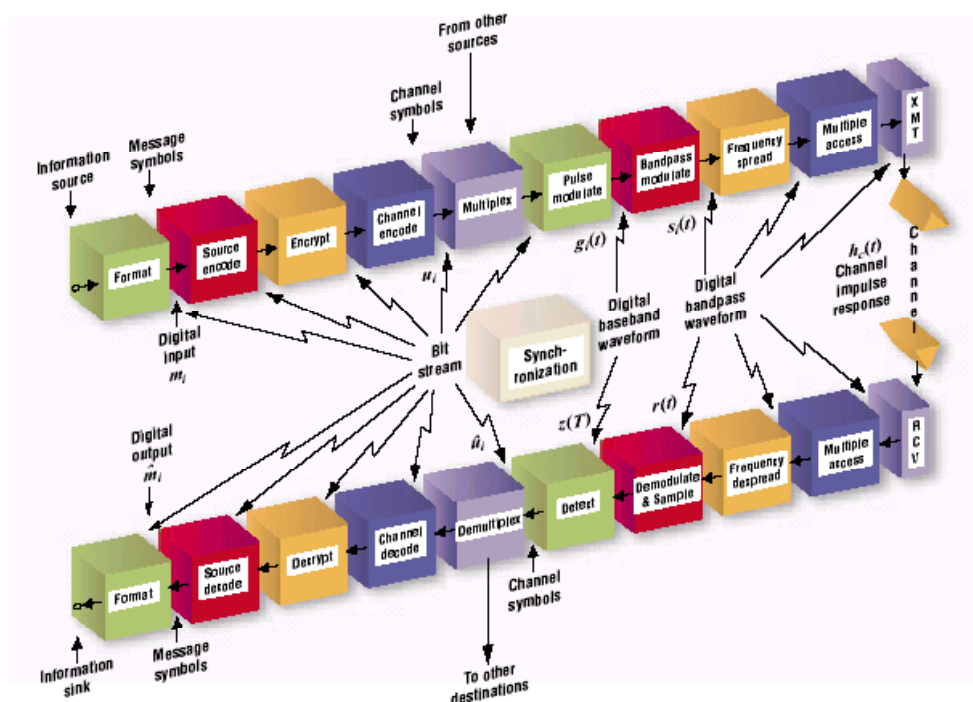


Цифровая

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ

СВЯЗЬ

ОСНОВЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ



Бернард Склар

the Companion **CD**

НАЧИНАЯ РАБОТУ



Роберт Стюард

Стефан Вайсс

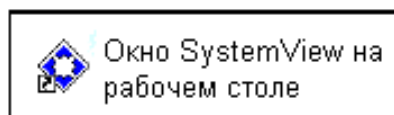
1 ВВЕДЕНИЕ

Этот учебник дает представление об основах работы с программой SystemView by ELANIX[®], которая предназначена для моделирования систем цифровой связи. Выполняя упражнения, содержащиеся в учебнике, вы получите представление о возможностях программы - в целом и конкретно, и о программных средствах, при помощи которых осуществляется моделирование и проектирование.

Чтобы успешно продолжить работу с учебником, вы должны быть уверены, что программа SystemView установлена правильно, что вы не забыли установить упражнения, которые прилагаются к «Начинаем работать с SystemView» и упражнения, которые содержатся в «Книге примеров».

1.1 Установка программы SystemView

Программа SystemView должна быть уже установлена на вашем компьютере. Чтобы убедиться в этом, проверьте, есть ли на рабочем столе вашего компьютера ярлык как на картинке справа.



Если ярлык отсутствует, нажмите Windows-кнопку “**Start**”. Там вы должны увидеть группу программ “**SystemView by ELANIX**”, которая содержит ярлык “**SystemView by ELANIX**”.

Если группа программ **SystemView by ELANIX**[®] также отсутствует, тогда вам необходимо установить SystemView. Для этого зайдите в главную директорию CD-диска «Digital Communications Companion CD» и запустите файл

`Companion CD:\setup.exe`

1.2 Упражнения по моделированию в SystemView

Все упражнения, относящиеся к «Начинаем работать с SystemView», по умолчанию автоматически копируются на ваш компьютер в процессе установки SystemView. Вы можете найти их в следующей директории:

`c:\Program Files\SystemView\Digital Comm`

Если при инсталляции SystemView вы указали другую директорию, то, конечно, следует искать файлы в той директории которую вы указали. Если вы забыли название директории, произведите поиск по жесткому диску (дискам) по слову «Digital Comm». Если найти файлы все же не удалось, снова запустите файл

`Companion CD:\setup.exe`

1.3 **Функциональные возможности полной версии SystemView**

Версия SystemView для студентов содержит полный набор материалов в PDF формате для профессиональной версии SystemView. Поэтому, если вы хотите получить детальную информацию по любой из версий SystemView, запустите программу и зайдите в меню «Помощь».

1.4 **Решения**

Решения задач, которые содержит этот учебник, можно найти по адресу:

http://www.dspedia.com/digital_comms

2 **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ СВЯЗИ И ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ SystemView**

Программа SystemView весьма полезна именно в том плане, что она позволяет представить системы связи, цифровую обработку сигналов (ЦОС) и средства их анализа в интуитивно понятном для практического применения виде. По прошествии совсем недолгого периода обучения вы обнаружите, что при помощи SystemView можно быстро разрабатывать модели и схемы реального времени очень сложных систем связи и ЦОС. Цель **«Начинаем работать с SystemView»** – помочь начать работу в SystemView и, тем самым, дать вам возможность расширить и развить умение использовать программу с помощью **«Книги примеров»**.

2.1 **Визуализация посредством блок-схем**

Универсальная DSP система ввода-вывода показана на [Рисунке 2.1](#). Заметьте, что в этом примере полосы модулирующих аудио-частот имеет аналоговый входной сигнал и выходной каскад. SystemView представляет собой законченное средство для моделирования цифровых составляющих систем связи. Поэтому для любой полосы модулирующих частот систем ввода-вывода, которую мы только можем себе представить, можно спроектировать и полностью смоделировать самые различные противомеховые фильтры, усилительные каскады, звуковые эффекты, компенсаторы, противозвуховые фильтры и многое другое¹¹.

¹ SystemView располагает также библиотеками более высокого уровня, которые позволяют моделировать аналоговые компоненты, однако в данном руководстве они

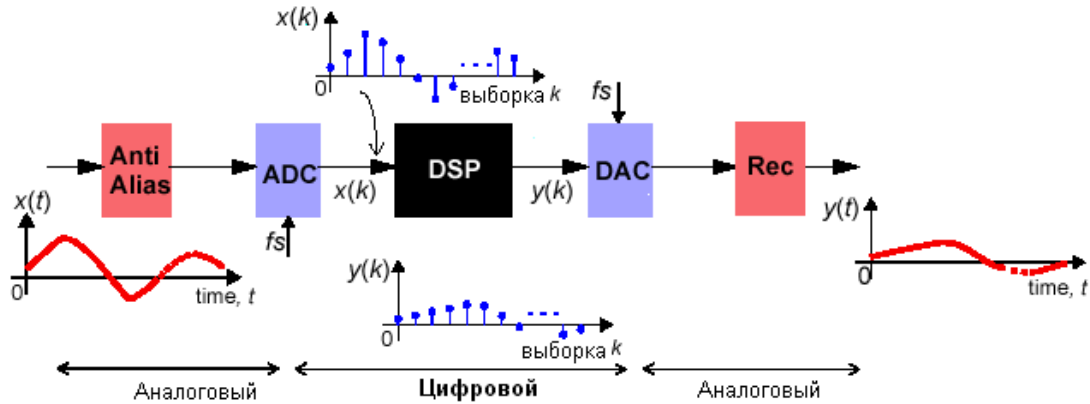


Рисунок 2.1 – Генерирование основного DSP-сигнала

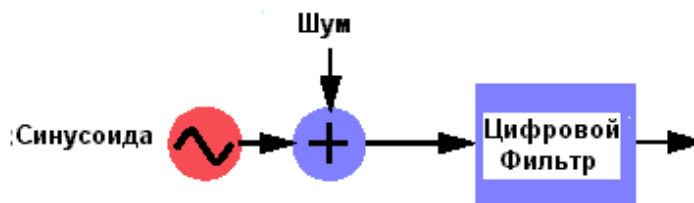


Рисунок 2.2: Блок диаграмма простого потока DSP-сигнала

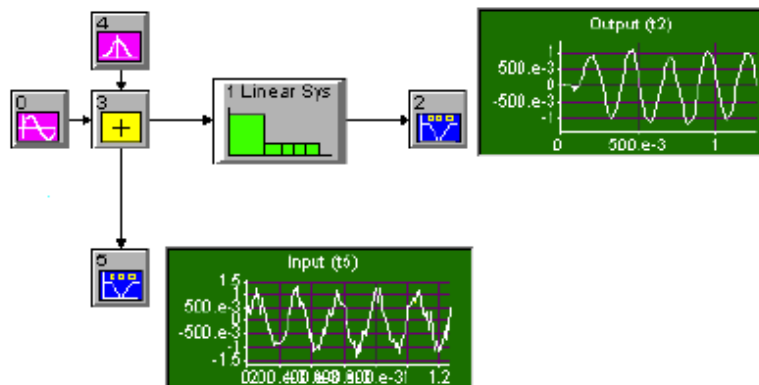


Рисунок 2.3 – SystemView signal + noise filtering design

Чтобы оценить средства, которые предлагает SystemView, рассмотрим традиционный метод проектирования систем связи DSP – набросаем блок-схему при помощи «карандаша и бумаги» рисунок 2.2.

Подобный набросок легко осуществить при помощи SystemView, Рисунок 2.3, который отличается от «карандашного» только тем, что явля-

рассматриваться не будут. Заинтересованному читателю мы предлагаем ознакомиться с библиотекой SystemView RF.

ется функционирующим, то есть моделирует реакцию системы на действия пользователя. Пользователь полностью управляет всеми алгоритмами, которые будут использоваться: разрешающую способность сигнала, число битов, которые будут использоваться и так далее.

2.2 Этапы изучения SystemView

«Начиная работу с SystemView» представляет собой программу обучения на практике из следующих составляющих:

- ⇒ **Действия:** на начальном этапе обучения, для того чтобы мы могли продемонстрировать особенности и средства проектирования, вам будет необходимо по нашему указанию выполнить ряд нажатий определенных клавиш и ряд манипуляций мышью.
- ⇒ **Упражнения:** вам будет необходимо определенным образом менять параметры и структуру существующих в SystemView схем, используя на практике полученные теоретические знания.
- ⇒ **Вопросы:** чтобы проверить и укрепить полученные знания вам будут заданы вопросы по теории и практике связи и DSP.

2.3 Что вы узнаете из «Начиная работу с SystemView»

Вы ознакомитесь с SystemView и оцените возможности, которые предлагает данная программа в проектировании DSP и решении следующих практических задач:

- представление временных сигналов;
- представление и анализ частотных сигналов;
- проектирование цифрового фильтра FIR и фильтра IIR;
- выполнение адаптивных систем DSP;

2.4 Ссылки на упражнения

У Вас есть возможность открывать упражнения напрямую – достаточно нажать левой кнопкой мыши на ссылку, содержащую название файла очередного упражнения, которые будут то и дело встречаться в тексте «Начинаем работать с SystemView». Ссылки будут выглядеть, например, так:

[Digital Comm\Getting Started\intro\first.svu](#)

Обратите внимание на то, что директорию «Digital Comm» можно найти в пути, указанном при инсталляции SystemView, который по умолчанию имеет вид:

c:\Program Files\SystemView

3 ПЕРВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ SYSTEMVIEW

Чтобы запустить SystemView, дважды кликнете мышкой на значке SystemView, или зайдите в меню Windows “**Start**”, выберите группу программ “**SystemView by ELANIX**”, а затем среди них – “**SystemView by ELANIX**”.

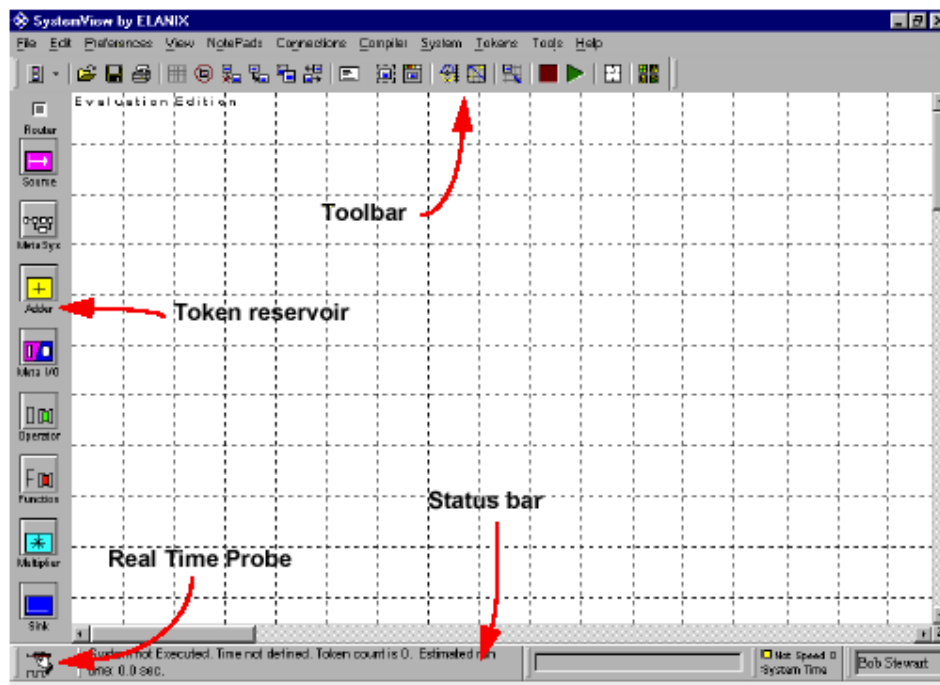


Рисунок 3.1 – Дизайн SystemView и место для проектирования

Когда программа запустится, и будут закрыты все окна, содержащие сообщения по поводу запуска, вы должны увидеть окно проектирования, такое, как показано на рисунке 3.1. Ключевыми элементами пространства проектирования в SystemView являются **toolbar** (панель инструментов), **status bar** (строка состояния), и **token reservoir** (резервуар символов).

3.1 Используемые в тексте обозначение нажатий на кнопки мыши

Работа в SystemView предполагает широкое использование мыши. Ниже, на рисунке 3.2, представлена памятка символов, которые обозначают определенное нажатие на ту или иную кнопку мыши или мыши и клавиатуры.

Мышь:

- нажать один раз на левую кнопку мыши
- нажать один раз на правую кнопку мыши
- дважды нажать на левую кнопку мыши
- нажать и не отпускать левую кнопку мыши
- нажать и не отпускать правую кнопку мыши

Клавиатура + мышь:

- CTRL - удерживая клавишу «CTRL» нажать один раз на левую кнопку мыши
- ALT - удерживая клавишу «ALT» нажать один раз на левую кнопку мыши
- SHIFT - удерживая клавишу «SHIFT» нажать один раз на левую кнопку мыши
- CTRL - удерживая клавишу «CTRL» нажать и не отпускать левую кнопку мыши
- CTRL ALT - удерживая клавишу «ALT» нажать и не отпускать левую кнопку мыши

Рисунок 3.2



Рисунок 3.3 – Панель инструментов холста проектирования



Действие 1. Исследуем основную панель инструментов. (toolbar)

Перемещайте курсор мыши по всем кнопкам панели инструментов (при этом не нажимайте на какую-либо из кнопок мыши!) от одной к другой, не надолго задерживая его на каждой, обращая внимания при этом название кнопки, которое высвечивается в строке состояния (status bar).

Вам следует запомнить, как называется каждая кнопка (Смотрите рисунок 3.4).

Указанное выше нужно проделать также с резервуаром символов (token reservoir).

Чтобы воспользоваться любой из панелей инструментов, достаточно навести курсор на кнопку, обозначающую действие, которое вы хотите произвести и . (Если вы выбрали какую-либо кнопку, нажали на нее и в результате курсор окне проектирования стал выглядеть следующим образом: , нажмите ESC чтобы выйти из запущенной функции.)

Попробуйте запустить функцию «Перерисовка» (Redraw) из основной панели инструментов  на .



















- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | - открыть модель системы |  | - разъединить лексемы |
|  | - закрыть модель системы |  | - соединить лексемы |
|  | - распечатать модель системы |  | - дублировать лексемы |
|  | - очистить окно проектирования |  | - развернуть лексемы |
|  | - стереть объекты |  | - написать новую заметку |
|  | - создать новую мета систему |  | - отменить/остановить действие системы |
|  | - просмотреть мета систему |  | - запустить систему |
|  | - просмотреть корневой граф системы |  | - определить системное время |
|  | - просмотреть предварительный график модели системы |  | - открыть окно анализа |
|  | - перерисовать модель системы | | |

Рисунок 3.4 – Основная панель инструментов (toolbar)















- | | | | |
|---|----------------------------------|---|------------------------------|
|  | - пассивный маршрутизатор |  | - универсальный оператор |
|  | - универсальный источник |  | - универсальная функция |
|  | - универсальная мета система I/O |  | - мультиплексор |
|  | - сумматор |  | - универсальный вывод (sink) |
|  | - универсальная мета система | | |

Рисунок 3.5 – Резервуар символов (token reservoir)

Для того, чтобы поместить какой-либо из объектов резервуара символов , или  на значке и тащите его курсором мыши туда, куда вам надо.

Действие 2. Создаем лексемы моделирования


 по значку универсального источника , а теперь перенесите значок универсального вывода в окно проектирования, для этого надо  и тащить курсором значок .



Основная панель инструментов (*toolbar*) обеспечивает следующие возможности: связывание лексем (где лексемами могут быть универсальный источник, цифровой фильтр, усилитель и др.); дублирование лексем; разъединение лексем; удаление лексем; определение параметров моделирования системы, для запуска/остановки процесса моделирования работы системы; некоторые формы анализа системы.

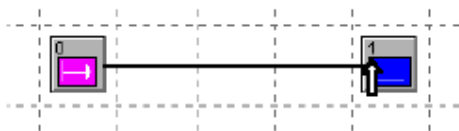
Действие 3. Связывание лексем.

Из предыдущего задания у вас в окне проектирования должны находиться лексемы универсального источника и вывода:



Эти лексемы можно связать между собой кнопкой , при этом выбрав нужные вывод и ввод лексемы.

Для большего удобства осуществления данной операции можно связать лексемы, перетаскивая курсор мыши от одной лексемы к другой. Поместите курсор мыши на правый угол значка универсального источника , при этом обратите внимание на то, что появляется стрелка связи . Теперь сделайте двойной щелчок левой кнопкой мыши и тащите курсор до значка вывода, затем отпустите кнопку мыши:




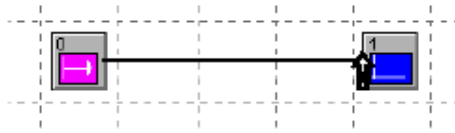
Должна образоваться связь.

Действие 4. Разъединение лексем.

