

***Эпоха DATEx
Руководство
к лабораторному
практикуму***

Том 1

**Эксперименты по основам
современных аналоговых и
цифровых методов
телекоммуникаций**

Бэрри Дункан



***Эпоха DATEx
Руководство
к лабораторному
практикуму***

Том 1

**Эксперименты по основам
современных аналоговых и
цифровых методов
телекоммуникаций**

Бэрри Дункан



**Emona DATEx Руководство к лабораторному практикуму
Том 1 -
Эксперименты по основам современных аналоговых и цифровых
методов телекоммуникаций.**

Автор: Бэрри Дункан
Технические редакторы: Тим Хупер и Карло Манфредини

Издание: 2.0

Издательство:
Emona Instruments Pty Ltd,
86 Parramatta Road
Camperdown NSW 2050
AUSTRALIA.

web: www.tims.com.au
telephone: +61-2-9519-3933
fax: +61-2-9550-1378

Copyright © 2008 Emona Instruments Pty Ltd и ее подразделения. Все права защищены. Никакая часть этой публикации не может быть воспроизведена или распространена в любой форме или любым способом, включая распространение в локальной сети или сети Интернет, а также через радио и телевидение для дистанционного обучения или сохранено в базе данных или любой поисковой системе без предварительного письменного разрешения Emona Instruments Pty Ltd.

Для получения информации о порядке лицензирования свяжитесь, пожалуйста, с Emona Instruments Pty Ltd.
DATEx™ является торговой маркой Emona TIMS Pty Ltd.

LabVIEW™, National Instruments™, NI™, NI ELVIS™, and NI-DAQ™ являются торговыми марками корпорации National Instruments Corporation. Наименования продукции и компаний, упомянутые здесь, являются торговыми марками или фирменными наименованиями соответствующих компаний.

Напечатано в Австралии

© 2008 - перевод на русский язык:
учебный центр "Центр технологий National Instruments"
Новосибирский государственный технический университет
Российский филиал корпорации National Instruments

Содержание

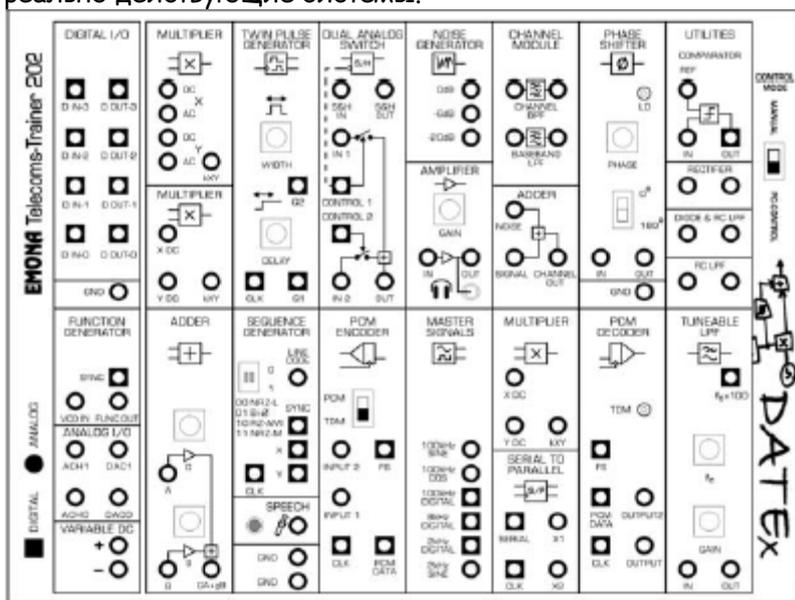
Введение	i - iv
1 - Контрольно-измерительные приборы NI ELVIS.....	1 - 1
2 - Введение в модуль расширения DАTEX для выполнения экспериментов	2 - 1
3 - Программная панель управления.....	3 - 1
4 - Моделирование уравнений с помощью модуля Emona DАTEX.....	4 - 1
5 - Амплитудная модуляция.....	5 - 1
6 - Модуляция с двумя боковыми полосами и подавлением несущей	6 - 1
7 - Наблюдения АМ и DSBSC сигналов в частотной области.....	7 - 1
8 - Демодуляция АМ сигналов	8 - 1
9 - Демодуляция сигнала с двумя боковыми полосами и подавленной несущей DSBSC.....	9 - 1
10 - Модуляция и демодуляция сигнала с одной боковой полосой и подавленной несущей SSBSC	10 - 1
11 - Частотная модуляция (FM).....	11 - 1
12 - Демодуляция FM сигналов	12 - 1
13 - Дискретизация и восстановление сигналов	13 - 1
14 - Импульсно-кодовая модуляция.....	14 - 1
15 - Демодуляция ИКМ сигналов	15 - 1
16 - Ограничение полосы частот и восстановление цифровых сигналов	16 - 1
17 - Амплитудная манипуляция	17 - 1
18 - Частотная манипуляция	18 - 1
19 - Двоичная фазовая манипуляция	19 - 1
20 - Квадратурная фазовая манипуляция.....	20 - 1
21 - DSSS модуляция и демодуляция	21 - 1
22 - Дискретизация сигналов в программируемой радиосвязи	22 - 1

Введение

Обзор руководства к лабораторным работам ETT-202 DATeX™

Первый том руководства по лабораторным работам ETT-202 охватывает широкий диапазон тем по основам цифровых и аналоговых телекоммуникаций и представляет собой последовательность из 20 тщательно подготовленных практических лабораторных экспериментов. Каждый эксперимент предназначен для подтверждения теоретических концепций, рассматриваемых на занятиях первого курса по современным телекоммуникациям.

Каждый эксперимент DATeX для студента - это интересный практический опыт. В каждом эксперименте студенту предлагается задание: собрать, измерить и подумать - это не "книга готовых рецептов". DATeX действительно настоящая инженерная модельная система, которая убеждает студентов, что блок-схемы, так часто встречающиеся в их учебниках, представляют реально действующие системы.



Модуль расширения Emona DATeX состоит из набора блоков (называемых Модулями), которые соединяются друг с другом для выполнения экспериментов по различным методам телекоммуникаций.

Требования к оборудованию

В экспериментах используется тренажер Emona DATeX совместно с платформой NI ELVIS I или II и программы - виртуальные измерительные приборы (VI) NI LabVIEW, исполняемые на персональном компьютере. Функциональные возможности и набор доступных виртуальных измерительных приборов зависят от используемого модуля ввода-вывода NI DAQ, который соединен с платформой NI ELVIS I. В ELVIS II встроены все необходимые интерфейсные схемы.

Обратитесь к руководству по применению тренажера ETT-202 DATeX для получения более подробной информации, а также информации по установке и использованию в экспериментах системы DATeX/NI ELVIS.

Уровень подготовки студентов

Эксперименты в этом томе рассчитаны на студентов, имеющих базовый уровень знаний по математике, физике и электротехнике.

Студенты с более высоким уровнем подготовки по математике смогут, используя систему DATeX глубже понять теорию телекоммуникаций. Благодаря инженерной подходу к "моделированию" на системе DATeX, они смогут исследовать более сложные проблемы, выполнять дополнительные измерения и сравнивать получаемые результаты со своим пониманием теории и математических обоснований.

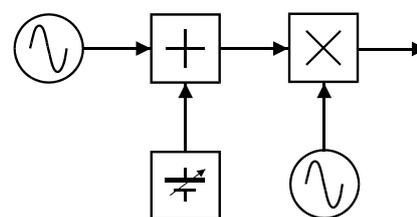
Дидактическая философия, лежащая в основе системы ЕТТ-202 DATEx™

- Емона TIMS™ и методология "Блок-Схем"

Тренажер по основам телекоммуникаций Emona DATEx привлекает хорошо обоснованной экспериментальной методологией, которая оживляет "универсальный язык" телекоммуникаций - БЛОК-СХЕМЫ. Первоначально созданная в 1970-ом году Тимом Хуппером (Tim Hooper), ведущим лектором по телекоммуникациям университета Нового Южного Уэльса (University of New South Wales), Австралия, и в дальнейшем разрабатываемая фирмой Emona Instruments, Emona TIMS™ или "Telecommunications Instructional Modeling System" ("Учебная Система Моделирования Телекоммуникаций" используется тысячами студентов во всём мире, чтобы реализовать на практике любые формы модуляции и кодирования.

Блок-схемы

Блок-схемы служат для того, чтобы объяснять принцип действия электронных систем (например, таких как радиопередатчик), не задумываясь над тем, как работают внутренние электронные схемы. Каждый блок представляет собой часть электрической схемы, которая выполняет отдельную операцию и имеет соответствующее название. Примерами часто встречающихся в телекоммуникационном оборудовании блоков являются сумматор, умножитель, генератор и тд.



Типичная блок-схема телекоммуникационной системы

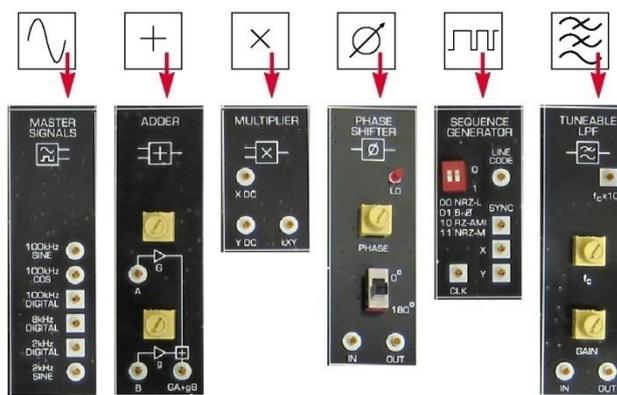
Подход TIMS™, а следовательно и DATEx™, к выполнению телекоммуникационных экспериментов путем реализации БЛОК-СХЕМ имеет следующие преимущества в процессе обучения:

- Студенты получают практический опыт работы на специально разработанном оборудовании, которое адекватно, с точки зрения математики, моделирует реализацию принципов теории телекоммуникаций.
- Студенты, как настоящие инженеры, шаг за шагом выполняют каждый эксперимент, реализуя его в соответствии с БЛОК-СХЕМАМИ
- Студенты всегда могут попробовать сценарий "а что, если", чтобы проверить правильность своего понимания теории, выполняя настоящие исследования и непосредственно наблюдая электрические сигналы в режиме реального времени.
- DATEx разработан так, чтобы студенты могли делать ошибки, следовательно студенты будут учиться на собственном опыте и своих "открытиях".

Взаимно-однозначное соответствие

Рисунок справа иллюстрирует взаимно-однозначное соответствие между каждым блоком блок-схемы и независимым функциональным электрическим блоком на панели тренажера DATEx.

Функциональные блоки DATEx могут использоваться во многих экспериментах так же, как и узлы блок-схем могут по разному комбинироваться при реализации различных приборов.



Примеры функциональных блоков DATEx™

NI LabVIEW™ и DATEx™

Модуль расширения Emona DATEx полностью интегрирован с платформой NI ELVIS и программным окружением NI LabVIEW. Всеми регуляторами и переключателями DATEx™ можно управлять как вручную, так и при помощи элементов управления NI LabVIEW VI (Виртуальных измерительных приборов).

Виртуальные измерительные приборы для DATEx™ реализованы в наборе DATEx так, что студенты имеют возможность дальнейшего усовершенствования эксперимента, используя возможности NI LabVIEW, не только с оборудованием DATEx, но и с многими радиочастотными (RF) устройствами, выпускаемыми NI.

Рекомендации по использованию Руководства к лабораторному практикуму

Эксперименты в этом томе рассчитаны на студентов, имеющих только базовый уровень знаний по математике. Однако, благодаря инженерной "модельной" природе модуля расширения DATEx, и студентам с более высоким уровнем математических знаний выполнение этих экспериментов будет полезным, способствуя более глубокому пониманию теории телекоммуникаций.

20 глав охватывают широкий диапазон телекоммуникационных понятий, начиная с фундаментальных тем, знакомых всем студентам, таких, как AM и FM радиовещание, заканчивая технологиями, лежащими в основе современных мобильных телефонов и беспроводных систем. В каждом эксперименте основы технологии раскрываются для студентов на самом фундаментальном уровне. Первая глава представляет краткое введение в работу с платформой NI ELVIS и использование виртуальных измерительных приборов NI LabVIEW.

Главы можно изучать в произвольном порядке, однако, есть обязательное требование - все студенты должны выполнить первые четыре главы перед тем, как перейти к последующим главам.

- Глава 1 представляет экспериментальное оборудование NI ELVIS.
- Глава 2 представляет модуль расширения Emona DATEx, необходимый для выполнения экспериментов.
- Глава 3 представляет элементы управления Программной Лицевой Панели DATEx

- Глава 4 представляет идею реализации математических моделей с помощью электронных функциональных блоков.

Для того, чтобы учебные эксперименты лучше запоминались студентами, во время исследований предусмотрены возможности не только видеть сигнал на экране осциллографа NI ELVIS, но и слышать собственный голос, подвергнутый модуляции или кодированию.

Ошибки в экспериментах и неправильное подключение проводников

Важным фактором, который делает опыт, полученный при выполнении экспериментов, более ценным для студентов, является то, что студенты могут делать ошибки при подключении проводников. Входы и выходы модулей DAТЕх могут быть соединены в любой комбинации, при этом ничего не выйдет из строя. Во время выполнения эксперимента студентам постоянно приходится делать какие-то наблюдения, регулировки и корректировки. Если сигнал не соответствует ожидаемому, студенту приходится решать, что нужно скорректировать: подстроить регулятор или изменить соединения модулей.

Структура экспериментов и тем

Каждый эксперимент в руководстве к лабораторному практикуму DAТЕх дает начальное представление об исследуемой теме, сопровождаемое тщательно продуманными практическими действиями. Прежде чем приступить к очередному опыту, в заключении каждого подраздела студенту задаются вопросы, чтобы убедиться в том, что он правильно понимает выполненную им работу.

Необходимо заметить, что модуль расширения DAТЕх позволяет выполнять намного больше экспериментов, чем описано в первом томе руководства к лабораторному практикуму, вновь разрабатываемые эксперименты будут описаны в последующих томах руководства.

Так как тренажер ЕТТ-202 - это настоящая моделирующая система, то преподаватель может свободно изменять существующие эксперименты и даже создавать полностью новые для того, чтобы передать студентам новые и специфичные для курса концепции.

Ф.И.О.:

Группа:

Контрольно-измерительные приборы NI ELVIS

Эксперимент 1 – Контрольно-измерительные приборы NI ELVIS

Предварительное обсуждение

Цифровой мультиметр (*Digital multimeter*) и Осциллограф (*Oscilloscope*), наверное, два самых распространенных измерительных прибора, используемых в электронной промышленности. Большинство операций измерения, необходимых при тестировании и/или ремонте электронных систем, могут быть выполнены с помощью только этих двух приборов.



В то же время, найдется очень мало лабораторий или мастерских, в которых работают с электронными устройствами, где нет таких приборов, как *Источник питания постоянного тока (DC Power Supply)* или *Функциональный Генератор (Function Generator)*. Помимо того, что источник напряжения постоянного тока может выдавать тестовые сигналы, он еще может использоваться для питания тестируемого оборудования. Функциональный Генератор используется для получения различных тестовых сигналов переменного тока.

Важно, что в NI ELVIS содержатся все эти четыре основные компоненты лабораторного оборудования. Однако, вместо того, чтобы использовать в каждой компоненте собственный цифровой индикатор или графический дисплей (как приборы, показанные на рисунке), NI ELVIS обменивается информацией с устройством ввода-вывода, таким, как NI USB-6251, которое преобразует сигналы в цифровые данные (если они еще не были преобразованы) и посылает их через USB на персональный компьютер, где выполненные измерения отображаются на экране.

Реализованные с использованием компьютера приборы NI ELVIS называются "виртуальными измерительными приборами". Однако не дайте терминам ввести вас в заблуждение. Цифровой мультиметр и осциллограф – реальные измерительные приборы, а не программные симуляторы, так же, как и Источник питания постоянного тока и Функциональный Генератор формируют на выходе реальные напряжения.

В этом руководстве эксперименты выполняются с использованием упомянутых четырех, а также других приборов NI ELVIS, поэтому важно, чтобы вы познакомились с их возможностями.

Эксперимент

Этот эксперимент знакомит вас с Цифровым мультиметром NI ELVIS, Регулируемыми источниками питания постоянного тока (там их два), Осциллографом и Генератором функций. Если ранее вы нечасто пользовались осциллографом, то он может показаться вам сложным прибором. Поэтому в эксперимент включена также процедура, которая позволит выполнять настройки для стабильного отображения сигнала частотой 2 кГц двойной амплитудой 4 В. Студентов, ранее работающих с осциллографами на основе ЭЛТ, отправляем к аналогичным дополнительным экспериментам, описанным в конце раздела.

Отметим, что это очень важная процедура, которая потребуется для настройки осциллографа в других экспериментах, приведенных в руководстве.

Для выполнения этого эксперимента потребуется около 50 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Некоторые вещи, которые надо знать для проведения эксперимента

Эта врезка содержит определения некоторых электротехнических терминов, используемых в эксперименте. Хотя вы, возможно, уже встречались с ними, стоит потратить минуту, чтобы прочитать определения и проверить, так ли вы их понимаете.

Амплитуда сигнала - это физическая величина, она измеряется в вольтах (В). Обычно она измеряется от середины сигнала до его верхней точки (называется пиковым напряжением) или от нижней точки до верхней точки (называется двойным пиковым напряжением - *peak-to-peak voltage*).

Период сигнала - это время одного цикла и измеряется в секундах (с). Когда период оказывается маленьким, он выражается в миллисекундах (мс) и даже микросекундах (мкс).

Частота сигнала - это количество циклов за секунду, измеряется в герцах (Гц). Когда за секунду совершается много циклов, частота выражается в килогерцах (кГц) и даже в мегагерцах (МГц).

Синусоида - это повторяющийся сигнал, форма которого показана на рисунке 1.

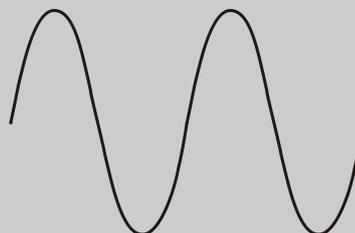


Рисунок 1

Прямоугольный сигнал - это повторяющийся сигнал, имеющий форму, показанную на рисунке 2.

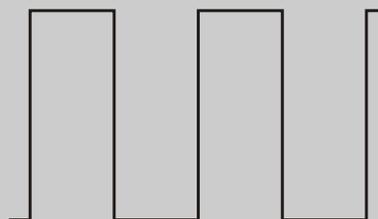


Рисунок 2

Порядок выполнения

Часть А - Начало работы (* относится только к NI ELVIS I)

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEX в сокет NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATEX (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.

Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.

6. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.
Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет - позвоните преподавателя, чтобы он вам помог.
9. Запустите программу NI ELVIS по указанию преподавателя.

Примечание: Если программа NI ELVIS запустилась успешно, появится окно "ELVIS - Instrument Launcher" - окно запуска измерительных приборов.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Примечание: Для пользователей ELVIS II

Окно запуска измерительных приборов (Instrument Launcher) ELVIS II отличается по внешнему виду от аналогичного окна ELVIS I. Но функционально оно такое же и выглядит, как показано на рисунке ниже:



Рисунок 3а

В ELVIS II нет переключателей для перехода в ручной режим, ручной режим выбирается непосредственно в окнах виртуальных измерительных приборов инструментов.

Часть В - Цифровой Мультиметр и Источники питания постоянного тока NI ELVIS

- Щёлкните левой кнопкой мыши по кнопке Digital Multimeter (Цифровой Мультиметр) в окне запуска измерительных приборов NI ELVIS.

Примечание 1: Не обращайте внимания на сообщение о максимальной точности измерений и просто щёлкните по кнопке ОК.

Примечание 2: Если виртуальный прибор Цифровой Мультиметр запустился успешно, ваш экран должен выглядеть, как на Рисунке 3б ниже.

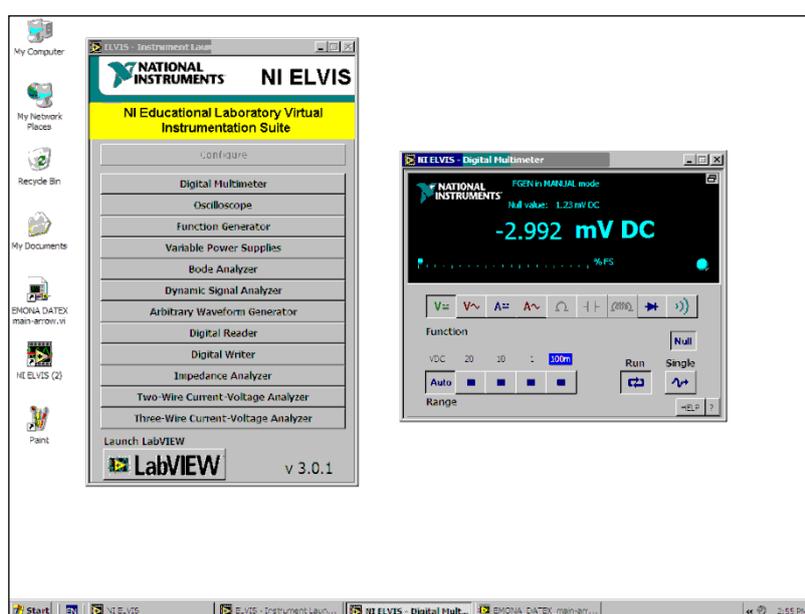


Рисунок 3б

Цифровой мультиметр (DMM) может измерять следующие электрические величины: напряжение постоянного и переменного тока, силу постоянного и переменного тока, **сопротивление, ёмкость и индуктивность**. Мультиметр позволяет также проверять диоды и целостность проводников. Эти режимы выбираются при помощи элементов управления *Function* (*Функция*) на лицевой панели виртуального прибора. Перемещая указатель мыши над элементами управления, вы можете увидеть, в какой режим установлен мультиметр.

- Поэкспериментируйте с элементами управления *Function* (*Функция*), щёлкните по каждому из них и посмотрите, как изменяются показания мультиметра.

Примечание 1: Обратите внимание, что кнопки на лицевой панели виртуального прибора анимированы. Когда вы щёлкаете по любой из них, они меняются так, как будто вы действительно их нажали (включая) или отжали (выключая).

Примечание 2: Когда вы нажимаете кнопки, слышны щелчки внутри NI ELVIS. Это звуки реальных реле, которые включаются и выключаются в ответ на нажатия виртуальных кнопок.

Вопрос 1

В данном случае ничего не подключено ко входу Цифрового мультиметра NI ELVIS, почему тогда он показывает очень маленькое значение напряжения и тока, вместо того, чтобы показывать ноль?

Мультиметр измеряет электрические помехи, наводимые на входе.

Цифровой мультиметр NI ELVIS позволяет вручную выбрать диапазон, который вы хотите использовать при проведении измерений. В качестве альтернативы, можно настроить прибор так, чтобы он выбирал диапазон автоматически. Эксперименты с этими элементами управления сейчас не дадут никакого видимого эффекта, поэтому отложим их обсуждение на другое время.

Так как мультиметр NI ELVIS является цифровым измерительным прибором, он выполняет измерения электрических характеристик периодически. Точный момент измерения обозначается вспышкой синего индикатора в нижнем правом углу экрана виртуального прибора.

12. Поэкспериментируйте с цифровым мультиметром, нажимая кнопки *Run* (*Запуск периодический*) и *Single* (*Однократно*) виртуального прибора, наблюдайте при этом изменения его показаний.

Вопрос 2

Как часто выполняет измерения цифровой мультиметр NI ELVIS в режиме *Run* (*Запуск периодический*)?

Примерно дважды в секунду.

Вопрос 3

Когда выполняет измерения цифровой мультиметр NI ELVIS в режиме *Single* (*Однократно*)?

Каждый раз при нажатии на кнопку *Single* (*Однократно*).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Цифровой мультиметр NI ELVIS может выполнять измерения относительно нуля (как и большинство измерительных приборов), но так же хорошо он может выполнять измерения и относительно предыдущего результата измерения. Для этого используется элемент управления *Null* виртуального прибора, но данная функция не является необходимой для экспериментов в нашем руководстве, поэтому работать с этой возможностью не будем.

13. Настройте виртуальный прибор следующим образом:

Function (Функция): DC voltage (постоянное напряжение)
Range (Выбор диапазона): Auto (автоматически)
Sampling (Режим измерения): Run (периодический)
Null (Коррекция нуля): не активна

Примечание: Это установки по умолчанию, вы должны всегда использовать их, когда готовитесь к экспериментам, описанным в настоящем руководстве и связанным с измерением напряжения постоянного тока.

- Найдите два переключателя *Control Mode (Режим управления) Variable Power Supplies NI ELVIS (Регулируемых источников питания)* на передней панели устройства и установите их в положение *Manual (Ручной)*, как показано на рисунке 4а и б ниже.

Примечание для пользователей ELVIS II: Чтобы использовать регулируемые источники питания ELVIS II в "ручном" режиме, выберите на экране *manual ("ручной")* для + Supply и для - Supply (источники положительного и отрицательного напряжения питания). Также выберите на экране *Measure Supply Outputs (измерение выходных напряжений)*. На блоке ELVIS II должен загореться индикатор *Manual mode (Ручной режим)*, теперь вы можете управлять напряжением источников вручную.

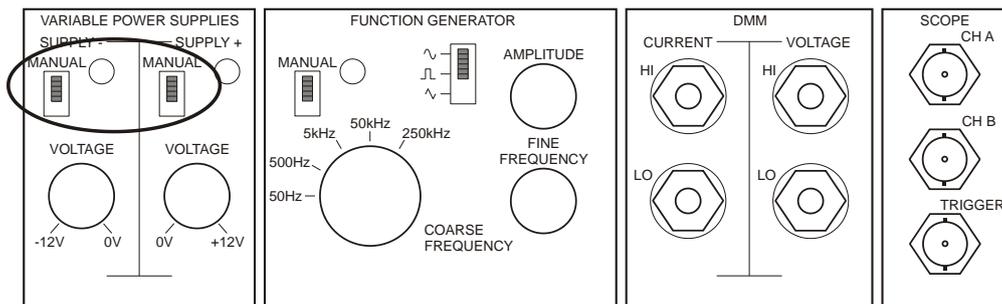


Рисунок 4а

- Установите элементы управления *Voltage (Напряжение)* регулируемых источников питания в среднее положение (примерно).
- Соберите схему, показанную на рисунке 5.

Примечание: Как только вы сделаете это, показания на табло цифрового мультиметра станут равными примерно 6 В.

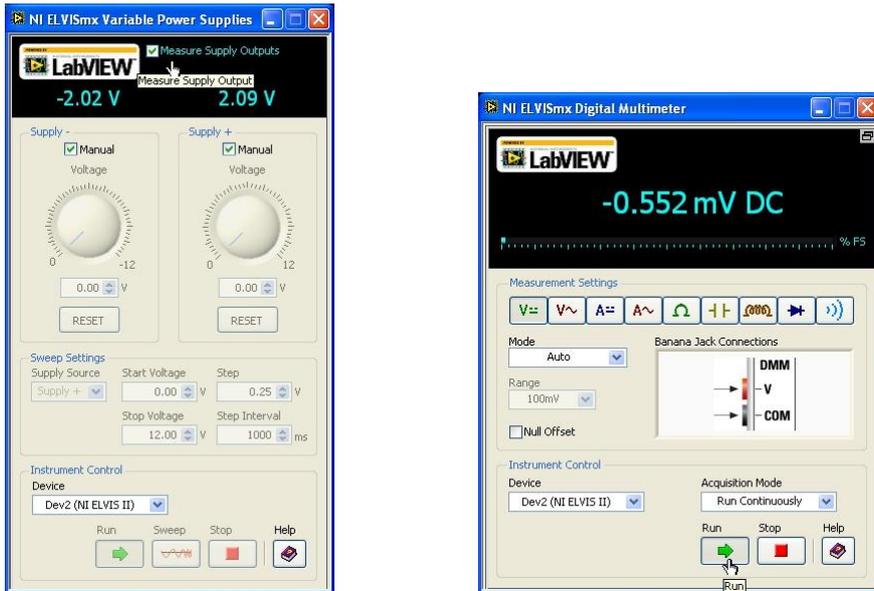


Рисунок 4б

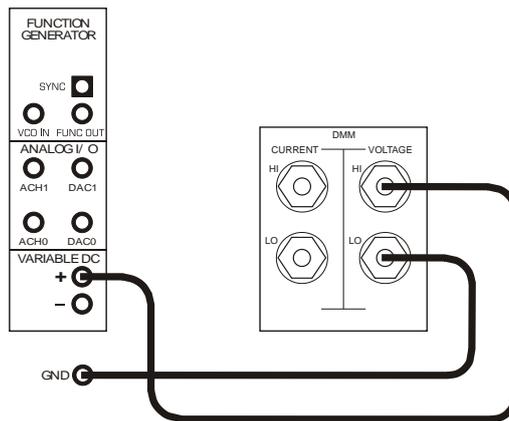


Рисунок 5

17. Измерьте минимальное и максимальное напряжения на выходе регулируемого источника положительного напряжения питания. Запишите результаты в Таблицу 1, приведенную ниже.
18. Подсоедините цифровой мультиметр к выходу регулируемого источника отрицательного напряжения питания и повторите измерения.

Таблица 1	Максимальное выходное напряжение	Минимальное выходное напряжение
Выход положительного напряжения питания (+)		
Выход отрицательного напряжения питания (-)		

19. Изменяйте выходное напряжение регулируемых источников питания, наблюдая при этом за диапазонами (*Range*) измерения цифрового мультиметра.

Примечание: Вы должны увидеть, что диапазоны переключаются автоматически.

20. Поэкспериментируйте с переключателем диапазонов *Range*, наблюдая за показаниями цифрового мультиметра.

Вопрос 4

Какая надпись появляется на индикаторе, когда вы выбираете диапазон слишком маленький по сравнению со значением измеряемого напряжения?

Over (перегрузка).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Осциллограф NI ELVIS

Примечание: Если вы используете автономный осциллограф (т.е. цифровой настольный осциллограф) вместо осциллографа NI ELVIS, можете пропустить эту часть и перейти к заданиям в конце этого эксперимента.

21. Закройте программу виртуального прибора цифровой мультиметр.
22. Нажмите кнопку Oscilloscope (Осциллограф) в окне запуска измерительных приборов NI ELVIS.

Примечание 1: Если виртуальный инструмент осциллограф запустился успешно, экран должен выглядеть, как на рисунке 6а.

Примечание 2: Для пользователей ELVIS II.

Осциллограф ELVIS II немного отличается от осциллографа ELVIS I. Основное отличие в том, что используемые в ELVIS I обозначения CH A и CH B (рис. 6а) заменены на CH0 и CH1 в ELVIS II (рис. 6б). Кнопки ON/OFF для каждого канала заменены на чек-боксы Enabled (включен). В этом руководстве везде используются термины для ELVIS I, помните об этом, если вы работаете с ELVIS II.

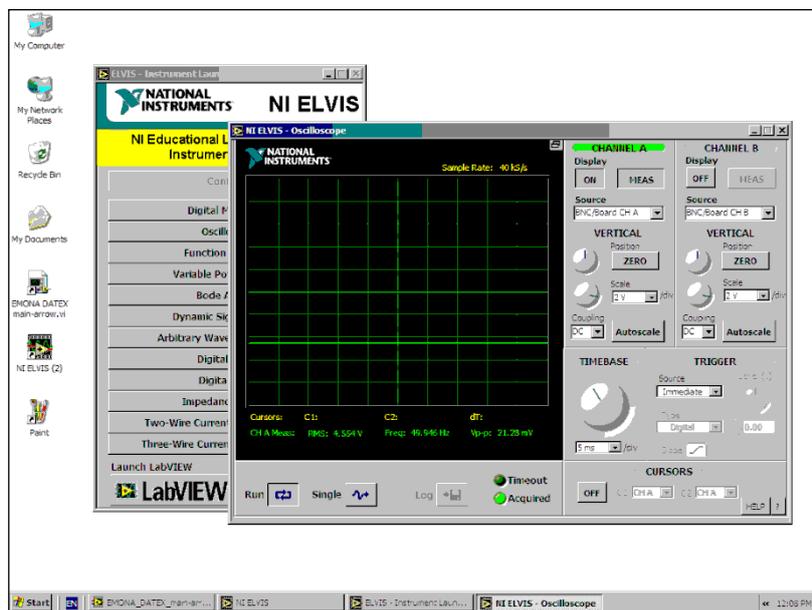


Рисунок 6а

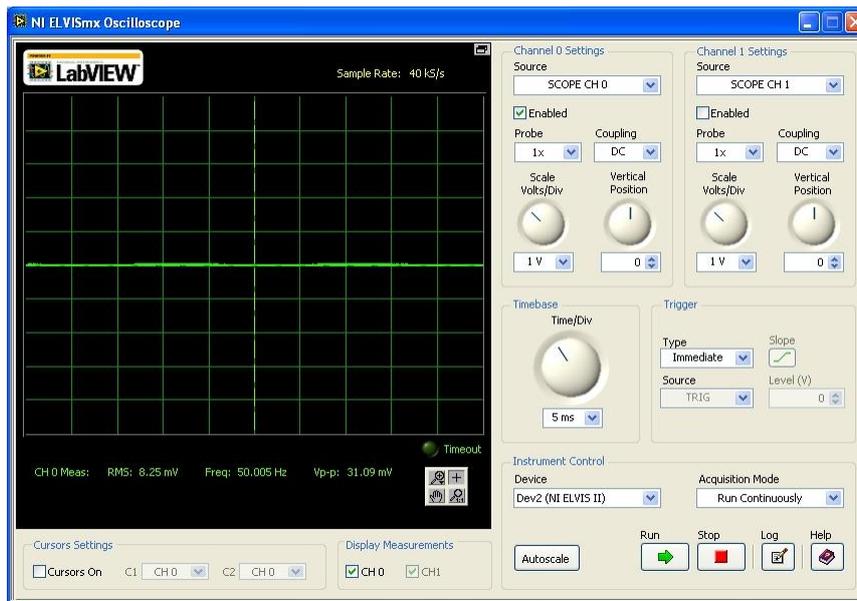


Рисунок 6b

Осциллограф NI ELVIS - полнофункциональный двухканальный осциллограф, который управляется с лицевой панели виртуального прибора, отображаемой на экране .

23. Соберите схему, изображенную на рисунке 7.

Примечание: Обратите внимание, что соединение с выходом *2kHz SINE* (синусоида 2 кГц) модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов) должно выполняться при помощи красного штекера типа "банан". Чёрный штекер типа "банан" нужно вставить в одно из гнезд *GND* (заземление) на модуле *DATEx*.

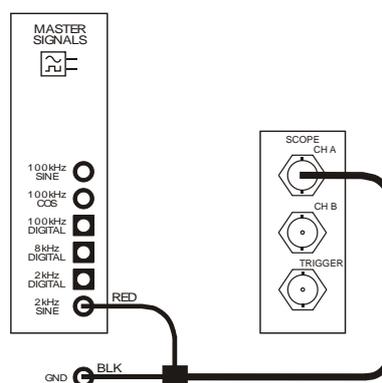


Рисунок 7

24. Поэкспериментируйте с осциллографом, регулируя его элементы управления на лицевой панели виртуального прибора.

Примечание 1: Кнопки на лицевой панели виртуального прибора осциллограф анимированы так же, как на Цифровом мультиметре NI ELVIS.

Примечание 2: Некоторые кнопки не остаются нажатыми, когда вы отпускаете кнопку мыши. Это кнопки без фиксации состояния, подобные, например, кнопке вызова лифта, которую нет необходимости держать нажатой.

Примечание 3: Состояние вращающихся элементов управления или регуляторов можно изменять при помощи мыши. Для этого нажмите левую кнопку мыши на регуляторе и, удерживая кнопку нажатой, передвигайте мышь.

Хотя работать с осциллографом NI ELVIS намного легче, чем с осциллографами других типов, **но вам это может показаться сложным, если вы впервые пользуетесь подобным прибором.** Порядок работы, приведённый на следующей странице, поможет вам настроить осциллограф для надежного наблюдения формы сигналов и измерений.

Порядок работы при настройке Осциллографа NI ELVIS

25. Следуйте инструкции, приведённой ниже. Позовите преподавателя, если не сможете найти какой-либо элемент управления.

Примечание: Некоторые из настроек, описанных ниже, являются настройками по умолчанию при запуске. Тем не менее, проверьте их, чтобы быть уверенными, что используются нужные настройки.

Общие настройки

- i) Установите элемент управления *Sampling* (*Сбор данных*) в положение *Run* (*включено*).
- ii) Установите элемент управления *Cursor* (*Курсор*) в положение *Off* (*Выкл.*).

Настройки каналов вертикального отклонения

- i) Оставьте канал А включенным, а канал В выключите (только на данный момент), нажав его кнопку *ON/OFF* (Вкл./Выкл.) под надписью *Display* (*Экран*).
- ii) Установите элемент управления *Source* (*Источник сигнала*) для канала А в положение *BNC/Board CH A* (*разъем BNC канала А на макетной плате*), а элемент управления *Source* (*Источник*) для канала В в положение *BNC/Board CH B* (*разъем BNC канала В на макетной плате*),.
- iii) Установите элементы управления *Position* (*Положение*) для обоих каналов примерно в среднее положение, нажав кнопку *Zero* (*Ноль*).
- iv) Установите элемент управления *Scale* (*Масштаб*) для обоих каналов в положение

$1V/div$ (1 в/дел).

- v) Установите элемент управления *Coupling* (Связь с источником сигнала) для обоих каналов в положение *AC* (связь по переменному току).

Настройки канала горизонтального отклонения

- i) Установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) в положение $500\mu s/div$ (500 мкс/дел).

Вход запуска

- i) Установите элемент управления *Source* (Источник) в положение *CH A*.
- ii) Установите элемент управления *Level* (Уровень) в среднее положение.
- iii) Установите элемент управления *Slope* (Наклон) в положение \lceil .



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Выполняя измерения амплитуды сигнала переменного тока с помощью осциллографа, обычно измеряют удвоенное (*peak-to-peak*) напряжение. Под этим понимается разность между самой низкой и самой высокой точками сигнала, как показано на рисунке 8.

Другой важной измеряемой характеристикой сигнала переменного тока является период. Период – это время, за которое завершается цикл, и это тоже показано на рисунке 8.

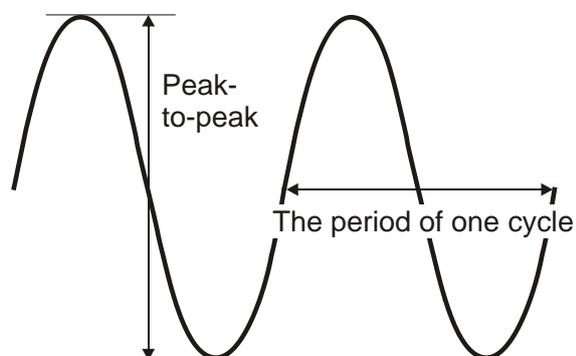


Рисунок 8

Peak-to-Peak – размах сигнала
The period of one cycle – один период сигнала

Хотя, знание периода сигнала само по себе полезно, однако оно позволяет нам вычислить и частоту сигнала при помощи формулы:

$$f = \frac{1}{\text{Period}}$$

Измерение амплитуды сигнала и определение его частоты при помощи осциллографа с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ) немного более сложная задача, чем измерения с использованием цифрового мультиметра. Более того, новички при этом могут гораздо

легче совершать ошибки. К счастью, осциллограф NI ELVIS реализует функцию измерения амплитуды и частоты и выводит результаты измерений на экран.

26. Если данная функция до сих пор не включена, включите режим измерения осциллографа, нажав кнопку *Meas* для канала A.

Примечание: Когда вы сделаете это, в нижней части экрана появятся среднеквадратичное и пиковое значения напряжения (RMS) и значение частоты сигнала, отображаемые тем же цветом, что и измеряемый сигнал.

27. Запишите измеренные значения напряжения и частоты в таблицу 2.
28. Используйте частоту, чтобы рассчитать и записать значение периода сигнала.

Совет: Вы должны преобразовать предыдущее уравнение для вычисления периода.

Таблица 2

Среднеквадратичное значение напряжения	
Частота	
Пиковое напряжение	
Период	



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Функциональный генератор NI ELVIS

29. Найдите функциональный генератор NI ELVIS (Function Generator) на лицевой панели устройства и установите переключатель *Control Mode* (Режим работы) в положение *Manual* (Ручной), как показано на рисунке 9а.

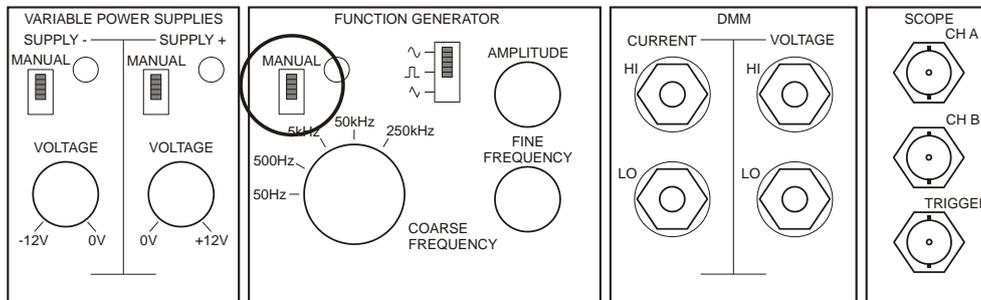


Рисунок 9а

30. Установите остальные элементы управления функционального генератора в следующее состояние:
- *Coarse Frequency* (Грубая настройка частоты) - в положение 5 кГц
 - *Fine Frequency* (Тонкая настройка частоты) - примерно в среднее положение
 - *Amplitude* (Амплитуда) - примерно в среднее положение
 - *Waveshape* (Форма сигнала) - в положение 

Для пользователей ELVIS II:

Функциональный генератор ELVIS II немного отличается от функционального генератора ELVIS I. Режим работы Manual (Ручной) выбирается на лицевой панели виртуального прибора FGEN, который запускается из окна запуска измерительных приборов NI ELVISmx. Лицевая панель показана на рисунке 9b ниже.

В ручном режиме используется только один регулятор частоты FREQUENCY во всем возможном диапазоне частот. Этот диапазон довольно широк: от 0.2 Гц до 5 МГц! В процессе работы вы обнаружите, что проще вначале установить ориентировочное значение частоты на лицевой панели виртуального прибора FGEN (Функциональный генератор), а потом переключиться в ручной режим, чтобы во время эксперимента подстраивать частоту при помощи регулятора FREQUENCY.

Точно так же, если вы установили переключатель Signal Route (Маршрутизация сигнала) в положение Prototyping board (Макетная плата), то вы можете получить доступ к выходам модуля FUNCTION GENERATOR (Функционального генератора) на плате DАТЕх. Не устанавливайте переключатель Signal Route в положение FGEN BNC, так как это может привести к конфликту при использовании входа TRIG (Запуск) осциллографа.

Если вы намерены использовать функциональный генератор как генератор, частота которого регулируется напряжением (VCO), в экспериментах по FM модуляции, убедитесь, что элемент управления Modulation (Модуляция) установлен в положение FM. Это нужно для того, чтобы был доступен вход VCO IN блока функционального генератора DАТЕх. Верните элемент управления Modulation (Модуляция) в положение None (нет), если данный вход не используете. Настройки AM не используются в DАТЕх.

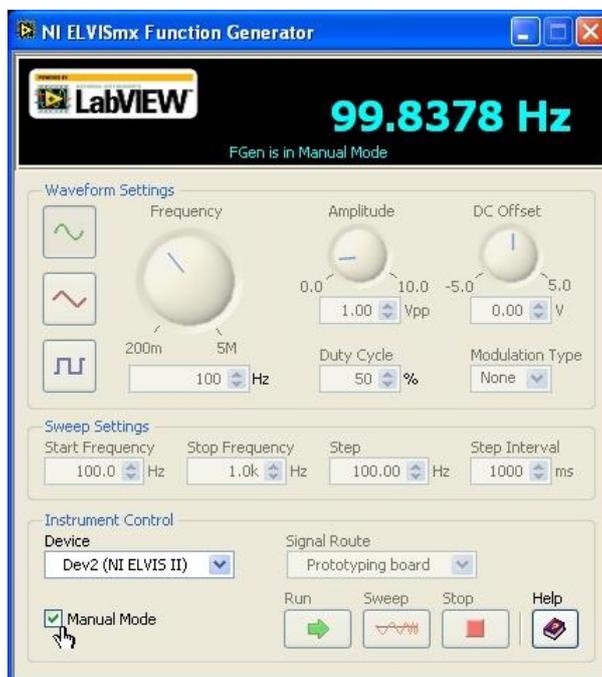


Рисунок 9b

31. Соберите схему, показанную на рисунке 10 ниже.

Примечание 1: Ещё раз напоминаем, соединение с выходом Функционального генератора должно выполняться красным штекером типа "банан".

Примечание 2: Если вы используете ЭЛТ осциллограф, подсоедините выход функционального генератора ко входу Channel A (Канал A) (или Channel 1 - Канал 1).

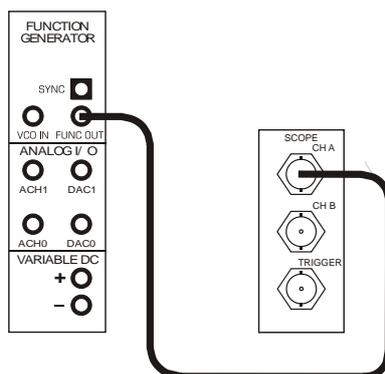


Рисунок 10

32. Изменяйте положение элементов управления, перечисленных в пункте 30, и наблюдайте, как это отражается на экране осциллографа.

Вопрос 5

Как называются три типа сигнала, которые можно получить на выходе функционального генератора?

Синусоидальный, прямоугольный (или серия импульсов), треугольный.

33. Верните настройки функционального генератора согласно пункту 30.
34. Установите минимальное значение пикового выходного напряжения функционального генератора.
35. Измерьте выходное напряжение и запишите результат измерения в таблицу 3.

Совет 1: Вы должны выполнять измерения с соответствующей точностью, настраивая осциллограф с помощью элемента управления *Scale (Масштаб)* (или нажать кнопку *Autoscale (Автомасштабирование)* для канала A).

Совет 2: Вы можете обнаружить, что если повернуть элемент управления *Amplitude (Амплитуда)* против часовой стрелки до упора, то выходной сигнал пропадёт полностью. В данной ситуации немного поверните регулятор по часовой стрелке.

36. Настройте функциональный генератор на максимальное значение пикового выходного напряжения и повторите п.35.
37. Установите элемент управления *Fine Frequency (Точная настройка частоты)* так, чтобы получить на выходе минимальную частоту на диапазоне 5 кГц.
38. Измерьте частоту и запишите результат.
- Совет:** Вам может понадобиться подстроить элемент управления *Timebase (Масштаб по оси времени)*, чтобы точнее измерить частоту. На экране должен отображаться хотя бы один полный цикл сигнала.
39. Подрегулируйте элемент управления *Fine Frequency (Точная настройка частоты)* для получения выходного сигнала максимальной частоты на диапазоне 5 кГц, а затем повторите п.38.
40. Подрегулируйте элементы управления *Coarse (Грубая настройка)* и *Fine Frequency (Точная настройка частоты)* для получения выходного сигнала самой низкой частоты, а затем повторите п.38.
41. Подрегулируйте элементы управления *Coarse (Грубая настройка)* и *Fine Frequency (Точная настройка частоты)* для получения выходного сигнала самой большой частоты, а затем повторите п.38.

Таблица 3

Минимальное выходное напряжение	
Максимальное выходное напряжение	
Мин. частота (на диапазоне 5 кГц)	
Макс. частота (на диапазоне 5 кГц)	
Абсолютная мин. частота	
Абсолютная макс. частота	



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Дополнение для студентов, использующих ЭЛТ осциллограф
Это дополнение предназначено для студентов, которые используют автономный
двухканальный осциллограф с полосой частот 15/20 МГц вместо осциллографа NI ELVIS.

1. Следуйте данной инструкции и, если не можете найти необходимый элемент управления, позвоните преподавателю.

Общие настройки

- i) Установите элемент управления *Intensity* (*Яркость*) примерно на три четверти от максимального значения.
- ii) Установите элемент управления *Mode* (*Режим*) в положение *CH A* (или *CH 1*).

Настройки каналов вертикального отклонения

- i) Установите элемент управления *Input Coupling* (*Связь с источником сигнала*) в положение *AC* (переменный ток) для обоих каналов.
- ii) Установите элемент управления *Vertical Attenuation* (*Масштаб по вертикали - Вертикальное ослабление*) в положение *1V/div* (*1 В/дел.*) для обоих каналов.
- iii) Установите элемент управления *Vertical Attenuation Calibration* (*Калибровка вертикального ослабления*) в крайнее положение (после защелкивания регулятора) для обоих каналов.
- iv) Установите элемент управления *Vertical Position* (*Положение по Вертикали*) примерно в среднее положение для обоих каналов.

Настройки канала горизонтального отклонения

- i) Установите элемент управления *Horizontal Timebase* (*Масштаб по оси времени - Горизонтальная развёртка*) в положение *0.5ms/div* (*0,5 мс/дел.*).
- ii) Установите элемент управления *Horizontal Timebase Calibration* (*Калибровка Масштаба по оси времени*) в крайнее положение (после защелкивания регулятора).
- iii) Установите элемент управления *Horizontal Position* (*Положение по горизонтали*) примерно в среднее положение.

Сигнал запуска

- i) Установите элемент управления *Sweep Mode* (Режим развёртки) в положение *AUTO* (автоматический запуск).
- ii) Установите элемент управления *Trigger Level* (Уровень сигнала запуска) в крайнее положение (после защелкивания регулятора). Если у этого элемента управления нет такого положения, то установите его примерно в среднее положение.
- iii) Установите элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) в положение *CH A* (или *INT* (внутренний)).
- iv) Установите элемент управления *Trigger Source Coupling* (Связь с источником сигнала запуска) в положение *AC* (по переменному току).

Включение питания

- i) Включите осциллограф и дайте ему прогреться. Примерно через полминуты на экране должна появиться развёртка луча.

Если луч не появился, повторите предыдущие шаги, чтобы убедиться, что все элементы управления настроены правильно. Если развёртка луча так и не появилась, позвоните преподавателя.

- ii) Отрегулируйте *Intensity* (Яркость) так, чтобы луч не был слишком ярким.
- iii) Отрегулируйте элемент управления *Focus* (Фокус) так, чтобы линия развёртки была чёткой.

Проверка

Соедините кабелем вход Channel A (канал A) с выходом осциллографа *CAL* (Сигнал калибровки).

Примечание: Если осциллограф работает правильно, на экране вы должны увидеть стабильное изображение сигнала прямоугольной формы.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Выполняя измерения амплитуды сигнала переменного тока с помощью осциллографа, обычно измеряют *удвоенное (peak-to-peak)* напряжение. Это значит, что сигнал измеряется от самой нижней точки до самой верхней, как показано на рисунке 11.

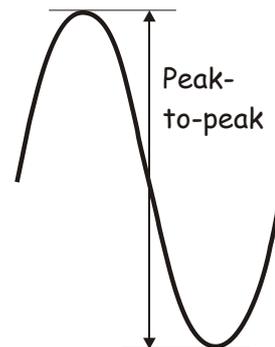


Рисунок 11

Поупражняйтесь в измерении амплитуды сигнала переменного тока, следуя инструкции по измерению выходного сигнала *CAL* (Сигнал калибровки) осциллографа.

2. При помощи элемента управления *Vertical Attenuation* (Масштаб по вертикали - Вертикальное ослабление) канала 1 добейтесь осциллограммы сигнала настолько большой, насколько возможно, при этом луч не должен выходить за верхний или нижний край экрана.

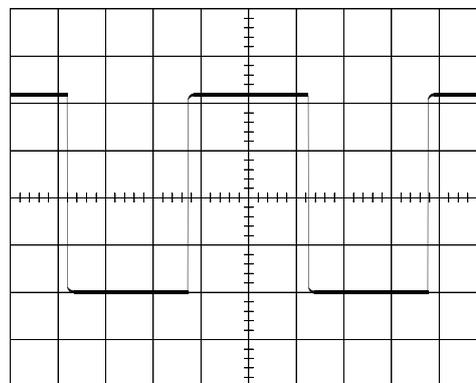


Рисунок 12

3. Воспользуйтесь элементом управления *Horizontal Position* (Горизонтальное положение) для того, чтобы совместить верхнюю точку осциллограммы сигнала с вертикальной линии в центре экрана.

4. При помощи элемента управления *Vertical Position* (Вертикальное положение) первого канала сдвиньте нижнюю часть сигнала так, чтобы она касалась одной из горизонтальных линий сетки на экране. Экран теперь должен выглядеть похожим на Рисунок 12.

5. Подсчитайте количество делений от нижней до верхней точки сигнала.

Подсказка: Цена промежуточного деления равна 0,2 от основного деления.

6. Умножьте получившееся число на метку элемента управления *Vertical Attenuation* (Масштаб по вертикали - Вертикальное ослабление).

Пример: Если вы насчитали 6,6 делений и метка элемента управления *Vertical Attenuation* (Масштаб по вертикали - Вертикальное ослабление) 0,5 В/дел., то умножив 6,6 на 0,5 В, получим пиковое значение напряжения 3,3 В. Однако ваши результаты измерений могут быть иными.

7. Запишите результаты измерений в таблицу 4.

Таблица 4

Пиковое напряжение на выходе <i>CAL</i>	
---	--



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Другой важной измеряемой характеристикой сигнала переменного тока является период. Период – это время, за которое завершается один цикл, и это показано на рисунке 13.

Хотя, знание периода сигнала само по себе полезно, это позволяет нам также вычислить и частоту сигнала.

Попрактикуйтесь в измерении периода сигнала переменного тока и вычислении его частоты, используя следующую далее инструкцию.

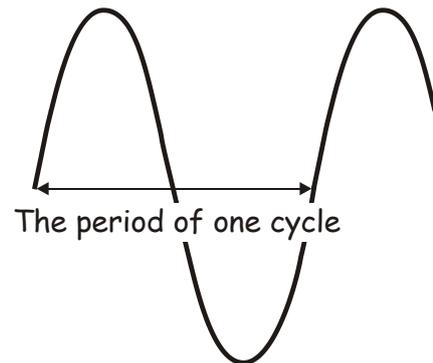


Рисунок 13

8. Воспользуйтесь элементом управления *Horizontal Timebase (Масштаб по горизонтали)* для того, чтобы сделать ширину осциллограммы сигнала максимальной, при этом должен быть виден один полный цикл.
9. Установите элемент управления *Input Coupling (Связь по входу)* в положение *GND*.
10. При помощи элемента управления *Vertical Position (Вертикальное положение)* канала 1 совместите линию развёртки с горизонтальной линией в центре экрана.

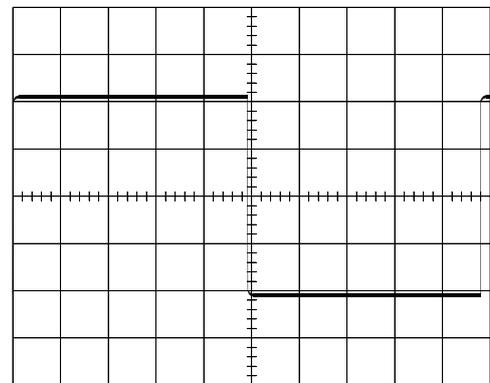


Рисунок 14

11. Верните элемент управления *Input Coupling (Связь по входу)* в положение *AC (по переменному току)*.
12. Воспользуйтесь элементом управления *Horizontal Position (Горизонтальное положение)*, чтобы совместить начальную точку осциллограммы сигнала с первой вертикальной линией на экране. Изображение на экране должно стать похожим на рисунок 14.
13. Подсчитайте количество делений в одном полном периоде сигнала.

Подсказка: Цена промежуточного деления 0,2 от цены основного деления.

14. Умножьте полученное число на метку элемента управления *Horizontal Timebase* (Масштаб по оси времени).

Пример: Если вы насчитали 8,6 делений и метка элемента управления *Horizontal Timebase* 5ms/div (5 мс/дел.), то умножив 8,6 на 5 мс, получим период, равный 43 мс. Возможно, результаты ваших измерений не совпадут с приведенными в этом примере.

15. Занесите результаты измерений в таблицу 5.
16. Используйте результаты измерений периода для вычисления частоты сигнала. Если вы не знаете, как это сделать, прочтите примечание в серой врезке под таблицей 5.

Таблица 5

Период сигнала на выходе CAL	
Частота сигнала на выходе CAL	

Вычисление частоты по периоду

Вспомним, что период – это время, которое занимает один цикл сигнала. Стандартной единицей измерения периода является секунда.

По определению, частота – это количество циклов сигнала за одну секунду. Таким образом, чтобы вычислить частоту сигнала, нужно просто разделить одну секунду на его период.

Уравнение для вычислений выглядит, как:

$$f = \frac{1s}{P}$$



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

17. Вернитесь к части C эксперимента на странице 1-15.

Ф.И.О. _____

Группа: _____

2 - Введение в модуль расширения DATeX для выполнения экспериментов

Эксперимент 2 – Введение в модуль расширения DATeX для выполнения экспериментов

Предварительное обсуждение

Модуль расширения Emona DATeX используется для выполнения экспериментов на лабораторной станции NI ELVIS, это помогает людям познакомиться с принципами передачи информации и телекоммуникаций. Модуль позволяет оживить блок-схемы, которыми наполнены учебники по системам связи. Блок-схема - упрощенное представление более сложной схемы. Ниже, на рисунке 1 приведён пример блок-схемы.

Блок-схемы применяют, чтобы объяснить принцип действия электронных систем (например, подобных радиопередатчику) не описывая детально, как схема работает. Каждый блок представляет часть схемы, которая выполняет отдельную задачу и названа согласно тому, что эта часть делает. Примеры общих блоков в аппаратуре связи - сумматор, фильтр, фазосдвигающее устройство и так далее.

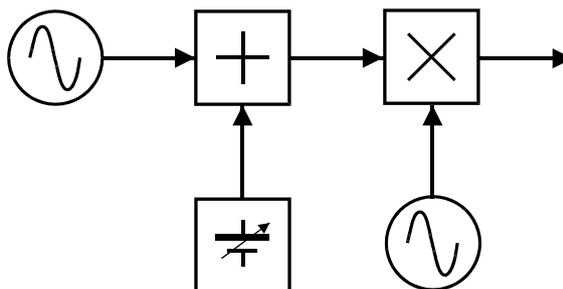


Рисунок 1

В составе DATeX имеется набор блоков (называемых модулями), которые вы можете соединять друг с другом, чтобы реализовать всевозможные коммуникационные и телекоммуникационные блок-схемы.

Эксперимент

Этот эксперимент состоит из трех отдельных частей (2-1, 2-2 и 2-3), каждая из которых представляет вам один или больше аналоговых модулей DATeX's. Ожидается, что вы выполнили Эксперимент 1 или уже ознакомились с системой NI ELVIS и ее программно реализованными виртуальными измерительными приборами.

Вам потребуется приблизительно 50 минут на выполнение эксперимента 2-1, ещё 50 минут на выполнение эксперимента 2-2 и приблизительно 25 минут - на эксперимент 2-3.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II с соединительными проводниками
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или двухканальный осциллограф с рабочей полосой 20МГц)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с байонетным разъёмом типа BNC и разъёмом типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводов с разъёмами типа "банан" (2 мм)
- **Только для 2.1 - стереонаушники**

Некоторые вещи, которые надо знать для выполнения эксперимента

Эта врезка содержит определения некоторых электротехнических терминов, используемых в эксперименте. Хотя вы, возможно, уже встречались с ними, стоит потратить минуту, чтобы прочитать определения и проверить, так ли вы их понимаете.

Два сигнала называются синфазными (имеющими одинаковую фазу), если они достигают ключевых точек сигнала (подобных пикам и точкам прохождения через нуль) точно в одно и то же время, независимо от уровней сигналов.

Два сигнала не совпадают по фазе, если они достигают ключевых точек сигнала в разное время. Пример показан на рисунке 3 ниже.

Разность фаз определяет, насколько два сигнала не совпадают по фазе, измеряется в градусах (подобно градусам в окружности). Для синфазных сигналов разность фаз равна 0° . Сигналы, у которых не совпадает фаза, имеют разность фаз $> 0^\circ$, но $< 360^\circ$.

Синусоида - периодически повторяющийся сигнал форма которого показана на рисунке 2.

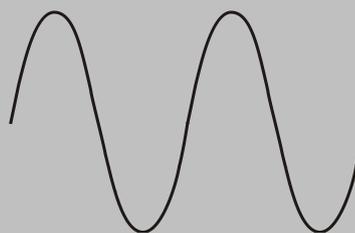


Рисунок 2

Косинусоида - синусоида, которая сдвинута по фазе относительно другой синусоиды точно на 90° . Синусоида и косинусоида показаны на рисунке 3. (В нашем случае не имеет значения, какой из сигналов синусоида, а какой - косинусоида, поэтому они не обозначены.)

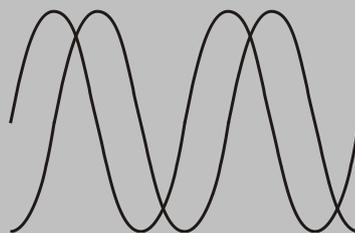


Рисунок 3

2.1 – Модули Master Signals (Генератор опорных сигналов), Speech (Преобразователь речевых сигналов) и Amplifier (Усилитель)

Модуль генератора опорных сигналов (Master Signals module)

Модуль опорных сигналов – это генератор сигналов переменного тока (AC). Модуль имеет шесть выходов, на которых формируются следующие сигналы:

Аналоговый	Цифровой
▪ 2.083 кГц синусоида	▪ 2.083 кГц прямоугольный (цифровой)
▪ 100 кГц синусоида	▪ 8.33 кГц прямоугольный (цифровой)
▪ 100 кГц косинусоида	▪ 100 кГц прямоугольный (цифровой)

Все сигналы выведены на разъёмы, установленные на панели модуля и снабженные соответствующими обозначениями. Важно отметить, что все сигналы синхронизированы.

Порядок действий (* относится только к NI ELVIS I)

1. Убедитесь, что выключатель питания NI ELVIS, расположенный на задней стенке устройства, выключен.
2. Осторожно вставьте экспериментальный модуль расширения Emona DATEx в сокет NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.
6. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.

Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет – позовите преподавателя, чтобы он вам помог.

9. Запустите программу NI ELVIS по указанию преподавателя.
Примечание: Если программа NI ELVIS запустилась успешно, появится окно ELVIS – Instrument Launcher – окно запуска измерительных приборов.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

10. Соберите схему, показанную на рисунке 1 ниже.

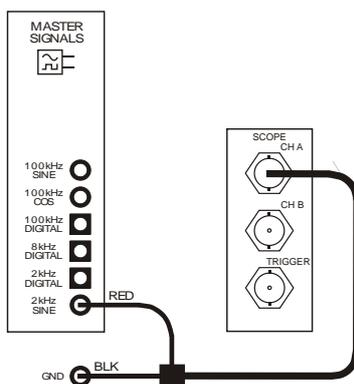


Рисунок 1

Эта схема может быть представлена блок-схемой (рисунок 2)

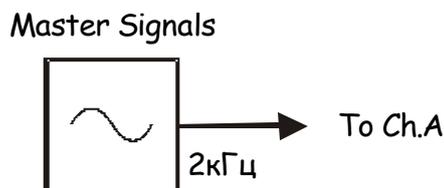


Рисунок 2

11. Настройте NI ELVIS осциллограф согласно инструкции в эксперименте 1 (страница 1-13), убедитесь, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A* (канал A).
12. Отрегулируйте элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа так, чтобы видеть примерно два (или немного больше) периода синусоиды 2 кГц с выхода *2kHz SINE* модуля опорных сигналов (Master Signals).

13. Используйте функцию измерения осциллографа, чтобы определить пиковую амплитуду (размах) сигнала с выхода *2kHz SINE* модуля опорных сигналов (*Master Signals*). Запишите результат в таблицу 1.

Примечание: Если вы используете обычный осциллограф, измерьте амплитуду в соответствии с инструкцией в приложении к эксперименту 1 (смотрите страницу 1-20).

14. Измерьте и запишите частоту сигнала с выхода *2kHz SINE* (синусоида 2 кГц) модуля опорных сигналов (*Master Signals*).

Примечание: Если вы используете стандартный ЭЛТ осциллограф, рассчитайте значение частоты по результату измерения периода в соответствии с инструкцией в приложении к эксперименту 1 (смотрите страницы 1-22 и 1-23).

15. Повторите шаги с 12 по 14 для двух других аналоговых выходов модуля опорных сигналов (*Master Signals*).

Таблица 1	Выходное напряжение	Частота
2kHz SINE (2 кГц синус)		
100kHz COSINE (100 кГц косинус)		
100kHz SINE (100 кГц синус)		



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности **ELVIS I**. В **ELVIS II** имеются следующие отличия.

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (Ручной) выбирается на отображаемой на экране панели виртуального прибора
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Вы, вероятно, только что обнаружили, что, как будто бы, нет большой разницы между выходными сигналами SINE (синус) и COSINE (косинус) модуля опорных сигналов (Master Signals). Они выглядят, как синусоиды с частотой 100 кГц. Однако, эти два сигнала не совпадают по фазе друг с другом.

Это критично для работы различных систем передачи информации и телекоммуникационных систем, в которых используется две (или больше) синусоиды, которые имеют одинаковую частоту, но разные фазы (обычно строго определённых значений). Два выходных сигнала 100 кГц модуля опорных сигналов (Master Signals) удовлетворяют этому требованию и имеют сдвиг фаз 90° . Следующая часть эксперимента позволит вам убедиться в этом.

16. Соберите схему, показанную на рисунке 3.

Примечание: Чёрный штекер кабеля осциллографа вставьте в гнездо заземления (GND).

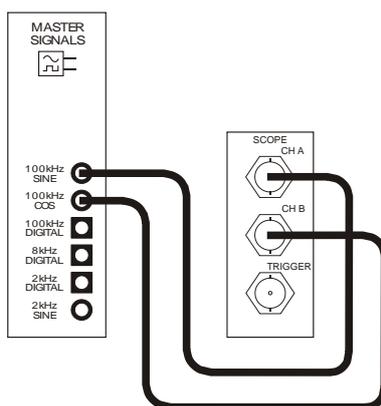


Рисунок 3

17. Активируйте вход канала В осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF* элемента управления Channel B *Display*.

Примечание 1: Когда вы сделаете это, то увидите, что на экране появилась осциллограмма второго сигнала, ее цвет отличается от цвета осциллограммы сигнала Канала А.

Примечание 2: Вы можете заметить, что две осциллограммы сигналов выглядят не так, как чистые синусоиды, которые вы видели раньше. Важно, что форма сигналов не изменилась. Искажения говорят о том, что мы начали работу с осциллографом NI ELVIS и модулем ввода-вывода DAQ на пределе их возможностей (по причинам, здесь не обсуждаемым).

Вопрос 1

Какой из двух сигналов вы считаете первым на экране осциллографа? Поясните свой ответ.

Выходной сигнал косинуса опережает выходной сигнал синуса (на 90°) потому, что осциллограмма косинусоиды достигает максимума левее, чем осциллограмма синусоиды.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Модуль Преобразователя речевых сигналов (Speech)

Синусоиды очень важны в технике связи. Они часто используются в качестве несущей для передачи сигнала во многих коммуникационных системах. Синусоиды также являются великолепными тестовыми сигналами. Однако целью большинства коммуникационного оборудования является передача речи (помимо сообщений другого типа), поэтому полезно проверять работу оборудования с помощью генерируемых речевых сигналов вместо синусоиды. Етона DATeX позволяет вам делать это при помощи модуля преобразователя речевых сигналов (Speech module).

18. Деактивируйте вход канала В осциллографа.
19. Установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа в положение $2ms/div$ (2мс/дел.).
20. Установите элемент управления *Channel A Scale* (Масштаб канала А) осциллографа в положение $2V/div$ (2В/дел.).
21. Соберите схему, изображенную на рисунке 4.

Примечание: Чёрный штекер кабеля осциллографа вставьте в гнездо заземления (*GND*).

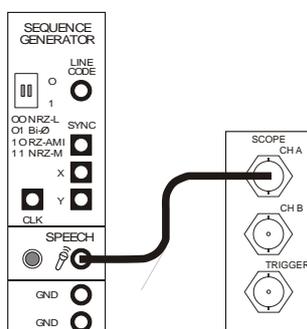


Рисунок 4

22. Говорите и шумите в микрофон, наблюдая за экраном осциллографа. Скажите несколько раз "один" и "два".



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Модуль усилителя (Amplifier)

Усилители широко используются в связном и телекоммуникационном оборудовании для того, чтобы сделать сигнал больше. Они также используются как согласующий элемент между приборами и цепями, которые не могут быть соединены напрямую. Модуль Amplifier (усилитель) Emona DATeX может выполнять обе функции.

23. Найдите модуль Amplifier и установите элемент управления *Gain* (коэффициент усиления) примерно на треть от полной шкалы.
24. Соберите схему, изображенную на рисунке 5.

Примечание: Чёрный штекер кабеля осциллографа вставьте в гнездо заземления (*GND*).

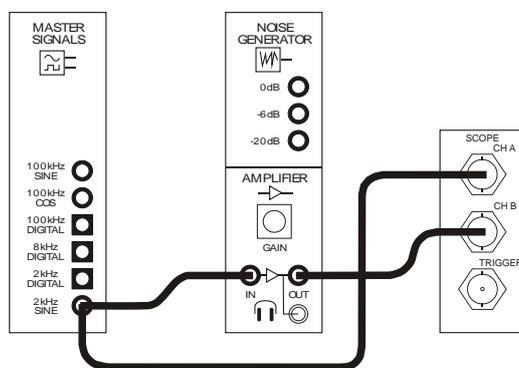


Рисунок 5

Этой схеме соответствует блок-схема, показанная на рисунке 6.

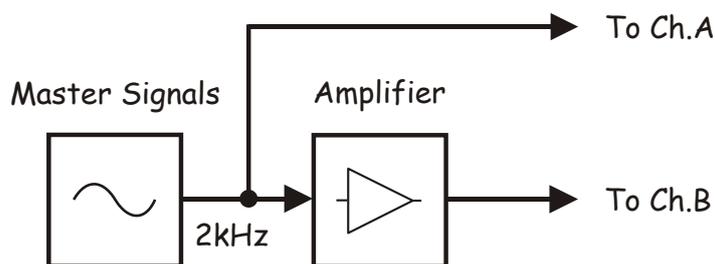


Рисунок 6

Master Signals - модуль опорных сигналов, Amplifier - усилитель,
To Ch.A - к каналу A, To Ch.B - к каналу B

25. Настройте регулятором *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллограф так, чтобы видеть примерно два периода входного сигнала усилителя.
26. Активируйте вход Channel B (Канал B) осциллографа.
27. Нажмите кнопку *Autoscale* (автомасштабирование) для обоих каналов.
28. Измерьте пиковую амплитуду (двойной размах) входного сигнала усилителя. Запишите результаты измерений в Таблицу 2.
29. Измерьте и запишите амплитуду выходного сигнала усилителя.

Таблица 2

Входное напряжение	Выходное напряжение

Величина, показывающая во сколько раз выходное напряжение усилителя больше входного, называется усилением по напряжению (*voltage gain* - A_V). Усиление по напряжению может быть выражено простым отношением и вычислено при помощи уравнения:

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Важно отметить, что если выходной сигнал усилителя "перевернут" относительно входного, то перед значением коэффициента усиления ставится знак минуса, чтобы подчеркнуть этот факт.

Вопрос 2

Вычислите коэффициент усиления модуля Amplifier (Усилитель) (для установленных настроек).

При условии, что элемент управления *Gain* (Усиление) модуля установлен примерно на треть от полной шкалы, коэффициент усиления равен ориентировочно -3.

Коэффициент усиления модуля Amplifier можно изменять. Полезно также и то, что настроить модуль можно таким образом, чтобы выходное напряжение было меньше входного. Вообще говоря, это не является усилением, скорее, это уменьшение или *ослабление (attenuation)*. Следующая часть эксперимента показывает, как ослабление влияет на значение коэффициента усиления.

30. Поверните элемент управления *Gain (Усиление)* модуля усилителя против часовой стрелки до упора, затем немного поверните её по часовой стрелке, только чтобы можно было рассмотреть синусоиду.
31. Снова нажмите на кнопку *Autoscale* для канала В, чтобы отмасштабировать сигнал на экране.
32. Измерьте и запишите амплитуду вновь полученного выходного сигнала модуля усилителя.

Таблица 3

Входное напряжение	Выходное напряжение
Смотрите Таблицу 2	

Вопрос 3

Вычислите новый коэффициент усиления модуля Amplifier (Усилитель).

В зависимости от того, насколько студент повернул регулятор *Gain (Усиление)*, коэффициент усиления должен быть равен примерно -0.1 . Напомните студентам про знак "-", если они его не использовали.

Вопрос 4

В чём разница между усилением и ослаблением, в терминах коэффициента усиления?

При усилении значение коэффициента больше, чем ± 1 . При ослаблении значение коэффициента меньше ± 1 .



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Усилители работают, используя напряжение источников питания постоянного тока для того, чтобы создать копию входного сигнала усилителя. Очевидно, что источник питания постоянного тока ограничивает значение выходного сигнала усилителя. Если попытаться заставить усилитель выдать выходной сигнал больше, чем напряжение источника питания, то верхняя и нижняя часть сигнала оказываются обрезанными. Этот тип искажения сигнала называется ограничением.

Ограничение обычно возникает, когда входной сигнал усилителя слишком велик для коэффициента усиления усилителя. Если это происходит, говорят, что усилитель *перегружен*. Данная ситуация может возникать также, когда коэффициент усиления усилителя слишком большой для входного сигнала. Чтобы продемонстрировать ограничение:

33. Поверните регулятор *Gain* (*Усиление*) до упора по часовой стрелке.
34. Нажмите на кнопку *Autoscale* в канале В, чтобы отмасштабировать сигнал на экране.

Вопрос 5

Как вы думаете, что напоминал бы выходной сигнал, если бы коэффициент усиления усилителя был достаточно большим?

Сигнал прямоугольной формы.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

35. Поверните элемент управления *Gain* (*Усиление*) модуля *Amplifier* против часовой стрелки до упора.

Наушники – типичный прибор с низким входным сопротивлением (импедансом), обычно около 50 Ом. Большинство электронных схем не рассчитаны на подключение к их выходу такого низкого сопротивления. По этой причине наушники нельзя напрямую подсоединять к выходам большинства модулей Emona DATEx.

Однако модуль *Amplifier* специально спроектирован, чтобы работать с низкими сопротивлениями нагрузки. Таким образом, он может работать как буфер между выходами модулей и наушниками, чтобы сигналы можно было услышать. Следующая часть эксперимента показывает, как это делается.

36. Убедитесь, что регулятор *Gain* (*Усиление*) модуля *Amplifier* повернут против часовой стрелки до упора.
37. Не одевая наушников, подсоедините их к гнезду для наушников модуля усилителя.
38. Наденьте наушники.
39. Поворачивайте регулятор *Gain* (*Усиление*) модуля *Amplifier* по часовой стрелке и слушайте сигнал.
40. Отсоедините штекеры от выхода *2kHz SINE* модуля *Master Signals* (синусоида *2кГц* модуля опорных сигналов) и подсоедините их к выходу модуля *Speech* (Модуль преобразователя речевых сигналов).
41. Говорите в микрофон и слушайте сигнал.
42. Отсоедините штекеры от выхода модуля *Speech* (Модуль речевых сигналов) и подключите их к выходу *100kHz SINE* модуля *Master Signals* (синусоида *100кГц* модуля опорных сигналов).
43. Осторожно поворачивайте элемент управления *Gain* (*Усиление*) по часовой стрелке и слушайте сигнал.

Вопрос 6

Почему не слышен сигнал синусоиды частотой *100кГц* модуля *Master Signals*?

Диапазон частот, который слышит человек, начинается примерно с 20 Гц и заканчивается частотой 20 кГц.

44. Поверните элемент управления *Gain* (*Усиление*) модуля *Amplifier* против часовой стрелки до упора.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

2.2 – Модули Adder (Сумматор) и Phase Shifter (Фазовращатель)

Модуль Сумматор (Adder)

В некоторых системах связи и телекоммуникаций требуется суммировать сигналы. Модуль Adder спроектирован для выполнения этой операции.

Порядок выполнения

1. Если устройства соединены по схеме, использованной в предыдущем эксперименте, переходите к пункту 11. Если нет – к пункту 2.
2. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
3. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
4. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
5. Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
6. Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.

Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.

7. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
8. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
9. Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.

Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет – позовите преподавателя, чтобы он вам помог.

10. Запустите программу NI ELVIS по указанию преподавателя.

Примечание: Если программа NI ELVIS запустилась успешно, появится окно ELVIS - Instrument Launcher – окно запуска измерительных приборов.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

11. Настройте осциллограф NI ELVIS согласно инструкции к эксперименту 1 (страница 1-13), убедитесь, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A* (канал A).
12. Найдите модуль *Adder* (Сумматор) и поверните регулятор *g Input B* (для входа B) против часовой стрелки до упора.
13. Установите регулятор *g Input A* (для входа A) модуля *Adder* приблизительно в среднее положение.
14. Соберите схему, показанную на рисунке 1.

Примечание: Хотя на схеме это не показано, вставьте чёрный штекер кабеля осциллографа в гнездо заземления (*GND*).

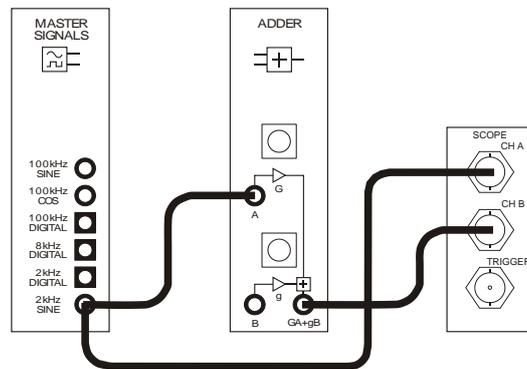


Рисунок 1

Этой схеме соответствует блок-схема, показанная на рисунке 2.

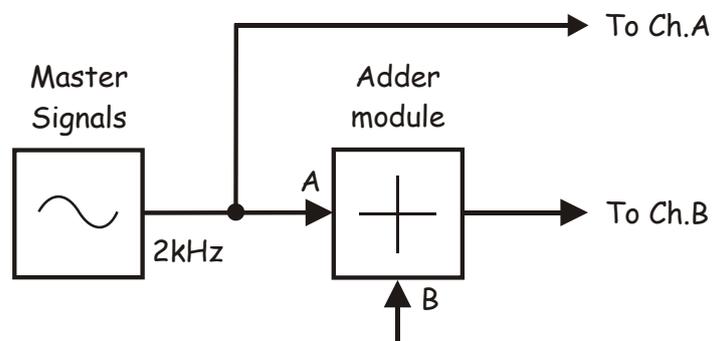


Рисунок 2

Master Signals - модуль опорных сигналов, Adder module - модуль сумматора,
To Ch.A - к каналу A, To Ch.B - к каналу B

15. Отрегулируйте масштаб по оси времени элементом управления *Timebase* осциллографа так, чтобы видеть примерно два (или немного больше) периодов синусоиды 2 кГц с выхода *2kHz SINE* модуля опорных сигналов (*Master Signals*).
16. Активируйте входной Канал В осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF Channel B Display*, чтобы видеть выходной сигнал модуля Сумматора так же, как выходной сигнал *2kHz SINE* (синусоида 2 кГц) модуля опорных сигналов (*Master Signals*).
17. Понаблюдайте эффект от изменения положения регулятора *G* модуля *Adder* (Сумматор) влево и вправо.

Вопрос 1

На какую характеристику модуля *Adder* влияет элемент управления *G*?

На усиление сигнала по входу А. То есть, регулятор *G* изменяет коэффициент передачи сумматора по этому входу.

18. Используйте функцию измерения осциллографа, чтобы измерить напряжение на входе *A (Input A)* модуля *Adder*. Запишите результат в таблицу 1.

Примечание: Если вы используете обычный ЭЛТ осциллограф, измерьте амплитуду сигнала согласно инструкции в приложении к эксперименту 1 (страницы 1-22).

19. Поверните регулятор *G* модуля *Adder* по часовой стрелке до упора.
20. Измерьте и запишите результат измерения выходного напряжения модуля *Adder*.
21. Рассчитайте и запишите значение коэффициента усиления напряжения модуля *Adder* по входу *A (Input A)*.
22. Поверните регулятор *G* модуля *Adder* против часовой стрелки до упора.
23. Нажмите на кнопку *Autoscale* в канале В, чтобы отмасштабировать осциллограмму сигнала на экране.
24. Повторите пункты 20 и 21.

Таблица 1		Входное напряжение	Выходное напряжение	Коэффициент усиления
Вход А	Максимум			
	Минимум			

Вопрос 2

Каков диапазон изменения коэффициента усиления по входу A модуля Adder?

От -0.02 до -2 (Напомните студентам об использовании знака минус для обозначения инверсии фазы.)



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

25. Оставьте регулятор G модуля Adder повернутым против часовой стрелки до упора.
26. Отсоедините выход $2kHz$ SINE (синусоида 2 кГц) модуля Master Signals от входа Input A модуля Adder и присоедините его к входу Input B модуля Adder.
27. Поверните регулятор g модуля Adder по часовой стрелке до упора.
28. Нажмите на кнопку Autoscale в канале B, чтобы отмасштабировать осциллограмму сигнала на экране.
29. Измерьте выходное напряжение модуля Adder. Запишите результат измерения в таблицу 2.
30. Рассчитайте и запишите коэффициент усиления напряжения по входу B модуля Adder.
31. Поверните регулятор g модуля Adder против часовой стрелки до упора.
32. Повторите действия с п.28 по п.30.

Таблица 2		Входное напряжение	Выходное напряжение	Коэффициент усиления
Вход B	Максимум	Смотрите Таблицу 1		
	Минимум			

Вопрос 3

Сравните результаты в Таблице 1 и 2. Что вы можете сказать о коэффициентах усиления по двум входам модуля Adder (Сумматор)?

Коэффициенты усиления по двум входам модуля Adder равны.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

33. Поверните оба регулятора усиления модуля *Adder* по часовой стрелке до упора.
34. Присоедините выход *2kHz SINE* модуля *Master Signals* к обоим входам модуля *Adder*.
35. Нажмите на кнопку *Autoscale* в канале *B*, чтобы отмасштабировать осциллограмму сигнала на экране.
36. Измерьте новое значение выходного напряжения модуля *Adder*. Запишите результат измерения в таблицу 3.

Таблица 3

Выходное напряжение Сумматора	
-------------------------------	--

Вопрос 4

Каково соотношение между амплитудой входных сигналов модуля сумматора и амплитудой его выходного сигнала?

Выходной сигнал является суммой двух входных сигналов после умножения их на значения *G* и *g*.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Модуль сдвига фазы (Phase Shifter)

Некоторые системы связи и телекоммуникационные системы требуют, чтобы сигнал (речь, музыка и/или видео) был передан со сдвигом фазы. Для реализации этих систем в последующих экспериментах необходимо сдвигать фазу какого-нибудь сигнала на определённую величину. Модуль Phase Shifter спроектирован с этой целью.

37. Найдите модуль Phase Shifter и установите его переключатель *Phase Change* (Изменение Фазы) в положение 0° .
38. Установите регулятор фазы *Phase Adjust* модуля Phase Shifter примерно в среднее положение.
39. Соберите схему, изображённую на рисунке 3.

Примечание 1: Вставьте чёрный штекер кабеля осциллографа в гнездо заземления (*GND*).

Примечание 2: На модуле Phase Shifter включится светодиод, не обращайте на это внимания. Светодиод используется для индикации того, что модуль автоматически настроился на ваш низкочастотный входной сигнал.

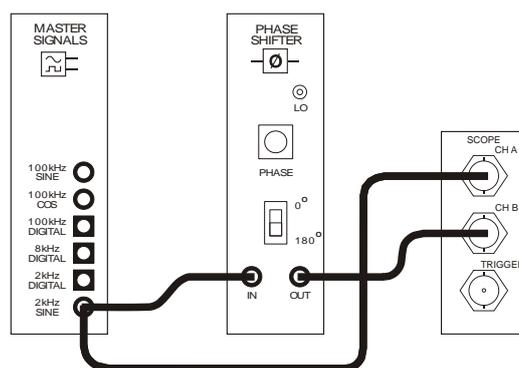


Рисунок 3

Схеме, изображенной на рисунке 3, соответствует блок-схема на рисунке 4.

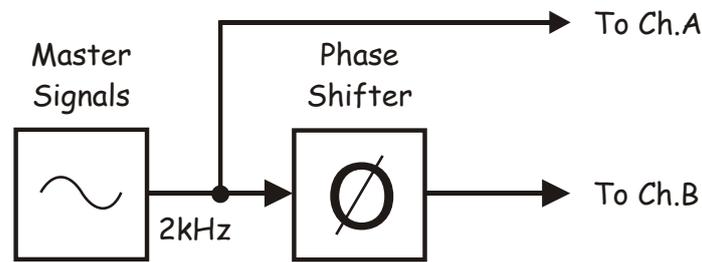


Рисунок 4

Master Signals - модуль опорных сигналов, Phase Shifter - модуль сдвига фазы (фазовращатель),
To Ch.A - к каналу А, To Ch.B - к каналу В

40. Настройте осциллограф с помощью элемента управления *Scale* (Масштаб) так, чтобы осциллограммы обоих каналов занимали весь экран.
41. Повращайте регулятор фазы *Phase Adjust* модуля Phase Shifter влево и вправо и посмотрите, как это влияет на осциллограммы сигналов.
42. Установите элемент управления *Phase Change* модуля Phase Shifter в положение 180° .
43. Повращайте регулятор фазы *Phase Adjust* модуля Phase Shifter влево и вправо и посмотрите, как это влияет на осциллограммы сигналов.

Вопрос 5

Выходной сигнал модуля может сдвигаться по фазе на разную величину

- но он всегда опережает входной сигнал.
- он всегда отстаёт от входного сигнала.
- может, как опережать входной сигнал, так и отставать от него. ✓



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

2.3 – Генератор, управляемый напряжением (The Voltage Controlled Oscillator VCO)

Генератор, управляемый напряжением, это генератор сигнала, частота которого управляется внешним источником напряжения. Как мы увидим в дальнейшем, это очень полезная схема для систем связи и телекоммуникационных систем. При необходимости с помощью модуля Emona DATeX функциональный генератор NI ELVIS можно заставить работать как генератор, управляемый напряжением (VCO).

Порядок выполнения (*' относится только к NI ELVIS I)

1. Если устройства соединены по схеме, использованной в предыдущем эксперименте, переходите к пункту 11. Если нет - к пункту 2.
2. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
3. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
4. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
5. *Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
6. *Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.

Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.

7. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
8. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
9. *Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.

Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет - позвоните преподавателю, чтобы он вам помог.

10. Запустите программу NI ELVIS по указанию преподавателя.

Примечание: Если программа NI ELVIS запустилась успешно, появится окно ELVIS - Instrument Launcher - окно запуска измерительных приборов.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

11. Настройте осциллограф NI ELVIS согласно инструкции к эксперименту 1 (страница 1-13), убедитесь, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A* (канал A).
12. Установите элементы управления регулируемого источника напряжения постоянного тока NI ELVIS (Variable Power Supplies) следующим образом:
 - *Control Mode* (Режим Управления) для обоих выходов в положение *Manual* (Ручной)
 - *Positive Voltage* (Положительное напряжение) - в положение 0 В (повёрнут против часовой стрелки до упора)
 - *Negative Voltage* (Отрицательное Напряжение) - в положение 0 В (повёрнут по часовой стрелке до упора)
13. Установите элементы управления функционального генератора NI ELVIS (Function Generator) следующим образом:
 - *Control Mode* (Режим Управления) в положение *Manual* (Ручной)
 - *Coarse Frequency* (Грубая настройка частоты) - в положение *5kHz* (5 кГц)
 - *Fine Frequency* (Точная настройка частоты) - примерно в среднее положение
 - *Amplitude* (Амплитуда) - до упора по часовой стрелке
 - *Waveshape* (Форма сигнала) - в позицию 
14. Соберите схему согласно рисунку 1.

Примечание: Хотя это не показано, вставьте чёрный штекер кабеля осциллографа в гнездо заземления (*GND*).

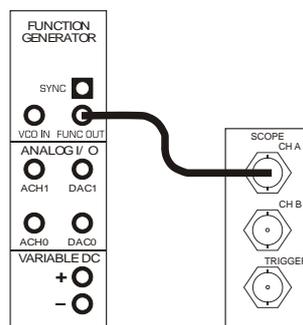


Рисунок 1

15. Установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа так, чтобы видеть примерно два периода сигнала с выхода функционального генератора.
16. Используйте функцию измерений осциллографа, чтобы определить частоту выходного сигнала функционального генератора. Запишите результаты измерений в таблицу 1.

Примечание: Если вы используете автономный ЭЛТ осциллограф, рассчитайте частоту по результату измерения периода в соответствии с инструкцией в приложении к эксперименту 1 (смотрите страницы 1-22 и 1-23).

Таблица 1	Частота
Выход Функционального генератора	

17. Модифицируйте схему в соответствии с рисунком 2.

Прежде чем сделать...

Схема на рисунке 2 собирается на основе схемы, изображённой на рисунке 1, поэтому не разбирайте её. Чтобы выделить проводники, которые надо добавить, существующие проводники показаны пунктирной линией.

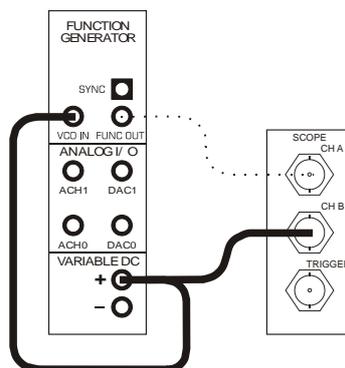


Рисунок 2

Схема соединений на рисунке 2 может быть представлена блок-схемой на рисунке 3.

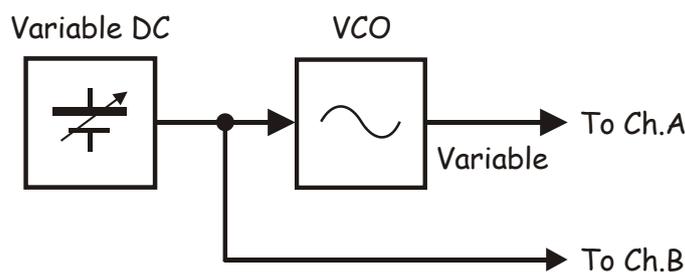


Рисунок 3

Variable DC - регулируемые источники питания постоянного тока,
 VCO (Voltage Controlled Oscillator) - генератор, управляемый напряжением, Variable - сигнал переменной частоты,
 To Ch.A - к каналу A, To Ch.B - к каналу B

18. Активируйте вход канала B осциллографа, чтобы видеть напряжение постоянного тока на входе функционального генератора (Function Generator) так же хорошо, как и напряжение переменного тока на его выходе.
19. Установите элемент управления *Scale (Масштаб)* канала B (Channel B) осциллографа в положение *5V/div (5 В/дел.)*.
20. Нажмите кнопку *Zero (Ноль)* канале B осциллографа.
21. Установите элемент управления *Coupling (Связь с источником сигнала)* в канале B осциллографа в положение *DC (постоянный ток)*.
22. Увеличьте выходное напряжение регулируемого источника положительного напряжения питания постоянного тока, наблюдая при этом за экраном осциллографа.

Вопрос 1

Как изменяется выходной сигнал функционального генератора, когда вы увеличиваете положительное напряжение постоянного тока на его входе?

Частота сигнала увеличивается.

23. Установите выходное напряжение регулируемого источника положительного напряжения питания постоянного тока равным 10 В.
24. Измерьте частоту сигнала на выходе функционального генератора. Запишите результат измерения в таблицу 2.

Таблица 2	
	Частота
Выходной сигнал функционального генератора	

Вопрос 2

Используйте информацию из таблиц 1 и 2 для того, чтобы определить *чувствительность* функционального генератора как генератора, управляемого напряжением (*VCO*) (имеется в виду, насколько изменяется частота выходного сигнала при изменении напряжения на 1 В).

200 Гц/В

ПРИМЕЧАНИЕ: Чувствительности генераторов, управляемых напряжением в ELVIS II и в ELVIS I различны. Обратите внимание на это, если в лаборатории есть оба типа блоков ELVIS. Если у вас есть время, можете сравнить чувствительности. **ПОДСКАЗКА:** убедитесь, что вы производили измерения в нескольких точках внутри диапазона.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Существенно, что *чувствительность* функционального генератора в режиме регулирования частоты (*VCO*) отличается для разных положений элемента управления *Coarse Frequency* (*Грубая настройка частоты*).

25. Повторите описанную выше процедуру, чтобы определить *чувствительность* генератора (*VCO*) для положений регулятора *Coarse Frequency* 500 Гц и 50 кГц. Запишите результаты в таблицу 3.

Таблица 3	Чувствительность
500 Гц	
50 кГц	



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

26. Измените схему, как показано на рисунке 4.

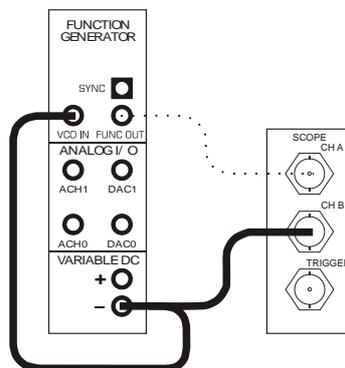


Рисунок 4

Эта схема может быть представлена блок-схемой на рисунке 5.

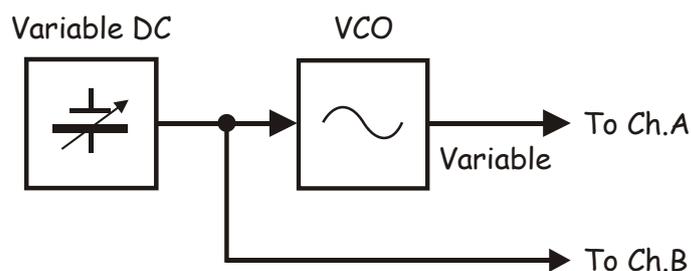


Рисунок 5

Variable DC - регулируемые источники питания постоянного тока,
 VCO (Voltage Controlled Oscillator) - генератор, управляемый напряжением, Variable - сигнал переменной частоты,
 To Ch.A - к каналу A, To Ch.B - к каналу B

27. Увеличьте напряжение на выходе регулируемого источника отрицательного напряжения питания постоянного тока, наблюдая при этом за экраном осциллографа.

