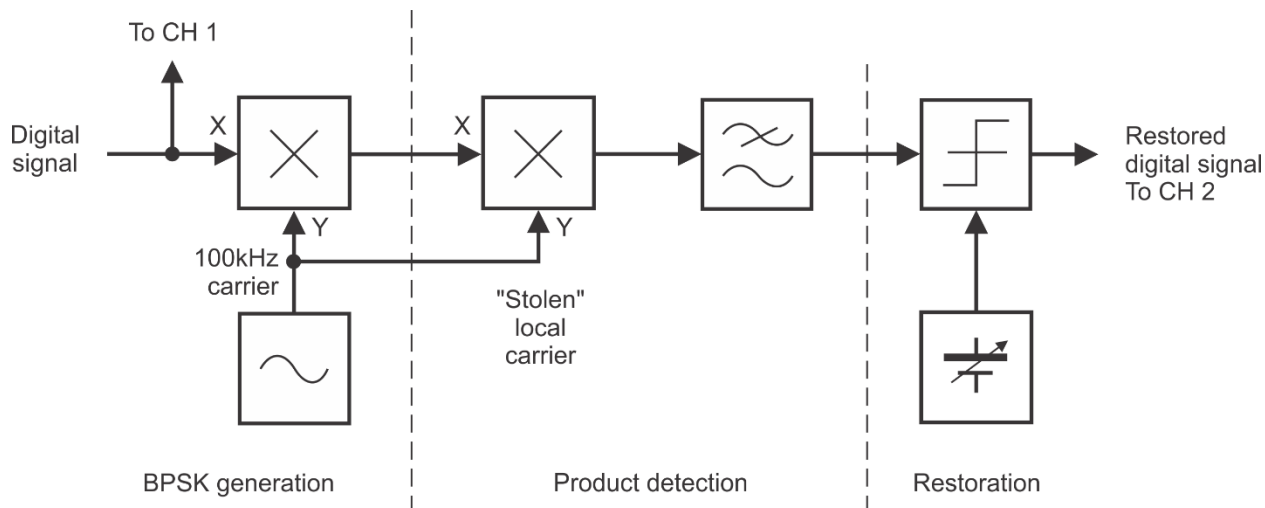


Рисунок 8: Блок-схема реконструкции восстановленных данных

BPSK generation – генерация BPSK сигнала:

Digital signal – цифровой сигнал, To CH 1 – к каналу 1, 100kHz carrier – несущая 100 кГц

Product detection – детектирование произведения:

"Stolen" local carrier – заимствованная локальная несущая

Restoration – реконструкция:

Restored digital signal To CH 2 – реконструированный цифровой сигнал – к каналу 2

Часть 3: Помехи

Как правило, системы радиосвязи подвергаются влиянию "вредных" электромагнитных излучений, называемых *помехами (noise)*, из-за которых ухудшается качество связи. Одни помехи создаются природными источниками, такими, как Солнце или разряд молнии во время грозы. Большинство других помех, умышленно или нет, возникают в результате человеческой деятельности. Например, электромагнитное излучение электрических машин или электронного оборудования. В то же время, в системах связи могут возникать помехи при непосредственном участии людей, например, при передаче сообщений через соседний канал связи.

Большинство помех накладываются на полезный сигнал, когда он передается через канал связи, и искажают его форму, что, в свою очередь, приводит к искажению звучания после демодуляции в приемнике. При очень больших помехах (по сравнению с уровнем полезного сигнала) демодуляция становится невозможной.

Плата EMONA Communications предоставляет возможность смоделировать шум и наложить его на сигнал в канале связи. Если позволит время, вы можете выполнить соответствующий эксперимент.

3.1 Моделирование канала связи с ограниченной полосой пропускания и аддитивным белым гауссовым шумом

1. Соберите схему согласно рисунку 9, **не разрывая** ранее сделанных соединений. Сначала установите минимальный коэффициент усиления модуля Amplifier (усилитель), повернув соответствующий регулятор против часовой стрелки до упора.