Разъединение лексем осуществляется так же, как и связывание, только при этом используется кнопка .

Для большего удобства осуществления данной операции можно разъединить лексемы, перетаскивая курсор мыши от одной лексемы к другой. Поместите курсор мыши на входной элемент, который вы собираетесь отсоединить, при этом обратите внимание на то, что появляется стрелка

разъединения . Теперь сделайте двойной щелчок левой кнопкой мыши и тащите курсор до значка вывода, затем отпустите кнопку мыши:




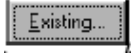
3. 2 Открываем проект SystemView.

Для того, чтобы запустить процесс моделирования, очевидно, что мы должны либо создать новый проект, объединяя определенные лексемы, либо открыть уже существующий проект. В этом разделе мы будем пользоваться уже существующим проектом: моделью простого генератора синусоиды, или дисплея осциллографа.



Действие 5. Открываем файл SystemView

Щелкните по меню “File“ (Файл) и выберете “Open Existing System“. Или можно воспользоваться комбинацией горячих клавиш CTRL+O. Откройте файл

`Getting Started\intro\first.svu`

Обратите внимание, что открыть существующую систему можно щелкнуть по значку , и затем кликнув по кнопке  в основной панели инструментов. (Не забывайте, что директорию «Начинаем работать с SystemView» можно найти здесь):

`c:\Program Files\SystemView\Digital Comm`
(при установке по умолчанию).)

Теперь на экране должны появиться две связанных между собой лексемы:  - генератор синусоидальных сигналов и  sink анализа. Также вы должны увидеть несколько заметок, содержащих информацию для пользователя.

3.3 Просмотр информации, которая содержится в лексемах.

У значков лексем в SystemView содержат мнемоническую информацию. Обратите внимание, например, обратите внимание, что на крайнем левом значке изображена синусоида, это означает, что данная лексема ни что иное как генератор синусоидальных сигналов. Пользуясь мышкой можно получить более подробную информацию о той или иной лексеме.

Действие 6.

Получение информации о лексемах. Удерживая курсор мыши на какой-нибудь из лексем (нажимать какую-либо кнопку нет необходимости), вы можете наблюдать информацию в нижнем левом углу строки состояния и появляющемся информационном блоке (рисунок 3.6).

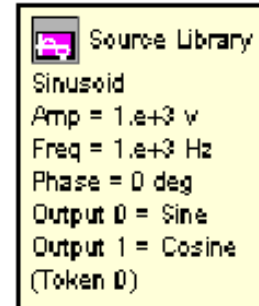
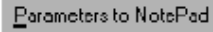

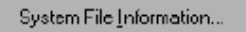


Рисунок 3.6

Действие 7. Параметры для заметки.

Поместите курсор мыши на лексему, нажмите правую кнопку мыши, выберите . Теперь на холсте проектирования будет постоянно находиться заметка, подробно характеризующая данную лексему. Чтобы убрать заметку вам потребуется кнопка стирания объектов  из основной панели инструментов (взгляните на рисунок 3.3). Обратите внимание, что пользуясь панелью инструментов, можно в любой момент выбрать пустую заметку.

Действие 8. Информация о файле, содержащем данную систему.

Левой кнопкой мыши кликните на меню "File" а затем щелкните на . Заметьте, что информация которая при этом просматривается изменяется вслед за изменением файла, содержащего систему.

3.4 Устанавливаем в модели системы время и частоту дискретизации

Прежде чем запустить процесс моделирования, мы должны убедиться в том, что установлена частота дискретизации и что модуляционное время или число выборок при котором должна работать модель системы также правильно установлена.

Для того, чтобы установить временные параметры системы нужно воспользоваться кнопкой с изображением «остановившихся часов» на основной панели инструментов.

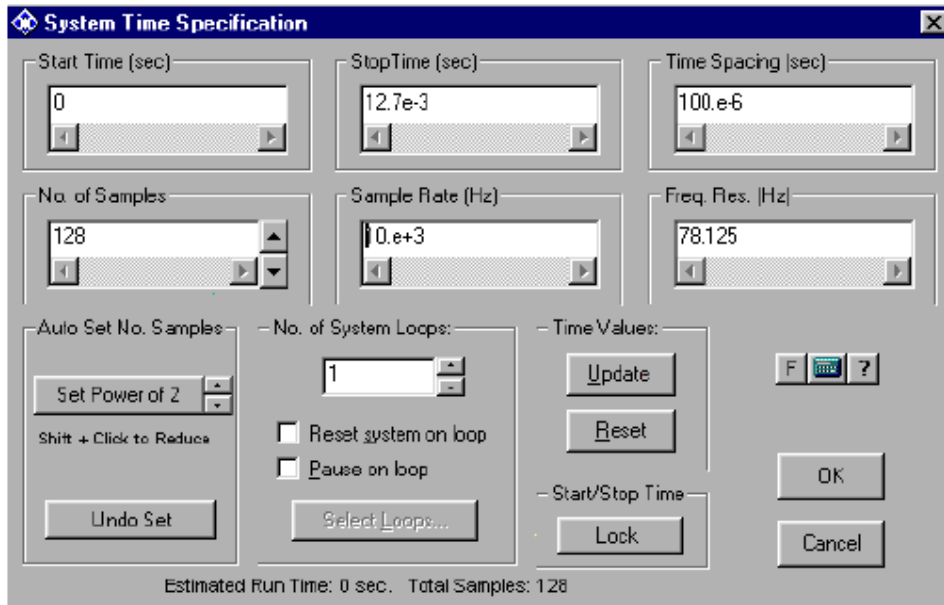


Рисунок 3.7 – Диалоговое окно спецификации времени SystemView

Действие 9. Определяем время в системе.

Щелкните по кнопке, с изображением «остановившихся часов», появится диалоговое окно «Технические требования системного времени» (“SYSTEM TIME SPECIFICATION”). Проверьте, вы все еще должны находиться в файле

`Getting Started\intro\first.svu`

Установите **Sample Rate (Hz)** (частота дискретизации) на 10000 Гц, если она еще не установлена на эту величину. (Просто напечатайте 10000 в строке параметра и нажмите «Вернуться».) Обратите внимание, что SystemView затем выведет частоту дискретизации в форме с плавающей точкой.

Установите **No. of Samples** на 100 и затем нажмите «Вернуться». Обратите внимание что системное **StopTime (s)** автоматически изменилось на правильное количество секунд. Общее время моделирования рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \text{Simulation Time} &= \text{No. of Samples} / \text{Sample Rate (Hz)} \\ &= \text{Stop Time} - \text{Start Time} \end{aligned}$$


SystemView также позволяет гибко изменять количество выборок изменяя время модуляции. Введите в **StopTime (s)** значение 0.5 секунд, в поле **Start Time (s)** введите 0 и нажмите «Вернуться». Заметьте, что количество выборок изменилось на 5001. (Количество выборок равняется 5001 так как

первая выборка на времени=0, а последняя выборка на времени=0.5 секунд. Это тождественно количеству выборок равному 5001, то есть от 0 до 5000.)

3.5 Арифметические действия над параметрами

Обратите внимание, что в функции диалоговых окон SystemView входят арифметические действия над параметрами. Например, в последнем действии, которое вы выполняли, количество выборок было введено как 50+50, но после того, как пользователь нажал на «Вернуться» SystemView вывел результат этого выражения 100. Сложение, вычитание, умножение и деление обозначаются +, -, *, / соответственно. Вы также можете использовать «^», для возведения числа в степень.



Действие 10. Арифметические действия над параметрами.

Введите в диалоговом окне  в поле количества выборок выражение $2*40+20$. SystemView посчитает это, как 100. Любые данные, вводимые в диалоговые окна в SystemView могут быть в виде арифметических выражений.

3.6 Устанавливаем количество выборок для FFT

Для многих видов модуляции вы будете анализировать область времени выбора сигналов, которая производится SystemView, посредством инструментов спектрального анализа, то есть FFT (быстрое преобразование Фурье). Просмотрите Приложение E, чтобы убедиться, что FFT – удобный и быстрый алгоритм для выполнения дискретного преобразования Фурье. Условный FFT алгоритм использует набор точек данных во второй степени. (Вообще FFT обсуждаются в этом учебнике несколько позже.) Поэтому в SystemView есть удобная кнопка, которая устанавливает количество выборок со степенью 2. Кнопка находится в диалоговом окне *определение системного времени* (кнопка с изображением остановившихся часов).

Действие 11. Количество выборок:

В окне определения системного времени , щелкните по кнопке . Стрелки вверх и вниз можно использовать для того, чтобы увеличить и уменьшить количество выборок соответственно. Обратите внимание, что если дополнительно щелкнуть, то количество выборок в модуляции увеличится до следующей степени двойки (например, от 64 до

128, до 256, до 512). Эта функция добавлена просто для удобства пользователя.

Прежде чем продолжать поставьте обратно на 100.

3.7 Запускаем процесс моделирования.

На данном этапе система готова к запуску.

Действие 12. Запускаем модуляцию.

Чтобы запустить моделирование, нажмите в панели задач на кнопку



В процессе моделирования в левом нижнем углу строки состояния появляется перемещающаяся полоса,



которая показывает, на каком этапе находится процесс моделирования. Сигнальное окно показывает результаты процесса моделирования.

Обратите внимание, что вы можете изменять окно вывода первое, щелкнув по окну, или дважды щелкнув, менять размеры окна меняя положение опорных точек. Вы также можете изменять цвета в окне, для этого нужно щелкнуть правой кнопкой мыши и выбрать цвет на который вы хотите попенять имеющийся в данное время.

Вопрос.

Какова наивысшая амплитуда синусоиды и частота в окне вывода 1? Сопласуется ли это с параметрами генератора синусоидальных сигналов? Размышляя над ответами, обратите внимание, что окно вывода показывает первый по очереди участок между выборками.

Окна вывода в окне проектирования SystemView позволяют быстро проанализировать данные. Однако для более подробного анализа данных используется окно анализа SystemView

3.8 Окно анализа в SystemView


SystemView обеспечивает полный набор инструментов анализа, при помощи которых выходные данные могут быть тщательно рассмотрены и проанализированы. А теперь мы покинем окно проектирования

, и переместимся в окно анализа.


Действие 13. Окно анализа.

Поменяйте число выборок в примере

`Getting Started\intro\first.svu`

на 128 и перезапустите процесс модуляции. щелкните по  в основной панели инструментов, вы переместитесь в окно анализа



Теперь вы находитесь в окне анализа , которое содержит выходные данные предыдущего процесса моделирования, который вы запустили на выполнения в окне проектирования SystemView. Окно должно показать 128 выборок смоделированных сигналов. Обратите внимание на то, что ось абсцисс (X) – ось времени, а ось ординат (Y) показывает «напряженность» или амплитуду вывода.

Панель инструментов окна  содержит ряд кнопок




Рисунок 3.8 – Панель инструментов окна анализа SystemView.


Действие 14. Кнопки панели инструментов.

Перемещайте курсор мыши, задерживая его не надолго поверх каждой кнопки в панели инструментов, при этом будет появляться блок подсказки, в котором описана функция той или иной кнопки. (Для того, чтобы увидеть блок подсказки, не нужно нажимать ни на какую из кнопок мыши.)


Действие 15. Только выборки.

Щелкните по кнопке с изображением разъединенных точек , при этом на графике отобразятся фактические значения. Щелкните еще раз и заметьте при этом, что изображение на графике возвратится к формату объединенных точек.


Действие 16. Установка первого порядка.

Щелкните по кнопке  на панели инструментов, при этом (первый порядок) интерполяция точек переключаются на первый порядок, если щелкнуть еще раз, переключаются обратно. (Интерполяция первого порядка обозначает, что между двумя последовательными выборками проводится прямая линия.)

Действие 17. Логарифмирование оси абсцисс.

На панели инструментов найдите кнопку LogX  и щелкните по ней. Обратите внимание на эффект, который производит логарифмирование временной оси (X). Щелкните по ней еще раз, чтобы переключить ось из логарифмического режима в обычный.


Действие 18. Логарифмирование оси ординат.

На панели инструментов найдите кнопку LogY  и щелкните по ней. Обратите внимание на эффект, который производит логарифмирование оси амплитуды сигнала (Y). Щелкните по ней еще раз, чтобы переключить ось из логарифмического режима в обычный.

Вопрос.

Когда вы используете логарифмирование для оси значений амплитуд сигнала, какие результаты выдает SystemView для отрицательных значений?

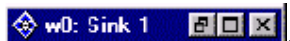
Действие 19. Превращаем все окна в значки.

Щелкните по кнопке превращения всех окон в значки  на панели инструментов. Запомните, при нажатии на эту кнопку все окна обратятся в значки. (В нашем примере есть только одно окно.)


Действие 20. Открыть все окна.

Щелкните по кнопке открыть все . Все окна теперь открыты.


Чтобы открыть одно окно, можно щелкнуть по значку






Действие 21. Анимлируем.

Щелкните по кнопке анимировать  на панели инструментов. SystemView обеспечит «червеподобную» временную анимацию. Хотя эта анимация не особенно-то и необходима в нашем примере, она может быть с успехом использована для окон с графиками, на которых изображено несколько сигналов одновременно.



Действие 22. Инструмент «увеличение».

Щелкните по значку с изображением лупы , выберете группу сигналов, которую хотите увеличить и щелкните.


Обратите внимание, на то, что после того, как вы произвели увеличение нужной вам части графика инструмент увеличения остается включенным, чтобы его отключить, нужно нажать ESC или кликнуть по .

; если кликнуть по кнопке перемасштабировать  (CTRL+R), то вернется первоначальный масштаб окна.

Действие 23. Микропросмотр.

Щелкните по кнопке микропросмотр  на панели инструментов, теперь если вы будете проводить мышкой по основному окну данных, то при этом будет появляться окно увеличения. Кликнете по , чтобы отключить этот инструмент.

Действие 24. Статистика.

Щелкните по кнопке «Статистика»  на панели инструментов. SystemView обеспечит конспект, содержащий параметры сигналов, видимых в окне с графиком.

Убедитесь, что эти статистические данные правильные для синусоиды, которую вы можете видеть.

(Обратите внимание на то, что запись информации в виде « $y=mx+c$ », пытается придать форму точной линейности ваших данных (в смысле наименьшего возведения в квадрат), для многих сигналов это абсолютно неприемлемо, как и в нашем примере.)

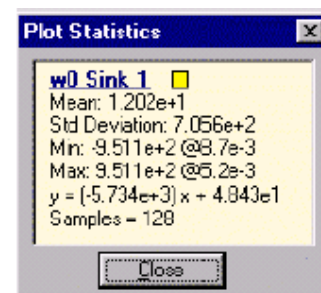

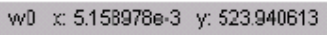




Рисунок 3.9 – Окно статистики

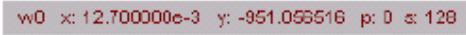
3.9 Движения мыши в окне анализа

Пользуясь мышью в окне  можно получить точные значения отдельных точек данных или выборок. Вы также можете подробно рассмотреть подмножество выборок увеличением и масштабированием.

Действие 25. Точки на осях X-Y.

Поместите курсор мыши «около» синусоиды. Обратите внимание, что при этом x- и y-значения положения курсора мыши и название данного окна с графиком выводятся в информационном блоке справа от панели инструментов .



Теперь щелкните по значку с изображением соединенных точек , чтобы убедиться, что все фактически существующие точки  в графике присутствуют. Поместите указатель мыши на верхушку последней выборки и вы увидите, что информационный блок станет красным и в нем появится дополнительная информация о номере данной выборки; в данном

случае выводится 128: . Значение $p=0$ относится к номеру графика, позже вы увидите, что в одном окне может быть более одного графика. Обратите внимание, что данные в информационном блоке выводятся в форме с плавающей точкой.


Обратите внимание, что значения по оси абсцисс – это фактическое время, $127/10000 = 12.7 \text{ мс}$, а значения по оси ординат – это фактическая величина амплитуды, то есть

$$1000 \sin \pi(nf/f_s) = 1000 \sin \pi(127*0.1)$$

Действие 26. Дифференцирование:

Щелкните по кнопке дифференцирования по x , y  на основной панели инструментов, и вы увидите, что в окне появится специальный дифференцирующий курсор .

Теперь подвигайте курсор мыши в разных направлениях, появится информационное окно, в котором будет указываться расстояние по x - и по y - от дифференциального курсора и абсолютное x - и y -расположение движущегося курсора.


Дважды щелкните по дифференцирующему курсору чтобы убрать его или щелкните по кнопке дифференцирования по x , y  на основной панели инструментов, что тоже уберет курсор.


Вопрос.

Сделайте так, чтобы на графике синусоиды все точки были соединены. Частота синусоиды была установлена на 1000Hz, амплитуда на 1000, обсудите почему (очевидно!), максимальная амплитуда, показанная в окне анализа фактически немного меньше, чем 1000.


Для того, чтобы более детально просмотреть отдельные участки данных, их можно выделить мышью.

Действие 27. Увеличение с помощью мыши.



В окне , дважды щелкните в левом верхнем углу окна с синусоидой и выберите область синусоиды для увеличения перетаскивая мышью к блоку для увеличения. Отпустите кнопку мыши и теперь должен быть показан только выбранный участок. Обратите внимание, что вы можете перемещать изображение слева направо используя полосу прокрутки в нижней правой части окна с графиком.

Нажмите левой кнопкой мыши по кнопке «выйти из масштабирования»  в основной панели инструментов или (CTRL+R), чтобы выйти из режима масштабирования и увидеть все точки данных.

Действие 28. Увеличение в нескольких окнах сразу.

Если у вас открыто несколько окон одновременно, вы можете выбрать в одном окон область времени (или частоты), потом  и во всех открытых окнах (то есть находящихся в данный момент не в виде значка) произойдет увеличение точно той же области времени. В нашем примере у нас есть только одно открытое окно, поэтому для вас пока подобное действие не очевидно. Позже, в действии 33, вы сможете еще потренироваться в увеличении нескольких окон сразу.



3.10 Анализируем данные моделирования. Калькулятор окна моделирования .

Калькулятор  ЦОС в пределах окна анализа , обеспечивает мощное и простое в использовании средство анализа. Например, некоторыми возможностями калькулятора являются:

- Отображение подмножества текущего окна
- Работа с данными окон
- Анализ области частоты сигнала
- Сложение, вычитание, умножение волн
- Стирание/добавление сегментов данных
- Корреляция и свертывание
- Стили графиков: гистограмма, график разброса, график водопада.
- Квантование времени
- Составляется график частоты передачи ошибочных битов и стандартная суперпозиция графиков.

Когда калькулятор включен, выбранная операция выполняется в специальном диалоговом окне, которое обычно появляется внутри текущего окна.

Действие 29. Алгебраические вычисления.

Щелкните по кнопке «калькулятор»  в нижней левой части экрана. Вынесете алгебраическую вкладку  вперед при помощи щелчка мыши, и вы увидите несколько радио-кнопок, как показана на рисунке 3.10.

Алгебраическое множество операции, которые могут быть произведены над синусоидой, $x(t)$, могут быть обработаны следующим образом:

- Возведение в квадрат
- Извлечение квадратного корня
- Тригонометрические операции \sin , \cos , \tan
- Возведение в степень a ; логарифмические вычисления

- Вычисление минимума, максимума и среднего.