Вопрос 3

Как изменяется сигнал на выходе функционального генератора, когда вы увеличиваете отрицательное напряжение постоянного тока на его входе?

Частота сигнала уменьшается.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

3 - Программная панель управления

Эксперимент 3 – Программная панель управления

Предварительное обсуждение

Передняя панель (front-panel) электронных систем является лицом прибора и содержит большую часть, если не все, элементы управления, которые может регулировать пользователь, чтобы некоторым образом изменить функционирование системы. Например, ниже, на рисунке 1 показана передняя панель блока NI ELVIS.

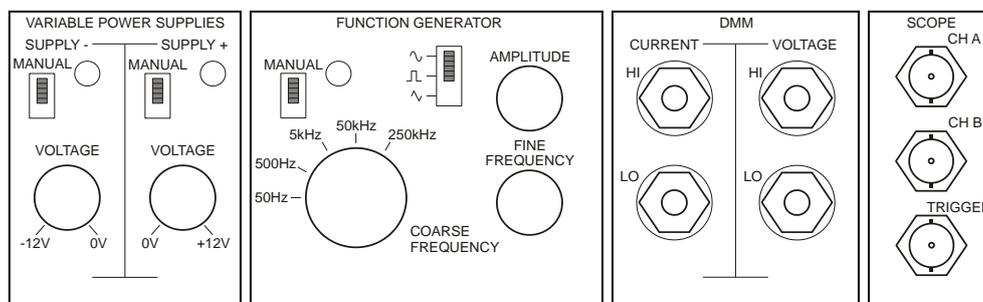


Рисунок 1

В последние 20 - 30 лет, цифровое управление электроникой существенно изменило переднюю панель. Многопозиционные групповые переключатели и потенциометры (как на передней панели NI ELVIS) в большинстве случаев уступили место кнопкам без фиксации и вращающимися элементами управления без ограничителей. Для примера, задумайтесь, как вы настраиваетесь на волну радиостанции и регулируете громкость в автомобильной или домашней стереосистеме в наши дни.

Повсеместный переход на цифровое управление сделал возможным полный удаленный контроль над системами. Как вы знаете, в наши дни, большинство домашних электронных приборов могут быть включены и выключены, например, при помощи инфракрасного или радиочастотного пульта управления. В действительности, в современных телевизорах и видеомагнитофонах на пультах дистанционного управления находится больше элементов управления, чем на самих телевизорах. Другими словами, пульты управления стали передней панелью.

Достижения в технике персональных компьютеров и цифровой передачи данных позволили обеспечить средствами дистанционного управления такие "не домашние" операции, как сбор данных и управление производственными процессами. Для такого типа оборудования передняя панель либо дублируется, либо полностью заменяется "программной" лицевой панелью ("soft" front-panel) на экране компьютера, который может находиться как в нескольких метрах, так и в тысяче километров от управляемого оборудования. Программные лицевые панели имеют виртуальные кнопки и ручки, которые, когда их нажимают и регулируют на экране, вносят изменения в работу системы так же, как это делали бы реальные кнопки и ручки.

Вы уже могли видеть подобный способ управления, если выполняли эксперименты 1 и 2. Цифровой мультиметр и осциллограф NI ELVIS - это приборы, у которых нет реальных элементов управления. Вы управляли приборами при помощи виртуальных кнопок и ручек на экране компьютера. Регулируемым источником постоянного тока и функциональным генератором NI ELVIS, а также модулем Emona DATeX можно управлять таким же образом.

Эксперимент

В этом эксперименте вы познакомитесь с программной лицевой панелью контрольно-измерительных приборов NI ELVIS и модуля расширения Emona DATEx. Предполагается, что вы выполнили эксперимент 1 или уже имеете представление о системе NI ELVIS и её виртуальных измерительных приборах.

На выполнение эксперимента вам потребуется около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Некоторые вещи, которые надо знать для проведения эксперимента

Эта врезка содержит определения некоторых электротехнических терминов, используемых в эксперименте. Хотя вы, возможно, уже встречались с ними, стоит потратить минуту, чтобы прочитать определения и проверить, так ли вы их понимаете.

Когда два сигнала различаются по фазе на 180° , то один отстаёт от другого на половину периода. Этот случай показан на рисунке 2. Как вы можете видеть, два сигнала всегда меняются в противоположных направлениях. Когда один нарастает, другой спадает (и наоборот).

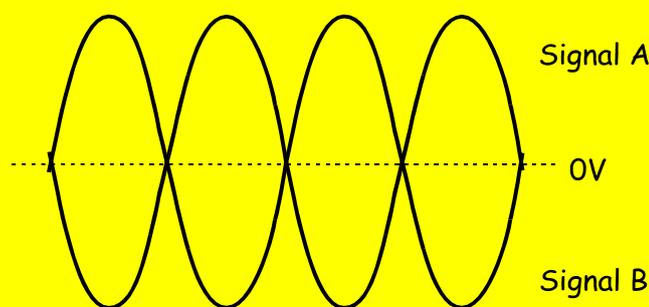


Рисунок 2

Порядок выполнения (* - только при работе с NI ELVIS)

Часть А - Программные элементы управления источника питания и функционального генератора NI ELVIS

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.

Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.

6. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.

Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет - позвоните преподавателю, чтобы он вам помог.

9. Запустите программу NI ELVIS по указанию преподавателя.

Примечание: Если программа NI ELVIS запустилась успешно, появится окно ELVIS - Instrument Launcher - окно запуска измерительных приборов.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

10. Установите реальные элементы управления регулируемых источников питания NI ELVIS (Variable Power Supplies) в следующие положения:
 - *Control Mode* (Режим управления) для обоих выходов в положение *Manual* (Ручной).
 - *Voltage* (Напряжение) для обоих выходов в среднее положение.

11. Соберите схему, показанную на рисунке 3.

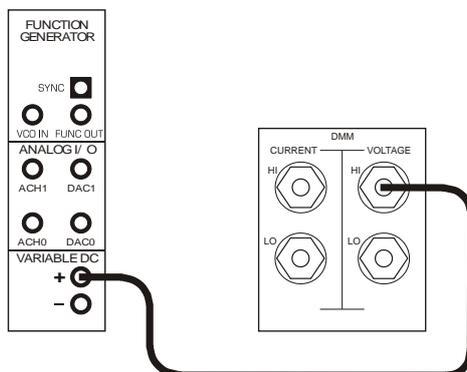


Рисунок 3

12. Запустите программу (VI) виртуального прибора DMM NI ELVIS (Цифровой Мультиметр).

Примечание: Не обращайте внимания на сообщение о максимальной точности измерений, и просто нажмите на кнопку ОК.

13. Запустите программу (VI) виртуального прибора Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания) NI ELVIS.

Примечание: После успешного запуска этих виртуальных измерительных приборов ваш экран должен выглядеть, как на рисунке 4 ниже. Расположите окна так, как вам удобно.

Панель инструментов ELVIS I показана на рисунке 4а.

Панель инструментов ELVIS II показана на рисунке 4b.

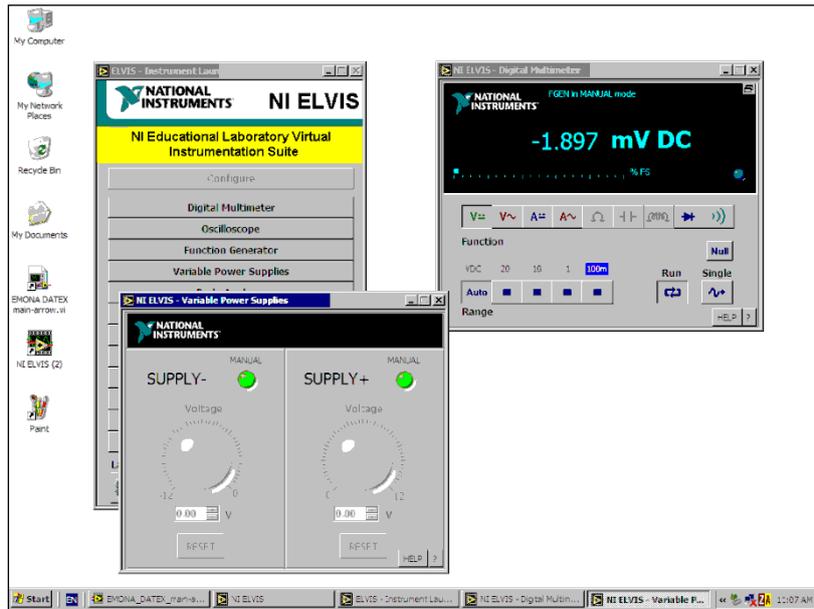


Рисунок 4а

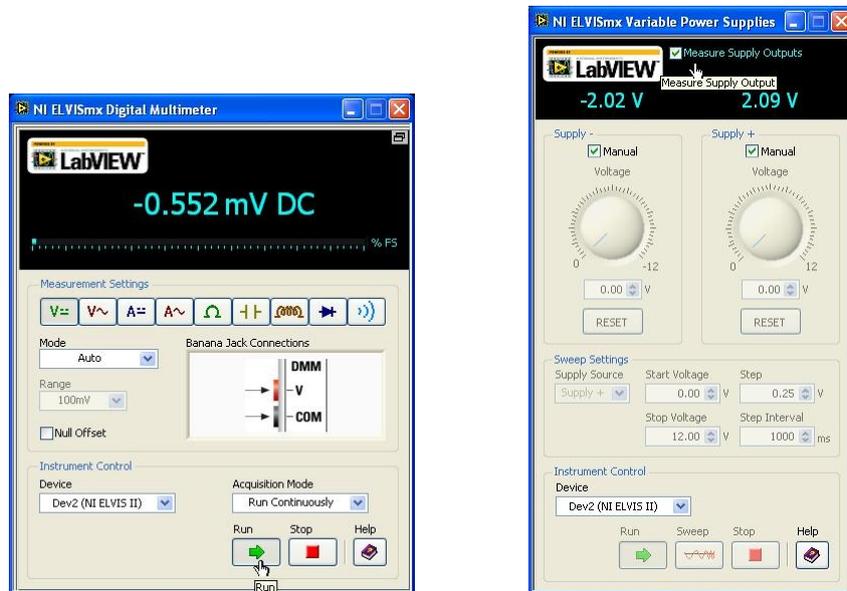


Рисунок 4б

14. Попробуйте регулировать программные элементы управления на лицевой панели виртуального регулируемого источника питания прибора Variable Power Supplies.

Примечание: Вы обнаружите, что вы не можете управлять источником питания, потому что он настроен на управление с передней панели самого блока, а не с программной лицевой панели. Заметьте, что элементы управления виртуального прибора выглядят блекло, чтобы подчеркнуть это.

15. Переведите переключатель *Control Mode (Режим управления)* выхода положительного напряжения регулируемого источника питания (обведён на рисунке 5 ниже) в положение, противоположное позиции *Manual (Ручной)*.

Примечание: Обратите внимание, что результат этих действий отразился на лицевой панели виртуального регулируемого источника питания. Индикатор *Manual (Ручной)* "исчез" и элемент управления перестал быть блеклым. Показания на цифровом мультиметре тоже должны измениться.

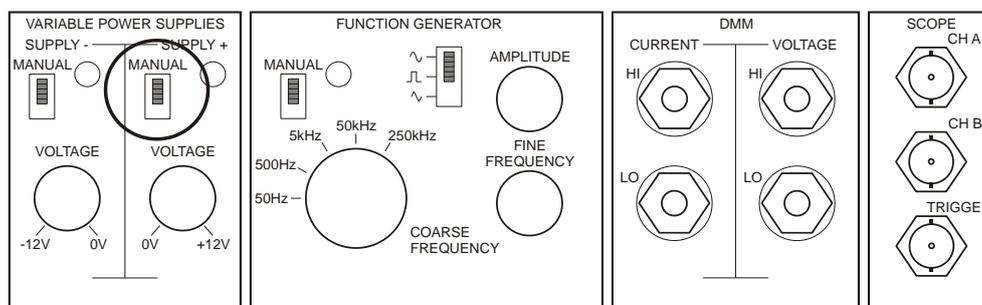


Рисунок 5

16. Измените напряжение на выходе регулируемого источника положительного напряжения питания постоянного тока, регулируя с помощью мышки элемент управления *Voltage (Напряжение)* виртуального регулируемого источника питания.
17. Подсоедините цифровой мультиметр к выходу регулируемого источника отрицательного напряжения питания постоянного тока.
18. Повторите п.п. 15 и 16, чтобы увидеть, как изменяются результаты измерений напряжения на этом выходе.

Вопрос 1

В чём преимущество управления регулируемым источником питания постоянного тока при помощи программной лицевой панели?

Можно управлять источником в дистанционном режиме.

Можно также аргументировать это тем, что становятся не нужными реальные элементы управления, которые могут изнашиваться и ломаться.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

19. Закройте программы виртуального регулируемого источника питания и виртуального цифрового мультиметра Variable Power Supplies и DMM.
20. Установите элементы управления функционального генератора следующим образом:
 - *Control Mode (Режим управления)* в положение *Manual (ручной)*.
 - *Coarse Frequency (Грубая настройка частоты)* в положение *5kHz*
 - *Fine Frequency (Тонкая настройка частоты)* в *среднее положение*
 - *Amplitude (Амплитуда)* в *среднее положение*
 - *Waveshape (Форма сигнала)* в положение 
21. Запустите программу (VI) виртуального прибора Function Generator NI ELVIS (функциональный генератор).

Примечание: При успешном запуске ваш экран должен выглядеть, как на рисунке 6.

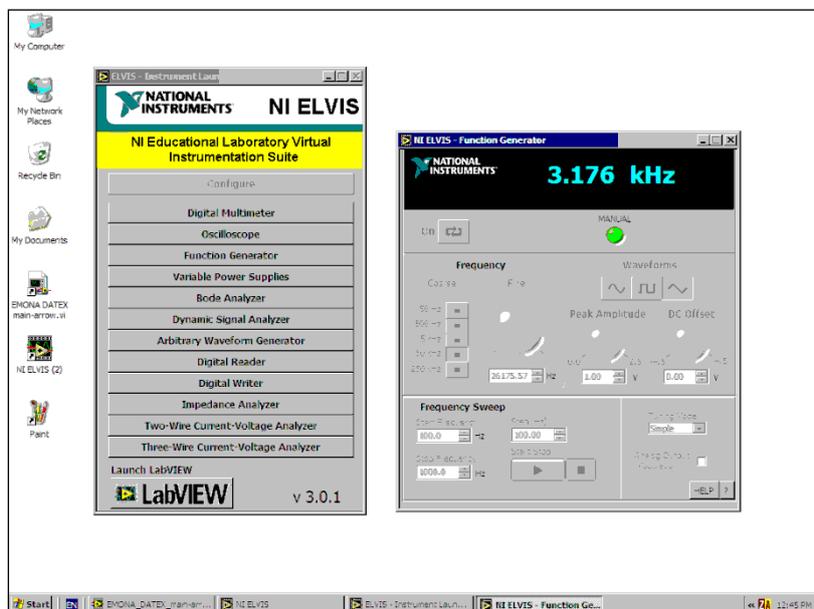


Рисунок 6

22. Попробуйте порегулировать элементы управления виртуального функционального генератора.

Примечание: Как и раньше, вы обнаружите, что элементы управления генератора выглядят блекло, и вы не можете изменить его настройки.

23. Измените положение реального элемента управления *Coarse Frequency (Грубая настройка частоты)* функционального генератора.

Примечание: Обратите внимание, что хотя виртуальный прибор не активен, на его индикаторе частоты показания изменяются, реагируя на изменения реального элемента управления.

24. Верните реальный элемент управления *Coarse Frequency (Грубая настройка частоты)* функционального генератора в положение *5kHz*.

25. Переведите переключатель *Control Mode (Режим управления)* в положение, противоположное позиции *Manual (Ручной)*.

Примечание: Обратите внимание, что результат этих действий отразился на виртуальном приборе функциональный генератор. Индикатор *Manual (Ручной)* "исчез" и элемент управления перестал быть блеклым. Однако, наверно, на индикаторном табло, появилось слово *OFF (Выключено)*.

26. Нажмите кнопку *ON/OFF (Вкл/Выкл)* на лицевой панели виртуального прибора *Function Generator*, чтобы включить его.

Примечание: будьте терпеливы, если реакция виртуального прибора будет немного замедленной.

27. Настройте функциональный генератор с помощью виртуальных элементов управления следующим образом:

Waveshape (Форма сигнала): *Triangular (Треугольный)*

Frequency (Частота): *2,5 kHz*

Amplitude (Амплитуда): пиковая *4 V (двойной размах)* (на лицевой панели виртуального прибора это соответствует амплитуде в *2 V*)

DC Offset (Смещение по постоянному току): *0 V*

Совет: Чтобы точно установить частоту сигнала *2,5 кГц* и амплитуду *2 В*, просто напечатайте эти значения в полях под соответствующими регуляторами.

28. Соберите схему, показанную на рисунке 7.

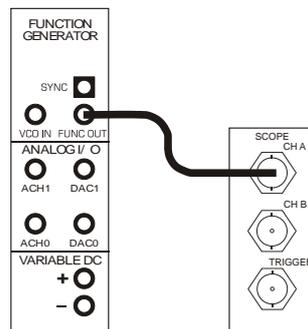


Рисунок 7

29. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа Oscilloscope NI ELVIS.
30. Настройте NI ELVIS осциллограф согласно инструкции к эксперименту 1 (страница 1-13), убедитесь, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A* (канал A).
31. Используйте функцию измерения осциллографа, чтобы проверить правильность задания параметров выходного сигнала функционального генератора.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I.
В ELVIS II имеются следующие отличия.

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Часть В – Программные элементы управления модуля Emona DATEx

32. Закройте программу (VI) виртуального прибора Function Generator.
33. Соберите схему, показанную на рисунке 8.

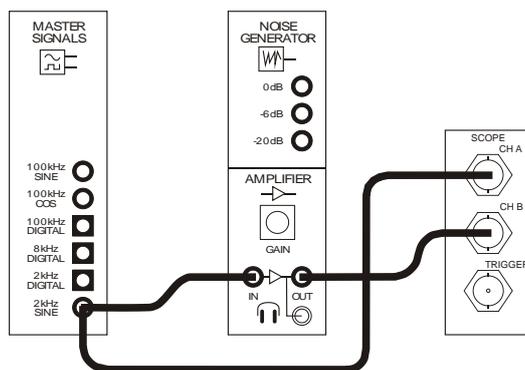


Рисунок 8

34. Отрегулируйте элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа так, чтобы видеть только два (или немного больше) периодов синусоиды 2 кГц с выхода *2kHz SINE* модуля опорных сигналов (*Master Signals*).
35. Активируйте вход канала В осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF Channel B Display*.
36. Проверьте работоспособность модуля *Amplifier* (Усилитель), регулируя его реальный элемент управления *Gain* (Усиление).

Примечание: Если усилитель работает правильно, то его выходной сигнал должен быть инверсным, и амплитуда сигнала должна изменяться элементом управления *Gain* (Усиление).

37. Запустите программную лицевую панель DATEx согласно инструкции.

Примечание: Если программная лицевая панель DATEx запустилась нормально, ваш экран должен выглядеть, как показано на рисунке 9 на следующей странице.

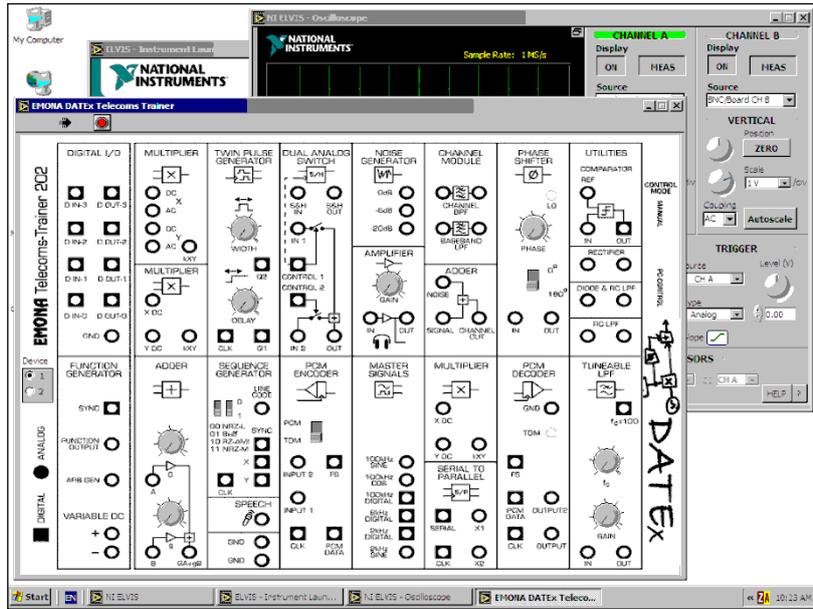


Рисунок 9

38. Расположите на экране окно программной лицевой панели DAtEx и окно виртуального осциллографа так, чтобы вы могли видеть основные элементы обоих окон. Пример показан на рисунке 10 ниже.

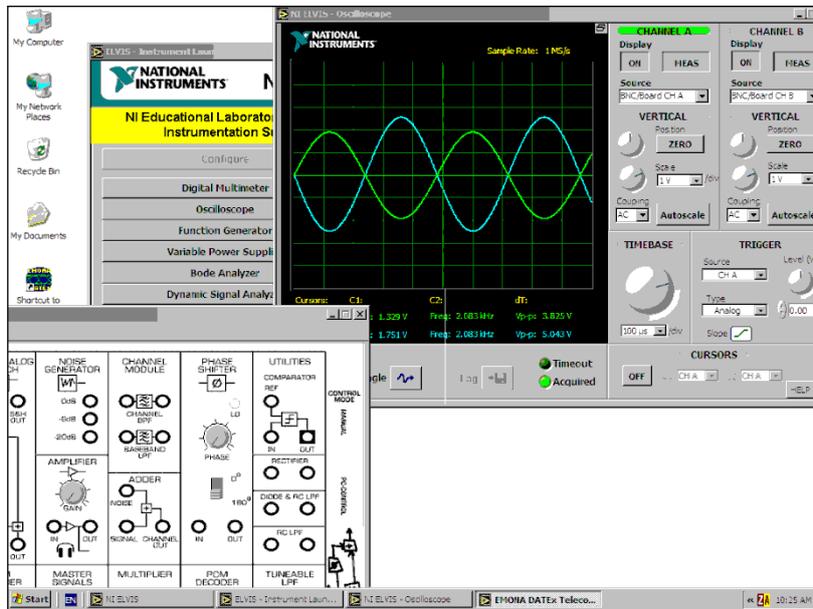


Рисунок 10

39. Установите переключатель *Control Mode* (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение *PC Control* (Управление от компьютера).
40. Снова измените положение реального элемента управления *Gain* (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель).

Примечание: Сейчас это никак не должно сказаться на выходном сигнале.

41. Измените с помощью мыши положение виртуального элемента управления *Gain* (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель) на программной лицевой панели DATEx.

Примечание: Вы обнаружите, что можете управлять DATEx из программы.

42. С помощью виртуального элемента управления *Gain* (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель) установите усиление по напряжению настолько близким к -2, насколько сможете.

Если точная настройка при помощи мыши покажется вам сложной, то на программной лицевой панели DATEx это можно сделать при помощи клавиатуры компьютера, следуя нижеследующим инструкциям.

43. Переместите программную лицевую панель DATEx так, чтобы стали видны все её модули.
44. Нажмите один раз клавишу *TAB*.

Примечание: Элемент управления *Width* (Длительность) модуля Twin Pulse Generator (Генератор парных импульсов) на программной лицевой панели DATEx теперь можно регулировать с помощью клавиатуры, это видно по прямоугольнику вокруг элемента управления.

45. Нажмите клавишу *TAB* ещё несколько раз.

Примечание: Заметьте, что каждый раз, когда вы нажимаете клавишу *TAB*, выделяется другой элемент управления. Обратите также внимание, что переключатели могут быть выбраны так же, как и ручки регуляторов.

46. Используйте клавишу *TAB*, чтобы выбрать элемент управления *Gain* (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель).
47. Переместите программную лицевую панель DATEx так, чтобы видеть экран осциллографа.
48. Изменяйте положение виртуального элемента управления *Gain* (Усиление), нажимая правую и левую стрелки на клавиатуре.

Примечание: Вам придётся смотреть на программный элемент управления очень пристально, чтобы увидеть его движение, потому что регулировка производится очень плавно.

49. Используйте клавиши со стрелками, чтобы установить усиление по напряжению модуля усилителя максимально близко к -2.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

50. Соберите схему, изображенную на рисунке 11.

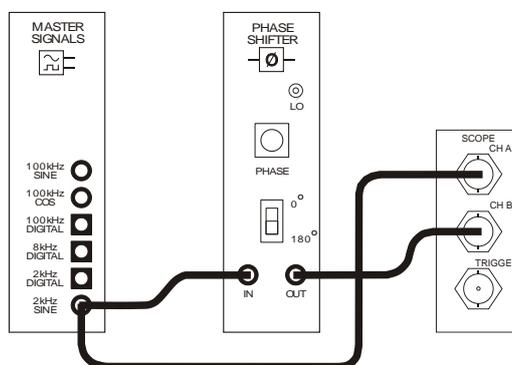


Рисунок 11

51. Поэкспериментируйте с регулировкой двух виртуальных элементов управления модуля Phase Shifter (Фазовращатель - модуль сдвига фазы), наблюдая при этом за его входным и выходным сигналами на экране осциллографа.

Примечание 1: Используйте для этого мышь и клавиатуру.

Примечание 2: Определите, какие клавиши на клавиатуре отвечают за переключение элемента управления модуля Phase Shifter (Фазовращатель) из положения 0° в положение 180° .

52. Настройте модуль Phase Shifter (Фазовращатель) так, чтобы выходной сигнал имел сдвиг фазы, максимально близкий к 180° .



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.:

Группа:

4 - Моделирование уравнений с помощью модуля Емопа DATEx

Эксперимент 4 – Моделирование уравнений с помощью модуля Emona DATEx

Предварительное обсуждение

Возможно это удивит вас, но математика очень важна для электроники, особенно для связи и телекоммуникаций. Как вы узнаете, выходные сигналы всех коммуникационных систем могут быть описаны с помощью математических уравнений.

Математика, хотя и относительно простая, потребуется вам и при изучении этого руководства. Система Emona DATEx "оживит" уравнения, используемые в технике коммуникаций, поможет их смоделировать.

Эксперимент

Этот эксперимент познакомит вас с двумя относительно простыми математическими уравнениями, моделируемыми с помощью Emona DATEx.

Для выполнения этого эксперимента потребуется около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II с соединительными проводниками
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или двухканальный осциллограф с рабочей полосой 20МГц)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с байонетным разъёмом типа BNC и разъёмом типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводов с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия.

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Некоторые вещи, которые надо знать для выполнения эксперимента

Эта врезка содержит определения некоторых электротехнических терминов, используемых в эксперименте. Хотя вы, возможно, уже встречались с ними, стоит потратить минуту, чтобы прочитать определения и проверить, так ли вы их понимаете.

Когда два сигнала **не совпадают по фазе на 180°** , то один отстаёт от другого на половину периода. Этот случай показан на рисунке 1. Как вы можете видеть, два сигнала всегда изменяются в противоположных направлениях. Когда один нарастает, другой спадает (и наоборот).

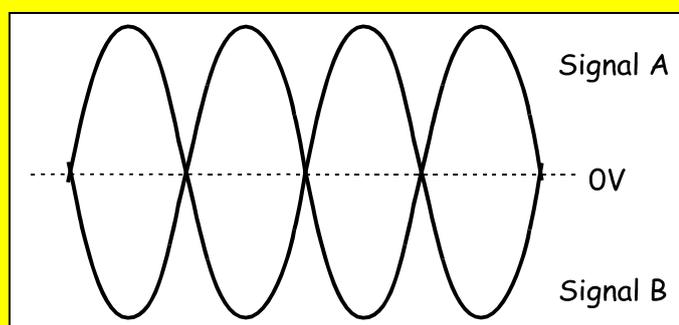


Рис. 1

Порядок выполнения

В этой части эксперимента вы будете использовать модуль Adder (Сумматор) для сложения двух электрических сигналов. Математически эта операция может быть описана следующим равенством:

$$\text{Adder module output} = \text{Signal A} + \text{Signal B}$$

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель *Control Mode* (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение *PC Control* (Управление от компьютера).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ, а затем посмотрите, появилось ли сообщение о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATEx (DATEx soft front-panel - SFP).
11. Убедитесь, что теперь вы можете программно управлять DATEx, активируя виртуальный элемент управления *PDM/TDM* модуля PCM Encoder (ИКМ-кодер) на программной панели управления (DATEx SFP).

Замечание: Если ваша схема работает правильно, то светодиод PCM Decoder на панели модуля DATEx должен мигать.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

12. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS виртуального осциллографа.
13. Настройте осциллограф по инструкции к эксперименту 1 (страница 1-13), убедитесь, что переключатель *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A*.
14. Найдите модуль *Adder* (Сумматор) на программной панели управления DATeX и установите виртуальные элементы управления *G* и *g* в среднее положение.
15. Соберите схему, показанную на рисунке 2.

Замечание: Вставьте черный штекер кабеля осциллографа в гнездо заземления *GND* (Заземление), на рисунке этот проводник не показан.

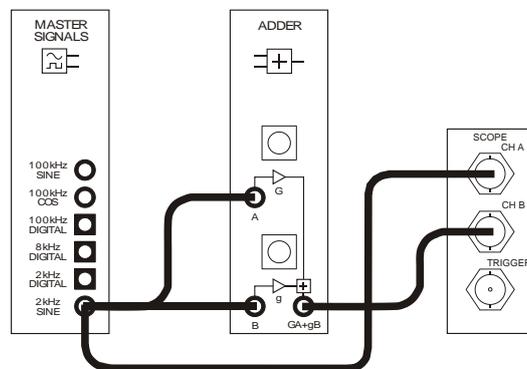


Рис. 2

Собранная схема может быть представлена блок-схемой, показанной на рисунке 3.

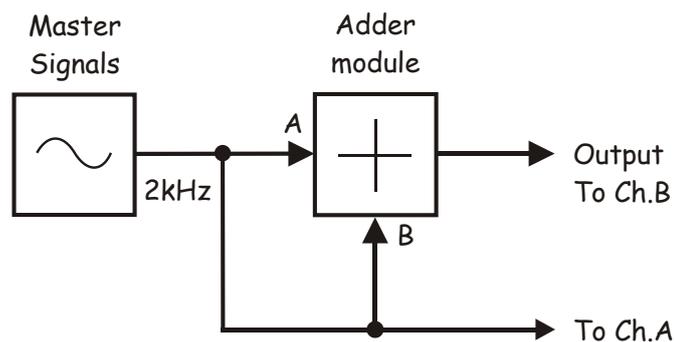


Рис. 3

Master Signals - модуль опорных сигналов, Adder module - модуль сумматора,
Output To Ch.B - выход к каналу B, To Ch.A - к каналу A

16. Отрегулируйте с помощью виртуального элемента управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллограф так, чтобы видеть примерно два периода синусоиды 2 кГц с выхода модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов).
17. Измерьте двойную амплитуду синусоиды 2кГц на выходе модуля *Master Signals* и запишите результат измерения в таблицу 1 на следующей странице.
18. Отсоедините проводник от входа *B* модуля *Adder* (Сумматор).
19. Активируйте вход *Channel B* (Канал *B*) осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF Channel B Display*, для того, чтобы видеть осциллограммы и входного, и выходного сигналов модуля *Adder*.
20. Отрегулируйте с помощью виртуального элемента управления *g* модуль *Adder* таким образом, чтобы осциллограмма напряжения на выходе модуля совпадала с осциллограммой напряжения на входе модуля (измерение выполнено в п. 17)

Примечание 1: При этом коэффициент усиления по входу *A* модуля *Adder* равен -1.

Примечание 2: Помните, что вы можете использовать клавишу *TAB* и клавиши со стрелками на клавиатуре для точной настройки элементов программной панели управления *DATEx*.

21. Подключите заново проводник ко входу *B* модуля *Adder* (Сумматор).
22. Отключите проводник от входа *A* модуля *Adder* (Сумматор).
23. Отрегулируйте с помощью виртуального элемента управления *g* модуль *Adder* таким образом, чтобы осциллограмма напряжения на выходе модуля совпадала с осциллограммой напряжения на входе модуля (измеренным в п. 17).

Примечание 1: При этом коэффициент усиления по входу *B* модуля *Adder* равен -1, а значит, коэффициенты усиления по обоим входам модуля *Adder* равны.

24. Подключите заново проводник ко входу *A* сумматора.

Теперь схема, изображенная на рисунках 3 и 4, готова реализовать равенство:

$$\begin{aligned} \text{Adder module output} &= \text{Signal A} + \text{Signal B} \\ \text{Выходной сигнал Сумматора} &= \text{Сигнал A} + \text{Сигнал B} \end{aligned}$$

Обратите внимание, что на оба входа сумматора подан одинаковый сигнал: синусоида 2kHz 4Vp-p. Тогда уравнение для выхода можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Adder module output} &= 4\text{Vp-p (2kHz sine)} + 4\text{Vp-p (2kHz sine)} \\ \text{Выходной сигнал Сумматора} &= 4\text{Vp-p (синусоида 2kHz)} + 4\text{Vp-p (синусоида 2kHz)} \end{aligned}$$

После решения уравнения мы получим:

Adder module output = 8Vp-p (2kHz sine)
Выходной сигнал Сумматора = 8Vp-p (синусоида 2kHz)

Давайте посмотрим, что получится на практике.

25. Измерьте и запишите амплитуду сигнала на выходе сумматора.

Таблица 1

Входное напряжение	Выходное напряжение

Вопрос 1

Измеренное выходное напряжение сумматора **точно равно** 8Vp-p, как предсказывает теория?

Нет.

Вопрос 2

Каковы причины расхождения с теорией?

1) Нагрузка (т.е. сигнал на входе сумматора в действительности не равен 4Vp-p)

2) Коэффициент усиления не равен точно -1.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

В следующей части эксперимента, вы будете суммировать два электрических сигнала, но один из сигналов будет сдвинут по фазе. Математически такая ситуация описывается следующим выражением:

$$\text{Adder module output} = \text{Signal A} + \text{Signal B (with phase shift)}$$

Выходной сигнал Сумматора = Сигнал А + Сигнал В (сдвинутый по фазе)

26. Найдите модуль Phase Shifter (Фазовращатель) на программной панели управления DATeX и установите элемент управления *Phase Change* (изменение фазы) в 0° .
27. Установите виртуальный элемент *Phase Adjust* (подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) в среднее положение.
28. Соберите схему, показанную на рисунке 4.

Примечание: вставьте черный штекер кабеля осциллографа в гнездо заземления (*GND*).

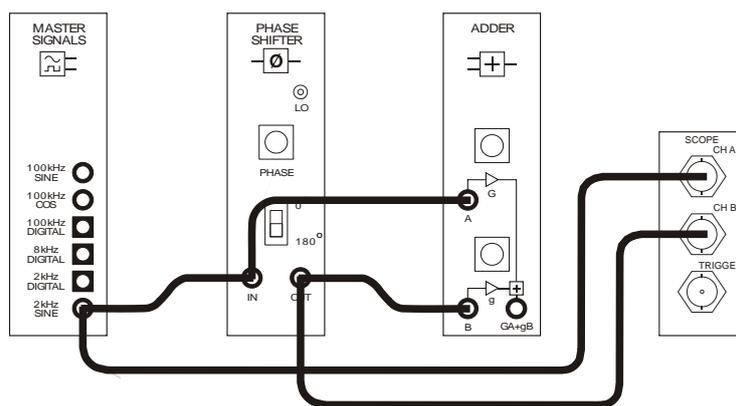


Рис. 4

Этой схеме соединений соответствует блок-схема, показанная на рисунке 5 на следующей странице.

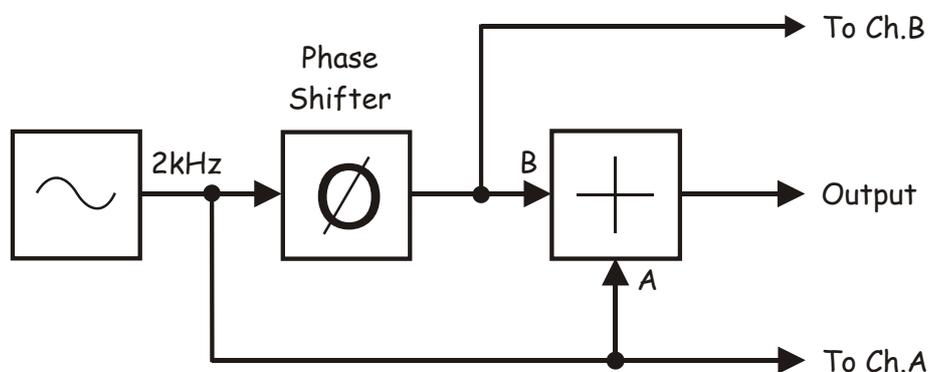


Рис. 5

Phase Shifter - фазовращатель, To Ch.B - к каналу B,
Output - выход, To Ch.A - к каналу A

Схемы, показанные на рисунках 4 и 5, теперь готовы для моделирования уравнения:

$$\text{Adder module output} = \text{Signal A} + \text{Signal B (with phase shift)}$$

Выходной сигнал Сумматора = Сигнал A + Сигнал B (сдвинутый по фазе)

Сигналы на обоих входах модуля Adder (Сумматор) одинаковы: синусоида 4Vp-p 2kHz.
Тогда уравнение принимает вид:

$$\text{Adder module output} = 4Vp-p (2kHz \text{ sine}) + 4Vp-p (2kHz \text{ sine with phase shift})$$

Выходной сигнал Сумматора = 4Vp-p (синусоида 2kHz) + 4Vp-p (синусоида 2kHz, сдвинутая по фазе)

Если оба сигнала имеют одинаковую амплитуду и частоту, но сдвинуты по фазе точно на 180° , то в любой момент времени значение напряжения всегда противоположны по знаку. Т.е. когда мгновенное значение амплитуды одной синусоиды равно +1V, значение другой - -1V. А когда значение одной - +3.75V, то другой - -3.75V и т.д. Это значит, что решение уравнения, приведенного выше, будет следующим:

$$\text{Adder module output} = 0Vp-p$$

Выходной сигнал Сумматора = 0Vp-p

Давайте посмотрим, получится ли это на практике.

29. Отрегулируйте с помощью виртуального элемента управления *Phase Adjust* (подстройка фазы) модуль *Phase Shifter* (Фазовращатель) так, чтобы осциллограммы его входного и выходного сигналов были сдвинуты по фазе на 180° .
30. Отключите проводник, соединяющий канал В осциллографа с выходом модуля *Phase Shifter* (Фазовращатель) и подключите его к выходу модуля *Adder* (Сумматор).
31. Нажмите кнопку *Autoscale* канала В, чтобы отмасштабировать осциллограмму.
32. Измерьте амплитуду выходного сигнала сумматора. Запишите результат измерения в таблицу 2.

Таблица 2

Выходное напряжение

Вопрос 3

Назовите две причины, по которым выходное напряжение не равно $0V$, как следовало из теоретических рассуждений.

- 1) Разность фаз двух входных сигналов сумматора не точно равна 180° .
- 2) Не равны коэффициенты усиления по входам сумматора.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Следующая процедура может быть использована для настройки модулей *Adder* (Сумматор) и *Phase Shifter* (Фазовращатель) так, чтобы выходной сигнал схемы был равен нулю.

33. Используйте клавишу *TAB* и клавиши со стрелками на клавиатуре, чтобы плавно изменять положение элемента управления *Phase Adjust* (подстройка фазы) и наблюдайте, какое влияние это оказывает на выходной сигнал сумматора.
34. Используйте клавиатуру, чтобы точно позиционировать виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (подстройка фазы) модуля *Phase Shifter* (Фазовращатель) для получения минимально возможного выходного напряжения сумматора.

Вопрос 5

Что сейчас можно сказать о сдвиге фазы между двумя входными сигналами сумматора?

Сдвиг фазы очень близок к 180° (но, возможно, не равен точно 180°)

35. Используйте клавиатуру, чтобы плавно изменять положение виртуального элемента управления *G* модуля *Adder* (Сумматор), и наблюдайте, какое влияние это оказывает на выходной сигнал сумматора.
36. Используйте клавиатуру, чтобы точно отрегулировать виртуальный элемент управления *g* модуля *Adder* (Сумматор) для получения минимально возможного выходного напряжения сумматора.

Вопрос 6

Что сейчас можно сказать о коэффициентах усиления по двум входам сумматора?

Они очень близки друг к другу (но, возможно, совпадение не полное)

Вы, возможно, обнаружите, что достичь нулевого значения выходного сигнала сумматора не удастся. К сожалению, реальные приборы отличаются от идеальных, и поэтому их поведение не совпадает точно с теоретическими представлениями. Для вас так же важно знать об этом, чтобы научиться распознавать эти ограничения, понимать причины несовпадений и, если необходимо, оценивать их.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

5 - Амплитудная модуляция

Эксперимент 5 – Амплитудная модуляция

Предварительное обсуждение

В коммуникационной системе с Амплитудной Модуляцией (АМ) речь и музыка преобразуется в электрический сигнал, при помощи устройств, таких, как микрофон. Этот электрический сигнал называется *сигналом сообщения* или *модулирующим сигналом*. Сигнал сообщения в дальнейшем используется для изменения амплитуды чистой синусоиды, называемой *несущей*. Частота несущей обычно намного выше, чем частота сигнала сообщения.

На рисунке 1, расположенном ниже, показаны простой сигнал сообщения (*Message*) и немодулированная несущая (*Unmodulated Carrier*). На этом же рисунке показан результат амплитудной модуляции сигнала несущей частоты сигналом сообщения. Обратите внимание, что амплитуда модулированного сигнала (*AM Signal*) изменяется выше и ниже амплитуды несущей.

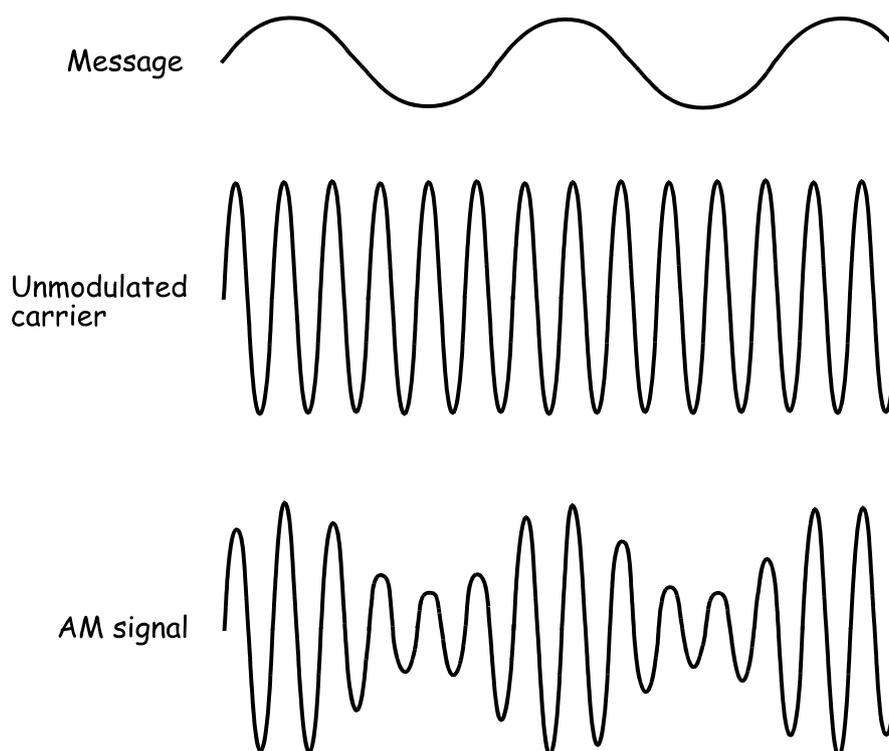


Рис. 1

На рисунке 2 показан амплитудно-модулированный сигнал, изображенный в нижней части рисунка 1, с дополненными пунктирными линиями, соединяющими положительные и отрицательные пики АМ сигнала. Эти пунктирные линии известны в промышленности, как огибающие радиосигнала. Если вы посмотрите на огибающие внимательнее, то заметите, что верхняя огибающая (Upper Envelope) имеет ту же форму, что и сигнал сообщения. А нижняя огибающая (Lower Envelope) имеет такую же форму, но эта огибающая "перевернута" относительно верхней огибающей (т.е. инвертирована).

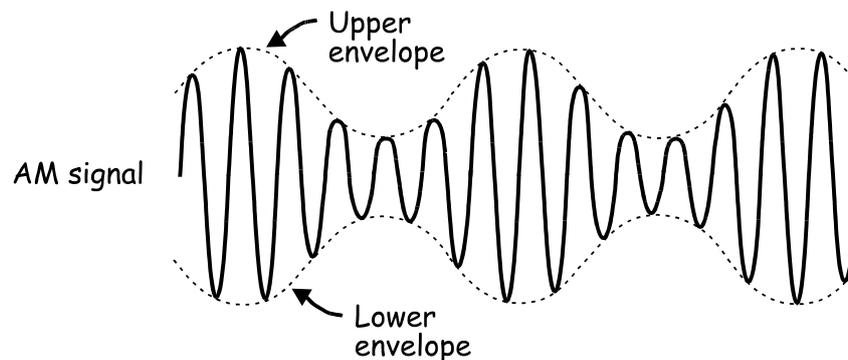


Рис. 2

В теории телекоммуникаций математическая модель АМ сигнала выглядит следующим образом:

$$AM = (DC + \text{message}) \times \text{the carrier}$$

$$(AM = (DC + \text{сигнал сообщения}) \times \text{несущая})$$

Если сигнал сообщения является простой синусоидой (как на рисунке 1), то решение этого уравнения (которое обязательно включает в себя некоторые не показанные здесь тригонометрические функции), говорит нам, что АМ сигнал состоит из трех синусоидальных сигналов.

- Один из них - сигнал с частотой несущей.
- Второй - сигнал с частотой, равной сумме частот несущей и сигнала сообщения
- Третий - синусоидальный сигнал с частотой, равной разности частот несущей и сигнала сообщения

Другими словами, для каждой синусоиды сигнала сообщения, АМ сигнал содержит в себе пару синусоид, частота одной из них ниже, а частота другой - выше частоты несущей. Сложный сигнал сообщения, такой, как речь или музыка состоит из тысяч синусоид и, следовательно, включает в себя тысячи пар огибающих синусоид, охватывающих сигнал с двух сторон. Эти две группы синусоид называются *боковыми полосами частот*, а такой АМ сигнал известен как амплитудно-модулированный сигнал с двойной боковой полосой и неподвленной несущей (*Double-SideBand, Full Carrier - DSBFC*).

В результате этого обсуждения важно четко понимать, что АМ сигнал не состоит из сигналов с частотой сообщения, хотя огибающие АМ сигнала имеют ту же форму, что и сигнал сообщения.

Эксперимент

В этом эксперименте вы будете использовать модуль Emona DATeX для генерации реального АМ сигнала путем реализации его математической модели. Это значит, что вы добавите постоянную составляющую к чистой синусоиде, чтобы создать сигнал сообщения, а потом перемножить его с другой синусоидой более высокой частоты (несущей). Вы исследуете АМ сигнал с помощью осциллографа и сравните его с исходным сигналом сообщения. Вы проделаете то же самое с речевым сигналом вместо сообщения, представленного простой синусоидой.

Затем вы будете изменять амплитуду сигнала сообщения и наблюдать, как это влияет на модулированную несущую. Вы также сможете наблюдать результат перемодуляции несущей. Наконец, с помощью осциллографа вы измерите глубину модуляции АМ сигнала.

Вам потребуется около часа, чтобы выполнить этот эксперимент.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия.

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATeX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Порядок выполнения (* - только при работе с NI ELVIS)

Часть А - Генерация АМ сигнала с использованием простого сигнала сообщения

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программу управления DATEx (DATEx soft front-panel - SFP).
11. Убедитесь, что теперь вы можете программно управлять DATEx с помощью виртуального элемента управления *PDM/TDM* модуля PCM Encoder (ИКМ-кодер) на программной панели управления (DATEx SFP).

Замечание: Если ваша установка работает правильно, то светодиод модуля PCM Decoder (ИКМ Декодер) на панели модуля DATEx должен мигать.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

12. Переведите переключатель *Control Mode (Режим управления)* выхода положительного напряжения регулируемого источника питания (Variable Power Supplies) в положение, противоположное позиции *Manual (Ручной)*.
13. Запустите программу (VI) Variable Power Supplies (Регулируемый источник питания).
14. Установите виртуальный элемент управления *Voltage (Напряжение)* регулируемого источника отрицательного напряжения питания в среднее положение.
15. Вам больше не понадобится настраивать регулируемый источник питания, поэтому можете минимизировать окно VI (но не закрывайте его совсем, так как, закрыв окно VI, вы не сможете программно управлять регулируемым источником питания).
16. Найдите модуль *Adder (Сумматор)* на программной панели управления DAТЕх и установите виртуальные элементы управления *G* и *g* в среднее положение.
17. Соберите схему, показанную на рисунке 3.

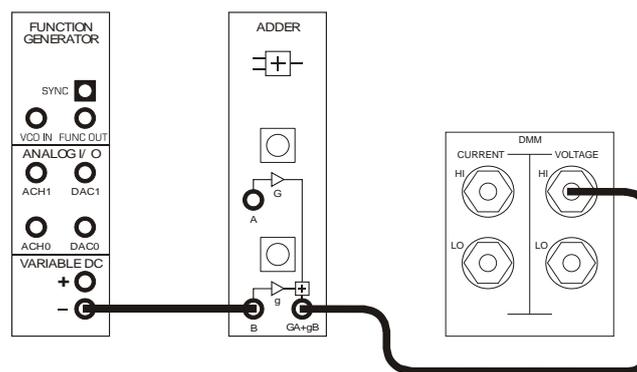


Рис. 3

18. Запустите программу (VI) виртуального мультиметра DMM NI ELVIS.

Замечание: Не обращайте внимание на сообщение о максимальной точности и просто нажмите на кнопку ОК.
19. Установите режим измерения DC мультиметра DMM (измерение напряжения постоянного тока).
20. С помощью виртуального элемента управления *g* модуля *Adder (Сумматор)* установите напряжение на выходе сумматора равным 1V постоянного тока (DC).
21. Закройте окно DMM виртуального мультиметра - оно вам больше не понадобится (по крайней мере до тех пор, пока вы нечаянно не измените положение элемента управления *g* модуля *Adder*)

22. Соберите схему, показанную на рисунке 4.

Примечание: Вставьте черный штекер кабеля осциллографа в гнездо *GND* (заземление).

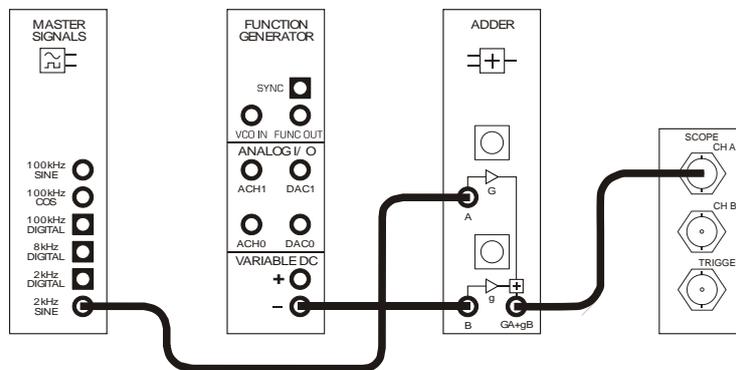


Рис. 4

Собранной схеме соответствует блок-схема, изображенная на рисунке 5. Она реализует выделенную жирным шрифтом часть равенства: $AM = (\mathbf{DC + message}) \times \text{the carrier}$.

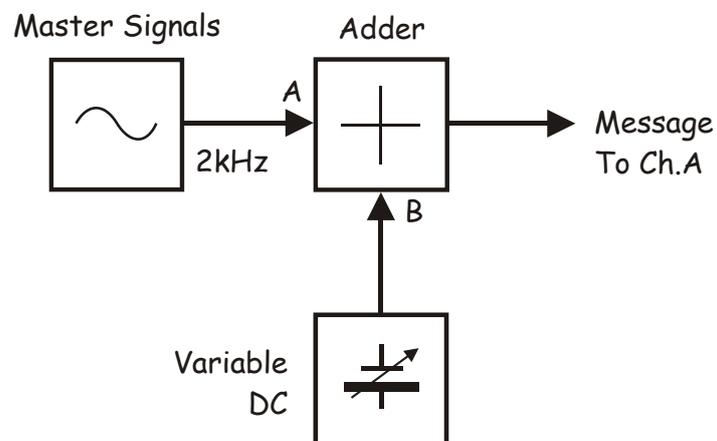


Рис. 5

Master Signals - генератор опорных сигналов, Adder - сумматор,
Variable DC - регулируемый источник напряжений питания постоянного тока,
Message To Ch A - сигнал сообщения к каналу A

23. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
24. Настройте осциллограф в соответствии с инструкцией к эксперименту 1 (страница 1-13), но со следующими изменениями:
- элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установите в положение *Immediate* (Непрерывно) вместо *CH A*
 - элемент управления *Channel A Coupling* (связь канала A с источником сигнала) в положение *DC* (постоянный ток) вместо *AC* (переменный ток)
 - элемент управления *Channel A Scale* (масштаб по каналу A) в положение *500mV/div* вместо *1V/div*

С этого момента на экране осциллографа должна отображаться ровная линия, которая находится на два деления выше центральной линии, потому что значение выходного напряжения сумматора равно 1V DC.

25. Поверните виртуальный элемент управления *G* на программной панели модуля *Adder* по часовой стрелке так, чтобы пиковая амплитуда осциллограммы выходного синусоидального сигнала этого модуля была равна 1Vp-p.

Совет: Помните, что вы можете использовать клавишу *TAB* и клавиши со стрелками на клавиатуре компьютера для точной настройки виртуальных элементов программной панели управления *DATEx*.

Выходной сигнал сумматора теперь может быть описан следующим уравнением:

$$AM = (1VDC + 1Vp-p \text{ 2kHz sine}) \times \text{the carrier}$$

$$(AM = (1VDC + 1Vp-p \text{ 2kHz синусоида}) \times \text{несущая})$$

Вопрос 1

В каком случае выходной сигнал сумматора будет отличаться от выходного сигнала, полученного с выхода *2kHz SINE* генератора опорных сигналов?

Это происходит, когда на вход сумматора подано напряжение смещения постоянного тока 1V.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

26. Установите элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение *CH A*, а элемент управления *Trigger Level* - в положение 1V

27. Измените схему, как показано на рисунке 6.

Прежде, чем это сделать...

Не разбирайте схему, изображенную на рисунке 4, поскольку она является основой схемы, показанной на рисунке 6. Неизменяемые соединения изображены на рисунке 6 пунктирной линией, а провода, которые необходимо добавить, - сплошной.

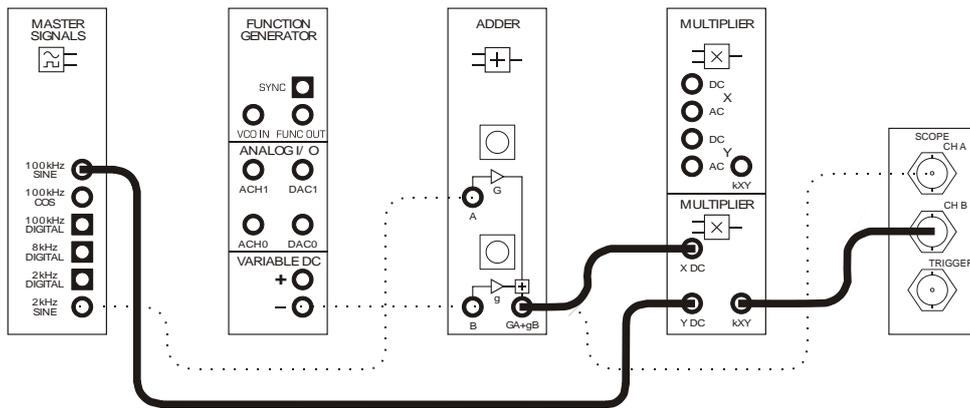


Рис. 6

Вновь собранной схеме соответствует блок-схема, показанная на рисунке 7. Дополнения, которые вы сделали, в следующем уравнении выделены шрифтом:

$$AM = (DC + \text{message}) \times \text{the carrier.}$$

$$(AM = (DC + \text{Сигнал сообщения}) \times \text{Несущая}).$$

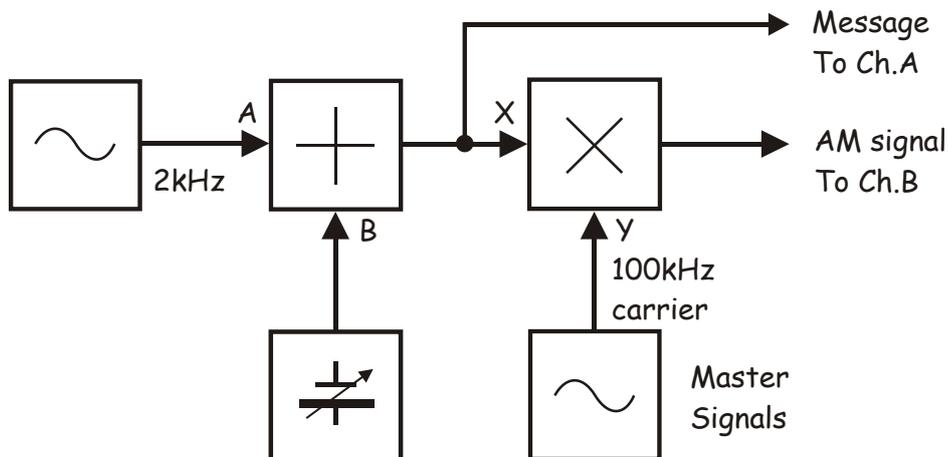


Figure 7

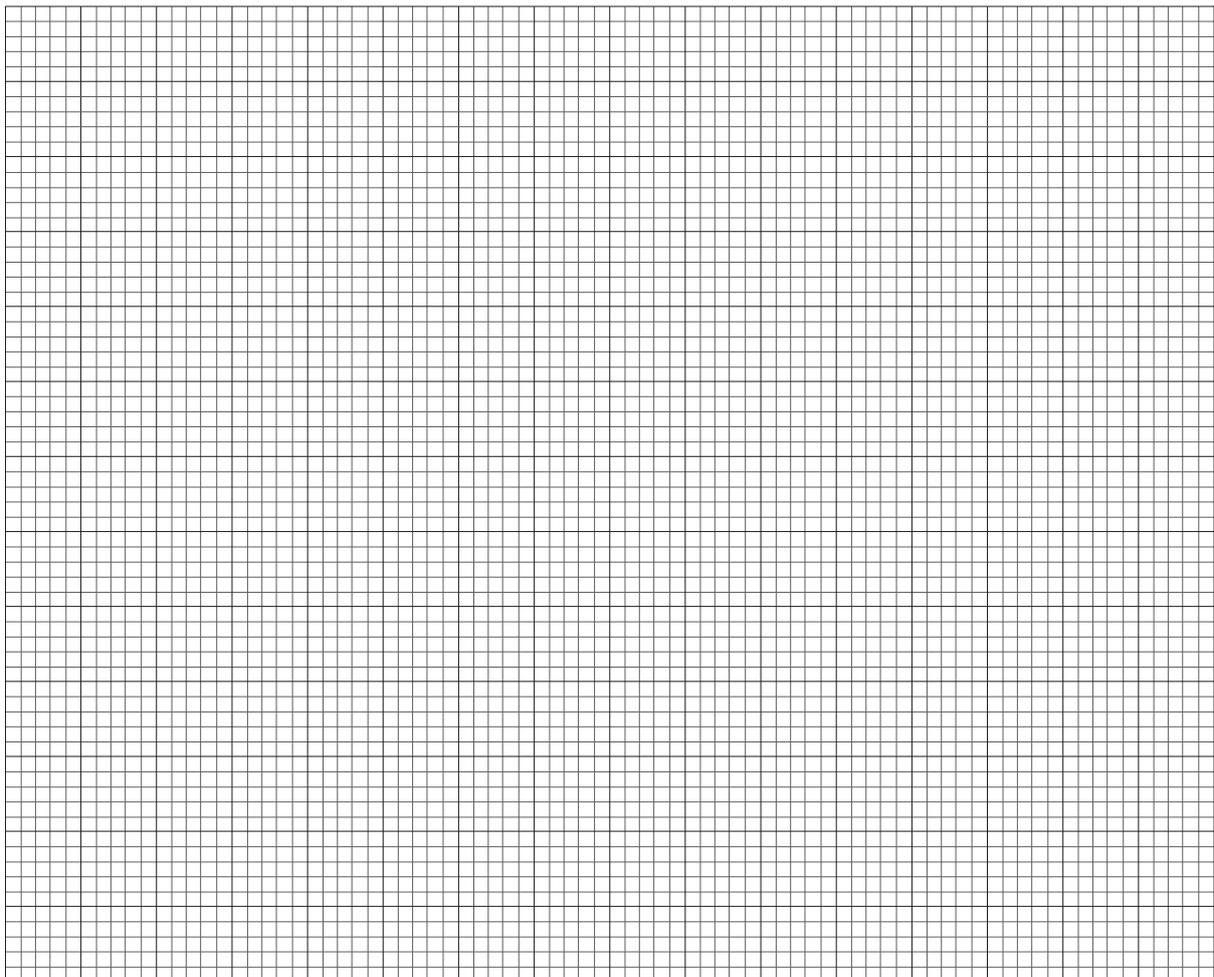
Message To Ch A - сигнал сообщения к каналу A, AM signal To Ch B - AM сигнал к каналу B
Master Signals - генератор опорных сигналов, 100kHz carrier - несущая частотой 100 кГц,

Если в уравнение, приведенное на предыдущей странице, подставить конкретные значения, то получим:

$$AM = (1VDC + 1Vp-p \text{ 2kHz sine}) \times 4Vp-p \text{ 100kHz sine.}$$
$$AM = (1VDC + 1Vp-p \text{ синусоида 2kHz}) \times 4Vp-p \text{ синусоида 100kHz.}$$

28. Отрегулируйте с помощью виртуального элемента управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллограф, чтобы видеть примерно два периода сигнала сообщения
29. Активируйте вход канала В осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF Channel B Display*, чтобы увидеть на экране осциллограмму сигнала сообщения и осциллограмму сигнала с выхода модуля *Multiplier* (Умножитель).
30. Зарисуйте обе осциллограммы с соблюдением масштаба, используйте для этого поле графика, приведенное ниже.

Совет: сигнал сообщения разместите в верхней половине графика, а АМ сигнал - в нижней половине.





Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

31. Чтобы сравнить сигнал сообщения с верхней и нижней огибающими АМ сигнала, наложите сигналы друг на друга, используя элемент управления *Channel A Position* (*смещение в канале А*) осциллографа.

Совет: Если вы до сих пор не нажали на кнопку *Channel B Autoscale* (автомасштабирование в канале В), сделайте это.

Вопрос 2

Какие свойства выходного сигнала модуля *Multiplier* (Умножитель) говорят о том, что это АМ сигнал? **Примечание:** Если вы не уверены в ответе на этот вопрос, посмотрите еще раз раздел предварительного обсуждения темы.

Обе огибающие АМ сигнала имеет такую же форму, что и сигнал сообщения, но его нижняя огибающая инвертирована.

Вопрос 3

АМ сигнал является сложным сигналом, состоящим более чем из одной компоненты. Один из них - синусоидальный сигнал с частотой 2 кГц? Объясните свой ответ.

Нет. При умножении сигналов формируются только несущий сигнал, а также сумма и разность сигналов (при условии, что умножитель является идеальным)

Вопрос 4

Для используемых параметров входных сигналов умножителя, из какого количества синусоидальных сигналов состоит АМ сигнал, чему равны их частоты?

Три. 98 кГц, 100 кГц and 102 кГц.



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Формирование АМ сигнала из речевого сообщения

Ранее мы формировали АМ сигнал из сигнала сообщения синусоидальной формы. Однако, сигнал сообщения в коммерческих коммуникационных системах намного более похож на речь и музыку. Следующая часть эксперимента позволит вам увидеть АМ сигнал, полученный из речевого сообщения.

32. Отключите штекер от выхода *2kHz SINE* модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов), который подключен ко входу *A* модуля *Adder* (Сумматор).
33. Подключите его к выходу *Speech module* (Преобразователь речевых сигналов), как показано на рисунке 8.

Напоминание: Пунктирной линией показаны проводники, которые уже подключены.

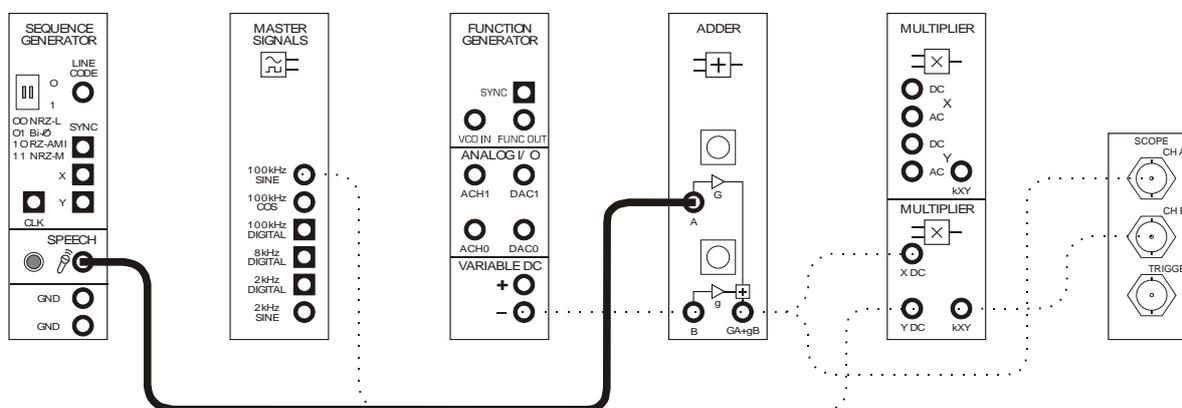


Рис. 8

34. Установите элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллографа в положение *1ms/div* (*1 мс/деление*).
35. Шумите и говорите в микрофон, наблюдая за экраном осциллографа.

Вопрос 5

Почему, даже когда вы не шумите (или не разговариваете, и т.д.), на выходе умножителя остается слабый сигнал?

Одна из составляющих АМ сигнала – это несущая, и она всегда присутствует, даже когда нет сигнала сообщения (и, следовательно, нет боковой полосы).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С - Исследование глубины модуляции

Модулировать несущую можно с разной степенью. Эта часть эксперимента позволяет исследовать этот вопрос.

36. Верните элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллографа в положение *100 μ s/div* (100 мс/деление).
37. Отключите проводник от выхода модуля *Speech module* (Преобразователь речевых сигналов) и подключите его к выходу *2KHz SINE* модуля *Master Signals* (Генератора опорных сигналов).

Примечание: Экран осциллографа сейчас должен выглядеть, как нарисовано на графике на странице 5-10

38. Измените амплитуду сигнала сообщения, немного повернув влево и вправо виртуальный элемент управления *G* модуля *Adder* (Сумматор), и обратите внимание, как это влияет на АМ сигнал.

Вопрос 6

Какая зависит глубина модуляции несущей от амплитуды сигнала сообщения и?

При увеличении амплитуды сигнала сообщения увеличивается глубина модуляции.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Вы, наверно, уже заметили, что модуляция несущей пропорциональна амплитуде сигнала сообщения. То есть, если амплитуда сигнала сообщения растёт, то растёт и глубина модуляции несущей.

Величина, на которую сигнал сообщения модулирует несущую, в промышленности называется *коэффициентом или индексом модуляции (m) (modulation index)*. Modulation index – это важная характеристика АМ сигнала по нескольким причинам, в том числе, она важна при расчёте распределения мощности сигнала между несущей и боковыми полосами.

Ниже на рисунке 9 показаны два ключевых параметра амплитуды модулированного сигнала. Эти параметры позволяют рассчитать коэффициент модуляции (modulation index) несущей.

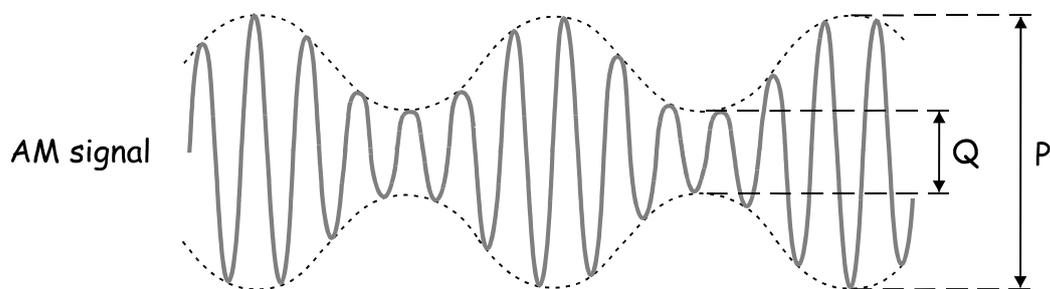


Рис. 9

Следующая часть эксперимента позволит вам на практике измерить эти параметры и рассчитать коэффициент модуляции.

39. Отрегулируйте виртуальный элемент управления \mathcal{G} модуля Adder (Сумматор), чтобы амплитуда сигнала сообщения вновь стала равной 1V_{p-p}.
40. Измерьте и запишите в таблицу 1 максимальную амплитуду (P) АМ сигнала.
41. Измерьте и запишите минимальную амплитуду (Q) АМ сигнала.
42. Рассчитайте по формуле, приведенной ниже, значение глубины модуляции АМ сигнала и запишите его в таблицу.

$$m = \frac{P - Q}{P + Q}$$

Таблица 1

Максимальная амплитуда, P	Максимальная амплитуда, Q	m



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

При передаче АМ сигнала важно избегать избыточной модуляции (*перемодуляции*). Избыточная модуляция несущей может привести к срыву в работе приемника. Следующая часть эксперимента дает возможность пронаблюдать эффект перемодуляции.

43. Увеличьте амплитуду сигнала сообщения до максимума, повернув виртуальный регулятор *G* модуля *Adder* (Сумматор) в среднее положение, а затем до упора по часовой стрелке и обратите внимание на изменение АМ сигнала.
44. Чтобы изменить размер осциллограмм на экране, нажмите на кнопку *Autoscale* (автомасштабирование) в обоих каналах осциллографа
45. Используйте виртуальный элемент управления *Channel A Position* осциллографа (смещение в канале *A*), чтобы наложить осциллограмму сигнала сообщения на осциллограммы огибающих АМ сигнала и сравнить их.

Вопрос 7

Какая проблема возникает с АМ сигналом при избыточной модуляции

Форма огибающих становится отличной от формы сигнала сообщения.

Вопрос 8

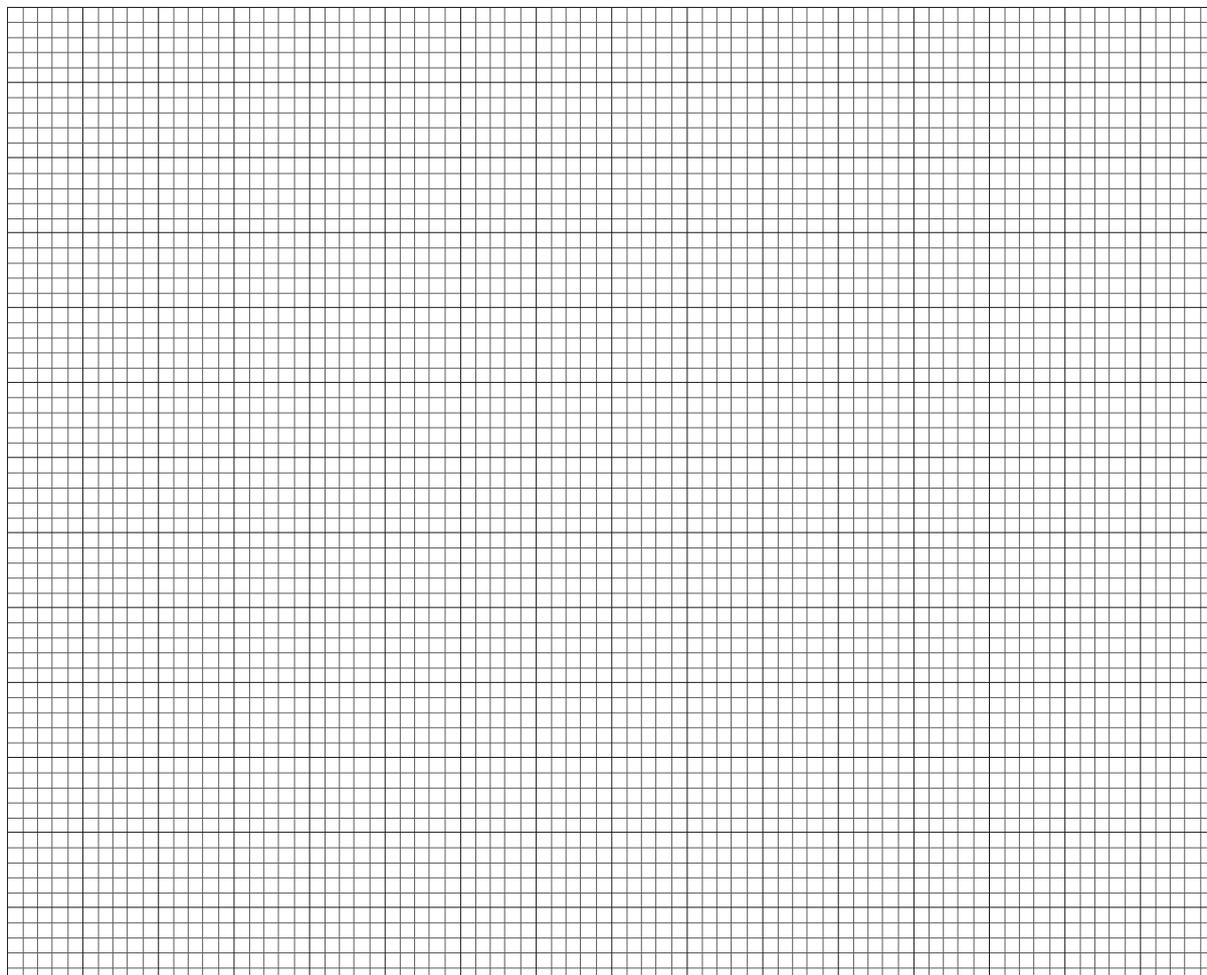
Как вы думаете, чему равно максимальное значение коэффициента модуляции несущей, если нет перемодуляции.

- Это значение отрицательное
- 0
- 1
- Больше 1



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

46. Зарисуйте обе осциллограммы с соблюдением масштаба, используйте для этого поле графика, приведенное ниже.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

ф.И.О.: _____

Группа: _____

6 - Модуляция с двумя боковыми полосами и подавлением несущей

Эксперимент 6 – Модуляция с двумя боковыми полосами и подавлением несущей

Предварительное обсуждение

Модуляция с двумя боковыми полосами и подавлением несущей (double-sideband suppressed-carrier – DSBSC) похожа на простую амплитудную модуляцию (AM), которую мы рассматривали в эксперименте 5, но немного отличается от нее. Как и AM модуляция, DSBSC использует микрофон или какой-нибудь другой преобразователь для преобразования речи или музыки в электрический сигнал, который называется *сигнал сообщения* (*message*) или *немодулированный сигнал* (*baseband signal*). Сигнал сообщения затем используется для изменения амплитуды чистой синусоиды, называемой *несущей*. Частота несущей, так же, как и при AM модуляции, обычно намного выше, чем частота сигнала сообщения.

На рисунке 1 показаны простой сигнал сообщения (*Message*) и немодулированная несущая (*Unmodulated carrier*). На этом же рисунке показан результат DSBSC модуляции несущей сигналом сообщения (*DSBSC signal*).

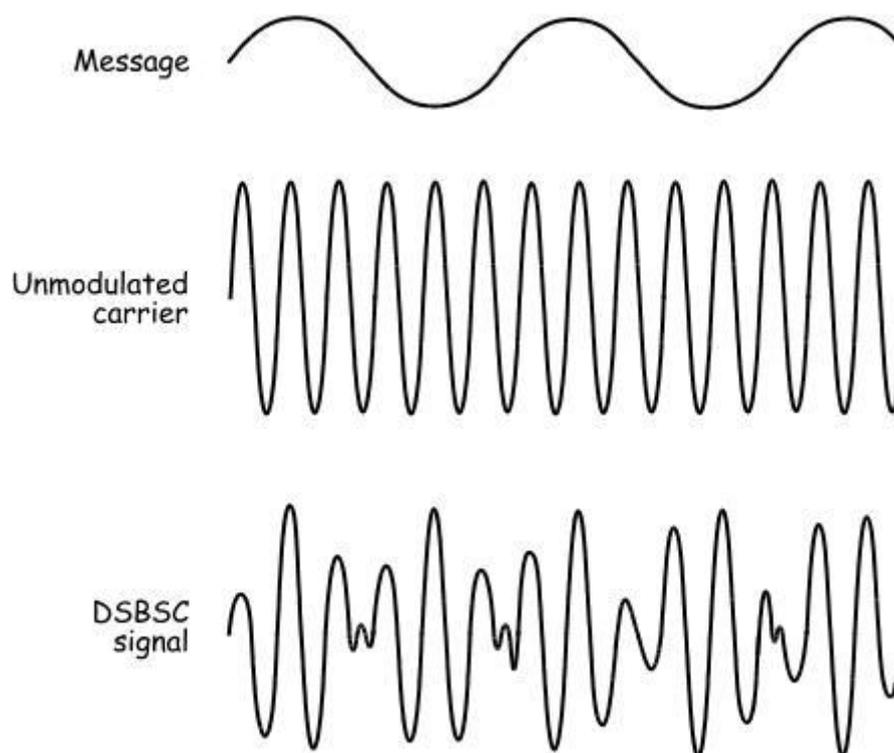


Рис. 1

Пока серьезных отличий между модуляцией методами AM и DSBSC не обнаруживалось. Однако посмотрите на рисунок 2. Это DSBSC сигнал, изображенный в нижней части рисунка 1, дополненный пунктирными линиями огибающих сигнала (верхняя огибающая получена соединением всех положительных пиков, нижняя - всех отрицательных пиков). Если посмотрите на огибающие внимательно, то заметите, что форма огибающих отличается от формы сигнала сообщения, как это было в случае с AM (см. эксперимент 5, страница 5-3)

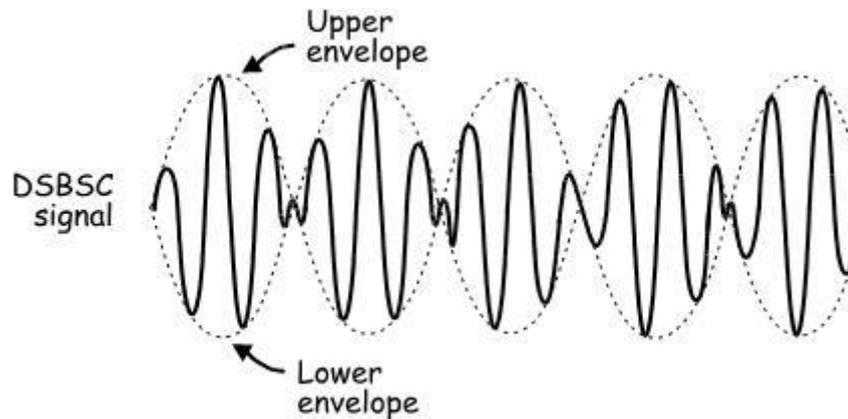


Рис. 2
DSBSC signal - DSBSC сигнал, Upper envelope - верхняя огибающая,
Lower envelope - нижняя огибающая

Но при этом, если противоположные половины огибающих совместить, то получится сигнал той же формы, что и сигнал сообщения. Это показано на рисунке 3.

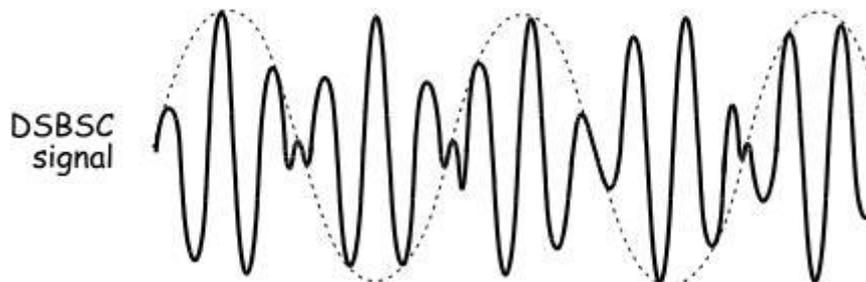


Рис. 3

Еще одно отличие DSBSC от AM модуляции можно понять, рассмотрев математическую модель DSBSC сигнала:

$$\text{DSBSC} = \text{the message} \times \text{the carrier}$$

(DSBSC = Сигнал сообщения × Несущая)

Вы видите различия между уравнениями, описывающими AM и DSBSC? Если нет, то посмотрите на уравнение, приведенное в эксперименте 5 (страница 5-3).

Когда сигнал сообщения является простой синусоидой (как на рисунке 1) решение уравнения (которое обязательно включает в себя некоторые тригонометрические функции) говорит нам, что DSBSC сигнал состоит из двух синусоидальных сигналов:

- Один сигнал с частотой, равной сумме частоты несущей и частоты сигнала сообщения
- Второй - с частотой, равной разности частоты несущей и частоты сигнала сообщения

Важно понимать, что DSBSC сигнал не содержит в себе синусоидальный сигнал с частотой, равной частоте несущей. Это важное отличие между методами модуляции DSBSC и AM.

Из решения приведенного уравнения следует, что DSBSC сигнал это тоже сигнал, модулированный по амплитуде, в котором каждый синусоидальный сигнал сообщения порождает пару синусоид. Как и при AM, частота одной из синусоид выше частоты несущей, а частота второй - ниже. Сигналы сообщения, такие, как речь и музыка, состоят из тысяч синусоидальных сигналов и порождают в DSBSC сигнале тысячи пар синусоидальных сигналов, частоты которых размещаются по обе стороны от несущей частоты. Эти две группы частот называются *боковыми полосами (sidebands)*

Итак, наличие обеих боковых полос, но отсутствие несущей дает нам название метода модуляции - модуляция с двумя боковыми полосами (частотами) и с подавлением несущей (Double-SideBand Suppressed Carrier DSBSC).

При AM на передачу несущей расходуется, как минимум, 66% полной мощности сигнала, но в несущей не содержится какой-либо информации исходного сигнала сообщения, несущая необходима только для настройки. Т. к. при DSBSC модуляции несущая не передается, то этот метод модуляции позволяет значительно уменьшить мощность в сравнении с методом AM, и это главное преимущество DSBSC модуляции.

Эксперимент

В этом эксперименте модуль Emona DATeX будет использоваться для генерации реального DSBSC сигнала на основе его математической модели. Это значит, что вы возьмете чистый синусоидальный сигнал (сообщения), который совсем не содержит постоянной составляющей, и перемножите его с другим синусоидальным сигналом более высокой частоты (несущей). DSBSC сигнал исследуете с помощью осциллографа и сравните его с исходным сигналом сообщения. Затем повторите эти действия с речевым сигналом сообщения вместо простого синусоидального сигнала.

Изменяя амплитуду сигнала сообщения, будете наблюдать, как это влияет на глубину модуляции, а кроме того, исследуете эффект перемодуляции.

На выполнение эксперимента потребуется около 50 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - только при работе с NI ELVIS)

Часть А - Формирование DSBSC сигнала из простого сигнала сообщения

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель *Control Mode* (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение *Manual* (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программу управления DATEx (*DATEx soft front-panel - SFP*).
11. Убедитесь, что теперь вы можете программно управлять DATEx с помощью виртуального элемента управления *PDM/TDM* модуля PCM Encoder (ИКМ-кодер) на программной панели управления (*DATEx SFP*).
Замечание: Если установка работает правильно, то светодиод модуля PCM Decoder (ИКМ Декодер) на панели модуля DATEx должен мигать.

12. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
12. Настройте осциллограф в соответствии с инструкцией к эксперименту 1 (страница 1-13), убедившись, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A*.
13. Соберите схему, как показано на рисунке 4.

Примечание: Вставьте черный штекер кабеля осциллографа в гнездо *GND* (заземление).

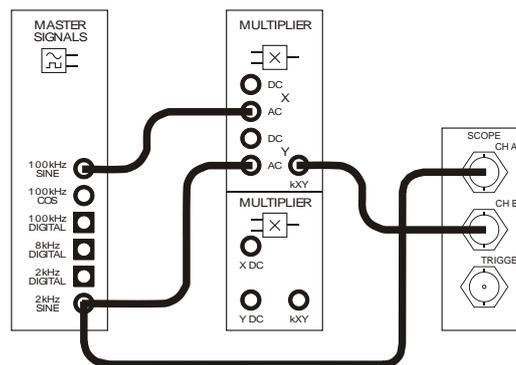


Рис. 4

Эта схема может быть представлена блок-схемой, нарисованной на рисунке 5. Она реализует уравнение: $DSBSC = \text{the message} \times \text{the carrier}$
(DSBSC = Сигнал сообщения \times Несущая)

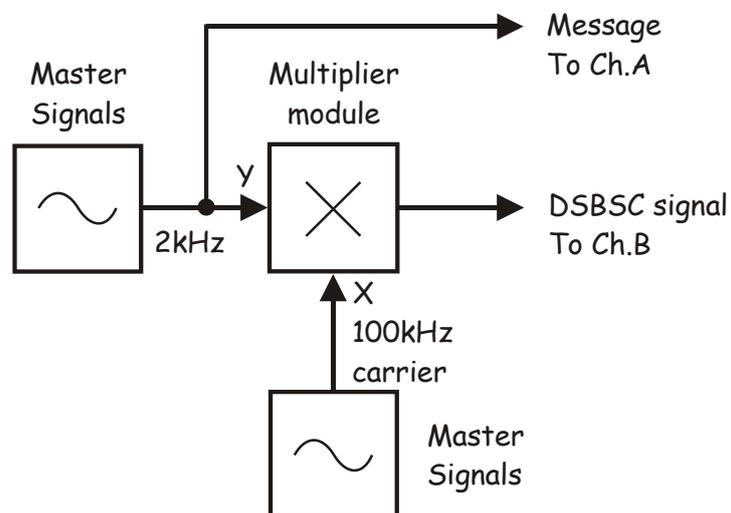


Рис. 5

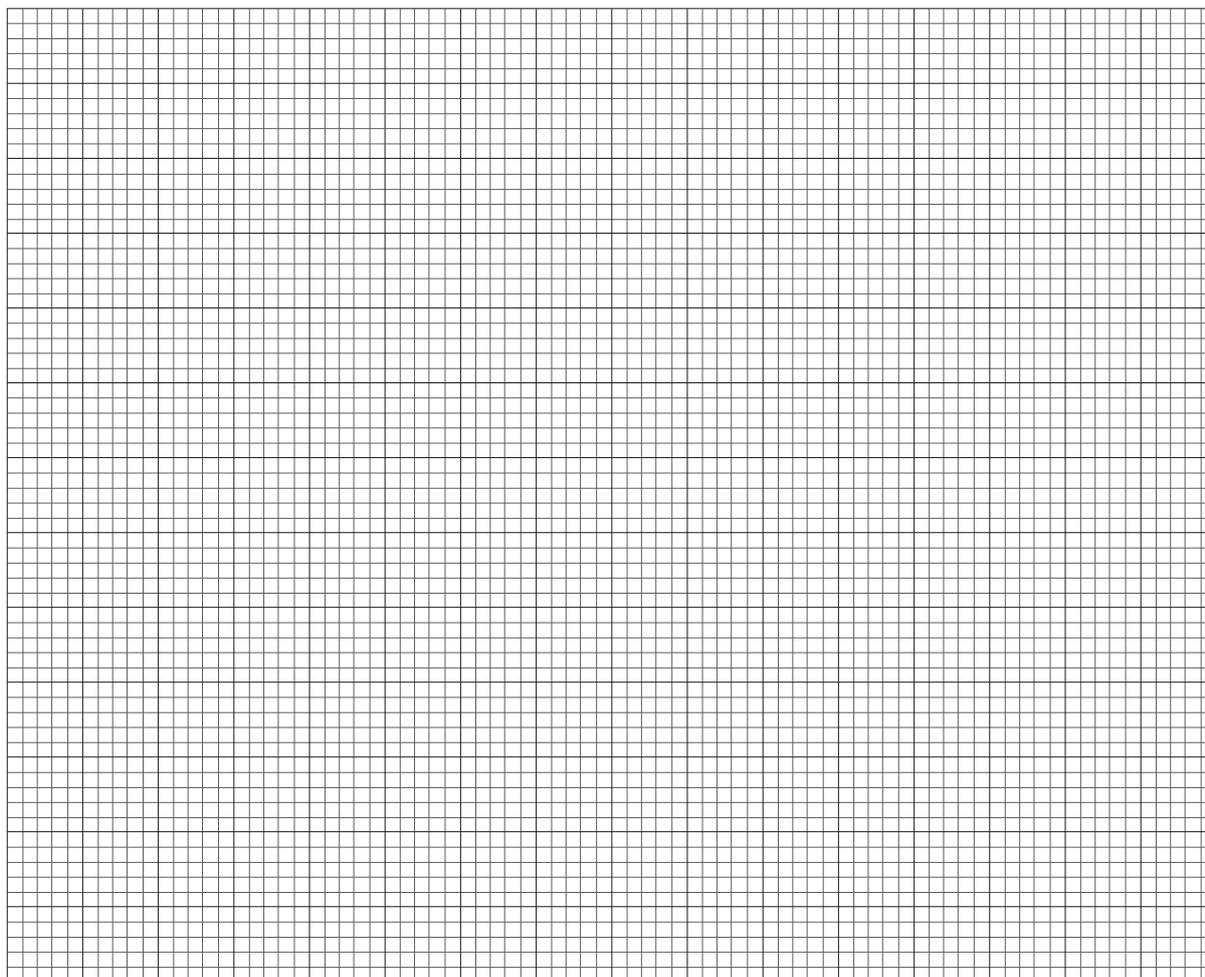
Master Signals - генератор опорных сигналов, Multiplier module - умножитель, 100 kHz carrier - несущая 100 кГц, Message To Ch.A - сигнал сообщения к каналу А, DSBSC signal To Ch.B - DSBSC сигнал к каналу В

Подставив в приведенное на предыдущее странице уравнение значения параметров, получим:

$$\text{DSBSC} = 4V_{p-p} \text{ 2kHz sine} \times 4V_{p-p} \text{ 100kHz sine}$$

(DSBSC = 4Vp-p 2 кГц синусоида × 4Vp-p 100 кГц синусоида)

15. Регулятором *Timebase* установите такой масштаб по оси времени осциллографа, чтобы видеть примерно два периода выходного сигнала модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов).
16. Активируйте вход канала В осциллографа нажатием кнопки *ON/OFF Channel B Display*, чтобы увидеть на экране осциллограмму сигнала сообщения и осциллограмму сигнала с выхода модуля *Multiplier* (Умножитель).
17. Установите элемент управления *Channel A Scale* (Масштаб в канале А) осциллографа в положение *1V/div*, а элемент управления *Channel B Scale* (Масштаб в канале В) - в положение *2V/div*.
18. Зарисуйте обе осциллограммы с соблюдением масштаба, используйте для этого поле графика, приведенное ниже.
Совет: сигнал сообщения разместите в верхней половине графика, а АМ сигнал - в нижней половине.





Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

19. Чтобы сравнить сигнал сообщения с огибающими DSBSC сигнала, наложите сигналы друг на друга, используя элемент управления *Channel A Position* (смещение в канале A) осциллографа.

Вопрос 1

Какое свойство выходного сигнала умножителя говорит о том, что это DSBSC сигнал? **Совет:** Если вы не уверены в ответе, то посмотрите раздел предварительного обсуждения темы.

Противоположные половины огибающих сигнала имеют ту же форму, что и сигнал сообщения.

Вопрос 2

DSBSC сигнал – это сложный сигнал, который состоит более чем из одной компоненты. Один из сигналов – это синусоида с частотой 2 кГц? Объясните свой ответ.

Нет. В результате умножения сигналов получаются только сумма и разность частот сомножителей (при условии, что умножитель является идеальным).

Вопрос 3

При используемых параметрах входных сигналов умножителя, из какого количества синусоид состоит DSBSC сигнал, и какова их частота?

Из двух. 98кГц и 102кГц.

Вопрос 4

Почему DSBSC сигналы лучше для передачи, чем AM сигналы?

Т.к. несущая при этом методе модуляции не передается, экономится, как минимум, 66% мощности.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – DSBSC модуляция речевым сигналом

Ранее мы рассмотрели формирование DSBSC сигнала, модулируя несущую синусоидальным сигналом сообщения. Однако, чаще всего сообщения в коммерческих коммуникационных системах – это речь и музыка. Следующая часть эксперимента позволит увидеть, как выглядит DSBSC сигнал, если в качестве сигнала сообщения используется речевой сигнал.

- Отключите проводники от выхода *2kHz SINE* модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов).
- Подключите их к выходу модуля *Speech* (Преобразователь речевых сигналов), как на рисунке 6.

Напоминание: Пунктирной линией показаны уже подключенные проводники.

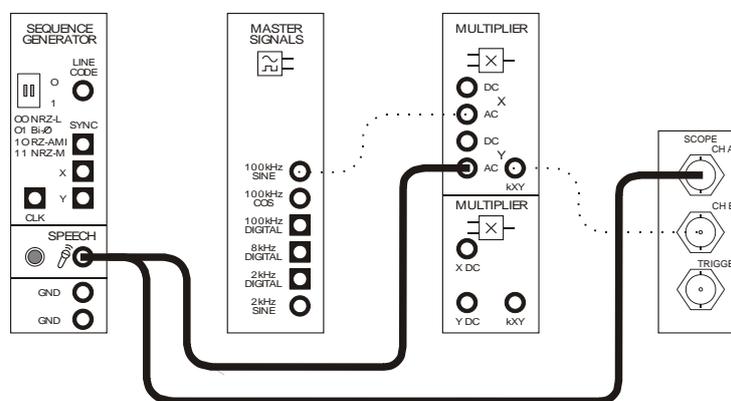


Рис. 6

- Установите элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллографа в положение *1ms/div*.
- Шумите и говорите в микрофон, наблюдая при этом за экраном осциллографа.