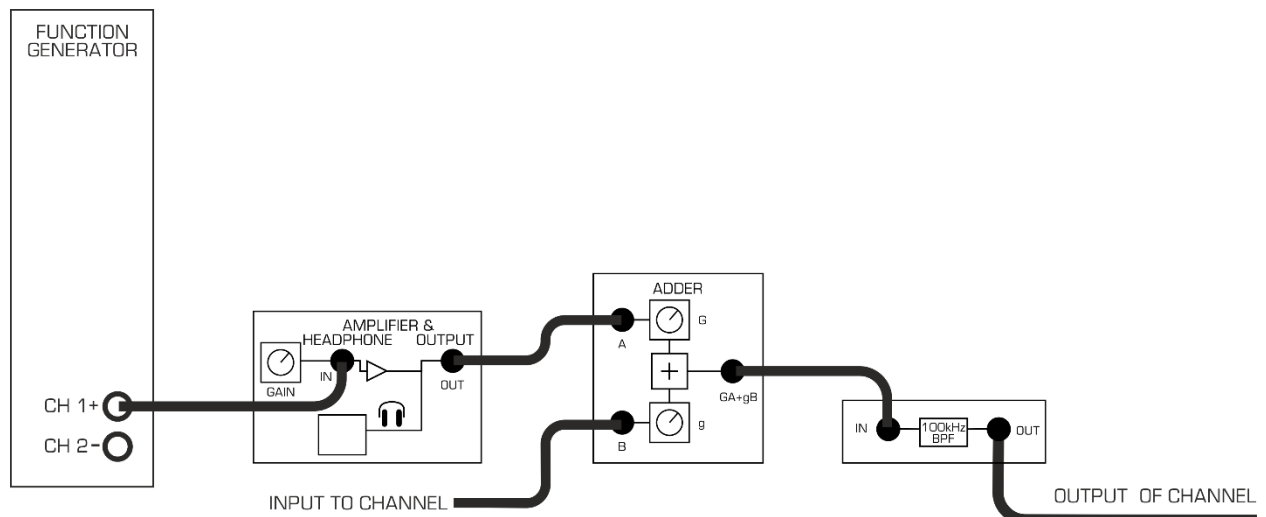


Рисунок 9: Схема соединений для зашумленного канала связи с ограниченной полосой пропускания

Схема на рисунке 9 может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 10. Здесь моделируется функционирование настоящего канала связи с ограниченной полосой пропускания, в котором помеха накладывается на сигнал, передаваемый, например, методом BPSK.

Целесообразно варьировать уровень помех с помощью модуля Amplifier. Выбирая различные значения уровня помех, например -20 дБ (отношение сигнал/шум равно 10), -6 дБ (отношение сигнал/шум равно 2), 0 дБ (отношение сигнал/шум равно 1), необходимо исследовать качество связи и документировать результаты.

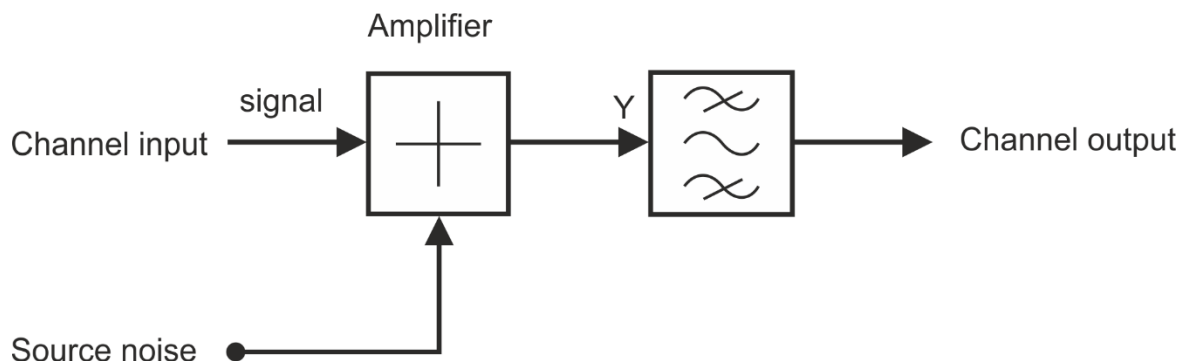


Рисунок 10: Блок-схема зашумленного канала связи с ограниченной полосой пропускания

Channel input – вход канала, Signal – сигнал, Amplifier – усилитель,
Source Noise – источник помехи (шума), Channel output – выход канала

В качестве источника помех используется функциональный генератор. Выберите канал 1, режим формирования сигнала CUSTOM (пользовательский) и загрузите файл “ECB_120k-noise.csv”. Выберите частоту обновления 500 кОтсчетов/с. При таких настройках будет генерироваться широкополосный шумовой сигнал с шириной спектра 120 кГц, что является достаточным для моделирования зашумленного канала с полосой пропускания 100 кГц.