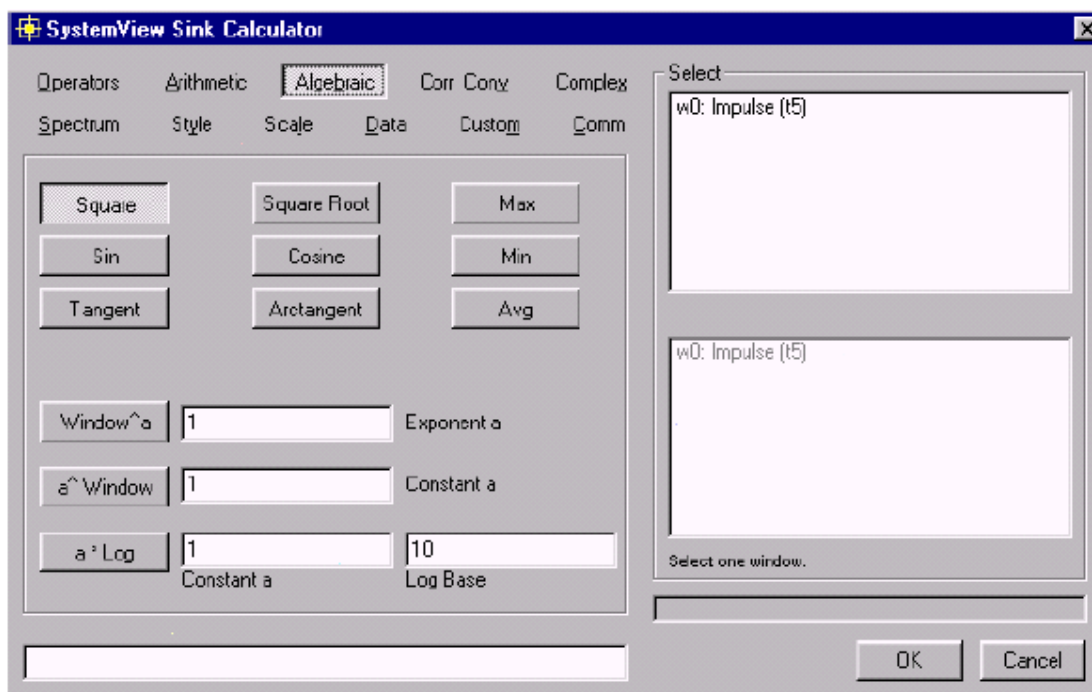


Рисунок 3.10 – Диалоговое окно калькулятора SystemView







Более детальную информацию можно найти в калькуляторе в меню «ПОМОЩЬ».

Действие 30. Возведение сигнала в квадрат.


Зайдите в диалоговое окно калькулятора, выберете вкладку алгебраических операций, кликните по радио-кнопке с надписью «КВАДРАТ» (SQUARE). Обратите внимание, справа сверху есть блок с параметрами **Select one window:**, который определяет, к какому блоку с выходными данными будет применена эта операция. В нашем случае доступно выбрать только “*w0: Sink 1*”, что, конечно же является нашей синусоидой.

Как только вы нажмете ОК, создается новое окно и операция будет выполнена. Обратите внимание, в описании нового окна стоит название “*w1: Square of w0*”.


3.11 Перемещение от одного окна к другому

Заметьте сразу: вы создали несколько окон с графиками и теперь вам будут одинаково полезны все следующие кнопки: иконизировать все , открыть все , развернуть горизонтально , развернуть вертикально , каскадировать , маркеры сегментов .



Действие 31. Иконизировать все.

Щелкните по кнопке иконизировать все , обратите внимание, что все ваши окна превратились в значки.




Действие 32. Открыть все окна.

Щелкните по кнопке открыть все окна , чтобы открыть все окна обратно.


Действие 33. Одновременное увеличение в нескольких окнах.

Из всех открытых окон выберите любые два, затем **CTRL ALT** , тем самым вы произведете увеличение одновременно в обоих окнах. Нажмите на , чтобы вернуть первоначальный масштаб.

Действие 34. Упорядочивание окон.

Чтобы разместить окна в одну линию левой кнопкой мыши кликните по кнопке расположить горизонтально . Затем попробуйте также расположить окна вертикально  и каскадировать их .

Действие 35. Маркеры сегментов.

Выберете одно из окон и кликните по кнопке  - маркеры x-сегментов. Вы можете перемещать маркеры в любую желаемую позицию, используя нажатую левую кнопку мыши.

А теперь нажмите правой кнопкой мыши точно на одну из красных полос и вы увидите выпадающее меню, такое, как показано на рисунке 3.11.

Пользуясь этим меню, вы можете увеличивать масштаб, определять интервалы времени, извлекать сегменты, определять статистику сегментов и так далее.

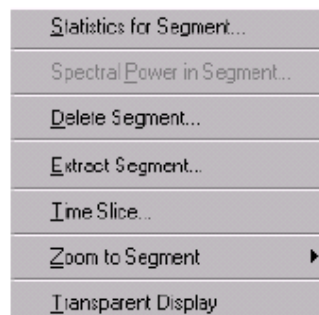
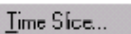


Рисунок 3.11


Попробуйте просмотреть .

Выполните операцию  и посмотрите, что получится.

Вопрос.

Обсудите функциональные возможности операции разделения на интервалы времени, которую вы выполняли в действии 35, а затем для примера разделите на интервалы времени сигнал речи или передачи данных.


Действие 36. Заккрытие окон.

Если вам необходимо закрыть все окна, то средство для этого находится в меню Edit. Вы также можете максимизировать, закрывать и минимизировать окна, нажимая на соответствующие кнопки строки заголовка . Вы можете перемещаться от одного окна к другому, пользуясь меню Windows.



Упражнение 3.1 Исследование окна анализа


Используем предыдущий файл:

`Getting Started\intro\first.svu`



Поэкспериментируйте, создавая новые подобные окна данных и производя над ними алгебраические, арифметические, масштабирования и другие операции, используя кнопку «Калькулятор» .

3.13 Модифицирование/ перезапуск процесса моделирования.


Помните, что в любой момент вы можете вернуться в окно проектирования SystemView. Для этого вам нужно нажать кнопку  на системной панели инструментов (можно также в меню File выбрать ).



Предыдущий процесс моделирования можно запустить опять, возможно с новыми параметрами и, когда вы вернетесь в окно , будут считываться новые выходные данные.



Действие 37. Изменяем параметры.

Вернитесь окно проектирования SystemView. Для этого нажмите  на системной панели инструментов (можно также в панели инструментов выбрать ); убедитесь что вы все еще используете файл


`Getting Started\intro\first.svu`


Измените частоту генератора синусоидального сигнала на 400 Гц. Это можно сделать так: Щелкните по верхней части генератора синусоидальных волн, в появившемся меню выберете  и затем введите новую частоту синусоиды – 400 Гц.

Перезапустите процесс моделирования нажав на кнопку . Перейдите в окно системного анализа . Вы можете вернуться в окно проектирования SystemView, для этого вам нужно нажать

кнопку  на системной панели инструментов (можно также в меню в панели инструментов выбрать  SystemView ...).

Действие 38. Модифицируем окно анализа.

Обратите внимание, что старые данные все еще присутствуют в окне анализа .


Чтобы увидеть новые данные, только что прошедшего процесса моделирования, нажмите на мигающую в панели инструментов кнопку загрузки новых данных .

Теперь новые данные “*w0: Sink 1*” считаны.

Обратите внимание, что все дополнительные окна с графиками относящиеся к окну *w0*, которые возможно создали в предыдущих упражнениях, тоже автоматически модифицируются.

3.13 Частота выборок, приближающаяся к частоте Найквиста

Действие 39.

Частота выборок немного выше $2 \times f_{max}$: вернитесь в окно проектирования SystemView, нажав на кнопку ; убедитесь, что вы все еще используете файл

`Getting Started\intro\first.svu`

Измените частоту генератора синусоидальных волн на 4000 Гц и количество выборок на 512. Перезапустите процесс моделирования и переместитесь в окно анализа, а затем посмотрите на новые данные только что прошедшего процесса моделирования. Увеличивая/уменьшая масштаб и просматривая фактические значения выборок (**помните**, что результаты моделирования в SystemView выводятся с использованием интерполяции первого порядка), убедитесь, что сигнал «правильный».

Теперь снова измените частоту генератора синусоидальных волн на 4900 Гц (что очень близко к $f_s/2 = 5000$ Hz). Перезапустите процесс моделирования, переместитесь в окно анализа, и посмотрите на новые данные только что прошедшего процесса моделирования.

Представление синусоиды с частотой в 4900 Гц абсолютно правильное, хотя вид в окне анализа этого не предполагает. Посмотрите, что происходит на рисунке 3.12, ниже:

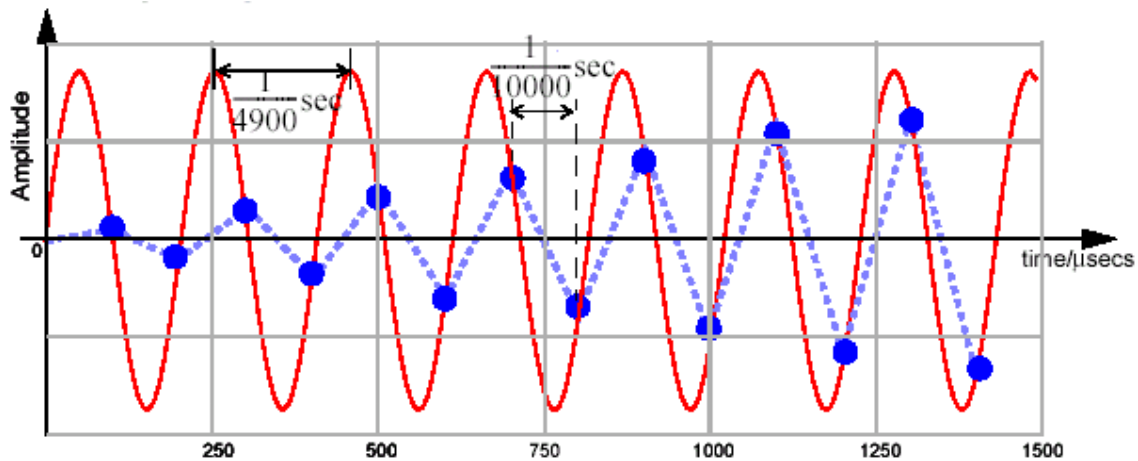


Рисунок 3.12

Так как там более чем две выборки в секунду, в то время как синусоида «перестраивается» используя простой первый порядок удерживания интерполяционный вид графика несколько вводит в заблуждение. Однако, если этот сигнал затем проходит через подходящий DAC, с «хорошим» перестраивающим аналоговым фильтром на выходе, тогда синусоида с частотой 4900 Гц будет получена. Вид DSP области времени может быть обманчивым!

Вопрос.

Вывод предыдущего процесса моделирования должен быть изменен. Попробуйте объяснить, почему это так и просчитать какая частота модуляции в графиках SystemView также использует тригонометрический анализ.


3.14 Блоки обработки выходных данных в SystemView



Любая DSP система состоит из входов и выходов. Как входной, так и выходной сигнал обычно представлены в виде типового сигнала данных. На холсте проектирования в SystemView выходные данные можно представить различными способами – выбирая различные блоки. Блок (Sink) – это просто напросто значок, в который могут быть помещены типовые данные. После того, как данные помещаются в блок, SystemView производит проверку в окне анализа, подходящие ли это данные.

Действие 40. Блок реального времени.


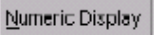



В окне проектирования SystemView убедитесь, что вы все еще находитесь в файле

`GettingStarted\intro\first.svu`

Обратите внимание, блок SystemView, который вы видите выглядит так: . Функцией этого блока является выводить на экран амплитуду сигнала в зависимости от времени, после запуска процесса моделирования.

Дважды кликните по блоку  и измените его на блок реального времени . Запустите систему, обратите внимание на разницу: блок реального времени изменяется в процессе моделирования, в то время как блок SystemView ждет до тех пор, пока процесс моделирования не закончится, после этого выводит результаты на экран. Если вы измените количество выборок, то сможете увидеть разницу в функциональности более четко.

Действие 41. Блок списка данных.


Дважды кликните по значку реального времени  и выберите группу блоков  и из них выберите значок списка данных . Установите количество выборок на 64, кликнув один раз по кнопке с изображением часов  в окне .


Запустите систему и обратите внимание, на то в каком стиле блок списка данных выводит информацию:

```
SAMPLE No. : TIME : (SIGNAL VALUE)
```


Можно перемещаться по окну вывода данных с помощью скроллинга, а также увеличивать размер до желаемого простыми движениями мыши.


Действие 42. Блок окончательного значения.

Поменяйте значок блока на . Запустите систему и обратите внимание, что на экран просто выводится окончательное значение, получаемое на выходе.


Обратите внимание, что когда вы заходите в окно анализа, (нажимая левой кнопкой мыши на кнопке ) вы можете видеть только одну выборку (окончательное значение на выходе).

Действие 43. Блок статистики.

Измените значок текущего блока на значок блока статистики . Запустите систему и обратите внимание, что на экран выводится статистика сигналов.

Заметьте также, что когда вы зайдете в окно анализа, нажимая левой кнопкой мыши на кнопке , все данные этого блока доступны для анализа так же как и раньше.


Действие 44. Блок экспорта анализа.

Кликните дважды по значку блока статистики  и выберите группу блоков **Analysis/Export**. Перемещая курсор мыши от одного значка к другому, кратко рассмотрите средства, которые предлагает каждый из показанных блоков. Во всех случаях, благодаря функциональным возможностям значков блоков в окне проектирования SystemView выходные данные ВСЕГДА сохраняются, для того чтобы потом их можно было использовать в окне анализа.


3.15 Одиночные шаги – одна выборка за все время

Часто бывает полезно производить пошаговое моделирование одной выборкой за все время, для того чтобы проследить специфические значения каждой выборки.

Действие 45. Пошаговое моделирование

В окне проектирования, кликните один раз по меню **System**, затем кликните один раз левой кнопкой мыши по **Single Step Execution**. Затем, кликните один раз левой кнопкой мыши по кнопке запуска системы моделирования , для того, чтобы запустить пошаговый процесс моделирования.

Обращая внимание на комментарии в статус-баре (слева внизу экрана), используйте клавишу «Пробел» (spacebar) для перехода к следующему шагу моделирования. Обратите внимание, как изменяется моделирование за одну выборку в период времени.

Когда вы будете готовы прервать процесс моделирования, нажмите на кнопку остановки процесса моделирования .

Отключите пошаговое моделирование, выделив **Single Step Execution** из меню **System**. Отметка, находившаяся ранее рядом с этим пунктом, теперь должна исчезнуть.

3.16 Демонстрационные примеры SystemView

Теперь, когда вы исследовали основы работы с SystemView, вам будет полезно взглянуть на демонстрационные примеры, в которых использованы некоторые другие возможности SystemView. Демонстрационные примеры вы можете найти в меню помощи **Help**.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ

В этом разделе мы создадим модель слегка усложненной системы путем добавления к ней нескольких дополнительных компонентов. В итоге система будет состоять из суммы двух синусоидальных и одного источника шума, проходящей через два блока (как показано на рисунке 4.1).

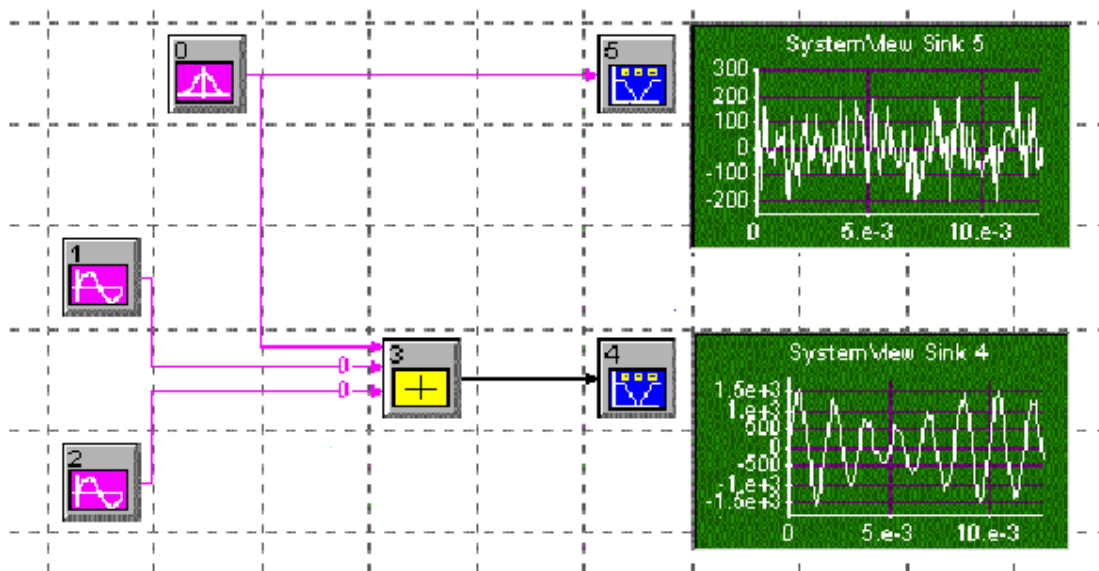



Рисунок 4.1 – Простейший проект SystemView

Систему, показанную на рисунке 4.1 можно создать двумя способами:

- 1) модифицировать систему, содержащуюся в файле

`Getting Started\intro\first.svu`

2) просто нажать на кнопку «создать новую систему»  на панели инструментов, а затем сгенерировать необходимые блоки и связи между ними несколькими движениями мыши.

4.1 Редактирование существующего проекта SystemView

Используя возможности панели инструментов мы модифицируем



`Getting Started\intro\first.svu,`

дополняя систему необходимыми нам блоками.

Действие 46. Модификация систем

Отсоедините значок генератора синусоидального сигнала от блока в системе `Getting Started\intro\first.svu` (если вы забыли как это делается, обратитесь с действием 3 СОЕДИНЕНИЕ и действием 4 РАЗЪЕДИНЕНИЕ).

Действие 47. Дублирование значков


Нажмите левой кнопкой мыши по кнопке «дублировать» . Затем, выделите значок с изображением генератора синусоидального сигнала  и, удерживая левую кнопку мыши, перетащите новый идентичный значок в любое подходящее место.



Действие 48. Сокращенный процесс дублирования

Нажмите правой кнопкой мыши по значку, который вы собираетесь дублировать, и нажатием левой кнопки мыши выберите в выпадающем меню опцию `Duplicate Token`.

Установите в одном из источников синусоидального сигнала амплитуду равной 1000 В, а частоту 600 Гц, а в другом, который вы только что создали, амплитуда должна быть равной 500 В, а частота 500 Гц.

Получить доступ к параметрам источника можно поместив курсор мыши на значок, изображающий необходимый источник и кликнув правой кнопкой мыши, а затем в выпадающем меню выбрать опцию `Edit Parameters...`, или дважды кликнув левой кнопкой мыши по значку и один раз левой кнопкой мыши – по кнопке `Parameters...`.