Вопрос 5

Почему не наблюдается сигнала на выходе умножителя, когда вы не шумите и не разговариваете,?

DSBSC сигнал не содержит несущей, только боковые полосы. Когда нет сигнала сообщения, нет и боковых полос и, следовательно, нет выходного сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С - Исследование глубины модуляции

Модулировать несущую можно с разной глубиной и далее мы будем исследовать этот вопрос.

24. Верните элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллографа в положение $100\mu\text{s}/\text{div}$.
25. Найдите на программной панели управления DАТЕх модуль Amplifier (Усилитель) и установите элемент управления *Gain* (Коэффициент усиления) в положение, соответствующее четверти его шкалы (элемент управления должен указывать на "9 часов").
26. Измените схему, как показано на рисунке 7.

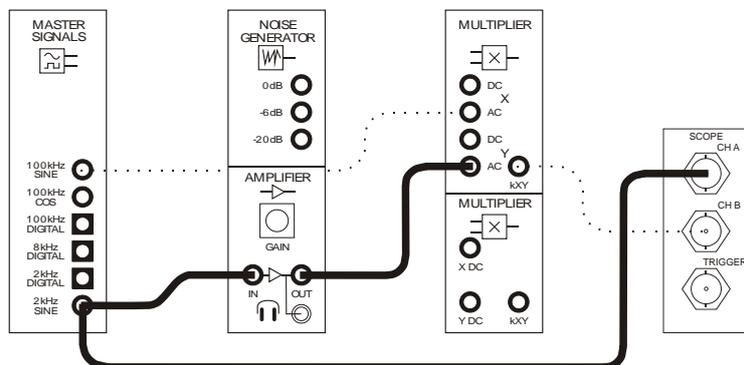


Рис. 7

Схема, изображенная на рисунке 7, может быть представлена блок-схемой на рисунке 8. Модуль Amplifier (Усилитель) позволяет регулировать амплитуду сигнала сообщения.

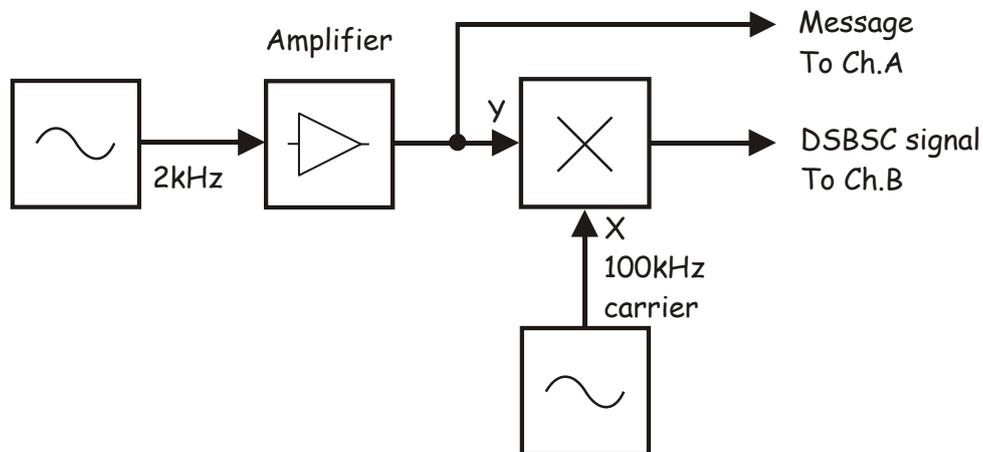


Рис. 8

Amplifier - усилитель, Message To Ch.A - сигнал сообщения к каналу А, DSBSC signal To Ch.B - DSBSC сигнал к каналу В, 100kHz carrier - несущая с частотой 100кГц

Примечание: На этом этапе выходной сигнал умножителя должен быть обычным DSBSC сигналом, схематически изображенным ранее.

Вспомните из эксперимента 5, что АМ сигнал имеет два параметра, которые могут быть измерены и использованы при вычислении коэффициента модуляции (Modulation index - m). Эти параметры мы обозначали P и Q . Если вы забыли, какой из них что означает, то потратьте минутку и перечитайте страницу 5-14, прежде чем перейти к следующему пункту.

27. Изменяйте амплитуду сигнала сообщения, вращая вправо-влево виртуальный элемент управления *Gain* (коэффициент усиления) модуля Amplifier (Усилитель). Обратите внимание, как при этом изменяются параметры P и Q DSBSC сигнала.

Вопрос 6

Основываясь на наблюдениях, сделанных при выполнении пункта 27, когда вы изменяли амплитуду сигнала сообщения, выберите ответ.

- ни один из параметров P и Q не изменялся.
- изменялся только параметр Q .
- изменялся только параметр P . ✓
- изменялись оба параметра P и Q .

На первый взгляд, определение глубины модуляции DSBSC сигнала - это проблема. Коэффициент модуляции - постоянное число, независимо от амплитуды сигнала сообщения. Действительно, значение параметра Q DSBSC сигнала всегда равно 0.

Однако, это не такая сложная проблема, как кажется. Одно из главных оснований для расчета коэффициента модуляции AM сигнала - оценить распределение мощности между несущей сигнала и его боковыми полосами. Однако, у DSBSC сигнала нет несущей (помните, она подавляется). Это значит, что вся мощность DSBSC сигнала распределяется поровну между боковыми полосами. Значит, нет необходимости рассчитывать коэффициент модуляции DSBSC сигнала.

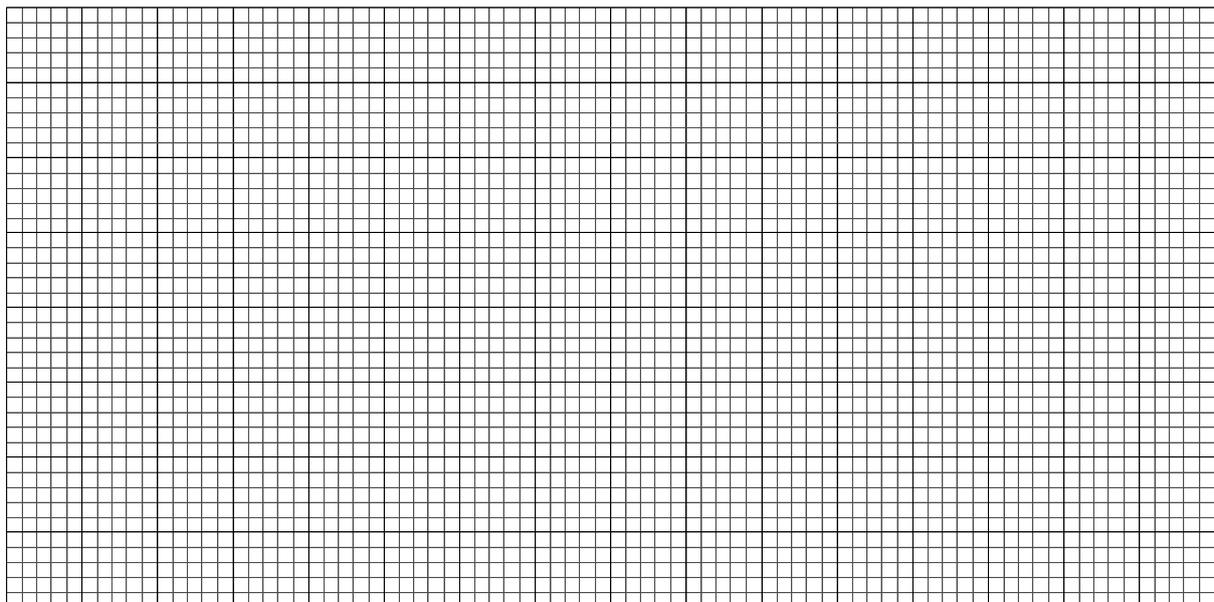
Тот факт, что вы не можете рассчитать коэффициент модуляции DSBSC сигнала, могло бы означать, что и сигнал сообщения, и несущую можно сделать настолько большими, насколько хотите, не опасаясь избыточной модуляции. Но это не так. Увеличивайте каждый из двух сигналов до тех пор, пока не возникнет перегрузка модулятора, при этом появятся искажения, которые вы видели раньше. В следующей части эксперимента увидим, что происходит при перегрузке DSBSC модулятора.

28. Установите виртуальный элемент управления *Gain* (Коэффициент усиления) в среднее положение и обратите внимание на то, как изменяется DSBSC сигнал.

Примечание 1: С помощью элемента управления *Channel B's Autoscale* (автомасштабирование в канале B) установите необходимый размер осциллограммы на экране.

Примечание 2: Если это не поможет, увеличьте немного коэффициент усиления.

29. Зарисуйте вновь полученный DSBSC сигнал на графике.



Вопрос 7

Как называется такой тип искажения?

Амплитудное ограничение (Clipping)



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

7 - Наблюдения АМ и DSBSC сигналов в частотной области

Эксперимент 7 – Наблюдения AM и DSBSC сигналов в частотной области

Предварительное обсуждение

В экспериментах 5 и 6 модуль Emona DATEx использовался для демонстрации на осциллографе различий между выходными сигналами AM и DSBSC модуляторов. Чтобы освежить вашу память, на рисунке 1 показаны AM и DSBSC сигналы, которые были получены из идентичных входных сигналов (например, синусоидального сигнала сообщения с частотой 1 кГц и синусоидального сигнала несущей с частотой 100 кГц).

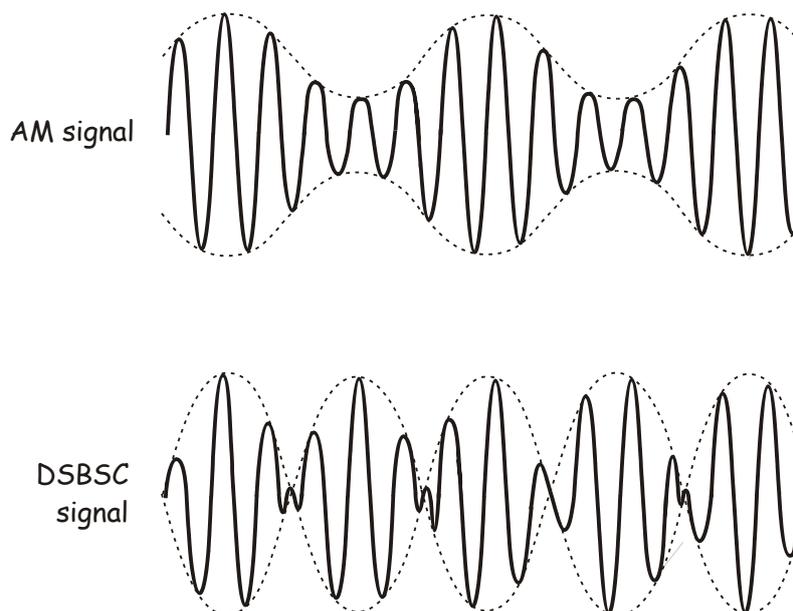


Рис. 1

Эти два сигнала выглядят разными, потому что состоят из разных гармонических сигналов. То есть они имеют различную *спектральную* структуру. Причина этого объясняется математическими моделями AM и DSBSC. Если уравнения моделей расположить рядом, то легко заметить, что они немного отличаются.

$$\begin{aligned} AM &= (DC + \text{message}) \times \text{the carrier} \\ AM &= (DC + \text{сигнал сообщения}) \times \text{Несущая} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DSBSC &= \text{the message} \times \text{the carrier} \\ DSBSC &= \text{сигнал сообщения} \times \text{Несущая} \end{aligned}$$

И, если в эти уравнения подставить значения параметров сигналов, приведенные выше, то мы обнаружим, что AM и DSBSC сигналы состоят из следующих компонент:

AM	DSBSC	Description
100кГц	-	Синусоидальный сигнал несущей частоты
101кГц	101кГц	Синусоидальный сигнал с частотой, равной сумме частот несущей и сигнала сообщения (Верхняя боковая полоса или USB)
99кГц	99кГц	Синусоидальный сигнал с частотой, равной разности частот несущей и сигнала сообщения (Нижняя боковая полоса или LSB)

Как можно заметить, AM сигналы включают в себя сигнал несущей, а DSBSC сигналы - нет.

Как вы уже поняли, на экране осциллографа отображается график зависимости напряжения (ось Y) от времени (ось X). Отметим, что графики, полученные таким путем, называются построенными во *временной области*.

Другой способ представления сигналов, таких как AM и DSBSC сигналы, состоит в отображении всех синусоидальных сигналов на графике, у которого ось X соответствует не времени, а частотам, из которых состоят сигналы. Другими словами, мы строим графики в *частотной области (frequency domain)*. Если AM и DSBSC сигналы, показанные на рисунке 1, нарисовать в частотной области, то мы получим графики, изображенные на рисунке 2.

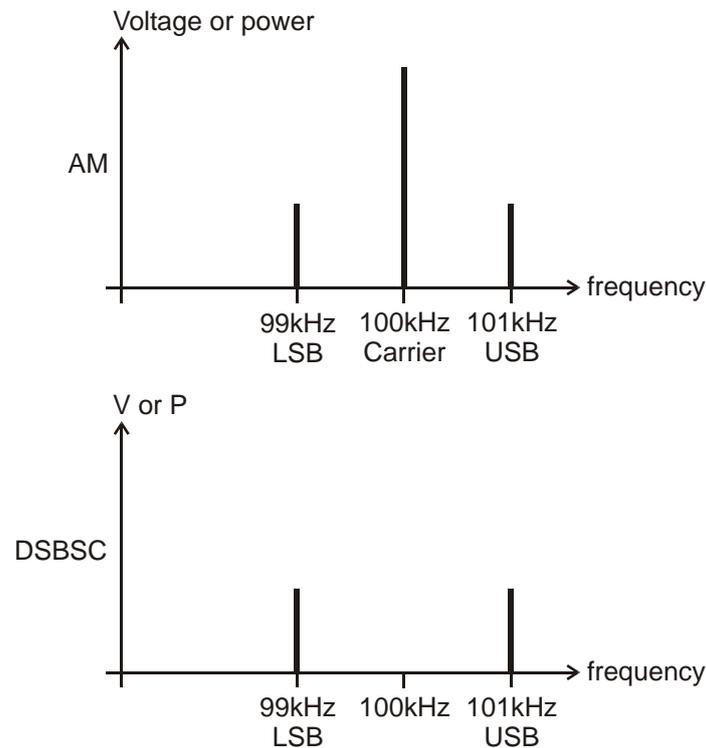


Рис. 2

Voltage or power (V or P) - напряжение или мощность, frequency - частота

Представление сложных сигналов в частотной области очень полезно для анализа их спектрального состава, т.к. дает инструмент для визуализации синусоид, из которых состоит сигнал. Такое представление помогает также увидеть, какую часть частотного диапазона занимает сигнал. Эта часть диапазона называется *полосой частот* сигнала и является важной характеристикой в связи и телекоммуникациях.

Полосы частот AM и DSBSC сигналов могут быть рассчитаны двумя способами. Частотная область, нарисованная на рисунке 2 показывает, что сигналы занимают часть частотного спектра от нижней боковой полосы до верхней. Поэтому полосу частот (Bandwidth - BW) можно найти из равенства:

$$BW = USB - LSB$$

Исходя из этого равенства, мы обнаружим, что полосы частот AM и DSBSC сигналов, изображенных на рисунке 2, составляют 2кГц. В ситуации, когда боковые полосы состоят более чем из одной гармоники, нужно решать уравнение, используя максимальную частоту USB и минимальную LSB.

Теперь сравните полосы частот сигналов на рисунке 2 (2кГц) с исходными сигналами, которые использовались для их получения (1 кГц - сигнал сообщения и 100кГц - несущая). Обратите внимание, полосы частот модулированных сигналов имеют частоту в два раза больше, чем сигнал сообщения. Это дает нам второе равенство для расчета полосы частот:

$$BW = 2 \times f_m \quad \text{где } f_m = \text{частота сигнала сообщения}$$

В случае, когда сигнал сообщения состоит более чем из одной синусоиды, вы должны подставить в это равенство максимальную частоту сигнала сообщения.

Эксперимент

В этом эксперименте вы будете использовать Emona DATeX для генерации AM и DSBSC сигналов, а затем исследовать их спектральный состав с помощью анализатора спектра (Dynamic Signal Analyzer) NI ELVIS

Для выполнения эксперимента потребуется около 50 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* отмечены пункты, которые относятся только к NI ELVIS I)

Часть А - Сборка АМ модулятора

Вначале получим АМ сигнал, а затем исследуем его спектральный состав.

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
31. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
51. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
82. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATEx и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATEx.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

11. Переведите переключатель *Control Mode (Режим управления)* регулируемого источника отрицательного напряжения питания в положение, противоположное позиции *Manual (Ручной)*.
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания) NI ELVIS.
13. Установите виртуальный элемент управления *Voltage (Напряжение)* регулируемого источника отрицательного напряжения питания в среднее положение, а затем сверните окно.
14. Найдите модуль *Adder (Сумматор)* на программной лицевой панели DATEx и поверните его виртуальные элементы управления *G* и *g* против часовой стрелки до упора.
15. Соберите схему, изображенную на рисунке 3.

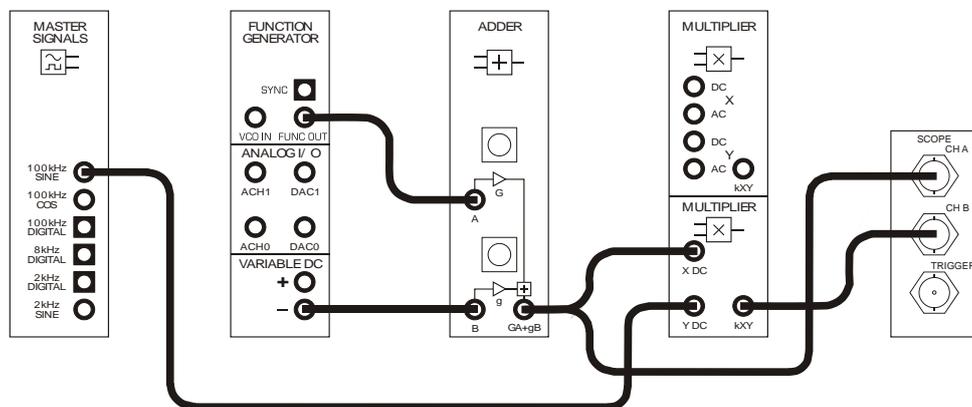


Рис. 3

16. Запустите программу (VI) NI ELVIS DMM цифрового мультиметра (не обращайте внимание на сообщение о максимальной точности, просто нажмите кнопку OK).
17. Переключите цифровой мультиметр в режим DC (измерение постоянного напряжения).
18. Подсоедините выход модуля *Adder (Сумматор)* ко входу *NI* цифрового мультиметра и установите виртуальный элемент управления *g* так, чтобы получить показания в 1 В.
19. Закройте программу виртуального цифрового мультиметра.
20. Переведите переключатель *Control Mode (Режим управления)* модуля *Function Generator (Функциональный генератор)* в положение, противоположное позиции *Manual (Ручной)*.
21. Запустите программу (VI) виртуального прибора *Function Generator (Функциональный генератор)*.

22. Включите функциональный генератор, нажав на кнопку *ON/OFF* (*Вкл/Выкл*)
23. Настройте функциональный генератор, используя виртуальные элементы управления, чтобы получить выходной сигнал со следующими характеристиками:
 - *Waveshape: Sine* - Форма сигнала: синусоидальная
 - *Frequency: 10kHz* - Частота: точно 10кГц (по цифровому табло)
 - *Amplitude* - Амплитуда: в среднее положение
 - *DC Offset: 0V* - Смещение по постоянной составляющей (DC): 0В
24. Потом вы еще будете использовать функциональный генератор, а пока сверните его окно.
25. Запустите программу (VI) *Oscilloscope NI ELVIS* (Осциллограф).
26. Настройте осциллограф согласно инструкции в эксперименте 1, но со следующими изменениями:
 - Элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) переведите из положения *CH A* в положение *Immediate* (Непрерывный)
 - Элемент управления *Coupling* (Связь с источником сигнала) канала *A* в положение *DC* вместо *AC*
 - Элемент управления *Scale* (Масштаб) канала *A* в положение *500 мВ/дел.*
 - Элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) в положение *50μs/div* (*50мс/деление*)
27. Установите виртуальный элемент управления *G* модуля *Adder* (Сумматор) в положение, при котором пиковая амплитуда синусоиды на выходе будет равна 1 В.
28. Установите элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение *CH A*, а элемент управления *Trigger Level* (Уровень сигнала запуска) в положение 1 В.
29. Активируйте вход канала В осциллографа для того, чтобы видеть и сигнал сообщения, и промодулированный сигнал.

Проверьте себя: Если элемент управления *Scale* (Масштаб) осциллографа установлен в положение *1 В/дел.*, то осциллограф должен показывать АМ сигнал с огибающей, повторяющей форму и размах сигнала сообщения. Если это не так, повторите действия с п. 11.

Собранная схема может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 4. Она реализует равенство: $AM = (1V_{DC} + 1V_{p-p} \text{ 10kHz sine}) \times 4V_{p-p} \text{ 100kHz sine}$.

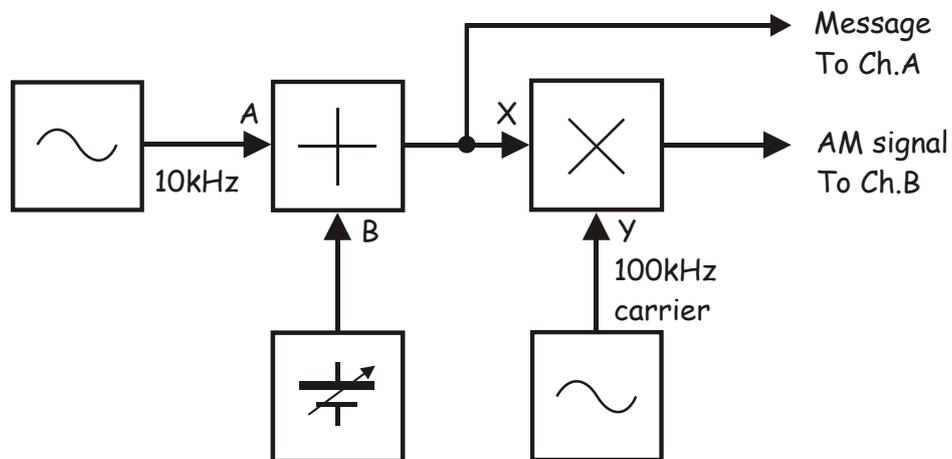


Рис. 4

Message To Ch. A - сообщение к каналу A, AM signal To Ch. B - сообщение к каналу B,
100kHz carrier - несущая с частотой 100кГц

Вопрос 1

При используемых параметрах входных сигналах модуля умножителя, какие гармоники содержатся в выходном сигнале?

90kHz, 100kHz and 110kHz.

Вопрос 2

Используйте эту информацию, чтобы рассчитать ширину полосы частот. **Совет:** если вы не знаете, как это сделать, то прочитайте раздел предварительного обсуждения.

20kHz.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В - Настройка анализатора спектра NI ELVIS

30. Закройте программу виртуального прибора осциллограф.
31. Запустите программу (VI) виртуального измерительного прибора Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра) NI ELVIS.

Примечание: Если программа виртуального анализатора спектра запустится успешно, то экран дисплея должен выглядеть, как показано на рисунке 5

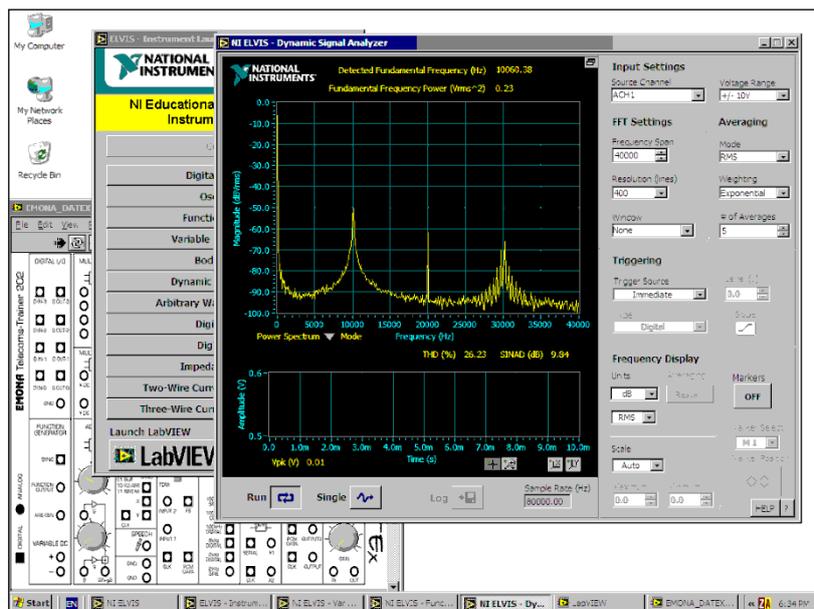


Рисунок 5

32. Установите элементы управления анализатора спектра следующим образом:

General (Общие)

Sampling (Дискретизация) в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входа)

- *Source Channel (Канал источника)* в положение *Scope CHB (Канал В Осциллографа)*
- Диапазон напряжений: ± 10 В

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье)

- *Frequency Span (Диапазон частот)* - в положение *150,000*
- *Resolution (Разрешение)* - в положение *400*
- *Window (Окно)* - в положение *7 Term B-Harris*

Averaging (Усреднение)

- *Mode (Режим)* в положение *RMS (Среднеквадратичное значение)*
- *Weighting (Взвешивание)* в положение *Exponential (Экспоненциальное)*
- *# of Averages (выборки для усреднения): 3*

Triggering (Сигнал запуска)

- *Triggering (Сигнал запуска)* - в положение *FGEN SYNC_OUT*

Frequency Display (Отображение частот)

- *Units (Единицы измерения)* - в положение *dB*
- *RMS/Peak (Действующее /Пиковое значение)* - в положение *RMS*
- *Scale (Масштаб)* - в положение *Auto (автоматически)*

- *Markers (Маркеры)* - в положение *OFF* (на данный момент)

Примечание: Если настройка программы виртуального анализатора спектра выполнена правильно, то экран дисплея должен выглядеть, как показано на рисунке 6.

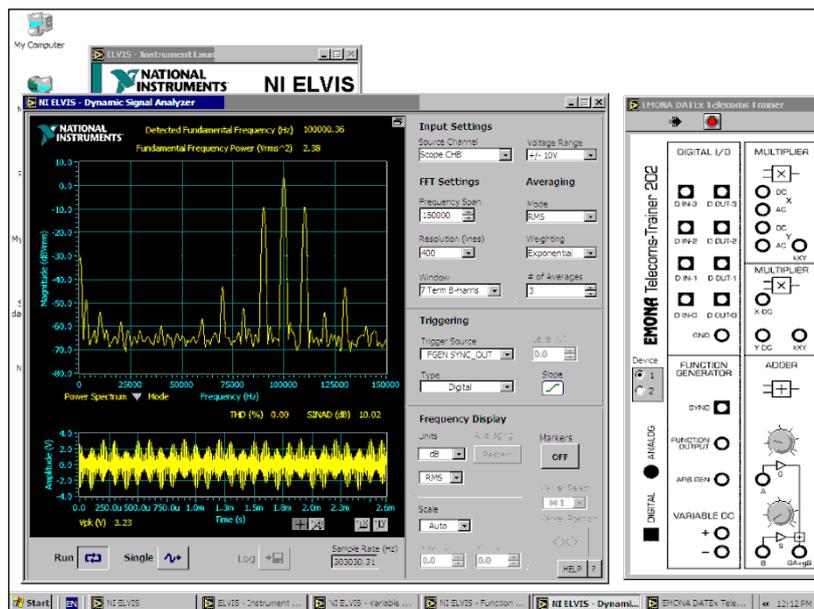


Рисунок 6

Кривые, отображаемые на экране анализатора спектра, нуждаются в некоторых пояснениях. В действительности там два экрана, один, большой, вверху, а другой, поменьше, – под ним. На маленьком экране входной сигнал представлен во временной области (другими словами, это экран осциллографа). Обратите внимание, что здесь показан АМ сигнал, который вы получили раньше и рассматривали в пункте 29.

На большом экране входной сигнал отображается в частотной области. Обратите внимание, что он выглядит довольно похожим на график АМ сигнала в частотной области, изображенный на рисунке 2 в разделе предварительного обсуждения. На экране анализатора спектра не отображаются четкие одиночные линии для каждой частоты, содержащейся в сигнале, потому что практическая реализация FFT не даёт таких точных результатов, как предсказывает теория.

Часть С – Спектральный анализ АМ сигнала

Следующая часть эксперимента позволит проанализировать представление АМ сигнала в частотной области для того, чтобы увидеть, совпадают ли его частотные компоненты с теми, которые вы предсказали математически, отвечая на вопросы 1 и 2.

33. Активируйте маркеры анализатора спектра нажатием кнопки *Markers (Маркеры)*.

Примечание 1: После включения курсоров на кнопке появится надпись "ON" ("ВКЛ.") вместо "OFF" ("ВЫКЛ.").

Примечание 2: На экране графиков в частотной области анализатора спектра должны появиться зелёные горизонтальная и вертикальная линии. Если вы не видите эти линии, то включите и выключите кнопку *Markers (Маркеры)* несколько раз, наблюдая при этом за экраном.

Анализатор спектра NI ELVIS имеет два маркера *M1* и *M2*, которые после включения NI ELVIS находятся у левой границы экрана. Изменить их положение можно, "захватив" мышью вертикальную линию маркера и перетаскивая её влево и вправо.

34. Захватите мышью и медленно двигайте маркер *M1*.

Примечание: Обратите внимание на то, что пересечение вертикальной и горизонтальной линий маркера *M1* двигается по линии графика.

35. Повторите пункт 34 с маркером *M2*.

Примечание: Более точно управлять положением маркеров можно при помощи элемента управления *Marker Position (Положение маркера)* анализатора спектра, расположенного ниже кнопки *Markers ON/OFF* (прямо над кнопкой *HELP*).

Анализатор спектра снабжен средствами для измерения разности амплитуд гармоник и их частот, на которые указывают два маркера. Эта информация отображается на зелёной области между верхней и нижней частью экрана.

36. Перемещайте маркеры, наблюдая за изменениями результатов измерения.

37. Совместите маркеры и обратите внимание на результаты измерения.

Примечание: Если маркеры совмещены, то результаты измерения разности амплитуд и частот должны быть равными нулю.

Когда один из маркеров установлен на левую границу экрана, его координата по оси X равна нулю. Это значит, что этот маркер установлен на 0 Гц, тогда другой маркер дает нам абсолютное значение частоты. И это действительно так, потому что результат измерения разности частот по двум маркерам совпадает с координатой второго маркера.

38. Переместите маркер *M1* к левой границе экрана.

39. Совместите маркер *M2* с самой высокой точкой нижней боковой полосы АМ сигнала.

Примечание: Имеется в виду гармоника, находящаяся непосредственно слева от самой большой спектральной составляющей на экране.

40. Измерьте частоту этой гармоники и запишите результат измерения в таблицу 1 на следующей странице.

41. Совместите маркер *M2* с самой высокой точкой несущей АМ сигнала и повторите измерения по п. 40.

Примечание: Несущей соответствует самая большая гармоника на экране.

42. Совместите маркер *M2* с самой высокой точкой верхней боковой полосы АМ сигнала и повторите измерения по п. 40.

Примечание: Эта гармоника находится сразу справа от гармоники несущей.

43. Совместите маркер *M1* с самой высокой точкой нижней боковой полосы АМ сигнала и измерьте полосу частот АМ сигнала.

Таблица 1

Частота нижней боковой полосы (LSB)	
Частота несущей	
Частота верхней боковой полосы (USB)	
Ширина полосы частот	

Вопрос 3

Насколько сильно отличаются измеренные значения в таблице 1 от значений, предсказанных теоретически (смотрите вопросы 1 и 2)? Объясните различия, если они есть.

Измеренные и предсказанные значения должны быть очень близки. Различия могут быть связаны с небольшим дрейфом частоты сигнала сообщения и с погрешностями измерительного оборудования NI ELVIS.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Небольшое отступление: все-таки на экране боковые частоты выглядят почти такими же большими, как частота несущей. Более того, видны вполне заметные другие гармоники в выходном сигнале модуля умножителя. Однако, это обманчивое ощущение, потому что вертикальная ось является логарифмической (т.е. нелинейной). Боковые и другие частоты намного меньше, чем частота несущей. Это можно легко доказать:

- Установите элемент управления *Units* (Единицы измерения) анализатора спектра в положение *Linear* (Линейные) вместо *dB* (дБ).

Примечание: При таких настройках сигналы по вертикальной оси будут отображаться в линейном масштабе, а не логарифмическом.

- Обратите внимание на относительные размеры амплитуд гармоник сигнала.
- Верните элемент управления *Units* (Единицы измерения) анализатора спектра в положение *dB* (дБ).
- Разверните окно программы виртуального прибора *Function Generator* (Функциональный генератор) и увеличьте его выходную частоту до 20 кГц.

48. Воспользуйтесь двумя маркерами анализатора спектра, чтобы определить новую ширину полосы частот АМ сигнала. Запишите полученный результат в таблицу 2.

Примечание: Полное обновление экрана может занять до 30 секунд, потому что идёт усреднение по трём развёрткам частоты.

49. Увеличьте выходную частоту функционального генератора до 30 кГц.
50. Определите и запишите новую ширину полосы частот АМ сигнала.

Таблица 2

Ширина полосы частот для $f_m = 20$ кГц	
Ширина полосы частот для $f_m = 30$ кГц	

Вопрос 4

Каково соотношение между частотой сигнала сообщения и шириной полосы АМ сигнала?

Ширина полосы частот АМ сигнала в два раза больше частоты сигнала сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

51. Верните значение частоты выходного сигнала функционального генератора 10 кГц.
52. Подождите, пока полностью обновится экран графиков в частотной области анализатора спектра, а затем отсоедините разъём типа "банан" от входа X модуля Multiplier (Умножитель).
53. Подождите, пока полностью обновится экран, а затем определите частоту наиболее заметной гармоники выходного сигнала модуля умножителя.

Вопрос 5

Что это за сигнал?

Это несущая с частотой 100 кГц.

Вопрос 6

Какие гармоники исчезли и почему?

Исчезли боковые частоты, потому что нет сигнала сообщения и несущая умножается на "нулевой сигнал".

54. Подсоедините обратно разъём типа "банан" ко входу X модуля умножителя.
55. Отсоедините разъём типа "банан" от выхода Y модуля умножителя.
56. Подождите, пока полностью обновится экран, а затем определите частоту наиболее заметной гармоники в выходном сигнале модуля умножителя.

Вопрос 7

Что это за сигнал?

Это сигнал сообщения 10 кГц.

Вопрос 8

Почему отсутствуют боковые частоты, хотя сигнал сообщения есть?

Потому что боковые частоты являются результатом умножения сигнала сообщения и несущей. В отсутствие несущей наиболее значимой компонентой в спектре выходного сигнала становится сигнал сообщения (которого не было раньше!).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D – Сборка DSBSC модулятора

Для эксперимента со спектром DSBSC, нужен DSBSC сигнал. Вначале соберем схему формирования такого сигнала.

57. Разберите имеющуюся схему.
58. Закройте программу виртуального анализатора спектра.
59. Разверните окно программы (VI) виртуального прибора Function Generator (Функциональный генератор) и убедитесь, что значение частоты его выходного сигнала возвращено на 10 кГц.
60. Установите пиковую амплитуду выходного сигнала функционального генератора равной 1 В.
61. Соберите схему, показанную на рисунке 7.

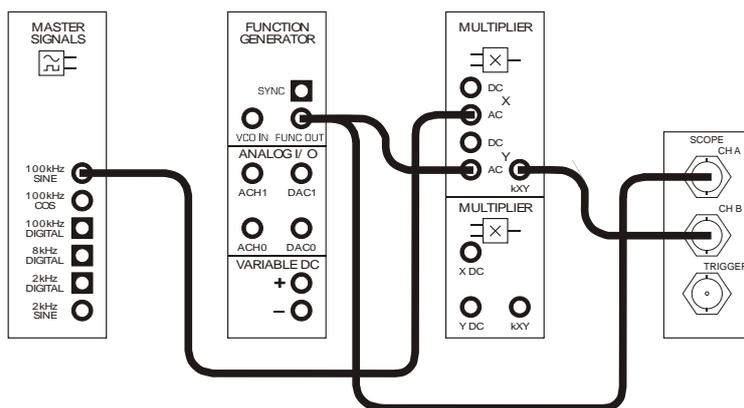


Рисунок 7

Эта установка может быть представлена блок-схемой на рисунке 8 на следующей странице. Она реализует следующее уравнение:

$$\text{DSBSC} = 1\text{Vp-p } 10\text{kHz sine} \times 4\text{Vp-p } 100\text{kHz sine.}$$
$$(\text{DSBSC} = (\text{синусоида } 1 \text{ В, } 10 \text{ кГц}) \times (\text{синусоида } 4 \text{ В, } 100 \text{ кГц})).$$

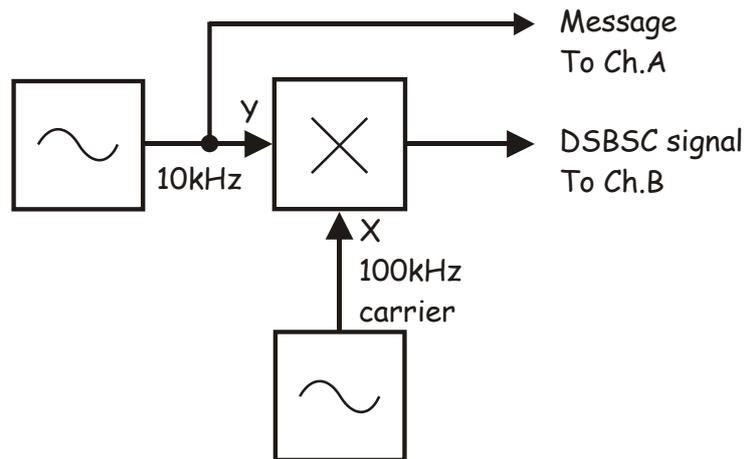


Рисунок 8

100 kHz carrier - 100 кГц несущая,
 Message To Ch.A - сигнал сообщения к каналу А, DSBSC signal To Ch.B - DSBSC сигнал к каналу В,

62. Запустите программу виртуального прибора Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
63. Настройте осциллограф согласно инструкции в эксперименте 1, убедитесь, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A*.
64. Настройте осциллограф с помощью элемента управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) так, чтобы было видно примерно три периода выходного сигнала функционального генератора.
65. Активируйте вход канала В осциллографа, чтобы видеть DSBSC сигнал так же хорошо, как и сигнал сообщения.
66. Нажмите на кнопку *Autoscale* (Автомасштабирование) осциллографа в обоих каналах.

Проверьте себя: Осциллограф теперь должен отображать DSBSC сигнал, у которого половина огибающей имеет примерно такую же форму и амплитуду, что и сигнал сообщения.

Вопрос 9

При установленных сейчас частотах входных сигналов модуля умножителя, какие частотные компоненты присутствуют в его выходном сигнале?

90 кГц и 110 кГц.

Вопрос 10

Используйте эту информацию для вычисления полосы частот DSBSC сигнала.

20 кГц



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть Е – Спектральный анализ DSBSC сигнала

67. Закройте программу виртуального осциллографа.
68. Запустите программу (VI) виртуального прибора Dynamic Signal Analyzer NI ELVIS (Анализатор спектра) и настройте его элементы управления, как в пункте 32.

Примечание: В результате вы должны ясно увидеть две боковые частоты DSBSC сигнала.

Вы также должны увидеть, что у сигнала имеется несущая. Однако, эта составляющая сигнала очень мала по сравнению с гармониками боковых частот (помните, что по оси Y откладываются децибелы, а они являются логарифмическими единицами измерения). Конструктивные ограничения реализации DSBSC подразумевают, что в DSBSC сигнале всегда присутствует небольшая компонента несущей частоты. Вот почему вторая "s" в DSBSC расшифровывается как "suppressed" ("подавленная").

69. Активируйте маркеры анализатора спектра нажатием на кнопку *Markers (Маркеры)*.
70. Совместите маркер *M1* с нижней боковой частотой DSBSC сигнала.
71. Измерьте частоту этой гармоники и запишите в таблицу 3.
72. Совместите маркеры *M1* с верхней боковой частотой DSBSC сигнала и повторите измерения по п. 71.
73. Воспользовавшись маркерами анализатора спектра, определите и запишите ширину полосы частот DSBSC сигнала.

Таблица 3

LSB частота	
USB частота	
Ширина полосы частот	

Вопрос 11

Как соотносятся измеренные и теоретически предсказанные значения (смотрите вопросы 9 и 10)?

Измеренные и предсказанные значения должны быть очень близки.

Вопрос 12

Сравните полосу частот DSBSC сигнала с полосой частот AM сигнала при частоте сигнала сообщения 10 кГц (таблица 1). Что вы можете сказать по поводу ширины полосы частот, необходимой для AM и DSBSC сигналов?

Они равны.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

- 74 Найдите ширину полосы DSBSC сигнала для двух других частот сигнала сообщения (20 кГц и 30 кГц).

Вопрос 13

Каково соотношение между частотой сигнала сообщения и шириной полосы частот DSBSC сигнала?

Ширина полосы частот DSBSC сигнала в два раза больше частоты сигнала сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

8 - Демодуляция АМ сигналов

Эксперимент 8 - Демодуляция АМ сигналов

Предварительное обсуждение

Если вы выполняли эксперимент 5, то заметили, как выглядел сигнал, модулированный по амплитуде синусоидой 2 кГц. Вы должны были увидеть главную особенность АМ сигнала - его огибающие имеют такую же форму, что и сигнал сообщения (нижняя огибающая, соответственно, перевернута).

Получение исходного сигнала сообщения из АМ сигнала, называется *демодуляцией*. Демодуляция является основной функцией связных и телекоммуникационных приёмников. Электронная схема, которая широко применяется для демодуляции АМ сигналов, называется *детектором огибающей*. Блок-схема детектора огибающей показана на рисунке 1 ниже.

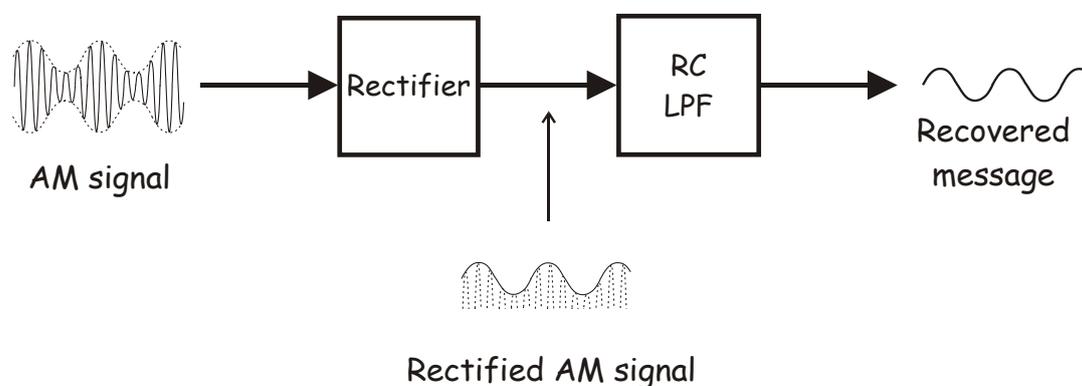


Рисунок 1

Выпрямитель (Rectifier) "обрезает" половину АМ сигнала, пропуская только одну огибающую (в данном случае верхнюю, но нижняя ничем не хуже). Выпрямленный сигнал (Rectified AM signal) поступает на RC фильтр низкой частоты (RC LPF), который выделяет пики сигнала. Т.к. входным для фильтра является выпрямленный АМ сигнал, то на выходе фильтра будет огибающая АМ сигнала. Поскольку огибающая имеет такую же форму, что и сигнал сообщения, то и напряжение на выходе фильтра (Recovered message) является сигналом сообщения, т.е. АМ сигнал можно считать демодулированным.

Ограничением детектора огибающей, показанного на рисунке 1, является то, что он не может правильно восстановить перемодулированный АМ сигнал сообщения. Чтобы понять почему, вспомните, что огибающая перемодулированного АМ сигнала уже не повторяет форму исходного сигнала. Поскольку огибающая искажена, то и детектор огибающей будет восстанавливать сигнал сообщения с искажениями.

Эксперимент

В этом эксперименте используется модуль Emona DATEx для получения АМ сигнала путем реализации математической модели. На модуле тренажера вы должны собрать детектор огибающей из выпрямителя и фильтра НЧ.

Кроме того, вы должны подать АМ сигнал на вход детектора огибающей и сравнить демодулированный выходной сигнал с исходным сообщением и с огибающей АМ сигнала. Вы также понаблюдаете, какой эффект оказывает перемодуляция АМ сигнала на выходной сигнал детектора огибающей.

В завершение, если позволит время, вы демодулируете АМ сигнал, умножив его на локальную несущую, вместо того, чтобы использовать детектор огибающей.

Выполнение эксперимента с части А по часть D должно занять у вас около 50 минут, а на выполнение части E эксперимента потребует около 20 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)
- Стереонаушники

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Порядок выполнения (* относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Сборка схемы АМ модулятора

Чтобы выполнить эксперименты по демодуляции, вначале соберите схему для получения АМ сигнала.

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель *Control Mode* (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение *Manual* (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.
Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ. Если нет - позвоните преподавателя, чтобы он вам помог.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATeX и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATeX.
11. Переведите переключатель *Control Mode* (*Режим управления*) выхода регулируемого источника отрицательного напряжения питания в положение, противоположное позиции *Manual* (*Ручной*).
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания) NI ELVIS.
13. Установите виртуальный элемент управления *Voltage* (*Напряжение*) регулируемого источника отрицательного напряжения питания в среднее положение, а затем сверните окно.
14. Найдите модуль *Adder* (*Сумматор*) на программной лицевой панели DATeX и поверните его виртуальные элементы управления *G* и *g* против часовой стрелки до упора.

15. Соберите схему, изображенную на рисунке 2.

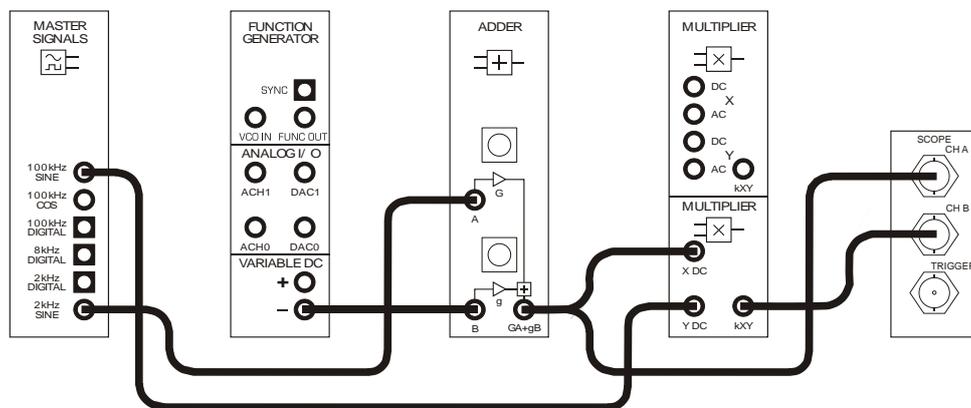


Рисунок 2

16. Запустите программу (VI) NI ELVIS DMM виртуального мультиметра (не обращайте внимание на сообщение о максимальной точности, просто нажмите кнопку OK).
17. Переключите цифровой мультиметр в режим DC (измерение постоянного напряжения).
18. Подсоедините выход модуля Adder (Сумматор) ко входу HI цифрового мультиметра и отрегулируйте виртуальный элемент управления g так, чтобы получить показания в 1 В.
19. Закройте программу виртуального цифрового мультиметра.
20. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
21. Настройте осциллограф согласно инструкции в эксперименте 1, но со следующими изменениями:
 - Элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) переведите из положения *CH A* в положение *Immediate* (Непрерывный)
 - Элемент управления *Coupling* (Связь с источником сигнала) канала *A* в положение *DC* вместо *AC*
 - Элемент управления *Scale* (Масштаб) канала *A* в положение *500 мВ/дел.*
22. Отрегулируйте виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор) так, чтобы получить синусоиду с пиковой амплитудой 1 В.
23. Установите элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение *CH A*, а элемент управления *Trigger Level* (Уровень сигнала запуска) в положение 1 В.

24. Активируйте вход канала В осциллографа для того, чтобы видеть и сигнал сообщения, и промодулированный сигнал.

Проверьте себя: Если элемент управления *Scale (Масштаб)* осциллографа установлен в положение *1 В/дел.*, то осциллограф должен показывать АМ сигнал с огибающей, повторяющей форму и размах сигнала сообщения. Если это не так, повторите действия с п. 11.

Схеме, показанной на рисунке 2 на предыдущей странице, соответствует блок-схема на рисунке 3 ниже. Эта схема генерирует несущую 100 кГц (100 kHz carrier), которая модулируется по амплитуде сигналом сообщения в виде синусоиды 2 кГц.

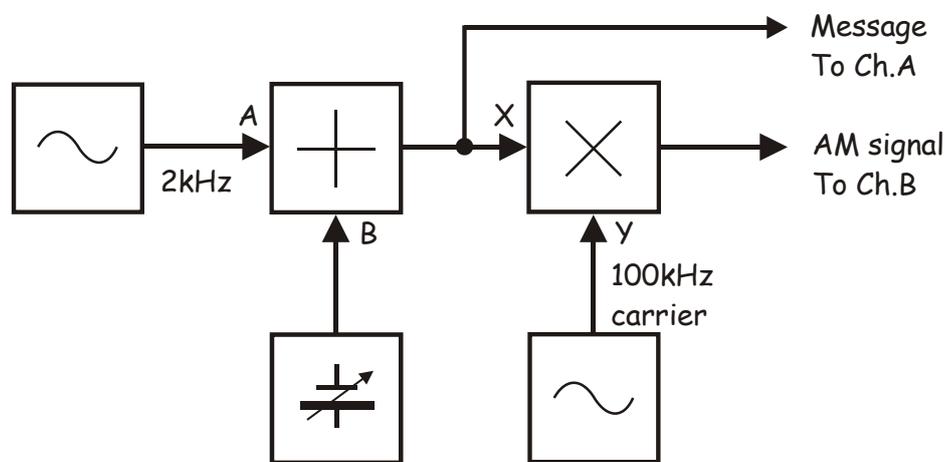


Рисунок 3

Message To Ch. A - сообщение к каналу А, AM signal To Ch. B - сообщение к каналу В,
100 kHz carrier - несущая 100 кГц



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Восстановление сигнала сообщения с помощью детектора огибающей

25. Измените схему, как показано на рисунке 4.

Напоминание: Пунктирные линии показывают уже подключенные проводники.

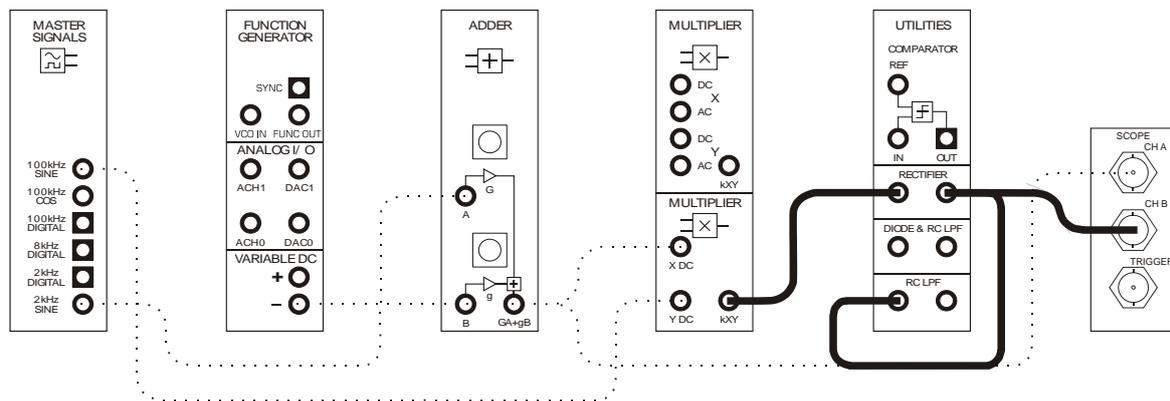


Рисунок 4

С реализованными изменениями, схема на рисунке 4 может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 5. Это схема детектора огибающей, который рассматривался в разделе предварительного обсуждения.

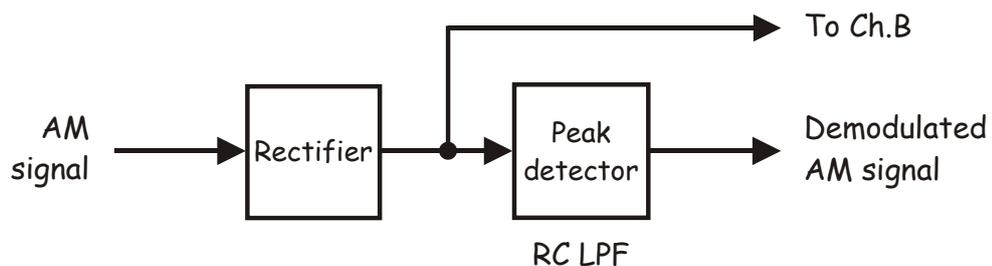
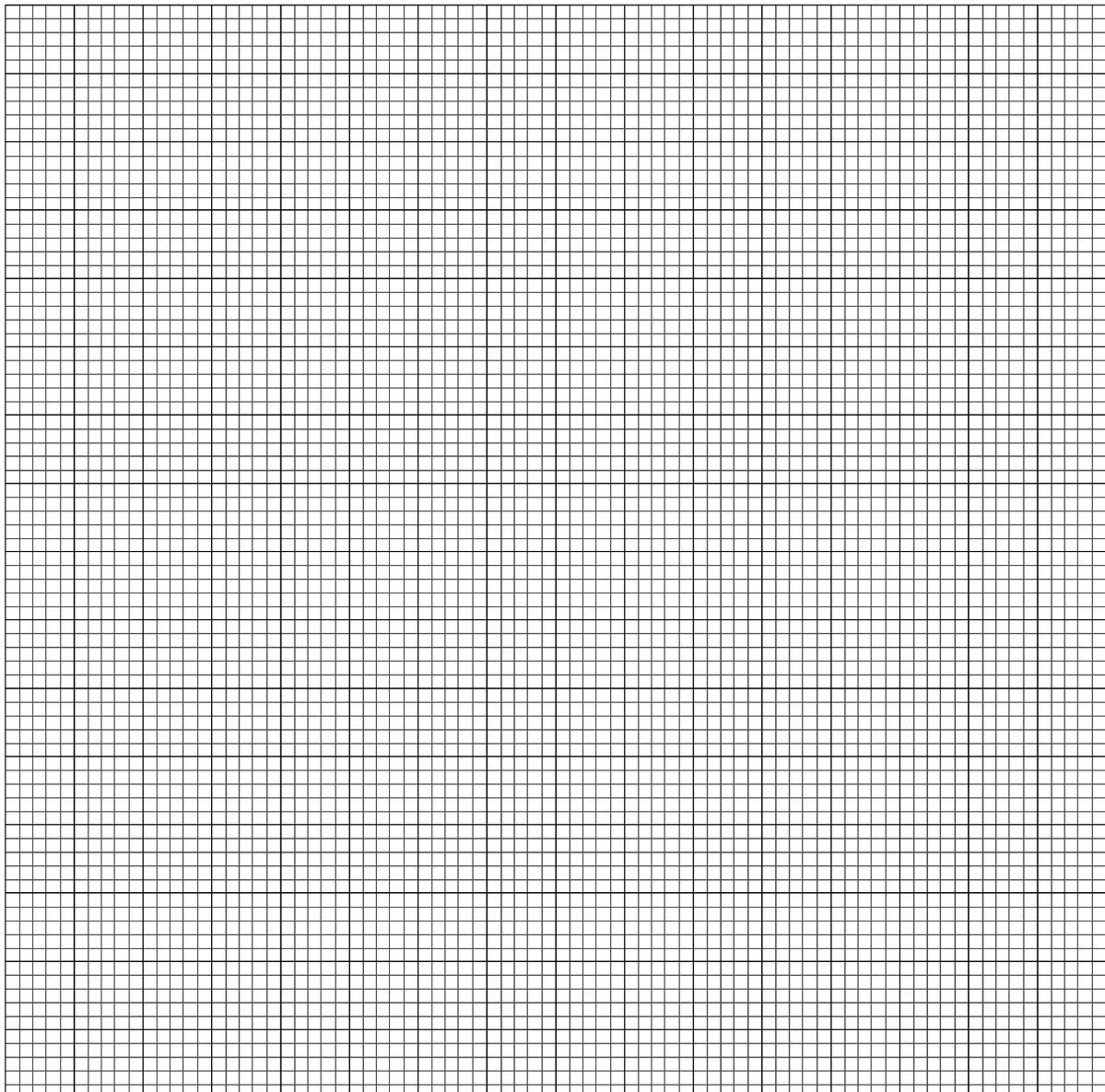


Рисунок 5

AM signal – AM сигнал, Rectifier – выпрямитель, Peak detector – пиковый детектор, RC LPF – низкочастотный RC фильтр, To Ch.B – к каналу В, Demodulated AM signal – демодулированный AM сигнал

26. Сделайте нужные для наблюдения сигналов настройки элементов управления *Scale* (Масштаб) и *Timebase* (Масштаб по оси времени).
27. Зарисуйте с соблюдением масштаба две осциллограммы сигналов на расположенном ниже поле графика, оставив место, чтобы можно было нарисовать третий сигнал.
- Совет:** Нарисуйте сигнал сообщения в верхней трети графика, а выпрямленный АМ сигнал в середине.
28. Отсоедините вход *Channel B* (канал В) осциллографа от выхода модуля *Rectifier* (Выпрямитель) и подсоедините его к выходу *RC LPF* (ФНЧ).
29. Зарисуйте с соблюдением масштаба демодулированный АМ сигнал на оставленном свободным месте графика.



Вопрос 1

Что можно сказать об исходном и восстановленном сигналах сообщения?

Они одинаковы (если не учитывать небольшой сдвиг по фазе).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С - Исследование амплитуды восстановленного сигнала сообщения

30. Увеличивайте и уменьшайте понемногу амплитуду сигнала сообщения (поворачивая виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор) немного влево и вправо), наблюдая при этом за демодулированным сигналом.

Вопрос 2

Какова зависимость между амплитудами двух сигналов сообщения?

С увеличением амплитуды исходного сигнала сообщения увеличивается амплитуда восстановленного сигнала.

31. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения до максимума, наблюдая за демодулированным сигналом.

Вопрос 3

Каковы причины искажений демодулированного сигнала?

Совет: Если вы не уверены в ответе, подсоедините вход канала А осциллографа к выходу АМ модулятора.

Перемодуляция.

Вопрос 4

Почему перемодуляция вызывает искажение?

Перемодуляция искажает огибающую АМ сигнала и поэтому детектор не может правильно восстановить сигнал сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D - Передача и восстановление речи при помощи АМ

Ранее вы собрали систему связи с амплитудной модуляцией для того, чтобы "передать" синусоиду 2 кГц в качестве сигнала сообщения. Следующая часть эксперимента позволит использовать эту систему для модуляции, передачи, демодуляции и прослушивания речи.

32. Если вы отключали вход канала А осциллографа, для того, чтобы ответить на вопрос 4, восстановите подключение этого канала к выходу модуля Adder (Сумматор).
33. Установите значение пиковой амплитуды сигнала сообщения, равной 200 мВ (регулируя виртуальный элемент управления G модуля Adder).
34. Измените схему соединений в соответствии с рисунком 6.

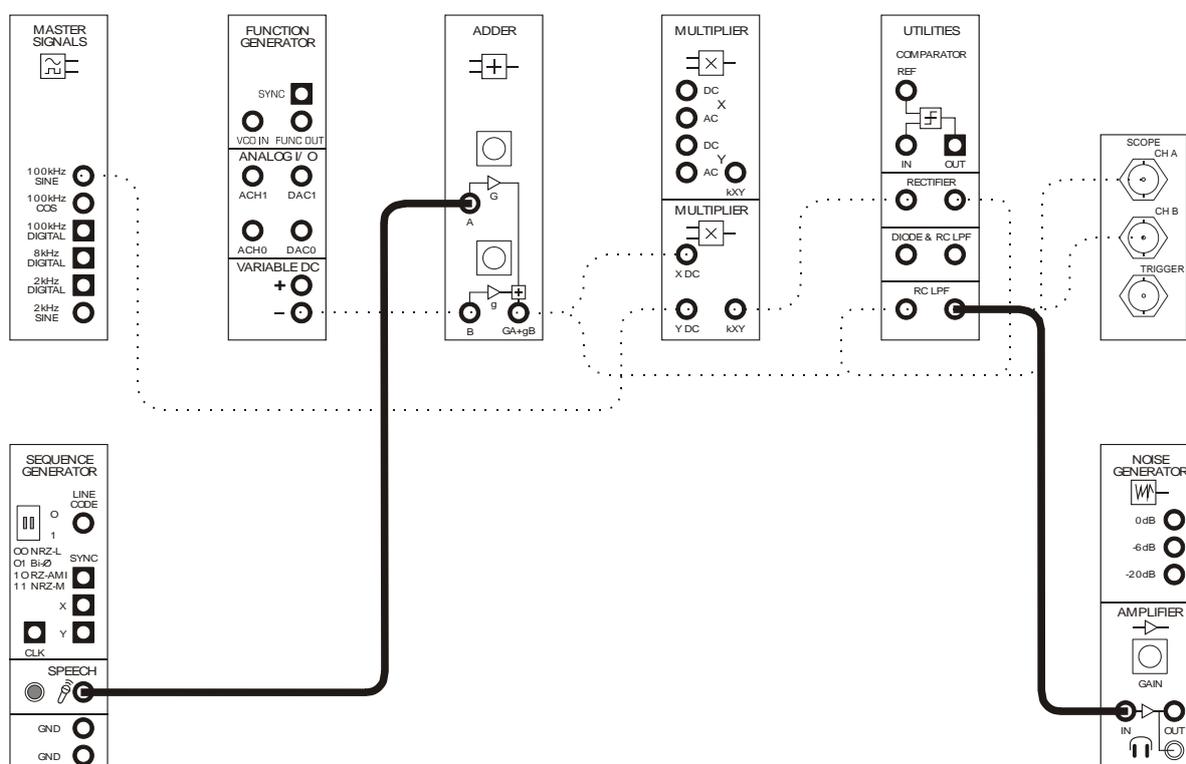


Рисунок 6

35. Установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа в положение *5ms/div* (5 мс/дел).
36. Поверните виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* (Усилитель) против часовой стрелки до упора.
37. Не надевая наушники, подключите их к гнезду для наушников модуля *Amplifier* (Усилитель).
38. Наденьте наушники.
39. Когда будете выполнять следующий шаг, установите виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* (Усилитель) так, чтобы получить комфортный уровень громкости.
40. Шумите и говорите в микрофон, наблюдая при этом осциллограммы на экране осциллографа и слушая звук в наушниках.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть Е - Математическая трактовка демодуляции АМ сигнала

Процесс АМ демодуляции можно объяснить математически, потому что он использует умножение для восстановления исходного сигнала сообщения. Чтобы было понятнее, вспомним, что когда перемножаются две чистые синусоиды (эта процедура использует некоторые, не показанные здесь, свойства тригонометрических функций), то в результате получается две совершенно новые синусоиды.:

- Одна - с частотой, равной сумме частот двух сигналов
- Вторая - с частотой равной разности частот двух сигналов

Детектор выделяет огибающую, т.к. выпрямитель - это устройство, которое перемножает все составляющие входного сигнала. Обычно это является помехой, но только не для таких приложений, как АМ демодуляция. Вспомним, что АМ сигнал состоит из несущей, несущей плюс сообщение и несущей минус сообщение. Таким образом, когда АМ сигнал поступает на вход выпрямителя, то с точки зрения математики, выпрямитель перемножает все синусоиды и это выглядит как:

$$\text{Rectifier's output} = \text{carrier} \times (\text{carrier} + \text{message}) \times (\text{carrier} - \text{message})$$

(Выход выпрямителя = несущая × (несущая + сообщение) × (несущая - сообщение))

Если сигнал сообщения, используемый для получения АМ сигнала, является простой синусоидой, то после решения приведённого выше уравнения получим, что на выходе выпрямителя будет шесть синусоид со следующими частотами:

- Несущая + (несущая + сообщение)
- Несущая + (несущая - сообщение)
- (Несущая + сообщение) + (несущая - сообщение)
- Несущая - (несущая + сообщение) = сообщение
- Несущая - (несущая - сообщение) = сообщение
- (Несущая + сообщение) - (несущая - сообщение)

Чтобы сделать данные выкладки более понятными, приведем пример с числами. АМ модулятор, который вы собрали в начале этого эксперимента, использует несущую 100 кГц, а сигналом сообщения является синусоида 2 кГц (со смещением по постоянному напряжению). Таким образом, результирующий АМ сигнал состоит из трёх синусоид: одна 100 кГц, другая 102 кГц и третья 98 кГц. В таблице 1 показано, что происходит, когда эти синусоиды перемножаются выпрямителем.

Таблица 1	100 кГц×102 кГц	100 кГц×98 кГц	98 кГц×102 кГц
Сумма	202 кГц	198 кГц	200 кГц
Разность	2 кГц	2 кГц	4 кГц

Заметьте, что частоты двух синусоид равны частоте сигнала сообщения. Другими словами, сообщение было восстановлено! А так как два сообщения находятся в фазе, они просто складываются и получается один сигнал с большей амплитудой.

Отметим, что синусоиды, не являющиеся сигналом сообщения, нам не нужны, поэтому, чтобы их подавить, сохранив сигнал сообщения, выходной сигнал выпрямителя посылается на фильтр низкой частоты (ФНЧ). В идеале выходной сигнал фильтра будет состоять только из сигнала сообщения. Вероятность этого можно увеличить, сделав частоту несущей намного выше, чем самая высокая частота в сигнале сообщения. Это сделает частоту "просуммированных" сигналов более высокой и упростит их подавление в ФНЧ.

[Небольшое отступление: синусоида 4 кГц, которая также получается на выходе выпрямителя, пройдет через ФНЧ и будет присутствовать на его выходе наравне с сигналом 2 кГц. Это, конечно, мешает, так как этого сигнала не было в исходном сигнале сообщения. К счастью, так как данный сигнал генерируется в результате умножения боковых частот, то его амплитуда намного меньше, чем амплитуда восстановленного сигнала сообщения и может быть проигнорирована.]

Почти идентичный математический процесс может быть смоделирован при помощи модуля Multiplier (Умножитель) Emona DАТЕх. Однако вместо того, чтобы перемножать составляющие АМ сигнала (умножитель не может этого делать), данный модуль перемножает их с локально сгенерированной синусоидой, имеющей частоту 100 кГц. Следующая часть этого эксперимента позволит демодулировать АМ сигнал подобным способом.

41. Верните элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа в его прежнее положение (вероятно, $200\mu\text{s}/\text{div}$).
42. Измените схему соединений, как показано на рисунке 7, чтобы опять работать с АМ модулятором и синусоидой 2 кГц в качестве сигнала сообщения.

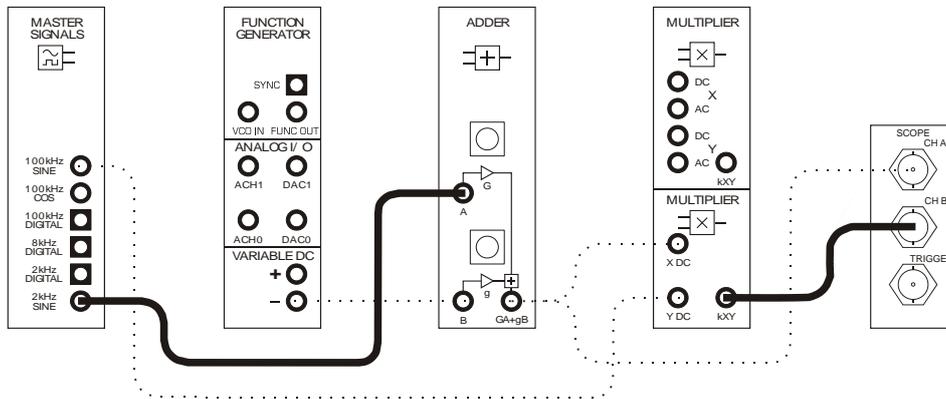


Рисунок 7

43. Установите значение пиковой амплитуды сигнала сообщения, равное 0.5 В (используйте виртуальный элемент управления *G* модуля Adder (Сумматор)).
44. Измените схему, как показано на рисунке 8.

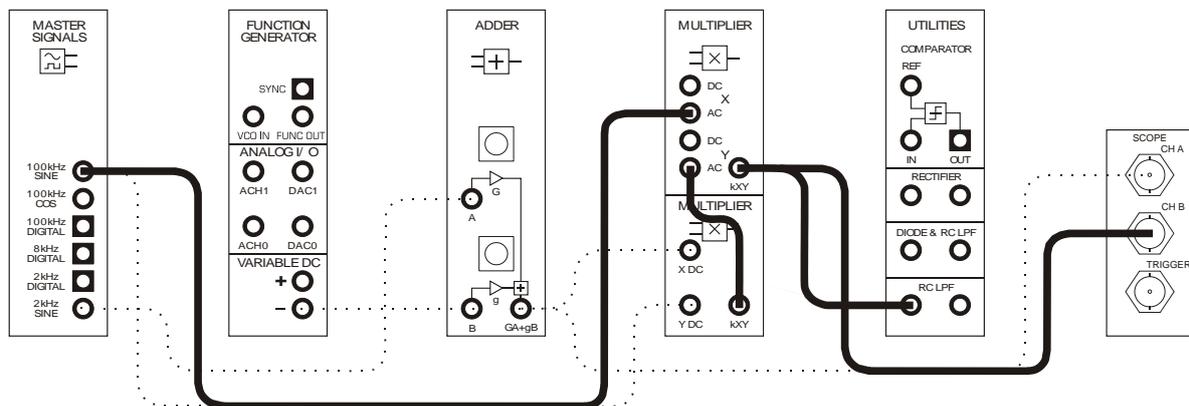


Рисунок 8

Модифицированная схема может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 9. Модуль Multiplier (Умножитель) математически моделирует процесс демодуляции АМ сигнала, а RC ФНЧ модуля Utilities (вспомогательный модуль) выделяет сигнал сообщения, подавляя при этом другие генерируемые синусоиды.

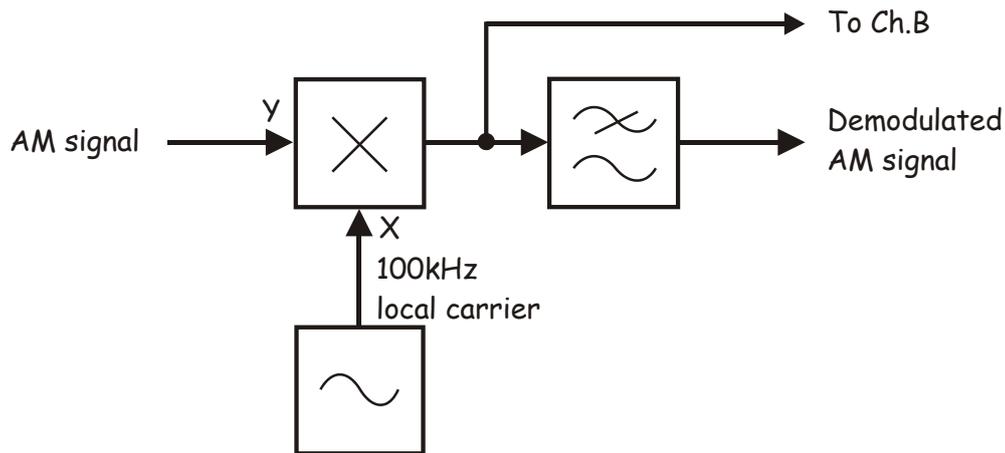


Рисунок 9

AM signal - AM сигнал, 100 kHz local carrier - местный сигнал несущей частотой 100 кГц,
To Ch.B - к каналу B, Demodulated AM signal - демодулированный AM сигнал

45. Сравните выходной сигнал модуля умножителя с выходным сигналом *выпрямителя*, который вы зарисовывали раньше (смотрите страницу 8-8).

Вопрос 5

Пусть AM сигнал (состоящий из синусоид с частотами 100 кГц, 102 кГц и 98 кГц) умножается на синусоидальный сигнал частотой 100 кГц:

A) Сколько частот будет содержать выходной сигнал модуля умножителя?

B) Каковы их частоты?

A) Пять.

B) Одна с частотой 198 кГц, вторая - 200 кГц, третья - 202kHz и две синусоиды с частотой 2 кГц. Эти две последние синусоиды находятся в фазе и складываются, образуя одну с большей амплитудой. Таким образом, чисто технически, вы можете утверждать, что всего синусоид четыре. (Примечание: синусоида с частотой 4 кГц не генерируется).

46. Отсоедините вход *Channel B* (канала B) осциллографа от выхода модуля Multiplier (Умножитель) и подключите его к выходу *RC LPF* (RC ФНЧ).
47. Сравните выходной сигнал *RC ФНЧ* с сигналом сообщения и с выходным сигналом *RC ФНЧ*, который зарисовывали раньше (смотрите страницу 8-8).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Обычным заблуждением по поводу АМ является мнение, что если сигнал перемодулирован, то исходное сообщение восстановить невозможно. Однако, когда АМ сигнал получен при помощи идеального или почти идеального модулятора (подобного изображенному на рисунке 3), это верно только для детектора огибающей.

Методу демодуляции АМ сигнала, реализованному в этой части эксперимента (называемому детектированием произведения, хотя, точнее это называть демодуляцией произведения) не свойственна такая проблема, так как при восстановлении сигнала сообщения производится не отслеживанием огибающей АМ сигнала. Заключительная часть эксперимента как раз демонстрирует это.

48. Подключите Channel A (канал A) осциллографа к выходу АМ модулятора.
48. Установите элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение *CH B*.
49. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения, регулируя виртуальный элемент управления *G* модуля Adder (Сумматор), чтобы получить АМ сигнал, модулированный примерно на 100%.

Примечание: Измените, если нужно, размер осциллограмм АМ сигнала и демодулированного сигнала.

50. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения, чтобы получить АМ сигнал, который промодулирован больше, чем на 100%, при этом внимательно наблюдайте за демодулированным сигналом сообщения.

В дополнение можно сказать, что в промышленных устройствах с амплитудной модуляцией для большей эффективности обычно используют усилитель класса C (имеется в виду минимизация потерь мощности). Когда усилитель класса C работает с глубиной модуляции больше 100%, функционирование электрической схемы не соответствует модели АМ модулятора, изображенной на рисунке 3. Кроме того, важно отметить, что при этом получается огибающая, не совпадающая с исходным сигналом сообщения, а электрическая схема усилителя класса C при перемодуляции генерирует дополнительные частотные компоненты в спектре. Это значит, что ни детектирование огибающей, ни демодуляция с перемножением сигналов не смогут восстановить сигнал сообщения без искажений.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

9 - Демодуляция сигнала с двумя боковыми полосами и подавленной несущей (DSBSC)

Эксперимент 9 - Демодуляция сигнала с двумя боковыми полосами и подавленной несущей DSBSC

Предварительное обсуждение

В эксперименте 8 показано, что детектор огибающей может быть использован для восстановления исходного сообщения из сигнала с амплитудной модуляцией (т.е. демодулировать его). К сожалению, детектор огибающей не может быть использован для демодуляции сигнала DSBSC (с двумя боковыми полосами и подавленной несущей).

Чтобы понять почему, вспомним, что детектор огибающей выдаёт сигнал, который является копией огибающей входного сигнала. Такой принцип работы детектора хорошо подходит для демодуляции амплитудно-модулированного сигнала, так как огибающая сигнала в данном случае повторяет по форме сигнал сообщения (при условии, что нет перемодуляции). Однако, вспомним, что огибающая сигнала DSBSC отличается по форме от сигнала сообщения.

По этой причине сигнал DSBSC демодулируется при помощи детектора *произведения* (хотя *демодулятор произведения* - более подходящее название), его блок-схема показана на рисунке 1. Другие названия приборов этого типа демодуляции: синхронный детектор и переключающийся детектор.

Рисунок 1

DSBSC signal - DSBSC сигнал, Multiplier - умножитель, Local carrier - локальный сигнал несущей, Local oscillator - локальный генератор, Low-pass filter - фильтр нижних частот, Demodulated DSBSC signal - демодулированный DSBSC сигнал

Как следует из названия, детектор произведения использует операцию умножения, и чтобы объяснить принцип действия демодулятора, нужно использовать математику. Входной DSBSC сигнал умножается на чистую синусоиду, частота которой совпадает с частотой подавленной несущей сигнала. Эта синусоида генерируется приёмником и называется *локальной несущей*.

Чтобы увидеть, почему данный процесс восстанавливает сигнал сообщения, опишем детектирование произведения математически:

$$\text{DSBSC demodulator's output} = \text{the DSBSC signal} \times \text{the local carrier}$$

(Выход демодулятора DSBSC = DSBSC сигнал × локальная несущая)

Вспомним, что генератор DSBSC включает в себя блок умножения сигнала сообщения и несущей, который выдаёт сигналы с частотами, равными сумме и разности частот сигнала сообщения и несущей (этот вопрос обсуждался в эксперименте 6). Тогда, после подстановки DSBSC сигнал можно записать, как:

$$\text{DSBSC demodulator's output} = [(\text{carrier} + \text{message}) + (\text{carrier} - \text{message})] \times \text{carrier}$$

(Выход демодулятора DSBSC = [(несущая + сообщение) + (несущая - сообщение)] × несущая)

Решив это уравнение, получим четыре синусоиды со следующими частотами:

- Несущая + (несущая + сообщение)
- Несущая + (несущая - сообщение)
- Несущая - (несущая + сообщение) = сообщение
- Несущая - (несущая - сообщение), = сообщение

(Если вы не уверены, что именно эти синусоиды получились, то вспомните - при умножении двух чистых синусоид дополнительно генерируются две новые синусоиды. Одна - с частотой равной сумме частот исходных синусоид, а другая - с частотой равной разности исходных частот.)

Заметим, что две из получившихся частот имеют частоту сигнала сообщения. Другими словами, сигнал сообщения восстановлен. Так как два сигнала сообщения имеют одинаковую фазу, они просто складываются и получается один сигнал с большей амплитудой.

Заметим также, что две из результирующих синусоид не являются сигналом сообщения. Эти синусоиды нам не нужны, поэтому используется фильтр низких частот, чтобы подавить их, сохранив при этом сигнал сообщения.

Эксперимент

В этом эксперименте вы будете использовать Emona DATeX для генерации DSBSC сигнала на основе его математической модели. Затем соберёте детектор произведения, также реализовав его математическую модель.

Сделав это, подадите сигнал DSBSC на вход детектора произведения и сравните демодулированный выходной сигнал с исходным сигналом сообщения и огибающей сигнала DSBSC. Вы также будете наблюдать влияние искажённого из-за перегрузки сигнала DSBSC на выходной сигнал детектора произведения.

В заключение, если позволит время, вы исследуете влияние асинхронной локальной несущей на работу детектора произведения.

На выполнение всего эксперимента потребуется около 1 часа.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)
- Стереонаушники

Порядок выполнения (* относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Сборка DSBSC модулятора

Для проведения эксперимента с DSBSC демодуляцией сформируем DSBSC сигнал.

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение Manual (ручной).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.
Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATeX и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATeX.

11. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
12. Настройте осциллограф в соответствии с инструкцией к эксперименту 1 (страница 1-13), убедившись, что элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) установлен в положение *CH A*.
13. Соберите схему, как показано на рисунке 2.

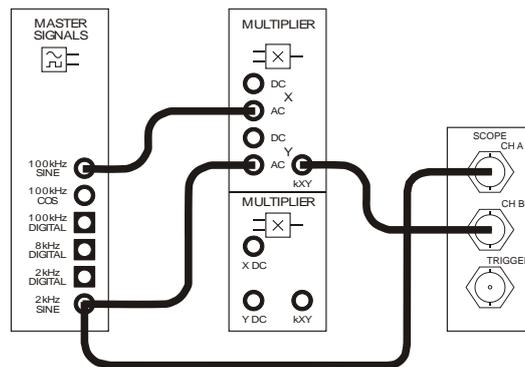


Рисунок 2

Эта схема может быть представлена блок-схемой на рисунке 3. Данная схема генерирует несущую 100 кГц, которая модулируется по методу DSBSC сигналом сообщения в виде синусоиды с частотой 2 кГц.

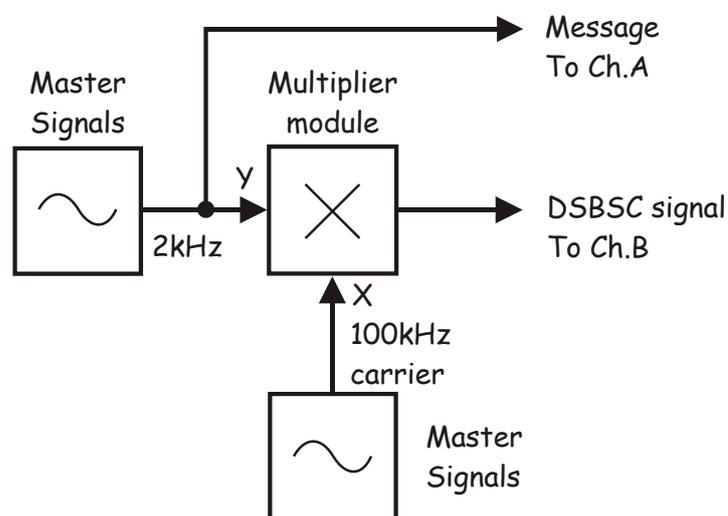


Рисунок 3

Master Signals - генератор опорных частот, Multiplier module - модуль умножителя,
 100 kHz carrier - сигнал несущей частотой 100 кГц,
 Message To Ch.A - сообщение к каналу A, DSBSC signal To Ch.B - DSBSC сигнал к каналу B,



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

14. Отрегулируйте осциллограф с помощью элемента управления *Timebase* (масштаб по оси времени) так, чтобы видеть примерно два периода выходного сигнала модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов).
15. Настройте *Channel B* (канал В) осциллографа так, чтобы видеть сигнал *DSBSC*, поступающий с выхода модуля *Multiplier* (Умножитель) так же хорошо, как сигнал сообщения.

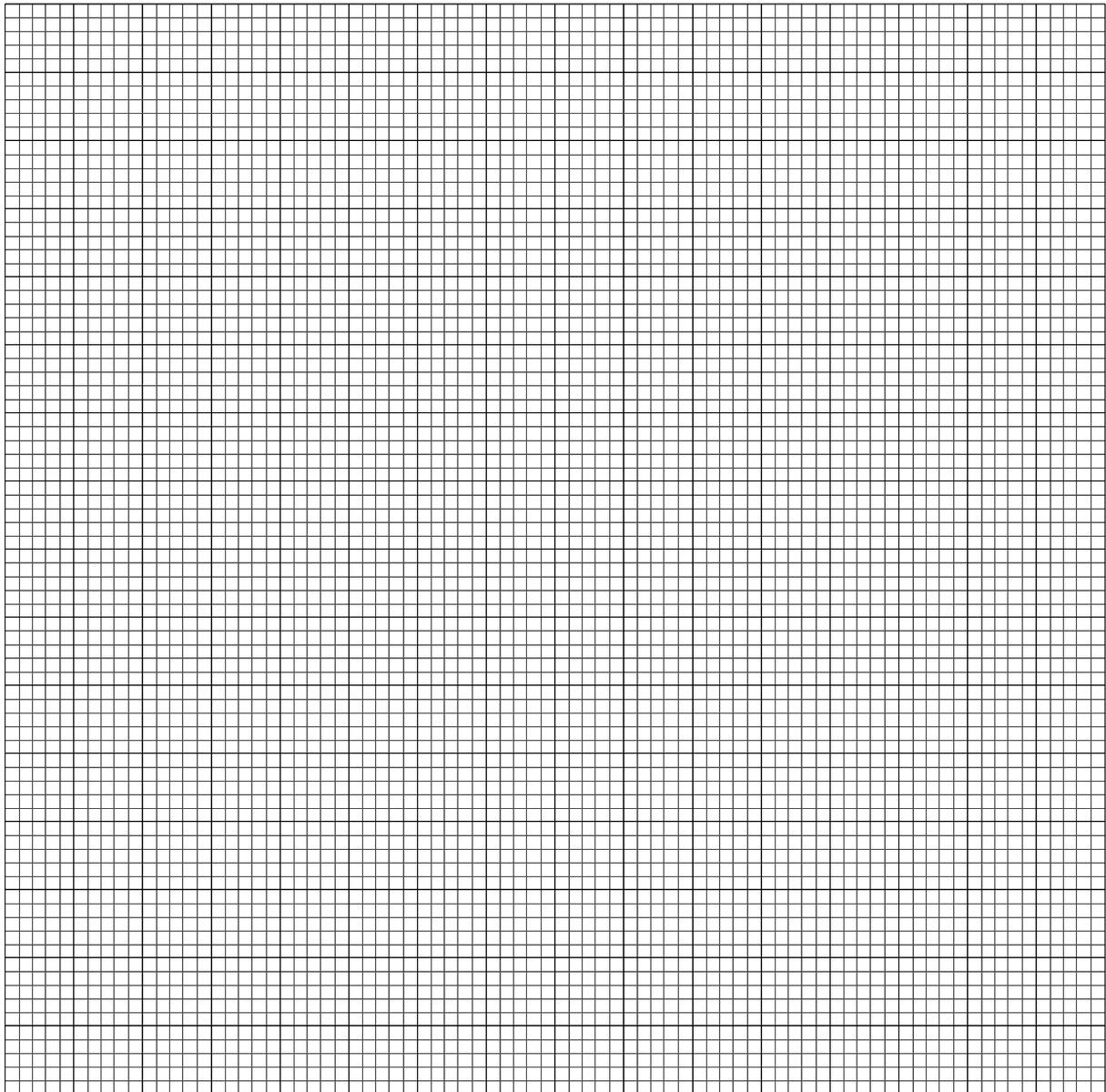
Примечание: Если на выходе модуля *Multiplier* нет *DSBSC* сигнала, проверьте выполненные соединения.

16. Установите элемент управления *Channel A Scale* (Масштаб в канале А) в положение *1V/div* (1 В/дел.), элемент управления *Channel B Scale* в положение *(2V/div) 2 В/дел.*
17. Зарисуйте с соблюдением масштаба две осциллограммы сигналов на расположенном ниже поле графика, оставив место, чтобы можно было нарисовать третий сигнал.

Совет: Нарисуйте сигнал сообщения в верхней трети графика, а сигнал *DSBSC* в середине.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности **ELVIS I**.
В **ELVIS II** имеются следующие отличия:

- *CH A* (Канал А) и *CH B* (Канал В) осциллографа в **ELVIS II** обозначены соответственно *CH0* (Канал 0) и *CH1* (Канал 1)
- В **ELVIS II** режим *Manual* (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим *Manual* (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (*FM*), установите элемент управления *modulation* (модуляция) в положение *FM*, чтобы можно было использовать вход *DATEx VCO IN* (вход генератора, управляемого напряжением)



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Восстановление сигнала сообщения при помощи детектора произведения

18. Найдите модуль Tuneable Low-pass Filter (Регулируемый фильтр низких частот) на программной лицевой панели DATeX и установите его виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) примерно в среднее положение.
19. Поверните виртуальный элемент управления *Cut-off Frequency Adjust* (Регулировка частоты среза) модуля Tuneable Low-pass Filter (Регулируемый фильтр низких частот) по часовой стрелке до упора.
20. Измените схему, как показано на рисунке 4.

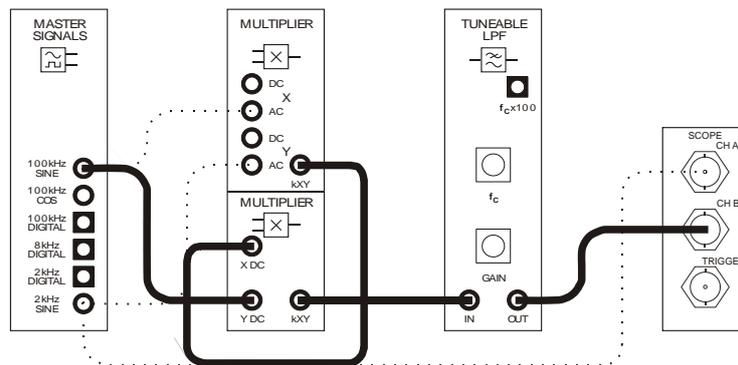


Рисунок 4

Скорректированная схема может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 5. Модули умножителя и регулируемого фильтра низких частот используются для реализации детектора произведения, который демодулирует сигнал DSBSC для получения исходного сообщения.

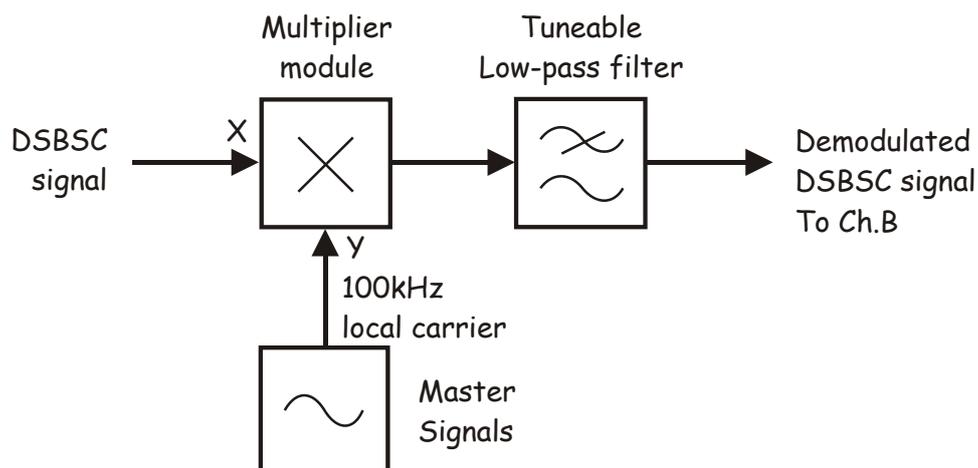


Рисунок 5

DSBSC signal - - DSBSC сигнал, Multiplier module - модуль умножителя,
 100 kHz local carrier - локальный сигнал несущей частотой 100 кГц,
 Master Signals - генератор опорных частот, Tuneable Low-pass Filter - регулируемый фильтр низких частот,
 Demodulated DSBSC signal To Ch.B - демодулированный DSBSC сигнал к каналу B

Полностью установка может быть представлена блок-схемой, показанной на рисунке 6. На блок-схеме несущая модулятора "заимствуется" в демодуляторе в качестве локальной несущей для детектора произведения. Соответственно две несущие синхронны, что является необходимым условием при передаче DSBSC сигнала.

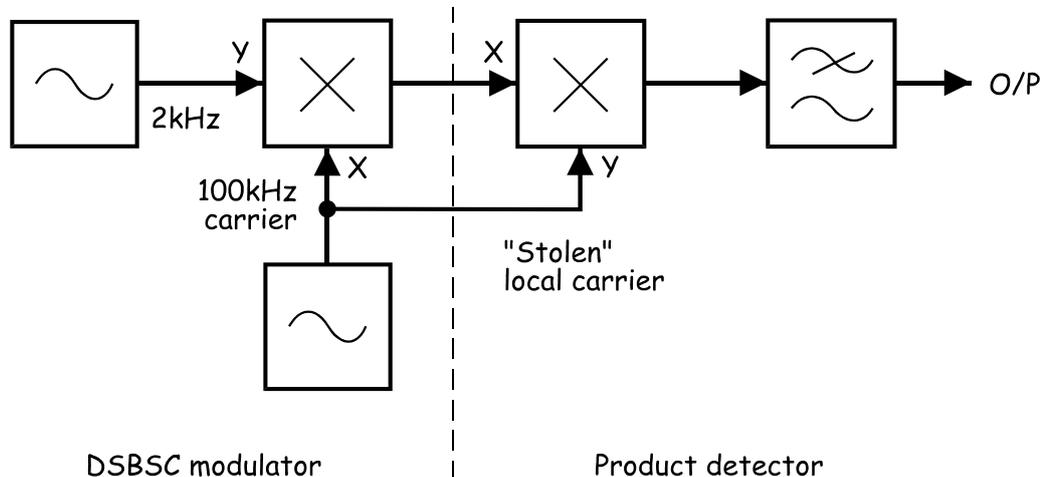


Рисунок 6

DSBSC modulator - DSBSC модулятор: 100 kHz carrier - сигнал несущей частотой 100 кГц,
 Product detector - детектор произведения: "Stolen" local carrier - "заимствованная" локальная несущая

21. Нарисуйте с соблюдением масштаба демодулированный сигнал DSBSC на свободном месте графика.

Вопрос 1

Почему для восстановления сигнала сообщения нужно использовать детектор произведения вместо детектора огибающей? **Совет:** Если вы не уверены, обратитесь к пункту предварительного обсуждения тем.

Потому что огибающая сигнала DSBSC не является копией сигнала сообщения (в качестве альтернативы, вы можете сказать, что без несущей произведение компонентов входного сигнала детектора огибающей есть сигнал, частота которого не совпадает с частотой сигнала сообщения).

	<p>Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.</p>
---	--

Часть С - Определение амплитуды восстановленного сигнала сообщения

22. Найдите модуль Amplifier (Усилитель) на программной лицевой панели DATEx и поверните его виртуальный элемент управления Gain (Усиление) примерно на четверть шкалы.
23. Отсоедините разъем от выхода 2kHz SINE (синусоида 2 кГц) модуля Master Signals (Генератор опорных сигналов).
24. Используйте модуль Amplifier (Усилитель) в схеме, показанной на рисунке 7.