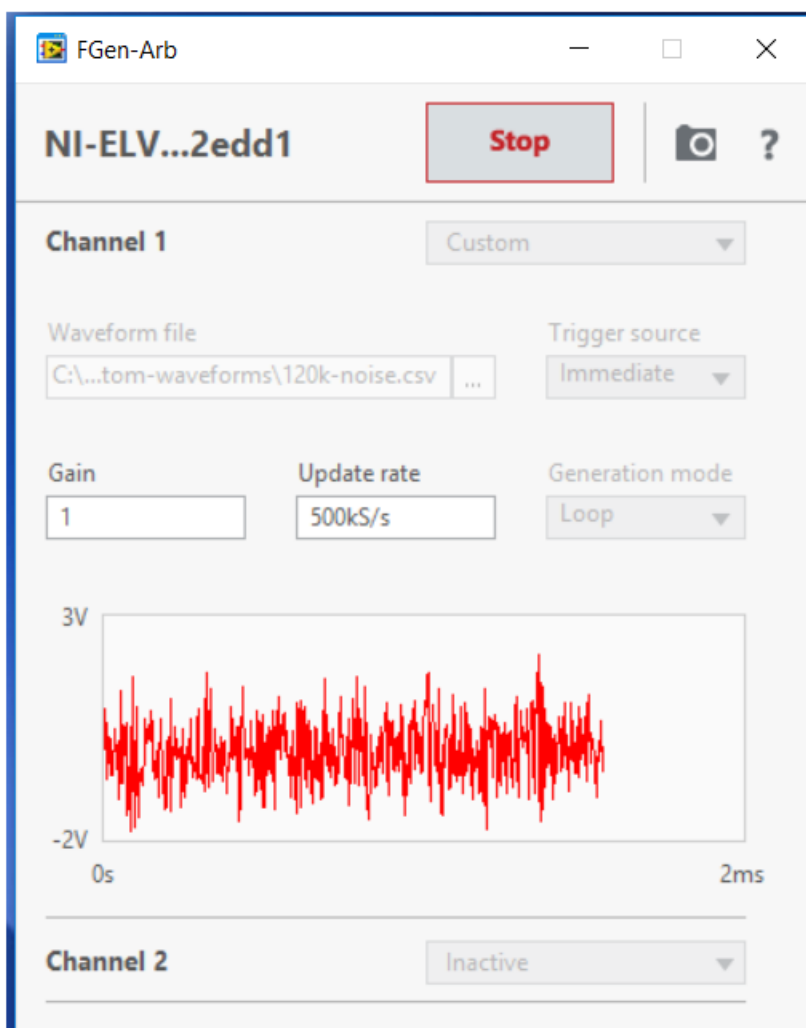


Рисунок 11: Аддитивный белый гаусовский шум с шириной спектра 120 кГц для моделирования канала связи

2. Установите в средние положения регуляторы коэффициентов передачи G и g модуля Adder (в положение "примерно 12 часов"), что примерно соответствует единичному коэффициенту передачи в каждом канале модуля.
3. Отсоедините проводники от выхода модуля Multiplier 3 (верхний умножитель) и соедините его со входом помехи канала связи "Input to Channel" (как показано на рисунке 9).
4. Соедините выход зашумленного канала со входом модуля Multiplier4 (нижний умножитель).

Примечание 1: В собранной схеме передаваемый сигнал (с выхода верхнего умножителя) поступает на вход приемника (вход нижнего умножителя) через смоделированный зашумленный канал связи.

Примечание 2: Полосовой фильтр представляет собой перестраиваемый высокочастотный колебательный контур, который может стать неустойчивым при определенных условиях. Он может войти в режим генерации независимо от входного сигнала. Если генерация возникнет, просто выключите и включите питание короткими нажатиями на кнопку включения питания платы.

5. Сравните исходные и восстановленные данные.
6. Отсоедините вход канала 2 осциллографа от выхода компаратора и подключите его к выходу модуля Adder, чтобы наблюдать зашумленный BPSK сигнал.
7. Плавно изменяйте коэффициент усиления *GAIN* модуля Amplifier, чтобы повысить уровень шума в канале. Уровень шума вы можете измерить активировав функцию Measurement осциллографа.
8. Наблюдайте, как увеличение уровня помех влияют на BPSK сигнал.
9. Заново подключите вход канала 2 осциллографа к выходу компаратора.
10. Сделайте скриншоты осциллограмм при различных уровнях шума и включите их в ваш отчет. Прокомментируйте скриншот, чтобы идентифицировать сфотографированные сигналы. Если необходимо, то с помощью курсоров выделите важные уровни и точки перехода сигнала.
11. Пронаблюдайте уровень шума на входе и на выходе канального полосового фильтра (Channel BPF).

3-1 Почему уровень шума на выходе полосового фильтра ниже, чем на его входе?

11. Сделайте скриншоты спектров сигналов, в том числе шума и вставьте их в ваш отчет. Прокомментируйте скриншот, чтобы идентифицировать сфотографированные сигналы. Если необходимо, то с помощью курсоров выделите важные уровни и точки перехода сигнала.