Обратитесь к хранилищу значков в левой части окна проектирования и создайте новый генератор-источник следующим образом: в левой части хранилища значков найдите изображение генератора-источника  и кликните по нему дважды или просто перетащите его, удерживая левую кнопку мыши, на холст проектирования.





 по генератору-источнику, который вы создали, и, сперва выберите `Noise rPN`, а затем выберите  по источнику шума Гаусса (таким образом вы превращаете обобщенный значок генератора в специфический!).


Установите значение параметров следующим образом:

`Mean [v]: = 0`


`Std Deviation [v]: = 100`


Теперь вам необходимо создать новый значок модуля вывода. Это можно сделать двумя путями:

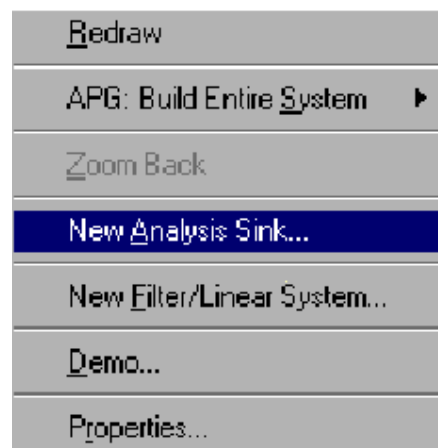
- 1) дублировать существующий SystemView модуль вывода .
- 2) создать  (“*GENERIC SINK*”), используя изображение блока генератора в хранилище значков, дважды кликнув по нему или перетащив его в окно проектирования, удерживая левую кнопку мыши. Имеется большое количество различных блоков, которые можно создавать способами описанными выше, мы же будем использовать модуль вывода SystemView нажатием левой кнопки мыши по , а затем выбрав модуль вывода  SystemView.

Обратите внимание, что вы можете давать блокам удобные мнемонические имена, например «Шум». Для этого нужно напечатать имя, которое вы хотите присвоить значку в разделе имени в меню .



Действие 49. Упрощенная генерация значка (с помощью «горячих клавиш»).

Так как значок анализа  используется наиболее часто, то для удобства существует так называемая комбинация «горячих клавиш»: ALT+CTRL+левая кнопка мыши.

Чтобы создать  в окне проектирования, достаточно нажать все эти клавиши одновременно. Также не забывайте, что если навести курсор мыши область холста проектирования, не занятую значками и нажать правую кнопку мыши, появится выпадающее меню, в котором можно выбрать опцию «создать новый значок анализа».



Действие 50. Соединить и строить.

Используя кнопку «соединить»  из панели инструментов можно соединять модули как показано на рисунке 4.1, выше (вам также понадобится значок сумматора , для того чтобы складывать сигналы).

Быстрое соединение. В дополнение к способу соединения, который описан выше, можно воспользоваться следующими действиями, для того чтобы произвести соединение: навести курсор мыши на значок источника данных и нажать CTRL+левая клавиша мыши, затем навести курсор мыши на значок принимающего модуля и снова нажать CTRL+левая клавиша




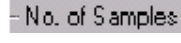
мышь (например от источника синусоидального сигнала к принимающему модулю).





Теперь проектирование системы завершено и она готова к запуску.

4.2 Запуск системы и анализ данных

Спроектированная в предыдущем разделе система в данный момент готова к запуску.


Действие 51. Запускаем процесс моделирования



В окне  (на панели инструментов найдите кнопку  и нажмите на нее) проверьте частоту выборок , сейчас ее значение все еще установлено на 10000 Гц. Укажите  (количество выборок) в процессе моделирования 265.

Запустите процесс моделирования воспользовавшись кнопкой старта . Зайдите в окно анализа , воспользовавшись кнопкой  и посмотрите, что получилось. Чтобы увидеть обновленные данные только прошедшего процесса моделирования, нажмите левой кнопкой мыши на панели инструментов на кнопку .

Действие 52. Совмещение графиков.

Пользуясь калькулятором , выберите  и поместите два графика в одно окно, используя .

Горячие клавиши. Поместить два сигнала в одно окно можно так: нажимаем левой кнопкой мыши по любому из окон с графиками, затем тащим курсор (вместо курсора должно появиться изображение руки, держащей файл ) к другому окну с графиком и там клавишу мыши отпускаем. (Курсор появится только на тех графиках, которые не увеличены в размерах).

В калькуляторе  (левый нижний угол окна анализа) выберите  и вычтите Гауссовский шум из результата суммы двух синусоидальных волн и Гауссовского шума. Теперь вы должны увидеть на графиках только синусоиды.



4.3 Анализ системы при помощи динамического просмотра в реальном времени. Режим осциллографа

Пакет SystemView обеспечивает возможность просматривать сигналы, присутствующие на выходе модулей. Просмотр может происходить двумя способами: в режиме осциллографа и в режиме частотного анализатора. У просмотра имеется два канала и особенностью каждого из них является наличие ключа контроля, который можно найти как на осциллографе, так и на анализаторе спектра. В этом разделе мы рассмотрим особенности работы анализа системы в режиме просмотра в реальном времени.

Действие 53. Запускаем зондирование в реальном времени

В последующих действиях мы будем использовать систему созданную в разделе 4.1. Если у вас этой системы нет, то вы можете открыть файл:

`Getting Started\intro\second.svu`

В разделе время проектирования SystemView , установите количество выборок в 65536. В левом нижнем углу проектирования найдите кнопку зондирования в реальном времени . Наведите на нее курсор мыши, нажмите левую кнопку мыши, и не отпуская кнопку мыши тащите значок зондирования к выходу лексемы, с которой вы работаете. Когда вы отпустите кнопку мыши, находясь на выходе лексемы появится окно системного зондирования, как на рисунке 4.2.

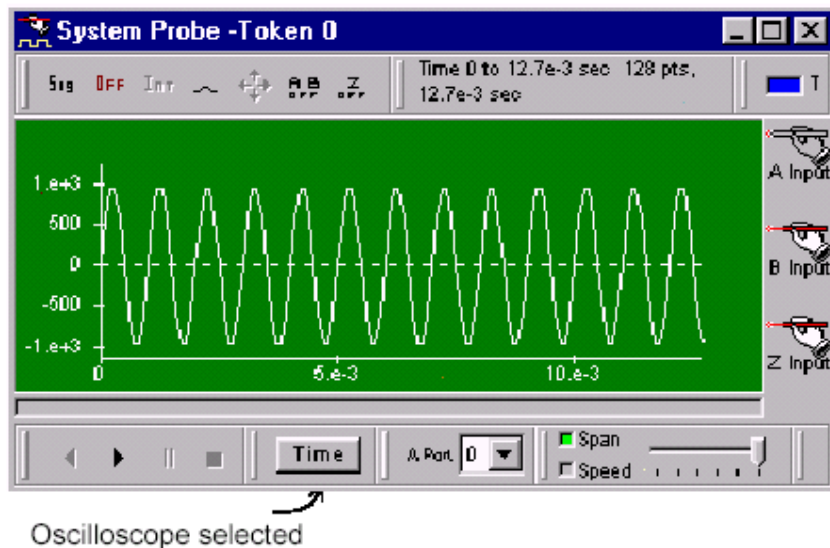




Рисунок 4.2 – Динамический просмотр в реальном времени

Запустите процесс моделирования и смотрите, что будет происходить в окне динамического просмотра, какая информация там будет появляться. В то время, когда система находится в процессе моделирования, просмотрите, что происходит на выходе какой-нибудь другой лексемы. Для этого снова наведите курсор мыши на кнопку просмотра в левом нижнем углу экрана, нажмите левую кнопку мыши, и не отпуская кнопку мыши тащите значок зондирования к выходу другой лексемы. Заметьте, что при этом информация, выдаваемая в окне зондирования, соответственно изменится.


Обратите внимание, что в левом нижнем углу окна динамического просмотра имеется панель с кнопками «перезапуска», «запуска», «паузы» и «прекращения работы системы» .


Действие 54. Управление временным пробегом

В то время как система находится в процессе моделирования (перезапустите систему если необходимо), чтобы уменьшить количество состояний системы показываемых в окне динамического просмотра в едини-


цу времени наведите курсор на каретку  и прижав левую кнопку мыши подвиньте ее в справа налево (при этом напротив опции пробег(span) должна гореть зеленая «лампочка»).



Действие 55 Управление скоростью моделирования/динамического просмотра

Левой кнопкой мыши кликните по лампочке динамического просмотра в реальном времени  и уменьшите скорость моделирования,

передвинув каретку  справа налево.

Действие 56 Наблюдение двух каналов

Существует еще один доступный канал зондирования, канал В. Найдите в окне зондирования кнопку активизации канала В , наведите на нее курсор, прижмите левую кнопку мыши и «тащите» кнопку к выходу исследуемой вами лексемы. Теперь каналы А и В будут одновременно оба активны.

Чтобы оба канала были видимы в окне зондирования, найдите кнопку контроля зондирования  и нажмите на нее три раза, то есть до тех пор пока не появится кнопка , которая является установкой опции показа двух каналов одновременно. Запустите систему и вы увидите, что два канала будут показаны одновременно (рисунок 4.3).

Исследуйте характеристики других средств управления в окне системного зондирования.

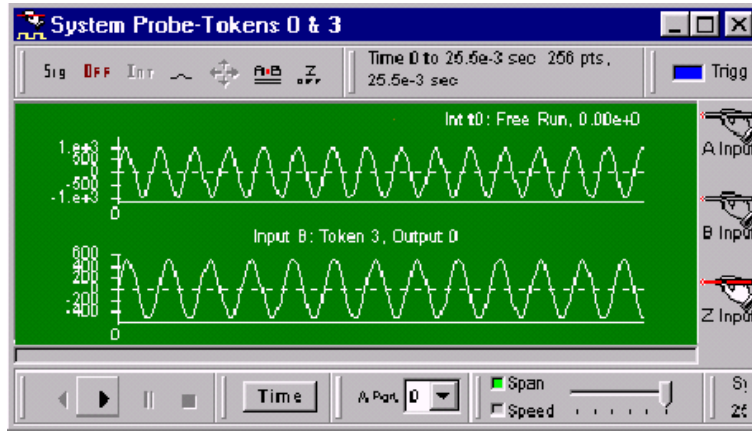


Рисунок 4.3 – Два канала в системе зондирования в реальном времени

Действие 57 Наблюдение напряжения/амплитуды (по оси Y)

Когда мы запускали процесс моделирования, в действиях проделанных выше, ось ординат была в режиме «автошкалы». Однако, при выполнении тех же самых действий с осциллографом можно использовать изменять шкалу оси ординат.

Не важно, идет процесс моделирования или только что закончился, в области сигналов в окне

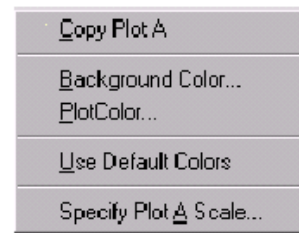


Рисунок 4.4

осциллографа нажмите правую кнопку мыши и обратите внимание на выпадающее меню как на рисунке 4.4.

Выберите левой кнопкой мыши опцию **Specify Plot A Scale...**, и, когда появится диалоговое окно как на рисунке 4.5 измените в нем параметры масштаба на, к примеру, 5000, 5000. Затем перезапустите систему и посмотрите, как выглядят характеристики в новом масштабе.

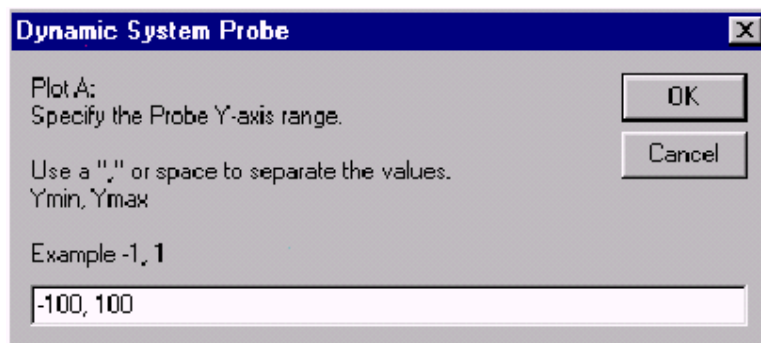
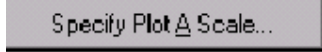


Рисунок 4.5

В области сигналов в окне осциллографа снова нажмите правую кнопку мыши и снова выберите опцию . Обратите внимание, что перед тем, как появляется такое окно, как на картинке 4.5 вам предоставляется возможность вернуться к параметрам шкалы, установленных по умолчанию.

5 ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Теперь вы должны быть достаточно хорошо знакомы с SystemView, настолько, чтобы быть в состоянии быстро собрать системы связи и ЦОС. В этом разделе мы будем использовать SystemView для того чтобы продемонстрировать квантование (преобразование сигналов из аналоговых в цифровые), элайзинг, возможности ввода и вывода аудио сигнала, и генерацию функции плотности вероятности (pdf).

5.1 Квантование сигналов. Моделирование ADC

В этом разделе мы будем использовать квантователь из библиотеки функциональных значков SystemView, чтобы квантовать входной сигнал на фиксированное количество битов. Моделирование в предыдущих случаях входные сигналы различных лексем были с точностью плавающей точки, поэтому для большинства целей мы можем предположить, что (заметного) квантования нет.

Упражнение 5.1 Квантование сигнала

Откройте файл SystemView

```
Getting Started\intro\quantize.svu
```

Система берет (с точностью плавающей точки) квантованный выходной сигнал генератора синусоидального сигнала с амплитудой (напряжения) 0.5 и преобразует его в целое квантованное число. Все источники выходных сигналов в SystemView, по умолчанию установлены на точность с плавающей точкой (исключая, конечно, источники, которые считываются из файла, которые могут быть установлены на точность с фиксированной точкой).

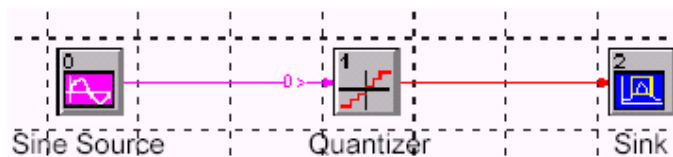


Рисунок 5.1

- (а) Какова амплитуда и частота генератора синусоидальных волн?
 (б) Какова частота выборок в этой системе?

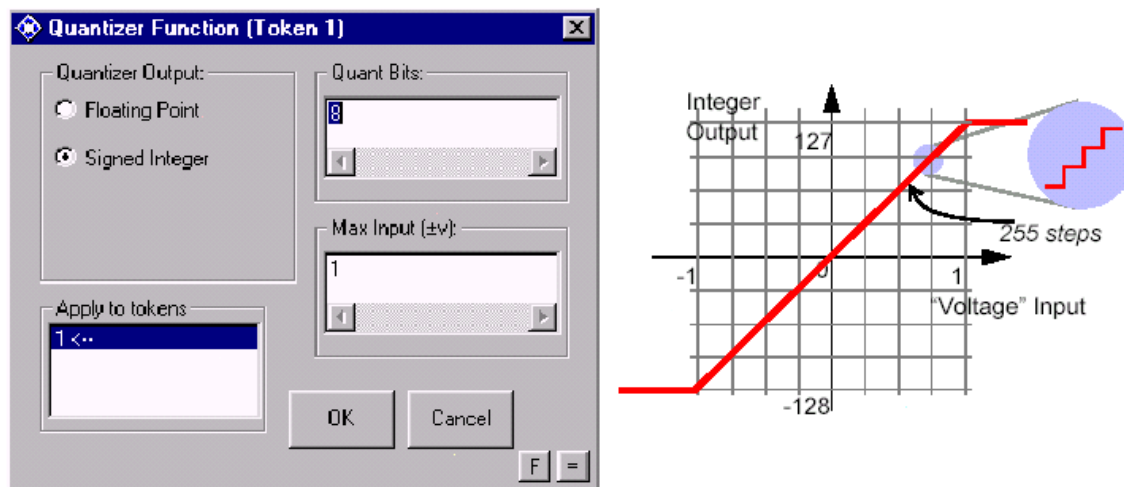




Рисунок 5.2 – Диалоговое окно квантователя и соответствующие характеристики ввода/вывода

(в) Просмотрите параметры значка 8-ми битного квантователя и убедитесь, что имеет входные/выходные характеристики показанные на рисунке 5.2

Обратите внимание, входной квантователь является восьмибитным, поэтому вторичная амплитуда дополнения находится в пределах от -2^7 до 2^7 , например: -128 to $+127$.

(г) Запустите систему и затем в окне анализа убедитесь, что значения выборок такие, как предполагались на выходе квантователя рассмотренного выше. (Не забудьте нажать мерцающую синим цветом кнопку «Загрузить обновленные данные блока» , чтобы увидеть обработанные данные только прошедшего процесса моделирования).

(д) Модифицируйте параметры квантователя  так, чтобы обеспечить трехбитное квантование (8 уровней как показано на рисунке 5.3) с таким же ± 1 колебанием напряжения как раньше. Запустите систему и убедитесь, что результаты такие, как предполагалось, и совпадают с данными таблицами, показанными на рисунке 5.3.

(е) Модифицируйте систему так, чтобы амплитуда синусоидального сигнала на входе была равна 2 В. Запустите систему и обратите внимание на эффект «сжимания» ADC. Это происходит потому, что присутствует проблема нелинейности, которая появляется тогда, когда входное напряжение на ADC слишком высокое.

(ж) Обратите внимание, что в диалоговом окне параметров квантователя, можно настроить вывод так, что он будет выводиться в форме с плавающей точкой или как целое число. Произвести такую настройку можно

при помощи радио-кнопок показанных на рисунке 5.2. Теперь установите форму вывода «с плавающей точкой», запустите процесс моделирования и объясните то, что теперь показывается на выходе.

2^2	2^1	2^0	Decimal Integer
4	2	1	
1	0	0	-4
1	0	1	-3
1	1	0	-2
1	1	1	-1
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3

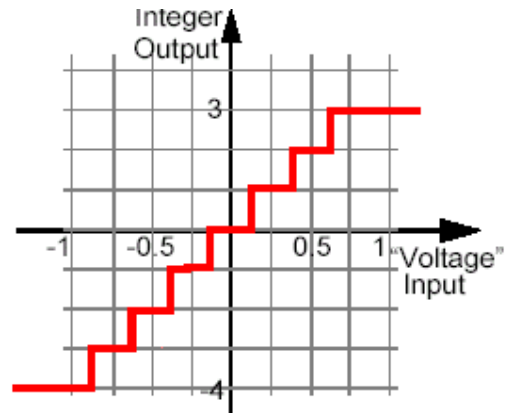


Рисунок 5.3 – 3 битный квантователь, характеристики ввода-вывода

(3) Установите количество выборок на большое число и запустите систему. Теперь кликните правой кнопкой мыши по значку квантизации и в появившемся выпадающем меню выберите опцию `Edit Parameters (Dynamic) ...`. Обратите внимание, что тем самым вы фактически можете динамически обновлять параметры процесса моделирования. По существу это возможно для многих значков.