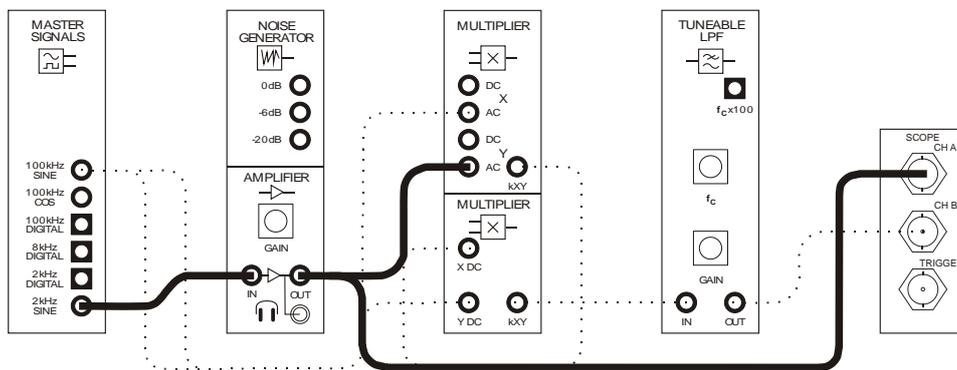


Рисунок 7

Схеме, изображенной на рис. 7, соответствует блок-схема на рисунке 8. Регулировка усиления модуля Amplifier (Усилитель) позволяет изменять амплитуду сигнала сообщения.

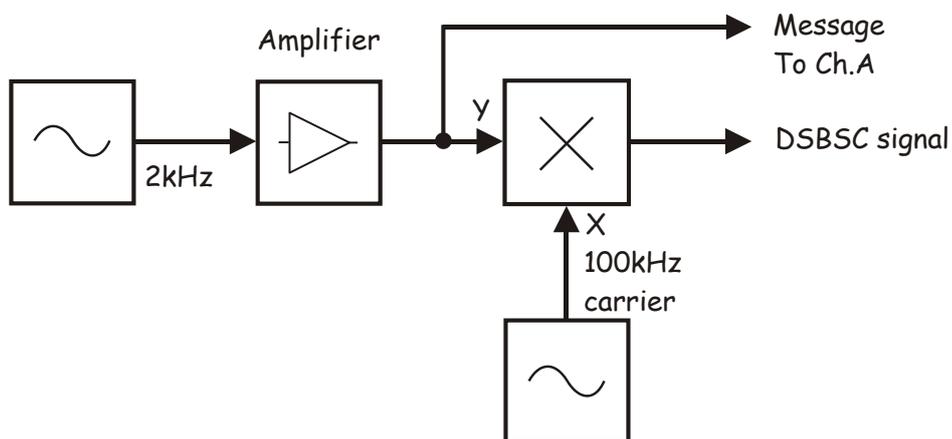


Рисунок 8

100 kHz carrier - сигнал несущей частотой 100 кГц, Amplifier - усилитель, Message To Ch.A - сообщение к каналу A, DSBSC signal - DSBSC сигнал,

25. Слегка увеличивайте и уменьшайте амплитуду сигнала сообщения (плавно вращая виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* (Усилитель)), наблюдайте при этом за демодулированным сигналом.

Напоминание: Вы можете использовать клавишу TAB и клавиши со стрелками для точной подстройки элементов управления DATEx.

Вопрос 2

Каково соотношение между амплитудами двух сигналов сообщения?

Увеличение амплитуды сигнала исходного сообщения приводит к увеличению амплитуды восстановленного сигнала.

26. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения до максимума, пока демодулированный сигнал не начнёт искажаться.

Вопрос 3

Как вы думаете, что является причиной искажения демодулированного сигнала?

Совет: Если вы не уверены в ответе, подключите вход канала A осциллографа к выходу модулятора DSBSC и установите его элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) в положение *CH B*.

Перегрузка по входу У множителя (не перемодуляция).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D – Передача и восстановление речи с использованием модуляции DSBSC

В предыдущей части эксперимента вы собрали DSBSC систему передачи данных для "передачи" синусоиды 2 кГц. В следующей части эксперимента вы используете эту систему для модуляции, передачи, демодуляции и прослушивания речи.

27. Если вы изменяли подключение входа Channel A осциллографа и положение элемента управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска), чтобы ответить на вопрос 3, верните всё в исходное состояние.
28. Измените установку, как показано на рисунке 9.

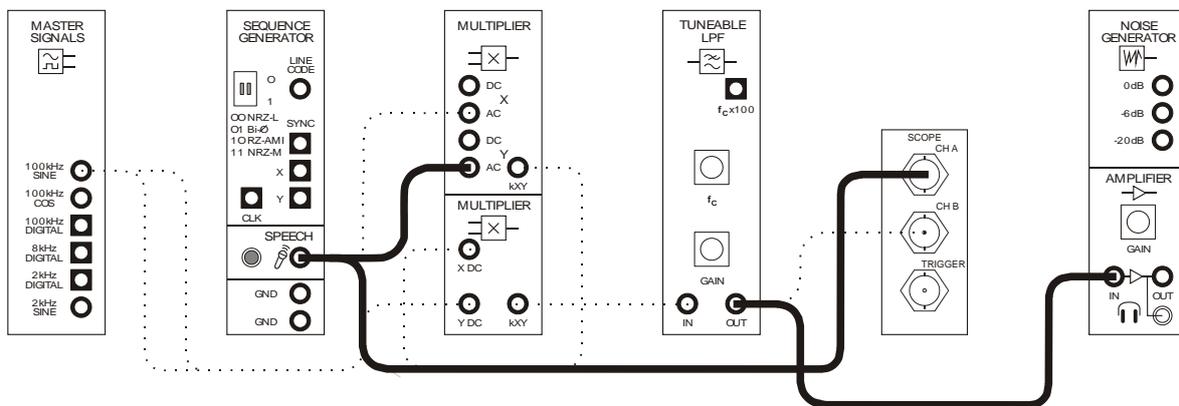


Рисунок 9

29. Установите элемент управления *Timebase* (масштаб по оси времени) осциллографа в положение $500\mu\text{s}/\text{div}$ (500 мкс/дел).
30. Поверните виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* (Усилитель) против часовой стрелки до упора.
31. Не надевая наушников, подключите их в гнездо для наушников модуля усилителя.
32. Наденьте наушники.
33. Когда будете выполнять следующий шаг, установите с помощью виртуального элемента управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* комфортный уровень звука.
34. Шумите и говорите в микрофон, наблюдая при этом осциллограммы сигнала и слушая звук в наушниках.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть E – Синхронизация несущей

Для правильной работы систем связи, основанных на методе модуляции DSBSC, ключевым фактором является синхронизация несущего сигналом модулятора и локальной несущей детектора произведения. Любое различие фаз или частот этих двух сигналов неблагоприятно влияет на работу системы.

Эффект ошибки по фазе

Вспомним, что детектор произведения выдаёт две копии сигнала сообщения. Вспомним также, что они находятся в фазе друг с другом и поэтому просто складываются, увеличивая сигнал сообщения.

Однако, если возникает разность фаз несущих, то появляется ошибка по фазе в двух копиях сигнала сообщения, восстанавливаемого детектором произведения. К одному из них фазовая погрешность добавляется, а из другого вычитается. Другими словами, два сигнала сообщения находятся не в фазе друг с другом.

Если ошибка в фазе маленькая (примерно 10°), два сигнала сообщения всё ещё складываются, формируя один сигнал большей амплитуды, но не настолько большой, какая могла бы быть, если бы несущие были в фазе. Когда фазовая погрешность несущих увеличивается, восстанавливаемый сигнал сообщения становится меньше. Если же ошибка фазы превышает 45° , две копии сигнала сообщения начинают вычитаться друг из друга. Как только ошибка в фазе несущих становится равной 90° , разность фаз двух сигналов сообщения достигает 180° и сигналы полностью гасят друг друга.

Следующая часть эксперимента позволит вам наблюдать эффект от фазовой ошибки несущих.

35. Снова поверните виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) модуля *Amplifier* (Усилителя) против часовой стрелки до упора.
36. Верните элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) осциллографа в положение $100\mu\text{s}/\text{div}$ (100 мкс/дел).
37. Найдите модуль *Phase Shifter* (Фазовращатель) на программной панели DATEx и установите его виртуальный элемент управления *Phase Change* (Изменение фазы) в положение 180° .
38. Установите виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля *Phase Shifter* (Фазовращатель) в среднее положение.

39. Измените схему соединений модулей, как показано на рисунке 10.

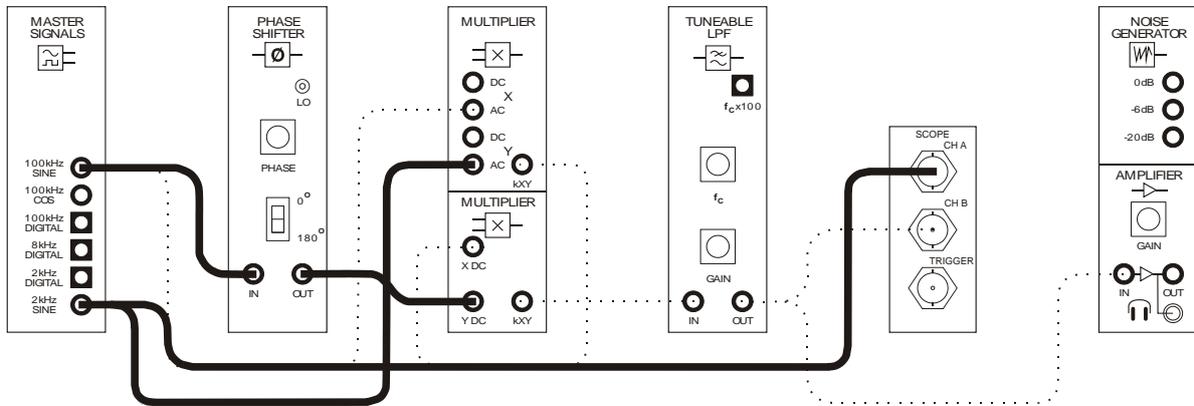


Рисунок 10

Вся установка может быть представлена блок-схемой на рисунке 11. Модуль Phase Shifter (Фазовращатель) позволяет вносить сдвиг фаз (ошибку) между несущей DSBSC модулятора и локальной несущей детектора произведения.

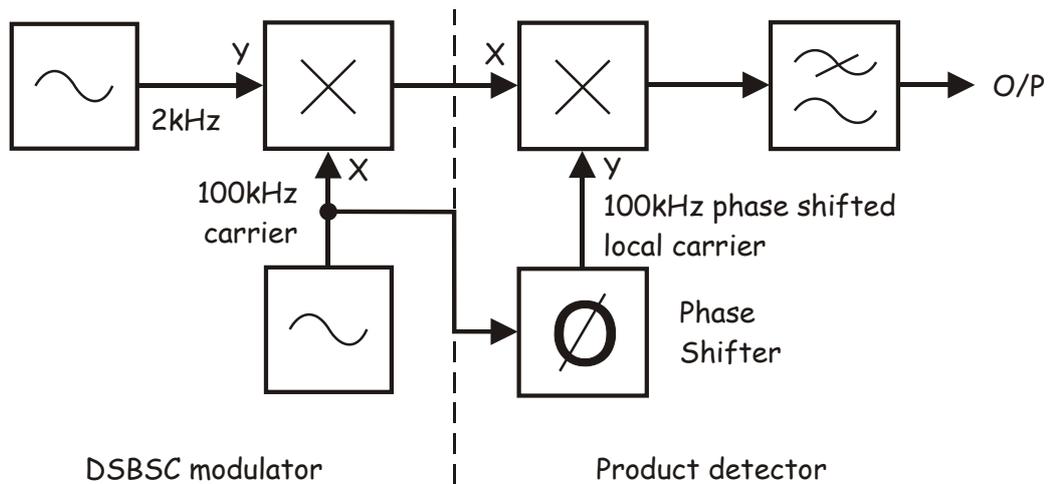


Рисунок 11

DSBSC modulator - DSBSC модулятор: 100 kHz carrier - сигнал несущей частотой 100 кГц;
 Product Detector - детектор произведения:
 100 kHz phase shifted local carrier - сигнал локальной несущей частотой 100 кГц, сдвинутый по фазе
 Phase Shifter - Фазовращатель,

40. Медленно увеличивайте усиление модуля Amplifier (Усилитель), пока не станет хорошо слышимым демодулированный тон частотой 2 кГц.
41. Регулируйте влево и вправо виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель), наблюдая и слушая, как это сказывается на восстановленном сигнале сообщения.
42. С помощью клавиш клавиатуры *TAB* и клавиши со стрелкой влево поворачивайте виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) против часовой стрелки до тех пор, пока восстанавливаемый сигнал сообщения не станет минимальным.

Вопрос 4

Каково приемлемое значение фазовой ошибки между двумя несущими для заданного значения амплитуды восстановленного сигнала? **Совет:** Если вы не уверены в ответе на этот и на следующий вопросы, перечитайте примечания на странице 9-13.

90° или очень близко к этому (при разности фаз в 180° между двумя сигналами сообщениями сигнал сообщения полностью подавляется)

43. Проверьте свой ответ на вопрос 4, подключив вход Channel A (Канал А) осциллографа к выходу *100kHz SINE* (синусоида 100 кГц) модуля Master Signals (Генератор опорных сигналов), а вход Channel B (Канал В) к выходу модуля Phase Shifter (Фазовращатель) и установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) в положение *5μs/div* (5 мкс/дел.).
44. Поворачивайте виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) с помощью клавиши *TAB* и клавиши со стрелкой влево до совпадения фаз двух сигналов.

Вопрос 5

Пусть две несущие синфазны, какова будет амплитуда восстановленного сигнала сообщения?

Максимальная.

45. Проверьте свой ответ на вопрос 5, переключив вход Channel A (Канал А) осциллографа к выходу *2kHz SINE* (синусоида 2 кГц) модуля Master Signals (Генератор опорных сигналов), а вход Channel B (Канал В) к выходу модуля Tuneable Low-pass Filter (Регулируемый фильтр нижних частот) и установите элемент управления *Timebase* (Масштаб по оси времени) в положение *100μs/div* (100 мкс/дел.).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Эффект от несовпадения частот

При несовпадении частот несущей DSBSC сигнала и локальной несущей детектора произведения, возникает соответствующая ошибка по частоте в двух сигналах произведений, частоты которых обычно равны. Частота одного из произведений равна разности частоты сообщения и отклонения частот, а частота другого их сумме.

Если ошибка по частоте невелика (скажем, 0,1 Гц), то два сигнала будут попеременно усиливать и ослаблять друг друга, это приведёт к тому, что сообщение периодически будет то неслышно, то слышно ясно. Если ошибка по частоте будет больше (скажем, 5 Гц), сообщение будет вполне ясным, но точность воспроизведения будет низкой. Когда же ошибка по частоте станет еще больше, разборчивость сообщения серьёзно пострадает.

Следующая часть эксперимента позволит наблюдать эффекты, связанные с несовпадением частот несущей.

46. Установите переключатель *Control Mode* (Режим управления) функционального генератора NI ELVIS в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
47. Запустите программу (VI) виртуального прибора *Function Generator* (Функциональный генератор).
48. Включите функциональный генератор и настройте его виртуальные элементы управления так, чтобы получить выходной сигнал со следующими характеристиками:
 - *Waveshape: Sine* (Форма сигнала: синусоида)
 - *Frequency: 100kHz exactly* (Частота: точно 100 кГц, по цифровому табло)
 - *Amplitude: 4Vp-p* (Амплитуда: 4 В (пиковая))
 - *DC Offset: 0V* (Смещение по постоянному току: 0 В)

49. Измените схему соединений, как показано на рисунке 12.

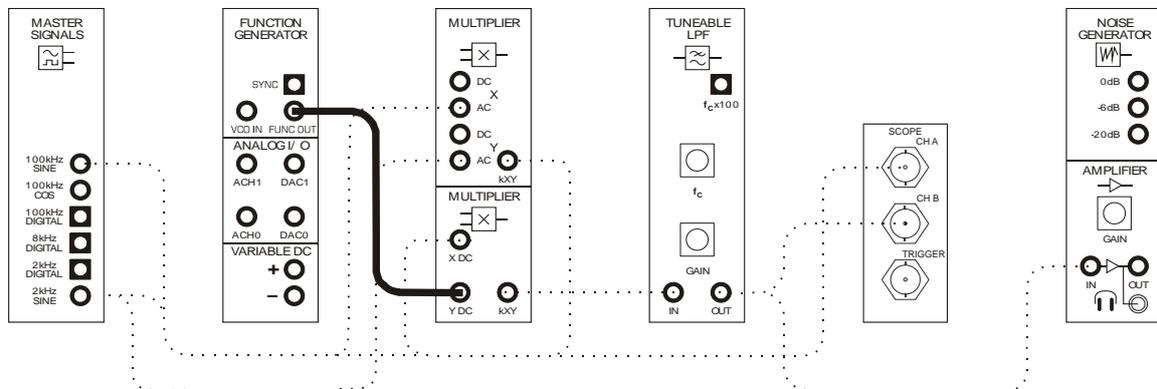


Рисунок 12

Вся установка может быть представлена блок-схемой, показанной на рисунке 13.

Функциональный генератор позволяет локальной несущей быть полностью независимой по частоте (и фазе) от DSBSC модулятора.

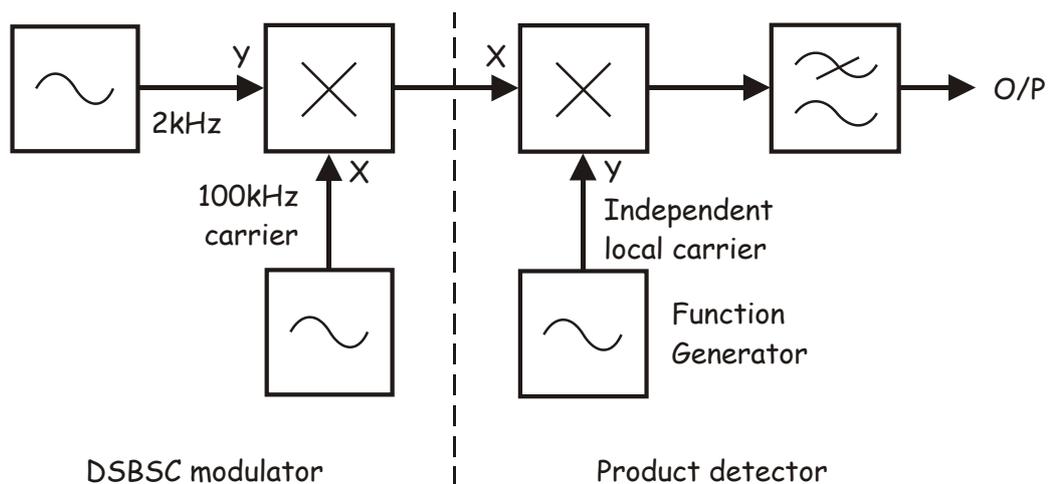


Рисунок 13

DSBSC modulator - DSBSC модулятор; 100 kHz carrier - сигнал несущей частотой 100 кГц;
 Product Detector - детектор произведения; Function Generator - функциональный генератор,
 Independent local carrier - независимая локальная несущая

50. Если вы уже всё сделали, послушайте восстановленный сигнал в наушниках.
51. Сравните измеренные при помощи осциллографа частоты исходного сигнала сообщения и восстановленного сигнала сообщения.

Примечание: Вы должны обнаружить, что их частоты очень близки.

52. Уменьшите выходную частоту функционального генератора до 99.8 кГц.
53. Дайте функциональному генератору около 15 секунд, чтобы нужная частота установилась, и обратите внимание на изменения тона восстановленного сигнала сообщения.

Совет: Если вы не помните, как звучит сигнал 2 кГц, отсоедините проводник от выхода функционального генератора и присоедините его к выходу *100kHz SINE* (синусоида 100 кГц) модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов) на несколько секунд. В этом случае частоты двух несущих снова совпадут, и сигнал сообщения будет восстановлен.

54. Поэкспериментируйте с другими частотами локальной несущей вблизи 100 кГц и послушайте, как это отразится на восстановленном сигнале сообщения.
55. Верните частоту выходного сигнала функционального генератора 100 кГц.
56. Отсоедините проводник от выхода *2kHz SINE* (синусоида 2 кГц) модуля *Master Signals* (Генератор опорных сигналов) и подсоедините его к выходу модуля *Speech* (Преобразователь речевых сигналов).
57. Шумите и говорите в микрофон, и убедитесь, что установка в целом ещё работает правильно.
58. Снова измените частоту функционального генератора и послушайте, как отобразится рассинхронизация локальной несущей на воспроизводимом речевом сигнале.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

ф.И.О.: _____

Группа: _____

10 - Модуляция и демодуляция сигнала с одной боковой полосой и подавленной несущей (SSBSC)

Эксперимент 10 – Модуляция и демодуляция сигнала с одной боковой полосой и подавленной несущей SSBSC

Предварительное обсуждение

Сравнивая две коммуникационные системы, обсуждавшиеся раньше в этом руководстве, заметим, что модуляция DSBSC позволяет существенно сэкономить мощность по сравнению с АМ (примерно 66 %), т.к. не передаёт несущую. Однако обе системы генерируют и передают сумму и разность частот (верхнюю и нижнюю боковые частоты), и поэтому они имеют одинаковую ширину полосы для одного и того же сигнала сообщения.

Система с *Одной Боковой Частотой и Подавленной Несущей - Single Sideband Suppressed Carrier (SSBSC или просто SSB)*, как следует из названия, передаёт только одну боковую частоту. Другими словами, SSB передаёт либо сумму, либо разность частот, но не обе сразу. Обратите внимание, не имеет значения, какую из боковых частот использовать, потому что каждая из них содержит всю информацию об исходном сигнале.

Для передачи только одной боковой частоты, SSB, требуется только половина ширины полосы DSBSC или АМ, и это является существенным преимуществом.

На рисунке 1 показаны простой сигнал сообщения (*Message*), немодулированная несущая (*Unmodulated carrier*) и результат модуляции SSBSC (*SSB signal*). Если вы внимательно посмотрите, то увидите, что частота промодулированной несущей, отличается и от частоты несущей, и от частоты сигнала сообщения.

• • • • •

Рисунок 1

Обычный способ генерации SSB сигнала включает в себя получение DSBSC сигнала, а затем использование фильтра, чтобы отрезать и передать только одну из боковых частот. Этот способ известен как *метод фильтрации*. Однако две боковые частоты в DSBSC сигнале очень близки по частоте и приходится использовать специализированные фильтры. Такие фильтры могут быть дорогими и не находят широкого применения.

Другой метод получения SSB сигнала называется *методом фазирования*, и он становится всё более популярным. Этот метод использует методику *разделения фаз*, чтобы убрать одну из боковых частот ещё на стадии генерации сигнала (вместо того, чтобы фильтровать её после модуляции).

В теории телекоммуникаций математическая модель, описывающая данный процесс, имеет следующий вид:

$$SSB = (\text{message} \times \text{carrier}) + (\text{message with } 90^\circ \text{ of phase shift} \times \text{carrier with } 90^\circ \text{ of phase shift})$$

$$(SSB = (\text{сообщение} \times \text{несущая}) + (\text{сообщение со сдвигом фазы на } 90^\circ \times \text{несущая со сдвигом фазы на } 90^\circ))$$

Если вы посмотрите внимательно на уравнение, то заметите, что оно представляет собой сумму двух произведений. Когда сигнал сообщения является простой синусоидой, решением уравнения являются четыре синусоиды. В зависимости от того, сдвигается ли фаза сигнала сообщения на $+90^\circ$ или на -90° , их частоты и сдвиги по фазе различаются:

Так...	Или так...
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Несущая + сообщение ▪ Несущая - сообщение ▪ Несущая + сообщение ▪ Несущая - сообщение (со сдвигом фазы на 180°) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Несущая + сообщение ▪ Несущая - сообщение ▪ Несущая + сообщение (со сдвигом фазы на 180°) ▪ Несущая - сообщение

Независимо от того, сдвинут ли сигнал сообщения по фазе на $+90^\circ$ или на -90° , когда складываются четыре синусоиды, две из них находятся в фазе и, складываясь, дают одну синусоиду (либо несущая + сообщение, либо несущая - сообщение), а две другие имеют противоположные фазы и полностью уничтожаются. Другими словами, такой процесс формирует только сумму или только разность сигналов (а это и есть одна боковая частота).

Блок-схема, реализующая SSB модуляцию методом фазирования, показана на рисунке 2.

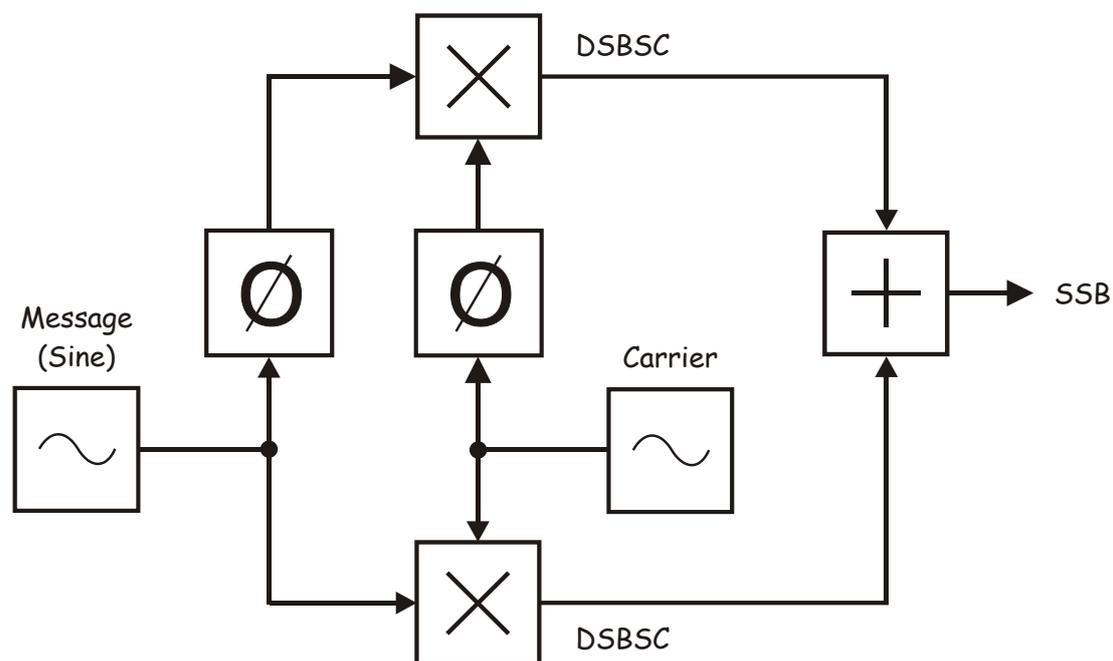


Рисунок 2

Message (Sine) - сообщение (синусоида), DSBSC - сигнал с 2-мя боковыми полосами и подавленной несущей, Carrier - несущая, SSB - сигнал с 1-ой боковой полосой и подавленной несущей

Так как SSB сигнал не содержит несущей, то он должен быть демодулирован при помощи детектора произведения, таким же способом, как DSBSC сигнал (принцип работы детектора произведения рассматривался в предварительном обсуждении к эксперименту 9).

Эксперимент

В этом эксперименте вы будете использовать Emona DATEx для того, чтобы, реализуя математическую модель, сгенерировать SSB сигнал методом фазирования. В дальнейшем вы воспользуетесь детектором произведения (с "заимствованной" несущей) для того, чтобы восстановить сигнал сообщения.

Вы будете делать это только для сообщения в виде синусоиды (имеется ввиду, что вы не будете методом SSB модулировать и демодулировать речь). Для этого есть реальные причины. Фазовый сдвиг, создаваемый в модуле Phase Shifter (Фазовращатель) DATEx зависит от частоты (т.е., при прочих одинаковых настройках сдвиг фазы различен для разных частот). Нужна схема широкополосного фазовращателя, чтобы обеспечить сдвиг на 90° для всех синусоид в таком сложном сигнале сообщения, как речь.

На выполнение эксперимента потребуется около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация SSB сигнала для простого сигнала сообщения

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение "PC CONTROL" (Управление от компьютера).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
Примечание: все эти действия могли быть выполнены ранее.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ.
Примечание: Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NI DAQ.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATeX и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATeX.

11. Установите переключатель *Control Mode* (Режим управления) функционального генератора NI ELVIS в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора *Function Generator* (Функциональный генератор).
13. Включите функциональный генератор и настройте его виртуальные элементы управления так, чтобы получить выходной сигнал со следующими характеристиками:
 - *Waveshape*: Sine (Форма сигнала: синусоида)
 - *Frequency*: 10 kHz exactly (Частота: точно 10 кГц, по цифровому табло)
 - *Amplitude*: 4Vp-p (Амплитуда: 4 В пиковая)
 - *DC Offset*: 0V (Смещение по постоянному току: 0 В)
14. Сверните окно программы виртуального функционального генератора.
15. Соберите схему, изображенную на рисунке 3.

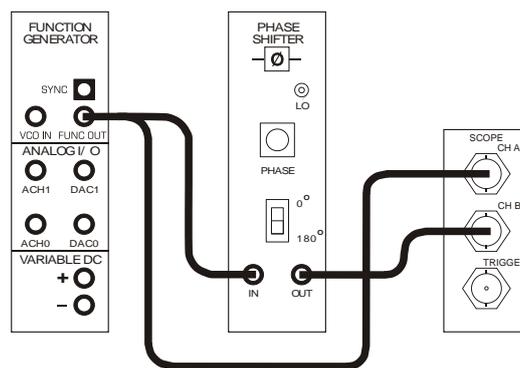


Рисунок 3

Эта схема может быть представлена блок-схемой на рисунке 4 (на следующей странице) и используется для получения двух сигналов сообщения, не совпадающих по фазе.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

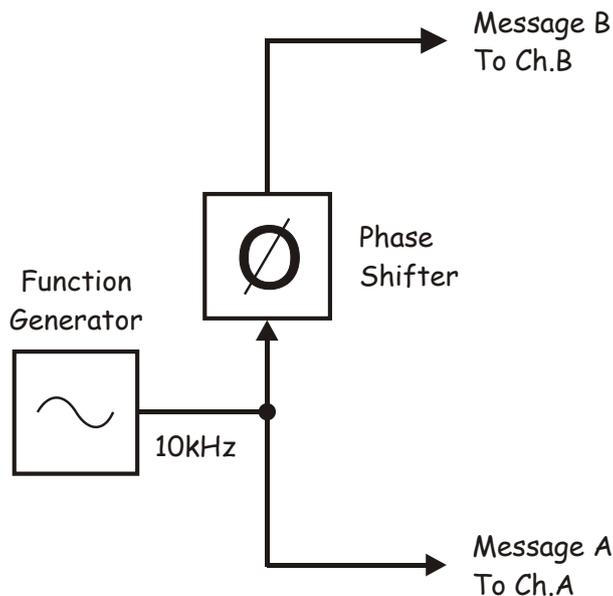


Рисунок 4

Function Generator - функциональный генератор, Phase Shifter - фазовращатель,
 Message B To Ch.B - сообщение B к каналу B, Message A To Ch.A - сообщение A к каналу A

16. Найдите модуль Phase Shifter (Фазовращатель) на программной лицевой панели DATeX и установите его виртуальный элемент управления *Phase Change* (Изменение фазы) в положение 180° .
 17. Установите виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) в среднее положение.
 18. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
 19. Настройте осциллограф в соответствии с инструкцией к эксперименту 1 и установите его элемент управления *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) в положение *SYNC_OUT*.
 20. Отрегулируйте элементом управления *Timebase* масштаб по оси времени осциллографа так, чтобы видеть примерно два периода выходного сигнала модуля Function Generator (Функциональный генератор).
 21. Активируйте канал B осциллографа.
 22. Убедитесь, что два сигнала сообщения не совпадают по фазе.
- Примечание:** На этом этапе не важно, какова разность фаз двух сигналов.
23. Измените схему соединений, как показано на рисунке 5 на следующей странице.

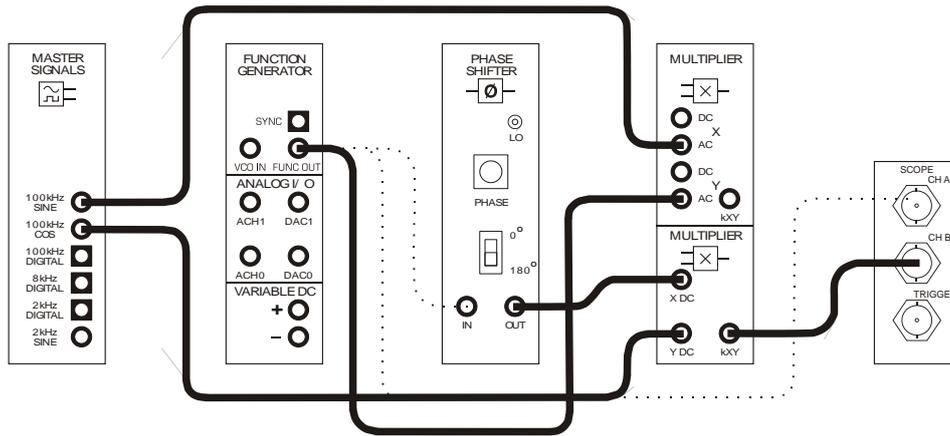


Рисунок 5

Эта схема может быть представлена блок-схемой на рисунке 6. Она используется для умножения двух сигналов сообщения на две синусоиды 100 кГц (несущие), которые сдвинуты по фазе друг относительно друга ровно на 90° .

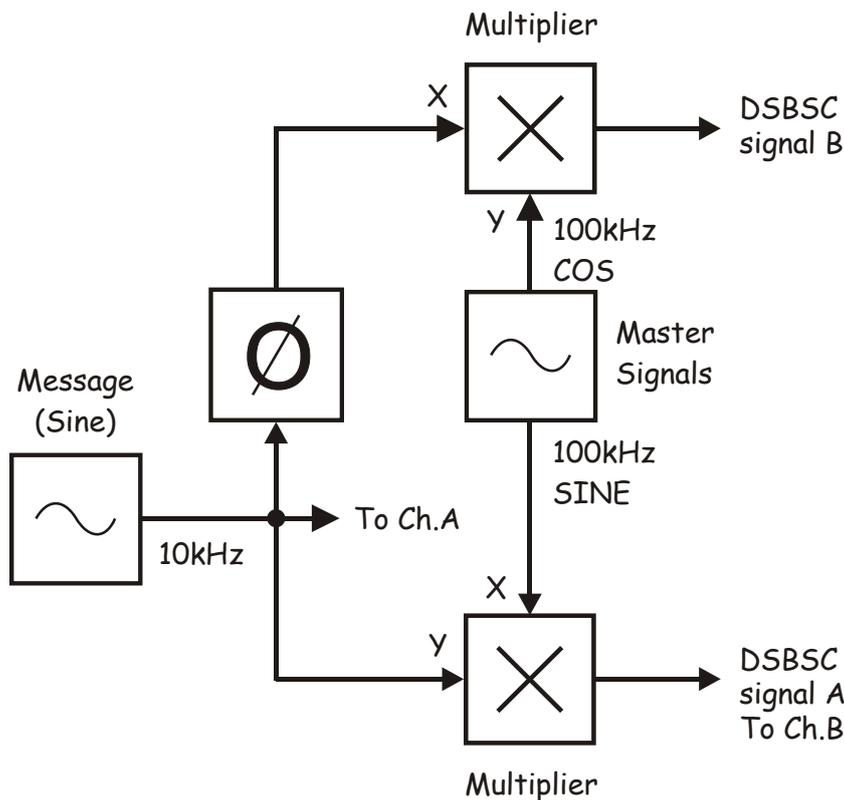


Рисунок 6

Message (Sine) - сообщение (синусоида), To Ch.A - к каналу А, Multiplier- умножитель, 100 kHz COS - 100 кГц косинус, 100 kHz SIN - 100 кГц синус, Master Signals - генератор опорных сигналов, DSBSC signal B - DSBSC сигнал B, DSBSC signal A To Ch.B - DSBSC сигнал А к каналу В

24. Воспользуйтесь осциллографом, чтобы убедиться, что выходной сигнал нижнего умножителя является DSBSC сигналом.
- Совет:** Для этого временно установите элемент управления *Channel B Scale* (Масштаб в канале В) осциллографа в положение 2 В/дел.
25. Отсоедините вход канала В осциллографа от выхода нижнего модуля умножителя и подключите его к выходу верхнего модуля умножителя.
 26. Убедитесь в том, что выходной сигнал верхнего модуля умножителя также является DSBSC сигналом.
 27. Найдите модуль *Adder* (Сумматор) на программной панели DATEx и установите виртуальные элементы управления *G* и *g* в среднее положение.
 28. Измените схему соединений, как показано на рисунке 7.

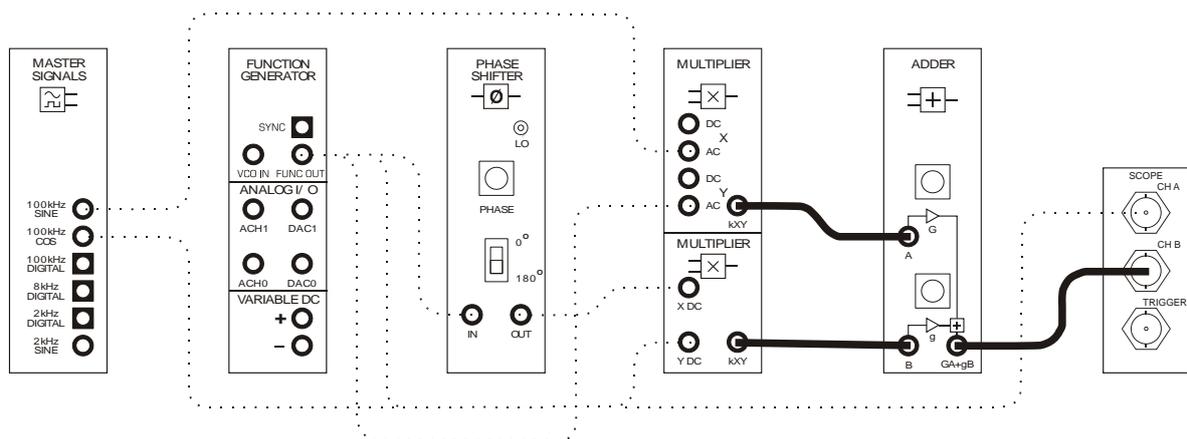


Рисунок 7

Эта схема может быть представлена блок-схемой на рисунке 8 (на следующей странице). Модуль сумматора используется, чтобы сложить два DSBSC сигнала. Соотношение фаз между синусоидами в DSBSC сигналах подразумевает, что две из синусоид (по одной в каждой из боковых полос) усиливают друг друга, а две другие уничтожают друг друга.

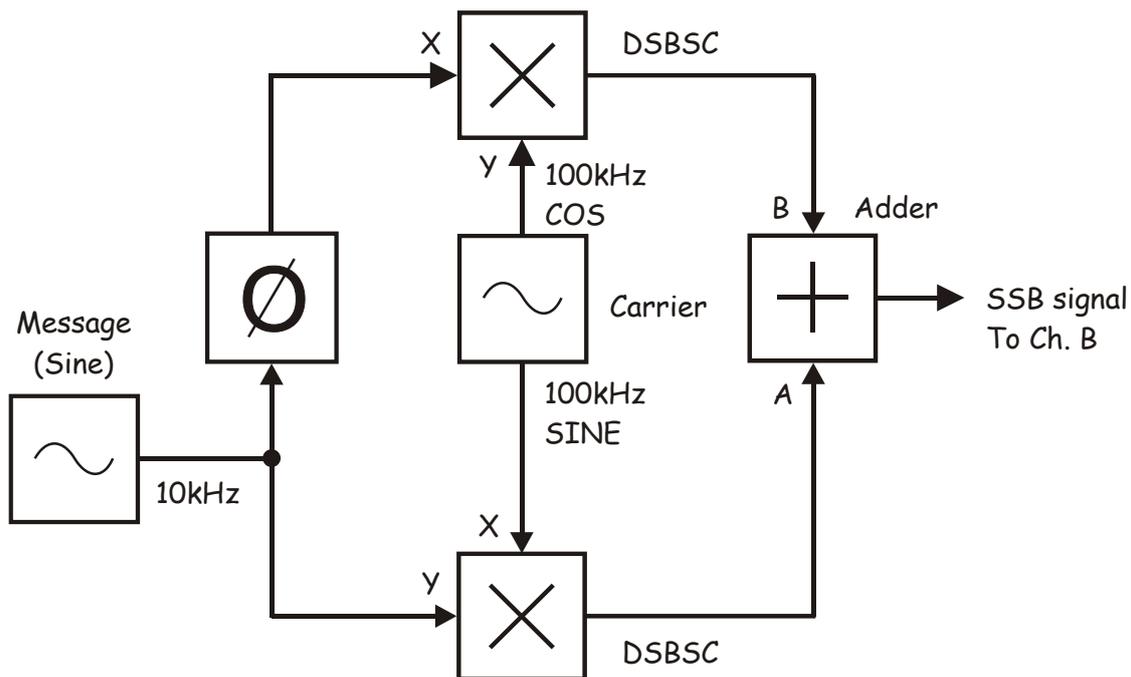


Рисунок 8

Message (Sine) - сообщение (синусоида), DSBSC signal - DSBSC сигнал, Carrier - несущая, 100 kHz COS - 100 кГц косинус, 100 kHz SIN - 100 кГц синус, Adder - Сумматор, SSB signal To Ch.B - SSB сигнал к каналу B,

Вопрос 1

Выходной сигнал модуля сумматора совсем не похож на сигнал SSB. Каковы две причины, определяющие это?

Совет: Если вы не уверены в ответе, одну из причин можно обнаружить, перечитав раздел предварительного обсуждения тем.

1) Разность фаз двух сигналов сообщения, возможно, не равна 90° .

2) Чтобы выходной сигнал модуля сумматора соответствовал ожидаемому, коэффициенты усиления по его обоим входам должны быть равны.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

В следующей части эксперимента вы выполните точную настройку схему для того, чтобы перевести ее в режим настоящего SSB модулятора.

29. Деактивируйте вход канала A осциллографа.
30. Отсоедините проводник от входа B модуля Adder (Сумматор).

Примечание: Тем самым отключите сигнал, поступающий на вход B модуля сумматора, от выхода всей схемы.

31. Виртуальным элементом управления *G* модуля Adder (Сумматор) отрегулируйте усиление так, чтобы получить на выходе сигнал с пиковой амплитудой 4 В.

Совет: Помните, что вы можете использовать клавиши клавиатуры *TAB* и клавиши со стрелками для точной настройки элементов управления программной лицевой панели DАТЕх.

32. Подсоедините обратно вход B модуля сумматора и отсоедините проводник от его входа A.

Примечание: Тем самым отключите сигнал, поступающий на вход A модуля сумматора, от выхода всей схемы.

33. Виртуальным элементом управления *g* модуля Adder (Сумматор) отрегулируйте усиление так, чтобы получить на выходе сигнал с пиковой амплитудой 4 В.

34. Подсоедините обратно вход A модуля сумматора.

Коэффициенты усиления по двум входам сумматора теперь примерно равны. Далее нужно получить правильную разность фаз между сигналами сообщения.

35. Плавно регулируйте влево и вправо виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) и наблюдайте, как это влияет на огибающие выходного сигнала.

Примечание: Для большинства положений виртуального элемента управления *Phase Adjust* вы получите выходной сигнал, который выглядит как DSBSC сигнал. Однако, если регулировать более аккуратно, то обнаружится, что можно "сгладить" огибающую выходного сигнала.

36. Установите элемент управления *Channel B Scale* (Масштаб в канале B) осциллографа в положение *500mV/div* (500 мВ/дел.).

37. Виртуальным элементом управления *Phase Adjust* модуля Phase Shifter (Фазовращатель) отрегулируйте фазу так, чтобы сделать огибающую максимально "гладкой".

Разность фаз между двумя сигналами сообщения теперь близка к 90°.

38. Попробуйте подстройкой виртуального элемента управления G модуля Adder (Сумматор) сделать огибающую ещё более "гладкой".
39. Попробуйте также подстройкой виртуального элемента управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля Phase Shifter (Фазовращатель) сделать огибающую ещё более "гладкой".

Теперь огибающие настолько "гладкие", насколько можно добиться этого выравниванием коэффициентов усиления по двум входам модуля сумматора и подгонкой разности фаз между двумя сигналами сообщения к 90° . В этом случае выходной сигнал модуля сумматора является сигналом SSBSC.

Вопрос 2

Сколько синусоид содержится в сигнале SSB?

Совет: Если вы не уверены в ответе, посмотрите раздел предварительного обсуждения темы.

Только одна.

Вопрос 3

Какие две частоты содержатся в SSB сигнале при используемых параметрах входных сигналов модулятора?

90 кГц или 110 кГц.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В - Спектральный анализ сигнала SSB

Следующая часть эксперимента позволит проанализировать представление SSB сигнала в частотной области, для того чтобы увидеть, что спектральный состав сигнала соответствует вашим ответам на вопросы 2 и 3.

40. Приостановите работу виртуального осциллографа, нажав элемент управления *RUN* один раз.

Примечание: Изображение на экране осциллографа зафиксировано.

41. Запустите программу (VI) виртуального прибора Dynamic Signal Analyzer NI ELVIS (Анализатор спектра).

Примечание: Программы виртуальных приборов осциллографа и анализатора спектра не могут быть запущены одновременно.

42. Настройте элементы управления анализатора спектра следующим образом:

General (Общие)

Sampling (Дискретизация) в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входа)

- *Source Channel* (Канал источника сигнала) - в положение *Scope CHB* (Канал В Осциллографа)
- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений: $\pm 10 V$)

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье)

- *Frequency Span* (Диапазон частот) - в положение *150,000*
- *Resolution* (Разрешение) - в положение *400*
- *Window* (Окно) - в положение *7 Term B-Harris*

Averaging (Усреднение)

- *Mode* (Режим) - в положение *RMS* (Среднеквадратичное значение)
- *Weighting* (Взвешивание) - в положение *Exponential* (Экспоненциальное)
- *# of Averages* (выборок для усреднения): 3

Triggering (Сигнал запуска)

- *Triggering* (Сигнал запуска) - в положение *FGEN SYNC_OUT*

Frequency Display (Режим отображения спектра)

- *Units* (Единицы измерения) - в положение *dB*
- *RMS/Peak* (Среднеквадратический/ Амплитудный спектр) - в положение *RMS*
- *Scale* (Масштаб) - в положение *Auto* (автоматически)
- *Markers* (Маркеры) - в положение *OFF* (отключены на данный момент)

43. Включите маркеры анализатора спектра, нажав кнопку *Маркеры*.
44. Совместите маркер *M1* с наиболее значимой гармоникой в спектре сигнала и определите её частоту.

Вопрос 4

Основываясь на предыдущем измерении, скажите, каково значение боковой частоты генерируемой SSB модулятором?

Для разных схем могут быть различные боковые частоты.

45. Совместите $M1$ с какой-нибудь другой заметной гармоникой, близкой к боковой частоте, и определите её частоту.

Примечание: Вы должны обнаружить одну синусоиду с частотой несущей и другую - с частотой второй боковой полосы. Важно отметить, что сигналы эти очень малы по сравнению с наиболее заметной боковой частотой (шкала по оси Y - в децибелах, а это нелинейная единица измерения).

Вопрос 5

Назовите две причины наличия небольшой по уровню второй боковой частоты.

- 1) Разность фаз между двумя сигналами сообщения всё ещё не равна точно 90° .
- 2) Коэффициенты усиления по двум входам модуля сумматора всё-таки не равны.

46. Подрегулируйте виртуальный элемент управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля *Phase Shifter* (Фазовращатель) и посмотрите, как это отражается на уровне гармоник несущей и второй боковой полосы.

Примечание: После каждой регулировки дождитесь обновления экрана анализатора спектра.

Вопрос 6

Почему изменения положения элемента управления *Phase Adjust* (Подстройка фазы) модуля *Phase Shifter* (Фазовращатель) не влияет на уровень несущей в SSBSC сигнале?

Разность фаз между двумя несущими фиксирована. Модуль фазовращателя определяет только соотношение фаз двух сигналов сообщения.

47. С помощью упомянутых двух элементов управления добейтесь, чтобы уровень незначущей боковой частоты стал минимальным.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Использование детектора произведения для восстановления сигнала сообщения

48. Закройте программу виртуальный анализатора спектра.
49. Запустите виртуальный осциллограф, щелкнув по элементу управления *RUN* (Пуск).
50. Заново активируйте вход канала *A* осциллографа и верните элемент управления *Channel B Scale* (Масштаб в канале *B*) в положение *1V/div* (1 В/дел.)
51. Найдите модуль *Tuneable Low-pass Filter* (Терестраиваемый ФНЧ) на программной лицевой панели *DATeX* и установите его виртуальный элемент управления *Gain* (Усиление) в среднее положение.
52. Поверните виртуальный элемент управления *Cut-off Frequency Adjust* (Подстройка частоты среза) модуля *Tuneable Low-pass Filter* (Терестраиваемый ФНЧ) по часовой стрелке до упора.
53. Измените схему соединений в соответствии с рисунком 9.

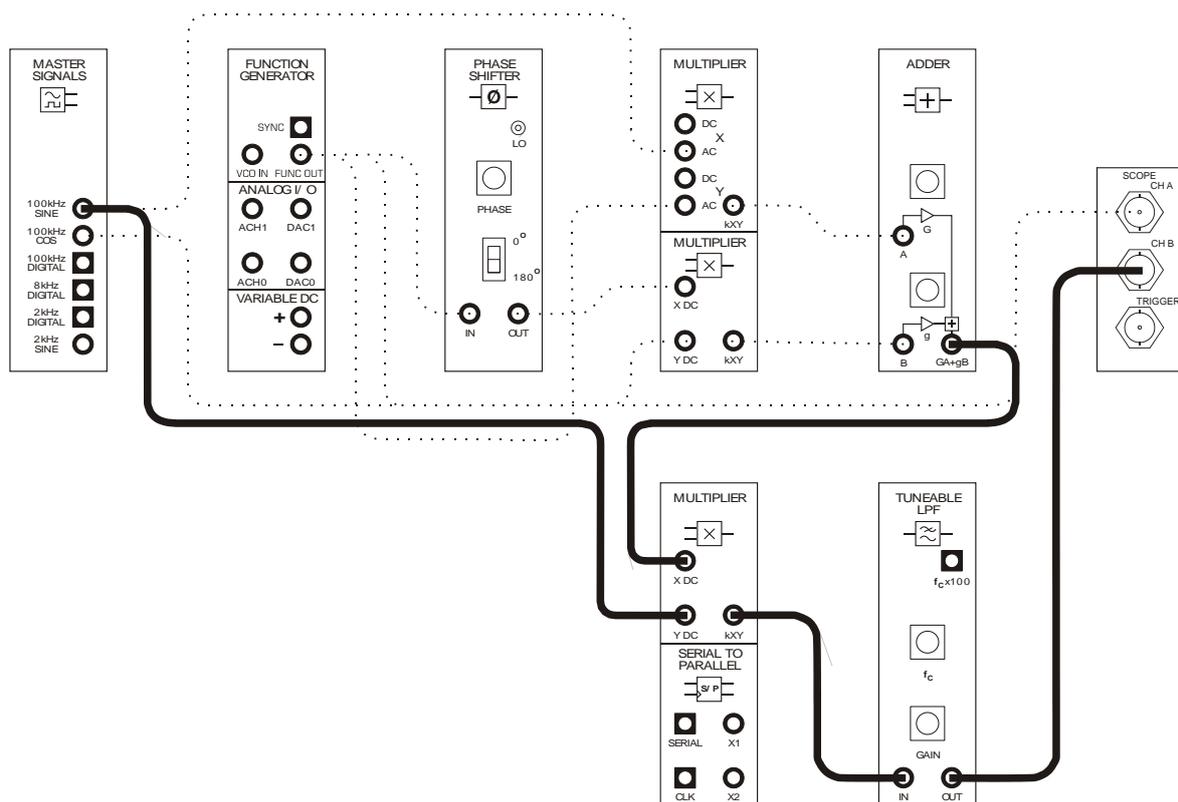


Рисунок 9

Измененная схема, показанная на рисунке 9, может быть представлена блок-схемой на рисунке 10. Модули умножителя и перестраиваемого ФНЧ используются для реализации детектора произведения, который демодулирует SSB сигнал, чтобы получить исходный сигнал сообщения.

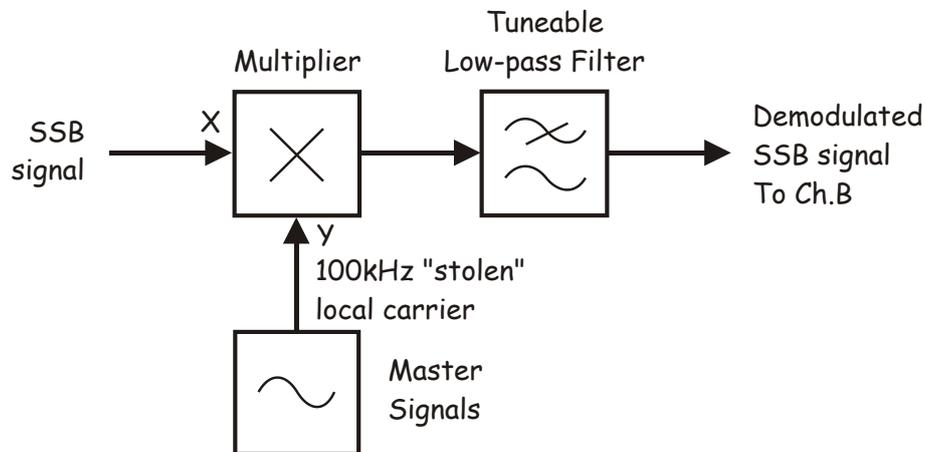


Рисунок 10

SSB signal - SSB сигнал , Multiplier - умножитель,
 100 kHz "stolen" local carrier - заимствованная локальная несущая частотой 100 кГц,
 Master Signals - генератор опорных сигналов,
 Tuneable Low-pass Filter - перестраиваемый ФНЧ,
 Demodulated SSB signal To Ch. B - демодулированный SSB сигнал к каналу B,

54. Воспользуйтесь осциллографом, чтобы сравнить исходный и восстановленный сигналы сообщения.

Вопрос 7

Как соотносятся исходный и восстановленный сигналы сообщения?

Они имеют одинаковую форму.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

11 - Частотная модуляция (ФМ)

Лабораторная работа 11 – Частотная модуляция

Предварительное обсуждение

Основным недостатком коммуникационных систем, основанных на амплитудной модуляции (АМ), модуляции с двумя боковыми полосами и подавлением несущей (DSBSC) модуляции с одной боковой полосой и подавлением несущей (SSB) является чувствительность к электромагнитным помехам, воздействующим на среду передачи сигналов (канал связи). Это обусловлено тем, что помеха изменяет амплитуду передаваемого сигнала, а принцип действия демодулятора основан на восстановлении амплитуды сигнала.

Как следует из названия, при частотной модуляции (frequency modulation - FM) уровень сигнала сообщения управляет частотой несущего сигнала, а не его амплитудой. Следовательно, FM демодулятор реагирует на изменение частоты несущей и поэтому является менее чувствительным к изменениям амплитуды и более помехозащищенным, чем АМ демодулятор. В этом смысле применение FM в системах связи более предпочтительно.

Многие известные методы формирования FM сигналов основаны на управлении частотой выходного сигнала генератора путем изменения напряжения входного сигнала. Обычно, если входной сигнал равен 0 В, на выходе генератора формируется сигнал *собственной (центральной)* частоты. Если входное напряжение изменяется в большую или меньшую сторону относительно 0 В, частота выходного сигнала генератора перестраивается вверх или вниз относительно центральной частоты (имеет место девиация частоты). Таким образом, чем больше уровень входного напряжения, тем больше девиация частоты.

На рисунке 1 показан исходный прямоугольный сигнал передаваемого сообщения (Message), немодулированная несущая (Unmodulated carrier), а также результирующий FM сигнал (FM signal).

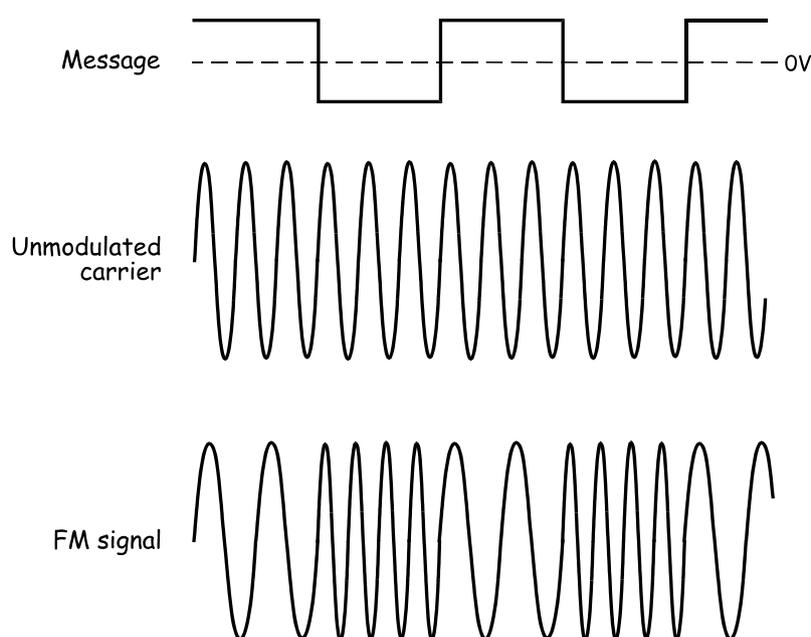


Рисунок 1.

Вам необходимо знать несколько наиболее важных свойств FM сигнала. Во-первых, он имеет плоскую огибающую, поскольку амплитуда несущей не изменяется. Во-вторых, его период (частота) изменяется под воздействием амплитуды сигнала сообщения. Наконец, изменение сигнала сообщения в большую или меньшую сторону относительно 0 В приводит к изменению частоты несущей вверх или вниз относительно центральной частоты. (**Примечание:** Можно также разработать такой FM демодулятор, который изменял бы частоту несущего колебания в направлении, противоположном изменению полярности сигнала сообщения).

Следует отметить, что прямоугольная форма сигнала сообщения помогает нам наглядно показать, каким образом формируется FM сигнал. Рисунок 1 наводит на мысль, что FM сигнал состоит из двух гармоник: у одной частота выше несущей, у другой – ниже. Однако, на самом деле спектральный состав такого сигнала значительно сложнее, чем кажется.

Здесь проявляется одно из важных отличий FM от других видов модуляции, рассмотренных ранее. Как следует из математической модели FM сигнала, его спектр может состоять из множества гармоник, даже если сигнал сообщения имеет синусоидальную форму. В то же время, для этого же сигнала сообщения спектр AM сигнала состоит из *трех* гармоник, спектр DSBSC сигнала – из двух гармоник, и, в свою очередь, спектр SSBSC сигнала – всего лишь из одной гармоники. Отсюда не следует, что спектр FM сигнала шире, чем спектр всех этих сигналов для одного и того же сигнала сообщения. Однако практически это действительно так.

Еще одно отличие FM от ранее упомянутых видов модуляции заключается в том, что мощности AM, DSBSC и SSBSC сигналов изменяются в зависимости от индекса модуляции, поскольку действующее значение напряжения несущей неизменно, а действующие значения напряжения боковых частотных составляющих пропорциональны индексу модуляции. Напротив, при FM в зависимости от индекса модуляции действующие значения напряжений несущей и боковых гармоник FM сигнала изменяются таким образом, что сумма их мощностей всегда равна мощности немодулированной несущей. Таким образом, мощность FM сигнала постоянна.

Наконец, при ознакомлении с принципом работы FM модулятора вы можете заметить, что в системе Emona DATeX имеется генератор, управляемый напряжением (VCO), реализованный на основе модуля функционального генератора лабораторной станции ELVIS (NI ELVIS Function Generator), который иногда используют для формирования FM сигналов, несмотря на наличие более совершенных методов и средств.

Эксперимент

С помощью функционального генератора вам предстоит сформировать настоящий FM сигнал. Вначале настройте генератор таким образом, чтобы он формировал немодулированную несущую известной частоты. Далее пронаблюдайте, каким образом происходит частотная модуляция несущего колебания прямоугольным сигналом, а затем и речевым сигналом. Наконец, вам предстоит пронаблюдать спектр FM сигнала с помощью анализатора спектра (Dynamic Signal Analyzer) лабораторной станции NI ELVIS, а также исследовать распределение мощности между несущей и боковыми спектральными составляющими при различных уровнях модулирующего напряжения.

Время выполнения работы – около 40 мин.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (*' - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Частотная модуляция при прямоугольном модулирующем сигнале

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении *POWER OFF* (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL*' (Управление от компьютера)).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Переведите выключатель питания на задней панели NI ELVIS в положение *POWER ON* (ВКЛЮЧЕНО), а затем сделайте то же самое с выключателем питания макетной платы *PROTOTYPING BOARD POWER* на панели управления.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * После завершения загрузки включите DAQ-устройство и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер его обнаружил.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATeX и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATeX.
11. Установите переключатель *Control Mode* (Режим управления) функционального генератора NI ELVIS в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной)
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора *Function Generator* (Функциональный генератор).

13. Нажмите на виртуальный элемент управления ON/OFF на программной лицевой панели функционального генератора, чтобы включить генератор.
14. Настройте функциональный генератор с помощью его виртуальных элементов управления так, чтобы получить выходной сигнал со следующими характеристиками:
 - Waveshape: Sine (Форма сигнала: синусоида)
 - Frequency: 20 kHz (Частота: 20 кГц)
 - Amplitude: 4Vp-p (Амплитуда: 4 В пиковая)
 - DC Offset: 0V (Смещение по постоянному току: 0 В)
15. Подождите, пока установится частота выходного сигнала генератора, а затем сверните окно программы генератора.
16. Соберите схему согласно рисунку 2.

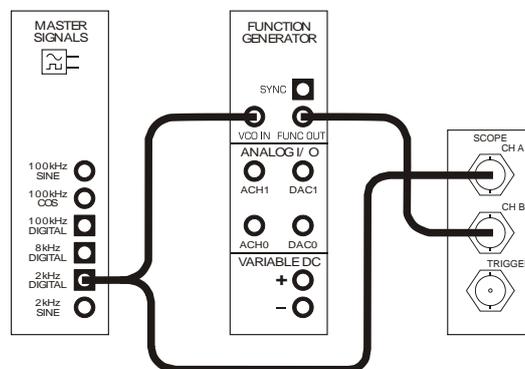


Рисунок 2

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3. На вход генератора VCO поступает прямоугольный сигнал сообщения частотой 2 кГц с выхода модуля MASTER SIGNALS (Генератор опорных сигналов), а на выходе VCO формируется FM сигнал с несущей частотой 20 кГц.

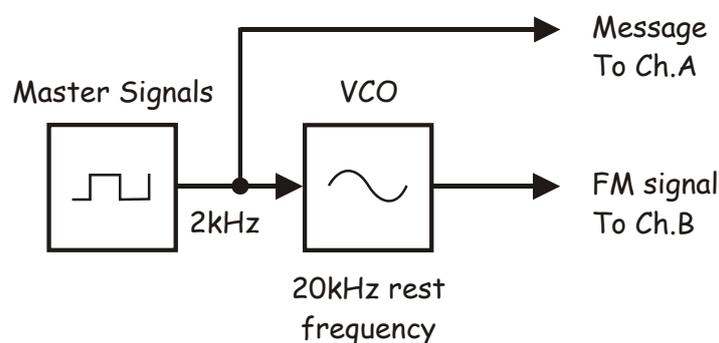


Рисунок 3

Master Signals - генератор опорных сигналов, VCO - генератор, управляемый напряжением
 20 kHz rest frequency - центральная частота 20 кГц,
 Message To Ch.A - сообщение к каналу A, FM signal To Ch.B - FM сигнал к каналу B,

17. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
18. Установите такие же параметры режима работы осциллографа как в эксперименте 1 с учетом следующих отличий:
 - *Trigger Source (Источник сигнала запуска)* - в положение *Immediate* (Непрерывно), вместо *CH A (Канал А)*
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - $100\mu\text{s}/\text{div}$ (мкс/дел.) вместо $500\mu\text{s}/\text{div}$.
19. Включите канал В осциллографа для наблюдения выходного FM сигнала генератора VCO одновременно с исходным сигналом сообщения.
20. Переведите переключатель источников сигнала запуска *Trigger Source* в положение CH A (канал А).

Примечание: После выполнения этого пункта изображение может исчезнуть с экрана, пока не сделаете следующий шаг.

21. Установите виртуальным элементом управления *Trigger Level* уровень сигнала запуска 2.5 В путем ввода числа 2.5 в поле редактирования ниже регулятора *Trigger Level*.

Примечание: Вы должны увидеть сигнал сообщения и промодулированный этим сигналом FM сигнал.

Вопрос 1

Почему частота FM сигнала изменяется?

Потому что изменяется амплитуда модулирующего сигнала сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Часть В – Генерация FM сигнала, модулированного речевым сообщением

В предыдущем разделе был рассмотрен простейший случай FM сигнала с прямоугольным модулирующим сообщением. На самом деле, в коммерческих системах связи, как правило, передаются речь или музыка. При выполнении этой части эксперимента вы будете наблюдать FM сигнал, модулированный речевым сообщением.

22. Верните регулятор уровня сигнала запуска осциллографа *Trigger Level* на уровень 0 В.
23. Отсоедините проводники от выхода генератора опорных сигналов *2kHz SINE* (синусоидальный сигнал частотой 2 кГц).
24. Присоедините их к выходу преобразователя речевых сигналов *SPEECH*, как показано на рисунке 4.

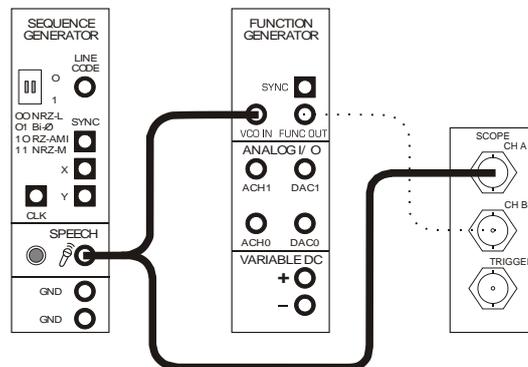


Рисунок 4

25. Установите масштаб осциллографа по оси времени (*Timebase*) - $200\mu\text{s}/\text{div}$ (мкс/дел).
26. Шумите, говорите или свистите в микрофон, наблюдая за экраном осциллографа.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Part C – Мощность FM сигнала

Как упоминалось ранее, мощность FM сигнала остается неизменной независимо от индекса модуляции. Убедиться в этом вам поможет следующий эксперимент.

27. Отсоедините вход функционального генератора *VCO IN* от выхода модуля *Speech* (Преобразователь речевых сигналов).
28. С помощью соответствующего регулятора установите центральную частоту функционального генератора равной 20 кГц.
29. Сверните программную панель управления функциональным генератором.
30. На главной программной панели управления *DATEx* найдите модуль *Amplifier* (Усилитель) и поверните виртуальный регулятор *Gain* (Коэффициент усиления) против часовой стрелки до упора.
31. Соберите схему в соответствии с рисунком 5.

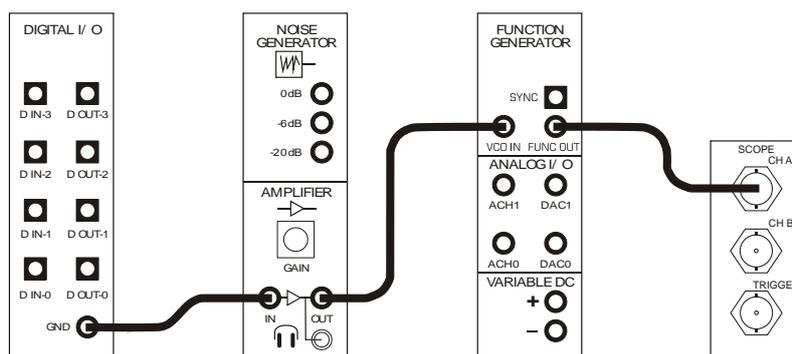


Рисунок 5

Блок-схема для данной схемы приведена на рисунке 6. Если вход *VCO* соединить с общим проводом, на его выходе будет генерироваться одна гармоника частотой 20 кГц.

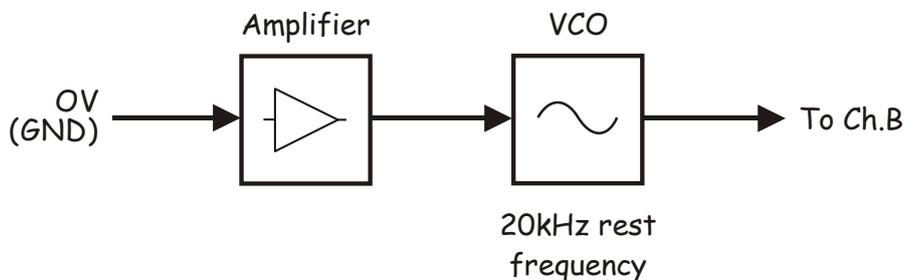


Рисунок 6

0V (GND) - 0 В, общий провод, Amplifier - усилитель, VCO - генератор, управляемый напряжением, 20kHz rest frequency - центральная частота 20 кГц, To Ch.B - к каналу В

32. Закройте окно программы осциллографа.
33. Запустите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра).
34. Настройте органы управления анализатора спектра следующим образом:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входов)

- *Source Channel (Канал источника сигнала)* - в положение *Scope CHB (Канал В Осциллографа)*
- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10 V$)

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье - БПФ)

- *Frequency Span (Диапазон частот)* - 60,000
- *Resolution (Разрешение)* - 400
- *Window (Окно)* - 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Triggering (Сигнал запуск)

- *Triggering (Сигнал запуска)* - FGEN SYNC_OUT (Выход SYNC_OUT функционального генератора)

Frequency Display (Режим отображения спектра)

- *Units(Масштаб)* - Linear (Линейный)
- *RMS/Peak(Среднеквадратический/Амплитудный спектр)* - RMS
- *Scale* - Auto (Автомасштабирование)

Averaging (Усреднение)

- *Mode(Режим)* - RMS (среднеквадратическое значение)
- *Weighting (Взвешивание)* - Exponential (Экспоненциальное)
- *# of Averages (выборки для усреднений)* - 3

- *Markers (Маркеры)* - OFF (Отключены)

35. В результате на экране должна появиться одна значимая гармоника.

Примечание: Очень важно на этом этапе, чтобы масштаб отображения спектра (*Units*) был выбран **линейным (Linear)**.

36. С помощью маркера *M1* измерьте частоту гармоники и убедитесь в том, что она соответствует центральной частоте генератора VCO 20 кГц.
37. Слева от измеренного значения частоты гармоники, отмеченной маркером, отображается результат измерения квадрата действующего значения напряжения. Запишите это значение в таблицу 1.

Таблица 1

Немодулированная несущая, V_{RMS}^2

Почему анализатор спектра измеряет квадрат действующего значения напряжения? Чтобы ответить на этот вопрос, следует вспомнить, что электрическая мощность может быть вычислена по формуле $P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$. Это означает, что мощность пропорциональна квадрату действующего значения напряжения. Из этого следует: квадрат действующего значения гармоники сигнала совпадает с мощностью, выделяемой на единичном сопротивлении.

38. Измените схему в соответствии с рисунком 7.

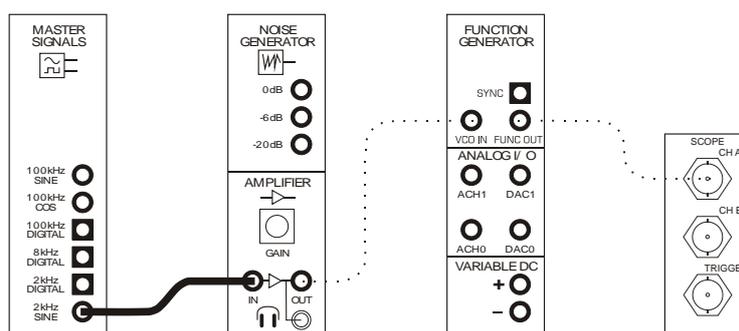


Рисунок 7

Эта схема может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 8. Поскольку минимальный коэффициент усиления усилителя (AMPLIFIER) не равен нулю, несущая модулируется сигналом низкого уровня. Это означает, что на экране анализатора спектра будут наблюдаться около четырех боковых полос. Поскольку уровень этих боковых полос намного меньше уровня несущей, их легче наблюдать в логарифмическом масштабе (Значение опции *Units временно* должно быть выбрано - dB (логарифмический - дБ)).

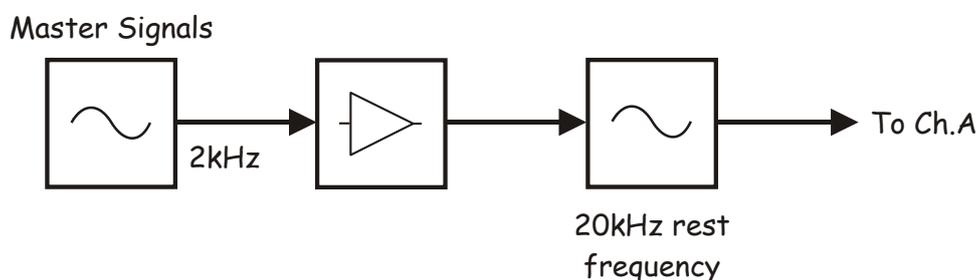


Рисунок 8

Master Signals - генератор опорных сигналов, 20 kHz rest frequency - центральная частота 20 кГц
To Ch.A - к каналу A

39. Если не удастся увидеть 4 слабые боковые гармоники, верните линейный масштаб отображения спектра - установите переключатель *Units* в положение *Linear*.
40. С помощью виртуального регулятора коэффициента усиления *GAIN* плавно увеличивайте глубину частотной модуляции до тех пор, пока не будут четко видимы пять боковых полос.
41. С помощью маркера определите квадраты действующих значений напряжений всех пяти гармоник наблюдаемого спектра сигнала и занесите их в таблицу 2.
42. Сложите измеренные значения и запишите в таблицу 2.

Таблица 2

Номер гармоники	V_{RMS}^2
1	
2	
3	
4	
5	
Сумма	

43. С помощью того же регулятора *GAIN* продолжайте увеличивать индекс модуляции до тех пор, пока значение гармоники несущей FM сигнала не уменьшится до нуля.
44. Повторите действия по п.п. 41 и 42 для шести значимых гармоник и заполните таблицу 3 на следующей странице.

Таблица 3

Номер гармоники	V_{RMS}^2
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Сумма	

Вопрос 2

Как соотносятся суммы гармоник в таблицах 2 и 3 со значением в таблице 1?

Они должны быть приблизительно равны.

Вопрос 3

Что показывают проведенные измерения? Поясните ваш ответ.

Проведенные измерения означают, что мощность FM сигнала неизменна. Поскольку мощность вычисляется по формуле $P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$, можно считать, что сумма квадратов действующих значений гармоник сигнала есть мощность, выделяемая на единичном сопротивлении.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D – Полоса частот FM сигнала

Спектр FM сигнала может состоять из большого количества боковых гармоник, мощность многих из них по сравнению с мощностью несущей может быть существенно более низкой. Инженерное решение оценивается по тому, как много гармоник содержится в полосе частот FM сигнала. Существует несколько стандартных методик оценки, одним из общепринятых является критерий, в соответствии с которым в полосу частот входят все боковые гармоники, уровень которых равен или превышает 1% от мощности немодулированной несущей. Этот критерий предполагается использовать в следующем эксперименте по определению полосы частот (ширины спектра) FM сигнала.

45. С помощью маркера *M1* анализатора спектра найдите самую низшую гармонику FM сигнала с уровнем напряжения большим либо равным 1 % от значения, приведенного в таблице 1.
46. С помощью маркера *M2* анализатора спектра найдите самую высшую гармонику FM сигнала с уровнем напряжения большим либо равным 1 % от значения, приведенного в таблице 1.
47. Результат измерения ширины спектра FM сигнала df (Гц) определяется как разность частот, отмеченных маркерами. Его следует записать в таблицу 4.

Таблица 4

Ширина спектра FM сигнала

Вопрос 4

Вычислите ширину спектра AM сигнала, если несущая частота равна 20 кГц, а модулирующая частота 2 кГц.

4 кГц.

Вопрос 5

Чем отличаются спектры FM и AM сигналов при одинаковых модулирующих сигналах?

Спектр FM сигнала значительно шире, чем AM сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

48. Увеличивайте коэффициент усиления до положения, соответствующего $\frac{3}{4}$ от полной шкалы регулятора *GAIN* (вращайте регулятор по часовой стрелке).
49. Повторите п.п. 45-47 и запишите результаты измерений в таблицу 5.

Таблица 5

Ширина спектра FM сигнала

Вопрос 6

Как связаны между собой амплитуда сигнала сообщения и ширина спектра FM сигнала?

При увеличении амплитуды сигнала сообщения спектр FM сигнала расширяется.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

12 - Демодуляция FM сигналов

Эксперимент 12 – Демодуляция FM сигналов

Предварительное обсуждение

Известно достаточно много методов и устройств демодуляции FM сигнала, включая обычный дискриминатор (*slope detector - SD*), фазовый дискриминатор (*Foster-Seeley discriminator - FSD*), детектор отношений (*ratio detector - RD*), фазовую автоподстройку частоты - ФАПЧ (*phase-locked loop - PLL*), квадратурный FM демодулятор (*quadrature FM demodulator - QFMD*) и детектор перехода через ноль (*zero-crossing detector - ZCD*). Несмотря на то, что система Emona DATEx позволяет реализовать несколько из перечисленных методов, для первоначального ознакомления с принципами FM демодуляции лучше всего подходит детектор перехода через ноль.

Детектор перехода через ноль

Детектор перехода через ноль ZCD позволяет просто и эффективно восстанавливать сообщение из принятого FM сигнала. Блок-схема демодулятора на основе ZCD приведена на рисунке 1.

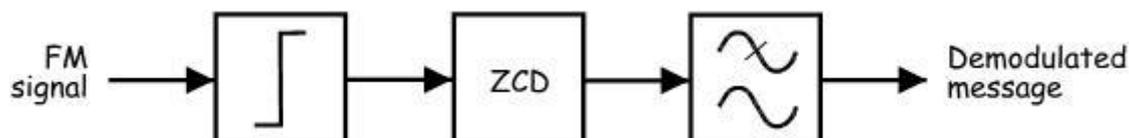


Рисунок 1

FM signal - FM сигнал, Demodulated message - Демодулированное сообщение

Для обеспечения надежности и эффективности демодуляции принятого FM сигнала компаратор преобразует его в последовательность прямоугольных импульсов, которые затем поступают на детектор ZCD в качестве сигнала запуска.

Каждый раз, когда последовательность импульсов после преобразования FM сигнала компаратором пересекает нулевой уровень, детектор генерирует импульс фиксированной длительности. (детектор реагирует только либо на положительный переход через ноль, либо на отрицательный переход через ноль, но не на оба одновременно). Поскольку FM сигнал регулярно пересекает нулевой уровень, то компаратор и детектор эффективно преобразует его в последовательность прямоугольных импульсов фиксированной длительности.

Как показано на рисунке 2, изменению частоты FM сигнала соответствует изменение частоты последовательности прямоугольных импульсов (по закону изменения уровня модулирующего сигнала сообщения, который имеет прямоугольную форму). Поскольку длительность импульсов фиксированная, изменение частоты возможно только путем изменения промежутка (паузы) между импульсами, и, следовательно, *коэффициента заполнения*. На рисунке 2 частота FM сигнала может принимать только два значения, поскольку сигнал сообщения имеет прямоугольную форму.

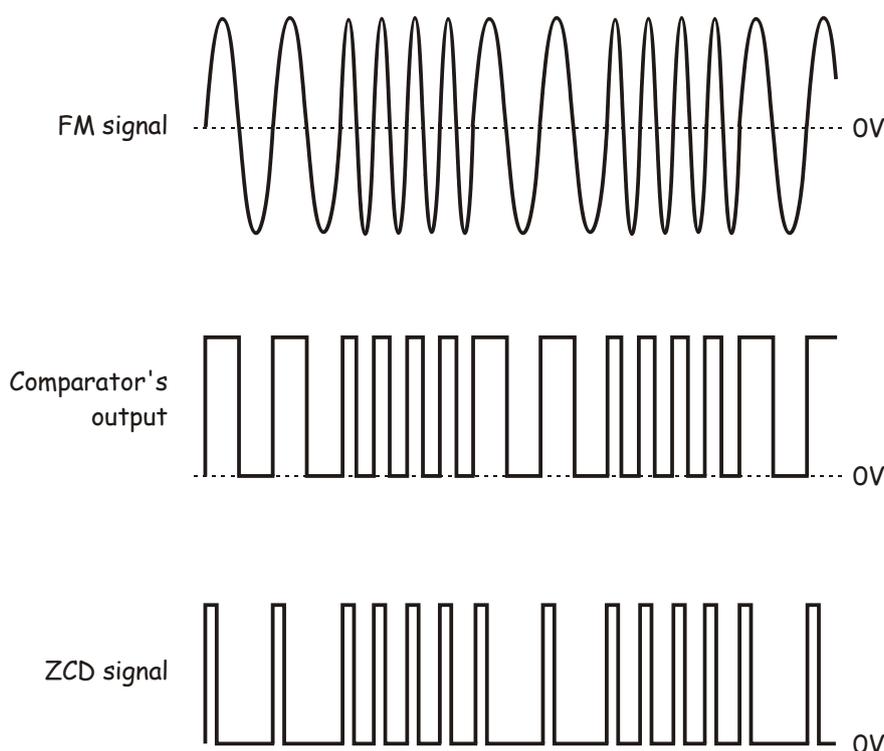


Рисунок 2

FM signal - FM сигнал, Comparator's output - сигнал на выходе компаратора,
ZCD signal - сигнал на выходе детектора перехода через ноль

Из теории рядов Фурье известно, что последовательность импульсов, подобную изображенной на рис. 2, можно представить суммой гармонических сигналов и постоянной составляющей, причем постоянная составляющая возрастает при увеличении коэффициента заполнения.

Когда частота FM сигнала попеременно принимает одно из двух значений (рисунок 2), постоянная составляющая на выходе детектора также образует прямоугольный сигнал с двумя значениями амплитуды. Другими словами, постоянная составляющая сигнала на выходе детектора соответствует исходному прямоугольному сигналу, подверженному FM модуляции на передающей стороне. Изменение постоянной составляющей можно сравнительно просто восстановить с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ).

Следует отметить, что описанный выше метод демодуляции также хорошо подходит для восстановления и гармонических, и речевых сообщений.

Эксперимент

В этом эксперименте вам необходимо сформировать FM сигнал с помощью генератора с управляемой частотой (VCO) системы Emona DATEx. Затем вам нужно будет собрать детектор перехода через ноль и проверить его работоспособность при изменении амплитуды сигнала сообщения.

Время выполнения работы - около 50 мин.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)
- Стереонаушники

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Раздел А - Подготовка к работе FM модулятора

Для проведения экспериментов по демодуляции FM сигнала, в первую очередь требуется сформировать FM сигнал. Вначале для большей наглядности возьмем в качестве сигнала сообщения постоянное напряжение.

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (режим управления) на модуле DATeX (в верхнем правом углу) в положение "PC CONTROL" (Управление от компьютера).
4. * Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Переведите выключатель питания на задней панели NI ELVIS в положение POWER ON (ВКЛЮЧЕНО), а затем сделайте то же самое с выключателем питания макетной платы *PROTOTYPING BOARD POWER* на панели управления.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * После завершения загрузки включите DAQ-устройство и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер его обнаружил.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATeX и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATeX.

11. Установите переключатель *Control Mode* (Режим управления) функционального генератора NI ELVIS в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора *Function Generator* (Функциональный генератор) и включите его.
13. Настройте функциональный генератор с помощью его виртуальных элементов управления так, чтобы получить выходной сигнал со следующими характеристиками:
 - *Waveshape*: Sine (Форма сигнала: синусоида)
 - *Frequency*: 15 kHz (Частота: 15 кГц)
 - *Amplitude*: 4Vp-p (Амплитуда: 4 В пиковая)
 - *DC Offset*: 0V (Смещение по постоянному току: 0 В)
14. Сверните окно программы функционального генератора.
15. Переведите переключатель режима управления *Control Mode* регулируемого источника положительного напряжения питания NI ELVIS Variable Power Supplies в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
16. Запустите программу (VI) регулируемого источника питания *Variable Power Supplies*.
17. Поверните виртуальный регулятор положительного напряжения *Voltage* регулируемого источника положительного напряжения питания против часовой стрелки до упора.
18. Сверните окно программы NI ELVIS Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания).
19. Соберите схему согласно рисунку 3.

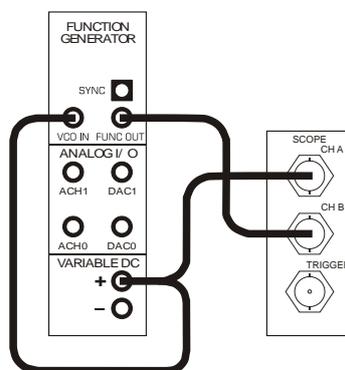


Рисунок 3

Схема на рисунке 3 может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Источник положительного напряжения регулируемого блока питания используется в качестве источника простейшего сигнала сообщения (напряжение постоянного тока), а управляемый генератор (VCO) на основе функционального генератора формирует FM сигнал с несущей частотой 15 кГц.

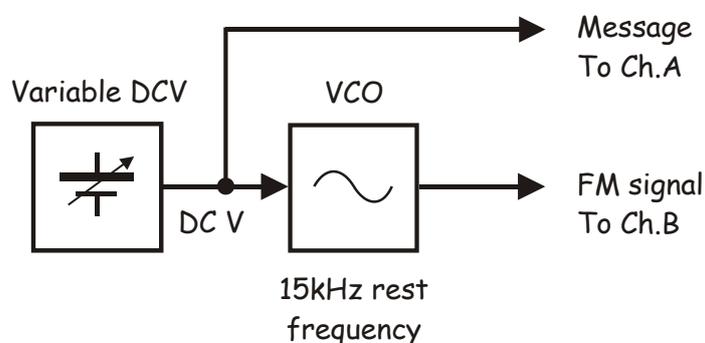


Рисунок 4

Variable DCV - регулируемое напряжение постоянного тока,
 15 kHz rest frequency - центральная частота 15 кГц, Message To Ch.A - сообщение к каналу А
 FM signal To Ch.B - FM сигнал к каналу В

20. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.
21. Установите такие же параметры режима работы осциллографа, как в эксперименте 1 с учетом следующих отличий:
 - *Scale (масштаб по напряжению)* канала А - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - *Trigger Source (Источник сигнала запуска)* - в положение *Immediate* (Непрерывно) вместо *CH A (Канал А)*
 - *Coupling (Связь с источником сигнала)* для обоих каналов - *DC (связь по постоянному току - открытый вход)* вместо *AC (связь по переменному току - закрытый вход)*
 - В обоих каналах смещение по вертикали равно нулю
22. Включите канал В, чтобы одновременно наблюдать FM сигнал с выхода генератора VCO и сигнал исходного сообщения (напряжение постоянного тока).
23. Настройте *Timebase (Масштаб по оси времени)* таким образом, чтобы на экране осциллографа наблюдались два-три периода FM сигнала.
24. Изменяйте положение виртуального регулятора положительного напряжения *VOLTAGE* и наблюдайте за изменением частоты сигнала на выходе генератора VCO.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Раздел В – Подготовка к работе детектора перехода через ноль ZCD

25. Найдите на программной лицевой панели DATEx модуль генератора парных импульсов TWIN PULSE GENERATOR и поверните виртуальный регулятор *WIDTH* (Длительность импульсов) против часовой стрелки до упора.
26. Поверните виртуальный регулятор *DELAY* (Задержка) модуля TWIN PULSE GENERATOR против часовой стрелки до упора.
27. Найдите на программной лицевой панели DATEx модуль регулируемого фильтра низких частот Tuneable Low-pass Filter и поверните виртуальный регулятор *GAIN* (Усиление) по часовой стрелке до упора.
28. Поверните виртуальный регулятор *Cut-off Frequency Adjust* (Частота среза) модуля регулируемого фильтра низких частот Tuneable Low-pass Filter по часовой стрелке до упора.
29. Модифицируйте схему согласно рисунку 5.

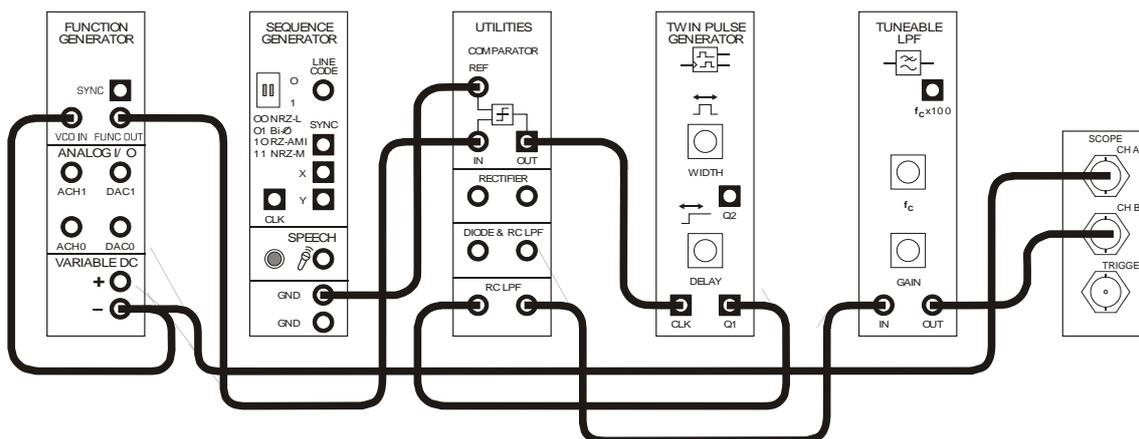


Рисунок 5

Изменения в схеме отражены на блок-схеме (рисунок 6). Компаратор в составе модуля UTILITIES (Вспомогательные блоки) служит для преобразования FM сигнала в соответствующий импульсный сигнал прямоугольной формы. На основе генератора парных импульсов, запускаемого по положительному фронту, реализован детектор пересечения нуля ZCD. В качестве окончного устройства FM демодулятора, которое выделяет изменяющуюся постоянную составляющую на выходе генератора парных импульсов, используются RC фильтр низких частот и перестраиваемый фильтр низких частот.

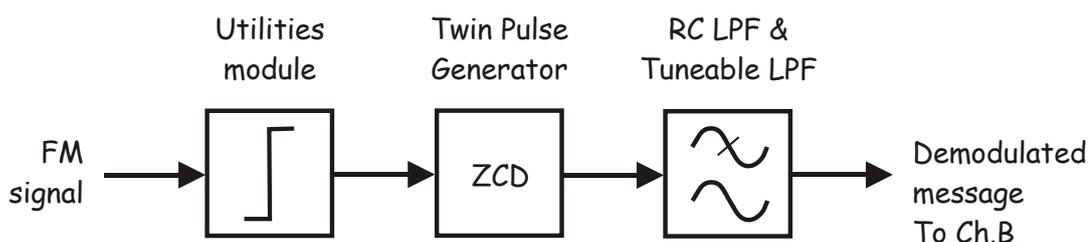


Рисунок 6

FM signal - FM сигнал, Utilities module - модуль вспомогательных блоков,
 Twin Pulse Generator - генератор парных импульсов,
 RC LPF & Tuneable LPF - RC фильтр и перестраиваемый фильтр низких частот,
 ZCD - детектор пересечения нуля, Demodulated message To Ch.B - демодулированное сообщение к каналу B

Примечание: включение RC-ФНЧ на входе перестраиваемого ФНЧ обусловлено тем, что перестраиваемый ФНЧ является тактируемым фильтром с переключаемыми конденсаторами и внутренней синхронизацией. В таких фильтрах возможен эффект наложения спектров (*aliasing* - речь о нем пойдет позже), что может послужить причиной ошибок при дискретизации сигналов. В данном случае RC-ФНЧ служит в качестве предварительного *антиалиазингового (anti-aliasing)* фильтра. Если время позволяет, выполните эту часть эксперимента без RC-ФНЧ.

Всю схему, используемую в эксперименте, можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 7.

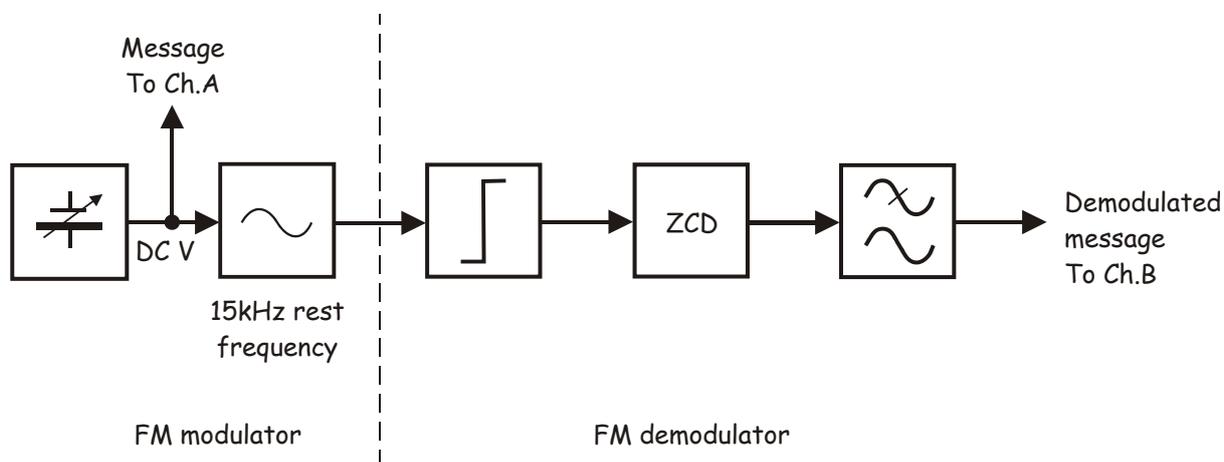


Рисунок 7

FM modulator - FM модулятор: Message To Ch.A - сообщение к каналу A,
 DC V - напряжение постоянного тока, 15 kHz rest frequency - центральная частота 15 кГц.
 FM demodulator - FM демодулятор: ZCD - детектор пересечения нуля,
 Demodulated message To Ch.B - демодулированное сообщение к каналу B

Далее нам предстоит отрегулировать перестраиваемый ФНЧ таким образом, чтобы он выделял постоянную составляющую на выходе детектора ZCD в ожидаемом диапазоне напряжений входного сигнала.

30. Установите на выходе источника отрицательного напряжения питания уровень -2 В .
31. Установите масштаб по оси времени (*Scale*) канала В осциллографа 100 мс/дел .

Примечание: На экране должна появиться синусоида с размахом 430 мВ с небольшим смещением по вертикали. Она представляет собой обработанную путем фильтрации последовательность импульсов с выхода детектора ZCD.