5.2 Нелинейность операций квантователя

Даже при минимальном и максимальном значении его амплитуды квантование является нелинейной функцией.

В общем, для линейной системы

$$y(n) = f(x(n))$$

если

$$y_1(n) = f[x_1(n)] \tag{5.1}$$

$$y_2(n) = f[x_2(n)]$$

затем, по принципу линейной суперпозиции:

$$y_1(n) + y_2(n) = f[x_1(n) + x_2(n)] \tag{5.2}$$

Для функции квантования $y(n) = q[x(n)]$, содержащееся в формулах (5.1) и (5.2) не обязательно соблюдается. Тогда рисунок 5.4 для альтернативной системы рисунок 5.4,б, откуда следует, что в общем:

$$z(n) \neq y_1(n) + y_2(n)$$

(Эту систему можно открыть из:

[Getting Started\intro\non-linear_quantizer.svu](#))

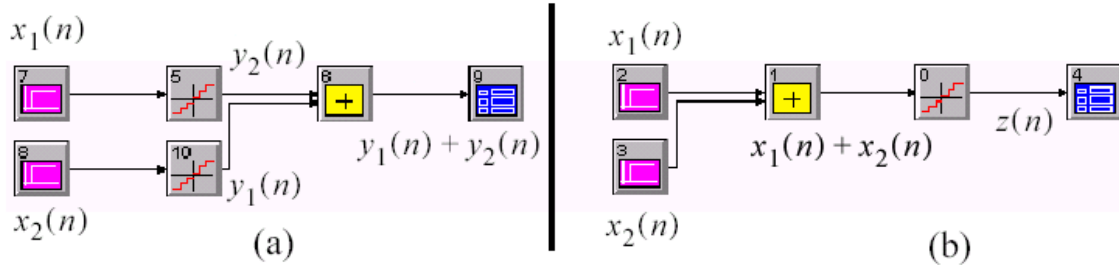


Рисунок 5.4 – Упрощенная схема функции квантования

5.3 Квантование и элайзинг (aliasing).

В этом разделе мы продемонстрируем явление элайзинга. Вспомните из лекций о том, что если частотные составляющие сигнала больше чем $f_s/2$, то проявляется элайзинг. Элайзинг проявится в искажении сигнала. Например, если тон в 6000 Гц является входным сигналом для системы ЦОС (без анти-элайзинга и фильтров восстановления) и произведена выборка в 10000 Гц, то сигнал будет интерпретироваться как тон в 4000 Гц.

Одним из простейших способов тестирования линейности системы по особенностям частоты является подача на вход чистого тона или синусоидального сигнала. Если при этом на выходе мы получаем не чистый тон или не синусоидальную волну с той же частотой, то тогда можно сделать вывод, что система является нелинейной.

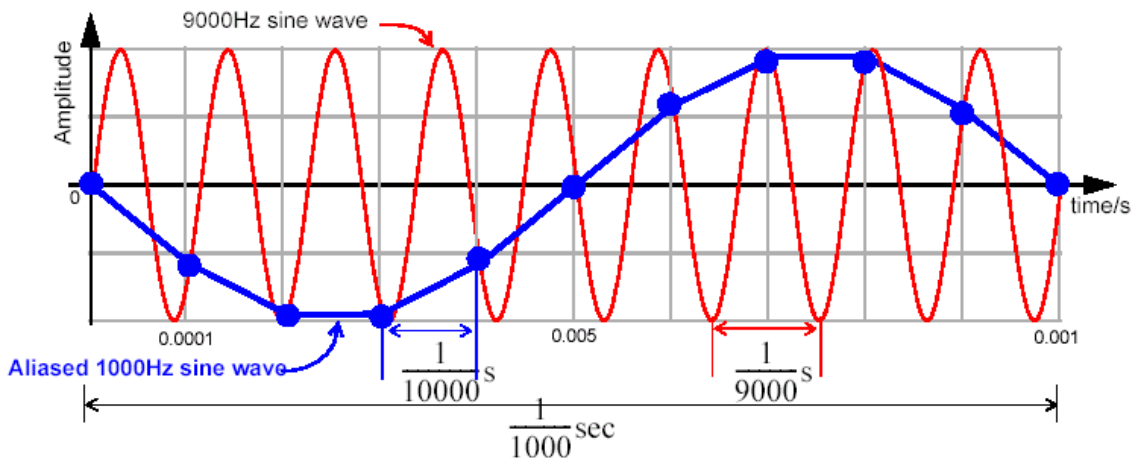


Рисунок 5.5 – Элайзинг синусоидального сигнала частотой 9000 Гц на 1000 Гц, при квантовании частотой 10000 Гц

Чтобы увидеть, как выглядит сигнал, подвергнутый элайзингу, рассмотрим рисунок, для которого производится выборка тона в 9000 Гц для $f_s=10000$ Гц.



Судя по рисунку выше, ясно что $f_s/2 = 5000$ Гц и 9000 Гц будет псевдонимизироваться. По диаграмме видно, что когда мы восстанавливаем сигнал, то получаем 1000 Гц синусоидальную волну.

Упражнение 5.2 Простой элайзинг


Откройте файл

`Getting Started\intro\aliasing.svu`

Убедитесь, что все параметры обоих генераторов синусоидальных волн (в первом примере) абсолютно идентичны.

(а) Запустите процесс моделирования, и затем в окне анализа  проверьте выходные сигналы обоих генераторов синусоидальных сигналов: они должны быть идентичны. Обратите внимание на разные названия двух блоков. Включая и выключая  убедитесь, что когда осуществляется выборка в 1000 Гц, в синусоидальном сигнале в 10000 Гц присутствуют 10 выборок на период.

(б) Измените частоту верхнего генератора синусоидальных волн на 2000 Гц. Запустите систему и убедитесь в том, что сигнал на выходе совпадает с тем, который вы предполагаете.

(в) Теперь измените частоту верхнего генератора синусоидальных волн на 4500 Гц. Это частота приближается к половине частоты выборки $f_s/2 = 5000$ Гц. Убедитесь, просмотрев результаты в окне анализа , что сигнал на выходе такой, как предполагался.

Обратите внимание, что теперь более двух выборок на период и, следовательно, когда окно SystemView объединяет выборки между собой прямыми линиями (интерполяция первого порядка). Сигнал выглядит несколько «нелепо» (обратитесь к картинке 3.12).

Тем не менее, квантование сигнала осуществляется в соответствии с критерием Найквиста и поэтому вся информация о синусоидальном сигнале (амплитуда, фаза и частота) сохраняется.

(г) В этот раз мы изменяем частоту верхнего генератора синусоидального сигнала на верхнюю границу половины частоты выборки $f_s/2 = 5000$ Гц, т.е. на значение 9000 Гц. Пронаблюдайте, что выходной сигнал, когда выборка производится для 10 000 Гц, подвергнулся элайзингу и выглядит как синусоидальный сигнал частотой 1000 Гц.

(д) Увеличьте частоту верхнего генератора синусоидальных волн до более чем 11 000 Гц. Обратите внимание, что на выходе мы опять видим 1000 Гц синусоидальную волну.

Упражнение 5.3 Элайзинг и качание частоты

Откройте файл

`Getting Started\intro\alias_sweep.svu`

На входе системы имеется источник качающейся частоты (chirp)



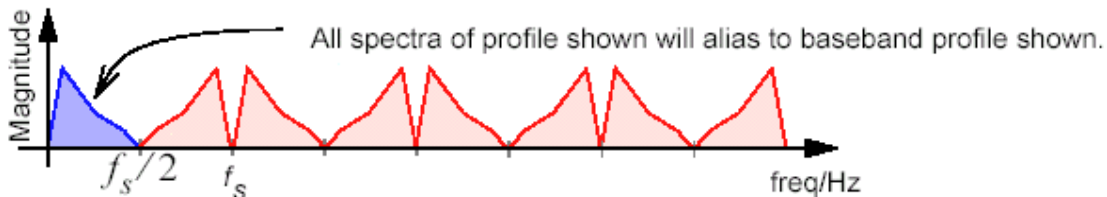
с параметрами установленными на частоту от 1000 Гц до 9000 Гц с периодом 0.1024 с.

(а) Запустите систему и наблюдайте элайзинг, который происходит из-за сигнала, для которого осуществляется выборка в 10000 Гц, но конечно же не для этого сигнала. При необходимости в сгенерированных синусоидальных сигналах производится масштабирование. Это может быть полезно – использовать функцию масштабирования в окне анализа



, для того чтобы наблюдать форму chirp сигнала.

(б) Общая форма спектрального элайзинга частот выше половины частоты выборки как проиллюстрировано ниже:



(по Y – амплитуда, по X – частота в Гц. Весь показанный спектр раздела будет подвергаться элайзингу основную полосу частот)



Запустив несколько процессов моделирования убедитесь, что диаграмма полностью описывает явление элайзинга с точки зрения амплитуды.

(в) Что происходит с фазой сигналов, подвергнувшихся элайзингу! (Просмотрите рисунок 5.5, в качестве подсказки).

Вопрос.

Объясните, почему для частоты качания в окне анализа SystemView показан сигнал идущий от 100 Гц до 5000 Гц, затем назад вниз до 100 Гц более 0.1 секунды, скорее чем от 100 до 10000 Гц более 0.1 секунды.

5.4 Аудио сигнал на входе и на выходе

SystemView обеспечивает очень удобные средства для ввода и вывода данных аудио файлов, этими средствами являются источник  и модуль вывода .

Обратите внимание, что модули вывода и источники вы можете настроить так, что они могут находиться где угодно на вашем ПК. Однако, чтобы сделать файлы SystemView более мобильными, мы предлагаем размещать аудио блоки и источники в следующей директории:



```
c:\Program Files\SystemView\External Files
```

В SystemView также имеется файл который называется “svufilepaths.ini”, в котором вы можете прописать пути к директориям, которые вы хотели бы, чтобы SystemView автоматически просматривал на наличие каких-либо необходимых внешних файлов.

Упражнение 5.4 Аудио ввод и вывод

Откройте файл


```
Getting Started\intro\speech1.svu
```

Исследуйте источник ввода  и источник вывода  «.wav» файла на предмет имен файлов, расположения директорий и специфической частоты выборки в 44100 Гц.

Входной файл содержит речь мужчины длящейся около 3.7 секунды, находится в 16-ти разрядной форме целого числа и изначально к нему применена выборка в 44100 Гц.


“.wav” файлы являются стандартными для ПК, в каждом таком файле находится заголовок, который идентифицирует его формат. Выборка обычно производится с частотой 44100, 22050 или 11025 Гц может быть стерео или моно, данные могут быть 16-ти разрядными и более. Большинство звуковых карт в последнее время способны проигрывать файлы и с другими частотами выборки.

(а) Запустите систему и обратите внимание на то, что Windows аудио или медиа плеер начинает работать в конце процесса моделирования (фактически подключение плеера зависит от настроек Windows setup)

(б) Используя кнопку с изображением остановившихся часов , которая находится в окне проектирования измените частоты выборки SystemView на 5512.5 Гц. Когда выходной сигнал речи записан в файл, частота считывается из частоты выборки SystemView. Следовательно, вы должны понимать, почему речь немного «замедленная». (Обратите внимание,

если в вашей машине звуковая карта достаточно старая, то может случиться так, что она не сможет обеспечивать выходной сигнал в 5512.5 Гц и выходные звуки будут звучать как «ускоренные»), это погрешность ваших технических средств.

(в) Перезапустите процесс моделирования и прислушайтесь к результатам. Вас удивляет то, что вы слышите?


(г) Измените частоту выборки обратно на 44100 Гц. Теперь установите значок усиления на минус 3 дБ  (это означает 50% мощности, ослабление амплитуды на 0.707). Прислушайтесь к сигналу на выходе. Попробуйте снова на минус 6 дБ и так далее.

Упражнение 5.5 Квантование речи от 16 до 4 бит.

Откройте файл

`Getting Started\intro\speech2.svu`

Эта система квантизует 16-ти битный сигнал речи в 4-х битный. При проигрывании квантованной системы обратите внимание, что мы также выводим только квантованный шум.

(а) Убедитесь, правильно ли установлены параметры значка 4-битной квантизации . (Обратите внимание на то, что “.wav” файл – 16-ти разрядное целое число, находящееся в промежутке от -32768 до +32767).



(б) Запустите процесс моделирования и послушайте результаты.

(в) Обратите внимание, что квантованный шум очень коррелирован с речью.

Упражнение 5.6 Элайзинг при уменьшении частоты отсчетов (by downsampling).

Откройте файл

`Getting Started\intro\speech3.svu`

Используя значок дециматор  (смотрите оператор , опция `Sample / Hold`) этот сигнал был даунсэмплирован (уменьшена частота отсчетов) с частотой выборок $44100/8=5512.5$ Гц. Внимательно прослушайте выходной сигнал, который подвергнется элайзингу, в нем появятся аудио искажения.

Вопрос.

Сначала был сигнал с спектральными характеристиками выборки 44100 Гц, а затем понизили частоту выборки до 5512.5 Гц. Как будут звучать составляющие псевдонимизированной речи?

5.5 Математика и SystemView

SystemView обеспечивает мощные возможности проектирования систем DSP и связи. Конечно, можно также использовать SystemView для работы с некоторыми математическими задачами. В системах связи и DSP существенно важны тригонометрические тождества. Анализ модуляций DSP и связи для инженера значительно упрощается если у него под рукой имеются все необходимые тождества. Мы можем использовать SystemView для того, чтобы продемонстрировать правильность тождеств, относящихся к времени и частоте, используя при этом также аудио демонстрацию.

Упражнение 5.7 Звуковая проверка тригонометрического тождества

Откройте файл

`Getting Started\mathematics\trigonometric_identity.svu`

В этом примере при помощи синусоидальных волн мы продемонстрируем правильность следующего тригонометрического тождества:

$$2\cos A \cos B = \cos(A+B) + \cos(A-B) \quad [5.3]$$

Это будет сделано при помощи сравнения результата умножения двух синусоидальных волн с частотами f_A и f_B с результатом сложения двух синусоидальных сигналов с частотами $f_A + f_B$ и $f_A - f_B$.

Обратите внимание, что частоты синусоидальных сигналов, которые будут перемножены, установлены на

$$f_A = 760 \text{ Гц и } f_B = 780 \text{ Гц,}$$

А синусоидальные сигналы, которые будут складываться, соответственно равны

$$f_A + f_B = 1230 \text{ Гц и } f_A - f_B = 330 \text{ Гц}$$

(а) Запустите систему и послушайте аудио результаты. Одинаково ли они звучат?

(б) Посмотрите частотные и временные версии сигналов в окне анализа SystemView. Идентичны ли они? (Вычисление частоты в этом примере автоматическое, а спектральные средства осуждаются в разделе б).

(в) Попробуйте изменить частоты и убедитесь, что идентичность сигналов сохраняется. (Обратите внимание, что частота выборок в этом примере установлена на $f_s = 11025$, поэтому все сгенерированные частоты должны быть меньше чем 5012.5 Гц.)

6 ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

В этом разделе мы продемонстрируем как можно успешно использовать SystemView для анализа в частотной области. Более подробную информацию о анализе частоты вы можете найти в «Краткой программе по изучению DSP» (Concise DSP Tutorial).

6.1 Ряд Фурье



Понятие ряда Фурье может быть использовано для того, чтобы разбить периодический сигнал на сумму синусоидальных волн (гармоники). (Смотрите приложение А к учебнику.)




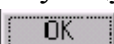


Упражнение 6.1 Использование «калькулятора» для анализа спектра


Создайте новую модель системы, установите частоту выборки 10 000 Гц, а количество выборок на 32.

(а) Создайте источник синусоидального сигнала с амплитудой 1000. Затем создайте SystemView блок анализа и соедините его с выходом источника синусоидальных волн.



(б) Запустите процесс моделирования и зайдите в окно анализа . В окне анализа не забудьте нажать мерцающую кнопку  (кнопка в левом верхнем углу) «обновить данные блока», для того чтобы на графиках отразились результаты последнего процесса моделирования.

(в) В меню калькулятора  выберите опцию  и нажмите кнопку, соответствующую быстрому преобразованию Фурье  (ФТТ). Нажмите  и обратите внимание на появившееся окно спектра. Вы также можете генерировать логарифмическую  характеристику и фазовую  характеристику сигнала.

(г) Вернитесь на холст проектирования  и перезапустите процесс моделирования с 1) 128 выборок 2) 512 выборок 3) 1024 выборок


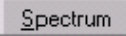

Упражнение 6.2 Ряд Фурье

Откройте файл SystemView:


`Getting Started\freq\square.svu`



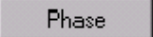
Эта система складывает между собой первые 9 компонентов ряда Фурье для того чтобы получить прямоугольный импульс. Для прямоугольного импульса в 100 Гц, при этом частоты компонентов ряда Фурье равны: 100 Гц, 300 Гц, 500 Гц, 700 Гц (нечетные гармоники) и так далее, подходящие гармоники: 1, 1/3, 1/5, 1/7 и так далее соответственно.

(а) Запустите процесс моделирования и внимательно посмотрите появляющийся «прямоугольный импульс». (Обратите внимание на то, чтобы получить настоящий прямоугольный импульс нам потребуются полностью все гармоники до 4900 Гц, для частоты выборок 5000 Гц)

(б) В окне анализа SystemView выполните операцию FFT, выбрав калькулятор , в нем кнопку , затем нажав на кнопку  и, наконец, кнопку “ОК”. Пронаблюдайте присутствующие в сигнале частоты.

(в) Измените амплитуду 500 Гц на 0.5 и запустите систему вновь. Посмотрите как импульс постепенно теряет свою «прямоугольность» в соответствии с гармоническими амплитудами, которые уже не являются «правильными» значениями для появления «прямоугольного импульса».

(г) Измените амплитуду 500 Гц обратно на $0.2 = 1/5$ (не забыли, что вы можете сделать это при помощи операции UNDO в меню ) и запускайте систему снова и снова до получения прямоугольного импульса. Теперь поменяйте фазу 300 Гц-го компонента на 60 градусов и запустите систему. Ну как? Сигнал все еще прямоугольный после запуска процесса моделирования? ... Может быть и нет.


(д) В окне анализа мы можем найти фазовые характеристики компонент синусоидальной волны выбрав калькулятор , затем кнопку , затем кнопку , после чего выбрать оригинальную область времени сигнала и, наконец, нажать кнопку “ОК”. Вам следует заострить внимание на так называемых интересных частотах (точно на 100 Гц, 300 Гц, 500 Гц), у которых сдвиг фаз равен -90 градусов. Вспомните, что $\cos \alpha = \sin (\alpha - 90)$, так как в окне проектирования SystemView используются только синусы.