32. Плавно поворачивайте виртуальный регулятор *Cut-off Frequency Adjust* (Подстройка частоты среза ФНЧ) модуля Tuneable Low-pass Filter (Перестраиваемый ФНЧ) против часовой стрелки до тех пор, пока наблюдаемая синусоида не превратится в уровень постоянного напряжения.

Примечание 1: Вы исключили из сигнала все высокочастотные гармоники. При этом фильтр пропускает сигнал сообщения.

Примечание 2: Не изменяйте положение виртуального регулятора *Cut-off Frequency Adjust* (Подстройка частоты среза ФНЧ) до завершения эксперимента, если не последуют особые указания.

33. Попробуйте изменять напряжение на выходе источника отрицательного напряжения регулируемого блока питания в диапазоне от 0 до -2 В .

Примечание 1: Сигнал на выходе перестраиваемого ФНЧ должен изменяться в такт с изменением напряжения, поступающего от регулируемого блока питания.

Примечание 2: Если это не происходит, проверьте, находится ли переключатель *Coupling* канала В осциллографа в положении *DC*



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство относится к функциональности ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления "modulation" (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATA VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Часть С – Исследование принципа действия детектора перехода через ноль ZCD

В этой части эксперимента предстоит изучить функционирование детектора перехода через ноль.

34. Измените подключение осциллографа согласно схеме, изображенной на рис. 8.

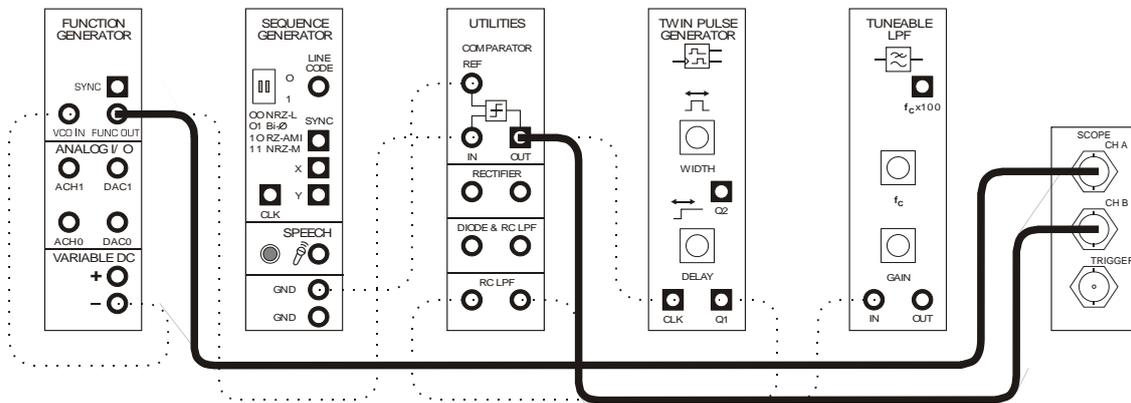


Рисунок 8

Блок-схема на рисунке 9 отражает изменение подключения осциллографа.

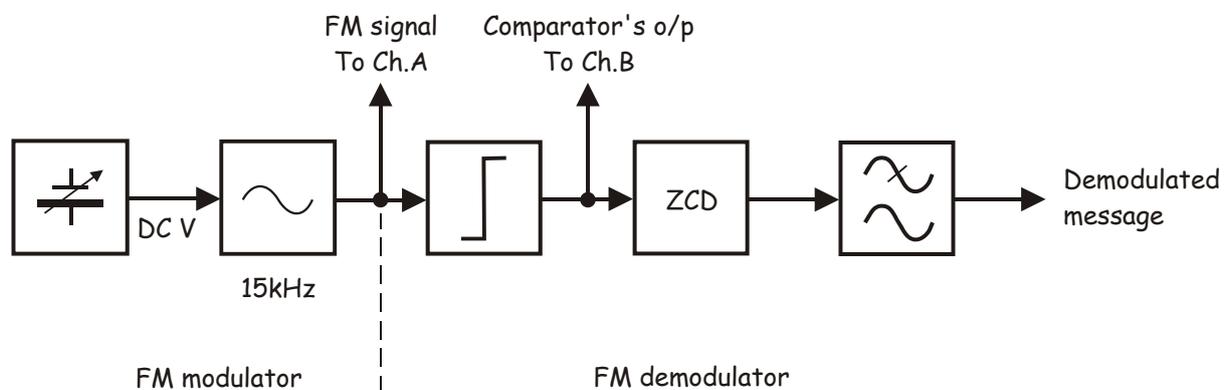


Рисунок 9

FM modulator - FM модулятор: DC V - напряжение постоянного тока,
FM signal To Ch.A - FM сигнал к каналу A,

FM demodulator - FM демодулятор: Comparator's o/p To Ch.B - выход компаратора к каналу B
ZCD - детектор пересечения нуля, Demodulated message - демодулированное сообщение

35. Установите переключатель " *Trigger Source*" (Источник сигнала запуска) в положение *SYNC_OUT* (Внешний запуск).
36. Изменяйте маленькими шагами напряжение источника отрицательного напряжения питания с помощью виртуальных кнопок со стрелками вверх и вниз.

Примечание: Это приведет к небольшим, но заметным изменениям частоты FM сигнала.

37. Изменяя частоту FM сигнала, обратите внимание на скважность (коэффициент заполнения) выходного сигнала компаратора.

Совет: Может оказаться полезным отключить канал A.

Вопрос 1

Изменяется ли коэффициент заполнения?

Не изменяется, т.к. одновременно изменяются период и интервал между импульсами.

Вопрос 2

Что можно сказать о постоянной составляющей сигнала на выходе компаратора?

Постоянная составляющая сигнала на выходе компаратора тоже не изменяется.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

38. Снова включите канал А.

9. Измените подключение осциллографа, как показано на рисунке 10.

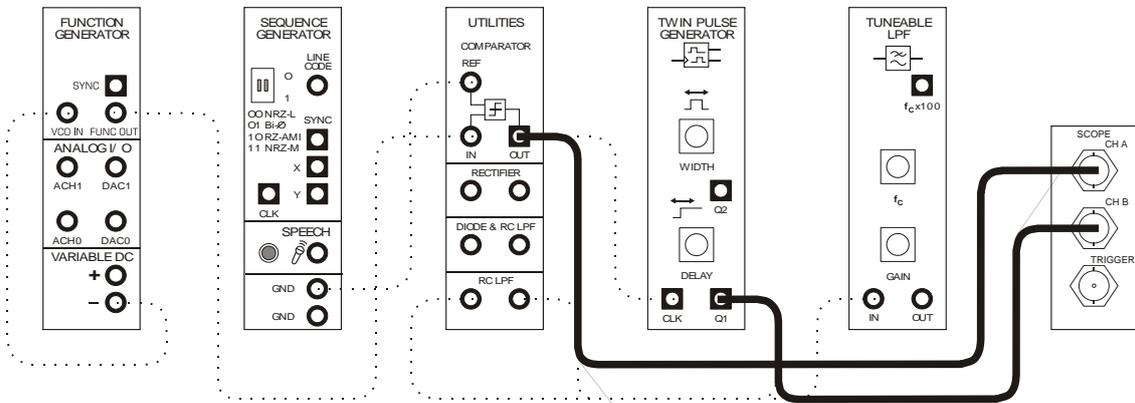


Рисунок 10

Новый вариант подключения осциллографа отражен в блок-схеме на рисунке 11.

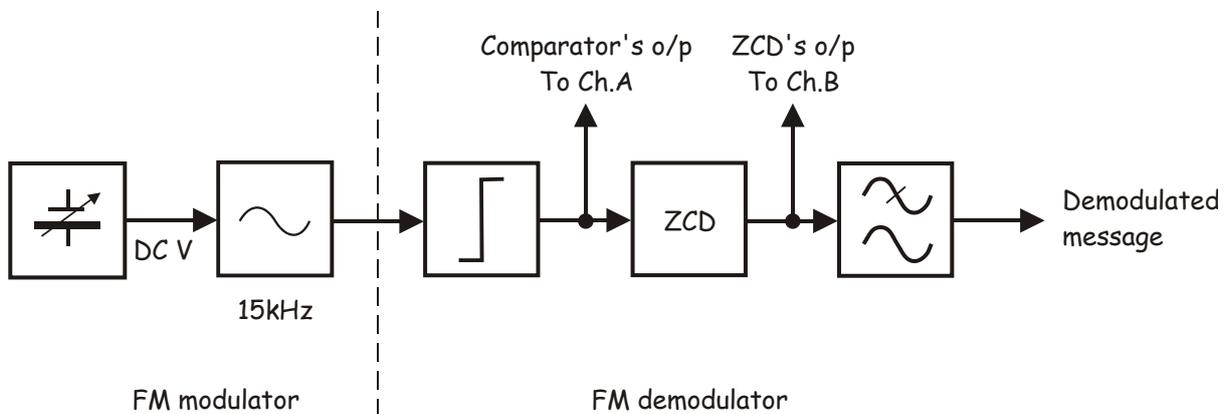


Рисунок 11

FM modulator - FM модулятор: DC V - напряжение постоянного тока,
 FM demodulator - FM демодулятор: Comparator's o/p To Ch.A - выход компаратора к каналу А
 ZCD - детектор пересечения нуля, ZCD's o/p To Ch. B - выход детектора ZCD к каналу В
 Demodulated message - демодулированное сообщение

40. Снова изменяйте маленькими шагами напряжение источника отрицательного напряжения питания, чтобы пронаблюдать изменение частоты FM сигнала.
41. Во время выполнения предыдущего пункта обратите внимание на то, как изменяются частоты сигналов на выходе компаратора и детектора ZCD.

Совет: Каждый из сигналов полезно наблюдать по отдельности.

42. Включите маркеры на экране осциллографа.
43. С помощью маркеров измерьте длительность импульсов на выходе детектора ZCD, а также интервал между импульсами при различных значениях постоянного входного напряжения.

Примечание: Интервал времени между точками, отмеченными маркерами, отображается прямо над результатами измерений Channel A & B и обозначается как dT.

Совет: Может оказаться полезным отключить канал A.

Вопрос 3

Какой параметр сигнала на выходе детектора изменяется в зависимости от частоты FM сигнала?

- Не изменяется ни длительность импульсов, ни интервал между импульсами
- Изменяется только длительность импульсов
- Изменяется только интервал между импульсами ✓
- Изменяется и длительность импульсов, и интервал между импульсами

Вопрос 4

Что можно сказать о постоянной составляющей сигнала на выходе компаратора??

При изменении скважности выходного сигнала детектора изменяется постоянная составляющая этого сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Последующие действия позволят проверить, правильно ли вы ответили на заданный выше вопрос.

44. Включите оба канала осциллографа.

45. Подключите их в соответствии с рисунком 12.

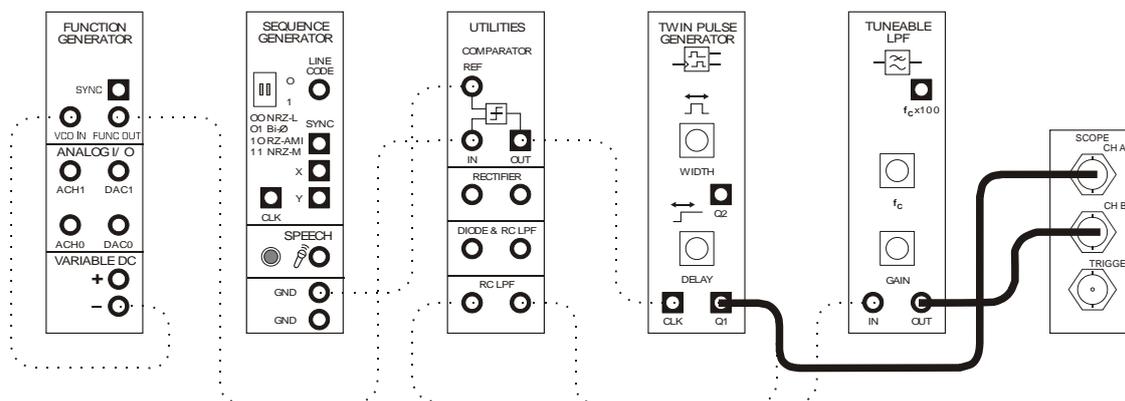


Рисунок 12

Теперь подключение осциллографа соответствует блок-схеме, показанной на рисунке 13.

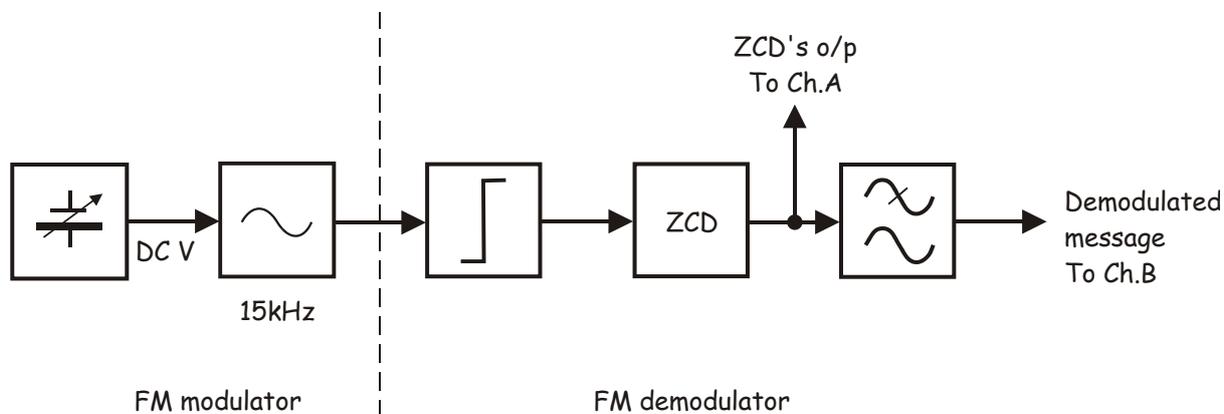


Рисунок 13

FM modulator - FM модулятор: DC V - напряжение постоянного тока,
 FM demodulator - FM демодулятор: ZCD - детектор пересечения нуля,
 ZCD's o/p To Ch. A - выход детектора ZCD к каналу A
 Demodulated message To Ch. B - демодулированное сообщение к каналу B

FM демодулятор

46. Снова изменяйте маленькими шагами напряжение источника отрицательного напряжения питания, чтобы пронаблюдать изменение частоты FM сигнала.
47. Затем сравните сигналы на выходе генератора парных импульсов (ZCD) и перестраиваемого ФНЧ.

Вопрос 5

Почему постоянная составляющая на выходе перестраиваемого ФНЧ увеличивается с увеличением скважности выходного сигнала ZCD?

Чем больше коэффициент заполнения, тем больше уровень постоянной составляющей последовательности импульсов на выходе ДПЧН.

Вопрос 6

Какой сигнал вы увидите на выходе перестраиваемого ФНЧ, если в качестве исходного сообщения будет использоваться синусоидальное, а не постоянное напряжение?

Синусоидальное напряжение той же частоты, что и частота сигнала сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D – Передача и восстановление гармонического сигнала с использованием частотной модуляции

В отличие от предыдущего эксперимента, в котором сигналом сообщения был уровень постоянного напряжения, предстоящий эксперимент посвящен модуляции, "передаче" и демодуляции гармонического сигнала, выбранного в качестве тестового.

48. Поверните регулятор *GAIN* (Усиление) модуля Tuneable Low-pass Filter (Перестраиваемый ФНЧ) по часовой стрелке до упора.
49. Внесите изменения в схему в соответствии с рисунком 14.

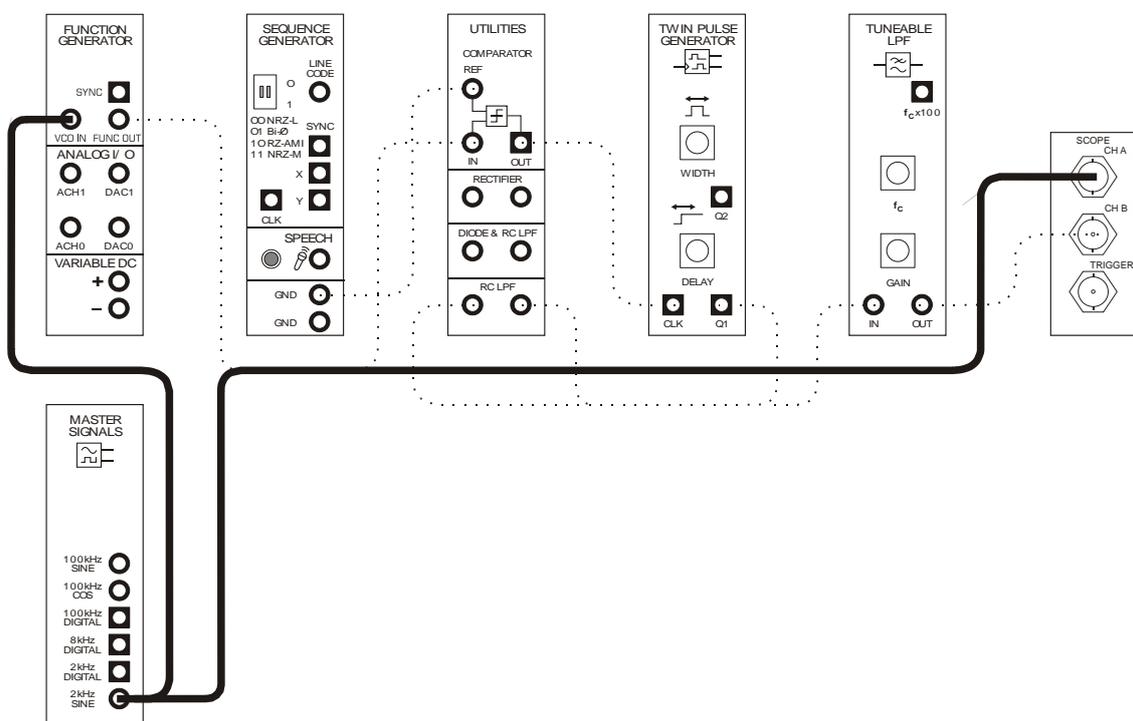


Рисунок 14

Модифицированная схема FM модулятора может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 15. Обратите внимание на то, что сигнал сообщения берется с выхода *2kHz SINE* (синусоидальное напряжение частотой 2 кГц) генератора опорных сигналов Master Signals.

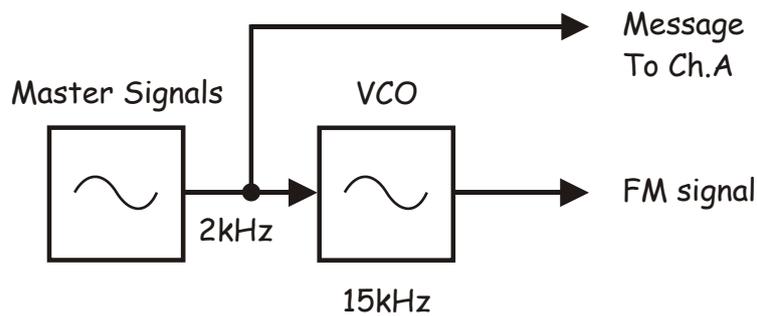


Рисунок 15

Master Signals - генератор опорных сигналов, VCO - генератор, управляемый напряжением, Message To Ch. A - сообщение к каналу A, FM signal - FM сигнал

50. Установите следующие параметры осциллографа:

- *Scale (Масштаб по напряжению)* канала A - 2 В/дел. и канала B - 100 мВ/дел.
- *Input Coupling (Связь с источником входного сигнала)* - AC (закрытый вход - оба канала)
- *Trigger Source (Источник сигнала запуска)* - CH A(Канал A)
- *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 200 мкс/дел.

51. С помощью клавиши TAB и клавиш со стрелками плавно вращайте виртуальный регулятор *Cut-off Frequency Adjust (Настройка частоты среза)* против часовой стрелки для точной настройки частоты среза ФНЧ

Примечание: вы должны увидеть демодулированный гармонический сигнал сообщения частотой 2 кГц размахом амплитуды 250 мВ.

Вопрос 7

Что говорит выходной сигнал FM модулятора о скважности импульсов на выходе детектора ZCD?

Скважность импульсов должна непрерывно изменяться, т.к. непрерывно изменяется напряжение на выходе модулятора.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Раздел Е – Передача и восстановление речевого сигнала с использованием частотной модуляции

Далее вам предстоит модулировать, передавать и демодулировать речевой сигнал.

52. Отсоедините проводники от выхода 2kHz SINE генератора опорных сигналов MASTER SIGNALS.
53. Измените схему, как показано на рисунке 16.

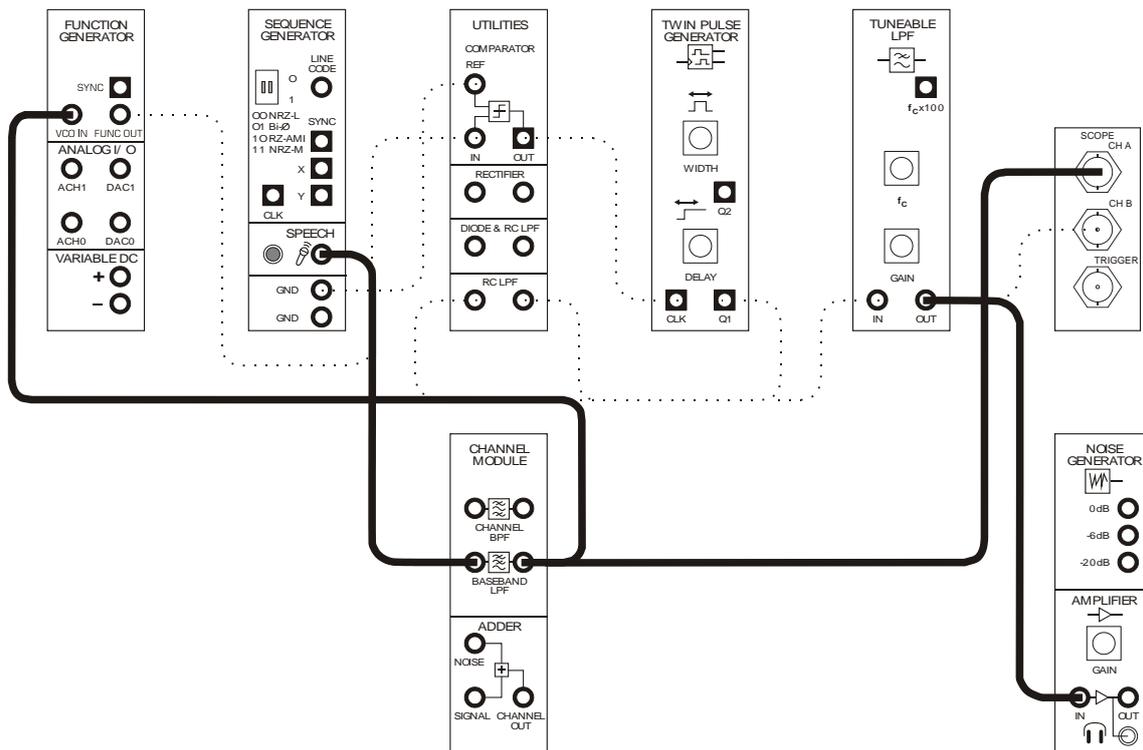


Рисунок 16

54. Установите масштаб по оси времени осциллографа 2 мкс/дел .
55. Найдите модуль AMPLIFIER (Усилитель) на программной панели управления DATeX и поверните виртуальный регулятор коэффициента усиления $GAIN$ до упора против часовой стрелки.

56. Не надевая наушники подключите их к соответствующему гнезду модуля Amplifier (Усилитель).
57. Наденьте наушники.
58. Отрегулируйте коэффициент усиления так, чтобы громкость звука была приемлемой.
59. Говорите что-нибудь в микрофон, одновременно слушая звуки в наушниках и наблюдая за экраном осциллографа.
60. Понаблюдав осциллограммы сигнала, выключите осциллограф и включите анализатор спектра, чтобы посмотреть спектр частотно-модулированного речевого сигнала. Настройте анализатор на частоту 40 кГц и попробуйте посвистеть в микрофон. Вы увидите различие между результатом модуляции сигнала одного тона и более сложного речевого сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.

Группа

13 - Дискретизация и восстановление сигналов

Эксперимент 13 – Дискретизация и восстановление сигналов

Предварительное обсуждение

Предыдущие лабораторные работы были посвящены экспериментальному изучению аналоговых систем связи. Однако цифровые системы связи быстро вытесняют аналоговые системы с рынка услуг связи. Для этого есть ряд причин, включая более высокую помехозащищенность цифровых сигналов и систем.

На сегодняшний день придумано много разновидностей цифровых систем передачи информации, некоторые из них рассматриваются далее. В любой цифровой системе аналоговый сигнал, например, речь или музыка, называемый *сообщением*, должен быть в первую очередь подвергнут *дискретизации*, которая подразумевает измерение уровня напряжения через равные интервалы времени.

На рисунке 1а показано сообщение в виде чистой синусоиды. Ниже расположен импульсный сигнал выборки, который задает *устройству выборки* интервал времени между измерениями сигнала сообщения. Еще ниже показан результат "естественной" выборки сигнала сообщения с частотой, определяемой сигналом дискретизации. Такой способ дискретизации называют "естественным" потому, что во время импульса выборки дискретизированный сигнал повторяет изменения напряжения сигнала сообщения. Для некоторых цифровых систем это неприемлемо. На рисунке 1б внизу показан сигнал, уровень которого в течение каждого интервала дискретизации остается постоянным. Такой сигнал формируется *устройством выборки и хранения (УВХ)*, называемым также *амплитудно-импульсным модулятором (АИМ)*.

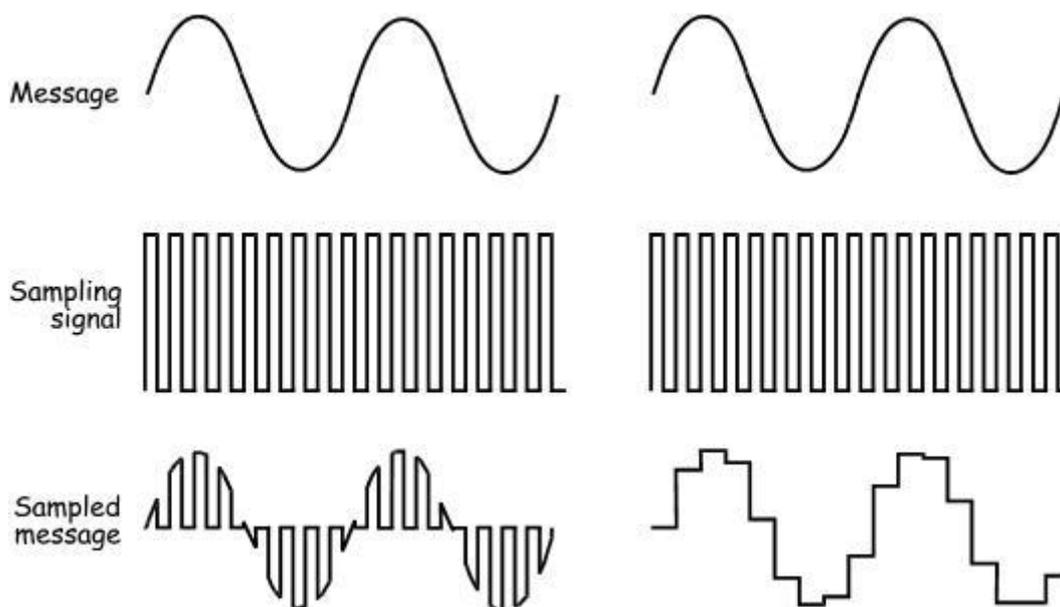


Рисунок 1а

Рисунок 1б

Message - сообщение. Sampling signal - сигнал выборки, Sampled message - дискретизированное сообщение

Любой метод дискретизации по определению "выхватывает" только части сообщения. Возникает вопрос, как восстановить исходное сообщение, имея отдельные его фрагменты? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим математическую модель дискретизированного сигнала, которая представляет собой произведение сигнала выборки и исходного сообщения:

Дискретизированное сообщение = сигнал выборки × исходное сообщение

С учетом того, что сигнал выборки состоит из постоянной составляющей, основной гармоник и высших гармоник, уравнение дискретизированного сигнала можно записать следующим образом:

Дискретизированное сообщение = (постоянная составляющая + основная гармоника + высшие гармоники) × сообщение

Если сообщение представляет собой простой синусоидальный сигнал (рисунок 1), то соответствующий дискретизированный сигнал состоит из следующих спектральных составляющих (тригонометрические выражения здесь не приводятся):

- Гармоника той же частоты, что и исходное сообщение
- Пара гармоник, частоты которых представляют собой сумму и разность частот основной гармоник (сигнала выборки) и исходного сообщения.
- Остальные пары гармоник, частоты которых представляют собой суммы и разности частот высших гармоник сигнала выборки и частоты сообщения.

Таким образом, дискретизированный сигнал состоит из множества гармоник, но одна из них имеет ту же частоту, что и исходное сообщение. Следовательно, для восстановления исходного сигнала дискретизированный сигнал нужно пропустить через фильтр нижних частот (ФНЧ), который, как следует из названия, пропускает более низкие частоты и подавляет более высокие частоты.

Для правильного выполнения работы следует также ознакомиться с вводной частью раздела Е.

Эксперимент

В этом эксперименте вы используете DATeX для дискретизации сообщения без запоминания уровня сигнала в момент выборки ("естественная" дискретизация) и с запоминанием - до следующей выборки (с помощью устройства выборки и хранения). Далее вам нужно будет выполнить спектральный анализ дискретизированного сообщения с помощью анализатора спектра (NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer). Наконец, вам будет необходимо восстановить исходное сообщение и исследовать влияние *эффекта наложения спектров (aliasing - "алиазинг")*.

Время выполнения работы - около 50 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Часть А - Дискретизация простейшего сообщения

Вам предстоит произвести дискретизацию простейшего сообщения двумя способами с помощью модуля Dual Analog Switch (Сдвоенный аналоговый ключ).

Порядок выполнения (*' - относится только к NI ELVIS I)

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATeX.
11. Убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATeX путем активации виртуального элемента управления *PDM/TDM* модуля PCM Coder (ИКМ кодер) на программной панели управления DATeX.

Примечание: Если схема работает правильно, светодиод модуля PCM Decoder (ИКМ декодера) на плате DATeX должен мигать.

12. Соберите схему, как показано на рисунке 2.

Примечание: Черные штекеры кабеля осциллографа необходимо вставить в гнездо *GND* (общий провод).

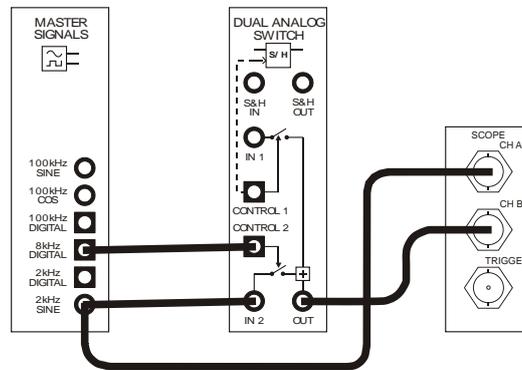


Рисунок 2

Приведенную на рисунке 2 схему можно представить блок-схемой (рисунок 3). Сигнал исходного сообщения берется с выхода *2kHz SINE* (Синусоида частотой 2 кГц) модуля *MASTER SIGNALS* (Генератор опорных сигналов) и через электронный аналоговый ключ *DUAL ANALOG SWITCH* передается на выход. Замыканием и размыканием ключа управляет сигнал *8kHz DIGITAL* (Цифровой сигнал прямоугольной формы частотой 8 кГц), который также формируется генератором опорных сигналов.

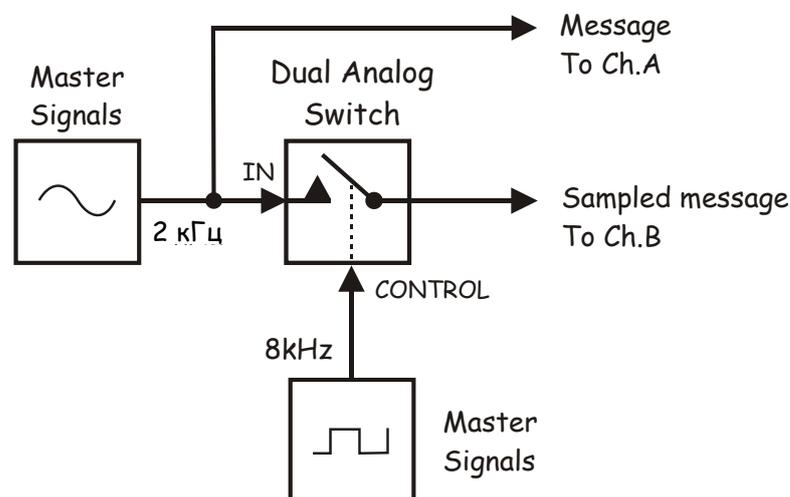


Рисунок 3

Master Signals - генератор опорных сигналов, Dual Analog Switch - двоиный аналоговый ключ, In - вход сигнала сообщения, Control - управление, Message To Ch.A - сообщение к каналу A, Sampled message To Ch.B - дискретизированное сообщение к каналу B,

13. Запустите программу (VI) виртуального осциллографа NI ELVIS.

14. Установите такие же параметры режима работы осциллографа, как в эксперименте 1 (страница 1-13), переключатель источников сигнала запуска *Trigger Source* должен быть установлен в положение *CH A*(канал A).
15. Выберите такой масштаб по оси времени (*Timebase*), чтобы на экране были видны два или три периода гармонического сигнала с выхода *2kHz SINE* генератора опорных сигналов *Master Signals*.
16. Включите канал В осциллографа нажатием на кнопку *ON/OFF Channel B Display* для наблюдения дискретизированного сообщения на выходе сдвоенного аналогового ключа вместе с исходным сообщением.

Совет: Для ясного наблюдения осциллограмм обоих сигналов следует так настроить осциллограф, чтобы они не перекрывались.

17. Нарисуйте оба сигнала в одном масштабе на поле, отведенном под рисунок (на следующей странице), оставив место для третьего сигнала.

Совет: График сигнала сообщения следует рисовать в первой трети (сверху) поля, а дискретизированный сигнал - во второй трети (в середине).

Вопрос 1

Какой вид дискретизации изучался в рассмотренном примере?

- на основе выборки без запоминания ✓
- на основе выборки и хранения

Вопрос 2

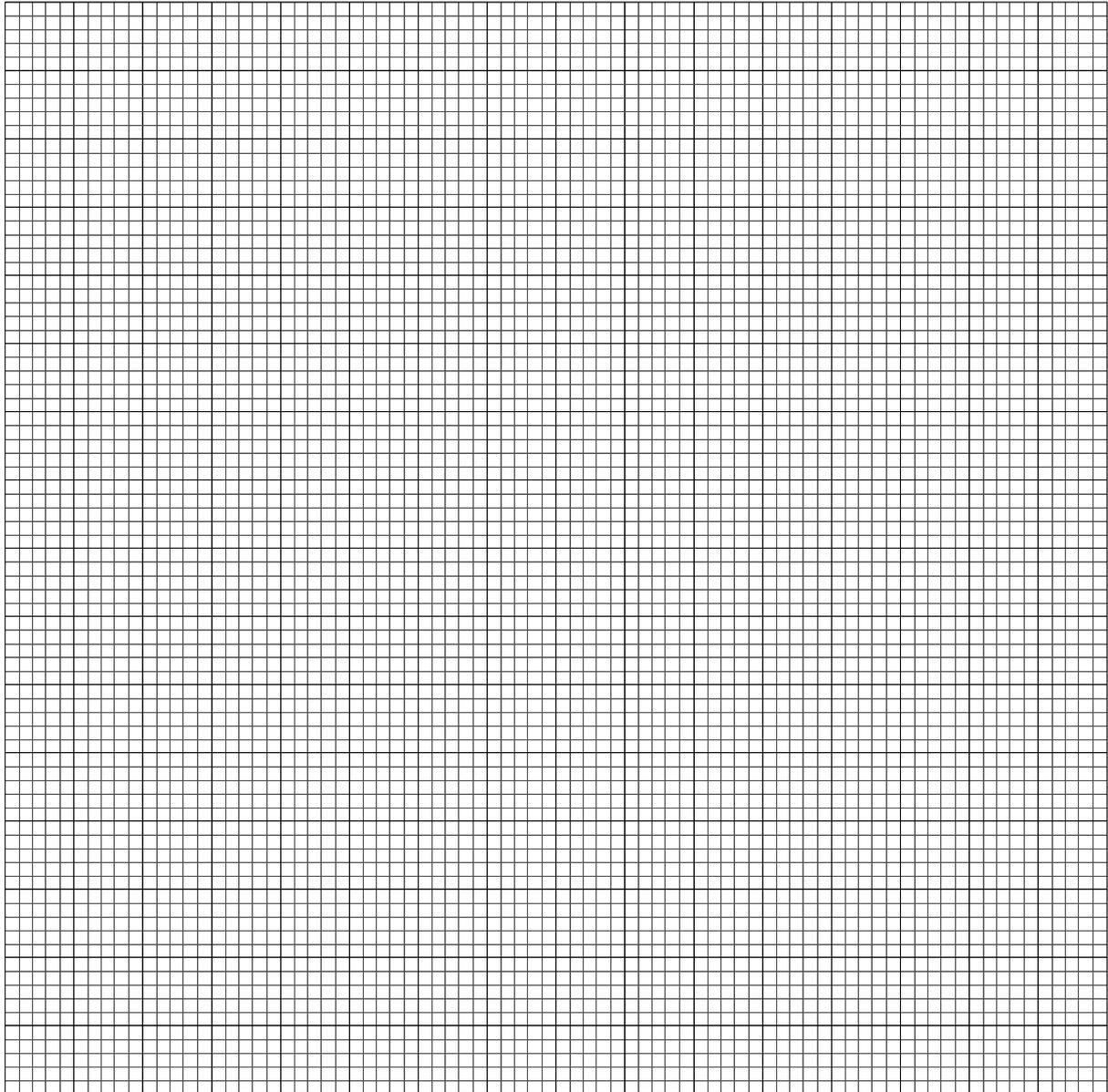
Какими двумя свойствами обладает данный вид дискретизации?

- 1) Уровень напряжения дискретизированного сигнала изменяется во время выборки.
- 2) В течение интервала времени между выборками уровень напряжения равен нулю.

Напоминание: Это руководство составлено для **ELVIS I**.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- *CH A* (Канал A) и *CH B* (Канал B) осциллографа в **ELVIS II** обозначены соответственно *CH0* (Канал 0) и *CH1* (Канал 1)
- В **ELVIS II** режим *Manual* (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим *Manual* (ручной)
- Если функциональный генератор используете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления *modulation* (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход *DATEx VCO IN* (вход генератора, управляемого напряжением)



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

18. Внесите изменения в схему согласно рисунку 4.

Перед тем, как приступить...

Схема, приведенная на рисунке 4, построена на основе уже собранной вами схемы и, следовательно, нет необходимости ее разбирать. Чтобы выделить отличия в схемах, имеющиеся соединения показаны пунктирной линией.

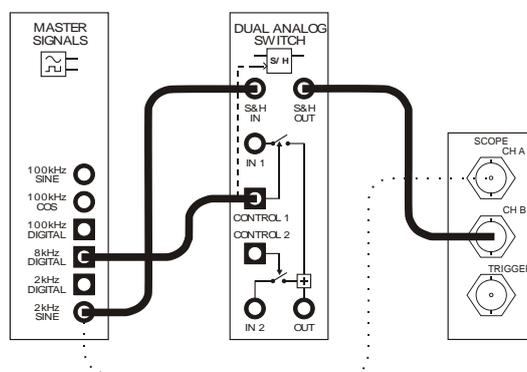


Рисунок 4

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 5, где вместо электронного ключа используется устройство выборки и хранения (УВХ). Сигнал сообщения (синусоида частотой 2 кГц) и сигнал выборки (последовательность импульсов частотой 8 кГц) остаются те же самые.

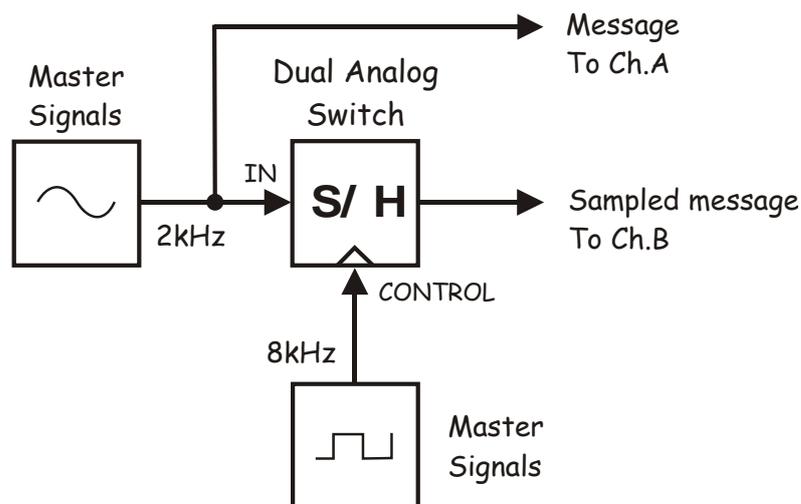


Рисунок 5

Master Signals - генератор опорных сигналов, Dual Analog Switch - двоянный аналоговый ключ, S/H - устройство выборки и хранения (УВХ), In - вход сигнала сообщения, Control - управление, Message To Ch.A - сообщение к каналу А, Sampled message To Ch.B - дискретизированное сообщение к каналу В,

19. Изобразите график дискретизированного сообщения на оставленном для него месте в том же масштабе, что и исходное сообщение, и сигнал выборки.

Вопрос 3

Какими двумя свойствами обладает дискретизированный сигнал на выходе УВХ?

- 1) В течение импульса выборки уровень напряжения не изменяется.
- 2) Между импульсами выборки значение дискретизированного сигнала не падает до нуля.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Дискретизация речевого сигнала

В предыдущем разделе был рассмотрен пример дискретизации сообщения, представляющего собой синусоиду частотой 2 кГц. На самом деле, в цифровых системах связи коммерческого назначения в качестве сообщений передаются музыкальные и речевые сигналы. При выполнении последующих действий вы увидите, как выглядят дискретизированные речевые сигналы.

20. Отсоедините разъемы от выхода *2kHz SINE* модуля генератора опорных сигналов *Master Signals*.

21. Присоедините их к выходу модуля *SPEECH* (Преобразователь речевых сигналов) согласно рисунку 6.

Внимание! Соединения, которые следует оставить без изменений, показаны пунктирной линией.

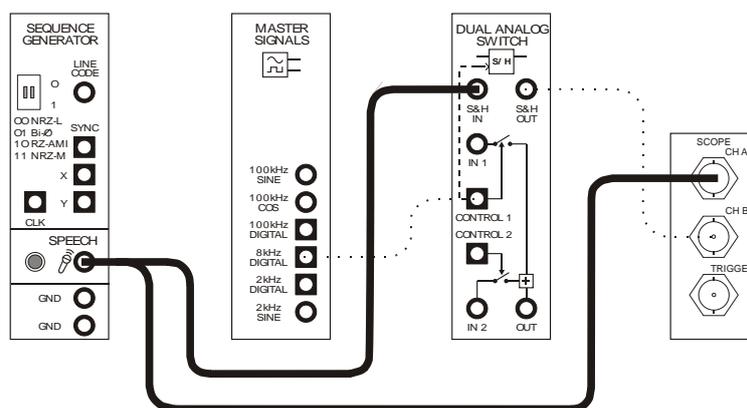


Рисунок 6

22. Установите масштаб по оси времени (*Timebase*) осциллографа *500 мкс/дел*.

23. Говорите что-нибудь в микрофон, одновременно наблюдая за экраном осциллографа.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Раздел С – Исследование спектра дискретизированного сообщения

Вспомните, что дискретизированное сообщения состоит из множества гармонических составляющих. Важно отметить, что каждой гармонике исходного сообщения соответствует гармоника дискретизированного сигнала на той же частоте, в чем можно убедиться с помощью анализатора спектра (NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer). Математическое обеспечение анализатора включает в себя алгоритм *быстрого преобразования Фурье* (БПФ) – *Fast Fourier Transform* (FFT), который позволяет получить изображение спектра сложного сигнала в *частотной области*. Далее вы получите изображение спектра дискретизированного сообщения в *частотной области*.

- Верните элемент управления *масштабом по оси времени (Timebase)* осциллографа в положение *100 мкс/дел*.
- Отсоедините разъемы от выхода модуля преобразователя речевых сигналов *Speech module* и подключите их к выходу *2kHz SINE* модуля генератора опорных сигналов *Master Signals*.

Примечание: На экране осциллографа должен появиться осциллограмма сигнала, которую вы нарисовали при выполнении шага 19.

- Остановите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN* (*Туск*).

Примечание: Изображение на экране должно "остановиться".

- Запустите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI (Анализатор спектра).

Примечание: Если анализатор загрузился без ошибок, изображение на экране должно быть таким же, как на рисунке 7.

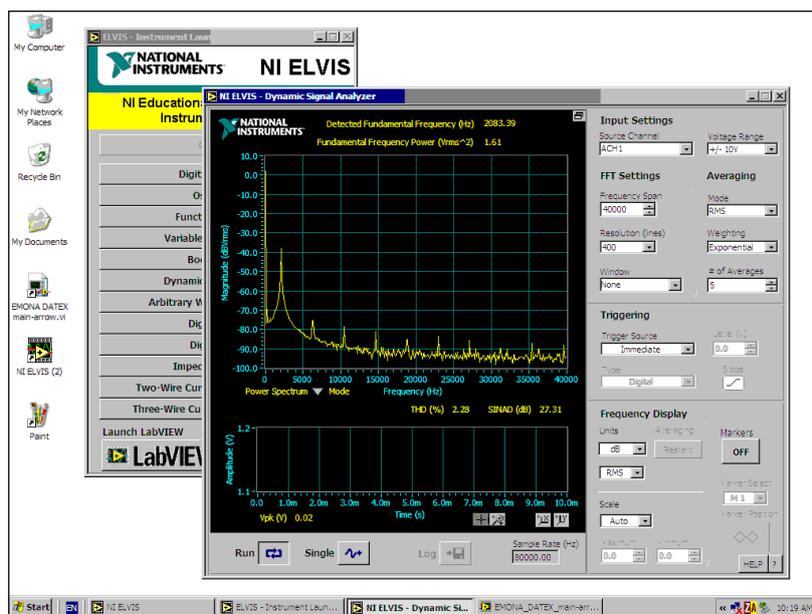


Рисунок 7

- Настройте анализатор спектра следующим образом:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входов)

- *Source Channel (Канал источника сигнала)* - в положение *Scope CHB (Канал В Осциллографа)*
- *Voltage Range - $\pm 10V$* (Диапазон напряжений - $\pm 10V$)

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье - БПФ)

- *Frequency Span (Диапазон частот)* - 40,000
- *Resolution (Разрешение)* - 400
- *Window (Окно)* - 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Triggering (Сигнал запуск)

- *Triggering (Сигнал запуска)* - *Source Channel (от источника сигнала)*

Averaging (Усреднение)

- *Mode (Режим)* - *RMS (среднеквадратическое значение)*
- *Weighting (Взвешивание)* - *Exponential (Экспоненциальное)*
- *# of Averages (выборки для усреднения)* - 3

Frequency Display (Режим отображения спектра)

- *Units (Масштаб)* - *dB (Логарифмический - дБ)*
- *RMS/Peak (Среднеквадратический / Амплитудный спектр)* - *RMS*
- *Scale* - *Auto (Автомасштабирование)*
- *Markers (Маркеры)* - *OFF (Отключены)*

Примечание: Если анализатор сигналов настроен правильно, изображение должно получиться таким же, как на рисунке 8.

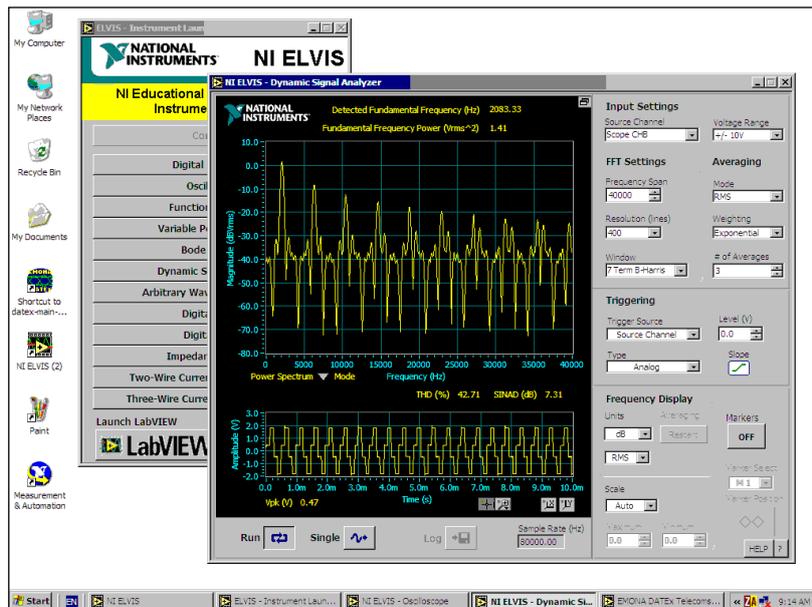


Рисунок 8

Если вы не выполняли лабораторную работу 7, принцип работы анализатора спектра требует некоторых пояснений. В действительности там два экрана, один большой - наверху, а другой поменьше - под ним. На маленьком экране входной сигнал представлен во временной области (другими словами, это экран осциллографа).

Если вы выполняли лабораторную работу 7, сразу переходите к п. 36 на следующей странице.

29. Включите маркеры анализатора спектра нажатием на кнопку *Markers (Маркеры)*.

Примечание 1: После включения маркеров на кнопке появится надпись "ON" ("ВКЛ.") вместо "OFF" ("ВЫКЛ.").

Примечание 2: На экране графиков в частотной области анализатора спектра должны появиться зелёные горизонтальная и вертикальная линии. Если вы не видите эти линии, то включите и выключите кнопку *Markers (Маркеры)* несколько раз, наблюдая при этом за экраном.

Анализатор спектра NI ELVIS имеет два маркера *M1* и *M2*, которые после включения NI ELVIS находятся у левой границы экрана. Изменить их положение можно, "захватив" мышью вертикальную линию маркера и перетаскивая её влево и вправо.

30. Захватите мышью и медленно двигайте маркер *M1*.

Примечание: Обратите внимание на то, что пересечение вертикальной и горизонтальной линий маркера *M1* двигается по линии графика.

31. Повторите п.30 с маркером *M2*.

Анализатор спектра позволяет измерять *разность* амплитуд гармоник и их разность по положениям маркеров. Эти результаты измерений отображаются зелёным цветом между верхним и нижним экраном.

32. Перемещайте маркеры, чтобы увидеть, как изменяются разности частот и амплитуд.

33. Совместите маркеры друг с другом и посмотрите, чему равны разности.

Примечание: Обе разности должны быть равны нулю.

Когда один из маркеров установлен на левую границу экрана, его координата по оси X равна нулю. Это значит, что этот маркер установлен на 0 Гц, а другой маркер дает нам абсолютное значение частоты. И это действительно так, потому что результат измерения разности частот по двум маркерам совпадает с координатой второго маркера.

34. Переместите маркер *M2* к левому краю экрана.
35. Совместите маркер *M1* с вершиной одного из максимумов.

Примечание: Вы увидите значение частоты, которое соответствует данному максимуму.

Поскольку частота исходного сигнала сообщения равна 2 кГц, дискретизированный сигнал также должен содержать гармонику частотой 2 кГц.

36. С помощью маркера *M1* найдите гармонику в спектре дискретизированного сообщения, частота которой совпадает с частотой исходного сообщения.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Как упоминалось ранее, частоты всех гармоник, из которых состоит дискретизированное сообщение, можно определить строго математически. Вспомним, что такой цифровой сигнал как синхросигнал, управляющий устройством *выборки*, состоит из постоянной составляющей, основной гармоники и высших гармоник. В случае использования устройства *выборки и хранения*, синхросигнал больше напоминает последовательность импульсов, чем меандр. Следовательно, спектр дискретизированного сигнала состоит из постоянной составляющей, основной гармоники и всех кратных гармоник, имеющих как четные, так и нечетные номера. Например, последовательность синхроимпульсов частотой 8 кГц состоит из постоянной составляющей, а также спектральных составляющих на частотах 8 кГц (f_s), 16 кГц ($2f_s$), 24 кГц ($3f_s$) и т.д.

Умножение постоянной составляющей сигнала выборки на синусоидальный сигнал сообщения дает сигнал той же частоты, что и сообщение. Соответствующую составляющую можно обнаружить в спектре дискретизированного сигнала.

Умножение основной гармоники дискретизированного сигнала на синусоидальный сигнал сообщения дает суммарную и разностную частотные составляющие, соответственно на частотах $6 \text{ кГц} = 8 \text{ кГц} - 2 \text{ кГц}$ и $10 \text{ кГц} = 8 \text{ кГц} + 2 \text{ кГц}$.

Аналогично получают суммарные и разностные составляющие для высших гармоник:
 $14 \text{ кГц} = 16 \text{ кГц} - 2 \text{ кГц}$, $18 \text{ кГц} = 16 \text{ кГц} + 2 \text{ кГц}$,
 $22 \text{ кГц} = 24 \text{ кГц} - 2 \text{ кГц}$, $26 \text{ кГц} = 24 \text{ кГц} + 2 \text{ кГц}$ и т.д.

Все эти суммарные и разностные частотные составляющие дискретизированного сигнала являются *ложными (Alias)*.

37. С помощью маркера *M1* измерьте точные значения частоты для первых шести ложных гармоник и занесите их в таблицу 1.

Совет: Значения этих частот будут близки к приведенным выше.

Таблица 1

Ложная частота 1		Ложная частота 4	
Ложная частота 2		Ложная частота 5	
Ложная частота 3		Ложная частота 6	



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Почему ложные частоты отличаются от расчетных?

Измеренные значения ложных частот отличаются от рассчитанных теоретически, но это не изъян теории. Объяснение простое: последовательности импульсов с выходов генератора опорных сигналов получены путем деления частоты кварцевого генератора 100 кГц , вследствие чего истинные значения частот соответственно равны 8.3 кГц и 2.08 кГц (а не 8 кГц и 2 кГц). Делением более высокой частоты обеспечивается синхронизация сигналов, выдаваемых генератором опорных сигналов, это необходимо для реализации различных видов модуляции, рассматриваемых в настоящем руководстве.

Часть D – Восстановление дискретизированного сообщения

Убедившись, что спектр дискретизированного сообщения содержит основную гармонику исходного сообщения, нетрудно понять, каким образом фильтр нижних частот восстанавливает первоначальное сообщение. ФНЧ пропускает основную гармонику исходного сообщения и подавляет все остальные гармоники. Далее вам предстоит экспериментально восстановить исходное сообщение.

38. Остановите анализатор спектра однократным нажатием на его кнопку *RUN*.

Примечание: Изображение на экране должно зафиксироваться.

39. Снова запустите осциллограф однократным нажатием на его кнопку *RUN*.

40. Найдите модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (Перестраиваемый ФНЧ) на программной панели управления DАТех и установите виртуальный регулятор *GAIN* (Коэффициент усиления) в среднее положение.

41. Поверните виртуальный регулятор *Cut-off Frequency Adjust* (Частота среза) против часовой стрелки до упора.

42. Внесите изменения в схему согласно рисунку 9.

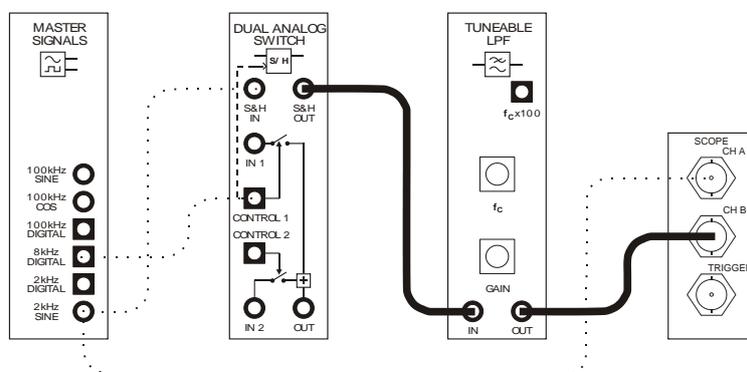


Рисунок 9

Схему на рисунке 9 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 10. Восстановление исходного сообщения осуществляет перестраиваемый ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER).

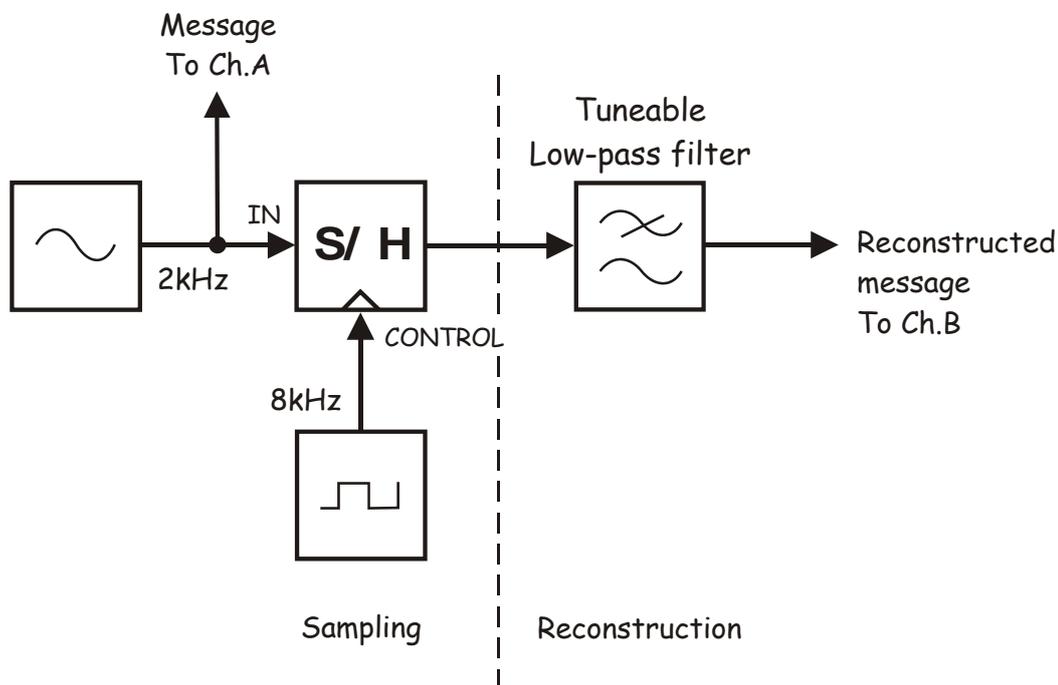


Рисунок 10

Sampling - Дискретизация: Message To Ch.A - сообщение к каналу A, In - вход сигнала сообщения, S/H - устройство выборки и хранения, Control - сигнал управления

Reconstruction - восстановление: Tuneable Low-pass Filter - перестраиваемый ФНЧ, Reconstructed message To Ch. B - восстановленное сообщение к каналу B

В настоящий момент на выходе ФНЧ ничего не должно наблюдаться, поскольку он настроен таким образом, чтобы подавлялись все частотные составляющие, в том числе и сообщение. Однако, частоту среза можно плавно увеличивать путем вращения регулятора *Cut-off Frequency Adjust* по часовой стрелке.

43. Плавно вращайте регулятор *Cut-off Frequency Adjust* (Частота среза) перестраиваемого ФНЧ по часовой стрелке до тех пор, пока восстановленное сообщение не появится на экране и хотя бы приблизительно не совпадет по фазе с исходным сообщением.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть E – Эффект наложения спектров

ФНЧ позволяет легко восстанавливать исходное сообщение, если частоты ложных гармоник значительно выше, чем частота сигнала сообщения. Например, измерения, проведенные ранее, показали, что частота самой низшей ложной гармоники равна 6 кГц.

Следует учитывать, что частоты ложных гармоник определяются частотой дискретизации. Если частота дискретизации окажется слишком низкой, это приведет к тому, что все ложные гармоники сместятся вниз и часть из них будет пропускаться через ФНЧ вместе с полезными гармониками, несмотря на то, что дискретизированное сообщение все равно будет воспроизводиться как копия исходного сообщения, поскольку оно является функцией постоянной составляющей сигнала выборки. Рассмотренное явление, вследствие которого восстановление сообщения происходит с искажениями, называют *эффектом наложения спектров (алиазингом - aliasing)*.

Чтобы не допустить наложения спектров, частота дискретизации должна быть как минимум в два раза больше частоты сообщения (если сообщение - простой синусоидальный сигнал) или в два раза больше самой верхней частоты сообщения (если сообщение состоит из множества гармоник). Эта минимально допустимая частота дискретизации называется *частотой дискретизации Найквиста*. На практике частота дискретизации должна несколько превышать частоту Найквиста, поскольку реальный ФНЧ, обладающий инерционностью, гармоники выше частоты среза не может подавить полностью.

Далее вы будете изменять частоту дискретизации, чтобы увидеть эффект наложения спектров.

44. Переведите переключатель *Control Mode* (Режим управления) модулем NI ELVIS Function Generator (Функциональным генератор) в положение, противоположное *MANUAL* (Ручной режим управления).
45. Запустите программу (VI) Function Generator VI (Функциональный генератор).
46. Нажмите виртуальную кнопку ON/OFF функционального генератора для того, чтобы включить генератор
47. Установите на выходе функционального генератора сигнал частотой 8 кГц.

Примечание: Вам больше не потребуется изменять настройки генератора, поскольку будет использоваться только цифровой сигнал *SYNC*.

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

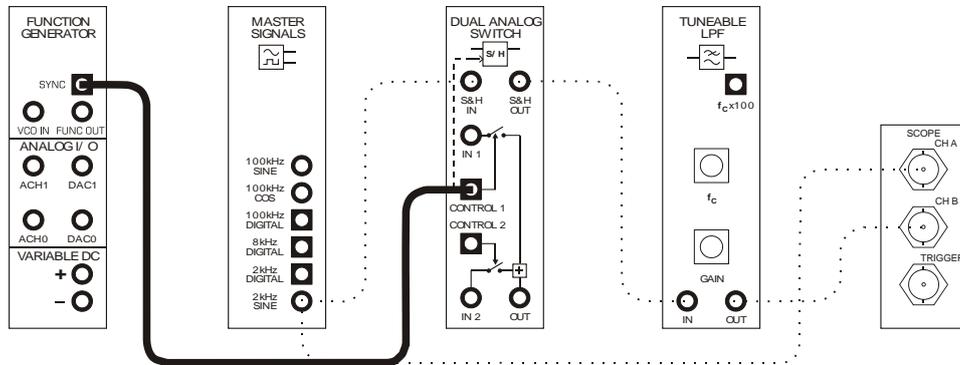


Рисунок 11

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 12. В данном случае сигнал выборки берется с функционального генератора, частоту которого можно регулировать.

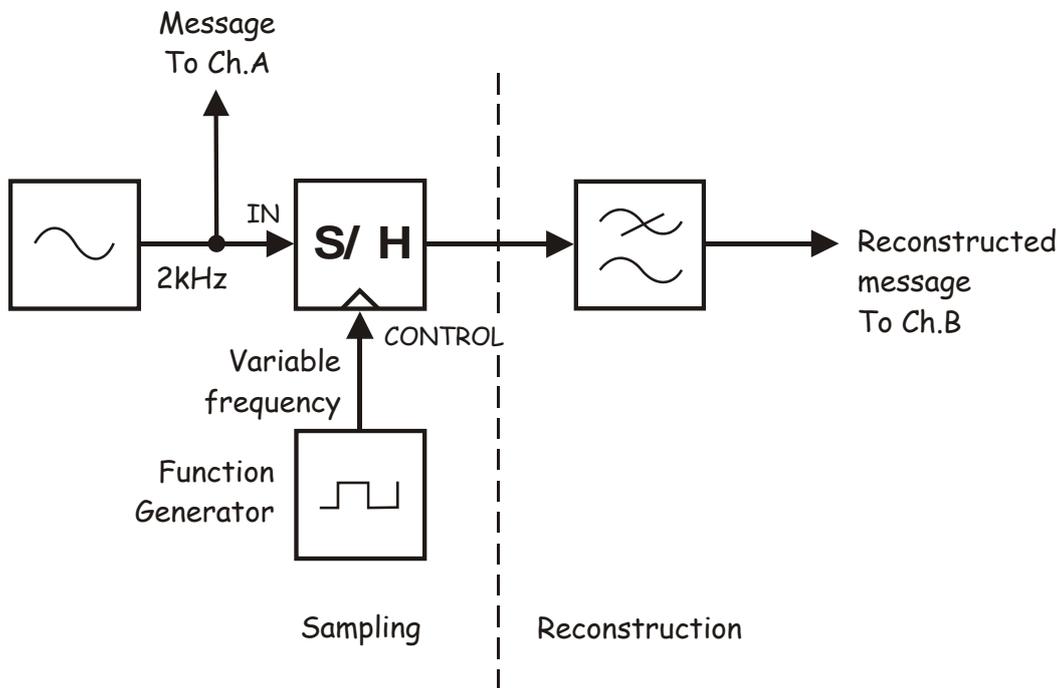


Рисунок 12

Sampling - Дискретизация: Message To Ch.A - сообщение к каналу A, In - вход сигнала сообщения, Function Generator - функциональный генератор, Variable frequency - регулируемая частота S/H - устройство выборки и хранения, Control - сигнал управления

Reconstruction - восстановление: Reconstructed message To Ch. B - восстановленное сообщение к каналу B

Тока дискретизация и восстановление сообщения происходят так же, как и раньше.

49. Установите масштаб по оси времени осциллографа (*Timebase*) 500 мкс/дел.
50. Уменьшите частоту генератора до 1000 Гц и посмотрите, как изменился сигнал восстанавливаемого сообщения.

Примечание: генератору необходимо время для установки частоты выходного сигнала.

51. Отсоедините канал В осциллографа от выхода перестраиваемого ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER) и присоедините его к выходу *S&H* устройства выборки и хранения модуля DUAL ANALOG SWITCH (Сдвоенный аналоговый ключ).
52. Остановите осциллограф.
53. Запустите анализатор спектра.

Вопрос 4

Изменились ли ложные гармоники дискретизированного сигнала?

Они все уменьшились при частоте дискретизации 1000 Гц.

54. Остановите анализатор сигналов.
55. Снова запустите осциллограф.
56. Обрато присоедините канал В к выходу перестраиваемого ФНЧ.
57. Повторите шаги 50 - 56, изменяя частоту функционального генератора до 3000 Гц.

Вопрос 5

Как называется явление искажения сигнала, возникающее из-за того, что частота дискретизации выбрана слишком маленькой?

Наложение спектров - Aliasing.

Вопрос 6

Что происходит с самой низшей гармоникой дискретизированного сигнала, если частота дискретизации равна 4 кГц?

Она накладывается на соответствующую гармонику исходного сигнала.



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

58. Если у вас что-то не получилось, повторите шаги 54 - 56.
59. Путем увеличения частоты генератора с шагом 200 Гц добейтесь, чтобы восстановленное сообщение было неподвижным и точно походило на исходное сообщение.
60. Запишите полученное значение частоты дискретизации в таблицу 2.

Таблица 2	Частота
Минимальная частота дискретизации (без наложения спектров)	

Вопрос 7

Какой должна быть минимальная частота дискретизации, если исходное сообщение представляет собой гармонический сигнал частотой 2 кГц?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, почитайте комментарии на страницах 13-18.

4 кГц (2 × 2 кГц)

Вопрос 8

Почему на практике минимальная частота дискретизации, которая обеспечивает восстановление исходного сообщения без искажений за счет наложения спектров, выше теоретически рассчитанной при ответе на вопрос 7?

Это обусловлено тем, что фильтры нижних частот неидеальны - спад передаточной характеристики от частоты среза не крутой, а пологий.



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

14 - Импульсно-кодовая модуляция

Лабораторная работа 14 – Импульсно-кодовая модуляция

Предварительное обсуждение

Как вам известно, цифровые системы передачи информации вытесняют аналоговые системы с рынка услуг связи. Следовательно, понимание принципов цифровой связи чрезвычайно важно для специалистов в области телекоммуникаций. Последующие эксперименты в этой книге знакомят с основами некоторых разновидностей цифровых систем связи. Начнем с систем *импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) – pulse code modulation (PCM)*.

Импульсно-кодовая модуляция предназначена для преобразования аналогового сообщения в последовательный поток двоичных цифровых данных (нулей и единиц). Процесс преобразования сигнала называют *кодированием* и в простейшем случае состоит из следующих операций:

- Равномерная во времени дискретизация аналогового сигнала с помощью устройства выборки и хранения (эти вопросы рассмотрены в эксперименте 13).
- Сравнение каждого отсчета с набором опорных напряжений – *уровнями квантования*.
- Нахождение уровня квантования, наиболее близкого к уровню дискретизированного сигнала.
- Формирование двоичного числа, соответствующего найденному уровню квантования.
- Вывод двоичного числа в последовательном формате (бит за битом).
- Повторение приведенных выше шагов для следующего отсчета и т.д.

Ключевой характеристикой ИКМ систем является тактовая частота кодера, определяющая частоту дискретизации. Как показано в предыдущем эксперименте, во избежание наложения спектров эта частота должна быть как минимум в два раз больше верхней частоты спектра передаваемого сообщения.

Другой важной характеристикой ИКМ является *погрешность квантования*, которая определяется разностью между значением дискретизированного напряжения и уровнями квантования, с которыми оно сравнивается. Как упоминалось выше, ИКМ кодер присваивает выборке значение ближайшего уровня квантования. При этом квантованное значение выборки отличается от действительного, а разность между ними называется погрешностью квантования. Она проявляется в ИКМ демодуляторе приемника, где уровень исходного сигнала уже неизвестен. Значение погрешности зависит от количества уровней квантования. Очевидно, что чем больше количество уровней квантования при заданном диапазоне изменения уровня передаваемого сигнала, тем меньше погрешность.

Краткие сведения о модуле PCM ENCODER (ИКМ кодер) системы Emona DATEx
Модуль PCM Encoder выполнен на основе интегральной микросхемы, реализующей функции ИКМ кодера и ИКМ декодера. Микросхема, называемая *кодек (codec)*, предназначена для преобразования аналоговых напряжений в диапазоне от -2 В до +2 В в 8-разрядное двоичное число, которое обеспечивает 256 уровней квантования, каждому из которых соответствует одно из 256 двоичных чисел в диапазоне от 00000000 до 11111111.

Каждое двоичное число передается в последовательном формате в виде *кадра (frame)*. Вначале передается старший значащий бит (бит7), затем передается 6-ой бит и т.д., в конце передается младший значащий бит (бит0). По окончании передачи младшего значащего бита модуль PCM Encoder формирует на отдельном выходе высокий уровень сигнала - специальный бит кадровой синхронизации *Frame Synchronisation (FS)*. Сигнал кадровой синхронизации *FS* в первую очередь нужен при декодировании (смотрите раздел предварительного обсуждения к эксперименту 15), его можно использовать как сигнал внешнего запуска осциллографа при наблюдении ИКМ сигналов.

На рисунке 1 приведен пример потока данных (PCM) с выхода ИКМ кодера, состоящего из трех кадров (Frame1, Frame2, Frame3), вместе с сигналами битовой (Clock) и кадровой (FS) синхронизации. Каждый кадр состоит из 8 бит (Bit), имеющих номера от 7 до 0. Биты PCM изображены в виде прямоугольников, которые показывают, что каждый из них может быть в одном из двух состояний: '0' или '1'.

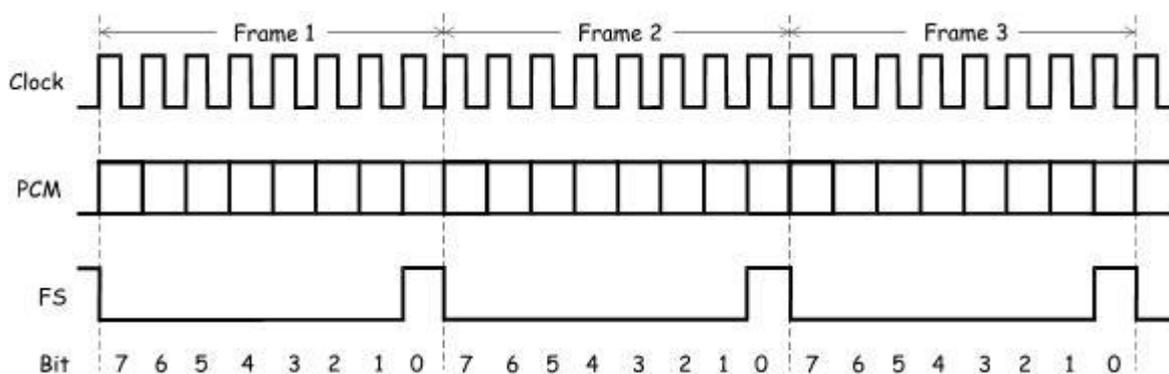


Рисунок 1

Эксперимент

С помощью модуля PCM Encoder нужно будет выполнить импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ кодирование) следующих сигналов: постоянного напряжения с фиксированным уровнем, постоянного напряжения с регулируемым уровнем, непрерывно изменяющегося сигнала. Вам предстоит проверить работоспособность ИКМ кодера, а также исследовать погрешность квантования.

Время выполнения работы - 1 час.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Введение в ИКМ-кодирование уровня постоянного напряжения

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера)).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATeX.
11. Убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATeX путем активации виртуального элемента управления *PDM/TDM* модуля PCM Coder (ИКМ кодер) на программной панели управления DATeX.

Примечание: Если схема работает правильно, светодиод модуля PCM Decoder (ИКМ декодера) на плате DATeX должен мигать.

12. Переведите переключатель режимов управления *Control Mode* модуля функционального генератора *Function Generator* положение *PC Control* (Управление от компьютера).
12. Запустите программу (VI) *Function Generator* (Функциональный генератор)
14. Включите генератор нажатием на кнопку *ON/OFF* функционального генератора на программной лицевой панели.
15. Установите на выходе функционального генератора сигнал частотой 10 кГц.

Примечание: Вам больше не потребуется изменять какие-либо настройки генератора, поскольку будет использоваться только цифровой сигнал *SYNC*.

16. Сверните окно программы функционального генератора.
17. Найдите модуль *PCM ENCODER* (ИКМ кодер) на программной панели управления Emona DATEX и переведите виртуальный переключатель режимов работы в положение *PCM* (ИКМ).
18. Соберите схему в соответствии с рисунком 2.

Примечание: Вставьте черные штекеры кабеля осциллографа в гнездо *GND*.

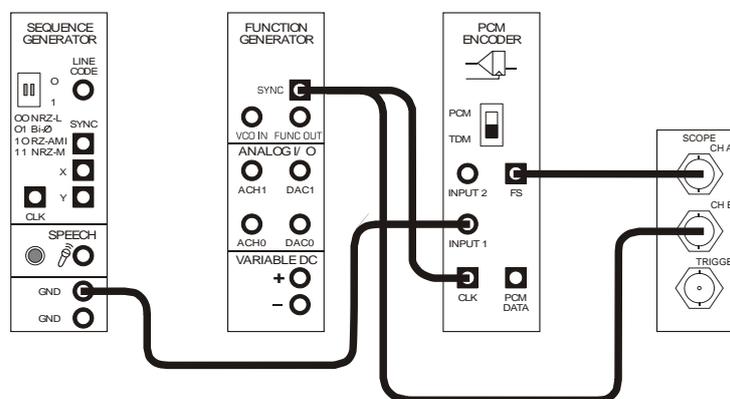


Рисунок 2

Схему на рисунке 2 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3. Синхронизация ИКМ кодера (PCM ENCODER) осуществляется от функционального генератора. На аналоговый вход кодера подается постоянное напряжение 0 В.

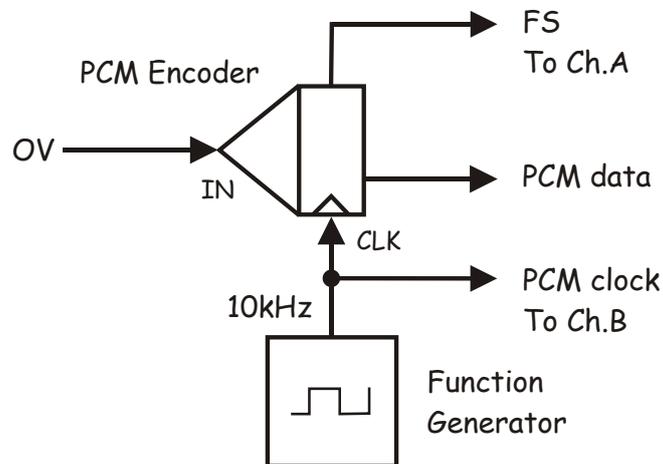


Рисунок 3

PCM Encoder - ИКМ кодер, In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации, Function Generator - функциональный генератор, FS To Ch. A - сигнал кадровой синхронизации к каналу A, PCM data - ИКМ закодированное сообщение, PCM clock To Ch. B - синхроимпульсы ИКМ к каналу B

19. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
20. Настройте осциллограф так же, как в эксперименте 1 (страница 1-13) с учетом следующих изменений:
 - *Scale (Масштаб по напряжению)* обоих каналов - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - *Coupling (Связь с источником сигнала)* обоих каналов - DC (открытый вход) вместо AC (закрытый вход)
 - *Trigger Level (Уровень напряжения запуска)* - 2 В вместо 0 В.
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 200 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.
21. Установите орган управления *Slope (Наклон или фронт)* в положение "-" (отрицательный).

Выбор режима запуска по отрицательному фронту означает, что развертка осциллографа запускается, когда сигнал кадровой синхронизации *FS* изменяется с высокого уровня на низкий. Отличие режима запуска по отрицательному фронту от режима запуска по положительному фронту можно заметить, изменяя положение органа управления *Slope*. Не забудьте убедиться в том, что после этих манипуляций снова установлен запуск по отрицательному фронту.

22. Установите масштаб по оси времени 100 мкс/дел.

Примечание 1: Импульс кадровой синхронизации (*FS*) должен занимать одно деление по горизонтали (рисунок 4). При необходимости подстройте частоту выходного сигнала функционального генератора.

Примечание 2: В этом режиме каждый бит последовательных данных занимает одно деление по горизонтальной оси.

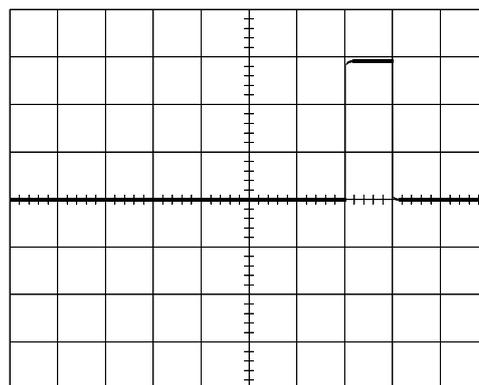


Рисунок 4

23. Включите канал В осциллографа нажатием кнопки *Channel B Display ON/OFF* для наблюдения сигналов битовой (*CLK*) и кадровой (*FS*) синхронизации.

Совет: Настройте осциллограф так, чтобы осциллограммы не перекрывались.

24. Изобразите наблюдаемые сигналы с соблюдением масштаба на поле, отведенном под рисунок (стр. 14-9), оставив место под третий сигнал.

Совет: В верхней трети листа должен располагаться сигнал битовой синхронизации, во второй трети – сигнал кадровой синхронизации.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATA VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

25. Подключите канал В осциллографа к выходу модуля PCM Encoder (ИКМ кодер), как показано на рисунке 5.

Внимание! пунктирной линией показаны соединения, которые уже есть.

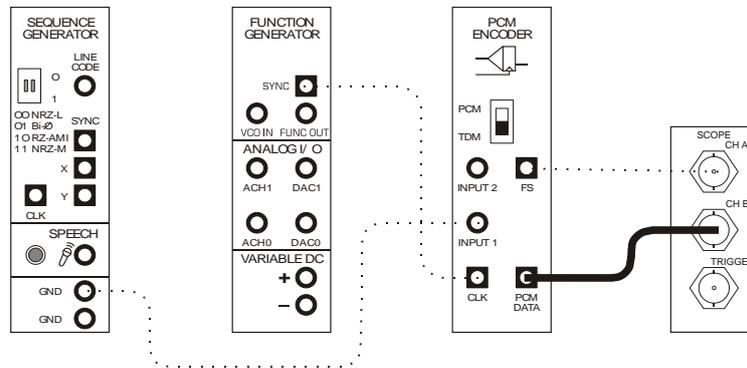


Рисунок 5

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 6. На экране осциллографа должны быть видны 10 бит данных, поступающих с выхода ИКМ кодера. Первые 8 бит слева относятся к первому кадру сообщения, а оставшиеся 2 бита - к следующему.

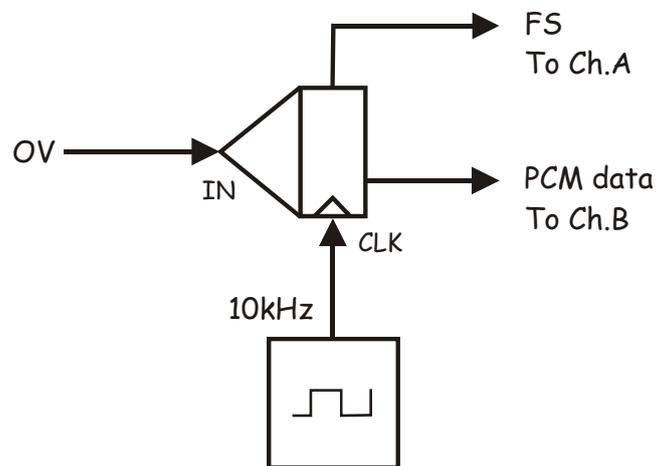


Рисунок 6

In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации,
FS To Ch. A - бит кадровой синхронизации к каналу A,
PCM data To Ch. B - ИКМ закодированное сообщение к каналу B

26. Нарисуйте полученную осциллограмму сигнала с соблюдением масштаба на оставленном свободном месте поля, отведенного под графики.

Вопрос 4

Какое двоичное число формируется на выходе ИКМ кодера?

Теоретически кодер должен выдавать двоичное число 10000000. Однако практически результат может быть меньше или больше на единицу младшего значащего разряда из-за небольшого постоянного напряжения смещения.

Вопрос 5

Почему уровень напряжения 0 В соответствует двоичному числу 10000000, а не -0000000?

Это необходимо для кодирования речевых и музыкальных сигналов, уровень которых может быть как положительным, так и отрицательным.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – ИКМ-кодирование постоянного напряжения с изменяемым уровнем

Ранее с помощью ИКМ кодера вы преобразовывали постоянное напряжение (0 В) в ИКМ сигнал. При выполнении последующих действий вы увидите, что происходит при ИКМ кодировании постоянного напряжения, уровень которого изменяется.

27. Отключите отображение в канале В осциллографа.
28. Переведите оба переключателя режима работы *Control Mode* регулируемых источников питания NI ELVIS Variable Power Supplies в положение *PC Control* (Управление от компьютера).
29. Запустите программу (VI) Variable Power Supplies управления регулируемыми источниками питания.
30. Установите выходное напряжение обоих источников питания 0 В щелчком по кнопке *RESET (Сброс)*
31. Отключите проводник от гнезда заземления.
32. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 7.

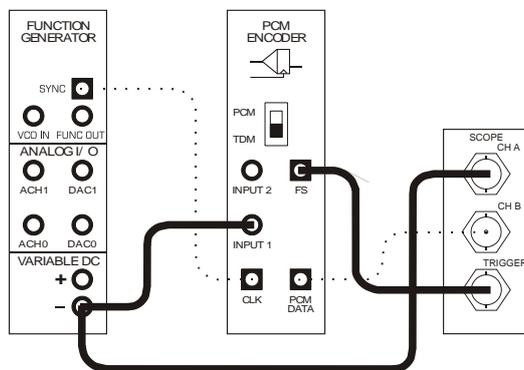


Рисунок 7

Эту схему можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 8. Регулируемые источники питания используются для изменения напряжения на входе ИКМ кодера. Стабильное изображение на экране осциллографа обеспечивается внешним сигналом запуска.

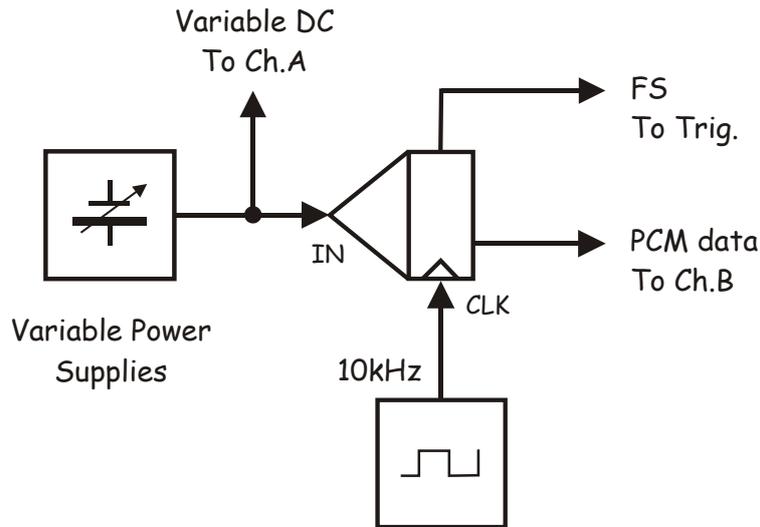


Рисунок 8

Variable Power Supplies - регулируемые источники питания,
 Variable DC To Ch.A - регулируемое напряжение постоянного тока к каналу А,
 In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации, FS To Trig. - импульс FS - ко входу запуска,
 PCM data To Ch. B - ИКМ сообщение к каналу В

33. Установите переключатель источников сигнала запуска осциллографа *Trigger Source* в положение *TRIGGER (Запуск)*.
34. Установите элемент управления *Channel A Scale* (Масштаб по напряжению канала А) в положение *500 мВ/дел.*
35. Активируйте канал В осциллографа, чтобы одновременно наблюдать входное напряжение постоянного тока и выходной сигнал ИКМ кодера.
36. Определите значение двоичного кода на выходе ИКМ кодера.

Совет: Первые восемь отметок по горизонтали на экране осциллографа соответствуют первому кадру выходного сигнала ИКМ кодера.

Примечание: Вы должны заметить, что двоичное число, соответствующее выходному сигналу ИКМ кодера, достаточно близко к коду, полученному вами ранее, когда вход модуля был закорочен на землю.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

37. Увеличивайте уровень отрицательного напряжения на выходе регулируемого источника питания с шагом -0.1 В , одновременно наблюдая за тем, что происходит с двоичным кодом на выходе ИКМ кодера.

Совет: Проще всего регулировать напряжение путем ввода значения в соответствующее числовое поле под регулятором напряжения *Voltage*, не забывая перед числом вводить знак "минус".

Вопрос 6

Как изменяется двоичное число при увеличении уровня напряжения в сторону отрицательных значений?

Двоичный код уменьшается

38. Определите уровень отрицательного напряжения, при котором на выходе ИКМ кодера появляется двоичный код 00000000.
39. Запишите полученное напряжение в таблицу 1.

Таблица 1

Код на выходе ИКМ кодера	Напряжение на входе ИКМ кодера
00000000	



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

40. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 9.

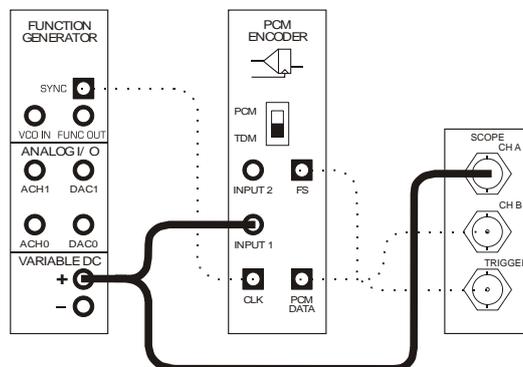


Рисунок 9

Эта схема может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 10.

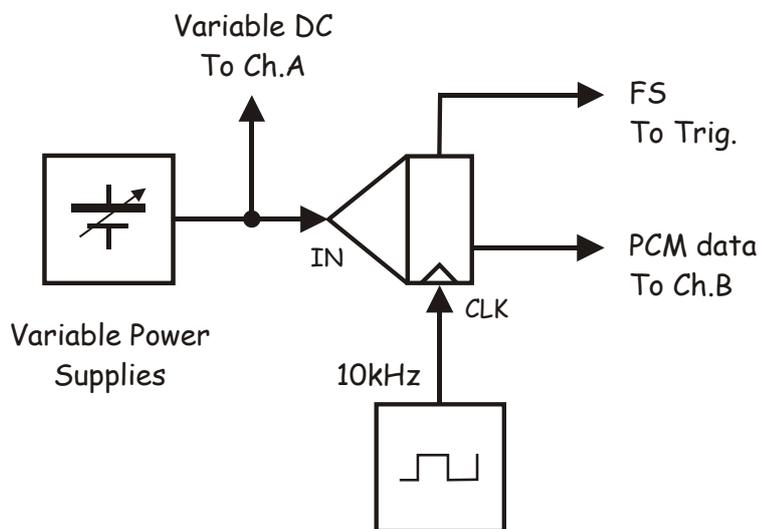


Рисунок 10

Variable Power Supplies - регулируемые источники питания,
 Variable DC To Ch. - регулируемое напряжение постоянного тока к каналу A,
 In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации, FS To Trig. - импульс FS - ко входу запуска,
 PCM data To Ch. B - ИКМ закодированное сообщение к каналу B

41. Увеличивайте уровень положительного напряжения на выходе регулируемого источника питания с шагом +0.1 В, одновременно наблюдая за тем, что происходит с двоичным кодом на выходе ИКМ кодера.

Вопрос 7

Как изменяется двоичное число при увеличении уровня напряжения в сторону положительных значений?

Двоичный код увеличивается.

42. Определите наименьшее по уровню положительное напряжение, которому соответствует двоичный код 11111111 на выходе ИКМ кодера.
43. Запишите полученное значение напряжения в таблицу 2.

Таблица 2

Код на выходе ИКМ кодера	Напряжение на входе ИКМ кодера
11111111	

Вопрос 8

По таблицам 1 и 2 определите, с каким максимально допустимым размахом можно подавать переменное напряжение на вход ИКМ кодера?

Обычно 5 В. Значения напряжений в таблицах 1 и 2 должны быть близки к ±2.5 В.

Вопрос 9

Вычислите шаг квантования ИКМ кодера по уровню путем нахождения разности значений напряжений в таблицах 1, 2 и деления полученной разности на 256 (количество кодовых комбинаций).

$$\underline{(+2.5 \text{ В} - -2.5 \text{ В}) / 256 = 0.0195 \text{ В или } 19.5 \text{ мВ}}$$



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Раздел С – ИКМ кодирование непрерывно изменяющихся напряжений

Теперь, рассмотрим, как работает ИКМ кодер при преобразовании непрерывно изменяющегося сигнала, например, синусоидального.

44. Отсоедините штекеры от выхода положительного напряжения регулируемых блоков питания Variable Power Supplies.
45. Внесите изменения в схему согласно рисунку 11.

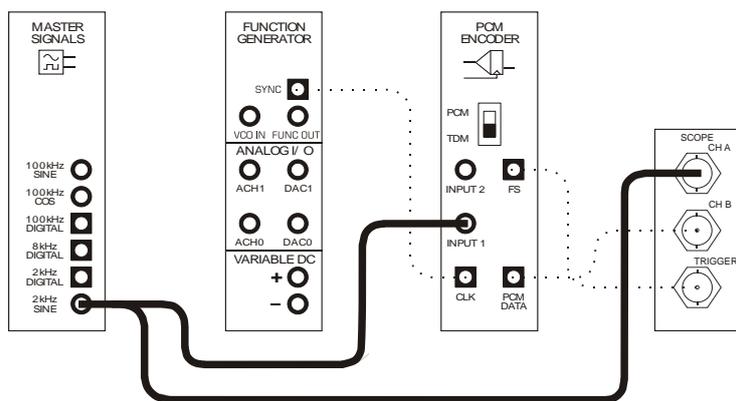


Рисунок 11

46. Установите частоту сигнала 50 кГц на выходе функционального генератора (Function Generator).
47. Установите масштаб по оси времени (*Timebase*) осциллографа 100 мкс/дел., а масштаб по напряжению (*Channel A Scale*)- 2 В/дел.
48. Наблюдайте на экране осциллографа выходной сигнал ИКМ кодера.

Примечание: Изображение синусоиды будет слегка перемещаться по экрану, поскольку осциллограф работает в режиме внешнего запуска от сигнала кадровой синхронизации *FS*.

Вопрос 10

Почему коды на выходе ИКМ кодера непрерывно изменяются?

Это обусловлено тем, что при каждой выборке входного сигнала его амплитуда различна.



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

15 - Демодуляция ИКМ сигналов

Эксперимент 15 – Демодуляция ИКМ сигналов

Предварительное обсуждения

При выполнении предыдущего эксперимента вы изучали импульсно-кодую модуляцию (ИКМ), представляющую собой преобразование исходного аналогового сигнала в непрерывный поток последовательных двоичных данных (кодирование). Обратный процесс восстановления исходного сигнала по потоку данных называется *декодированием*.

Упрощенно процесс декодирования состоит из следующих основных этапов:

- Нахождение очередного кадра в потоке данных.
- Извлечение двоичного кода из каждого фрейма.
- Генерация напряжения, пропорционального двоичному коду.
- Фиксация напряжения на выходе до тех пор, пока следующий кадр не будет декодирован (т.е. получается исходный сигнал, подвергнутый амплитудно-импульсной модуляции-АИМ).
- Восстановление исходного сообщения путем пропускания АИМ сигнала через ФНЧ.

На правильность работы даже простейшего декодера влияет отличие его собственной частоты синхронизации от частоты синхронизации кодера. Из-за несогласованности синхронизации кодера и декодера одни биты будут декодироваться дважды, а другие - теряться вовсе. Следовательно, на выходе декодера будут формироваться ошибочные значения напряжения, которые при слишком частом появлении могут быть ощутимы на слух. В некоторых декодерах с этим явлением борются путем применения "самосинхронизации".

Также очень важным является правильное обнаружение начала кадра. В случае ошибки все принятые коды (числа) будут интерпретированы неправильно. Известны два способа кадровой синхронизации при декодировании. Во-первых, это передача специального сигнала *кадровой синхронизации (frame synchronisation)*, что, однако, усложняет систему передачи информации (СТИ). Другим вариантом является включение в поток данных специальных кодов синхронизации (синхрослов), по которым декодер определяет начало кадра.

Краткие сведения об ИКМ декодере в системе DATEx

Как и ИКМ кодер (PCM Encoder), ИКМ декодер (PCM Decoder) в системе Emona DATEx работает с 8-разрядными двоичными числами, где числу 00000000 соответствует уровень напряжения -2 В, а числу 11111111 - +2 В. Двоичные числа внутри указанного диапазона пропорциональны напряжению, находящемуся в пределах ± 2 В. Например, числу 10000000, находящемуся посередине между 00000000 и 11111111, соответствует напряжение 0 В (середина между +2 В и -2 В).

Поскольку ИКМ декодер не имеет средств самосинхронизации, для обеспечения правильной работы на его вход *CLK* должен быть подан внешний цифровой синхросигнал, такой же, как у ИКМ кодера. Другими словами, синхросигнал ИКМ декодера "заимствуется" у ИКМ кодера.

Аналогично, ИКМ декодер в системе DATEx не имеет собственной кадровой синхронизации, поэтому сигнал кадровой синхронизации *FS* также берется с ИКМ кодера.

Эксперимент

В предстоящем эксперименте вы используете Emona DATE вначале для преобразования гармонического и речевого сигнала в поток ИКМ данных. Затем из ИКМ сигнала с помощью декодера получите импульсный сигнал, промодулированный по амплитуде (АИМ сигнал). Для обеспечения правильности декодирования сигналы битовой и кадровой синхронизации декодера берутся непосредственно с соответствующих выходов кодера. Наконец, вы восстановите исходное сообщение с помощью перестраиваемого ФНЧ.

Время выполнения работы - около 45 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)
- Стереонаушники

Порядок выполнения (** - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Настройка ИКМ кодера

Вначале необходимо настроить ИКМ кодер, чтобы получить исходный поток ИКМ данных и приступить к опытам по декодированию.

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATeX и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATeX.
11. Переведите переключатель *Control Mode* режимов управления источником положительного напряжения питания модуля Variable Power Supplies в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
12. Запустите программу (VI) Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания).
13. Нажатием на кнопку *RESET* (Сброс) установите на выходе источника положительного напряжения питания 0 В.
14. Найдите модуль PCM ENCODER (ИКМ кодер) на программной панели управления DATeX и установите виртуальный переключатель режимов работы *Mode* в положение *PCM* (ИКМ).

15. Соберите схему, изображенную на рисунке 1.

Примечание: Черные штекеры кабелей осциллографа вставьте в гнездо заземления (*GND*).

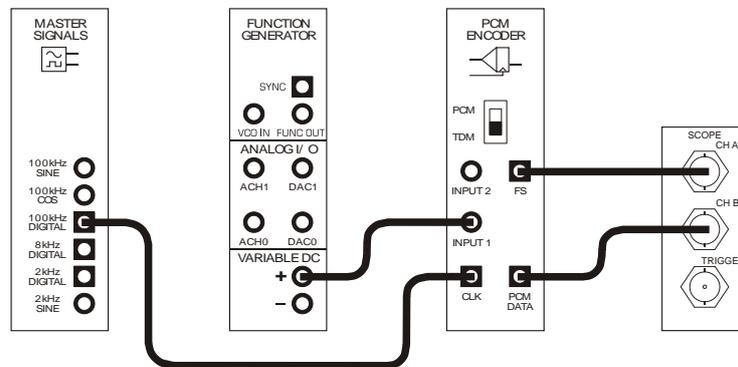


Рисунок 1

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 2. Битовую синхронизацию ИКМ кодера обеспечивает цифровой сигнал *100kHz DIGITAL* (Цифровой сигнал частотой 100 кГц) генератора опорных сигналов (Master Signals). На аналоговый вход кодера подается сигнал с регулируемого источника положительного напряжения питания (Variable Power Supplies).

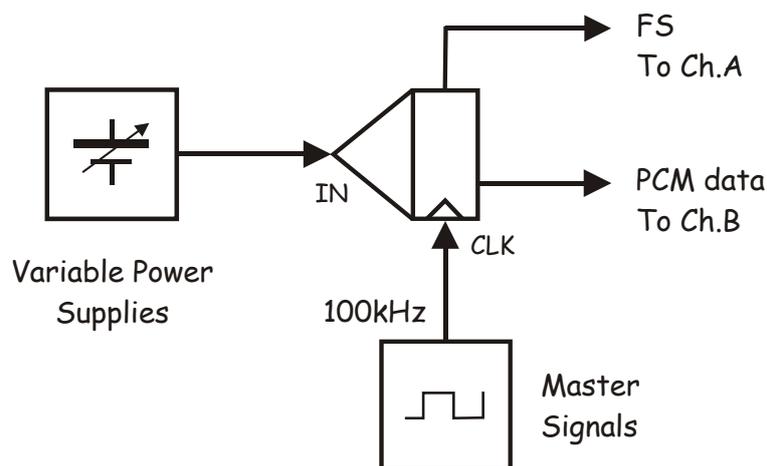


Рисунок 2

Variable Power Supplies - регулируемые источники питания, In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации, FS To Ch.A. - импульс FS - к каналу A, PCM data To Ch. B - ИКМ закодированное сообщение к каналу B, Master Signals - генератор опорных сигналов

16. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
17. Настройте осциллограф так же, как в эксперименте 1 (страница 1-13) с учетом следующих изменений:
 - *Scale (Масштаб по напряжению)* обоих каналов - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - *Coupling (Связь с источником сигнала)* обоих каналов - DC (открытый вход) вместо AC (закрытый вход)
 - *Trigger Level (Уровень напряжения запуска)* - 2 В вместо 0 В.
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 10 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.
18. Установите орган управления *Slope (Наклон или фронт)* в положение "-" (отрицательный).
19. Включите канал В осциллографа нажатием кнопки *Channel B Display ON/OFF* для наблюдения ИКМ сигнала (*PCM DATA*) и сигнала кадровой синхронизации (*FS*).
20. Повращайте влево и вправо *регулятор Voltage* регулируемого источника положительного напряжения питания (*Variable Power Supplies*), не превышая напряжения 2.5 В.

Если схема работает правильно, двоичный код на выходе кодера должен увеличиваться или уменьшаться, и можно переходить к следующему шагу. В противном случае, проверьте правильность соединений или обратитесь к преподавателю за помощью.

21. Закройте программу *Variable Power Supplies* (Регулируемые источники питания).
22. Переведите переключатель режимов управления *Control Mode* модуля функционального генератора *Function Generator* положение *PC Control* (Управление от компьютера).
23. Запустите программу (VI) *Function Generator* (Функциональный генератор).
24. Включите генератор нажатием на кнопку *ON/OFF* функционального генератора на программной лицевой панели.
25. Настройте функциональный генератор с помощью виртуальных органов управления для получения сигнала со следующими параметрами:
 - *Waveshape (Форма сигнала)*: Sine (Синусоидальная)
 - *Frequency (Частота)*: 500 Гц
 - *Amplitude (Пиковая амплитуда)*: 4 В
 - *DC Offset (Смещение по постоянному току)*: 0 В
26. Сверните окно программы функционального генератора.
27. Отсоедините проводник от выхода регулируемого источника положительного напряжения питания.

28. Измените схему в соответствии с рисунком 3.

Внимание! Пунктирными линиями показаны соединения, которые следует сохранить.

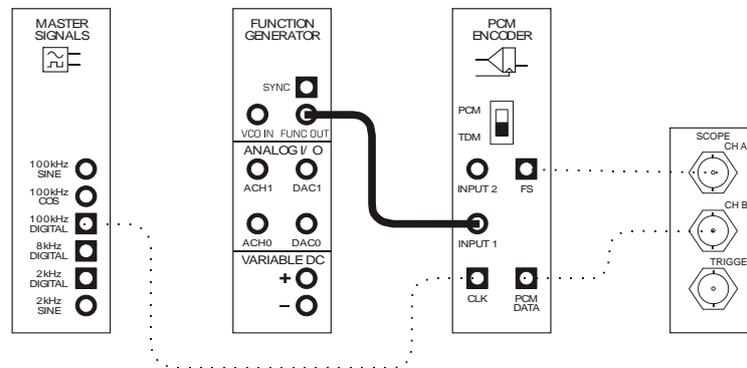


Рисунок 3

Схему на рисунке 3 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Отметим, что на вход ИКМ кодера (PCM Encoder) подан сигнал с выхода функционального генератора (Function Generator).

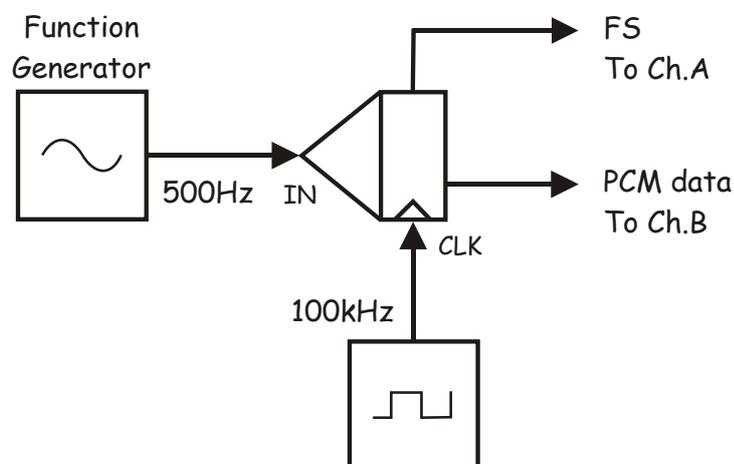


Рисунок 4

Function Generator - функциональный генератор, In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации, FS To Ch. A - сигнал кадровой синхронизации к каналу А, PCM data To Ch. B - ИКМ сообщение к каналу В

Сигнал на выходе *PCM DATA* ИКМ кодера непрерывно изменяется, так как на его вход подан изменяющийся синусоидальный сигнал.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В - Декодирование ИКМ данных

29. Отключите канал В осциллографа.
30. Верните переключатель *SLOPE* (Наклон или фронт) в положение "+" (положительный).
31. Внесите изменения в схему согласно рисунку 5.

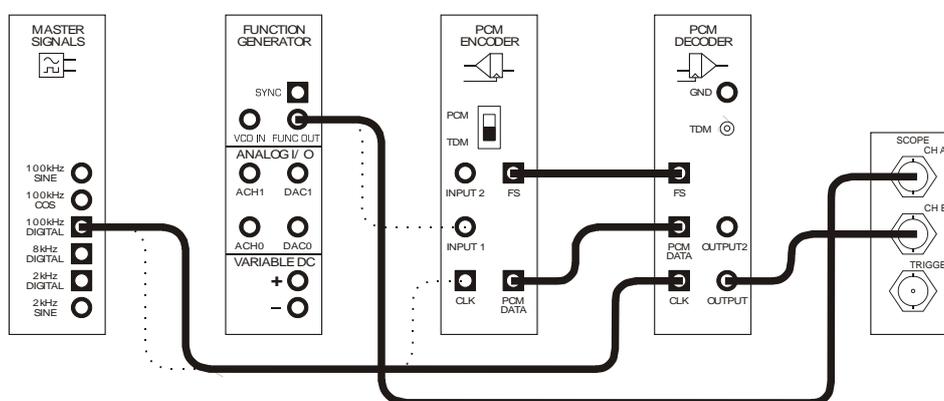


Рисунок 5

Эту схему можно представить блок-схемой, которая изображена на рисунке 6. Обратите внимание, что сигналы битовой и кадровой синхронизации "заимствованы" с соответствующих выходов кодера.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

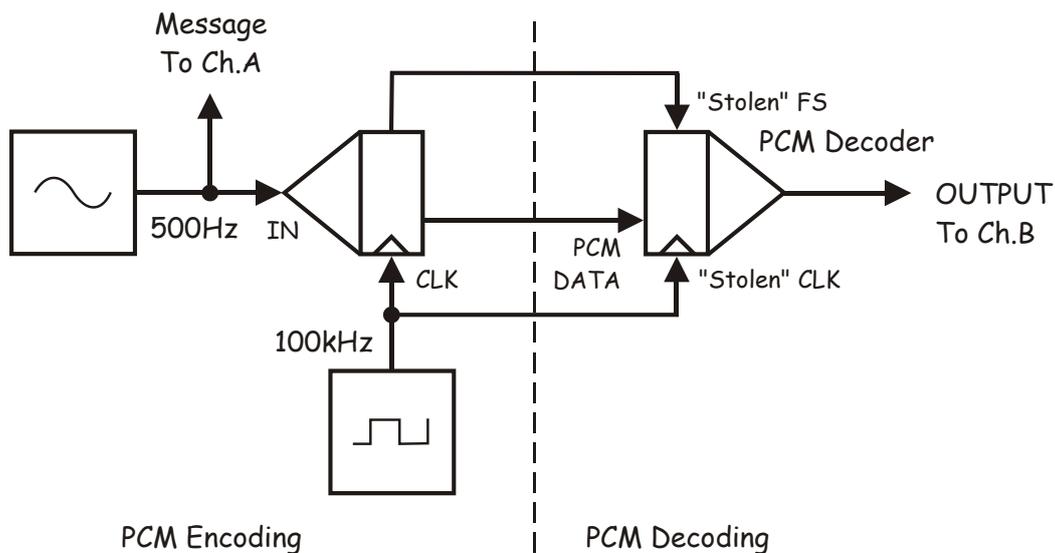


Рисунок 6

PCM Encoding - ИКМ кодирование: Message To Ch. A - сообщение к каналу А,
In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации

PCM Decoding - ИКМ декодирование: PCM data - ИКМ сообщение,
"Stolen" FS - сигнал кадровой синхронизации с ИКМ кодера,
"Stolen" CLK - сигнал битовой синхронизации с ИКМ кодера, PCM Decoder - ИКМ декодер,
Output To Ch. B - выход к каналу B

32. Установите следующие настройки осциллографа:

- *Scale (Масштаб по напряжению)* для обоих каналов - 1 В/дел.
- *Coupling (Связь с источником сигнала)* для обоих каналов - AC (закрытый вход)
- *Trigger Level (Уровень сигнала запуска)* - 0 В
- *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 500 мкс/дел.

33. Включите канал В осциллографа, чтобы одновременно наблюдать исходное сообщение и восстановленное сообщение на выходе ИКМ декодера (PCM Decoder).

Вопрос 1

Какого типа сигнал наблюдается на выходе декодера? О чем свидетельствует его ступенчатая форма?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, еще раз прочтите раздел предварительного обсуждения к текущему эксперименту или к эксперименту 13.

На выходе декодера наблюдается АИМ сигнал.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Выходной сигнал ИКМ декодера внешне очень похож на сигнал исходного сообщения, однако все же отличается от него. Помните, что дискретизированный сигнал сообщения, кроме гармоник сигнала сообщения, содержит множество дополнительных гармоник. В этом вы сможете убедиться с помощью анализатора спектра.

34. Закройте программу виртуального осциллографа.
35. Загрузите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра).
36. Установите следующие настройки анализатора сигналов:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) - в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входов)

- *Source Channel (Канал источника сигнала)* - в положение *Scope CHB (Канал В Осциллографа)*
- *Voltage Range - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10 V$)*

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье - БПФ)

- *Frequency Span (Диапазон частот) - 40,000*
- *Resolution (Разрешение) - 400*
- *Window (Окно) - 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)*

Averaging (Усреднение)

- *Mode(Режим) - RMS (среднеквадратическое значение)*
- *Weighting (Взвешивание) - Exponential (Экспоненциальное)*
- *# of Averages (выборки для усреднения) - 3*

Triggering (Запуск)

- *Triggering (Сигнал запуска) - FGEN SYNC_OUT (Внешний - с выхода SYNC_OUT функционального генератора)*

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units(Масштаб) - dB (Логарифмический - дБ)*
- *RMS/Peak (Среднеквадратический/Амплитудный спектр) - RMS*
- *Scale - Auto (Автомасштабирование)*
- *Markers (Маркеры) - OFF (Отключены)*

37. Включите маркеры нажатием на кнопку *Markers*.
38. С помощью маркера *M1* исследуйте частоты спектральных составляющих дискретизированного сообщения.
39. Теперь с помощью того же маркера убедитесь, что в спектре дискретизированного сообщения есть гармоника, имеющая ту же частоту, что и исходное сообщение.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Возможно, вы заметили, что некоторые дополнительные гармоники дискретизированного сообщения находятся в звуковом диапазоне частот (от 20 Гц до 20 кГц, в частности на частотах около 12.5 кГц). Это означает, что хотя исходное и дискретизированное сообщения похожи по форме, различия между ними могут быть ощутимы на слух. Следует учитывать, что гармониками с уровнем ниже -40 дБ можно пренебречь (уровень -40 дБ составляет 1% от уровня 0 дБ).

Откуда берутся "лишние" гармоники?

Если частота битовой синхронизации равна 100 кГц, частота кадровой синхронизации составляет 1/8 от нее, т.е. 12.5 кГц, т.к. длина кадра равна 8 бит. Это значит, что частота дискретизации сигнала сообщения составляет 12.5 кГц (период 80 мкс). Поэтому длина "ступенек" сигнала на выходе ИКМ кодера равна 80 мкс и это является причиной появления дополнительных гармоник на частотах 12.5 кГц, $2 \times 12.5 \text{ кГц} = 25 \text{ кГц}$, $3 \times 12.5 \text{ кГц} = 37.5 \text{ кГц}$ и т.д. Все эти составляющие, представляющие собой "образы" сообщения, вы можете наблюдать в частотной области.

40. В ранее собранную схему добавьте модуль **AMPLIFIER** (Усилитель), как показано на рисунке 7, не изменяя подключения осциллографа.

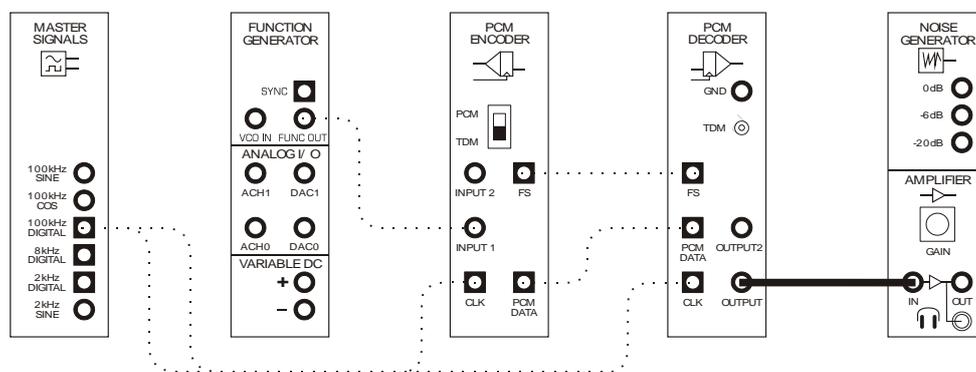


Рисунок 7

41. Найдите модуль **AMPLIFIER** (Усилитель) на программной панели управления DATeX и поверните виртуальный регулятор коэффициента усиления **GAIN** против часовой стрелки до упора.
42. Не надевая наушники, подключите их к соответствующему гнезду модуля **AMPLIFIER**.
43. Наденьте наушники.

44. Вращайте виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* по часовой стрелке до тех пор, пока слышимость сигнала с выхода ИКМ декодера не станет приемлемой.
45. Послушайте и запомните, как звучит сигнал дискретизированного сообщения.
46. Отсоедините усилитель от выхода модуля PCM Decoder (ИКМ декодер).
47. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 8, сохранив подключения осциллографа прежними.

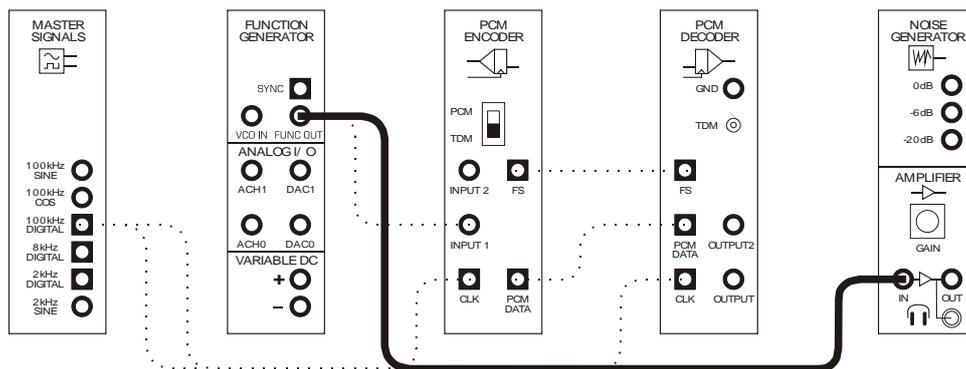


Рисунок 8

48. Сравните звучание двух сигналов. Вы должны заметить, что, несмотря на сходство, они звучат по-разному.

Вопрос 2

Что нужно сделать с выходным сигналом ИКМ кодера для правильного восстановления сообщения?

Пропустить сигнал через ФНЧ.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Кодирование и декодирование речевого сигнала

Далее предстоит выполнить кодирование и декодирование речевого сигнала аналогично тому, как вы это делали с гармоническим сигналом.

49. Закройте программу анализатора спектра (Signal Analyzer) и запустите программу (VI) осциллографа (Oscilloscope).
50. Настройте осциллограф, чтобы видеть на экране 2-3 периода исходного и дискретизированного сообщения.

Совет: Не забудьте выбрать в качестве источника сигнала запуска (*Trigger Source*) канал А (*CH A*).

51. Полностью отсоедините усилитель от схемы, оставив все остальные проводники на прежних местах.
52. Отсоедините разъемы от выхода функционального генератора (Function Generator).
53. Внесите в схему изменения согласно рисунку 9.

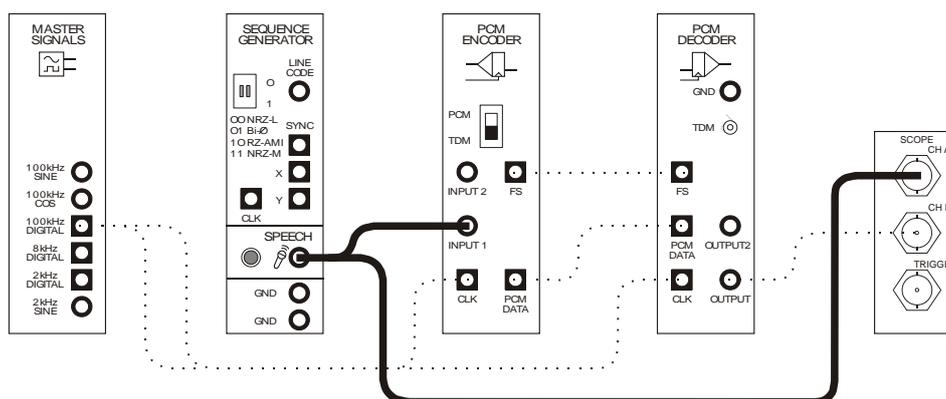


Рисунок 9

54. Установите масштаб по оси времени (*Timebase*) осциллографа 500 мкс/дел.
55. Издавайте звуки, говорите что-нибудь в микрофон, одновременно наблюдая за экраном осциллографа.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D - Восстановление сообщения

Как упоминалось ранее, сообщение, получаемое на выходе ИКМ декодера можно восстановить с помощью ФНЧ. Этому и будет посвящен предстоящий эксперимент.

56. Найдите на программной панели управления DАТЕх модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (перестраиваемый ФНЧ) и установите виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* в среднее положение.
57. Поверните регулятор частоты среза *Cut-off Frequency* ФНЧ против часовой стрелки до упора.
58. Отсоедините проводники от модуля SPEECH (Преобразователь речевых сигналов).
59. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 10.

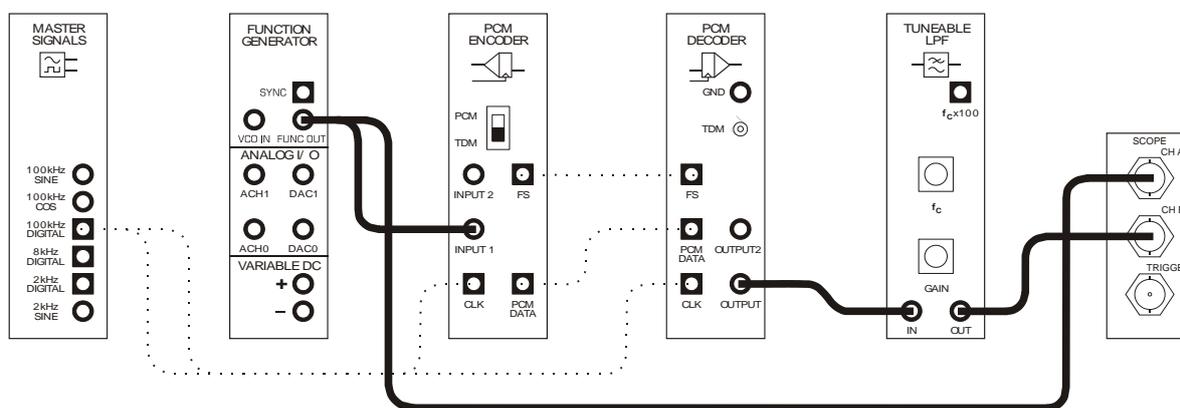


Рисунок 10

Схему на рисунке 10 можно представить блок-схемой, которая приведена на рисунке 11. Перестраиваемый ФНЧ предназначен для восстановления исходного сообщения из выходного сигнала ИКМ декодера.

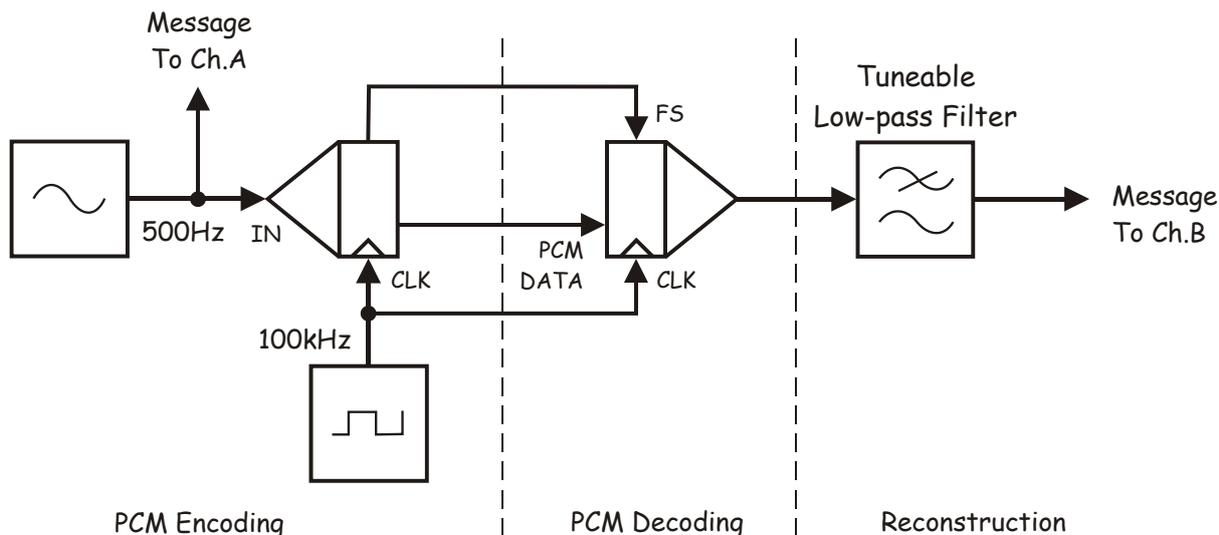


Рисунок 11

PCM Encoding - ИКМ кодирование: Message To Ch. A - сообщение к каналу A,
In - вход сигнала сообщения, CLK - вход синхронизации

PCM Decoding - ИКМ декодирование: PCM data - ИКМ сообщение,

FS - сигнал кадровой синхронизации, CLK - сигнал битовой синхронизации с ИКМ кодера,

Reconstruction - восстановление: Tuneable Low-pass Filter - настраиваемый фильтр низких частот,
Message To Ch. B - сообщение к каналу B

60. Плавно вращайте виртуальный регулятор частоты среза ФНЧ (*Cut-off Frequency*) по часовой стрелке до тех пор, пока не появится восстановленный сигнал (без учета фазового сдвига).

Теперь восстановленный и исходный сигналы практически совпадают и визуально, и на слух.

61. Добавьте в схему усилитель (AMPLIFIER) согласно рисунку 12, оставив подключения осциллографа без изменений.

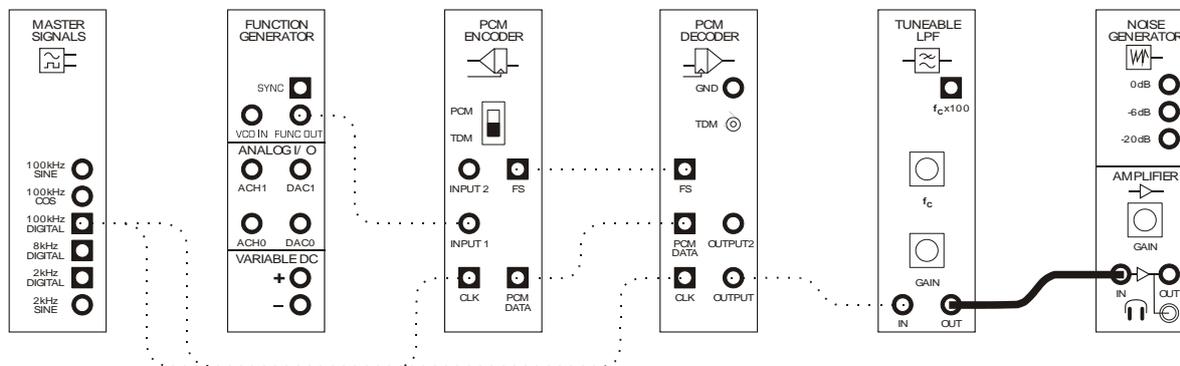


Рисунок 12

62. Поверните виртуальный регулятор коэффициента усиления усилителя *GAIN* до упора против часовой стрелки.
63. Наденьте наушники.
64. Вращайте виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* до тех пор, пока не добьетесь приемлемой слышимости сигнала на выходе перестраиваемого ФНЧ.
65. Запомните, как звучит восстановленное сообщение.
66. Отсоедините усилитель от ИКМ декодера и подключите его к выходу функционального генератора (как показано на рисунке 8).
67. Сравните звучание двух сигналов, вам они должны показаться очень похожими.

Вопрос 3

Почему восстановленное сообщение не полностью совпадает с исходным, несмотря на то, что эти сигналы выглядят и звучат похоже?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, вернитесь к предварительному обсуждению темы в эксперименте 14.

Из-за погрешности (шума) квантования.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

16 - Ограничение полосы частот и восстановление цифровых сигналов

Эксперимент 16 – Ограничение полосы частот и восстановление цифровых сигналов

Предварительное обсуждение

В соответствии с классической моделью системы передачи информации сообщение транслируется от передатчика к приемнику через *канал связи*. В качестве среды передачи информации может использоваться витая пара или коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель, а также радиоэфир.

Независимо от физической природы, любой канал ведет себя как фильтр с *ограниченной полосой пропускания*. Это приводит к тому, что часть спектра сигнала пропускается без искажений, а другая часть подвергается ослаблению.

Например, если через канал с недостаточно широкой полосой пропускания передавать АМ сигнал, состоящий из множества гармоник, часть из них будут ослаблены, а часть – подавлены вовсе. Очевидно, что в этом случае демодулированный сигнал не будет точно совпадать с исходным сообщением.

То же самое касается и цифровых сигналов, состоящих из множества гармоник, включая основную. Форма этих сигналов также может исказиться из-за ослабления или потери части гармоник в среде распространения.

Например, на рисунке 1 показано, что происходит, если из исходного прямоугольного сигнала удалить первые две гармоники – наглядно видно, что сигнал искажен.

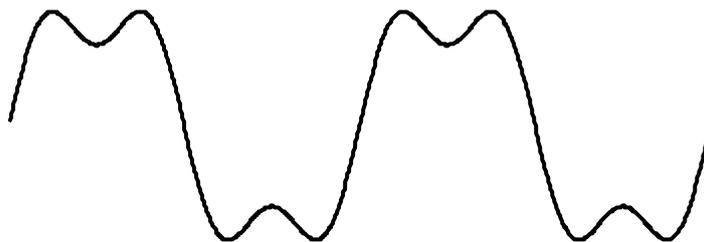


Рисунок 1

Еще большие искажения возникают, когда канал ведет себя как фильтр, который вносит различный фазовый сдвиг на разных частотах (обладает неравномерной фазо-частотной характеристикой - ФЧХ). На рисунке 2 изображен такой же сигнал, как и на рисунке 1, только его первые две гармоники сдвинуты по фазе на 40° .



Рисунок 2

Представьте себе, что будет, если сигнал, изображенный на рисунке 2, подать, например, на вход ИКМ декодера, который должен восстановить логические уровни. Очевидно, что большинство кодовых комбинаций будут приняты и преобразованы в напряжение неправильно, а восстановленное сообщение будет "зашумленным".

Эксперимент

В этом эксперименте нужно будет собрать коммуникационную систему с ИКМ на основе Emona DATeX и смоделировать ограниченную полосу пропускания канала связи с помощью ФНЧ. Влияние ограничения полосы частот на передачу данных методом ИКМ вы будете исследовать с помощью осциллографа. Наконец, вам надо будет восстановить цифровой сигнал с помощью компаратора и проанализировать возникающие ограничения.

На выполнение основной части эксперимента потребуется около 50 минут и еще 20 минут - на дополнительное задание, связанное с получением глазковой диаграммы.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Влияние ограничения полосы частот на декодирование ИКМ сигналов

Настоящий раздел на примере ИКМ-системы передачи информации показывает, как из-за ограничения полосы частот канала связи происходит искажение цифровых сигналов, вследствие чего нарушается прием данных.

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении *POWER OFF* (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATeX и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATeX.
11. Переведите переключатель *Control Mode* режимов управления функциональным генератором (Function Generator) в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной).
12. Запустите программу (VI) Function Generator (Функциональный генератор)
13. Включите функциональный генератор нажатием на кнопку ON/OFF на программной лицевой панели.
14. С помощью органов управления на экране компьютера установите следующие параметры генератора:
 - *Waveshape* (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная)
 - *Frequency* (Частота): 20 Гц
 - *Amplitude* (Пиковая амплитуда): 4 В
 - *DC Offset* (Напряжение смещения): 0 В
15. Сверните окно программы функционального генератора.

16. Соберите схему в соответствии с рисунком 3.

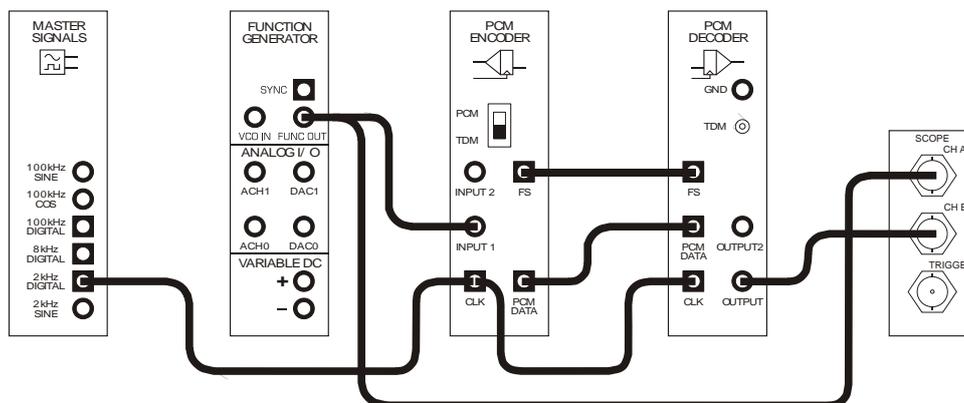


Рисунок 3

Схему на рисунке 3 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Здесь выходной сигнал функционального генератора (FUNCTION GENERATOR) с помощью ИКМ кодера (PCM ENCODER) преобразуется в цифровой сигнал, который затем с помощью ИКМ декодера (PCM DECODER) преобразуется в дискретизированный исходный сигнал. Соединительный проводник между выходом кодера *PCM DATA* и входом декодера *PCM DATA*, по которому передаются данные, служит в качестве "канала связи".

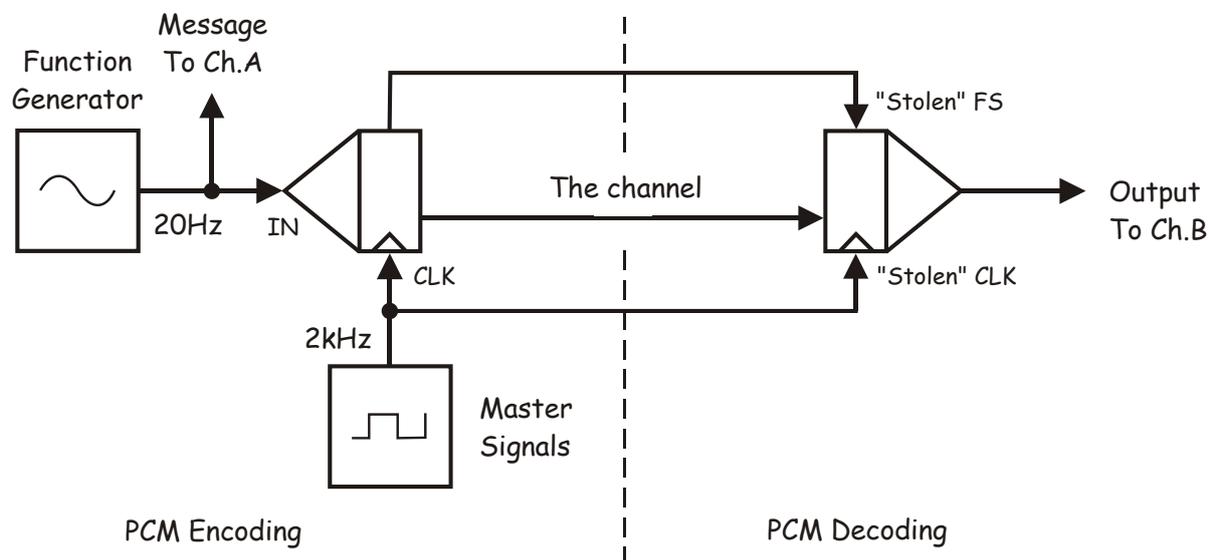


Рисунок 4

PCM Encoding - ИКМ кодирование: Function Generator - функциональный генератор,

Message To Ch. A - сообщение к каналу A, In - вход сигнала сообщения,

CLK - вход синхронизации, Master Signals - генератор опорных сигналов, The channel - канал связи

PCM Decoding - ИКМ декодирование:

"Stolen" FS - "заимствованный" сигнал кадровой синхронизации с ИКМ кодера,

"Stolen" CLK - "заимствованный" сигнал битовой синхронизации с ИКМ кодера, Output To Ch.B - выход к каналу B

17. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
18. Настройте осциллограф так же, как в эксперименте 1 (страница 1-13) с учетом следующих изменений:
 - *Timebase (Масштаб по оси времени) - 10 мс/дел. вместо 500 мкс/дел.*
19. Включите канал В осциллографа нажатием кнопки *Channel B Display ON/OFF* для наблюдения сигнала на выходе декодера и сигнала на входе кодера.

Примечание: Если схема работает правильно, вы должны увидеть синусоидальное напряжение частотой 20 Гц (исходное сообщение) и соответствующее ему дискретизированное напряжение на выходе декодера.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

20. Найдите модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (перестраиваемый ФНЧ) на программной панели управления DATeX и установите виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* в среднее положение.
21. Установите в среднее положение виртуальный регулятор частоты *Cut-off Frequency Adjust* (частота среза ФНЧ)
22. Внесите изменения в схему согласно рисунку 5.

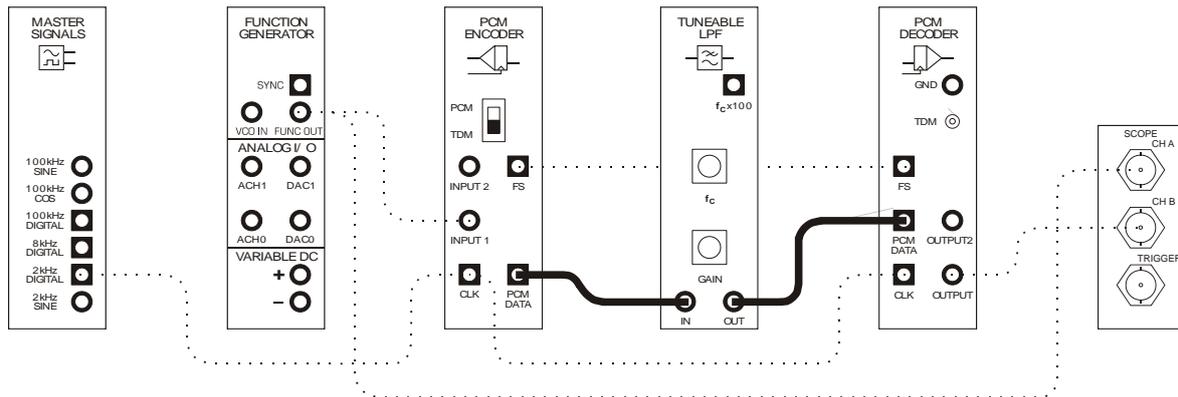


Рисунок 5

Эта схема может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 6. ФНЧ моделирует канал с ограниченной полосой пропускания.

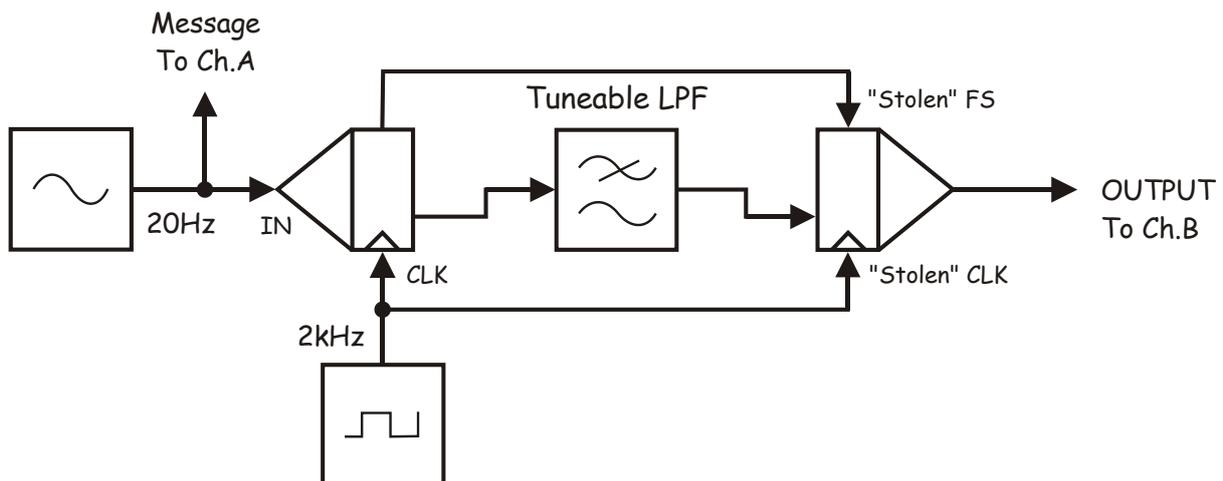


Рисунок 6

Message To Ch. A - сообщение к каналу A, In - вход сигнала сообщения,
 CLK - вход синхронизации, Tuneable LPF - перестраиваемый ФНЧ,
 "Stolen" FS - "заимствованный" сигнал кадровой синхронизации с ИКМ кодера,
 "Stolen" CLK - "заимствованный" сигнал битовой синхронизации с ИКМ кодера, Output To Ch.B - выход к каналу B

23. Плавно вращайте виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* против часовой стрелки.

Совет: Для точной регулировки используйте клавишу *TAB* и клавиши со стрелками.

24. Приостановите регулировку, когда на выходе ИКМ декодера возникнет случайная ошибка.

Вопрос 1

В чем причина ошибок декодирования ИКМ сигналов?

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

Полоса пропускания канала связи ограничена (низкая частота среза ФНЧ). Это приводит к искажению цифрового сигнала, поэтому приемник неправильно его интерпретирует.

Вопрос 2

Если бы по каналу связи передавалась речь, как проявились бы вышеупомянутые искажения при восстановлении сообщения?

Речь станет зашумленной.

25. Еще уменьшите полосу пропускания канала, чтобы увидеть влияние сильного ограничения полосы на качество декодирования.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Вы уже видели, как проявляется ограничение полосы пропускания канала при наблюдении дискретизированного сигнала во временной области. Теперь посмотрим, как оно проявляется в частотной области.

26. Расширьте полосу пропускания канала до тех пор, пока сигнал на выходе декодера не очистится от ошибок.
27. Остановите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN*.
28. Загрузите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра).
29. Установите следующие настройки анализатора спектра:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входов)

- *Source Channel* (Канал источника сигнала) - в положение *Scope CHB* (Канал В Осциллографа)
- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10 V$)

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье - БПФ)

- *Frequency Span* (Диапазон частот) - 1,000
- *Resolution* (Разрешение) - 400
- *Window* (Окно) - *7 Term B-Harris* (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Averaging (Усреднение)

- *Mode* (Режим) - *RMS* (среднеквадратическое значение)
- *Weighting* (Взвешивание) - *Exponential* (Экспоненциальное)
- *# of Averages* (выборки для усреднения) - 3

Triggering (Запуск)

- *Triggering* (Сигнал запуска) - *Source Channel* (Внутренний - от источника сигнала)

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units* (Масштаб) - *dB* (Логарифмический - дБ)
- *RMS/Peak* (Среднеквадратический/Амплитудный спектр) - *RMS*
- *Scale* - *Auto* (Автомасштабирование)
- *Markers* (Маркеры) - *OFF* (Отключены)

30. Включите маркеры нажатием на кнопку *Markers*.
31. С помощью маркера *M1* исследуйте частоты гармоник, из которых состоит спектр дискретизированного сообщения.
32. Теперь с помощью этого же маркера найдите гармонику в спектре дискретизированного сообщения, которая совпадает по частоте с исходным сообщением.

33. Уменьшайте полосу пропускания канала до тех пор, пока на выходе декодера не начнут проявляться случайные ошибки, и посмотрите, как это влияет на спектральный состав сигнала.

Совет: Для определения уровня ошибок пользуйтесь нижним (осциллографическим) экраном анализатора.

34. Теперь намного уменьшите полосу пропускания канала и посмотрите, как изменится спектр сигнала на выходе декодера.

Вопрос 3

Кривая спектра сигнала с выхода декодера на экране анализатора стала более сглаженной, т.е. в ней стало меньше выбросов и провалов. О чем это говорит?

Она содержит сотни (а может быть и тысячи) гармоник, многие из которых близки по амплитуде.

Вопрос 4

Дополнительные гармоники воспринимаются на слух как шум. Почему они не убираются с помощью ФНЧ?

Потому что частоты этих гармоник находятся слишком близко к частоте исходного сообщения и, следовательно, они попадают в полосу пропускания ФНЧ.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Влияние ограничения полосы частот на форму цифрового сигнала

Как мы уже знаем, ограничение полосы пропускания канала может отрицательно сказаться на работе приемника. Далее рассмотрим, как оно влияет на форму цифрового сигнала на входе приемника.

Следует отметить, что гармонический, речевой или музыкальный сигналы непригодны для предстоящего эксперимента, поскольку они порождают слишком нестабильный поток данных (нулей и единиц), который трудно зафиксировать на экране осциллографа. Чтобы обойти эту проблему, для моделирования цифрового потока данных будем использовать 32-разрядную двоичную последовательность с генератора последовательностей (SEQUENCE GENERATOR).

35. Сверните окно программы анализатора спектра.
36. Полностью разберите предыдущую схему.
37. Установите виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* перестраиваемого ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER) в среднее положение.
38. Поверните виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* фильтра по часовой стрелке до упора.
39. Найдите модуль SEQUENCE GENERATOR (Генератор последовательностей) на программной панели управления DАТЕх и установите DIP-переключатели в положение "00".
40. Соберите схему согласно рисунку 7.

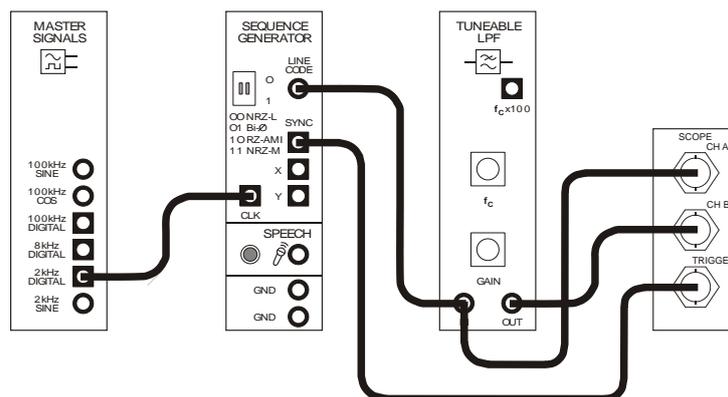


Рисунок 7

Схема на рисунке 7 может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 8. Цифровой сигнал формируется с помощью генератора последовательностей, выходной сигнал SYNC которого используется для внешнего запуска осциллографа, обеспечивая неподвижное изображение сигнала на экране.

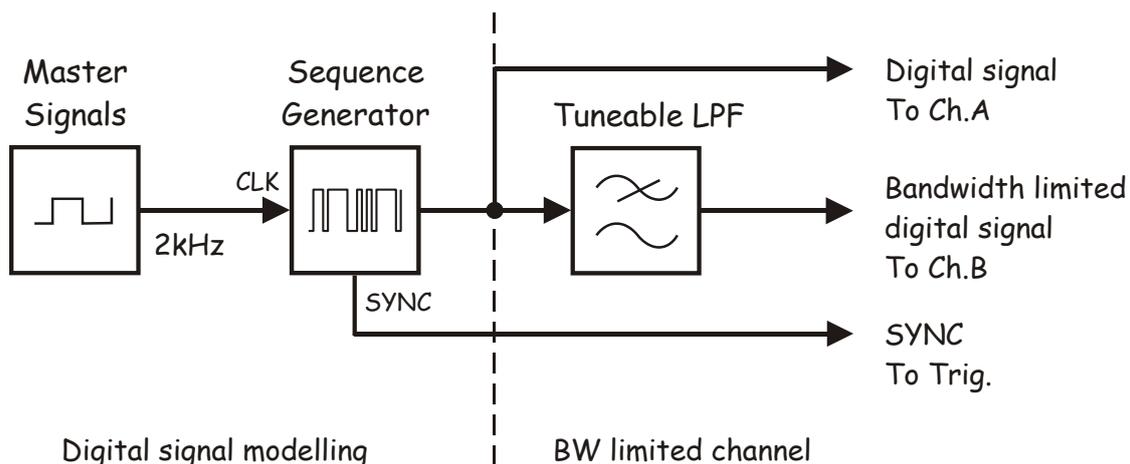


Рисунок 8

Digital signal modeling - моделирование цифрового сигнала:

Master Signals - генератор опорных сигналов, Sequence Generator - генератор последовательности, CLK - тактовые импульсы, SYNC - импульс синхронизации,

BW limited channel - канал с ограниченной полосой пропускания:

Tuneable LPF - перестраиваемый ФНЧ, Digital signal To Ch. A - цифровой сигнал к каналу A
Bandwidth limited digital signal To Ch. B - цифровой сигнал с "урезанной" полосой частот к каналу B
SYNC To Trig. - импульс синхронизации ко входу запуска

41. Снова запустите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN* на программной панели управления.
42. Установите следующие настройки осциллографа:
 - *Trigger Source (Источник сигнала запуска)* - *TRIGGER (Внешний запуск)* вместо *CH A (Канал A)*
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - *1 мс/дел.* вместо *500 мкс/дел.*
43. Наблюдайте, что происходит в результате сужения полосы пропускания канала, которое моделируется уменьшением частоты среза с помощью виртуального регулятора *Cut-off Frequency Adjust* перестраиваемого ФНЧ.

Вопрос 5

Назовите две причины изменения формы цифрового сигнала в канале связи.

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

- 1) Подавляются некоторые спектральные составляющие, это уменьшает восстановленный цифровой сигнал.
- 2) Некоторые спектральные составляющие пропускаются через канал с различным фазовым сдвигом.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Очевидным решением проблемы ограничения полосы пропускания канала связи является выбор среды с полосой пропускания, достаточной для передачи цифрового сигнала. В самом деле, можно выбрать тип кабеля, у которого полоса шире, чем у других. Однако, развитие цифровых технологий привело к тому, что по существующим каналам связи необходимо передавать все большие и большие объемы данных на все более высокой скорости. В следующей части работы вы увидите, что увеличение скорости эквивалентно сужению полосы пропускания.

44. Поверните виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* перестраиваемого ФНЧ по часовой стрелке до упора, чтобы получить максимально широкую полосу пропускания (около 13 кГц).
45. Запустите программу (VI) *Function Generator* (Функциональный генератор).
46. Установите частоту выходного напряжения генератора 2 кГц.

Примечание: Вам не нужно подстраивать еще какие-нибудь органы управления, поскольку используется цифровой сигнал на выходе *SYNC*.

47. Внесите изменения в ранее собранную схему, как показано на рисунке 9.

Примечание: Так как частота используемого сигнала функционального генератора совпадает с частотой сигнала на выходе *2kHz DIGITAL* (Цифровой сигнал частотой 2 кГц) генератора опорных сигналов (MASTER SIGNALS), изображение на экране осциллографа не должно измениться.

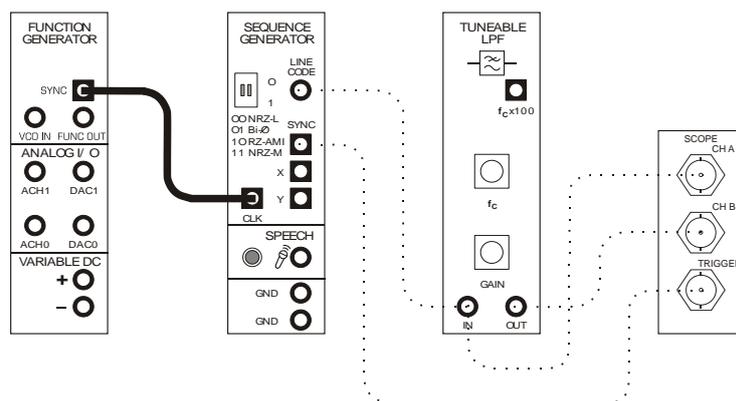


Рисунок 9

Схема, приведенная на рисунке 9, может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 10. Заметим, что генератор последовательностей синхронизируется от функционального генератора, что дает возможность перестраивать частоту синхронизации.

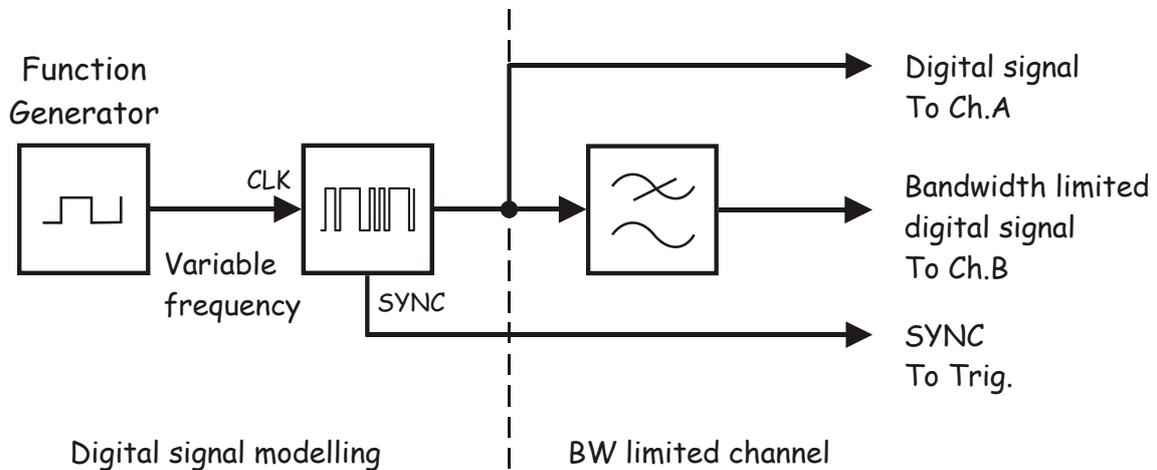


Рисунок 10

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Function Generator - функциональный генератор, Variable frequency - регулируемая частота, CLK - тактовые импульсы, SYNC - импульс синхронизации,

BW limited channel - канал с ограниченной полосой пропускания:

Digital signal To Ch. A - цифровой сигнал к каналу A
 Bandwidth limited digital signal To Ch. B - цифровой сигнал с "урезанной" полосой частот к каналу B
 SYNC To Trig. - импульс синхронизации ко входу запуска

48. Чтобы смоделировать увеличение скорости передачи информации, увеличивайте частоту выходного сигнала функционального генератора до 50 кГц с шагом 5000 Гц.

Совет: Для удобства наблюдения цифровых сигналов при увеличении частоты генератора нужно переключать масштаб по оси времени (*Timebase*) осциллографа.

Вопрос 6

Что еще, кроме увеличения скорости передачи, вызывает искажение цифрового сигнала в системе передачи информации?

Уменьшение полосы пропускания канала связи.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Восстановление цифровых сигналов

Как вы уже знаете, ограничение полосы частот приводит к искажениям цифровых сигналов. Следовательно, они могут быть неправильно интерпретированы цифровым приемником, например, ИКМ декодером. К сожалению, почти всегда неизбежно, и при увеличении скорости передачи информации ограничение полосы частот увеличивает искажения принимаемого сигнала.

Чтобы бороться с этим явлением, принятый цифровой сигнал перед декодированием необходимо очистить или "восстановить". Для этих целей лучше всего подходит компаратор, который усиливает разность двух входных сигналов с очень большим коэффициентом усиления, т.е. работает в режиме насыщения. Если на один из входов подать переменное напряжение любой формы, которое колеблется относительно постоянного напряжения, поданного на другой вход, то на выходе компаратора получится прямоугольный сигнал - сильно "обрезанный" сверху и снизу сигнал, воспроизводящий изменения входного переменного напряжения.

Обычно насыщения усилителей избегают, но в нашем случае это полезно. На один из входов компаратора подается цифровой сигнал с ограниченной полосой частот, а на другой вход - регулируемое постоянное напряжение. На выходе появляется цифровой сигнал, который вызван колебаниями исходного сигнала относительно постоянного уровня. Уровень постоянного напряжения регулируется таким образом, чтобы сигнал на выходе компаратора совпадал с сигналом на входе.

К сожалению, эту простую и полезную идею трудно воплотить на практике. Во-первых, из-за ограниченной полосы частот цифровой сигнал может быть слишком искажен, чтобы компаратор мог восстановить его правильно. Во-вторых, принятый из канала связи сигнал (и, следовательно, цифровой сигнал, восстановленный компаратором) может оказаться сдвинутым по фазе. По причинам, не описанным в настоящем руководстве, эти ограничения могут породить некоторые другие проблемы при приеме цифровых сигналов.

Далее вам предстоит экспериментально восстановить цифровой сигнал с ограниченной полосой частот с помощью компаратора и исследовать, как влияют на процесс восстановления упомянутые выше ограничения.

49. Переведите переключатель режимов управления *Control Mode* регулируемых блоками питания на панели управления NI ELVIS в положение, противоположное положению *MANUAL*.
50. Запустите программу (VI) *Variable Power Supplies* (Регулируемые источники питания).
51. Нажатием на кнопку *RESET (СБРОС)* установите на выходе источника положительного напряжения питания 0 В.
52. Установите масштаб по оси времени (*Timebase*) 1 мс/дел.

53. Отсоедините проводник от функционального генератора и приведите схему к виду, показанному на рисунке 11.

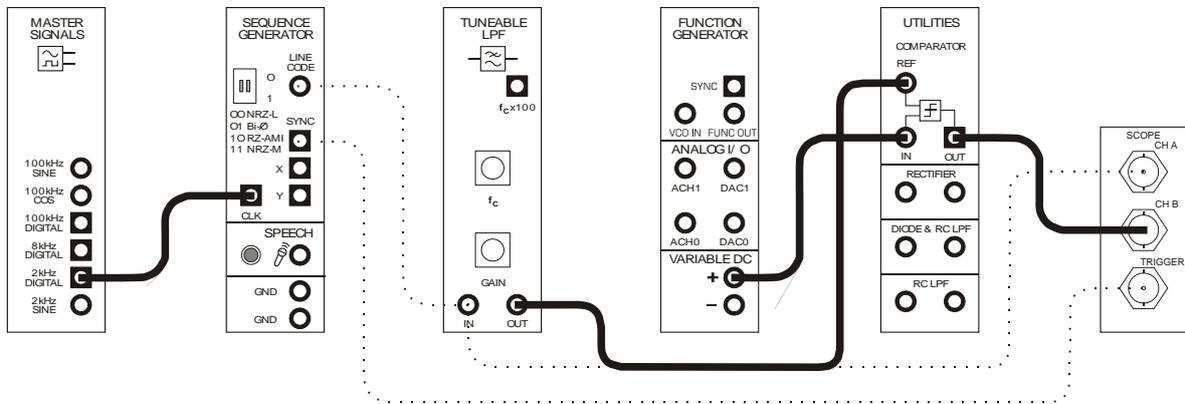


Рисунок 11

Схеме, приведенной на рисунке 11, соответствует блок-схема, показанная на рисунке 12. Для восстановления цифрового сигнала с ограниченной полосой частот используется компаратор из модуля UTILITIES (Вспомогательные блоки).

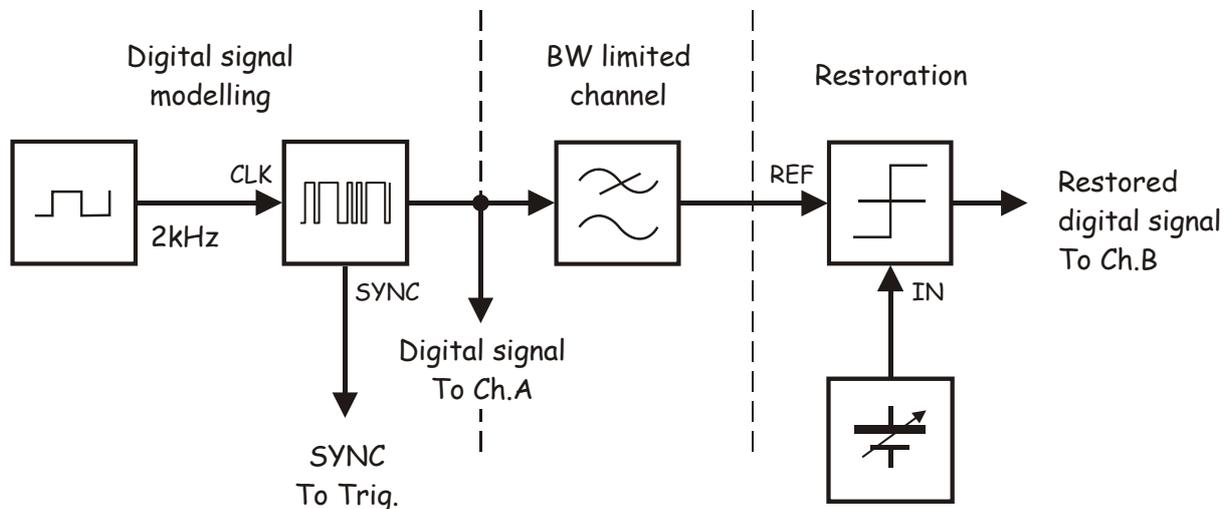


Рисунок 12

Digital signal modeling - моделирование цифрового сигнала:

CLK - тактовые импульсы, SYNC - импульс синхронизации,

SYNC To Trig. - импульс синхронизации ко входу запуска, Digital signal To Ch. A - цифровой сигнал к каналу А.

BW limited channel - канал с ограниченной полосой пропускания.

Restoration - восстановление: REF - вход сигнала, принимаемого из канала связи,

IN - вход опорного сигнала компаратора,

Restored digital signal To Ch. B - восстановленный цифровой сигнал к каналу В

54. Сравните исходный и восстановленный сигналы.

Вопрос 7

Несмотря на то, что исходный и восстановленный сигналы почти совпадают, между ними есть различие. Вы видите его?

Совет: Если различие незаметно, установите масштаб по времени *100 мкс/дел.*

Сигналы немного сдвинуты по фазе друг относительно друга.

Вопрос 8

Можно ли пренебречь этим различием? Почему?

В большинстве случаев нельзя, так как фазовая ошибка может вызвать дополнительные трудности при приеме сигнала



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

55. Снова установите масштаб по оси времени *1 мс/дел.*

56. Увеличивайте напряжение на выходе положительного регулируемого источника питания с шагом 0.2 В и наблюдайте, к чему это приведет.

Вопрос 9

Почему при некоторых уровнях постоянного напряжения компаратор выдает неправильные данные?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, почитайте примечания на странице 16-17.

Восстанавливаемый цифровой сигнал пересекает заданное постоянное напряжение не в той точке, в которой нужно.



Продemonстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

57. Снова установите напряжение на выходе источника положительного напряжения регулируемых блоков питания 0 В.
58. Плавно сужайте полосу пропускания канала путем уменьшения частоты среза перестраиваемого ФНЧ, вращая виртуальный регулятор *Cut-off Frequency Adjust* против часовой стрелки.

Примечание: Не обращайте внимания на то, что фазовый сдвиг между сигналами будет увеличиваться.

Вопрос 10

Почему компаратор начинает выдавать неправильные данные при слишком маленькой частоте среза?

Из-за ограничения полосы цифровой сигнал сильно искажается.

59. Теперь расширяйте полосу пропускания до тех пор, пока сигнал на выходе компаратора не совпадет с исходным (без учета фазового сдвига).
60. Внесите в схему изменения, как показано на рисунке 13, чтобы сравнить восстановленный сигнал и сигнал с ограниченной полосой частот.

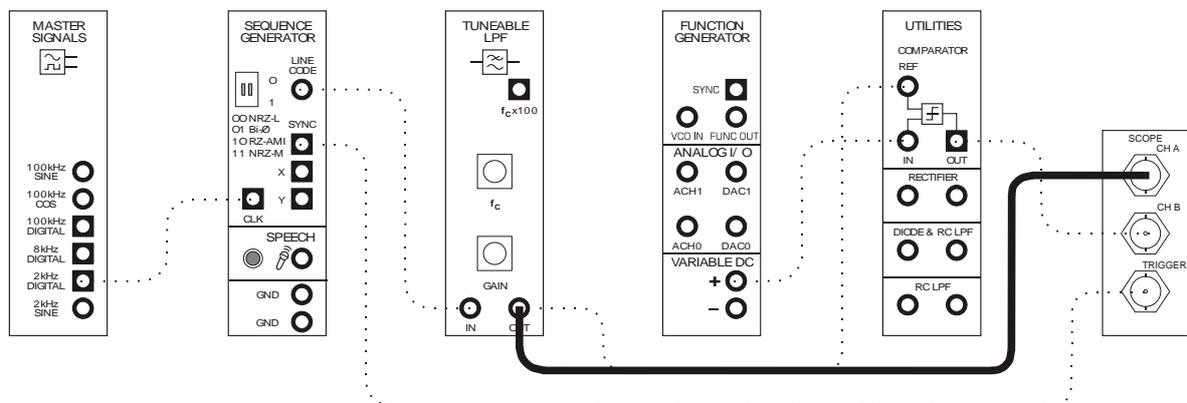


Рисунок 13

Вопрос 11

Каким образом компаратор восстанавливает цифровой сигнал с ограниченной полосой частот, если сигнал сильно искажен?

Сигнал, поданный на один из входов, пересекает уровень постоянного напряжения, поданного на другой вход, в нужных точках.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Глазковые диаграммы

Откуда бы ни поступали цифровые данные, со спутника или с оптической головки устройства считывания компакт-дисков (CD-привода), нам важно узнать характеристики искажений (полосу пропускания канала и фазовые характеристики), а также уровень шумов в канале. Один из методов решения этой задачи включает в себя использование полученного цифрового сигнала для построения *глазковой диаграммы (Eye Diagram)*.

Глазковую диаграмму можно легко получить как с помощью автономного осциллографа, так и с помощью Eye Diagram Virtual Instrument (Построитель глазковой диаграммы), если используется лабораторная станция NI ELVIS. В обоих случаях на экране отрезки сигнала, соответствующие множеству периодов развертки осциллографа, накладываются друг на друга, формируя изображение, подобное приведенному на рисунке 1.

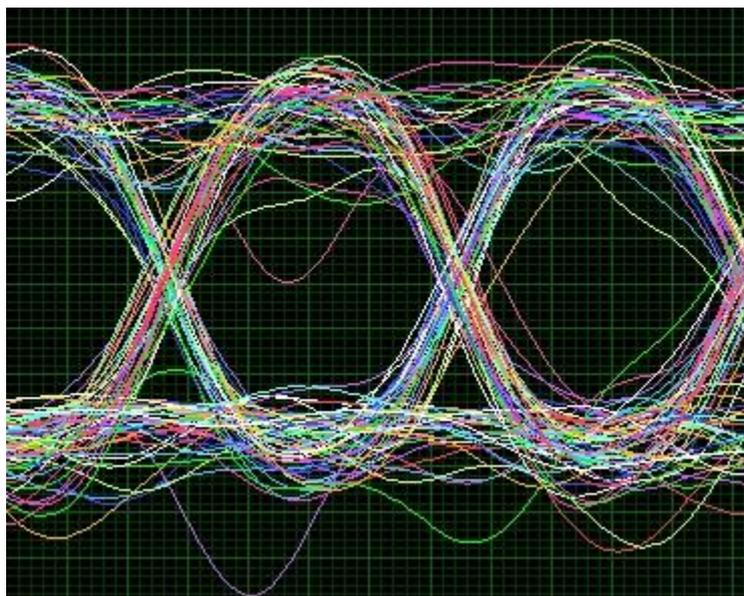


Рисунок 1

Как показано на рисунке 1, паузы между логическими нулями и единицами формируют "глазки" в центре экрана. Важно отметить, что чем сильнее влияние ограничения полосы и фазовых искажений, тем дальше логические уровни уходят от идеальных значений и, как следствие, "глазки" закрываются. Кроме того, шум в канале проявляется в виде случайных линий, которые прочерчиваются через центр "глазка", хотя, чтобы их заметить, нужен осциллограф с очень большим послесвечением экрана, если не используется функция Eye Diagram.

Если время позволяет, вам нужно получить глазковую диаграмму и исследовать с ее помощью влияние искажений и ограничения полосы.

1. Полностью разберите имеющуюся схему.

Примечание: Если вы пытаетесь приступить к выполнению дальнейших шагов, не сделав предыдущую часть работы, выполните шаги 1-10 на странице 16-4.

2. Установите DIP-переключатели в модуле Sequence Generator (генератор последовательностей) в положение 00.

3. Соберите схему согласно рисунку 2.

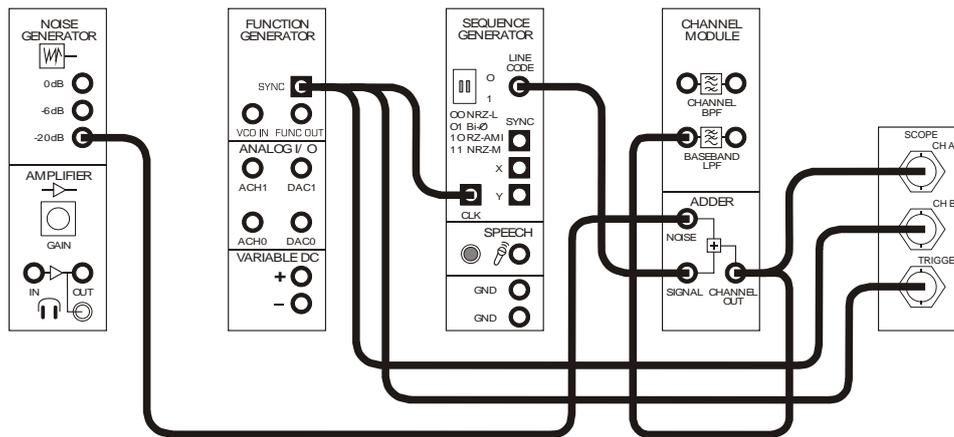


Рисунок 2

Схему на рисунке 2 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3.

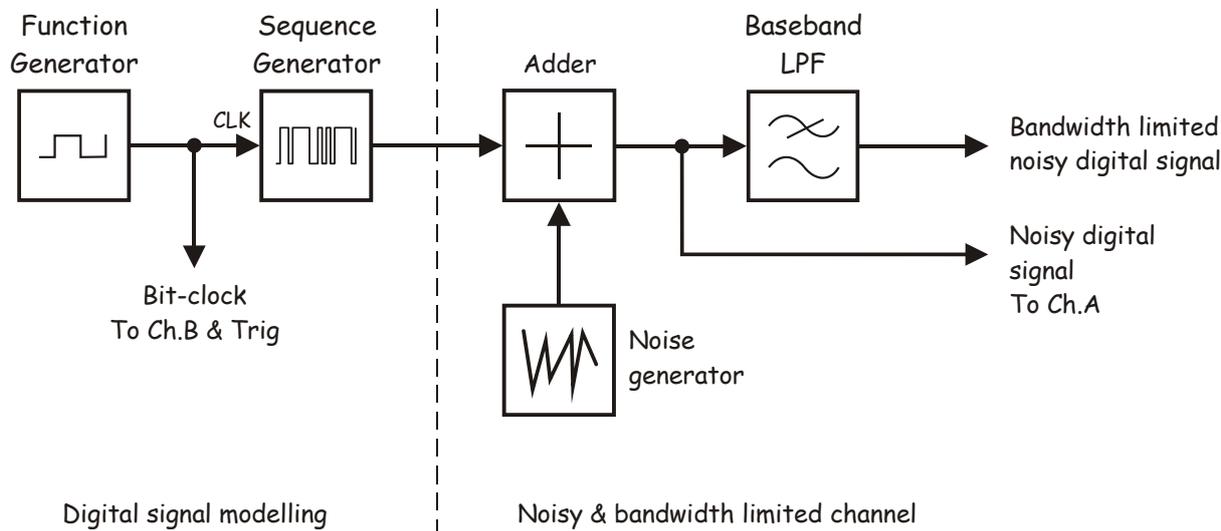


Рисунок 3

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Function Generator - функциональный генератор, Sequence Generator - генератор последовательностей, CLK - тактовые импульсы, Bit-clock To Ch.B & Trig - битовые синхроимпульсы к каналу B и входу запуска.

Noise & Bandwidth limited channel - канал с ограниченной полосой пропускания и с шумами:

Adder - сумматор, Noise generator - генератор шума, Baseband LPF - ФНЧ

Bandwidth limited noise digital signal - сигнал с урезанной полосой частот и с шумами,

Noise digital signal - зашумленный цифровой сигнал к каналу A

Для моделирования цифрового сигнала используется генератор последовательностей (SEQUENCE GENERATOR). Скорость передачи данных регулируется путем изменения частоты сигнала битовой синхронизации, поступающего с выхода функционального генератора. Уровень шума, добавляемого с помощью сумматора (ADDER), можно изменять от -20 дБ до 0 дБ. Наконец, ограничение полосы осуществляется с помощью ФНЧ (BASEBAND LPF).

4. Переведите переключатель *Control Mode* режимов управления функциональным генератором в положение, противоположное положению *MANUAL* (ручной режим).
5. Запустите программу (VI) NI ELVIS Oscilloscope (Осциллограф).
6. Установите такие же параметры осциллографа, как в эксперименте 1, с учетом следующих изменений:
 - *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) - *TRIGGER* (Внешний) вместо *CH A* (канал A)
 - *Timebase* (Масштаб по оси времени) 1 мс/дел. вместо 500 мкс/дел.
7. Включите канал В осциллографа для одновременного наблюдения сигнала битовой синхронизации с генератора последовательностей (SEQUENCE GENERATOR) и цифровых данных на выходе перестраиваемого ФНЧ (Tuneable Low-pass Filter).
8. Установите частоту битовой синхронизации 2 кГц с помощью **аппаратного регулятора** функционального генератора на панели станции ELVIS (Значение частоты контролируйте по изображению на экране осциллографа).

Примечание: Теперь вы должны наблюдать цифровой сигнал с ярко выраженной шумовой составляющей.

9. Увеличьте шум до уровня -6 дБ и посмотрите, что получится.
10. Наблюдайте за изменениями сигнала при увеличении шума до уровня 0 дБ.
11. Верните начальный уровень шума -20 дБ.
12. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 4.

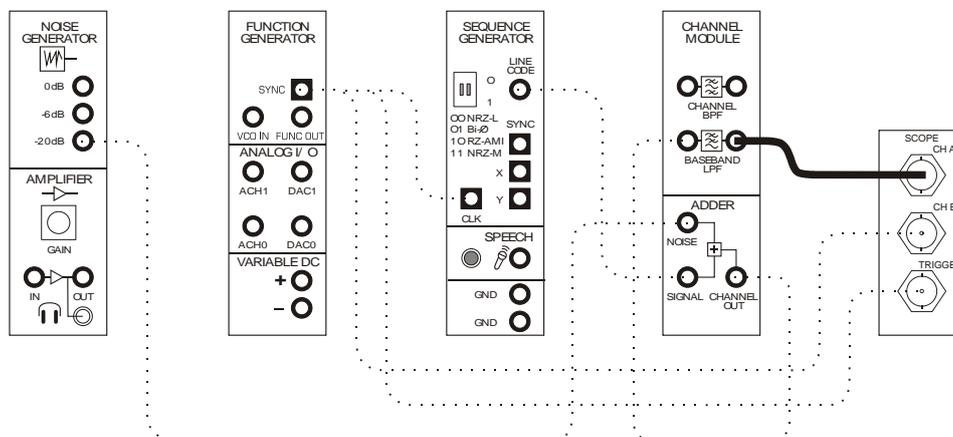


Рисунок 4

Теперь схема может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 5.

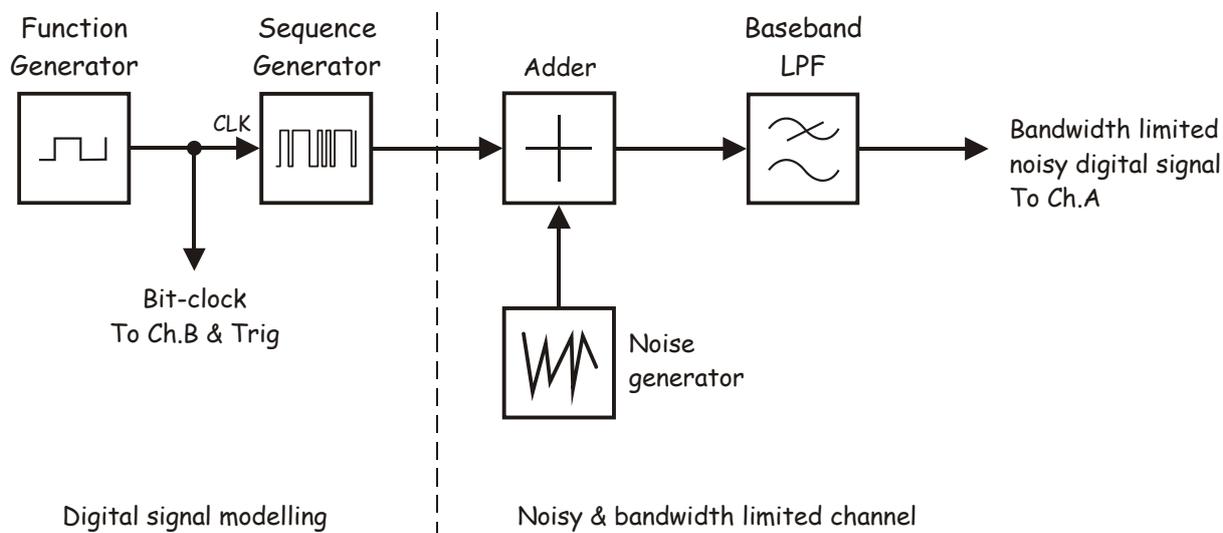


Рисунок 5

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Function Generator - функциональный генератор, Sequence Generator - генератор последовательностей, CLK - тактовые импульсы, Bit-clock To Ch.B & Trig - битовые синхроимпульсы к каналу B и входу запуска.

Noisy & Bandwidth limited channel - канал с ограниченной полосой пропускания и с шумами:

Adder - сумматор, Noise generator - генератор шума, Baseband LPF - ФНЧ

Bandwidth limited noise digital signal - сигнал с урезанной полосой частот и с шумами к каналу A

13. Повторите действия по п. 9 и п. 10 и посмотрите, как изменится цифровой сигнал.

Вопрос 1

Почему исчез шум?

Шум состоит из множества спектральных составляющих, большая часть которых подавляется ФНЧ.

Примечание: Даже если шум почти подавлен, все равно оставшиеся составляющие могут вызвать искажения, которые приводят к ошибкам приема. В этом вы можете убедиться путем сравнения сигналов при уровне шума -20 дБ и 0 дБ.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

14. Установите уровень шума -6 дБ.
15. Закройте все программы виртуальных измерительных приборов NI ELVIS.
16. Закройте программное обеспечение NI ELVIS.
17. Под руководством преподавателя запустите виртуальный прибор *DATEx Eye-Graph* для построения глазковой диаграммы.
18. Чтобы начать работать с ним, после инициализации нажмите на кнопку *RUN* на панели инструментов.

Примечание: На экране построителя глазковой диаграммы должны появиться линии, порожденные сигналом, поданным на канал А (зашумленный цифровой сигнал с ограниченной полосой). Их количество соответствует количеству периодов развертки осциллографа. В результате должна получиться глазковая диаграмма, которая похожа на приведенную на рисунке 1.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

19. Нажмите на кнопку *STOP* в окне *DATEx Eye-Graph VI*.
20. Увеличьте уровень шума до 0 дБ.
21. Снова запустите построитель глазковой диаграммы и несколько минут наблюдайте за сигналами на экране.

Вопрос 2

Как зависит размер "глазка" от уровня шума в канале?

Чем выше уровень шума, тем меньше размер "глазка" ("глазок закрывается")



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

22. Остановите исполнение *DATEX Eye-Graph VI*.
23. Путем повышения частоты сигнала битовой синхронизации увеличьте скорость передачи данных.

Примечание 1: Для этого регулятор "*FINE FREQUENCY*" (*Точная настройка частоты*) функционального генератора поверните примерно на четверть.

Примечание 2: Увеличение скорости передачи данных эквивалентно ограничению полосы частот канала связи.

24. Снова запустите построитель глазковой диаграммы и наблюдайте за его экраном в течение нескольких минут, чтобы увидеть, к чему приведет повышение скорости передачи.

Вопрос 3

Какова взаимосвязь между размером "глазка" и уровнем искажений принятого цифрового сигнала?

Чем сильнее закрыт "глазок", тем меньше уровень искажений (т.е. меньше ограничение полосы частот).



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

17 - Амплитудная манипуляция

Лабораторная работа 17 – Амплитудная манипуляция

Предварительное обсуждение

Одним из важнейших свойств техники связи и телекоммуникаций является возможность разделения каналов между разными источниками информации. Разделение каналов можно реализовать в канале связи любого типа: медный провод, оптоволоконный кабель или эфир. Представим себе, что будет, если разделение каналов окажется невозможным – тогда в каждый момент времени передавать информацию сможет только один абонент, т.е. в каждом регионе сможет работать только один телеканал или одна радиостанция, а в пределах зоны покрытия каждой базовой станции сможет разговаривать только один владелец сотового телефона. В этом случае количество одновременных телефонных соединений между двумя городами можно увеличивать только за счет увеличения количества обычных (медных) проводов или оптоволоконных кабелей.

Рассмотрим основные методы разделения каналов, одним из которых является *time division multiplexing* (TDM) – *временное разделение каналов* (ВРК), где абонентам предоставляется поочередный доступ к каналу связи в течение коротких интервалов времени. На первый взгляд, этот метод может показаться нерациональным. Представим себе ситуацию, когда любому из абонентов мобильной связи в одной зоне покрытия поочередно предоставляется около одной минуты, после чего он должен снова дожидаться своей очереди. На самом деле, ВРК хорошо работает, когда время доступа очень маленькое, что позволяет большому количеству абонентов практически одновременно получать доступ к каналу связи.

Суть использования TDM в цифровых системах связи заключается в перемежении потоков данных от разных абонентов, т.е. за фрагментом данных от одного абонента следует фрагмент данных от другого абонента и т.д. К сожалению TDM имеет недостаток. Если передавать информацию нужно в реальном времени и при этом недопустимы задержки (как при цифровом кодировании речи), то при увеличении количества абонентов необходимо повышать скорость передачи. Однако, как было продемонстрировано в эксперименте 16, увеличение скорости передачи, так же как и сужение частотной полосы канала, приводит к появлению искажений, из-за которых возникают ошибки приема.

Другой метод, называемый *frequency division multiplexing* (FDM) – *частотное разделение каналов*, дает возможность непрерывного доступа абонентов к некоторому участку радиочастотного спектра в канале связи. Сообщение от каждого абонента должно быть наложено на соответствующую несущую в выделенной полосе частот. ЧРК используется в традиционном (эфирном) телевидении и радиовещании.

FDM используется также и в цифровых системах связи с применением тех же видов модуляции, что и в аналоговых системах: AM, DSBSC и FM. Если амплитудная модуляция используется для мультиплексирования цифровых данных, ее называют *amplitude shift keying* (ASK) – *амплитудная манипуляция*.

Как показано на рисунке 1, ASK сигнал совпадает по фазе с исходным цифровым сигналом (Digital data).

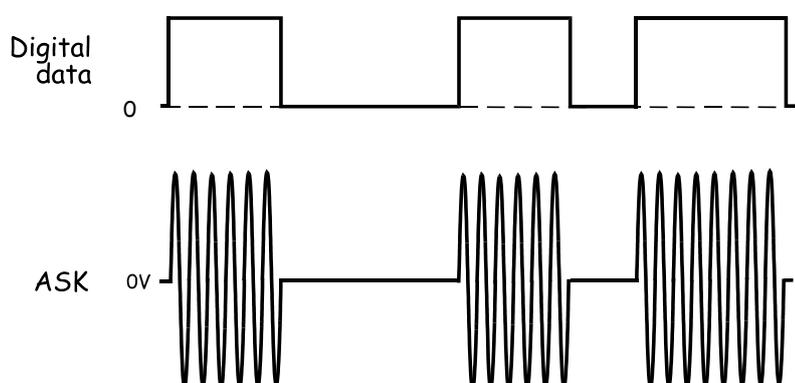


Рисунок 1

Обратите внимание, что огибающая ASK сигнала совпадает по форме с передаваемым цифровым сигналом (правда, нижняя огибающая - инверсна). Это одновременно и преимущество и недостаток ASK. С одной стороны, восстановить поток данных при приеме ASK сигнала можно с помощью простейшего детектора огибающей (принцип работы детектора огибающей рассматривался в предварительном обсуждении к эксперименту 8). С другой стороны, под действием помех в канале связи форма огибающей может быть искажена, и приемник будет с ошибками воспроизводить логические уровни цифрового сигнала. Похожие трудности возникают и при аналоговой амплитудной модуляции, где ошибки воспринимаются на слух в виде шипения, треска и щелчков.

ASK сигнал можно сгенерировать одним из традиционных способов, например, таким, который моделировался в эксперименте 5. Далее вам предстоит исследовать альтернативный метод формирования ASK сигнала, который реализуется включением и отключением несущей в соответствии с уровнем цифрового сигнала.

Эксперимент

Вам предстоит с помощью системы Emona DATEx сгенерировать ASK сигнал методом включения/отключения несущей. Поток цифровых данных вы будете моделировать с помощью генератора последовательностей (SEQUENCE GENERATOR), а выделять принятый сигнал, - с помощью простейшего детектора огибающей, искажения которого также нужно будет исследовать. Наконец, с помощью компаратора вы будете восстанавливать данные.

Время выполнения работы - 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (*' - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация ASK сигнала

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATeX и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATeX.

11. Соберите схему, изображенную на рисунке 2.

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

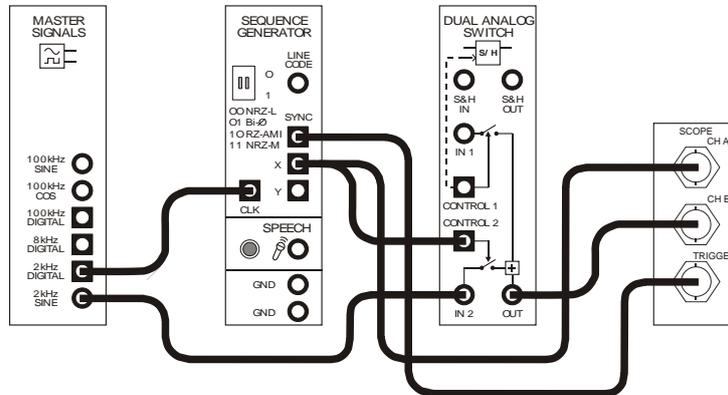


Рисунок 2

Схему на рисунке 2 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3. Исходный цифровой сигнал моделируется с помощью генератора последовательностей (*SEQUENCE GENERATOR*), у которого выход *SYNC* используется для внешнего запуска осциллографа, чтобы обеспечить неподвижность осциллограммы. В свою очередь, ASK сигнал генерируется с помощью сдвоенного аналогового ключа (*DUAL ANALOG SWITCH*).

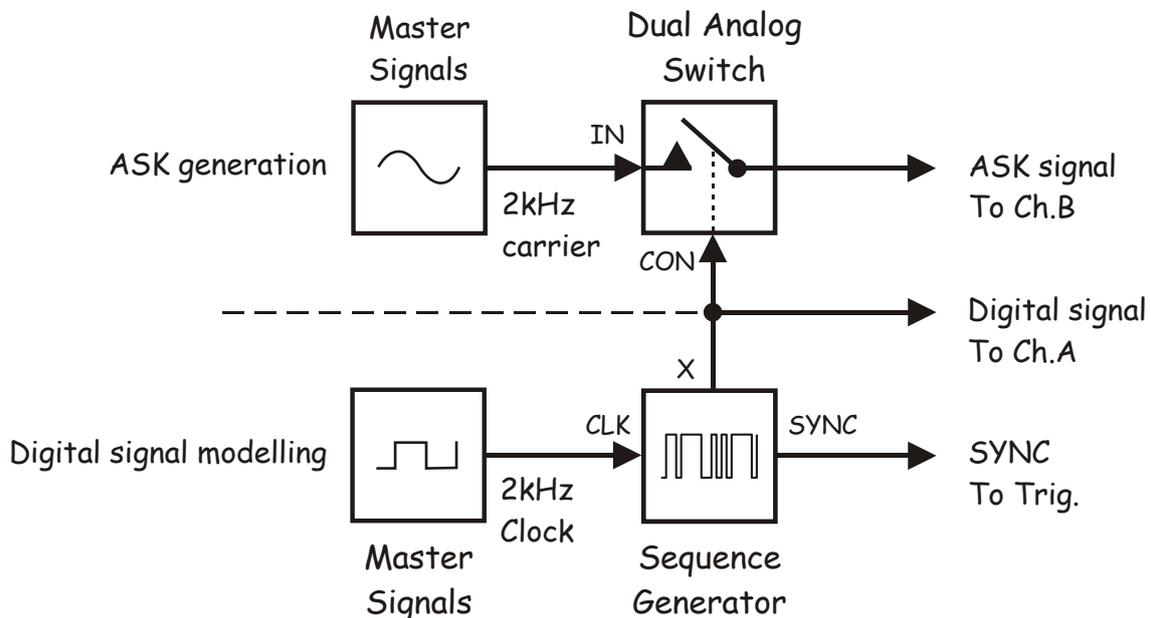


Рисунок 3

ASK generation - генерация ASK сигнала: *Master Signals* - генератор опорных сигналов
2 kHz carrier - несущая 2 кГц, *IN* - вход сигнала, *Dual Analog Switch* - сдвоенный аналоговый ключ,
CON - вход управления, *ASK signal To Ch.B* - ASK сигнал к каналу B
Digital signal To Ch.A - цифровой сигнал к каналу A

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:
2kHz Clock - тактовые импульсы 2 кГц, *Sequence Generator* - генератор последовательности,
SYNC To Trig. - синхроимпульс на вход запуска,

12. Настройте осциллограф так же, как при выполнении эксперимента 1 с учетом следующих изменений:
- Масштаб (Scale) по напряжению (канал A) - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - *Input Coupling* (Связь с источником входного сигнала) обоих каналов - DC (открытый вход) вместо AC (закрытый вход)
 - *Timebase* (Масштаб по оси времени) - 1 мс/дел. вместо 500 мкс./дел.
 - *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) - TRIGGER (Внешний) вместо CH A
13. Для одновременного наблюдения выходного сигнала генератора последовательностей и ASK сигнала с выхода сдвоенного аналогового ключа включите канал В.
14. Сравните между собой эти сигналы.

Вопрос 1

Как зависит поведение несущей ASK сигнала от уровня напряжения передаваемого цифрового сигнала?

Если логический уровень цифрового сигнала равен '0', несущей нет, а если '1' - несущая есть.

Вопрос 2

Какому уровню напряжения ASK сигнала соответствует логический '0' цифрового сигнала?

0 В



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATA VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Обратите внимание на то, что частота несущей ASK сигнала совпадает с частотой синхронизации генератора последовательности 2 кГц, причем оба сигнала вырабатываются одни и тем же источником - генератором опорных сигналов (MASTER SIGNALS).

Это облегчает наблюдение ASK сигнала на экране осциллографа. В тоже время, из-за этого собранная схема не имеет практического смысла, поскольку основная гармоника передаваемого цифрового сигнала находится слишком близко к несущей частоте. Как поясняется в лабораторной работе 8 (страницы 8-11, 8-12), в этом случае восстановление цифровых данных на принимающей стороне будет затруднительным, а может оказаться и невозможным.

Теоретически несущая частота должна быть намного выше скорости передачи данных, которая определяется частотой сигнала битовой синхронизации генератора последовательностей. Далее вам нужно будет установить такую частоту несущей, чтобы сигнал на выходе сдвоенного аналогового ключа стал похож на обычный ASK сигнал.

15. Внесите изменения в схему согласно рисунку 4.

Напоминание! Соединения, которые уже выполнены, показаны пунктирной линией.