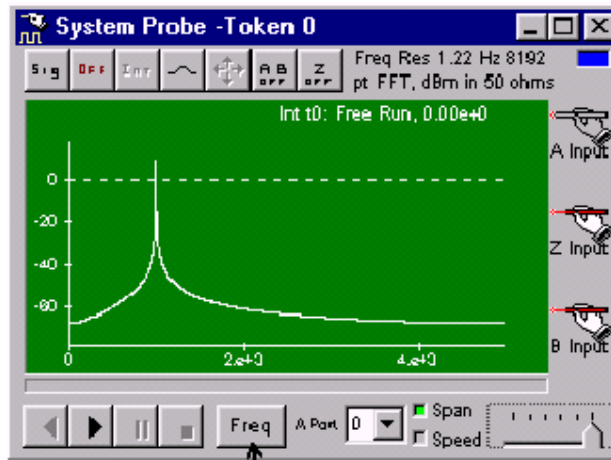
Упражнение 6.3 Анализ частоты в реальном времени при помощи динамического просмотра

Системный просмотр в окне проектирования может быть использовано как анализ спектра.

Откройте файл

`Getting Started\freq\sweep.svu,`

выберите блок просмотра  реального времени и поместите его на выход любого источника или сумматора. Теперь в окне просмотра переключите кнопку от **Time** на **Freq**. Теперь окно просмотра будет похоже скорее на осциллограф и будет функционировать как анализатор спектра.



Spectrum analyzer selected


Рисунок 6.1 *Динамическое зондирование в реальном времени в System View для спектрального анализа.*

Запустите систему и измените значок который зондировали так, как необходимо. Заметьте, что при помощи каретки SPAN можно просто увеличивать и уменьшать величину FTT. Величина FTT показывается в верхней части окна с графиком.

Упражнение 6.4 Зондирование прямоугольного импульса

Откройте пример:

`Getting Started\freq\square2.svu`

Используйте блок , для того чтобы посмотреть, как представлены время и частота на выходах различных сумматоров. Переходя к все большему количеству синусоидальных сигналов вы увидите, что «прямоугольный импульс» становится все более очевидным.

6.2 Разрешающая способность по частоте и частотный интервал

Разрешающая способность по частоте из дискретного преобразования Фурье N выборок в единицу времени обычно рассчитывается так: f_s/N . Поэтому это означает, что частотный интервал величины области частоты и графиков фазы равен f_s/N как показано на рисунке 6.2.

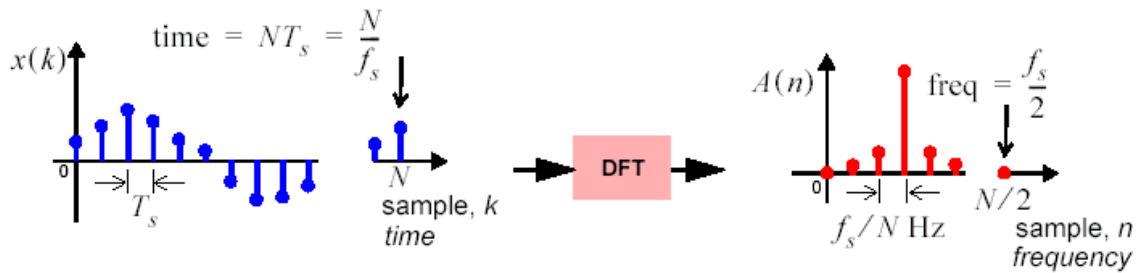



Рисунок 6.2

Действие 58 Разрешающая способность по частоте

На панели инструментов SystemView найдите кнопку с изображением остановившихся часов  и нажмите ее, тем самым вы попадете в раздел определения системного времени. Установите частоту выборки на 10000 Гц. А теперь обратите внимание, что, когда вы измените `No. of Samples` на, к примеру, 128 (полная модернизация с возвратом каретки), SystemView изменит `Freq. Res. [Hz]` на 78.125 Гц, т.е. f_s/N . Измените `No. of Samples` на 512 и `Freq. Res. [Hz]` изменится на 19.53125 Гц = 10000/512.

Таким образом SystemView сообщает пользователю о разрешающей способности по частоте.

Вы можете также модифицировать параметр `Freq. Res. [Hz]`. Если, например, вы установите `Freq. Res. [Hz]` на 20, для `No. of Samples` 512 и $f_s=10\ 000$ Гц, SystemView автоматически преобразует частоту выборки в `Sample Rate [Hz]`. Это может оказаться очень удобным свойством, когда пользователю приходится иметь дело с частотными значениями.

Причина, по которой частотный интервал рассчитывается по формуле f_s/N , достаточно проста. На картинке 6.2 имеются N выборок. Наименьшая частота каждого полного периода может быть представлена через N выборок как:

$$f = \frac{1}{NT_s} = \frac{f_s}{N}$$

Поэтому, в этой области частот не имеет смысла распознавать сигналы, расположенные ниже данной частоты, так как даже полный период не будет представлен. Для следующей частоты мы надежно знаем, что ожидается два полных периода, которые будут представлены на протяжении N выборок (частота $2f_s/N$); для следующей частоты – три полных периода (частота $3f_s/N$); и так далее до частотного интервала $((N-1)f_s)/N$.

В численном смысле вы, конечно, можете взять меньший интервал, но это больше не даст никакой информации о сигнале. Частоты, которые

не лежат точно в пределах частотного спектра ведут к спектральной утечке.

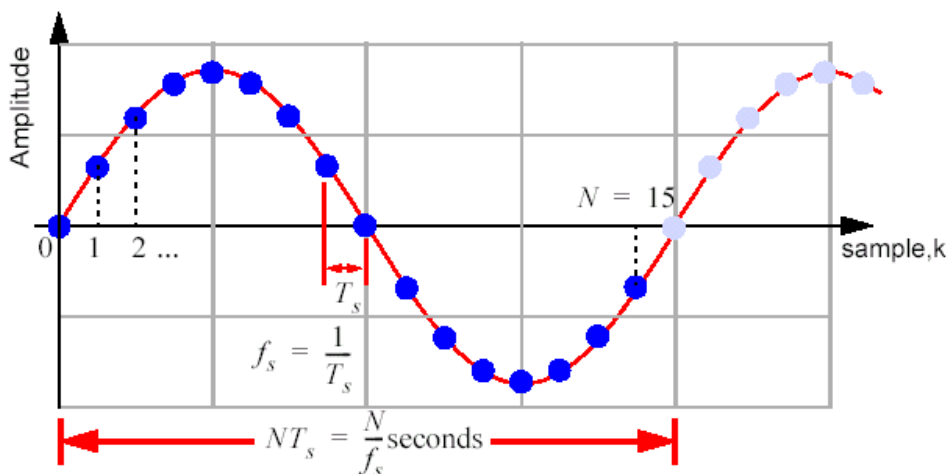


Рисунок 6.3 – Единичный период синусоидального сигнала в окне



6.3 Гармонические искажения в частотной области

Упражнение 6.5 Гармонические искажения от сжатия

Откройте файл

`Getting Started\freq\quantize2.svu`

(а) Запустите систему и посмотрите на не квантованные, квантованные и сжатые (и квантованные) формы волны временного графика. Квантователи четырехбитные и дают $2^4 = 16$ уровней или область целых значений от -8 до +7.

(б) В разделе  увеличьте количество выборок `No. of Samples` на 16384 и перезапустите систему. В окне анализа просчитайте логарифмическую величину спектра трех сигналов, используя «калькулятор»  и выберите `Spectrum`, а затем `20 Log | FFT | (dB)` для каждого окна по очереди.

Обратите внимание, что гармонические искажения присутствуют в квантованных и сжатых сигналах.

Вы можете рассчитать SQNR (Искажение и квантование сигнала относительно мощности шума), суммируя компоненты мощности шума квантования и рассчитывая мощность интересующей вас синусоидальной волны, а затем находя соответствующее отношение между ними.

Вопрос.



Как вы можете доказать то, что присутствующие в предыдущем упражнении искажения «гармонические» по отношению к входному сигналу?


Упражнение 6.6. Внесение нуля и дополнительное разрешение


Откройте файл

`Getting Started\freq\zero_pad.svu`

(а) Частота этой синусоидальной волны 520 Гц, а частота выборки в системе 10240 Гц. Таким образом, для работы системы с 256 выборками определенно существуют 13 периодов.

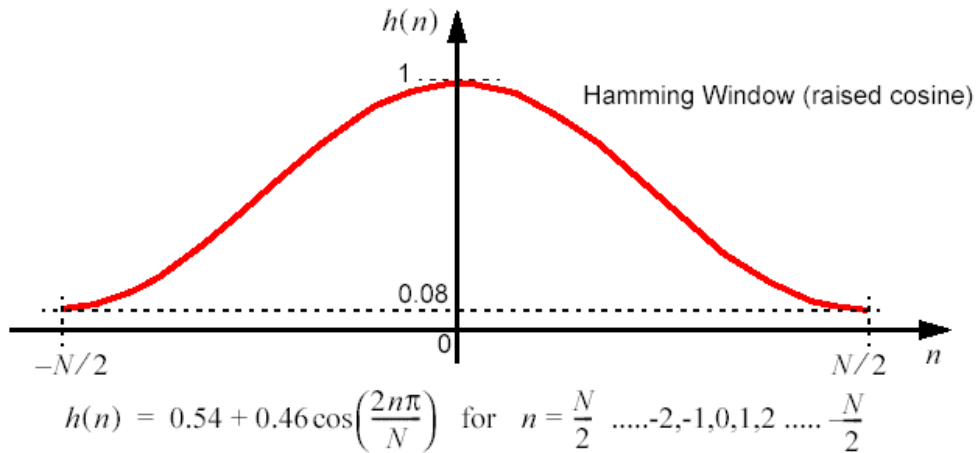
(б) В окне анализа , нажмите на кнопку , затем на кнопку **Spectrum** и рассчитайте **IFFT** 520 Гц синусоидальной волны сигнала. Обратите внимание на частотный интервал – от 0 до $f_s/2$, т.е. $256/2 = 128$.

(в) Все еще находясь в окне анализа выберите раздел , а в нем кнопку **Data**, а затем **Pad Zeros**. Внесите значение 768 (которое 1024-256), которое заполнит синусоидальную волну 768 нулями в 1024 точках. Посмотрите, что получится в результате заполнения нулями.

(г) Снова в разделе калькулятор , выберите кнопку **Spectrum** и рассчитайте **IFFT** заполненного нулями 520 Гц синусоидального сигнала.

(д) А теперь произведите наложение графиков двух FFT в одно окно (Прочитать о том, как делать наложение можно в Действии 51). Увеличьте область вокруг точки наивысшего спектрального значения и исследуйте дополнительные частотные точки.

Давайте вспомним о том, что обсуждалось выше: наилучшее доступное разрешение из частотного преобразования Фурье (DFT) для N точек является величина равная f_s/N . Поэтому заполнение нулями НЕ дает никакой дополнительной информации и, как вы могли заметить в предыдущем упражнении, первоначальные 128 частотных точек остались той же величины, что и в заполненной нулями FFT, но несколько запутанной кажется (блок) интерполяция между первоначальными 128 точками. Следовательно, DSP инженер должен снова тщательно интерпретировать то, что произошло с первоначальными 128 точками после процесса заполнения нулями.





Окно Хэмминга (приподнятый косинусоидальный сигнал)

Рисунок 6.4

6.4 Частотный интервал ФТТ и спектральная утечка

В этом разделе мы рассмотрим сигналы у которых частоты определенно лежат на одном из частотных интервалов ФТТ, и, следовательно, спектральная утечка отсутствует. (Частотный интервал $N/2$ на частотах от 0 до $f_s/2$). Вспомните, что интерпретация в области времени заключается в том, что число периодов частотных составляющих существует в N выборках, представленных ФТТ вычислению.

6.5 Манипуляции с окнами¹

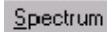

В SystemView имеется некоторое количество информационных окон, которые доступны в окне анализа, разделе калькулятор , опция . Рассмотрите окно Hamming, которое по существу является приподнятым косинусоидальным сигналом, как показано на рисунке 6.4.

$$h(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2n\pi}{N}\right) \text{ for } n = \frac{N}{2} \dots -2, -1, 0, 1, 2 \dots \frac{N}{2} \quad (6.1)$$

Упражнение 6.7 Действия с ФТТ окнами

Откройте файл


`Getting Started\freq>window_sine.svu`

(а) Запустите систему. В окне анализа, обратите внимание, что когда вы рассчитываете  для  в разделе калькулятор, не наблюда-

¹ – в оригинале – Windowing

ется спектральной утечки, так как частота сигнала находилась в определенном интервале частот (frequency bin) или, что то же самое, в области времени было интегральное количество периодов.

(б) В окне анализа, в разделе калькулятор выберите опцию **Operators**, а затем в **Apply Window** выберите окно Хэмминга (“Hamming window”), чтобы применить данные из области времени. (Помните, что операции с окнами выполняются для области времени, и не для частотной области.)

(в) Теперь выполните FFT для 128 выборок, с которыми выполняется операция с окнами (windowing) и сравните с теми FFT, с которыми операция с окнами не выполняется. (Переключайте связанные точки  так, чтобы вы могли реально увидеть спектр «распространения»).

Из упражнения 6.7 видно, что после того как была произведена операция с окнами, произошло «смазывание» спектрального пика, что сокращает область «читабельного» разрешения. Причина этого «смазывания» проиллюстрирована на рисунке 6.5 посредством простой тригонометрии.

Вопрос.

Как подействовало на спектр окно Хэмминга? Обсудите, почему это происходит.

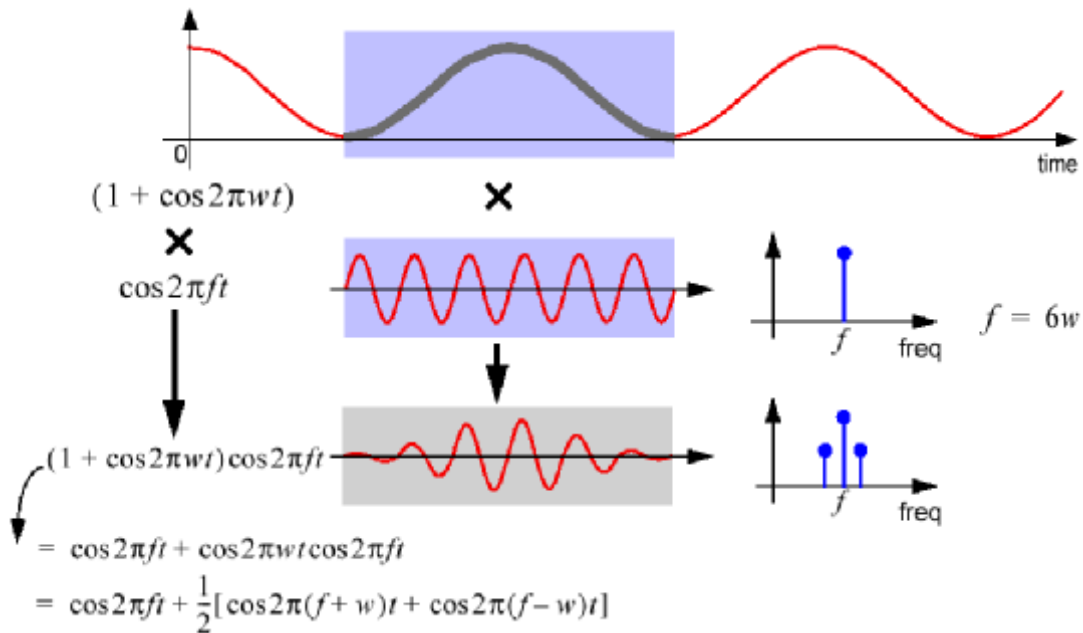


Рисунок 6.5 Операции с приподнятыми косинусоидальными окнами. (Сходные с окном Хэмминга (рисунок 6.1)). Обратите внимание, что «смазывание» может в общем быть описано как модуляция. Где частота окна на много ниже чем частота сигнала; в этом примере $f = 6w$



Операции с окнами нацелены на сокращение спектральной утечки, однако имеется побочный эффект – то, что с «главным выступом» (например, пик частотного сигнала) происходит «смазывание» на некоторое ко-

личество частотных интервалов (как показано на рисунке 6.5 и в упражнении 6.7). Две простые интерпретации действий с окнами: первое, это то, что смазывание является следствием переподчеркивания в начале и конце окна, мы неявно сокращаем количество выборок; и второе – это то, что множество окон имеют приподнятую косинусоидальную форму, мы модулируем сигнал, в результате чего происходят модуляции компонента на частоте A в полосе пропускания от $A-e$ до $A+e$, как опять же показано на рисунке 6.5.

6.6 Искажения сигнала в частотной области

Бывает, что два периодических сигнала обладают схожими частотами, при этом иногда довольно трудно отличить один от другого в частотной области. В зависимости от фактических частот и амплитуд сигналов операции с окнами над данными перед выполнением ФТТ могут и помочь и НЕ помочь, а в некоторых случаях могут даже скрыть сигнал в результате распространения энергии сигнала.



Упражнение 6.8. Частотные искажения двух синусоидальных сигналов

Очистите окно проектирования SystemView специальной кнопкой . Установите системную частоту выборки нового процесса моделирования в специальном диалоговом окне определения системного времени  на 10000 Гц, и затем создайте два источника синусоидальных сигналов




Источник 1: Амплитуда = 1000; а частота = 800 Гц.

Источник 2: Амплитуда = 100; частота = 810 Гц.

Используя значок сумматора  просуммируйте эти две синусоидальных волны между собой и подведите результат к значку анализа .

(а) Запустите процесс моделирования с 128 выборками, и рассчитайте ФТТ, без операций с окнами, но с окном Хэмминга.

В обоих случаях синусоидальные волны «слиты воедино» так, что различить их между собой нельзя. Обратите внимание, в окне проектирования, в разделе , для частоты выборки в 10000 Гц при 256 выборках ФТТ разрешение `Freq Res. [Hz]` установлено в 39.0625 Гц, то есть $10000/256$.

(б) Перезапускайте процесс моделирования, увеличивая количество выборок до тех пор, пока сигналы не станут возможным различать.

Вы должны заметить, что при 1024 выборках и при отсутствии операций с окнами и при их наличии ФТТ не позволяет различить сигналы.

В то время как при 2048 выборках ФТТ при отсутствии операций с окнами **ДЕЙСТВИТЕЛЬНО** позволяет различить две синусоиды, а вот в случае окна Хэмминга их различить невозможно из-за «смазывания» каждого из пиков.

Файл с такой системой можно найти в

`Getting Started\freq\two_sines.svu`

Вопрос.

Когда количество выборок было 2048 почему было можно различить сигналы и при отсутствии операций с окнами, но менее четко в окне Хэмминга?

Вопрос.


Вспомнив, что разрешение $FTT = 1/NT_s$ (SystemView удобно подсчитывает это значение для вас в разделе, который запускается кнопкой с изображением остановившихся часов), где N – это количество выборок, T_s – это период осуществления выборки, какое количество выборок, вы бы предсказали, потребуется прежде чем ФТТ позволит хорошо различить сигналы. Прокомментируйте результаты процесса моделирования, который вы производили в примере.




6.7 Периодические сигналы в шуме

Простейшим требованием для многих приложений является обнаружение периодических сигналов в шуме. Один из простейших методов – обнаружение посредством ФТТ.

Упражнение 6.9 Анализ данных в области частоты

Файл `Getting Started\signals\data1.snk` содержит 16-ти битные (целое число с фиксированной точкой) сигналы в широкополосном шуме с выборкой в 10000 Гц. (Внимание! Вы не можете открыть этот файл как обычный файл моделирования в SystemView. Это файл данных!)