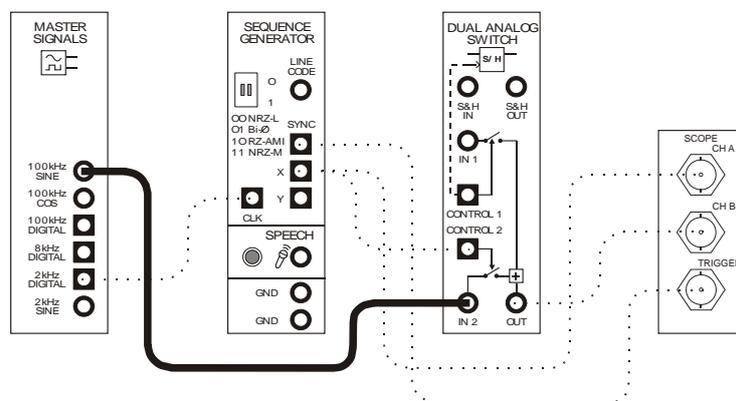


Рисунок 4

Схему на рисунке 4 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 5.

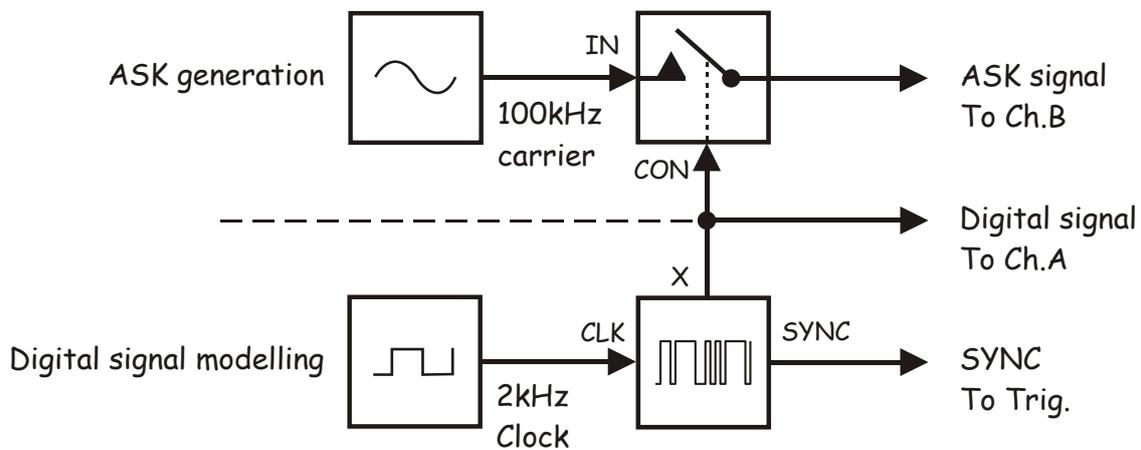


Рисунок 5

ASK generation - генерация ASK сигнала:

100 kHz carrier - несущая 100 кГц, IN - вход сигнала, CON - вход управления,

ASK signal To Ch.B - ASK сигнал к каналу B

Digital signal To Ch.A - цифровой сигнал к каналу A

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

2kHz Clock - тактовые импульсы 2 кГц, SYNC To Trig. - синхроимпульс на вход запуска,

16. Сравните ASK сигнал с исходным цифровым сигналом.

Вопрос 3

Что общего у ASK сигнала и AM сигнала?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, почитайте раздел предварительного обсуждения темы.

Верхняя огибающая повторяет форму модулирующего сигнала сообщения, а нижняя - форму того же сигнала сообщения, только инвертированного.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Демодуляция ASK сигнала с помощью детектора огибающей

Для демодуляции ASK сигнала годится любая схема АМ демодулятора, поскольку ASK сигнал отличается от АМ сигнала только тем, что вместо речи или музыки в качестве модулирующего сигнала используется цифровое сообщение. Далее вам предстоит демодулировать ASK сигнал с помощью детектора огибающей.

17. Найдите на программной панели управления DATEx перестраиваемый ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER) и поверните виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* по часовой стрелке до упора.
18. Поверните виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* по часовой стрелке до упора.
19. Внесите изменения в схему согласно рисунку 6.

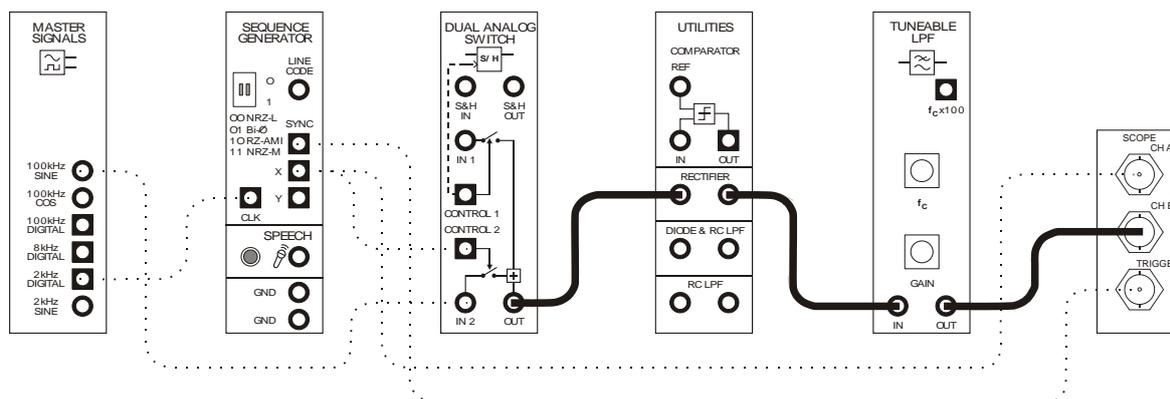


Рисунок 6

Генератор ASK сигнала и демодулятор можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 7. Цифровые данные выделяются из ASK сигнала с помощью детектора огибающей, который собран на основе модуля TUNEABLE LOW-PASS FILTER (Перестраиваемый ФНЧ) и выпрямителя из модуля UTILITIES (Вспомогательные блоки).

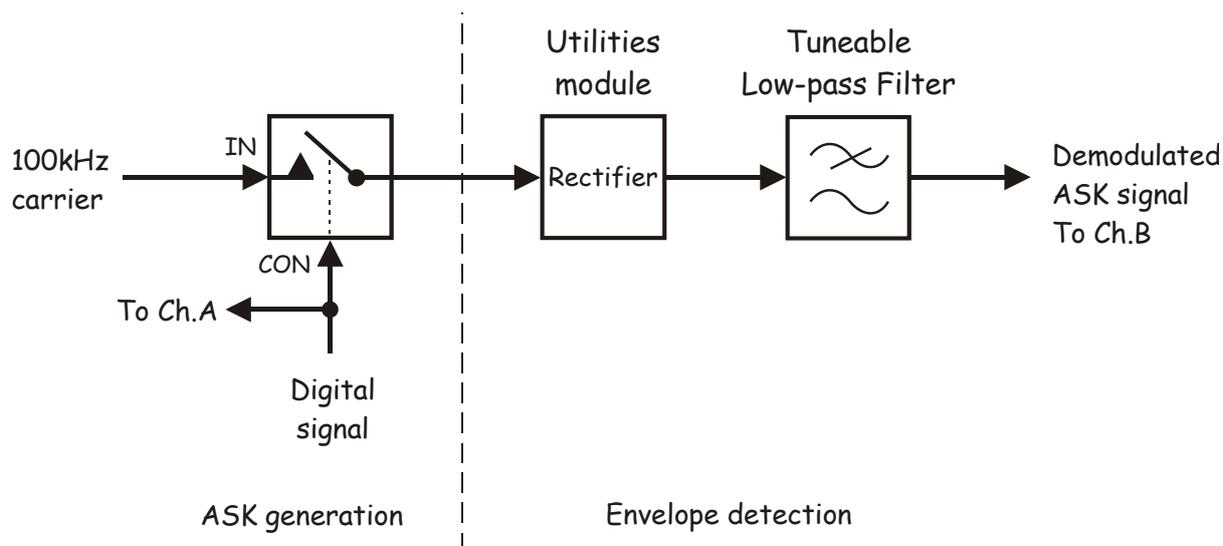


Рисунок 7

ASK generation - генерация ASK сигнала:

100 kHz carrier - несущая 100 кГц, IN - вход сигнала, CON - вход управления,
Digital signal To Ch.A - цифровой сигнал к каналу A

Envelope detection - детектирование огибающей:

Utilities module - модуль вспомогательных блоков, Rectifier - выпрямитель,
Tuneable Low-pass filter - перестраиваемый ФНЧ
Demodulated ASK signal To Ch.B - демодулированный ASK сигнал к каналу B

20. Сравните восстановленный цифровой сигнал с исходным сигналом.

Совет: Для удобства сравнения, если необходимо, подрегулируйте масштаб по напряжению канала B.

Вопрос 4

Почему восстановленный цифровой сигнал не полностью совпадает с исходным сигналом?

Детектирование огибающей невозможно без подавления высоких частот, а ФНЧ подавляет часть полезных гармоник цифрового сигнала.

Вопрос 5

Какое устройство можно использовать для окончательного восстановления цифрового сигнала.

Компаратор.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Полное восстановление цифрового сигнала с помощью компаратора
 Как было показано в эксперименте 16, искаженные цифровые сигналы удобно восстанавливать с помощью компаратора. Сейчас вам нужно будет "очистить" демодулированный ASK сигнал.

21. Переведите переключатель режимов работы *Control Mode* регулируемого источника положительного напряжения питания в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной режим).
22. Запустите программу (VI) *Variable Power Supplies* (Регулируемые источники питания).
23. Установите на выходе источника положительного напряжения 0 В нажатием кнопки *RESET*.
24. Внесите изменения в схему согласно рисунку 8.

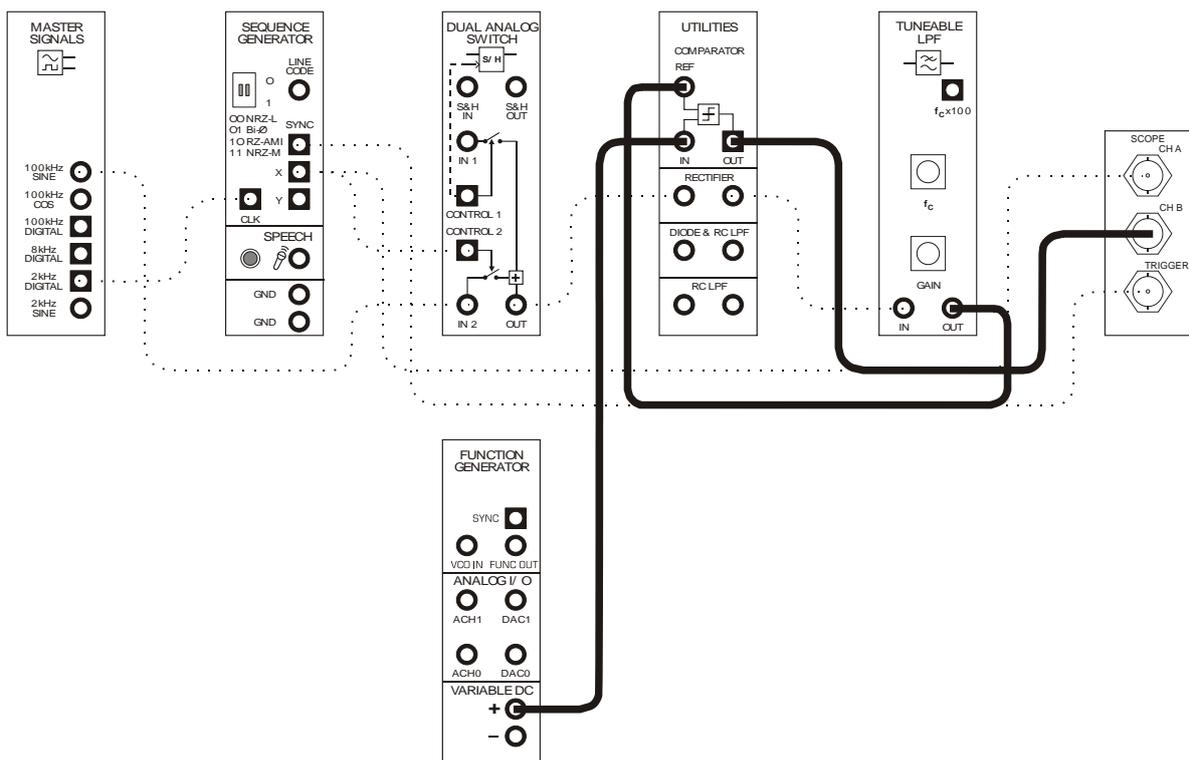


Рисунок 8

Генератор ASK сигнала, демодулятор и устройство восстановления цифрового сигнала могут быть представлены блок-схемой, приведенной на рисунке 9.

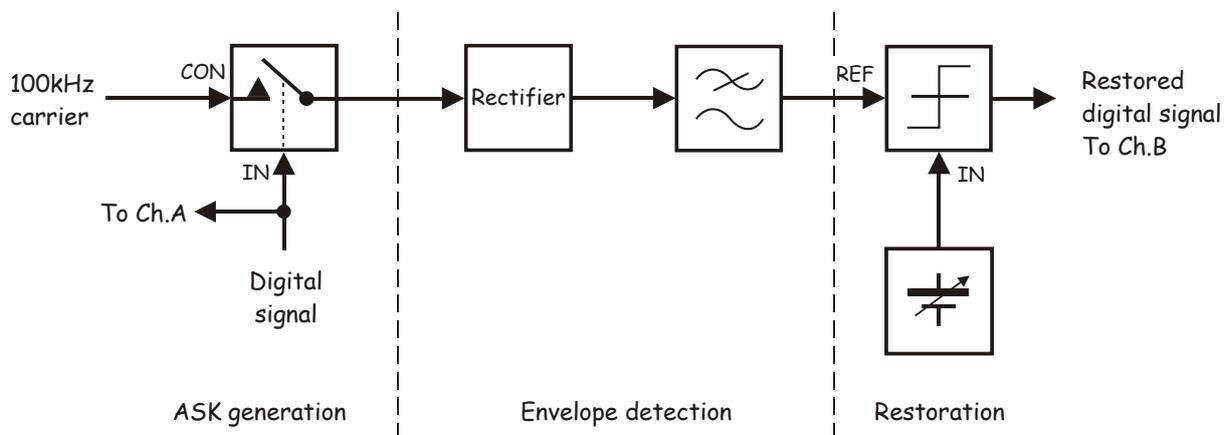


Рисунок 9

ASK generation - генерация ASK сигнала:

100 kHz carrier - несущая 100 кГц, IN - вход сигнала, CON - вход управления,
Digital signal To Ch.A - цифровой сигнал к каналу A

Envelope detection - детектирование огибающей: Rectifier - выпрямитель

Restoration - восстановление:

REF - вход сигнала, IN - вход опорного сигнала
Restored digital signal To Ch.B - восстановленный цифровой сигнал к каналу B

25. Сравните исходный и восстановленный сигналы. Если они не совпадают, подстройте виртуальным регулятором *Voltage* напряжение на выходе источника положительного напряжения.

Вопрос 6

Каким образом компаратор превращает медленно нарастающее напряжение восстановленного цифрового сигнала сообщения в импульсы прямоугольной формы?

У компаратора очень большой коэффициент усиления.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Помехи

Как правило, системы радиосвязи, радиовещания и телевидения находятся под влиянием "вредных" электромагнитных излучений, называемых *помехами (noise)*. 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, из-за абонентов, которые в данный момент используют 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. При очень больших искажениях, когда уровень шума слишком большой по отношению к уровню полезного сигнала (малое отношение сигнал/шум), демодуляция становится невозможной.

В системе Emona DATeX имеется возможность смоделировать влияние помехи на канал связи. Вы это можете сделать по разрешению преподавателя.

1. Соберите схему согласно рисунку 1, **не изменяя** уже сделанных соединений.

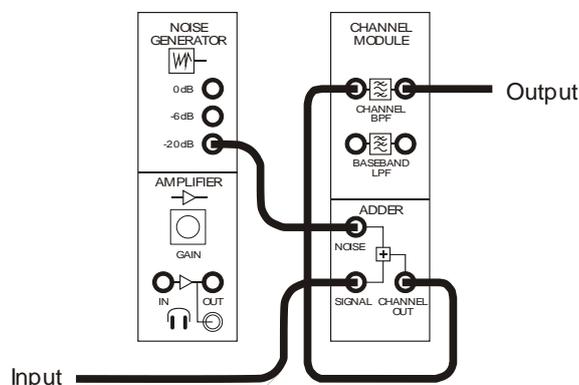


Рисунок 1

Собранную схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 2. Здесь моделируется работа настоящего канала связи, где помеха накладывается, например, на ASK сигнал.

Наиболее целесообразно выбирать следующие значения уровня шума относительно уровня полезного сигнала: -20 дБ (отношение сигнал/шум равно 10), -6 дБ (отношение сигнал/шум равно 2), 0 дБ (отношение сигнал/шум равно 1).

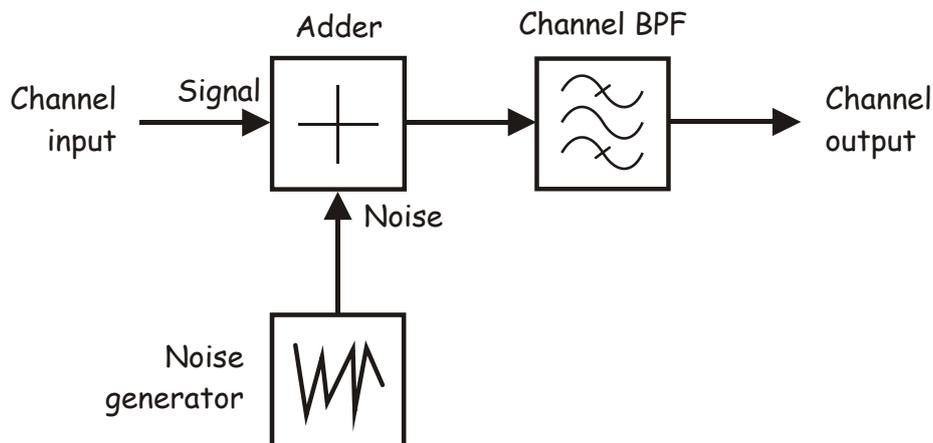


Рисунок 2

Channel input - вход канала, Signal - сигнал, Adder - сумматор, Noise generator - генератор шума, Noise - помеха (шум), Channel BPF - полосовой фильтр (канал связи), Channel output - выход канала

2. Отключите проводник от выхода сдвоенного аналогового ключа (DUAL ANALOG SWITCH) и соедините выход ключа со входом канала с помехой.
3. Соедините выход канала с помехой со входом выпрямителя.

Примечание: В данной схеме сигнал с передатчика (выхода модуля DUAL ANALOG SWITCH) проходит через моделируемый канал с помехой на вход выпрямителя.

4. Сравните исходные и восстановленные данные. Если они не совпадают, подрегулируйте уровень положительного напряжения регулируемого блока питания так, чтобы они совпадали (при наименьшем количестве ошибок).
5. Для наблюдения ASK сигнала отсоедините вход В осциллографа от выхода компаратора и присоедините его к выходу сумматора (ADDER).
6. Чтобы увеличить уровень шума в канале, присоедините к соответствующему входу сумматора выход -6 дБ генератора шума.
7. Посмотрите, как это повлияло на ASK сигнал.
8. Снова подключите вход В осциллографа к выходу компаратора.
9. Сравните исходные и восстановленные данные. Если они не совпадают, подрегулируйте уровень положительного напряжения регулируемого блока питания.

Примечание: Возможно, вам не удастся восстановить данные.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

17 - Частотная манипуляция

Эксперимент 18 – Частотная манипуляция

Предварительное обсуждение

Как вы помните, частотное разделение каналов (FDM) позволяет занимать канал связи одновременно несколькими абонентами. В этом случае каждый абонент может передавать сообщение путем модуляции несущей, накладывая свое сообщение (модулируя несущую) в отдельном участке радиочастотного спектра. Вспомним также, что при передаче цифровых сообщений можно использовать те же виды модуляции, что и при передаче аналоговых сообщений. Частотную модуляцию (FM) цифровых данных называют *binary frequency shift keying (BFSK)* – *двухчастотной манипуляцией*, или просто *frequency shift keying (FSK)* – *частотной манипуляцией*.

Одним из преимуществ частотной манипуляции по сравнению с амплитудной манипуляцией является более высокая защищенность от помех, которые непосредственно воздействуют на амплитуду передаваемого сигнала. Нежелательные изменения амплитуды можно устранить, не ухудшая качество передачи информации, с помощью *ограничителя* в приемниках с частотной модуляцией (FM) или частотной манипуляцией (FSK).

Как показано на рисунке 1, FSK сигнал совпадает по фазе с исходным цифровым сигналом сообщения (Digital data).

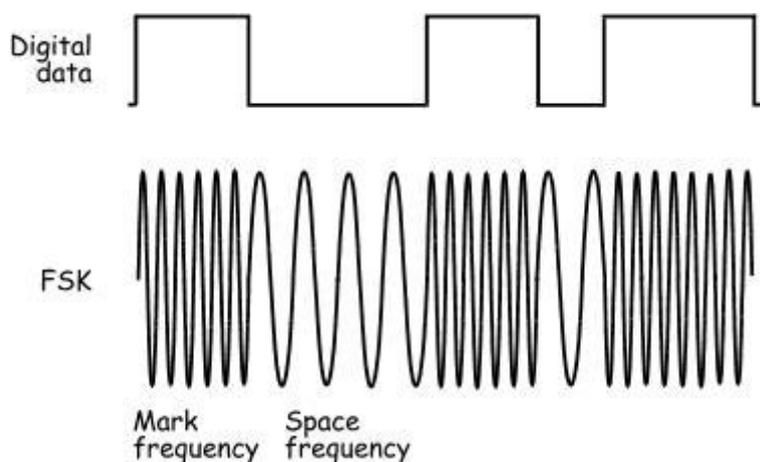


Рисунок 1

Mark frequency - лог. "1", Space frequency - лог. "0"

Следует отметить, что FSK сигнал формируется путем переключения двух значений частоты. Как правило, частота, соответствующая логическому "0" – ниже несущей частоты, а частота, соответствующая логической "1" – выше несущей частоты. Таким образом, частота сигнала на выходе модулятора никогда не совпадает с несущей частотой, принятой за "номинальную".

FSK сигнал можно генерировать с помощью обычного FM модулятора, построенного на базе *voltage-controlled oscillator (VCO)* – генератора, управляемого напряжением. Аналогично, демодулировать FSK сигнал можно как с помощью обычного FM демодулятора, например, *zero crossing detector (ZCD)* – детектора перехода через ноль, так и с помощью схемы *фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ)* – *phase-locked loop (PLL)*. Принцип работы детектора *ZCD* изложен в предварительном обсуждении к эксперименту 12. Если FSK сигнал пропустить через высокоизбирательный фильтр, можно выделить каждую из двух гармонических составляющих, из которых состоит FSK сигнал. Рассматривая их затем отдельно, как ASK сигнал, можно восстановить сообщение с помощью детектора огибающей. Принцип работы детектора огибающей рассматривался в разделе предварительного обсуждения к эксперименту 8.

Эксперимент

В настоящей работе вам необходимо на основе системы Emona DATeX реализовать генератор, управляемый напряжением, для генерации FSK сигнала. Цифровое сообщение будет моделироваться с помощью модуля SEQUENCE GENERATOR (Генератор последовательностей). Затем нужно будет восстановить данные путем выделения каждой из гармоник FSK сигнала с помощью фильтра и демодуляции их с помощью детектора огибающей. Наконец, вам предстоит пронаблюдать искаженный FSK сигнал и с помощью компаратора восстановить данные.

Время выполнения работы – около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATeX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация FSK сигнала

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATEx в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATEx и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATEx.
11. Найдите модуль *SEQUENCE GENERATOR* (Генератор последовательностей) на программной панели управления DATEx и установите DIP-переключатели в положение "00".
12. Переведите переключатель режимов управления *Control Mode* функционального генератора в положение, противоположное положению *Manual* (Ручной режим).
13. Запустите программу (VI) *Function Generator* (Функциональный генератор).
14. Включите генератор нажатием на виртуальную кнопку *ON/OFF*.
15. С помощью виртуальных органов управления настройте функциональный генератор следующим образом:
 - *Waveshape* (Форма сигнала): *Sine* (синусоидальная)
 - *Frequency* (Частота): 10 кГц
 - *Amplitude* (Пиковая амплитуда): 4 В
 - *DC Offset* (Напряжение смещения): 0 В

16. Соберите схему согласно рисунку 2.

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

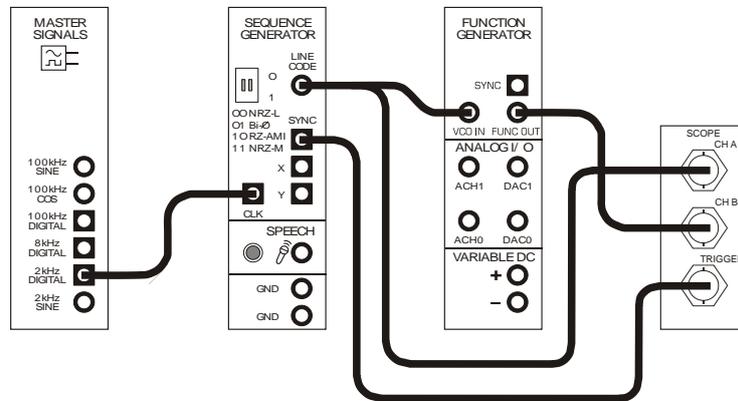


Рисунок 2

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 3. Моделирование цифрового сигнала осуществляется генератором последовательностей, выход *SYNC* которого используется для внешнего запуска осциллографа, чтобы обеспечить стабильное изображение. Для формирования FSK сигнала применяется генератор, управляемый напряжением, выполненный на основе функционального генератора.

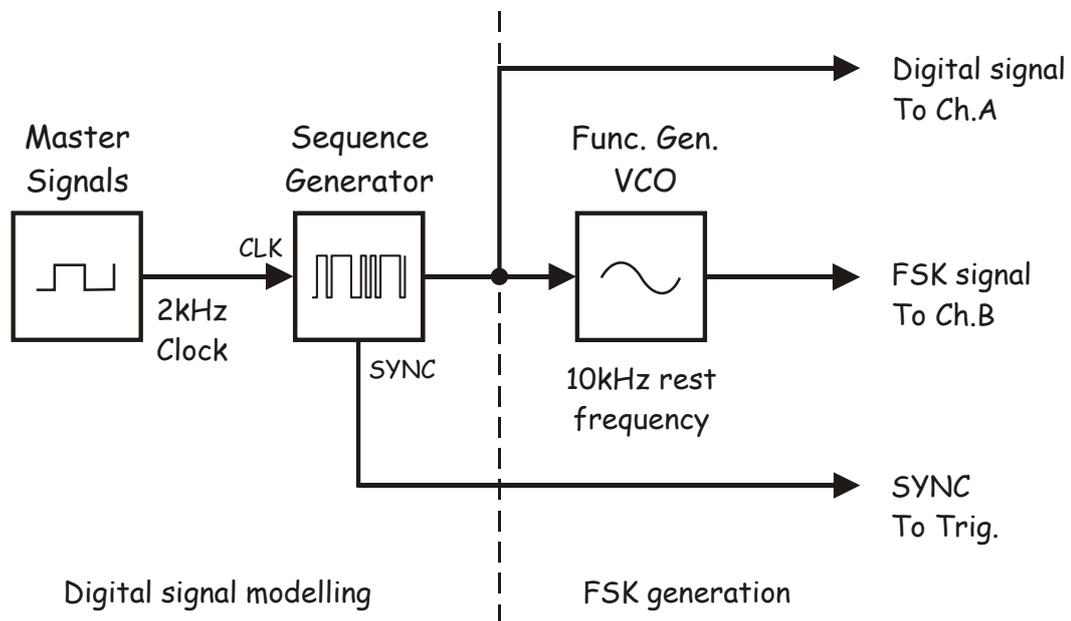


Рисунок 3

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Master Signals - генератор опорных сигналов, 2 kHz carrier - несущая 2 кГц,

CLK - вход тактовых импульсов, Sequence Generator - генератор последовательности, SYNC - синхросигнал

FSK generation - генерация FSK сигнала:

Func. Gen. VCO - генератор, управляемый напряжением на основе функционального генератора,

10kHz rest frequency - центральная частота 2 кГц, Digital signal To Ch.A - цифровой сигнал к каналу A,

FSK signal To Ch.B - FSK сигнал к каналу B, SYNC To Trig. - синхриимпульс на вход запуска

17. Установите такие же настройки осциллографа, как в эксперименте 1 с учетом следующих изменений
- *Trigger Source (Источник сигнала запуска) - TRIGGER (Внешний)* вместо *CH A*
18. Для одновременного наблюдения цифрового сигнала на выходе генератора последовательностей и FM сигнала на выходе генератора, управляемого напряжением, включите канал В осциллографа.

Примечание: Убедитесь в том, что масштаб по оси времени (*Timebase*) выбран *500 мкс/дел*.

19. Сравните наблюдаемые сигналы.

Вопрос 1

Как называется частота выходного сигнала генератора, управляемого напряжением, которой соответствует логическая "1" цифровых данных? Совет: если вы затрудняетесь с ответом, посмотрите раздел предварительных обсуждений.

The mark frequency - частота рабочей посылки

Вопрос 2

Как называется частота выходного сигнала генератора, управляемого напряжением, которой соответствует логический "0" цифровых данных? Совет: если вы затрудняетесь с ответом, посмотрите раздел предварительных обсуждений.

The space frequency - частота паузы

Вопрос 3

Какая из двух частот FSK сигнала выше? Поясните свой ответ на основе проведенных экспериментов.

Выше частота, соответствующая логической "1", поскольку период синусоиды в рабочей посылке, наблюдаемый на экране, короче периода синусоиды в паузе, когда передается логический "0".



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Демодуляция FSK сигнала путем фильтрации и детектирования огибающей
 Для восстановления FSK сигнала можно использовать те же схемы, что и для FM сигнала, поскольку FSK сигнал практически ничем не отличается от FM сигнала, только в качестве модулирующего сигнала используется цифровое сообщение вместо речи или музыки. Однако, для демодуляции FSK сигнала, частота которого принимает только два значения, можно использовать метод, непригодный для демодуляции речи, переданной с помощью частотной модуляции. Этому методу демодуляции и будет посвящен настоящий раздел.

20. На программной панели управления DATEX найдите модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (Перестраиваемый ФНЧ) и поверните виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* по часовой стрелке до упора.
21. Поверните виртуальный регулятор коэффициента усиления *GAIN* этого же модуля по часовой стрелке до упора.
22. Модифицируйте схему в соответствии с рисунком 4.

Примечание: Не забывайте, что пунктирными линиями обозначены соединения, которые изменять не следует.

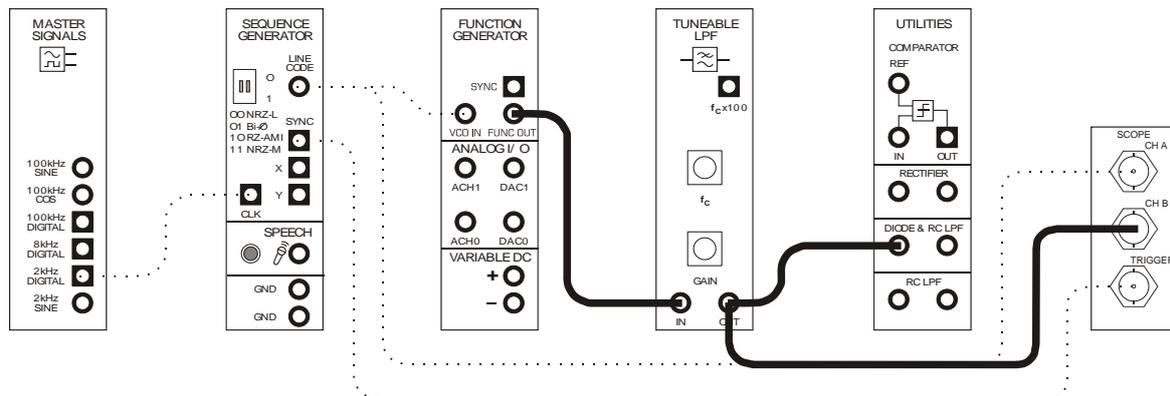


Рисунок 4

Генератор FSK сигнала и демодулятор можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 5. Чтобы демодулировать FSK сигнал, перестраиваемый ФНЧ выделяет одну из двух гармоник FSK сигнала, а с помощью диода (DIODE) и RC ФНЧ (RC LPF) модуля вспомогательных блоков (UTILITIES) осуществляется детектирование огибающей.

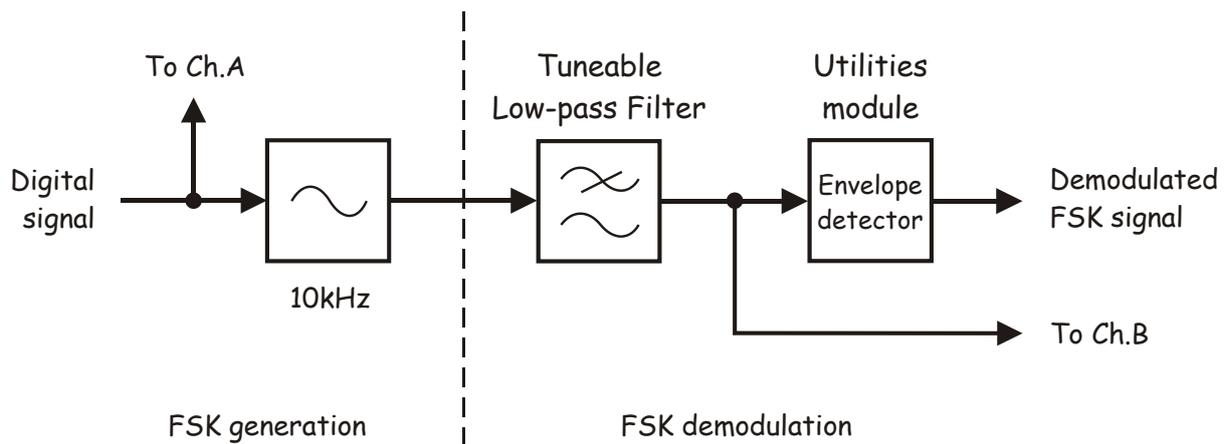


Рисунок 5

FSK generation - генерация FSK сигнала:

Digital signal - цифровой сигнал, To Ch.A - к каналу А

FSK demodulation - FSK демодуляция:

Tuneable Low-pass filter - перестраиваемый ФНЧ, Utilities module - модуль вспомогательных блоков,

Envelope detector - детектор огибающей,

Demodulated FSK signal- демодулированный FSK сигнал, To Ch.B - к каналу В

23. Плавно вращая против часовой стрелки виртуальные регуляторы *Cut-off Frequency Adjust* и *Gain* модуля Tuneable Low-pass Filter, уменьшайте коэффициент усиления и частоту среза перестраиваемого ФНЧ до тех пор, пока частота, соответствующая логической "1" не уменьшится до нуля, в то время как частота, соответствующая логическому "0", останется неизменной.
24. Сравните сигнал на выходе фильтра с исходным цифровым сигналом.

Вопрос 4

Какую из гармоник FSK сигнала пропускает фильтр?

Частоту паузы, соответствующую логическому "0".

Вопрос 5

Что напоминает отфильтрованный FSK сигнал?

ASK сигнал.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

25. Переключите вход канала В осциллографа на выход детектора огибающей, как показано на рисунке 6.

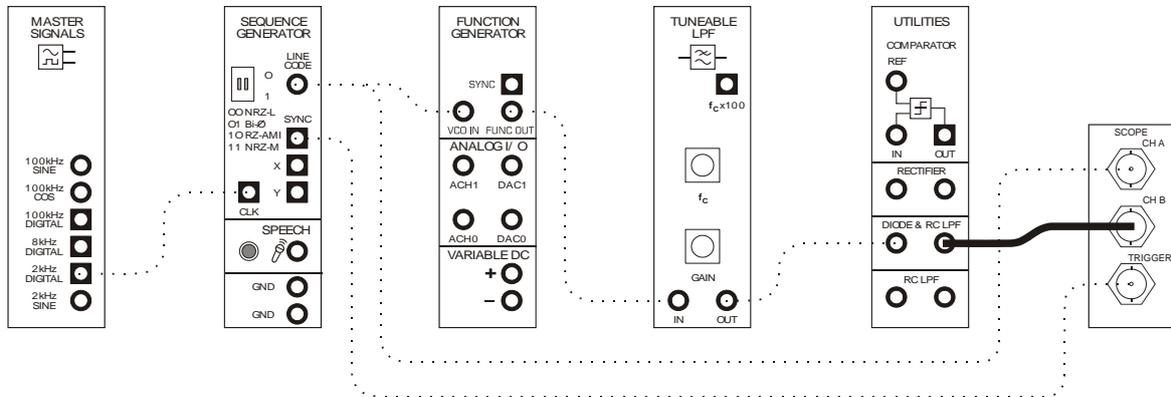


Рисунок 6

26. Сравните исходный и восстановленный цифровые сигналы.

Вопрос 6

Какое устройство можно использовать для окончательной обработки восстановленного цифрового сигнала?

Компаратор.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Окончательное восстановление данных с помощью компаратора

Как было показано в эксперименте 16, для восстановления искаженных цифровых сигналов хорошо подходит компаратор. Далее вам нужно будет с помощью компаратора очистить демодулированный FSK сигнал от искажений.

27. Переведите переключатель режимов работы *Control Mode* источника положительного напряжения регулируемых блоков питания в положение, противоположное положению *MANUAL*.
28. Запустите программу (VI) Variable Power Supplies VI (Регулируемые источники питания).
29. Установите на выходе источника положительного напряжения 0 В нажатием на кнопку *RESET*.
30. Внесите изменения в схему согласно рисунку 7.

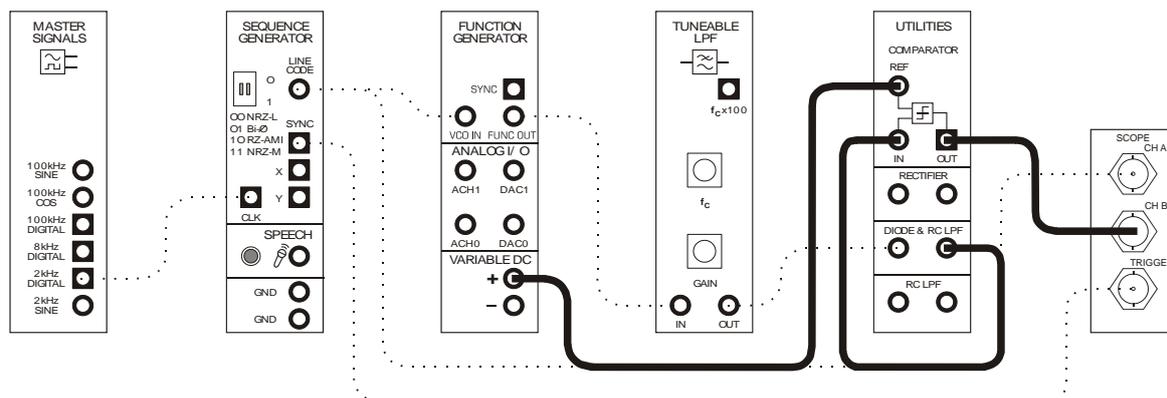


Рисунок 7

Схему, состоящую из генератора FSK сигнала, демодулятора и устройства очистки от искажений цифрового сигнала, можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 8.

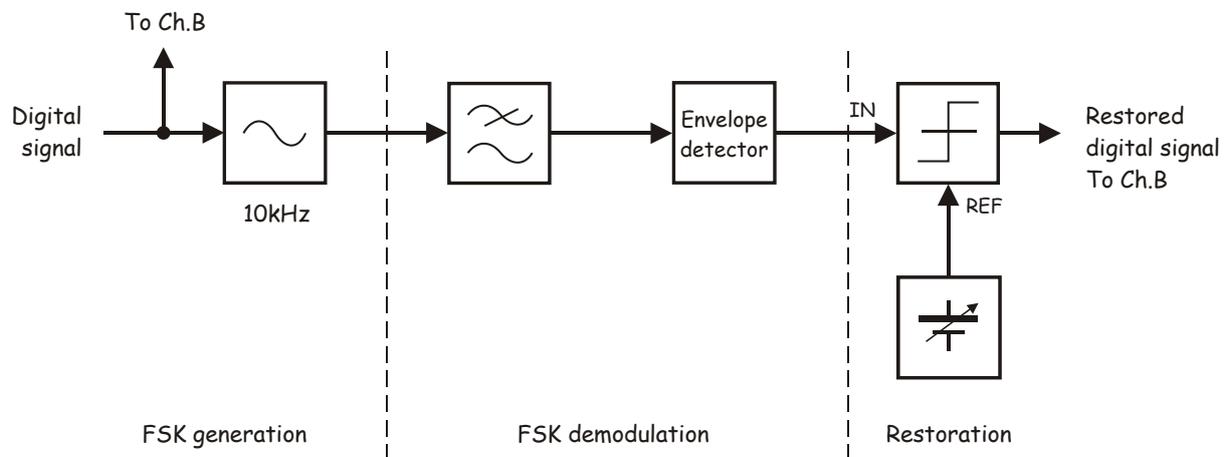


Рисунок 8

FSK generation - генерация FSK сигнала:

Digital signal - цифровой сигнал, To Ch.B - к каналу B

FSK demodulation - FSK демодуляция:

Envelope detector - детектор огибающей

Restoration - восстановление:

REF - вход сигнала, IN - вход опорного сигнала

Restored digital signal To Ch.B - восстановленный цифровой сигнал к каналу B

31. Сравните исходный и восстановленный цифровые сигналы. Если они не совпадают, вращением виртуального регулятора *Voltage* источника регулируемого положительного напряжения питания добейтесь совпадения.

Примечание: Вам потребуется точно подстроить опорное напряжение(REF) около 0В.

Вопрос 7

Каким образом компаратор превращает медленно нарастающее напряжение восстановленного цифрового сигнала в импульсы прямоугольной формы?

Он усиливает восстановленный цифровой сигнал с очень большим коэффициентом усиления.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

ф.И.О.: _____

Группа: _____

19 - Двоичная фазовая манипуляция

Эксперимент 19 – Двоичная фазовая манипуляция

Предварительное обсуждение

В экспериментах 17 и 18 было показано, что АМ и FM модуляторы позволяют передавать цифровые сигналы с разделением каналов. Чтобы не путать модуляторы цифровых сигналов с модуляторами 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 уровень цифрового сигнала управляет частотой несущей. 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.

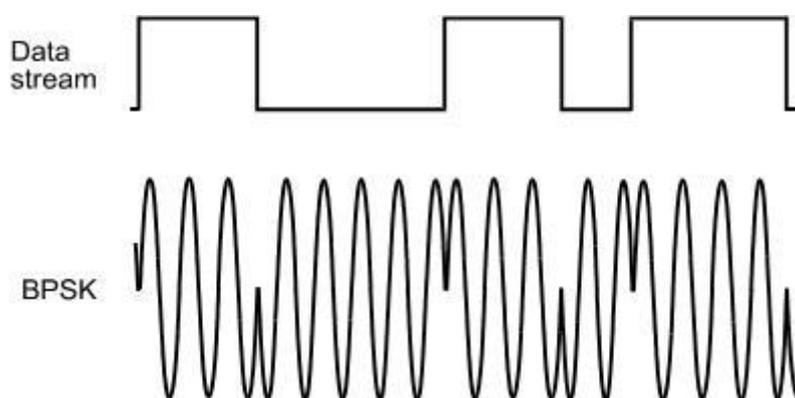


Рисунок 1

Следует обратить внимание, что когда логический уровень цифрового сигнала меняется на противоположный, фаза модулированного сигнала изменяется на 180° . Если, например, логический уровень цифрового сигнала изменяется в тот момент, когда BPSK сигнал приближается к положительному пику, то он меняет свое направление и начинает приближаться к отрицательному пику (и наоборот).

Возможно, вы не сразу заметите, что чередующиеся полупериоды огибающей BPSK сигнала совпадают по форме с исходным сообщением. Следовательно, 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 работы которых поясняется в экспериментах 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 модемах, предназначенных для передачи данных по телефонной линии.

Эксперимент

При выполнении этого эксперимента вы, реализуя математическую модель BPSK сигнала, сгенерируете его с помощью модуля MULTIPLIER (Умножитель) системы Emona DATeX. 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 очистку полученных данных от искажений.

Время выполнения работы - около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация BPSK сигнала

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

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь

визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.

9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATEx и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATEx.
11. Найдите модуль SEQUENCE GENERATOR (Генератор последовательностей) на программной панели управления и установите DIP-переключатели в положение "00".
12. Соберите схему, как показано на рисунке 2.

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

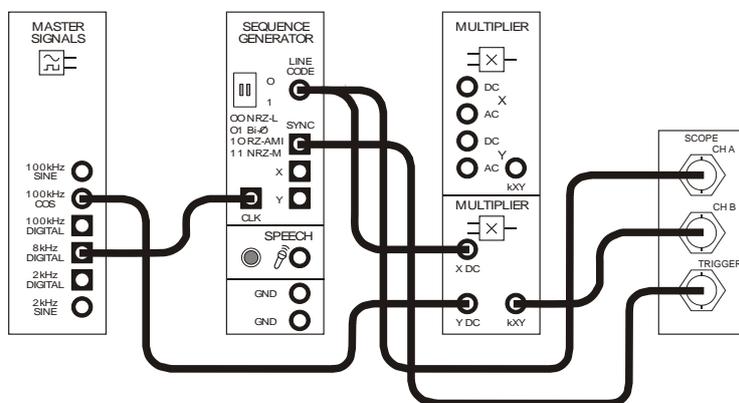


Рисунок 2

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 изображение осциллограммы. BPSK сигнал генерируется путем реализации математической модели с помощью модуля умножителя (MULTIPLIER).

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

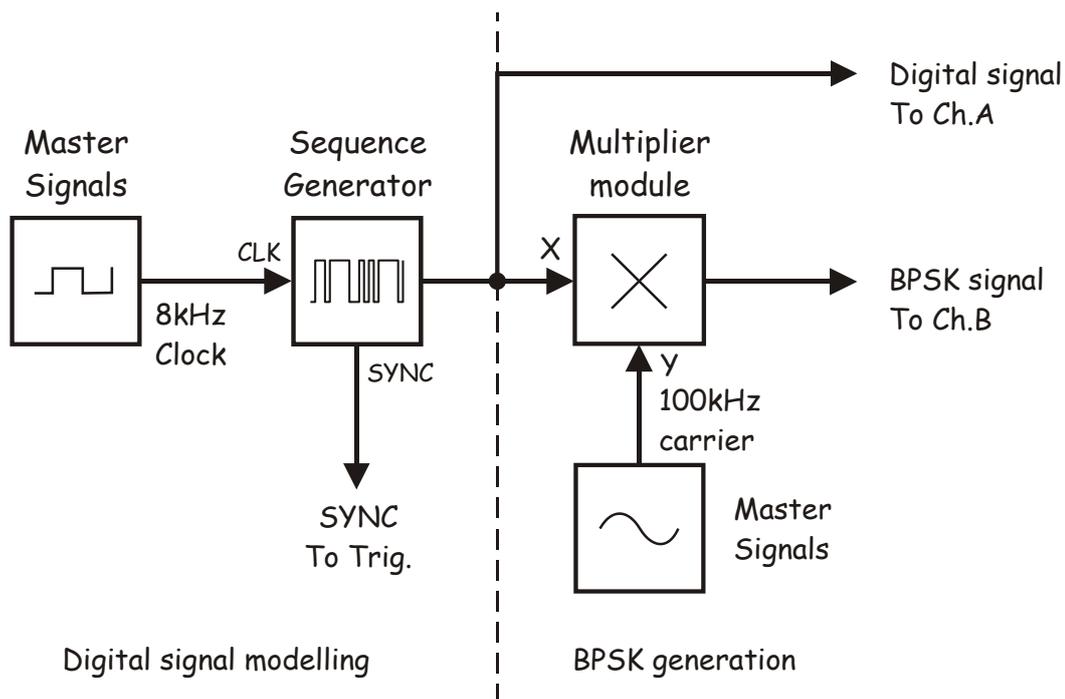


Рисунок 3

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Master Signals - генератор опорных сигналов, 8 kHz Clock - тактовые импульсы 8 кГц,
 CLK - вход тактовых импульсов, 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 Ch.A - цифровой сигнал к каналу А,
 BPSK signal To Ch.B - BPSK сигнал к каналу В

13. Установите те же настройки осциллографа, что и в эксперименте 1, со следующими изменениями:
 - *Scale (Масштаб по напряжению)* канала В - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - *Input Coupling (Связь с источником сигнала)* обоих каналов - DC (открытый вход) вместо AC (закрытый вход)
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 100 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.
 - *Trigger Source (Источник сигнала запуска)* - TRIGGER (Внешний) вместо CH A
14. Включите канал В осциллографа, чтобы одновременно наблюдать исходный сигнал на выходе генератора последовательностей и BPSK сигнал на выходе умножителя.
15. Сравните эти сигналы.

Вопрос 1

Что общего у BPSK сигнала и DSBSC сигнала? **Совет:** Если вы затрудняетесь с ответом, еще раз прочитайте раздел предварительного обсуждения.

Чередующиеся полупериоды BPSK сигнала совпадают по форме с исходным цифровым сигналом сообщения.

По осциллограмме можно заметить, что что-то происходит с BPSK сигналом при изменении логического уровня цифрового сигнала, однако, для более точного наблюдения требуется более высокое разрешение. Получить более качественное изображение помогут следующие действия.

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

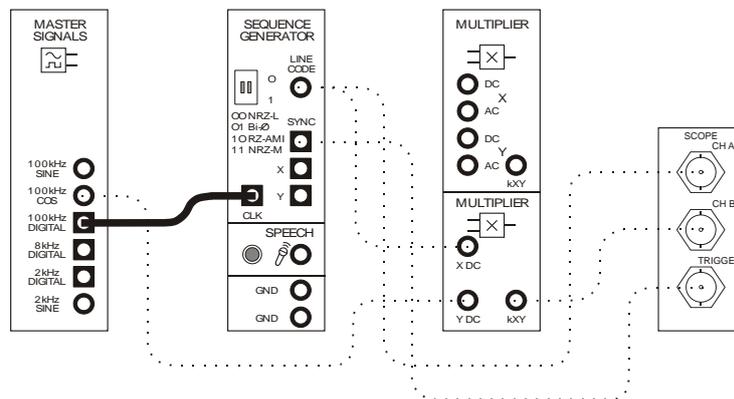


Рисунок 4

17. Установите масштаб по оси времени осциллографа *10 мкс/дел.*

Примечание: Поскольку частота дискретизации модуля сбора данных близка к предельно возможной, сигнал на выходе *100kHz COS* генератора опорных сигналов немного напоминает треугольный. Однако, этого вполне достаточно, чтобы разглядеть, что происходит, когда изменяется уровень цифрового сигнала генератора последовательностей.

Вопрос 2

Что происходит с BPSK сигналом, когда изменяется уровень цифрового сигнала?

Фаза BPSK сигнала изменяется на противоположную.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – 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 разделе эксперимента нужно выполнить демодуляцию с помощью детектора произведения.

18. Подключите вход генератора последовательностей *CLK* к выходу *8kHz Digital* генератора опорных сигналов (*MASTER SIGNALS*).
19. Установите масштаб по оси времени *200 мкс/дел*.
20. Найдите модуль *TUNEABLE LOW-PASS FILTER* (Перестраиваемый ФНЧ) на программной панели управления *DATeX* и поверните виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* по часовой стрелке до упора.
21. Установите коэффициент усиления *GAIN* перестраиваемого ФНЧ в среднее положение.
22. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 5.

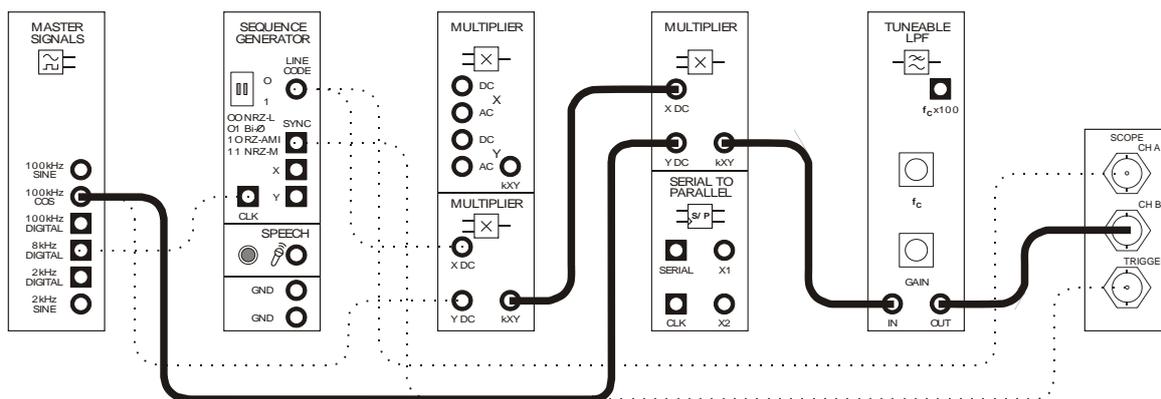


Рисунок 5

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.

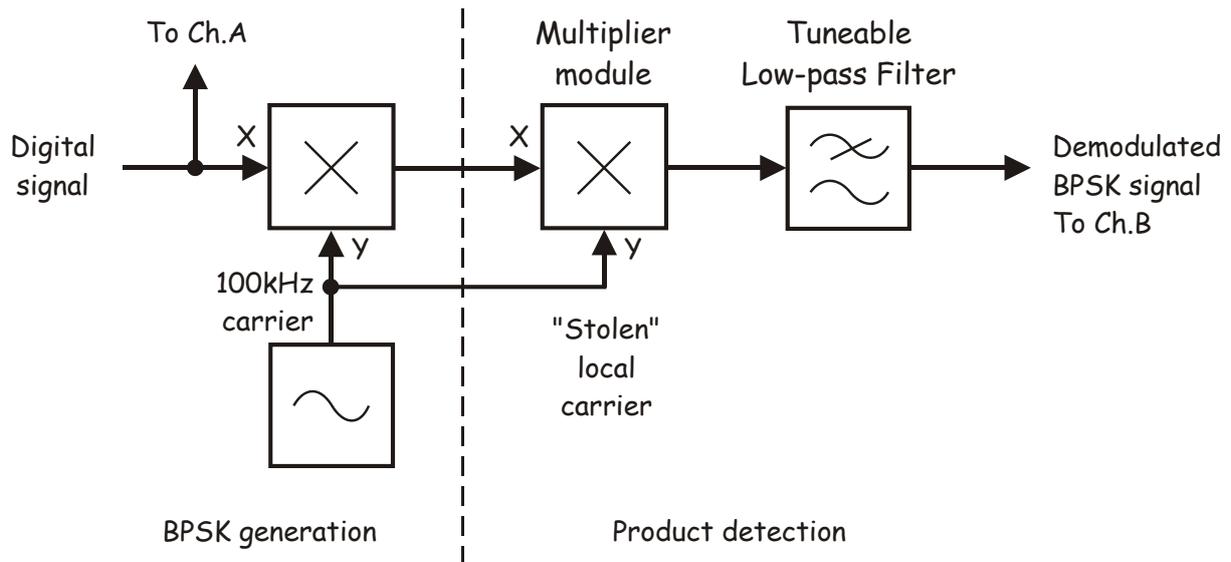


Рисунок 6

BPSK generation - генерация BPSK сигнала:

Digital signal - цифровой сигнал, To Ch.A - к каналу А, 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.B - демодулированный BPSK сигнал - к каналу В

23. Сравните исходный и восстановленный цифровые сигналы.

Вопрос 3

Почему восстановленный сигнал не точно совпадает с исходным сигналом?

В состав детектора произведения входит ФНЧ, который подавляет часть гармоник восстанавливаемого цифрового сигнала.

Вопрос 4

Какое устройство требуется для очистки от искажений цифрового сигнала?

Компаратор.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Очистка от искажений восстановленных данных с помощью компаратора
 Эффективность использования компаратора для очистки цифровых сигналов от искажений была показана в эксперименте 16. Здесь вам предстоит выполнить эксперимент по очистке от искажений демодулированного BPSK сигнала.

24. Переведите переключатель режимов *Control Mode* источника положительного напряжения регулируемых блоков питания в положение, противоположное положению *MANUAL* (ручной режим).
25. Загрузите программу *Variable Power Supplies* (Регулируемые блоки питания)
26. Нажатием на кнопку *RESET* установите напряжение на выходе источника положительного напряжения регулируемых блоков питания равным 0 В.
27. Модифицируйте схему, как показано на рисунке 7.

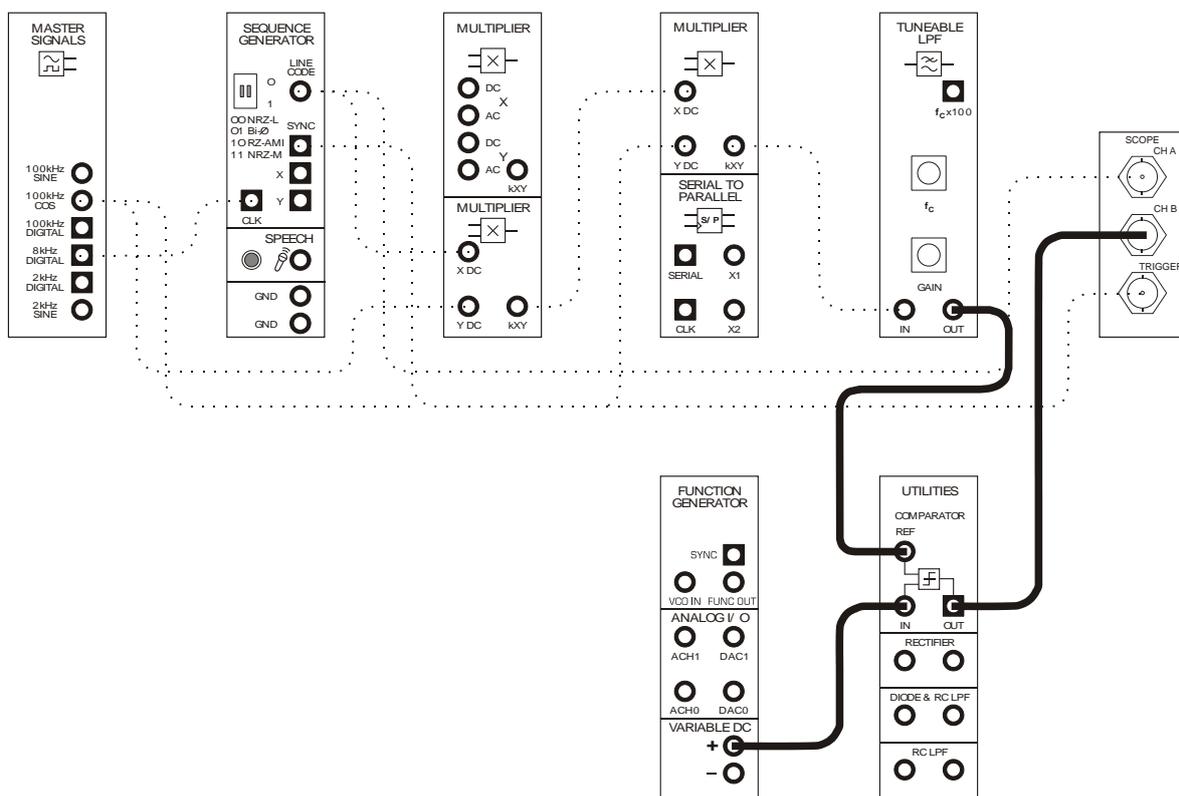


Рисунок 7

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

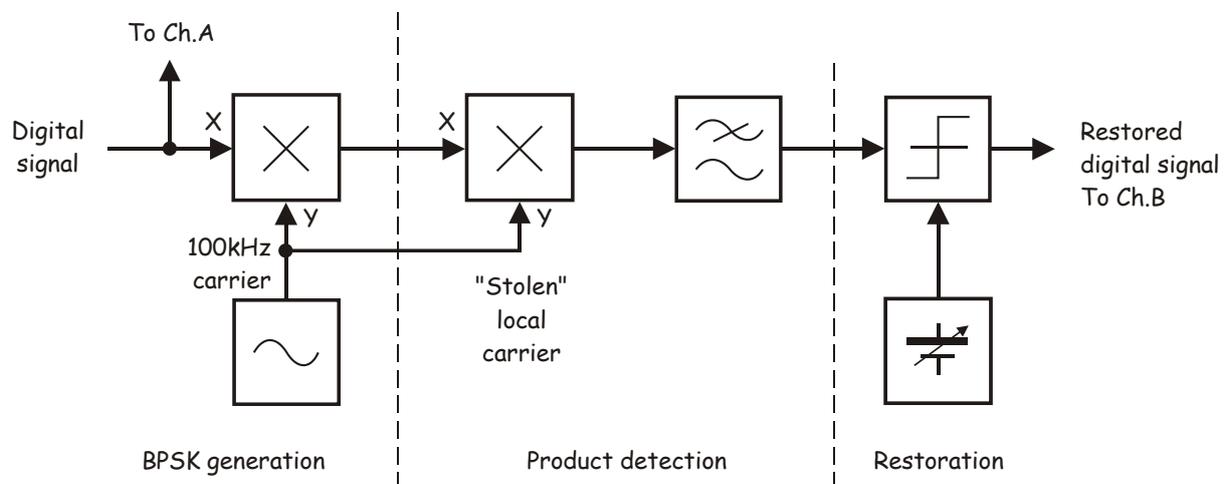


Рисунок 8

BPSK generation - генерация ВPSK сигнала:

Digital signal - цифровой сигнал, To Ch.A - к каналу А, 100kHz carrier - несущая 100 кГц

Product detection - детектор произведения:

"Stolen" local carrier - заимствованная локальная несущая

Restoration - восстановление:

Restored digital signal To Ch.B - восстановленный цифровой сигнал - к каналу В

28. Сравните наблюдаемые сигналы. Если они не совпадают, с помощью виртуального регулятора *Voltage* подстройте уровень на выходе источника положительного напряжения регулируемых блоков питания.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Помехи

Как правило, системы радиосвязи, радиовещания и телевидения находятся под влиянием "вредных" электромагнитных излучений, называемых *помехами (noise)*. 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, из-за абонентов, которые в данный момент используют 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. При очень больших искажениях, когда уровень шума слишком большой по отношению к уровню полезного сигнала (малое отношение сигнал/шум), демодуляция становится невозможной.

В системе Emona DATeX имеется возможность смоделировать влияние помехи на канал связи. Вы это можете сделать по разрешению преподавателя.

1. Соберите схему согласно рисунку 1, **не изменяя** уже сделанных соединений.

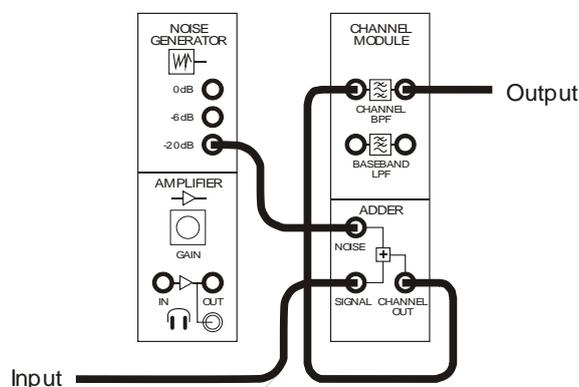


Рисунок 1

Собранную схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 2. Здесь моделируется работа настоящего канала связи, где помеха накладывается, например, на ASK сигнал.

Наиболее целесообразно выбирать следующие значения уровня шума относительно уровня полезного сигнала: -20 дБ (отношение сигнал/шум равно 10), -6 дБ (отношение сигнал/шум равно 2), 0 дБ (отношение сигнал/шум равно 1).

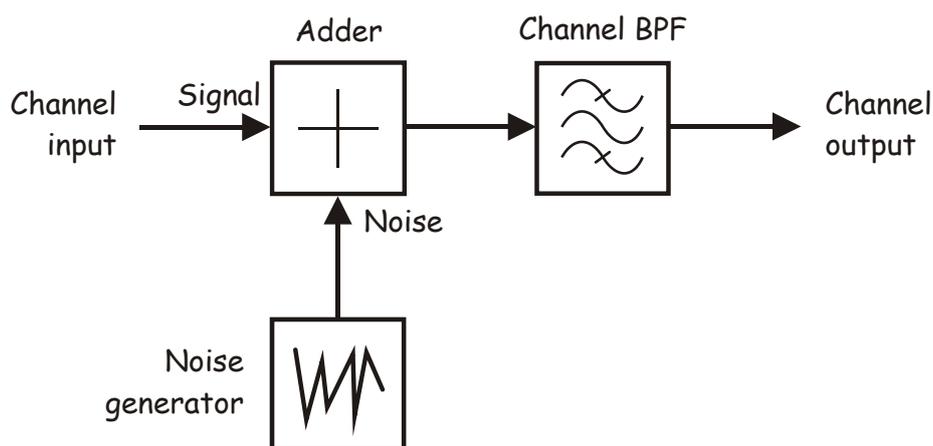


Рисунок 2

Channel input - вход канала, Signal - сигнал, Adder - сумматор, Noise generator - генератор шума, Noise - помеха (шум), Channel BPF - полосовой фильтр (канал связи), Channel output - выход канала

2. Отключите проводник от выхода умножителя (MULTIPLIER) в верхней части панели DATEx и соедините выход умножителя со входом канала с помехой.
3. Соедините выход канала со входом умножителя в нижней части панели DATEx.
Примечание: В данной схеме сигнал передатчика (выход верхнего модуля умножителя) проходит через канал с помехой на вход приемника (вход нижнего умножителя).
4. Сравните исходные и восстановленные данные. Если они не совпадают, виртуальным регулятором *Voltage* подстройте уровень на выходе источника положительного напряжения регулируемых блоков питания.
5. Для наблюдения зашумленного BPSK сигнала отсоедините вход В осциллографа от выхода компаратора и присоедините его к выходу сумматора (ADDER).
6. Чтобы увеличить уровень шума в канале, присоедините к соответствующему входу сумматора выход -6 дБ генератора шума (NOISE GENERATOR).
7. Посмотрите, как изменился BPSK сигнал.
8. Снова присоедините вход В осциллографа к выходу компаратора.
9. Сравните исходные и восстановленные данные. Если они не совпадают, выполните действия по п. 4.
10. Повторите выполненные действия для помехи, получаемой с выхода 0 дБ генератора шума.

Примечание: Восстановление данных может оказаться невозможным.

ф.И.О.: _____

Группа: _____

20 - Квадратурная фазовая манипуляция

Эксперимент 20 – Квадратурная фазовая манипуляция

Предварительное обсуждение

Как следует из названия, *quadrature phase shift keying* (QPSK) – *квадратурная фазовая манипуляция* является модификацией *двоичной фазовой манипуляции* – *binary phase shift keying* (BPSK). Вспомните, что метод BPSK на самом деле представляет собой DSBSC модуляцию с цифровым сообщением в качестве модулирующего сигнала. Важно отметить, что при BPSK модуляции информация передается последовательно бит за битом. QPSK также является разновидностью DSBSC модуляции, однако здесь передаются по два бита в течение каждого интервала времени, не используя другую несущую частоту.

В связи с тем, что при QPSK биты передаются парами, может возникнуть иллюзия, что скорость передачи в два раза выше, чем при BPSK. На самом деле, преобразование последовательности одиночных бит в последовательность сдвоенных бит обязательно снижает скорость передачи в два раза, что не позволяет получить выигрыш в скорости.

Тогда зачем этот метод модуляции нужен? Снижение в два раза скорости передачи сигналов методом QPSK позволяет занимать в два раз меньший участок радиочастотного спектра, чем BPSK сигнал. Это дает возможность увеличить количество абонентов в канале связи.

На рисунке 1 приведена блок-схема реализации математической модели QPSK модулятора.

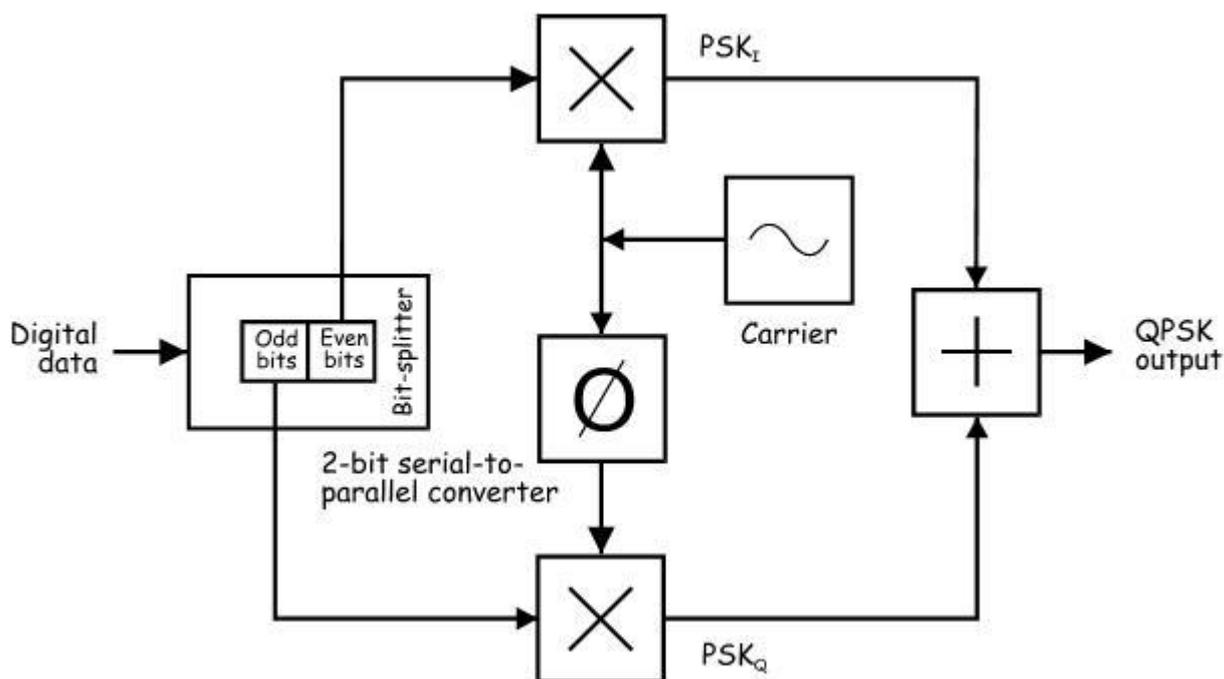


Рисунок 1

Digital data – цифровые данные, Odd bits – нечетные биты, Even bits – четные биты,
2-bit serial-to-parallel converter – 2-битный преобразователь последовательного кода в параллельный,
PSK (phase shift keying) – фазовая манипуляция, Carrier – несущая, QPSK output – выход QPSK сигнала

На входе модулятора четные биты (с номерами 0, 2, 4 и т.д.) выделяются с помощью "расщепителя бит" из потока данных и перемножаются с несущей, формируя BPSK сигнал, обозначенный как PSK_I . В то же время, нечетные биты (с номерами 1, 3, 5 и т.д.) также выделяются из потока данных и перемножаются с той же несущей, сдвинутой на 90° , формируя второй BPSK сигнал, обозначенный PSK_Q . В этом и заключается принцип работы QPSK модулятора.

Перед передачей QPSK сигнала два BPSK сигнала просто складываются и, поскольку они имеют одну и ту же несущую частоту, эти сигналы занимают один и тот же участок спектра. Однако, для того чтобы разделить сигналы, несущие которых сдвинуты на 90° , требуется приемник с фазовым дискриминатором, о котором шла речь в лабораторной работе 8.

На рисунке 2 приведена блок-схема реализации математической модели QPSK демодулятора.

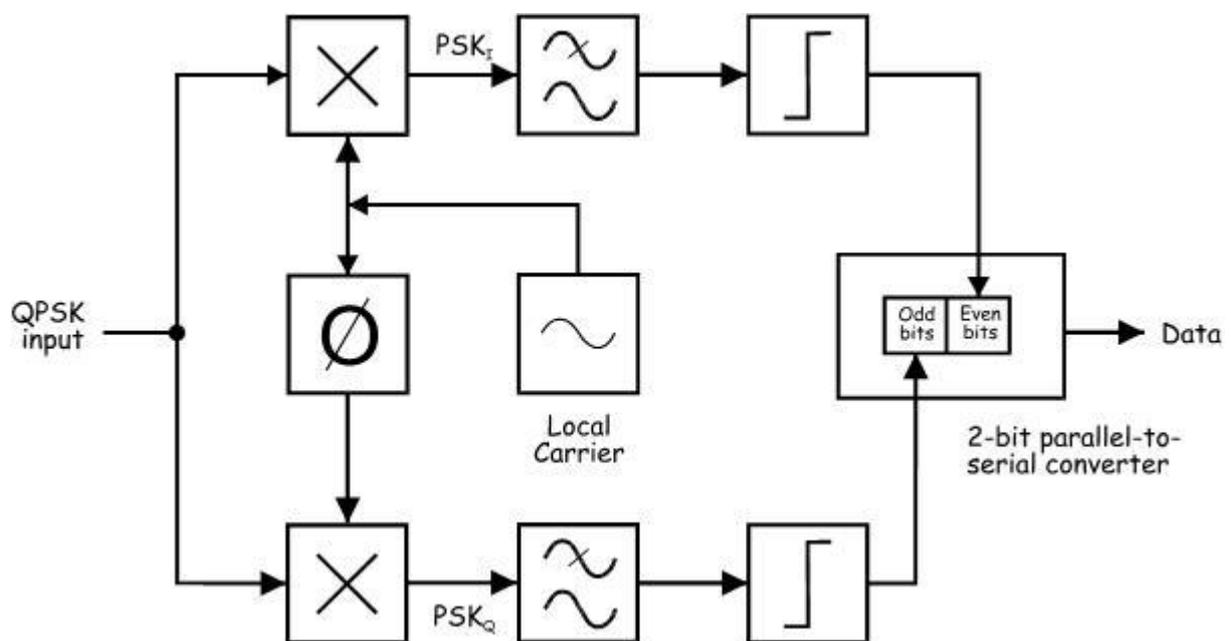


Рисунок 2

QPSK input - вход QPSK сигнала, PSK (phase shift keying) - фазовая манипуляция,
 Local Carrier - локальная несущая, Odd bits - нечетные биты, Even bits - четные биты,
 2-bit parallel-to-serial converter - 2-битный параллельно-последовательный преобразователь,
 Data - данные

В приведенной схеме демодуляцию двух BPSK сигналов независимо и одновременно осуществляют два детектора на основе умножителей. На выходах детекторов появляются пары битов исходных данных, которые с помощью компаратора очищаются от искажений, и собираются в исходную последовательность с помощью 2-разрядного параллельно-последовательного преобразователя.

Чтобы понять, каким образом каждый детектор выделяет только один BPSK сигнал, а не оба вместе, вспомните, что детектирование DSBSC сигналов обладает "чувствительностью" к фазовому сдвигу. Таким образом, прием сообщения будет оптимальным, только в том случае, если несущие колебания передатчика и приемника будут точно совпадать по фазе. Важно отметить, что при фазовом рассогласовании 90° прием сообщения становится невозможным, т.к. амплитуда восстановленного сигнала становится равной нулю. Другими словами, сообщение полностью подавляется (этот вопрос рассматривался в части E эксперимента 9)

QPSK демодулятор данное обстоятельство превращает в преимущество. Обратите внимание, что детекторы произведения на рисунке 2 используют одну несущую, но для одного из детекторов несущая сдвинута на 90° . В этом случае один детектор восстанавливает данные из одного BPSK сигнала, одновременно подавляя другой BPSK сигнал, а второй детектор восстанавливает второй BPSK сигнал, подавляя первый BPSK сигнал.

Эксперимент

В этом эксперименте вам предстоит, реализуя математическую модель QPSK сигнала, сгенерировать его и пронаблюдать на экране осциллографа. Затем нужно будет исследовать, как разделяются фазы с помощью фазового дискриминатора, выполненного на основе детектора произведения, и как один BPSK сигнал отделяется от другого.

Время выполнения работы - около 1 часа.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DАТЕх для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъёмами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (*' - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация QPSK сигнала

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATEx в положение *PC CONTROL*' (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATEx и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATEx.

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

11. Соберите схему, изображенную на рисунке 3.

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

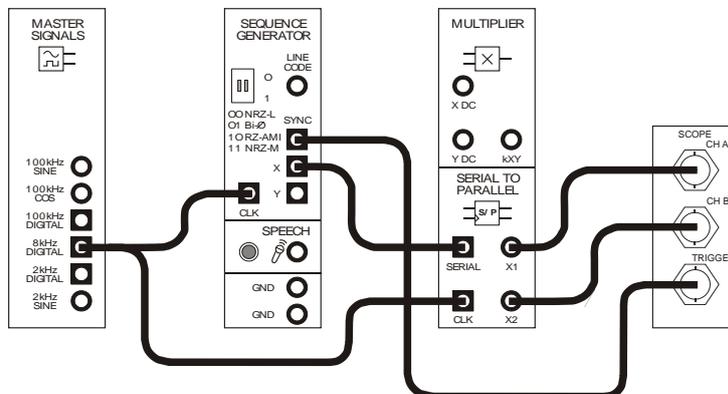


Рисунок 3

Схема на рисунке 3 может быть представлена блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Для моделирования цифровых данных используется генератор последовательностей (SEQUENCE GENERATOR). 2-разрядный последовательно-параллельный преобразователь (SERIAL-TO-PARALLEL CONVERTER) расщепляет исходный поток данных на поток четных битов и поток нечетных битов.

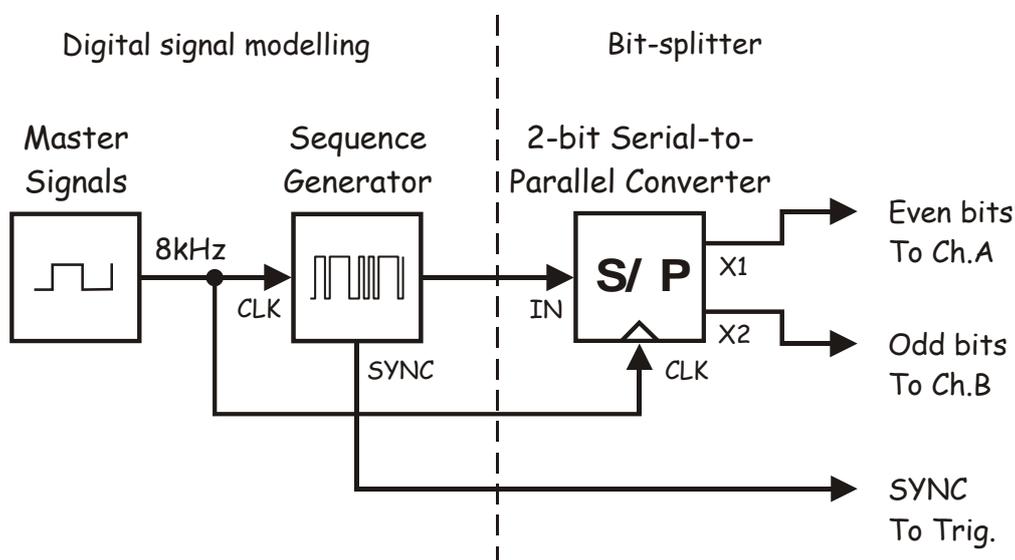


Рисунок 4

Digital signal modelling - моделирование цифрового сигнала:

Master Signals - генератор опорных сигналов, 8 kHz - тактовые импульсы 8 кГц, CLK - вход тактовых импульсов, Sequence Generator - генератор последовательности, SYNC - выход синхросигнала

Bit-splitter - расщепитель битов:

2-bit serial-to-parallel converter - 2-битный последовательно-параллельный преобразователь, In - вход, Even bits To Ch.A - четные биты на канал A, Odd bits To Ch.B - нечетные биты на канал B, SYNC To Trig. - синхросигнал на вход запуска

12. Установите те же настройки осциллографа, что и в эксперименте 1, со следующими изменениями:
 - *Trigger Source (Источник сигнала запуска) - TRIGGER (Внешний)* вместо CH A
13. Включите канал В осциллографа для одновременного наблюдения сигналов на обоих выходах последовательно-параллельного преобразователя.
14. Сравните цифровые сигналы. Вы должны увидеть, что сигналы отличаются друг от друга.

Вопрос 1

Каково соотношение между скоростью следования бит на выходах последовательно-параллельного преобразователя и на его входе?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, почитайте раздел предварительного обсуждения темы.

Скорость передачи данных на выходах в два раза ниже, чем на входе.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

15. Внесите изменения в собранную схему, как показано на рисунке 5.

Напоминание: Пунктирными линиями обозначены уже выполненные соединения.

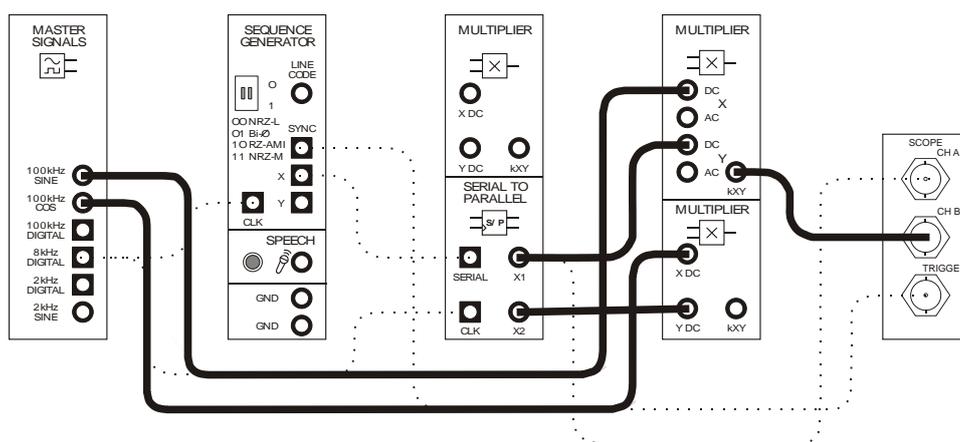


Рисунок 5

Все узлы схемы, приведенной на рисунке 5, кроме блоков моделирования цифровых данных, могут быть представлены блок-схемой, показанной на рисунке 6. Обратите внимание, что оба выхода расщепителя бит подключены к разным умножителям. На вторые входы умножителей поданы синусоидальные сигналы частотой 100 кГц, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90° , это необходимо для получения QPSK сигнала.

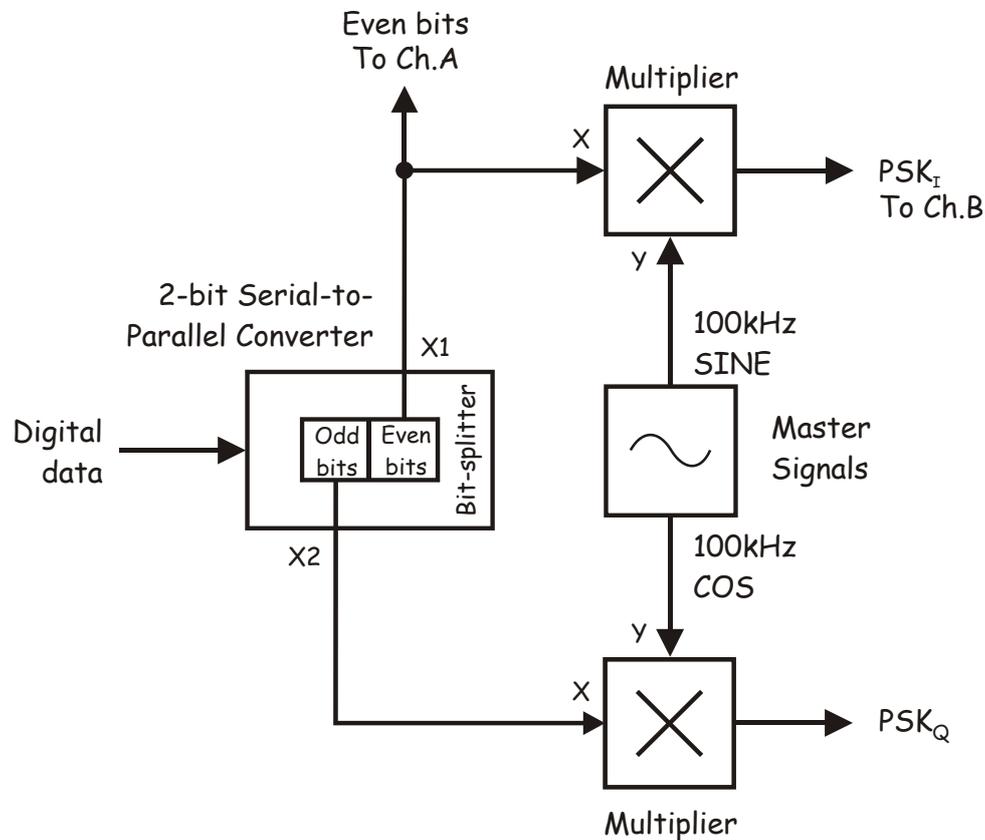


Рисунок 6

Digital data - цифровые данные,
 2-bit serial-to-parallel converter - 2-битный последовательно-параллельный преобразователь,
 Odd bits - нечетные биты, Even bits - четные биты, Even bits To Ch.A - четные биты на канал A,
 Multiplier - умножитель, 100 kHz SINE и 100 kHz COSINE - синусоида и косинусоида 100 кГц,
 Master Signals - генератор опорных сигналов, PSK (phase shift keying) - фазовая манипуляция,
 PSK_I To Ch.B - сигнал PSK_I на канал B,

16. Установите масштаб по оси времени *200 мкс/дел.*
17. Сопоставьте четные биты с выходным сигналом первого умножителя PSK_I.

Совет: Возможно, вам будет проще это сделать, если установите масштаб по напряжению канала B - *2 В/дел.*
18. Установите переключатель источника сигнала запуска осциллографа (*Trigger Source*) в положение *CH A (канал A)*.
19. Установите масштаб по оси времени - *50 мкс/дел.*
20. Исследуйте поведение несущей, обратите внимание, что происходит при изменении логического уровня сигнала в цифровом потоке данных.

Вопрос 2

На каком основании можно предположить, что на выходе умножителя - BPSK сигнал?

При изменении логического уровня цифрового сигнала фаза сигнала на выходе умножителя изменяется на противоположную.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

21. Снова установите масштаб по оси времени *500 мкс/дел.*, а переключатель источников сигнала запуска осциллографа *Trigger Source* в положение *Trigger (Внешний)*.
22. Подключите осциллограф так, как показано на рисунке 7.

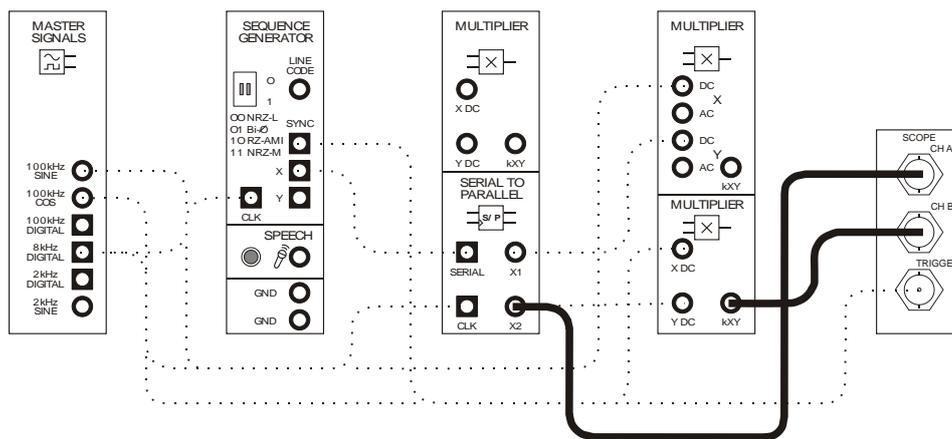


Рисунок 7

Изменение подключения осциллографа учтено в блок-схеме, приведенной на рисунке 8.

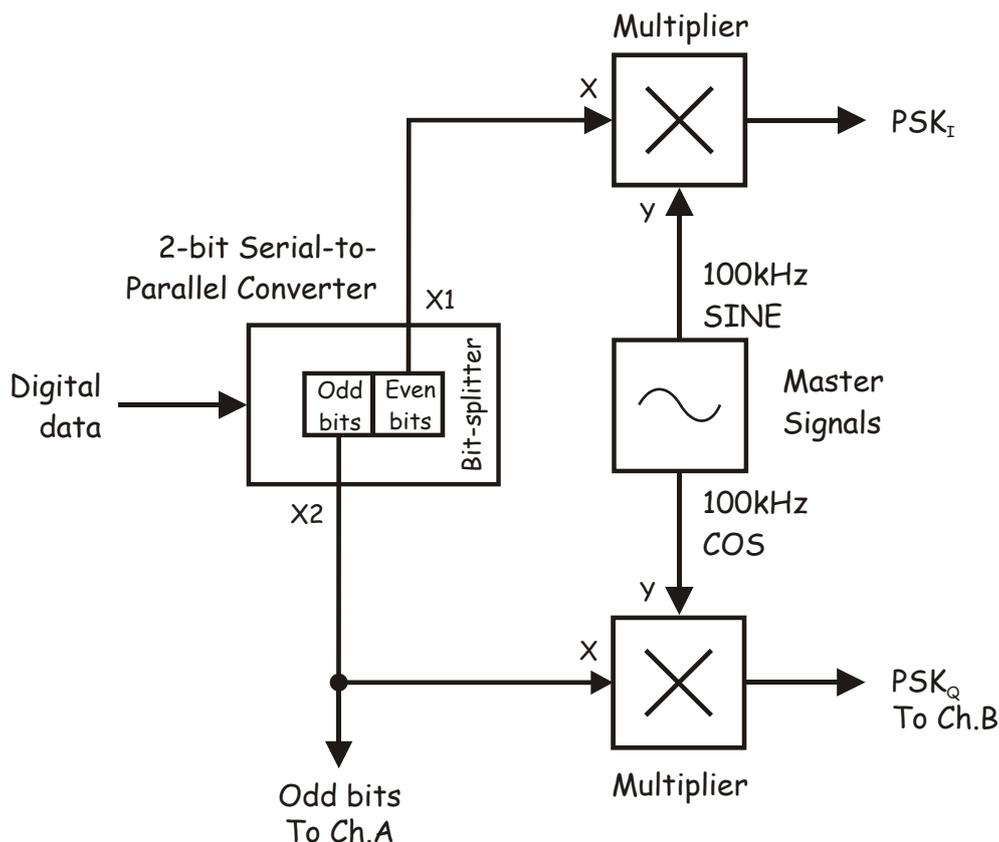


Рисунок 8

Digital data - цифровые данные,
 2-bit serial-to-parallel converter - 2-битный последовательно-параллельный преобразователь,
 Odd bits - нечетные биты, Even bits - четные биты, Odd bits To Ch.A - нечетные биты на канал А,
 Multiplier - умножитель, 100 kHz SINE и 100 kHz COSINE - синусоида и косинусоида 100 кГц,
 Master Signals - генератор опорных сигналов, PSK (phase shift keying) - фазовая манипуляция,
 PSK_Q To Ch.B - сигнал PSK_Q на канал В,

23. Установите масштаб по оси времени *200 мкс/дел.*
24. Сравните нечетные биты в потоке данных с сигналом на выходе второго умножителя PSK_I.
25. Установите переключатель источника сигнала запуска осциллографа (*Trigger Source*) в положение *CH A (канал А)*.
26. Установите масштаб по оси времени *50 мкс/дел.*
27. Исследуя поведение несущей, обратите внимание, что происходит при изменении логического уровня сигнала в цифровом потоке данных.

Вопрос 3

Какого типа сигнал формируется на выходе умножителя?

BPSK.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

28. Снова установите масштаб по оси времени 500 мкс/дел. , а переключатель источников сигнала запуска осциллографа "Trigger Source" в положение "Trigger" (Внешний).
29. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 9.

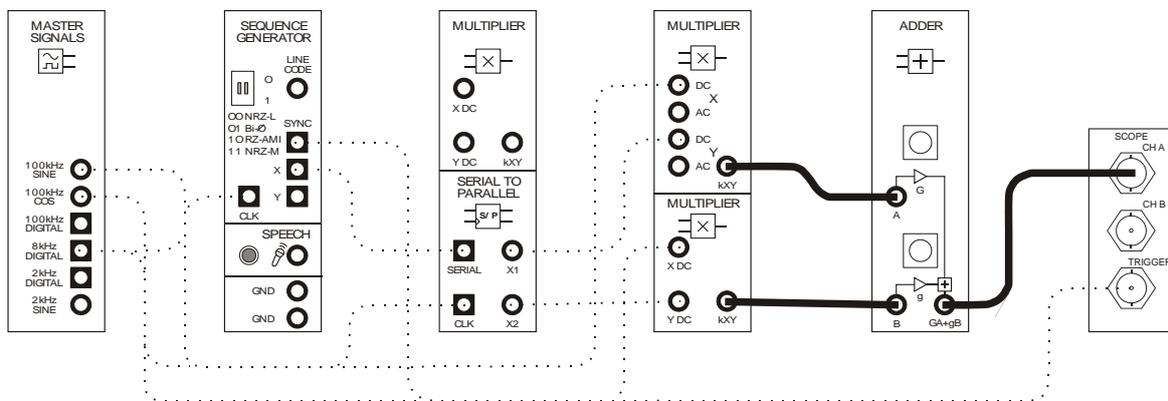


Рисунок 9

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 10. Сложение сигналов PSK_I и PSK_Q осуществляет модуль ADDER (Сумматор), и, тем самым, превращает схему в полноценный QPSK модулятор.