Установите частоту выборки для этого процесса моделирования и определите системное время в диалоговом окне  в 10000 Гц.

Используя значок генератора источника  и опцию `Import` для группы значков из внешнего файла , файл может быть преобразован в необходимый формат для того чтобы отобразить его на холсте проектирования. Убедитесь, что вы действительно установили 16-ти битное целое число `16 bit Signed Int`, в противном случае файл не будет преобразован корректно. Запустите систему и используя средства спектрального анализа в окне анализа, в разделе калькулятор , проанализируйте сигнал, содер-

жающийся в файле `data1.snk`. Вы должны при этом быть в состоянии найти две близко расположенные синусоидальные волны «спрятанные» в шуме.

Эту систему можно найти в

`Getting Started\freq\sine_in_noise.svu`

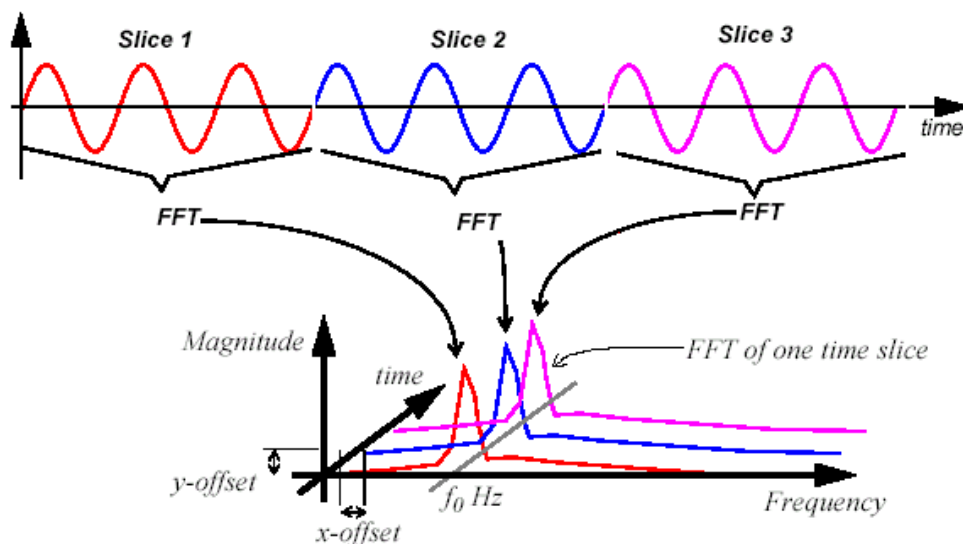


Рисунок 6.6¹ – Лавинообразный график синусоидального сигнала в f_0 Гц.

Вопрос.

Какова приблизительно амплитуда и частота компонентов (их может быть более одного!) присутствующих в сигнале в файле `data1.snk`?

6.8 Анализ аperiodических сигналов: частотно-временные графики

Упражнение 6.10 Временное и частотное представление сигнала




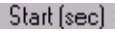
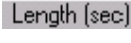
В этом разделе мы построим частотно-временной (3D) лавинообразный график (*Waterfall plot*) как показано на рисунке 6.6.

(а) Сгенерируйте chirp сигнал в диапазоне 300 – 3400 Гц для системы с частотой выборки 8000 Гц. Для chirp сделайте период равный 1 с и используйте для моделирования 8000 выборок.

(б) Используя средства FFT в SystemView получите полностью спектр chirp сигнала.


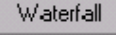


¹ в оригинале – *Waterfall plot of sine wave at f_0 Hz.*

Вы заметите, что FFT информирует вас о том, что энергия сигнала находится в диапазоне от 300 до 3400 Гц в секунду, но совершенно не указывает при этом в какое время какие частоты присутствуют.

(в) Используя калькулятор , кнопку , выберите опцию «пластины» . Чтобы обеспечить кратковременные квази-периодические сегменты волны сигнала длительностью 0.05 секунд, установите опцию  на 0, а  на 0.05 секунд. Убедитесь, что вы производите операцию разбиения на временные сегменты над НЕпреобразованным сигналом, не над тем, для которого вы рассчитали FFT.

Каждый из 20 временных промежутков (например, 0-0.05с, 0.05-0.1с,..... 0.95-1.0с) затем изображаются на графике в том же самом окне, но другим цветом, результат же, однако, получается малоинформативный.

(г) Сделайте FFT для этого окна с временными промежутками. Результат опять же выводится в одном и том же окне и достаточно труден для восприятия.

(д) И, наконец, в разделе калькулятор, кнопка STYLE , выберите опцию WATERFALL  и примените FFT, созданное в разделе (г) с параметрами , установленное на 100, и , установленное на 0.02.

Поэкспериментируйте с различными значениями временных промежутков и OFFSET представлениями. Такую систему можно найти в файле

[Getting Started\freq\waterfall_3D.svu](#)

На 3D WATERFALL-графике мы должны четко рассмотреть желаемое разрешение времени и частоты. В нашем примере временное разрешение было равно $0.05\text{s} \equiv 8000 \times 0.05 = 400$ выборок и поэтому частотное разрешение было равно $f_s/N_t = 20\text{Hz}$.

Если нам требуется улучшенное временное разрешение равное, скажем, 0.01 секунда (80 выборок на временной промежуток), при этом частотное разрешение ухудшается, становится, например, 100 Гц. Если нам требуется улучшенное частотное разрешение, тогда увеличиваем частотное разрешение N_t до, скажем, 1000, однако временное разрешение при этом станет 0.125 секунд. Очевидно, здесь имеет место компромисс и нельзя одновременно иметь хорошее частотное и временное разрешение.

Это к тому, что вводятся стратегии типа wavelet преобразований, в то время как временное разрешение неодинаково для каждой из частот.

6.9 Частотный анализ речевых сигналов



Файл [Getting Started\audio\telephone.wav](#) содержит словесный «телефонный» разговор с частотой выборок 11.025 кГц и 16-ти бит-

ным разрешением. Длительность файла – около 10000 выборок (почти 1 секунда). В следующем упражнении мы проанализируем этот разговор.

Упражнение 6.11 Частотный анализ голосовой речи

Откройте файл SystemView:

```
Getting Started\freq\speech_sample.svu
```

Система содержит значок источника волн  (с расширением “wav”) который осуществляет считывание аудиофайла с жесткого диска и вывод в стандартный значок блока. Аудиофайл был записан с частотой 11 025 Гц и поэтому частота выборки системы  установлена на 11 025 Гц. Убедитесь, что имя аудиофайла который находится внутри значка именно «telephone.wav» и проиграйте сигнал в значке кликнув по нему правой клавишей мыши и выбрав опцию **Play Audio**, только, проверьте еще раз, что в значке содержится слово «telephone».

(а) Запустите систему, просмотрите вывод и прослушайте аудио сигнал.

(б) Зайдите в окно анализа, и обратите внимание, что из 4 временных промежутков длиной в 1.2 секунды извлекается следующее:

от 0 до 203.8 мс - телефонный гул магистрали


от 334.8 до 415.9 мс – гласный эээ – т-ЕЭЭЭ-лефон

от 470.7 до 551.8 мс – звук ФФФ – теле-ФФФ-он

от 600.2 до 689.9 – Звук ООО – телеф-ООО-н

Используя калькулятор и кнопку **Spectrum** выберите опцию **IFFT** и вычислите спектр каждого из промежутков сигнала. Убедитесь, что магистральный шум частотой 50 Гц присутствует в промежутке от 0 до 203.9 мс. (Это соответствует записанной в Европе микрофоном частоты сети питания 50 Гц, в Америке частота равна 60 Гц.)

Вы должны также заметить, что гласные звуки очень периодичны, а негласные звуки (обозначенная невысказанная речь) – непериодичны.

(в) Используйте кнопку х-сегментации  и выберите некоторые другие временные промежутки для анализа. (Обратитесь к действию 35, которое показывает, как можно поместить сегмент в новое окно.)

Вопрос.

Замечая, что гласные составляющие содержат «несколько синусоидальных волн» обсудите, как бы вы могли синтезировать гласные промежутки произносимых слов.

7 ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Цифровая фильтрация - по существу ключевая операция всех систем DSP. Фильтрация сигнала в полосе частоты - фундаментальная операция, используемая фактически во всех системах DSP и в системах связи.

Простой пример - отделение высокого шума частоты от речевого сигнала, или более сложный пример - цифровая фильтрация полученных символов данных от спутника, в целях уравнивания канала.

Независимо от фактической связи, основное выполнение фильтра и стратегия проекта и будет рассмотрена в разделе.

При проектировании фильтра, инженер DSP будет стремиться к удовлетворению различных требований полос частот, но будет также добиваться того, чтобы фильтр использовал больше весов. Следовательно, необходим хороший алгоритм, такой, чтобы фильтр удовлетворял бы все требования, но использовал большее количество весов фильтра, чем необходимо фактически.

Если большее количество весов используется, то это означает, что большее количество энергии используется напрасно.

Цифровые фильтры могут также быть установлены, чтобы изменять стадию сигнала, и проект фильтра, основанного на характеристике стадии может также быть интересным.

Для получения дополнительной информации о цифровых фильтрах см. [Краткую Обучающую программу DSP \(Concise DSP Tutorial\)](#).

7.1 Проектирование конечной передаточной импульсной функции (FIR)

Цифровые фильтры могут быть легко разработаны с помощью SystemView. В первой части этого раздела мы опишем несколько действий, чтобы спроектировать простой низкочастотный фильтр с passband (?), номиналом от 0 до 1000 Гц, для частоты дискретизации, как показано на рисунке 7.1.

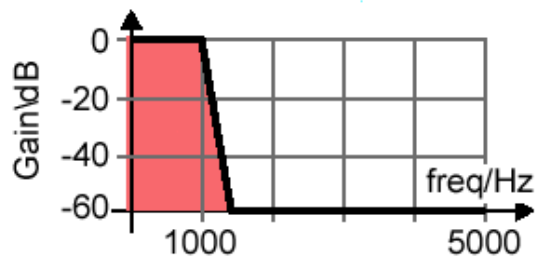


Рисунок 7.1 – Амплитуда величины низкочастотного фильтра в районе 100000 Гц

Увеличение полосы пропускания (*passband*) установлено в 0 дБ. Это означает что понижение частот в этой области – 0 дБ, т. е, зависимость является линейной от 1(?):

$$20\log_{10}GAIN = 20\log_{10}1 = 0 \text{ дБ.}$$

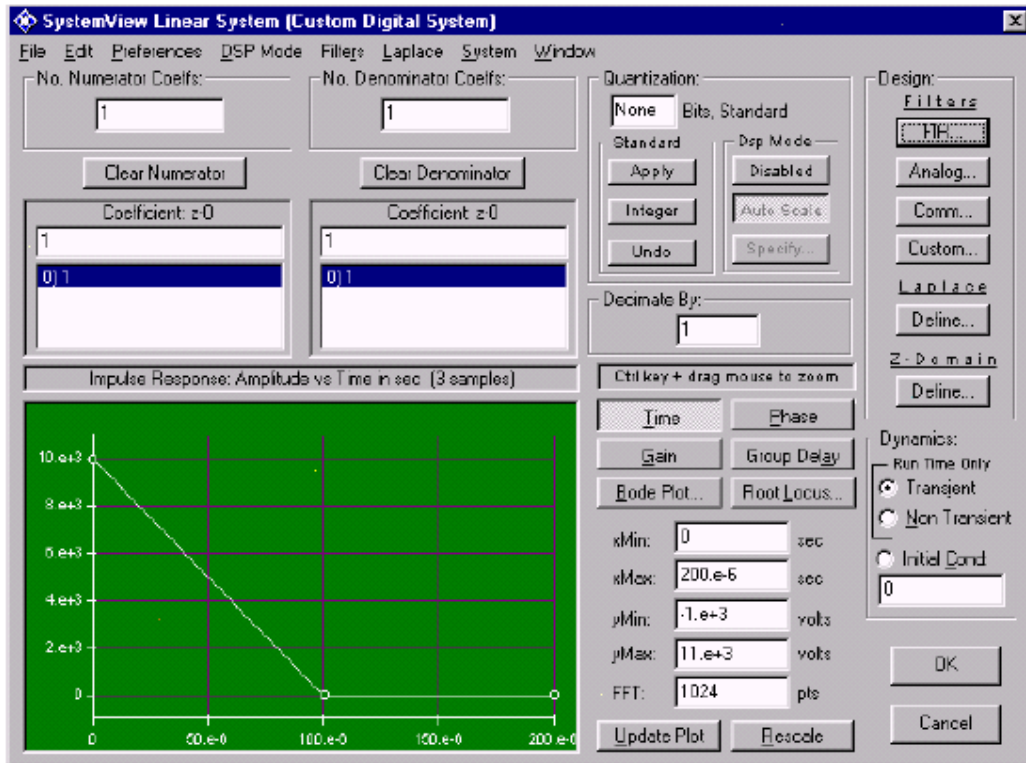




Рисунок 7.2 – Диалоговое окно линейных систем (цифровые фильтры)

И для stopband – линейная зависимость от 0.01(?):

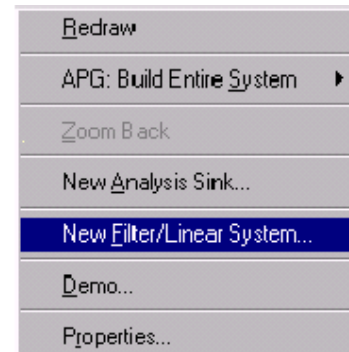
$$20\log_{10}0.01 = 20\log_{10}10^{-2} = -40 \text{ дБ.}$$

Действие 59: Линейные системы и фильтры

Выбирая  «Универсальный Оператор», выберите кнопку  «Линейные системные фильтры». Должно появиться диалоговое окно, показанное на рисунке 7.2.

Поскольку этот маркер используется обычно, то Вы можете также генерировать тот же самый маркер используя правую кнопку мыши, что даст Вам выпадающее меню, в котором Вы можете выбрать опции, чтобы спроектировать универсальный фильтр:

При использовании диалогового окна, показанного на Рисунке 7.2 мы можем проектировать стандартные, низкочастотные, высокочастотные, полосовые и полосно-заграждающие bandstop FIR фильтры,



и IIR фильтры (при выборе кнопки **Analog...**). также могут быть разработаны и другие фильтры, если выбрать кнопку CUSTOM(**Custom...**).

Действие 60: Проектирование фильтра:

От открытого окна диалога (рисунок 7.2) выберите «Проектирование FIR фильтра», используя кнопку **FIR...** и выберите кнопку **Lowpass**.

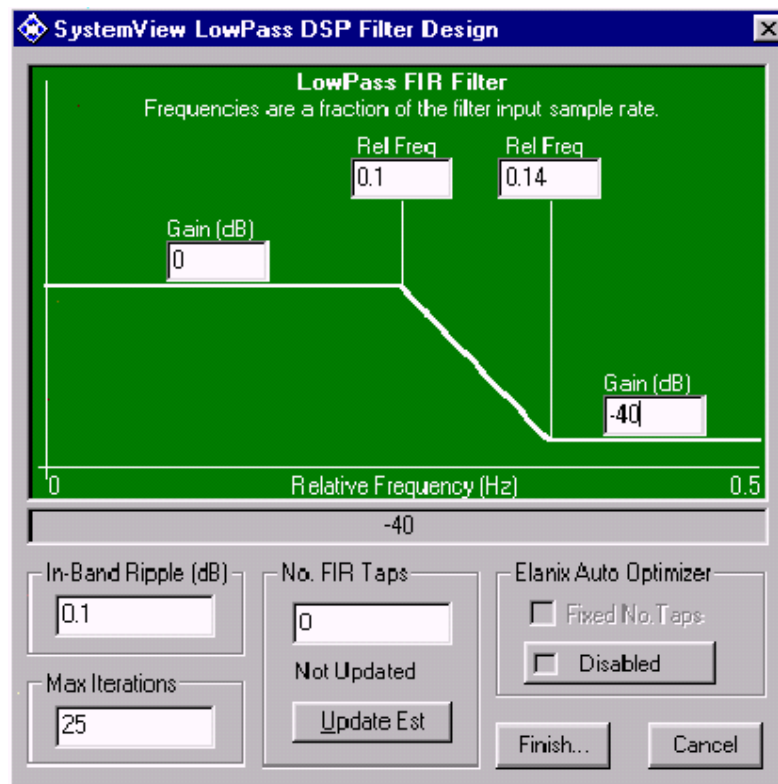
Частоты полосы перехода фильтра определены как дробные величины осуществления выборки (так называемые нормализованные частоты).

Определите фильтр (для частоты осуществления выборки) который начнет отрезать полосу в 1000 Гц, с шириной полосы частот перехода в 400 Гц и stopband понижая до -40 дБ.

Обратите внимание, что параметры частоты введены как дроби осуществления выборки

Частота, например. Рябрь passband должна быть установлена в 0.1 дБ.

Как только Вы ввели эти значения, должно появиться диалоговое окно, как указано ниже :



При использовании кнопки, **Update Est** оцените требуемое количество весов, что выполнить необходимые требования к фильтру. Вы вероятно получите ответ, около 51, который появится в окне параметров **No. FIR Taps**.

С помощью левой кнопки мыши, выберите кнопку **Finish...** в диалоговом окне. Теперь вы увидите значения веса фильтра (в формате с плавающей запятой) перечисленный вверху **No. Numerator Coeffs** полосы прокрутки (ScrollBox).

Обратите внимание, что, пока Вы не нажали кнопку **Finish...**, проектирование не было начато ... Все же мы определили количество весов (weights)! Это потому, что SystemView делает “оценку” по количеству weights так, чтобы мы могли задать фактический алгоритм проектирования фильтра. Эта оценка не может быть оптимальной, и следовательно имеется опция Авто Оптимизатор, использующая **Elanix Auto Optimizer** (Эта не доступно в студенческой версии SystemView) которое выполняет итерации, чтобы найти оптимальное (минимальное) число весов.

Действие 61: Фильтр Усиления

Для просмотра амплитудно-частотного отклика FIR-фильтра нажмите один раз левой кнопкой мыши на кнопке **Gain**, расположенной на нижней правой стороне диалогового окна **SystemView Linear System [LowPass FIR]** (как показано на рисунке 7.2). Кнопка **Time** отобразит импульсную передаточную функцию снова.

Обратите внимание, что при нажатии **Ctrl+Левая кнопка мыши**, Вы увеличите диалоговое окно, а при нажатии **Ctrl+Правая кнопка мыши**, появятся опции включения/отключения панелей.

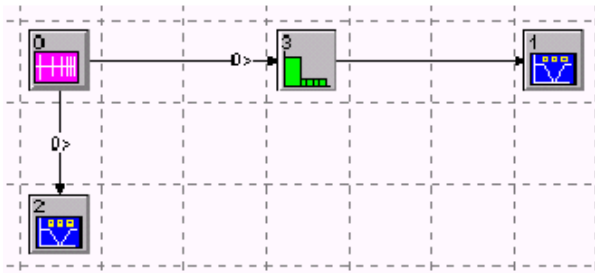
Также обратите внимание, что используя меню диалогового окна, **File** Вы можете сохранять коэффициенты в файл, если захотите.