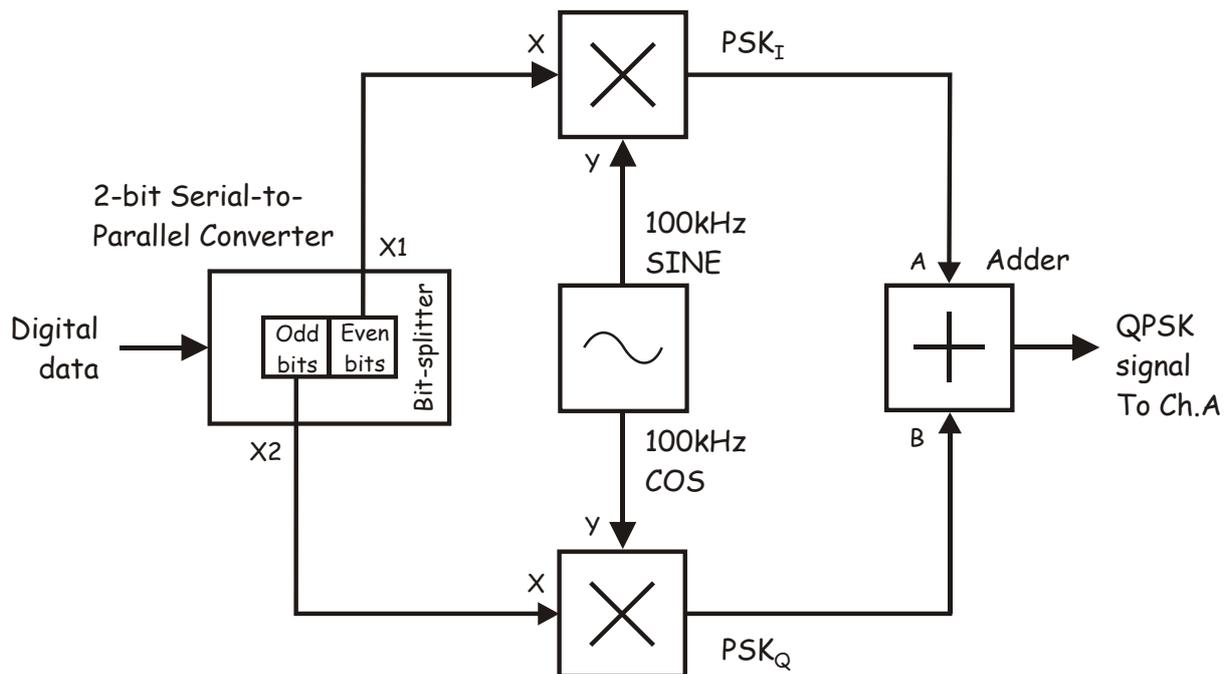


Рисунок 10

Digital data - цифровые данные, Odd bits - нечетные биты, Even bits - четные биты,
 2-bit serial-to-parallel converter - 2-битный последовательно-параллельный преобразователь,
 PSK (phase shift keying) - фазовая манипуляция,
 100 kHz SINE и 100 kHz COSINE - синусоида и косинусоида 100 кГц, Adder - сумматор,
 QPSK signal To Ch. A - QPSK сигнал к каналу A

30. Отсоедините проводник от входа *A* сумматора.

Примечание: при этом из выходного сигнала сумматора убирается составляющая $BPSK_I$.

31. Найдите модуль ADDER (Сумматор) на программной панели управления DATEx и с помощью виртуального регулятора *g* подберите такой коэффициент усиления, чтобы на выходе установился сигнал с размахом 4 В.

32. Верните обратно проводник на вход *A* сумматора.

33. Теперь отсоедините проводник от входа *B* сумматора.

Примечание: из выходного сигнала сумматора убирается составляющая $BPSK_Q$.

34. С помощью виртуального регулятора *G* подберите такой коэффициент усиления, чтобы на выходе установился сигнал с размахом 4 В.

35. Верните обратно проводник на вход *B* сумматора.

Вопрос 4

Какой метод модуляции реализован в сигнале, формируемом на выходе сумматора?

QPSK.

QPSK и OQPSK: в чем различие?

Обычно QPSK сигнал генерируется из одного потока данных, который разделяется на два потока. В данном эксперименте параллельные потоки данных на выходе последовательно-параллельного преобразователя формируются из битов, отстоящих друг от друга на период тактовых импульсов. Следовательно, на самом деле мы исследовали разновидность QPSK модуляции - *Offset QPSK (OQPSK)* - *квадратурную фазовую манипуляцию со сдвигом*.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Анализ спектра QPSK сигнала

Одним из преимуществ QPSK модуляции по сравнению с BPSK является более высокая скорость передачи данных при той же занимаемой полосе частот. Далее вы сможете в этом убедиться с помощью анализатора спектра (NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer).

36. Отсоедините проводник от входа *A* сумматора.

Примечание: Вы убираете составляющую BPSK_I из сигнала на выходе сумматора, превращая его в простой BPSK сигнал.

37. Остановите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN* в левом нижнем углу окна виртуального прибора.

Примечание: Изображение на экране зафиксировано.

38. Запустите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (Анализатор спектра).

39. Установите следующие настройки анализатора спектра:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) - в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входа)

- *Source Channel* (Канал источника сигнала) - в положение *Scope CHB* (Канал В Осциллографа)

- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10 V$)

FFT Settings (Настройки БПФ)

- *Frequency Span* (Диапазон частот) - 200,000
- *Resolution* (Разрешение) - 400
- *Window* (Окно) - 7 Term B-Harris (Блэкмана -Харриса 7-го порядка)

Averaging (Усреднение)

- *Mode* (Режим) - *RMS* (среднеквадратическое значение)
- *Weighting* (Взвешивание) - *Exponential* (Экспоненциальное)
- *# of Averages* (выборок для усреднения) - 3

Triggering (Режим запуска)

- *Triggering* (Сигнал запуска) - *Scope Trigger* (От осциллографа)

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units* (Масштаб) - *dB* (Логарифмический - дБ)
- *RMS/Peak* (Среднеквадратический/Амплитудный спектр) - *RMS*
- *Scale* - *Auto* (Автомасштабирование)

- *Markers* (Маркеры) - *OFF* (Отключены)

40. Снова присоедините проводник к входу A сумматора, внимательно наблюдая, что происходит на экране анализатора спектра.

Примечание: Вы снова получили QPSK модулятор, и скорость передачи возросла в два раза.

Вопрос 5

Каким образом увеличение скорости передачи данных в два раза повлияло на полосу частот сигнала?

Никак не повлияло.

Вопрос 6

Повлияло ли добавление сигнала BPSK_I на сигнал на выходе сумматора? Если повлияло, то как?

Повлияло. Увеличилась плотность мощности боковых полос.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Извлечение одного из BPSK сигналов из QPSK сигнала методом фазовой дискриминации

К сожалению, с помощью тренажера Emona DATeX реализовать и QPSK модулятор и полный демодулятор не представляется возможным. Однако, можно продемонстрировать, как методом фазовой дискриминации, используемой в QPSK модуляторе, извлечь один из BPSK сигналов из QPSK сигнала. В этой части эксперимента именно это и предлагается выполнить.

41. Закройте программу анализатора спектра (NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI).
42. Найдите модуль PHASE SHIFTER (Фазовращатель) на программной панели управления DATeX и установите виртуальный регулятор фазового сдвига (*PHASE Change*) в положение 0° . Установите регулятор *Frequency* частоты среза перестраиваемого ФНЧ в крайнее правое положение, а регулятор коэффициента усиления *GAIN* в среднее положение.
43. Внесите изменения в схему согласно рисунку 11.

Примечание: Чтобы не запутаться, рекомендуется пометать каждое соединение при его добавлении.

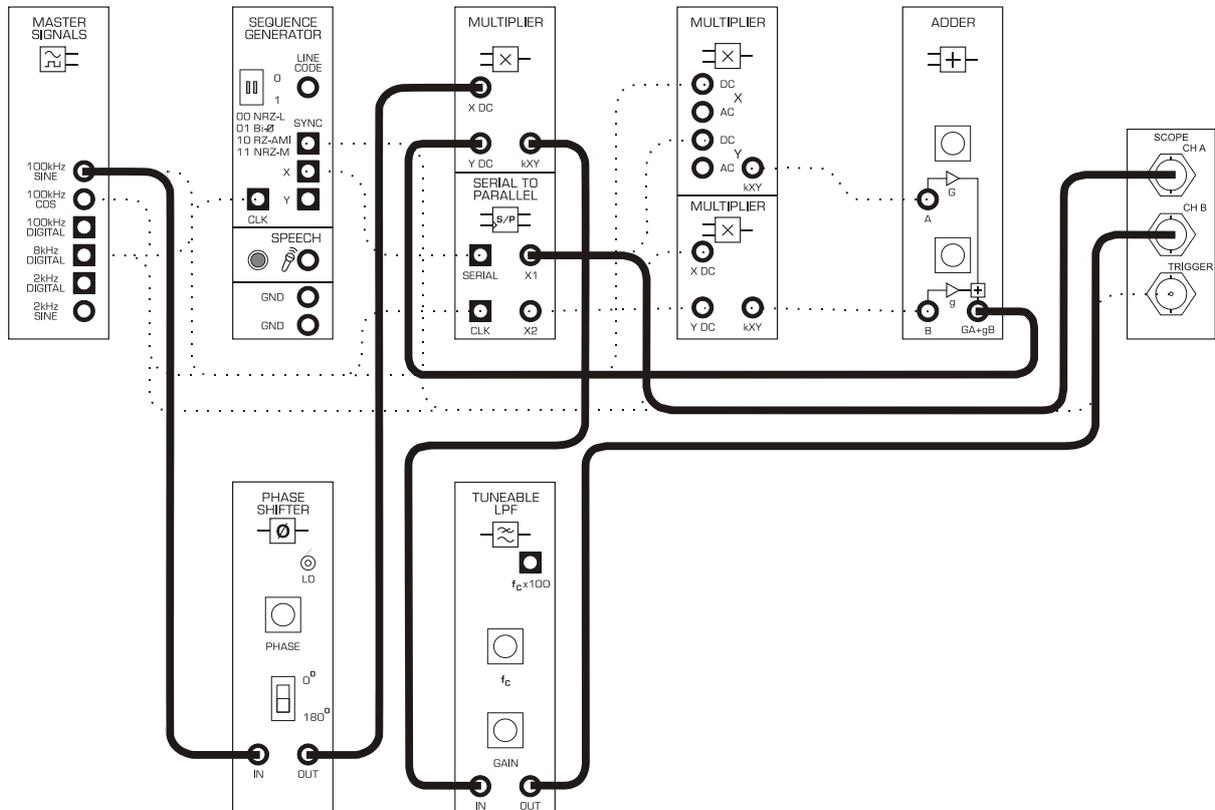


Рисунок 11

Дополнительные соединения могут быть представлены блок-схемой, приведенной на рисунке 12. Если вы сравните ее с блок-схемой, приведенной на рисунке 2 (предварительное обсуждение), то заметите, что здесь реализованы основные узлы одного из плеч QPSK демодулятора (I или Q).

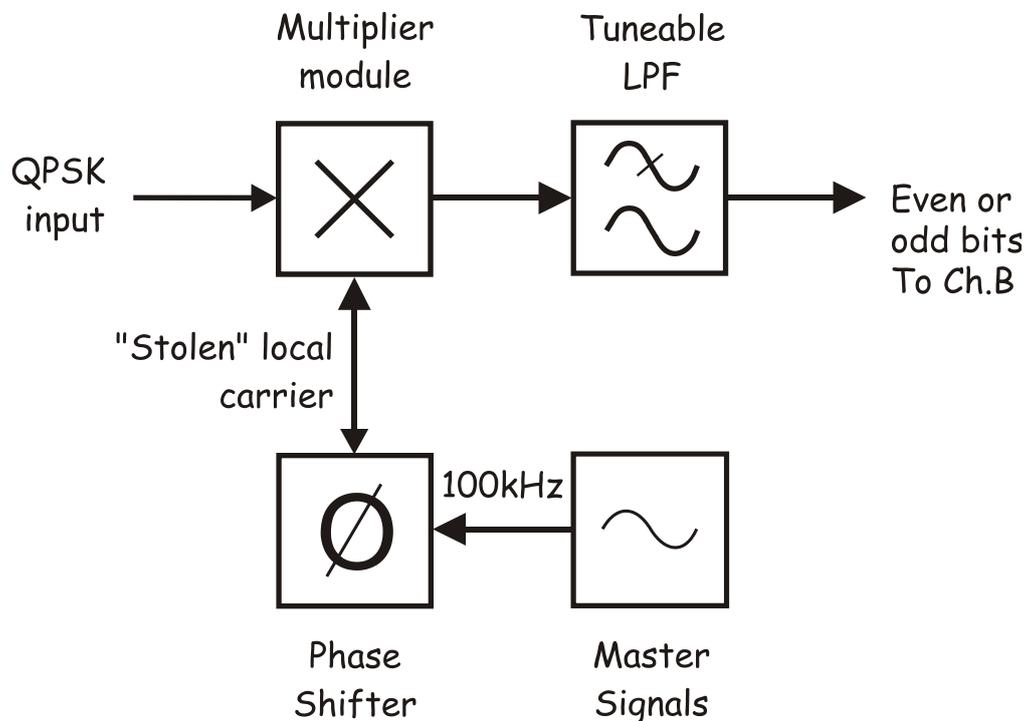


Рисунок 12

QPSK input - вход QPSK сигнала, Multiplier module - модуль умножителя,
 "Stolen" local carrier - "заимствованная" локальная несущая, Phase Shifter - фазовращатель,
 Tuneable LPF - настраиваемый ФНЧ, Master Signals - генератор опорных сигналов,
 Even or odd bits To Ch.B - четные или нечетные биты к каналу B

44. Снова запустите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN*.
45. Сравните четные биты на выходе *X1* последовательно-параллельного преобразователя с данными на выходе ФНЧ.
46. Вращая вправо-влево виртуальный регулятор подстройки фазового сдвига *Phase Adjust*, наблюдайте, что происходит с демодулированным сигналом.
47. Установите виртуальный регулятор *Phase Change* в положение 180° и повторите п. 46.

Вопрос 7

Что произойдет в результате регулировки фазы восстанавливаемого сигнала - он будет состоять из 3 или 4 логических уровней вместо ожидаемых 2?

Рассогласование по фазе приводит к появлению сигналов с промежуточными уровнями.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

48. Измените схему, как показано на рисунке 13.

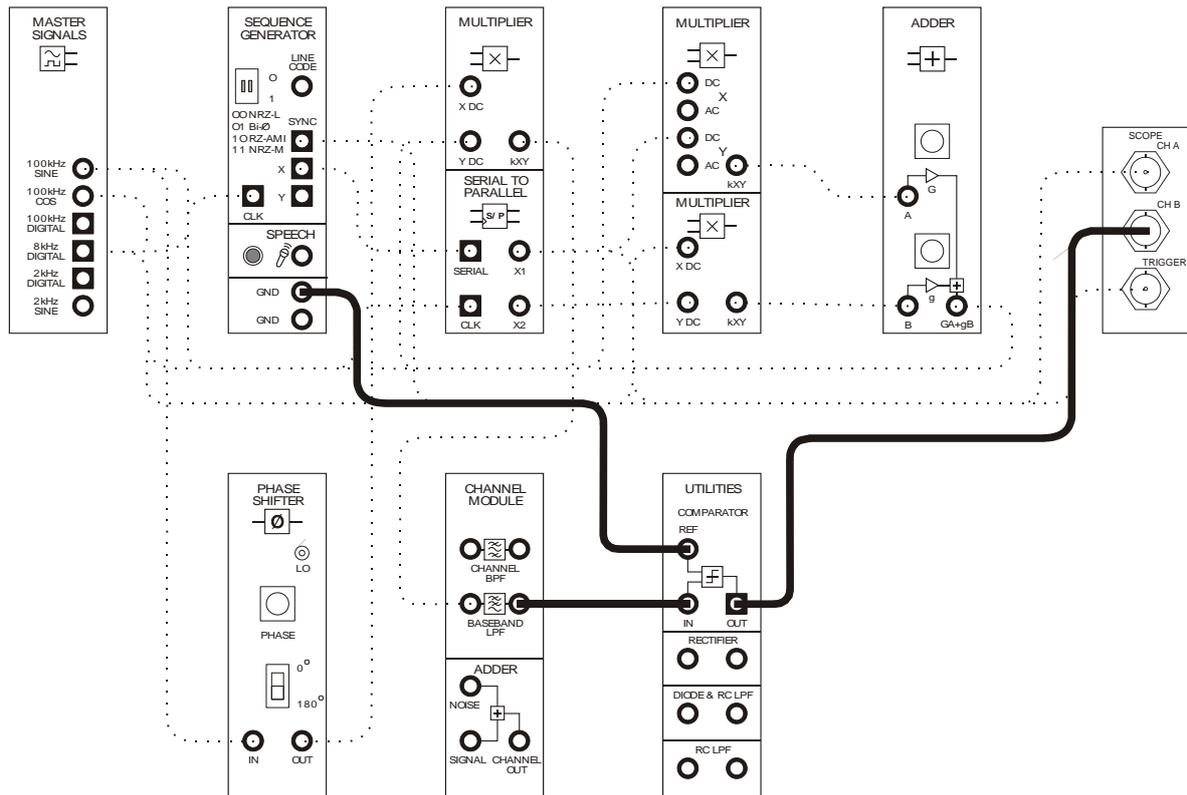


Рисунок 13

Дополнение компаратором из модуля вспомогательных блоков (UTILITIES) отражено в блок-схеме на рисунке 14. Если сравните эту блок-схему с той, что приведена на рисунке 2, то увидите, что внесенное изменение полностью реализует одно плечо QPSK демодулятора.

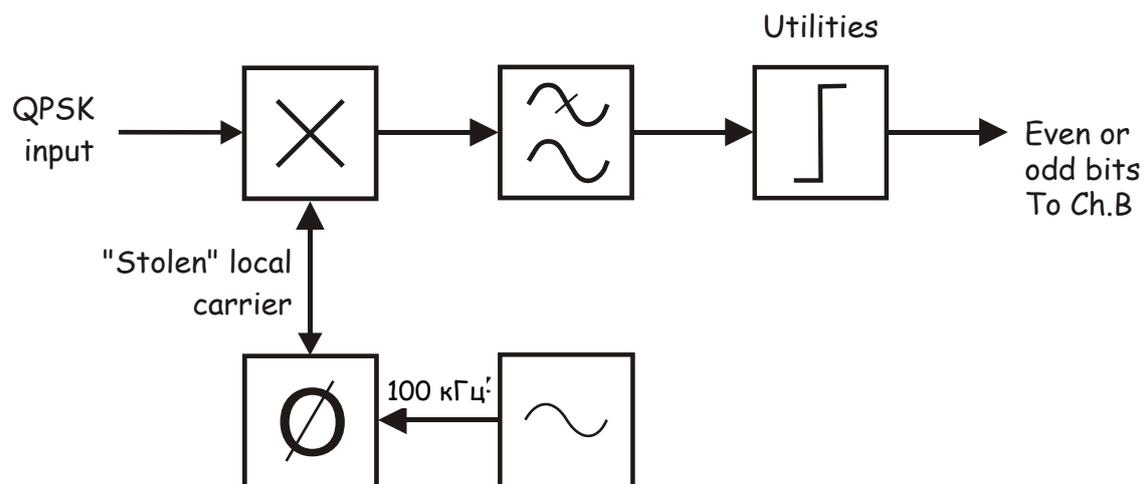


Рисунок 14

QPSK input – вход QPSK сигнала,
 "Stolen" local carrier – "заимствованная" локальная несущая, Utilities – модуль дополнительных узлов,
 Even or odd bits To Ch.B – четные или нечетные биты к каналу B

49. Снова установите фазовый сдвиг 0° в модуле Phase Shifter с помощью виртуального регулятора *Phase Change*.
50. Сравните четные биты на выходе *X1* последовательно-параллельного преобразователя и на выходе ФНЧ.
51. С помощью виртуального регулятора *Phase Adjust* подстраивайте фазовый сдвиг до тех пор, пока четные биты не будут восстановлены (фазовый сдвиг игнорируйте).

Вопрос 8

Чему равен фазовый сдвиг между локальной несущей и несущей, используемой для генерации сигналов PSK_I и PSK_Q ?

Составляющая PSK_I находится в фазе с локальной несущей, а PSK_Q – сдвинута на 90° .



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

52. Отключите вход канала A осциллографа от выхода X1 последовательно-параллельного преобразователя и подключите его к выходу X2 для наблюдения нечетных битов.
53. Сравните нечетные биты с восстановленными данными. Они должны отличаться.
54. Установите виртуальный регулятор *Phase Change* в положение 180° .
55. С помощью виртуального регулятора *Phase Adjust* подстраивайте фазовый сдвиг до тех пор, пока не будут восстановлены нечетные биты (фазовый сдвиг игнорируйте).

Вопрос 9

Чему теперь равен фазовый сдвиг между локальной несущей и несущей, используемой для генерации сигналов PSK_I и PSK_Q ??

Составляющая PSK_Q находится в фазе с локальной несущей, а PSK_I - сдвинута на 90° .

Вопрос 10

Почему рассматриваемый демодулятор является только половиной полноценного QPSK приемника?

Исходный поток данных разделяется и передается по два бита одновременно, а имеющийся приемник может восстановить только один из наборов бит.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

21 - DSSS модуляция и демодуляция

Эксперимент 21 – DSSS модуляция и демодуляция

Предварительное обсуждение

Вспомните – когда синусоидальная несущая модулируется методом DSBSC, происходит перемножение двух сигналов. Также следует обратить внимание на то, что результирующий DSBSC сигнал состоит из двух боковых полос, однако там отсутствует несущая (смотрите раздел предварительного обсуждения к эксперименту 6).

Если DSBSC сигнал демодулируется путем детектирования на основе перемножения, обе боковые полосы умножаются на несущую, которая должна быть синхронизирована с несущей передатчика, т.е. совпадать по частоте и по фазе. В результате этого порождаются два сообщения, которые совпадают по фазе и образуют одно сообщение большей амплитуды (смотрите предварительное обсуждение к эксперименту 9).

Direct sequence spread spectrum (DSSS) – расширение спектра методом прямой последовательности – разновидность DSBSC модуляции, где вместо простой синусоиды в качестве несущего колебания используется последовательность импульсов, называемая *псевдослучайной последовательностью (PN-последовательностью)*. Это может показаться странным, что теоретически последовательность импульсов состоит из основной гармоник и бесконечного количества высших гармоник. Таким образом, DSSS модуляция есть ничто иное, как DSBSC модуляция с бесконечным количеством синусоидальных несущих, а результатом модуляции является бесконечное количество пар слабых боковых полос вокруг подавленной несущей.

На практике не все боковые полосы обладают значимой энергией. Однако, фактически энергия информационного сообщения распределена между множеством полос, и умышленное расширение спектра затрудняет воздействие на них помех. Чтобы исказить сигнал, необходимо подавить значительное количество полос, что не представляется возможным, учитывая их количество.

Демодуляция DSSS сигналов, также как и DSBSC сигналов, осуществляется с помощью детектора произведения. Важно отметить, что несущая, подаваемая на детектор произведения, должна содержать все гармоники последовательности импульсов с передатчика, совпадающие по фазе и по частоте. Если это не будет выполнено, собрать исходное сообщение из множества слабых демодулированных сигналов не удастся, и восстановленный сигнал будет выглядеть, как помеха.

Таким образом, в приемнике должно генерироваться такое же количество гармоник тех же частот, что и в последовательности импульсов, генерируемой в передатчике. Более того, последовательности импульсов в передатчике и в приемнике должны быть синхронизованы. Отсюда следует еще одно достоинство рассматриваемого метода модуляции – передаваемый сигнал может быть эффективно зашифрован.

Конечно, зашифрованную PN последовательность можно разгадать методом проб и ошибок. Однако, данную ситуацию можно усложнить удлинением непериодической части последовательности. Чем длиннее последовательность, тем больше в ней можно зашифровать кодовых комбинаций, разгадка которых будет занимать все больше и больше времени. Например, кодовое слово длиной 8 бит состоит из 256 комбинаций, в то время как кодовое слово длиной 20 бит уже состоит из 1048575 комбинаций. Наконец, кодовое слово длиной 256 бит позволяет использовать 1.1579×10^{77} комбинаций!

Увеличение длины кодового слова дает еще одно преимущество. Известно, что полная энергия DSSS сигнала распределена между всеми полосами DSBSC сигнала. К сожалению, она распределена неравномерно, поскольку не все гармоники несущей последовательности импульсов имеют одинаковую амплитуду. Как показывает Фурье анализ, чем длиннее кодовое слово, тем больше гармоник требуется для его формирования.

В этом случае PN последовательность порождает большее количество DSBSC сигналов, полная энергия которых распределяется между ними более равномерно, т.е. этих сигналов очень много, в то время как их уровень очень маленький. Если кодовое слово становится слишком длинным, уровень всех этих DSBSC сигналов становится соизмеримым с помехами, которые всегда есть в свободном пространстве. Такой сигнал становится трудно обнаружить, что является его важным преимуществом.

DSSS модуляция нашла применение в следующих приложениях: мобильная связь в стандарте CDMA, беспроводная телефония, глобальная спутниковая навигация (GPS), связь в стандартах 802.11 wi-fi.

Эксперимент

В настоящем эксперименте вам предстоит использовать систему Emona DATEx для генерации DSSS сигнала на основе его математической модели. Затем вы восстановите сообщение с помощью детектора на основе перемножения, который использует несущую, заимствованную из схемы передатчика. Вы убедитесь в важности использования правильной PN последовательности для несущей в приемнике, а также в том, насколько трудно исказить DSSS сигнал.

Время выполнения работы - около 50 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

Часть А - Генерация DSSS сигнала для простого сообщения

DSSS сигнал может быть сгенерирован на основе математической модели DSBSC сигнала, поскольку DSSS ничем не отличается от DSBSC сигнала за исключением того, что в качестве несущей вместо синусоиды используется последовательность импульсов.

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATEx в положение *PC CONTROL*' (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную панель управления DATEx и убедитесь в том, что можете программно управлять системой DATEx.
11. Найдите модуль *SEQUENCE GENERATOR* (Генератор последовательностей) на программной панели управления DATEx и установите DIP-переключатели в положение "00".

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал А) и CH B (Канал В) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

12. Соберите схему согласно рисунку 1.

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

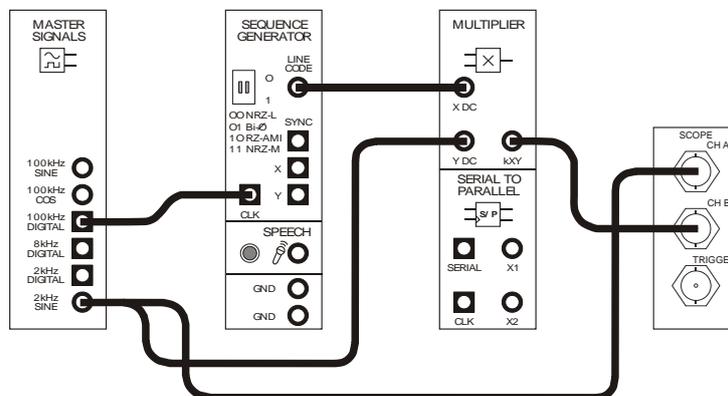


Рисунок 1

Собранную схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 2. Здесь гармонический сигнал сообщения частотой 2 кГц умножается на PN последовательность, которая моделируется 32-битовой последовательностью импульсов на выходе генератора последовательностей (SEQUENCE GENERATOR).

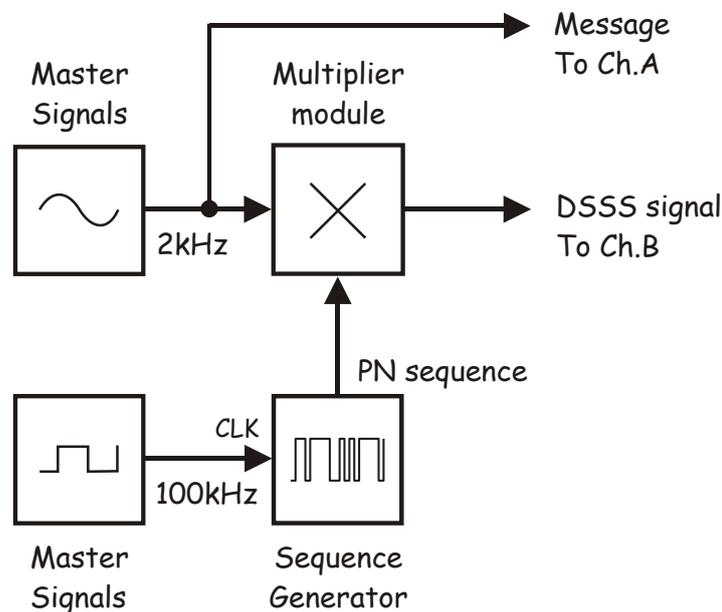
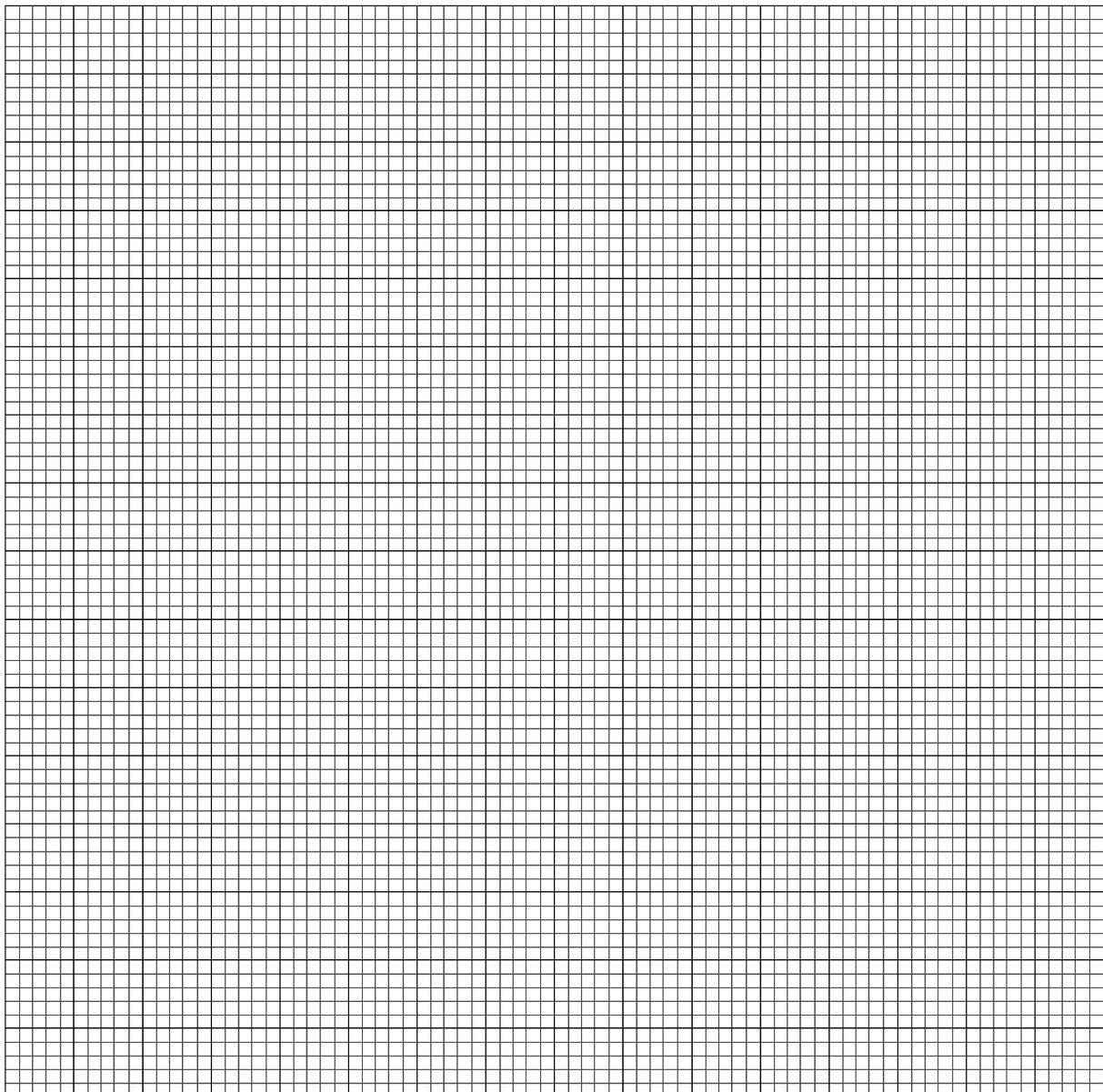


Рисунок 2

Master Signals - генератор опорных сигналов, Multiplier module - модуль умножителя,
 Sequence Generator - генератор последовательности, CLK - тактовые импульсы,
 PN sequence - псевдослучайная последовательность
 Message To Ch. A - сообщение к каналу A
 DSSS signal To Ch. B - DSSS сигнал к каналу B

13. Установите такие же настройки осциллографа как в эксперименте 1 с учетом следующих изменений:
- *Timebase (Масштаб по оси времени) 100 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.*
 - *Channel B Scale (Масштаб по напряжению - канал В) - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.*
14. Включите канал В, чтобы наблюдать DSSS сигнал на выходе умножителя одновременно с исходным сообщением.
15. Изобразите полученные два сигнала в одном масштабе на специально отведенном для этого поле графика, оставив место для третьего сигнала.

Совет: Сигнал исходного сообщения нарисуйте в верхней трети графика, а DSSS сигнал - в средней трети.



Вопрос 1

Чем сигнал на выходе умножителя напоминает DSBSC сигнал?

Совет: Если вы затрудняетесь ответить, почитайте раздел предварительного обсуждения к эксперименту 6.

Полупериоды огибающей сигнала, идущие через один, повторяют форму сообщения.

Вопрос 2

Почему уровень DSSS сигнала получился большим, в то время как мы ожидали увидеть маленьким, практически неотличимым от шума?

Совет: Если вы затрудняетесь с ответом, почитайте раздел предварительного обсуждения к настоящему эксперименту.

PN последовательность имеет слишком маленькую длину, что не дает возможности получить достаточное количество несущих, распределение энергии между которыми привело бы к снижению амплитуды каждой гармоники.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Анализ спектра DSSS сигнала

Одним из свойств DSSS сигнала является теоретически бесконечное количество пар слабых боковых полос вокруг подавленной несущей. Это свойство вы и будете исследовать в настоящем разделе.

16. Переведите переключатель режимов работы *Control Mode* функционального генератора в положение, противоположное положению *MANUAL* (Ручной).
17. Загрузите программу (VI) *Function Generator* (Функциональный генератор).
18. Включите функциональный генератор нажатием на кнопку *ON/OFF*.
19. Установите следующий режим работы функционального генератора с помощью виртуальных органов управления:
 - *Waveshape* (Форма сигнала): *Square* (Прямоугольные импульсы)
 - *Frequency* (Частота): 30 кГц
 - *Amplitude* (Пиковая амплитуда): 4 В р-р
 - *DC Offset* (Смещение уровня): 0 В
20. Отсоедините проводник от выхода *LINE CODE* генератора последовательностей и внесите изменения в схему, как показано на рисунке 3.

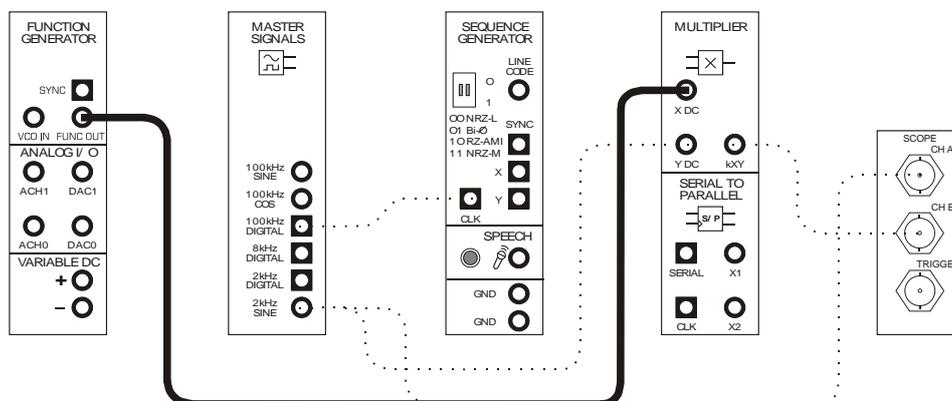


Рисунок 3

21. Исследуйте DSSS сигнал на экране осциллографа.

Примечание: Сигнал, наблюдаемый на экране, должен быть похож на DSSS сигнал, полученный ранее. Различие заключается в том, что интервалы между фронтами несущей одинаковы.

Схему на рисунке 3 можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Обратите внимание, что в качестве несущей используется меандр частотой 30 кГц.

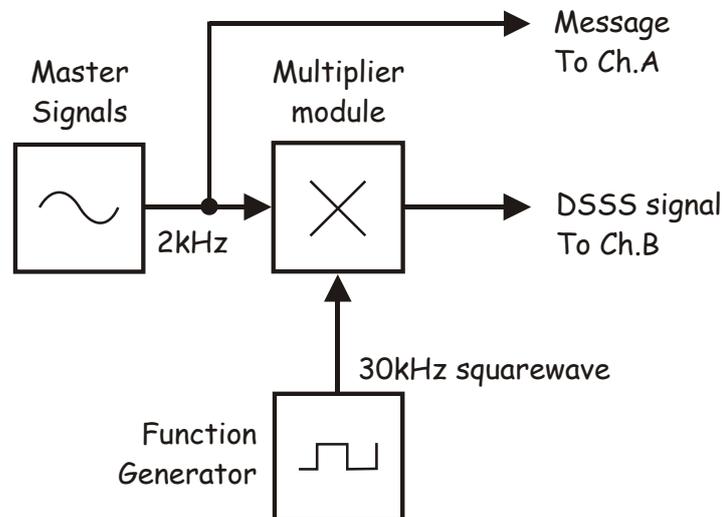


Рисунок 4

Master Signals - генератор опорных сигналов, Multiplier module - модуль умножителя, Function Generator - функциональный генератор, 30 kHz squarewave - меандр 30 кГц, Message To Ch. A - сообщение к каналу A, DSSS signal To Ch. B - DSSS сигнал к каналу B

Следует вспомнить, что спектр меандра состоит из основной гармоники, имеющей ту же частоту, что и сам меандр, и бесконечного количества гармоник с нечетными номерами, уровень которых уменьшается обратно пропорционально с увеличением номера гармоники. Например, меандр с заданной нами частотой 30 кГц состоит из гармоник с частотами 30 кГц, 90 кГц, 150 кГц, 210 кГц и т.д.

Следовательно, теоретически DSSS сигнал состоит из подавленной несущей 30 кГц и боковых частот 28 кГц (нижняя) и 32 кГц (верхняя), подавленной несущей 90 кГц и боковых частот 88 кГц (нижняя) и 92 кГц (верхняя), подавленной несущей 150 кГц и боковых частот 148 кГц (нижняя) и 152 кГц (верхняя) и т.д. Для практического исследования такого сигнала воспользуемся виртуальным анализатором спектра NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer.

22. Однократным нажатием на кнопку *RUN* остановите осциллограф.

Примечание: Изображение на экране осциллографа должно стать неподвижным.

23. Загрузите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI (Анализатор спектра).

24. Установите следующие настройки анализатора:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) - в положение Run (Пуск)

Input Settings (Настройки входа)

- *Source Channel* (Канал источника сигнала) - в положение *Scope CHB* (Канал В Осциллографа)
- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10V$)

FFT Settings (Настройки БПФ)

- *Frequency Span* (Диапазон частот) - 200,000
- *Resolution* (Разрешение) - 400
- *Window* (Окно) - *7 Term B-Harris* (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Averaging (Усреднение)

- *Mode* (Режим) - *RMS* (среднеквадратическое значение)
- *Weighting* (Взвешивание) - *Exponential* (Экспоненциальное)
- *# of Averages* (выборки для усреднения) - 3

Triggering (Режим запуска)

- *Triggering* (Сигнал запуска) - *Immediate* (Непрерывный)

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units* (Масштаб) - *dB* (Логарифмический - дБ)
- *RMS/Peak* (Среднеквадратический/Амплитудный спектр) - *RMS*
- *Scale* - *Auto* (Автомасштабирование)

- *Markers* (Маркеры) - *OFF* (Отключены)

На экране должно отобразиться около 10 пар существенных гармоник, что может вам показаться непонятным.

25. Нажатием на кнопку *Markers* включите маркеры анализатора спектра.
26. С помощью маркера *M1* измерьте среднюю частоту для каждой пары гармоник.

Примечание: Вы увидите, что сигнал состоит из пар боковых полос вокруг подавленных несущих, значения частот для которых приведены на предыдущей странице.

Вы также обнаружите боковые полосы вокруг подавленных несущих и на других частотах, которые могут ввести вас в заблуждение, поскольку для вертикальной оси установлен логарифмический (нелинейный) масштаб.

27. Переведите переключатель *Units* (Под заголовком *Frequency Display*) из положения *dB* в положение *Linear* (Линейный).

Примечание: В таком режиме отображения соотношение между амплитудами гармоник линейно.

28. С помощью курсора *M1* измерьте частоты видимых гармоник.

Примечание: Эти частоты должны совпадать с приведенными на странице 21-9.

29. Верните переключатель *Units* в положение *dB*.

30. Отсоедините проводник от выхода функционального генератора и присоедините его снова к выходу *LINE Code* генератора последовательностей.

Примечание: Вы снова получите схему, приведенную на рисунках 1 и 2, где в качестве несущей вместо меандра используется PN последовательность.

31. Исследуйте спектральный состав DSSS сигнала как в линейном (*Linear*), так и в логарифмическом (*dB*) режиме отображения.

Вопрос 3

Почему при использовании в качестве несущей PN последовательности вместо меандра спектр DSSS сигнала получается более сложным?

PN последовательность состоит из большего количества гармоник, чем простой меандр, причем количество гармоник определяется длиной повторяющегося участка последовательности



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Восстановление сообщения с помощью детектора произведения

32. Закройте программу анализатора спектра.
33. Включите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN*.
34. Установите те же настройки осциллографа, что и в эксперименте 1, с учетом следующих изменений:
 - *Timebase (Масштаб по оси времени)* - 100 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.
 - *Scale (Масштаб по напряжению)* канала В - 2 В/дел. вместо 1 В/дел.
 - Канал В - включен
35. Найдите модуль TUNEABLE LOW-PASS FILTER (Перестраиваемый ФНЧ) на программной панели управления DАTEx и установите виртуальный регулятор *Gain* (Усиление) в положение, соответствующее четверти шкалы.
36. Поверните регулятор частоты среза *Cut-off Frequency Adjust* фильтра против часовой стрелки до упора.
37. Отсоедините проводник от выхода модуля SPEECH (Преобразователя речевых сигналов) и внесите изменения в схему согласно рисунку 5.

Примечание: Убедитесь в том, что проводники подключены ко входам *AC* умножителя, а не к *DC*.

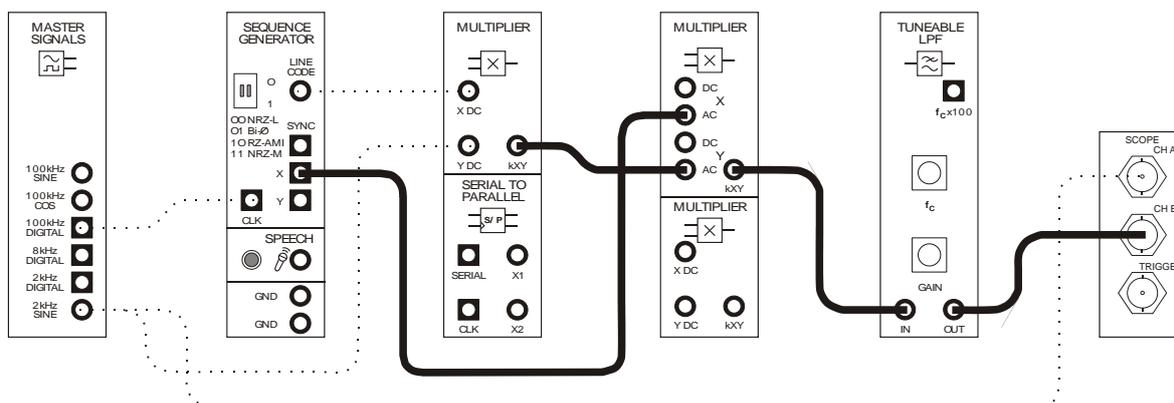


Рисунок 5

Схема, приведенная на рисунке 5, может быть представлена блок-схемой, изображенной на рисунке 6. Восстановление исходного сообщения из DSSS сигнала осуществляется с помощью детектора на основе умножителя и перестраиваемого ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER). Чтобы обеспечить его работоспособность, PN последовательность, используемая в качестве несущей и подаваемая на вход умножителя, берется с модулятора (с выхода "X" генератора последовательностей), причем шаблон битовой последовательности остается тот же самый.

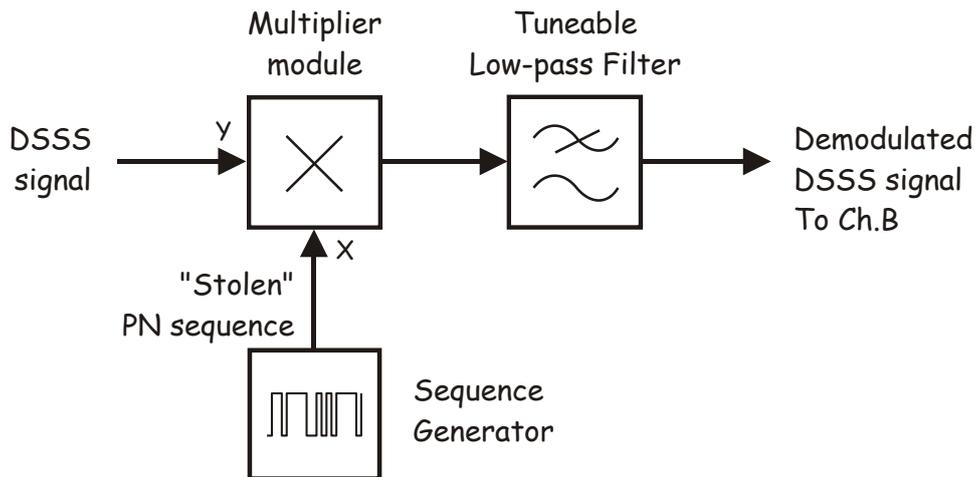


Рисунок 6

DSSS signal - DSSS сигнал, "Stolen" PN sequence - заимствованная PN последовательность, Multiplier module - модуль умножителя, Sequence Generator - генератор последовательности, Tunable Low-pass- настраиваемый ФНЧ, Demodulated DSSS signal To Ch.B - Демодулированный DSSS сигнал к каналу B

Целиком вся блок-схема приведена на рисунке 7.

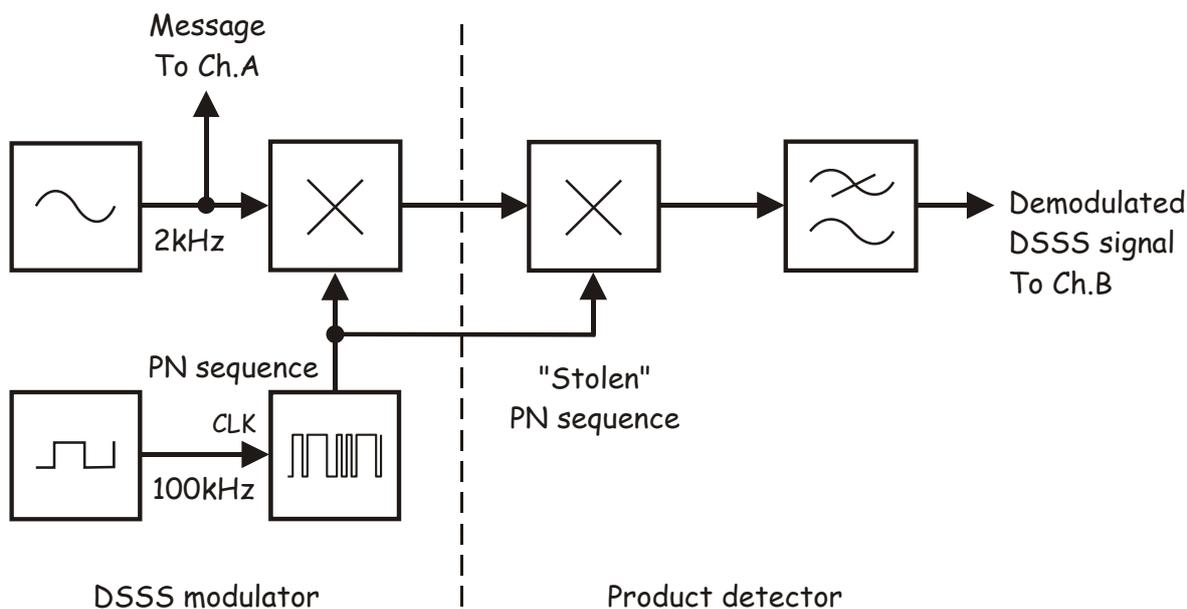


Рисунок 7

DSSS modulator DSSS модулятор:

Message To Ch.A - сообщение к каналу A, PN sequence - PN последовательность, CLK 100 kHz - тактовые импульсы 100 кГц,

Product detector - детектор произведения:

"Stolen" PN sequence - "заимствованная" PN последовательность, Demodulated DSSS signal To Ch.B - демодулированный DSSS сигнал к каналу B

38. Плавно вращая виртуальный регулятор частоты среза *Cut-off Frequency* перестраиваемого ФНЧ по часовой стрелке, наблюдайте за тем, что происходит на экране осциллографа.

Внимание! Для точной подстройки регуляторов DATEx можно пользоваться клавишей Tab и клавишами со стрелками.

39. Остановите регулировку частоты среза, когда получите восстановленный сигнал сообщения, совпадающий по фазе с исходным сигналом.
40. Нарисуйте график демодулированного DSSS сигнала на специально оставленном для него месте в том же масштабе, что и ранее нарисованные сигналы.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Вспомните, что сообщение можно восстановить только в том случае, если на детектор произведения подается та же PN последовательность, что и на модулятор. Это и будет продемонстрировано далее.

41. Измените схему, как показано на рисунке 8 для того, чтобы в качестве несущей, подаваемой на демодулятор, подавалась PN последовательность, отличная от подаваемой на модулятор.

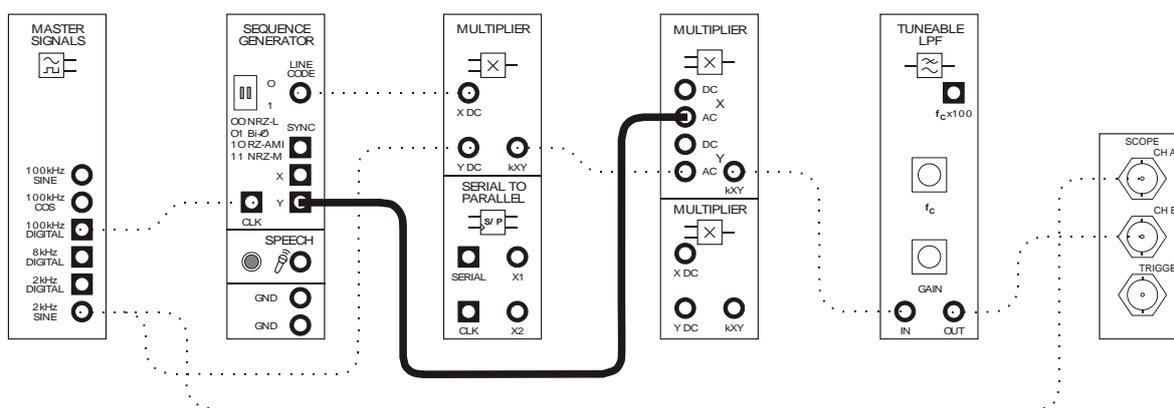


Рисунок 8

42. Сравните ранее полученное сообщение с новым выходным сигналом на выходе детектора.

Вопрос 4

На что похож сигнал на выходе ФНЧ?

На шум.

Вопрос 5

Почему неправильная PN последовательность, подаваемая на детектор, приводит к появлению шума на выходе?

Это обусловлено тем, что PN последовательности, подаваемые на модулятор и демодулятор, отличаются друг от друга, и на выходе появляется множество слабых демодулированных DSSS сигналов с ошибочными частотами и фазами, из которых получается шумоподобный сигнал.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть D - Устойчивость DSSS сигнала к умышленно создаваемым помехам

Помеха представляет собой вредный электрический сигнал, который накладывается на передаваемый в канале связи полезный сигнал и искажает его настолько, что правильно восстановить исходное сообщение становится невозможным. В качестве примера случайной помехи можно привести электрический шум.

В тоже время, иногда помеха специально добавляется к сигналу, как средство радиоэлектронной борьбы. В следующей части эксперимента моделируется умышленное искажение сигнала, чтобы показать, как широкополосный DSSS сигнал становится более помехозащищенным.

43. Переключите проводник с выхода У генератора последовательностей на вход X.

Примечание: Детектор снова должен правильно восстанавливать сообщение.

44. Установите следующие настройки функционального генератора:
 - Waveshape (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная)
 - Frequency (Частота): 50 кГц
 - Amplitude (Пиковая амплитуда): 4В р-р
 - DC Offset (Смещение уровня): 0 В
45. Установите переключатель источников сигнала запуска осциллографа (*Trigger Source*) в положение *CH B* (внутренний - канал B).
46. Найдите на программной панели управления DАТЕх модуль ADDER (Сумматор) и поверните виртуальный регулятор *g* против часовой стрелки до упора.
47. Установите виртуальный регулятор *G* сумматора в среднее положение.
48. Внесите в схему изменения согласно рисунку 9.

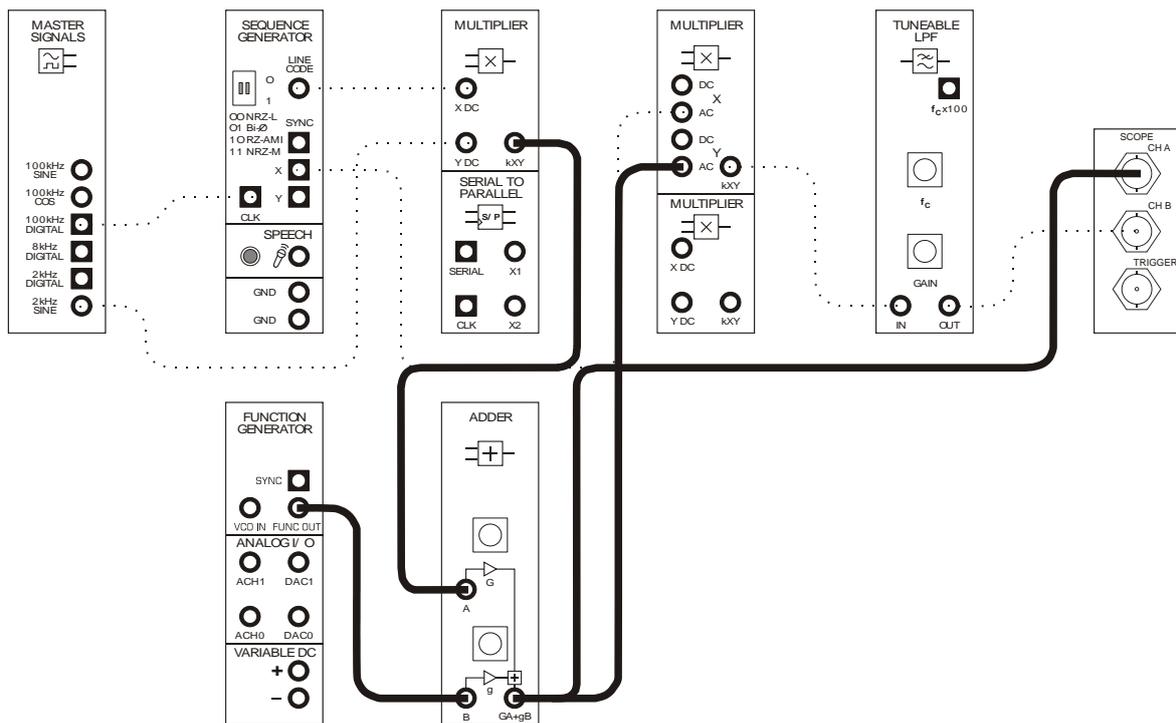


Рисунок 9

Схема, приведенная на рисунке 9, может быть представлена блок-схемой, которая показана на рисунке 10. В данном случае функциональный генератор предназначен для формирования помех переменной частоты, преднамеренно добавляемых в канале связи к DSSS сигналу с помощью сумматора.

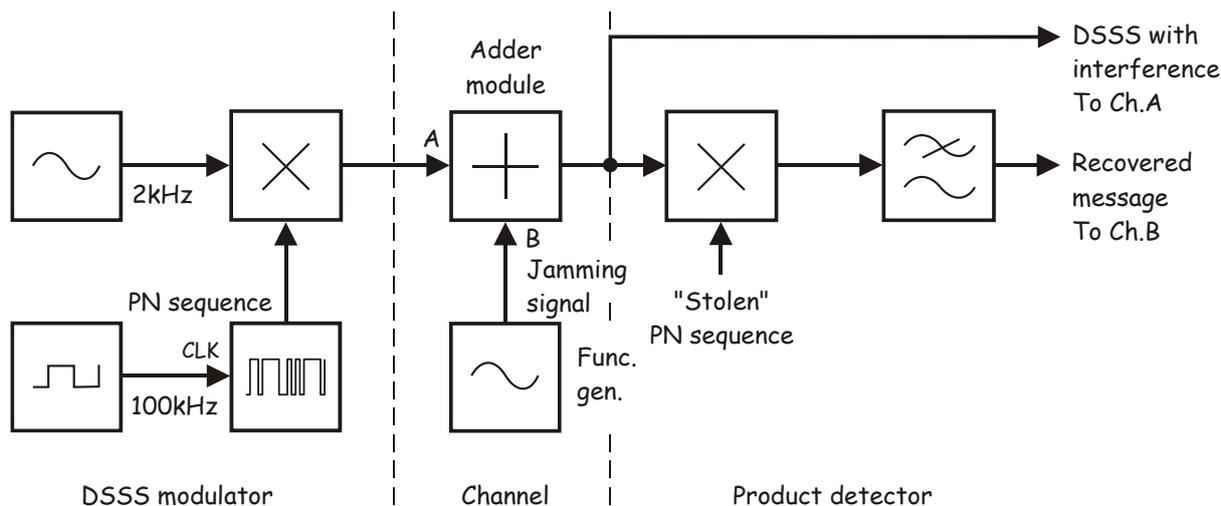


Рисунок 10

DSSS modulator DSSS модулятор:

PN sequence - PN последовательность, CLK 100 kHz - тактовые импульсы 100 кГц

Channel - канал связи:

Adder module - модуль сумматора, Jamming signal - искусственная помеха, Func. gen. - функциональный генератор

Product detector - детектор произведения:

"Stolen" PN sequence - "заимствованная" PN последовательность,
DSSS with interference To Ch.A - DSSS сигнал с помехой к каналу A,
Recovered message To Ch.B - восстановленный сигнал к каналу B

49. Плавно вращая регулятор g сумматора по часовой стрелке, увеличивайте помеху, накладываемую на полезный DSSS сигнал. Оставьте регулятор в среднем положении.
50. По мере увеличения уровня помехи наблюдайте за ее влиянием на DSSS сигнал и восстанавливаемое сообщение.
51. Измените частоту помехи изменением частоты сигнала на выходе функционального генератора.
52. Посмотрите, что получилось с DSSS сигналом или восстанавливаемым сообщением.
53. Увеличьте уровень помехи до максимума, повернув регулятор g сумматора до упора по часовой стрелке.
54. Посмотрите еще раз, что получилось с DSSS сигналом и восстанавливаемым сообщением.

Вопрос 6

Почему качество восстановления сообщения не зависит от уровня помехи?

Так как помеха состоит всего лишь из одной гармоники, она может испортить только одну пару боковых полос DSSS сигнала, которая составляет очень маленькую долю результирующего выходного сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Далее нам предстоит более тонкий эксперимент, который заключается в исследовании влияния помехи, частота которой автоматически перестраивается в широком диапазоне частот. В этом случае передаваемый широкополосный сигнал с большей вероятностью будет подвергнут искажениям.

55. Верните регулятор g сумматора снова в среднее положение.

56. Внесите изменения в схему согласно рисунку 11.

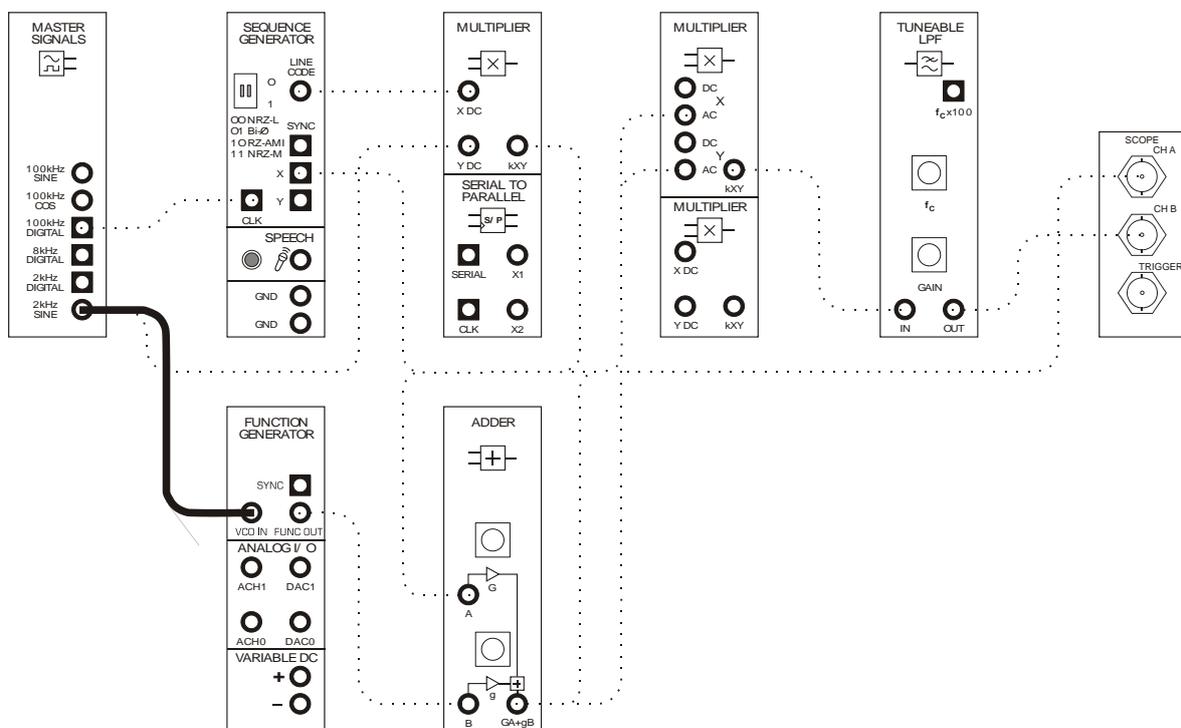


Рисунок 11

В этой схеме частота выходного сигнала функционального генератора непрерывно перестраивается в широком диапазоне.

57. Посмотрите, как это повлияло на DSSS сигнал и восстанавливаемое сообщение.
58. Увеличьте уровень помехи до максимума вращением регулятора ρ сумматора до упора по часовой стрелке.
59. Еще раз посмотрите, что произошло с DSSS сигналом и восстанавливаемым сообщением.

Вопрос 7

Почему помеха с переменной частотой не влияет на качество восстановления сообщения?

Когда помеха перестраивается по частоте, в каждый момент времени она влияет только на одну пару боковых полос DSSS сигнала.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Далее вам нужно будет выполнить еще более сложный эксперимент - наложить на передаваемый сигнал широкополосную помеху, одновременно воздействующую на многие гармоники передаваемого сигнала.

60. Верните регулятор g сумматора в среднее положение.

61. Измените схему согласно рисунку 12.

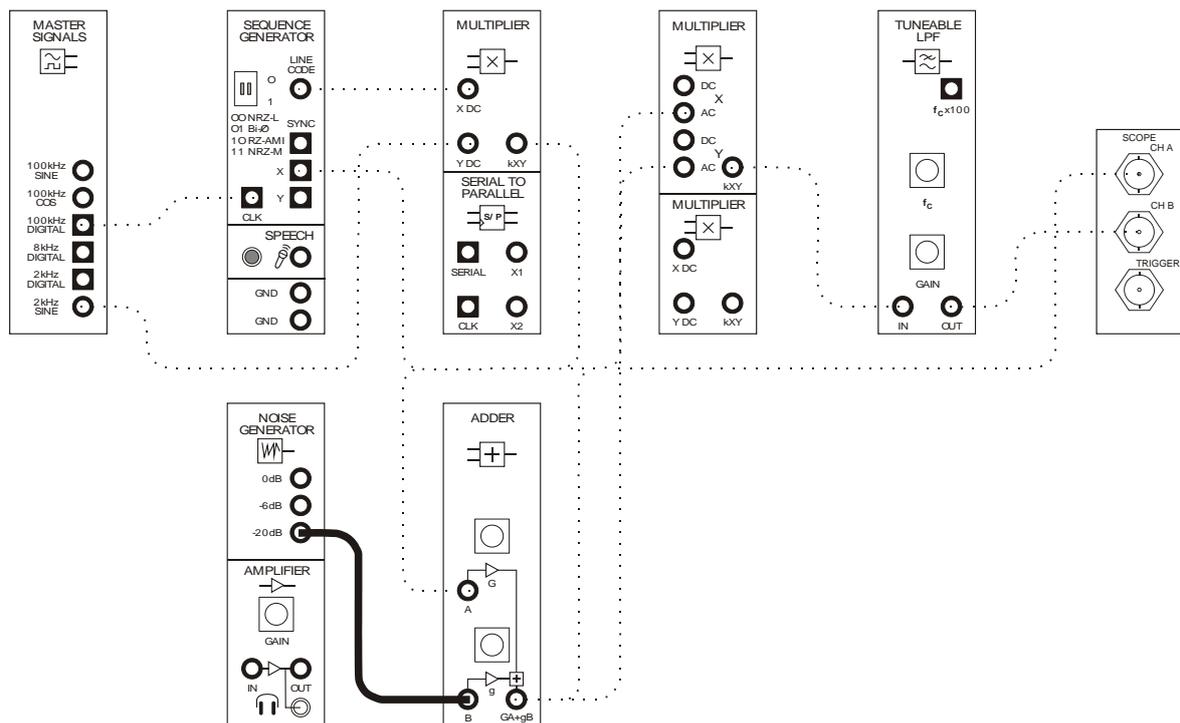


Рисунок 12

Здесь с помощью генератора шума (Noise Generator) моделируется широкополосная помеха, состоящая из тысяч гармоник.

62. Посмотрите, как она воздействует на DSSS сигнал и восстанавливаемое сообщение.

63. Увеличьте интенсивность широкополосной помехи, присоединив вход В сумматора к выходу $-6dB$ генератора шума.
64. Теперь еще раз посмотрите, что произошло с DSSS сигналом и восстанавливаемым сообщением.
65. Еще больше увеличьте интенсивность помехи, присоединив вход В сумматора к выходу $0dB$ генератора шума.
66. Снова посмотрите, что произошло с DSSS сигналом и восстанавливаемым сообщением.

Вопрос 8

Почему смоделированная широкополосная помеха не влияет на качество восстановления сообщения?

Так как PN последовательность имеет достаточно большую длину, боковые полосы DSSS сигнала расположены в достаточно широкой полосе частот по сравнению с полосой частот, в которой генерируется помеха.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.

Если осталось время...

Если преподаватель не возражает, посмотрите, как работает DSSS модуляция при передаче и приеме речевых сигналов. Для этой цели вам потребуются стереонаушники.

1. Отключите помеху, отсоединив вход В сумматора от выхода $0dB$ генератора шума.
2. Присоедините выход перестраиваемого ФНЧ (TUNEABLE LOW-PASS FILTER) ко входу усилителя (AMPLIFIER).
3. Найдите модуль AMPLIFIER (Усилитель) на программной панели управления DATEx и поверните регулятор *GAIN* до упора против часовой стрелки.
4. Не надевая наушников, подключите их к соответствующему гнезду усилителя.
5. Наденьте наушники.
6. Подстраивайте коэффициент усиления усилителя (*Gain*) до тех пор, пока звучание гармонического сигнала частотой 2 кГц не станет приемлемым.
7. Проверьте, что произойдет, если для демодуляции DSSS сигнала использовать ошибочную PN последовательность (как вы делали в части C эксперимента). Для этого необходимо отсоединить проводник от выхода X генератора последовательности и присоединить его к выходу Y.
8. Снова верните этот проводник на выход X.
9. Проверьте, что произойдет, если в качестве помехи используется одиночная гармоника (как в части D эксперимента). Для этого присоедините выход функционального генератора ко входу В сумматора.
10. Теперь посмотрите, что будет, если исказить DSSS сигнал широкополосной помехой (как в части D). Для этого ко входу В сумматора присоедините выход $-20dB$ генератора шума.
11. Повторите предыдущий пункт для более высоких уровней помех, присоединяя ко входу В сумматора выходы $-6dB$ и $0dB$ генератора шума.

Ф.И.О.: _____

Группа: _____

22 - Дискретизация сигналов в программируемой радиосвязи

Эксперимент 22 – Дискретизация сигналов в программируемой радиосвязи

Предварительное обсуждение

Программно-управляемая радиосвязь

На протяжении относительно короткого периода развития электронных коммуникаций каждое изобретение приводило к значительному улучшению качества связи, в том числе расширению полосы пропускания каналов связи и повышению их помехозащищенности. Так сложилось, что новые системы связи очень быстро вытесняют старые. В качестве примера можно привести скачкообразный переход от аналоговых сотовых телефонов к цифровым.

В тоже время новые системы работают параллельно со старыми, если реализованные в них технологии хорошо себя зарекомендовали, и отказываться от них неразумно. В качестве давно известного примера можно привести системы коммерческого радиовещания в АМ и FM диапазоне.

Следует отметить, что ни одна из прогрессивных коммуникационных технологий не может обойтись без недостатков. Аппаратура либо слишком дорого стоит, либо должна быть задублирована. Все эти сложности привели к появлению новейшей концепции в технике связи, называемой *software defined radio (SDR)* – *программно-управляемой радиосвязью*. SDR приемник может принимать и декодировать информацию в любом из известных в настоящее время форматов: АМ, FM, DSBSC, ASK, FSK, DSSS и т.д. Более того, он может также работать с информацией в форматах, которые будут разработаны в ближайшем будущем.

Как следует из названия, поразительная гибкость технологии SDR достигается благодаря программным средствам. В отличие от классического аппаратно реализованного приемника, для которого обязательно определен метод модуляции и полоса частот, SDR-приемник преобразует радиосигналы в широком диапазоне частот в цифровую форму, а затем декодирует их с помощью программного обеспечения, которое соответствует схеме модулятора на передающей стороне. В этом случае при использовании модулятора другого типа просто следует установить другую программу, которая сможет декодировать принятые данные.

Дискретизация узкополосных сигналов в технологии SDR

SDR приемник может принимать и декодировать большинство телекоммуникационных сигналов на частотах до 2.4 ГГц и выше (эти частоты характерны для сотовой связи). Вспомнив о теореме Найквиста, вы можете предположить, что аналого-цифровой преобразователь (АЦП) SDR приемника должен обеспечивать частоту дискретизации сигналов сотовой связи, как минимум, в 4.8 ГГц, чтобы избежать эффекта наложения спектров!

Применение узкополосных радиосигналов в системах связи, не имеющих спектральных составляющих около нулевой частоты, облегчает борьбу с наложением спектров. Согласно теореме Шеннона вся информация, содержащаяся в сигнале с ограниченной полосой частот, может быть получена при частоте дискретизации, как минимум, вдвое большей полосы частот этого сигнала.

Если, например, принимаемый сигнал имеет несущую частоту 2.4 ГГц и ширину полосы частот 30 кГц, прием всей передаваемой информации возможен при частоте дискретизации как минимум 60 кГц, т.е. частоту дискретизации можно рассчитать математически.

Дискретизацию узкополосных сигналов с частотой ниже частоты Найквиста называют *Undersampling* (Субдискретизация), *Band-Pass Sampling* (Дискретизация в полосе частот) или *Super-Nyquist Sampling* (Супернайквистовая дискретизация). Субдискретизация не только позволяет оцифровывать радиосигналы сверхвысоких частот, но и обладает еще одним существенным достоинством, делающим ее идеальным средством для программируемой радиосвязи. Если частота субдискретизации в два раза выше ширины полосы частот сигнала, одна из ложных гармоник, возникающих из-за наложения спектра, имеет ту же частоту, что и исходное сообщение, которым модулировалась несущая. Другими словами, субдискретизация демодулирует дискретизированный сигнал. И все, что необходимо сделать для восстановления исходного сообщения, это пропустить дискретизированный сигнал через ФНЧ, чтобы подавить ложные высокочастотные гармоники.

Эксперимент

С помощью Emona DATeX вам предстоит сформировать узкополосный сигнал, продискретизировать его и затем исследовать изменение спектрального состава при изменении частоты дискретизации в меньшую и в большую сторону относительно частоты Найквиста. Затем методом субдискретизации нужно будет сигнал демодулировать и восстановить исходное сообщение. Наконец, вы будете исследовать влияние несоответствия между полосой частот сигнала и частотой дискретизации на качество восстановления сообщения.

Время выполнения работы - около 40 минут.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или 20МГц двухканальный осциллограф)
- Модуль расширения Emona DATeX для выполнения экспериментов
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа "банан" (2 мм)
- Набор соединительных проводников с разъемами типа "банан" (2 мм)
- Стереонаушники

Часть А - Формирование узкополосного сигнала

Для формирования узкополосного сигнала, который потребуется в экспериментах по дискретизации, проще всего собрать схему DSBSC модулятора.

Порядок выполнения (* - относится только к NI ELVIS I)

1. Убедитесь в том, что выключатель питания на задней панели лабораторной станции NI ELVIS находится в положении POWER OFF (ОТКЛЮЧЕНО).
2. Аккуратно вставьте модуль расширения Emona DATeX в слот станции NI ELVIS.
3. Установите переключатель режимов *CONTROL MODE* в правом верхнем углу модуля DATeX в положение *PC CONTROL* (Управление от компьютера).
4. * Проверьте, выключен ли модуль ввода-вывода NI DAQ.
5. * Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и к персональному компьютеру.
6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней панели, затем включите питание макетной платы, выключатель расположен на передней панели NI ELVIS.
7. Включите компьютер и подождите, пока он загрузится.
8. * Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NI DAQ и дождитесь визуального или звукового сигнала о том, что компьютер обнаружил модуль.
9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите главную панель управления DATeX и убедитесь в том, что программное управление DATeX доступно.
11. Запустите программу (VI) NI ELVIS Oscilloscope VI (Осциллограф).
12. Установите те же настройки осциллографа, что и в эксперименте 1, проверив, что переключатель *Trigger Source* (Источник сигнала запуска) находится в положении *CH A* (канал A).

Напоминание: Это руководство составлено для ELVIS I.

В ELVIS II имеются следующие отличия:

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены соответственно CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1)
- В ELVIS II режим Manual (ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (ручной)
- Если функциональный генератор используется для частотной модуляции (FM), установите элемент управления modulation (модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATeX VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

13. Соберите схему, изображенную на рисунке 1.

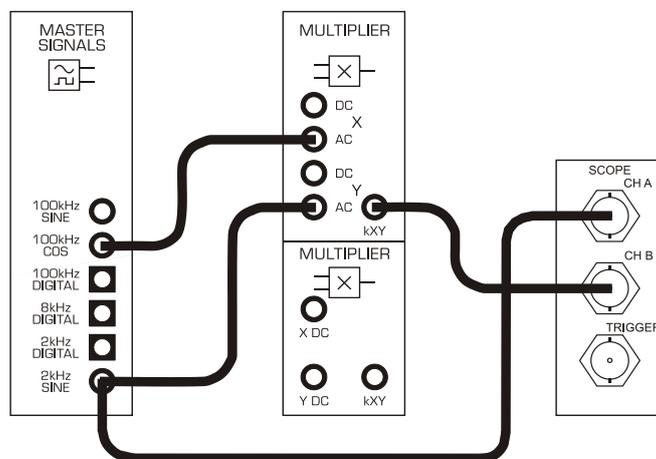


Рисунок 1

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 2. Здесь генерируется несущая частотой 100 кГц, которая модулируется синусоидальным сигналом сообщения частотой 2 кГц по схеме DSBSC.

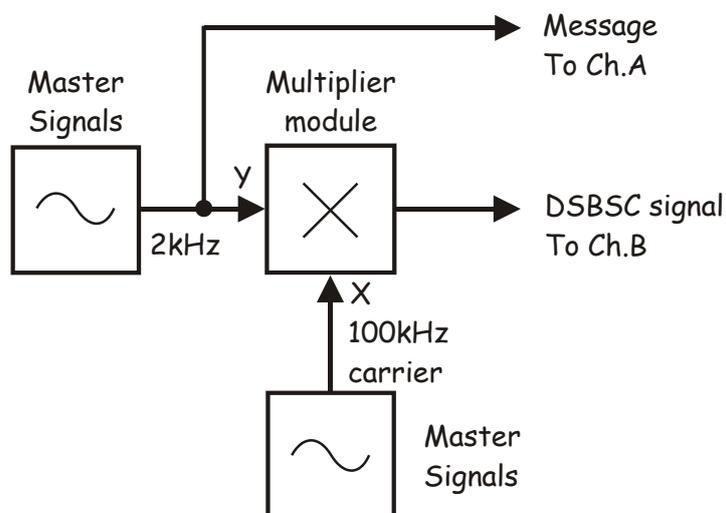


Рисунок 2

Master Signals - генератор опорных сигналов, Multiplier module - модуль умножителя,
 100 kHz carrier - несущая 100 кГц,
 Message To Ch. A - сообщение к каналу A
 DSBSC signal To Ch. B - DSBSC сигнал к каналу B

14. Выберите такой временной масштаб (*Timebase*), чтобы на экране осциллографа наблюдалось около двух периодов синусоиды с выхода *2kHz SINE* генератора опорных сигналов (*MASTER SIGNALS*).
15. Включите канал B осциллографа, чтобы наблюдать DSBSC сигнал на выходе умножителя одновременно с исходным сообщением.

16. Установите масштаб по напряжению (*Scale*) канала А - 1 В/дел., а канала В - 2 В/дел.

Примечание: На выходе умножителя должен наблюдаться DSBSC сигнал с перемежающимися полуволнами, форма которых повторяет форму исходного сообщения

Вопрос 1

При заданных сигналах на выходе умножителя из каких спектральных составляющих состоит DSBSC сигнал?

98 кГц и 102 кГц.

Вопрос 2

Какова полоса частот DSBSC сигнала?

4 кГц.

17. Остановите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN*.
18. Загрузите программу (VI) NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI (Анализатор спектра).
19. Установите следующие настройки анализатора:

General (Общие настройки)

Sampling (Дискретизация) - в положение Run (Пуск)

- *Source Channel* (Канал источника сигнала) - в положение *Scope CHB* (Канал В Осциллографа)

FFT Settings (Настройки БПФ)

- *Frequency Span* (Диапазон частот) - 150,000
- *Resolution* (Разрешение) - 400
- *Window* (Окно) - 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Triggering (Режим запуска)

- *Triggering* (Источник сигнала запуска) - *Source Channel* (Источник входного сигнала)
- *Voltage Range* - ±10V (Диапазон напряжений - ±10 В)

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units*(Масштаб) - dB (Логарифмический - дБ)
- *RMS/Peak* (Среднеквадратический/Амплитудный спектр) - *RMS*
- *Scale* - *Auto* (Автомасштабирование)

Averaging (Усреднение)

- *Mode*(Режим) - *RMS* (среднеквадратическое значение)
- *Weighting* (Взвешивание) - *Exponential* (Экспоненциальное)
- *# of Averages* (выборка для усреднения) - 3
- *Markers* (Маркеры) - OFF (Отключены)

20. Проверьте правильность ответов на вопросы 1 и 2, измерив частоты боковых полос DSBSC сигнала с помощью маркеров анализатора спектра.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть В – Использование субдискретизации для прямого переноса частоты вниз

Если вы успешно выполнили эксперимент 13 по дискретизации и восстановлению сигналов, то знаете, что математическая модель дискретизированного сигнала имеет вид:

Дискретизированный сигнал = сигнал выборки × сообщение

Поскольку сигнал выборки является цифровым, выражение можно записать в следующей форме

Дискретизированный сигнал = (Постоянная составляющая + основная гармоника + высшие гармоники) × сообщение

Если сигнал сообщения представляет собой модулированную несущую, как, например, DSBSC сигнал, получим следующее выражение:

Дискретизированный сигнал = (Постоянная составляющая + основная гармоника + высшие гармоники) × (левая боковая полоса + правая боковая полоса)

После тригонометрических преобразований, не приведенных здесь, получим решение, которое включает в себя:

- Левая и правая боковые полосы, полученные из-за перемножения их с постоянной составляющей сигнала выборки
- Ложные левая и правая боковые частоты, соответствующие суммам и разностям между каждой из них и частотой основной гармоники сигнала выборки
- Множество других ложных левых и правых боковых частот, соответствующих суммам и разностям между каждой из них и остальными гармониками сигнала выборки, кроме основной

Можно доказать математически, что восстановить исходный сигнал можно с помощью ФНЧ, который выделяет его образ из дискретизированного сигнала, причем частота дискретизации должна быть как минимум вдвое больше частоты наивысшей гармоники исходного сигнала, в противном случае проявляется эффект наложения спектров.

На первый взгляд может показаться, что частота дискретизации DSBSC сигнала должна быть как минимум 204 кГц, поскольку верхняя полоса находится на частоте 204 кГц.

Однако, поскольку DSBSC сигнал является узкополосным (его спектр находится далеко от нулевой частоты), частоту дискретизации можно выбрать меньше 204 кГц, и это необязательно приведет к наложению спектров. Чтобы пояснить это, в таблице 1 приведены значения частот ложных гармоник, которые появляются в результате дискретизации DSBSC сигнала с частотой дискретизации 150 кГц.

Таблица 1

Составляющие из-за постоянной составляющей	Составляющие из-за f_s	Составляющие из-за $2f_s$	Составляющие из-за $3f_s$
98 кГц и 102 кГц	Разностные: 48 кГц и 52 кГц Суммарные: 248 кГц и 252 кГц	Разностные: 198 кГц & 202 кГц Суммарные: 398 кГц & 402 кГц	Разностные: 348 кГц & 352 кГц Суммарные: 548 кГц & 552 кГц

Обратите внимание, что ни одна из ложных гармоник не оказалась между составляющими 98 кГц и 102 кГц исходного сообщения. Все ложные гармоники оказались либо ниже, либо выше их. Следовательно, исходный DSBSC сигнал можно выделить с помощью полосового фильтра (с достаточно крутыми спадами АЧХ). Таким образом, наложение спектров все еще возможно, если ложные гармоники попадут в полосу пропускания фильтра.

Очевидно, что при уменьшении частоты дискретизации уменьшаются частоты составляющих по всему спектру сигнала. Следовательно, если частота дискретизации узкополосного сигнала выбрана правильно, то можно получить ложные гармоники около нулевой частоты. Это очень удобно, поскольку эти гармоники можно прямо преобразовать в исходное сообщение без перехода на промежуточную частоту. Нам остается только подавить остальные ложные гармоники с помощью ФНЧ.

Есть более сложный способ объяснения прямого преобразования частоты с понижением на основе детектора произведения, причем математические рассуждения остаются те же. Если вы не уверены в этом, обратитесь к разделу предварительных обсуждений в эксперименте 9 и сравните их с тем, что здесь написано. Различие заключается в том, что вместо перемножения несущей с одной гармоникой, происходит ее перемножение со многими гармониками (основной и высшими). Важно отметить, что чем ближе частоты гармоник к несущей частоте, тем больше детектирование произведения похоже на субдискретизацию, как способ демодуляции.

Частота дискретизации должна быть в целое число раз меньше несущей, чтобы частота одной из гармоник сигнала выборки совпадала с несущей. С другой стороны, она должна быть как минимум в два раза больше полосы частот узкополосного сигнала, чтобы не возникало ложных гармоник.

Далее вам предстоит демодулировать сформированный DSBSC сигнал и восстановить сигнал сообщения частотой 2 кГц с использованием субдискретизации, а не детектора произведения.

21. Закройте программу анализатора спектра.
22. Перезапустите осциллограф однократным нажатием на кнопку *RUN*.
23. Верните переключатель масштаба по напряжению (*Scale*) канал В в положение *500 мВ/дел*.
24. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 3.

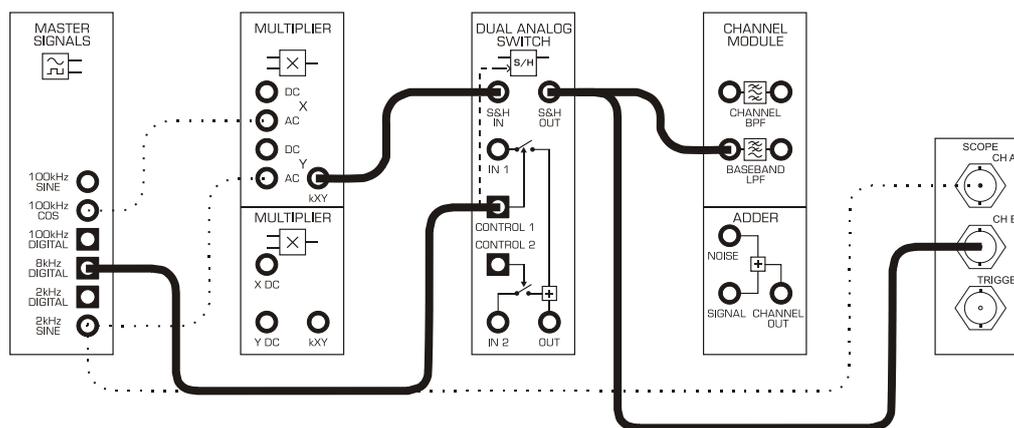


Рисунок 3

Приведенную на рисунке 3 схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 4. Для генерации модулированного DSBSC сигнала используется умножитель (MULTIPLIER). Демодулятор на основе субдискретизации узкополосного сигнала состоит из устройства выборки и хранения (УВХ) и узкополосного ФНЧ (BASEBAND LPF).

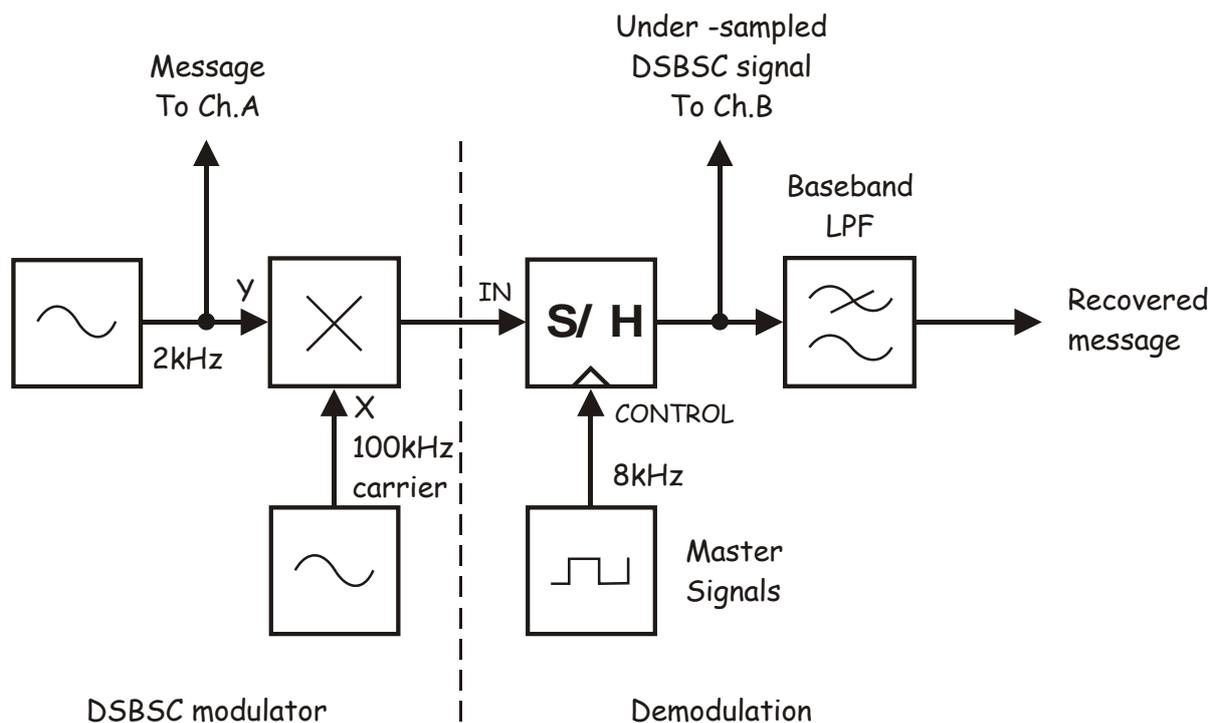


Рисунок 4

DSBSS modulator DSBSS модулятор:

Message To Ch.A - сообщение к каналу А, 100 kHz carrier - несущая 100 кГц,

Demodulation - Демодуляция:

S/H (Sample-and-Hold circuit) - устройство выборки и хранения, IN - вход сигнала, CONTROL - вход импульса выборки, Master Signals - генератор опорных сигналов, Under-sampled DSBSC signal To Ch.B - субдискретизированный DSBSC сигнал к каналу В, Baseband LPF - полосовой ФНЧ, Recovered message - восстановленное сообщение

25. Сравните субдискретизированный DSBSC сигнал с исходным сообщением.

Примечание: Если посмотрите внимательно, то увидите, что субдискретизированный DSBSC сигнал немного напоминает инвертированное исходное сообщение.

26. Присоедините к схеме канал В осциллографа, как показано на рисунке 5.

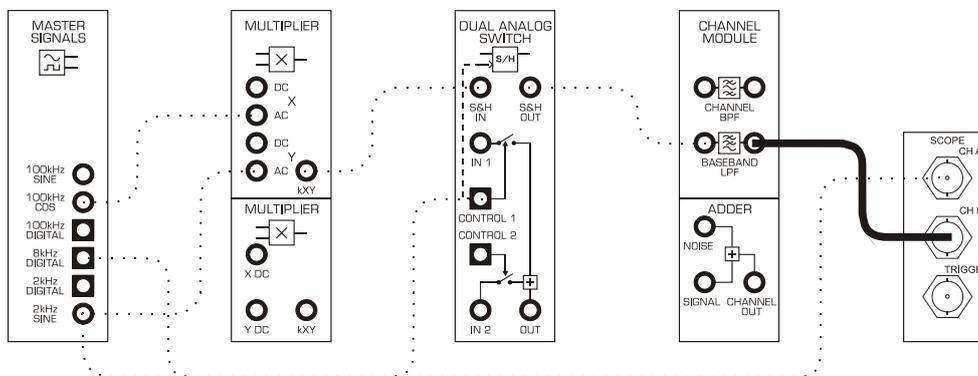


Рисунок 5

Вопрос 3

Какой смысл имеет сигнал на выходе узкополосного ФНЧ?

Он является копией исходного сообщения, которым модулировалась несущая частотой 100 кГц.

Вопрос 4

Какая гармоника сигнала выборки демодулирует DSBSC сигнал, если частота дискретизации равна 8.333 кГц (для упрощения расчетов округлим ее до 8 кГц)?

Частота гармоники, которая демодулирует DSBSC сигнал, должна быть равна 100 кГц. Это 12-ая гармоника: $100 \text{ кГц} / 8.333 \text{ кГц} = 12$.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент.

Часть С – Синхронизация

Во-первых, вспомним, что синхронизация несущих на передающей и на приемной стороне канала связи является основой нормального функционирования демодулятора при использовании детектора произведения. Если несущая на приемной стороне имеет даже небольшую ошибку по частоте или по фазе (относительно несущей на передающей стороне), это влияет на качество приема.

Фазовые ошибки могут снизить уровень восстановленного сообщения и даже сделать прием невозможным. Степень влияния ошибок по частоте зависит от их величины. Если ошибка небольшая, например, 0.1 Гц, звук передаваемого сообщения будет периодически прерываться, однако его еще можно будет разобрать. Если ошибка будет больше, например, 5 Гц, сообщение все равно разобрать будет можно, но качество восприятия его будет низким. Если ошибка по частоте становится слишком большой, разборчивость принятого сообщения сильно пострадает. (Краткие пояснения причин возникновения этих ошибок приведены в части Е эксперимента 9).

Поскольку прямое преобразование с понижением частоты путем субдискретизации является разновидностью детектирования произведения, сигнал выборки должен быть синхронизирован с несущей на передающей стороне. Далее вам нужно экспериментально проверить все сказанное выше.

27. Запустите программу (VI) Function Generator VI (Функциональный генератор).

28. Установите частоту сигнала функционального генератора на 8.333 кГц.

Примечание: Вам не нужно регулировать никакие другие органы управления функционального генератора, поскольку используется только цифровой выход *SYNC*.

29. Отсоедините проводник от выхода *8kHz DIGITAL* генератора опорных сигналов.

30. Внесите изменения в схему, как показано на рисунке 6.

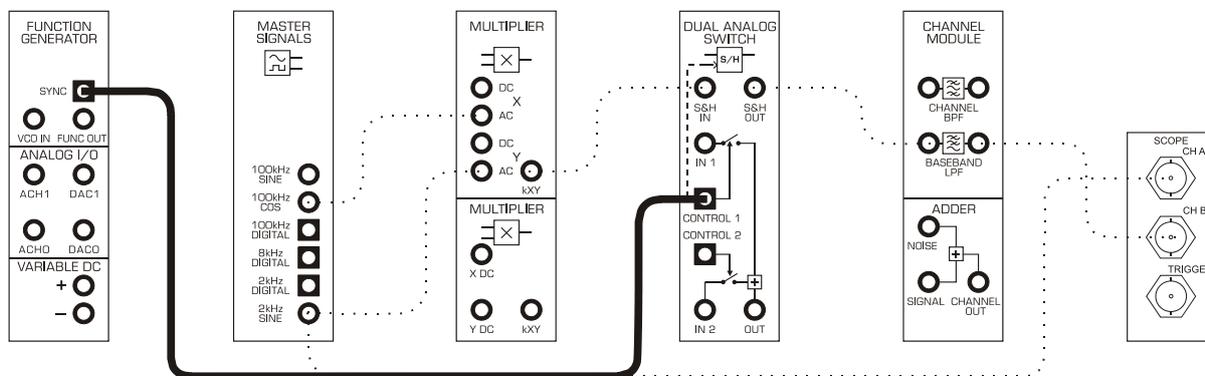


Рисунок 6

В этой схеме сигнал с выхода *8kHz DIGITAL* генератора опорных сигналов (*MASTER SIGNALS*) заменен на цифровой сигнал с функционального генератора частотой 8.333 кГц. Это позволяет ввести ошибки по частоте и по фазе между несущими частотами на передающей и на приемной стороне, которые соответствуют частоте дискретизации, равной частоте 12-й гармоники.

31. Посмотрите, как изменилось восстановленное сообщение.



Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем завершить эксперимент.