7.2 Моделирование Цифровой Фильтрации

Используя фильтр, разработанный в предыдущих действиях, мы можем теперь моделировать в SystemView, чтобы продемонстрировать различие частоты и общей цифровой фильтрации. Обратите внимание, что, если Вы используете студенческую версию SystemView, все ваши проекты ограничены максимальным количеством weights 64.

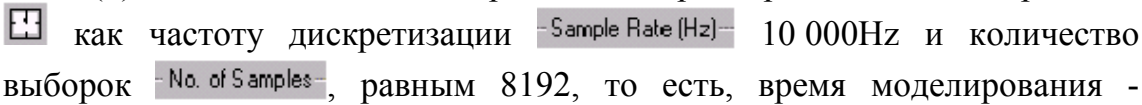
Упражнение 7.1 Низкочастотная Цифровая Фильтрация

В этом примере мы произведем вышеупомянутую простую низкочастотную систему фильтрации. Мы будем использовать низкочастотный фильтр, который Вы разработали в



действию 59 (страница ...) и действию 61(страница ...).

(а) Установите источник качающейся частоты со начальной частотой 50Hz и конечной частотой 4800Hz в интервале 0.8192 с.

(б) Убедитесь, что Вы определили параметры системного времени,  как частоту дискретизации `Sample Rate (Hz)` 10 000Hz и количество выборок `No. of Samples`, равным 8192, то есть, время моделирования - 0.8191 секунд. Таким образом, качание частоты сигнала фактически полностью охватывает полосу Найквиста от 0 до 5000Hz.

(в) Используйте качающуюся частоту как входной сигнал FIR-фильтра, который Вы разработали, и выведите выходы обоих устройств (генератора качающейся частоты и фильтра) на модули вывода (sink) SystemView как показано на диаграмме выше.

(г) Запустите систему и просмотрите амплитуды спектра в окне анализа. *Удалены ли все частоты выше 1200 Гц?*

(д) Спроектируйте новый фильтр с stopband понижением (-60 дБ и 500 Гц)

Вы можете найти эту простую систему, уже выполненную, в файле:

`Getting Started\filter\low_pass_sweep.svu`

Вопрос.

Прокомментируйте, относительно количества сигналов / веса, требуемые для двух низкочастотных фильтров.

Упражнение 7.2 Фильтрация Гауссова Шума

Повторите упражнение 7.2 используя в качестве источника входного сигнала генератор Гауссовского шума вместо ранее использованного источника линейно качающейся частоты. Выбранный Гауссов белый шум, содержит “все” частоты. Используйте инструментальные средства SystemView для анализа в частотной области, чтобы убедиться в правильности функционирования фильтра.

`Getting Started\filter\low_pass_noise.svu`

Упражнение 7.3 Полосовая фильтрация

Спроектируйте полосовой фильтр, чтобы передать полосу частот между 900 и 1200 Гц. Тщательно выберите ширину полосы частот перехода, которая позволит Вам проектировать фильтр с “разумным” количеством весов.

Если Вы используете студенческую версию, тогда Вам придется установить подавление в полосе заграждения (stopband)

примерно равным минус 40 дБ и переходную полосу с обеих сторон около 400 Гц.

Чтобы убедиться, что система функционирует правильно, используйте в качестве входного сигнала фильтра также Гауссов шум, или однородный шум.

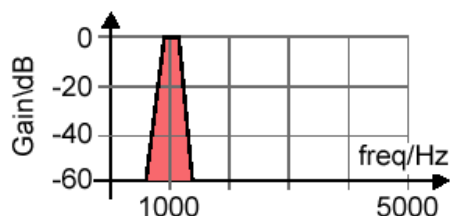


Рисунок 7.3 – Амплитуда величины полосы пропускания (bandpass) фильтра в пределах от 900 до 1200 Гц

Упражнение 7.4 Каскадирование или свертка цифровых фильтров

Откройте:

`Getting Started\filter\cascade.svu`

Спроектируйте каскадное соединение низкочастотного фильтра с частотой пропускания ниже 1200 Гц и высокочастотного фильтра с полосой пропускания выше 900 Гц, как показано ниже:

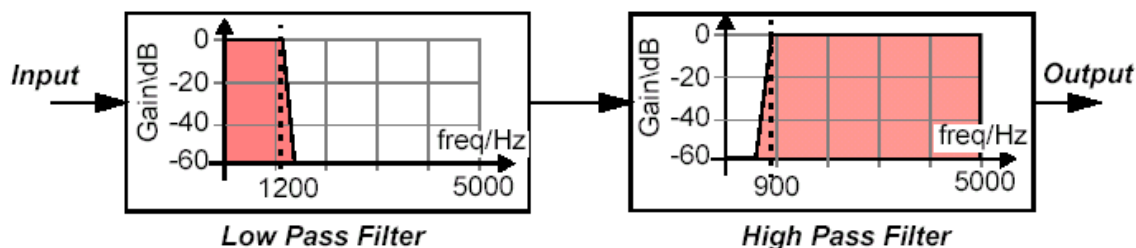


Рисунок 7.4 – АЧХ каскадного соединения НЧ- и ВЧ-фильтров

Убедитесь, что два каскадно соединенных фильтра имеют АЧХ, подобную АЧХ полосового фильтра от 900 Гц до 1200 Гц

(а) введите в качестве входного сигнала белый шум и просмотрите FFT на выходе всего каскада.

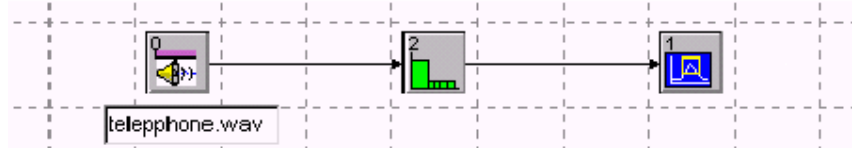
(б) введите в качестве входного сигнала импульс и просмотрите временной отклик (импульсную передаточную функцию) и FFT импульсной передаточной функции.

Упражнение 7.4 Низкочастотная фильтрация речи

Откройте:

Getting Started\filter\low_pass_speech.svu

(Фильтр FIR не был установлен, и просто усиливается на всех частотах.)



(а) Спроектируйте фильтр, который передает речь с частотой до 750 Гц и запустите систему. Прослушайте входной и выходной сигналы. Речь на выходе фильтра должна состоять только из низкочастотных составляющих.

(б) В окне анализа  просмотрите сигнал во временной и частотной областях.

Упражнение 7.6 Полосно-заграждающая (bandstop) фильтрация речи

Откройте:

Getting Started\filter\speech_band_noise.svu

Этот входной сигнал – речь с добавленным шумом, ограниченным полосой от 1100 Гц до 1300 Гц.


(а) Запустите систему и прослушайте зашумленную речь.

(б) Спроектируйте фильтр, который удалит речевые частоты от 1100 Гц до 1300 Гц. Запустите систему, и прослушайте выходной сигнал. Шум должен быть удален. При этом четкость речи немного ухудшится, так как также удалены речевые частоты в диапазоне от 1100 Гц до 1300 Гц.

Предварительно разработанное решение этого упражнения находится в файле:

Getting Started\filter\speech_band_noise2.svu


Упражнение 7.7 Проектирование различных фильтров (Custom FIR)

Спроектируйте различные фильтры ( FIR), и убедитесь в их правильности. Обратите внимание, что в окне диалога «Linear/Sys», SystemView позволяет проектировать различные стандартные фильтры, основанные на различных типах работы с окнами. Исследуйте несколько фильтров по Вашему выбору, например окна *Hann* и *sint/t*.

7.3 Стандартные типы FIR-фильтров

В этом разделе мы рассмотрим и проанализируем несколько стандартных типов FIR фильтров.

Упражнение 7.8 Фильтр Скользящего Среднего Значения

Очистите окно проектирования и установите единственный Linear/Sys маркер . Установите частоту отсчетов в системе, равной 10 000 Гц.

Установите 10 *фильтров скользящего среднего значения веса*, показанные на рисунке 7.5, напечатав параметр 10 в и убедитесь, что это - действительно низкочастотный фильтр. Устанавливать этот фильтр поставив значение 0.1 для каждого из 10 коэффициентов ЧИСЛИТЕЛЯ, указанных в окне диалога LINEARSYS

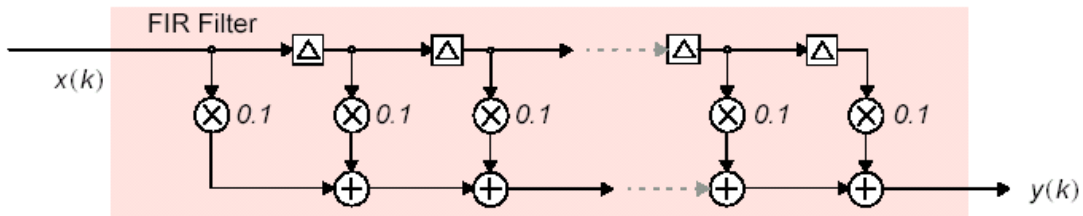
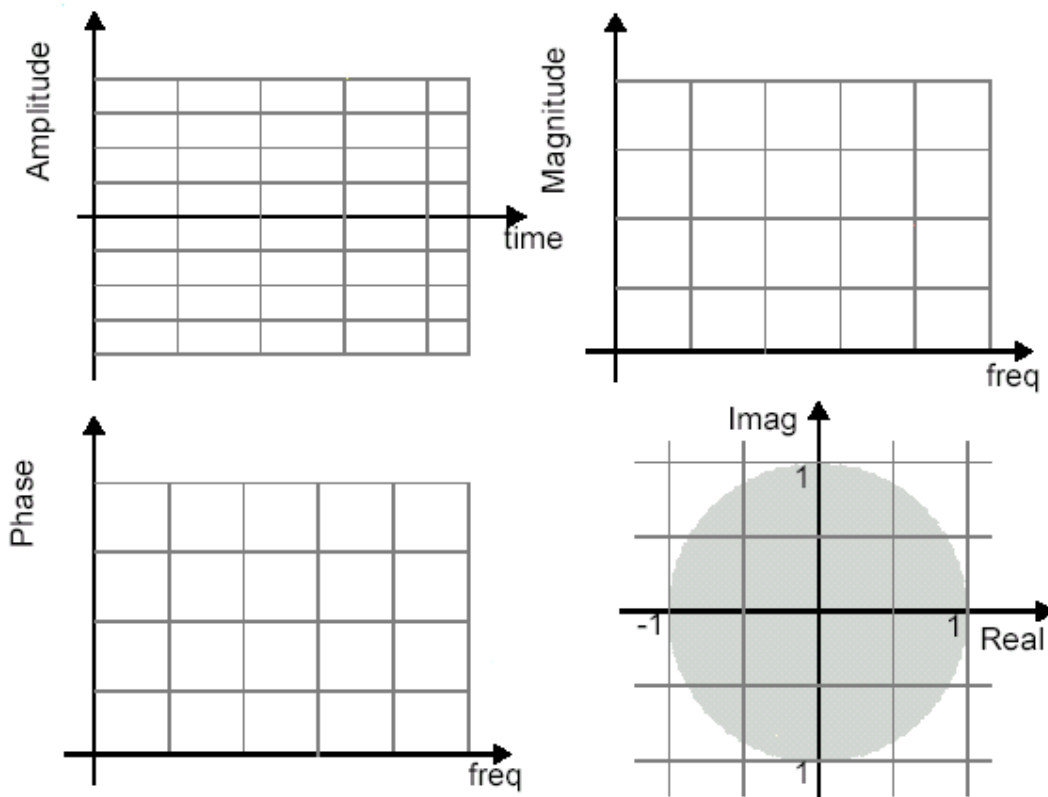


Рисунок 7.5 – Простой фильтр скользящего среднего значения



Постройте графики импульсной передаточной функции, АЧХ, ФЧХ и нули фильтра, показанные на рисунке.

Используйте НЧ- и ВЧ-синусоидальный сигнал в качестве входного сигнала для фильтра, чтобы подтвердить его НЧ-характеристики.

Подходящая система находится в файле

`Getting Started\filter\moving_avg.svu`

FIR-фильтр скользящего среднего значения имеет пять спектральных нулей в частотном отклике. Мы могли бы определить это, рассматривая импульсную характеристику. Например, синусоидальный сигнал частотой 2000 Гц точно равен 1/5 от частоты осуществления выборки 1000 Гц и дает на выходе ноль, так как на выходе - всегда ноль¹.

Упражнение 7.9 Простой высокочастотный дифференциатор

`Getting Started\filter\differentiator.svu`

Осуществите простые 2 weight фильтра коэффициентами 0.5 и -0.5, также известный, как дискретный дифференциатор, где

$$y(k) = \frac{1}{2}[x(k) - x(k-1)]$$

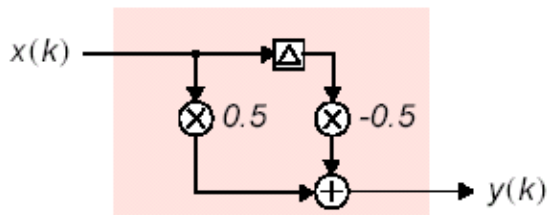
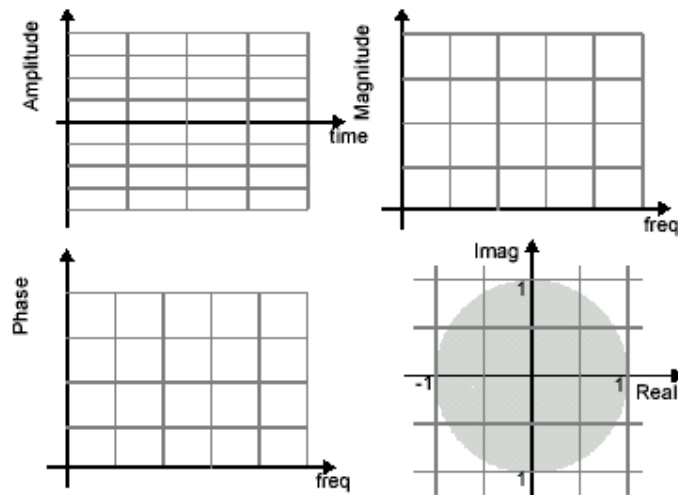


Рисунок 7.6 Дифференциатор высокочастотного фильтра

Постройте графики импульсной передаточной функции, АЧХ, ФЧХ и нули фильтра, показанные на рисунке.



¹ a sine wave of frequency 2000Hz exactly 1/5th of the sampling frequency of 10000Hz gives an output of zero because the output is always zero.

Выясните причину, почему это – высокочастотный фильтр:
 Введите низко и высокочастотные синусоидальные сигналы, чтобы убедиться, что это действительно высокочастотный фильтр.

Упражнение 7.10 Гребчатый (Comb) фильтр

Getting Started\filter\comb.svu

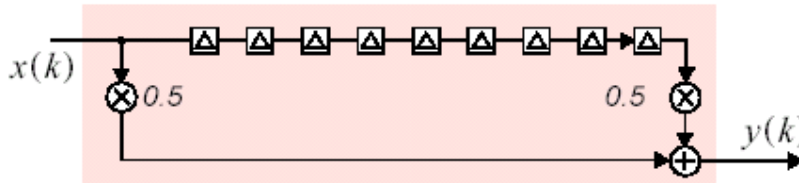
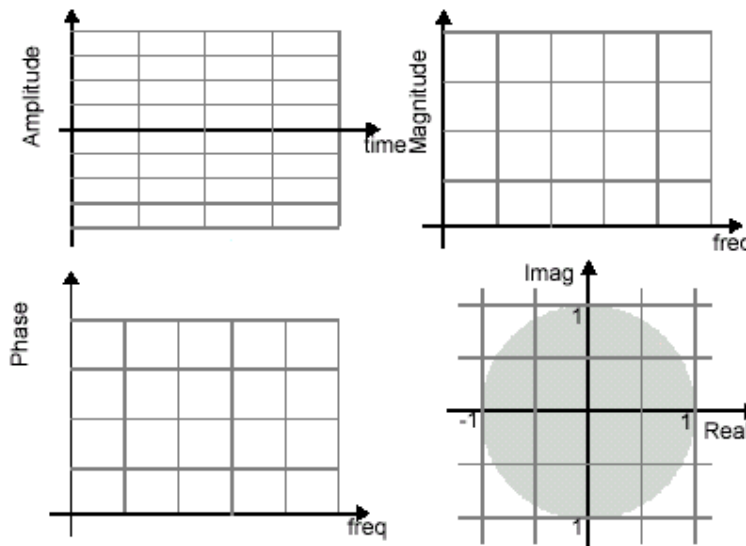


Рисунок 7.7 – Простой гребчатый фильтр

В этом упражнении мы осуществим 2 простых weight фильтра с коэффициентами 0.5 в весе 0 и в весе 9, и любом другом нулевом наборе весов, то есть:

$$y(k) = \frac{1}{2}[x(k) + x(k-9)].$$

Постройте графики импульсной передаточной функции, АЧХ, ФЧХ и нули фильтра, показанные на рисунке.



Отмечая величину частоты, задумайтесь, почему этот фильтр – Comb? Введите синусоидальный сигнал в диапазоне от $10000/6 = 1666.66\dots$ Гц (то есть точно в одном из нулей спектра). Чему равна амплитуда выходного сигнала?

Немного измените частоту, например до 1500 Гц; Чему равна теперь амплитуда сигнала на выходе фильтра?

7.4 Линейные фазовые цифровые фильтры

Цифровые FIR фильтры с симметричными весами, будут линейно фазовыми. Линейная фаза означает, что сдвиг фазы сигнала изменяется линейно.

Желательное свойство линейной фазы – то, что все пропускаемые частоты задерживаются с постоянным временем, или групповой задержкой. Для DSP связи линейная фаза - очень важное свойство, особенно в том случае, если фаза несущего сигнала фактически содержит информацию. Следовательно, фактически во всех системах связи нам нужно, чтобы цифровые фильтры имели линейную фазовую характеристику.

Для получения дополнительной информации о линейной стадии цифровых фильтров смотрите [Краткий учебник по DSP](#).

Упражнение 7.11 Линейная фаза и групповая задержка

Откройте:

`Getting Started\lneal_phase.svu`

(a) Запустите систему, и в окне анализа, обратите внимание на “задержку” синусоидального сигнала, пропускаемого через фильтр. Вычислите задержку в количестве отсчетов и по времени.

Задержка времени =


Задержка выборок =

(b) Измените частоту синусоидального сигнала на 200 Гц, и снова обратите внимание на “задержку” синусоидального сигнала, проходящего через фильтр.

Задержка времени =

Задержка выборок =

(c) Измените частоту синусоидального сигнала на 200 Гц, затем до 400 Гц и так далее, и убедитесь, что задержка имеет такую же величину.

(d) В окне проекта, рассмотрите диалоговое окно LINEAR-SYS/FILTER  и вид фазового отклика и групповой задержки. Соответствуют ли они линейно-фазовой?

(e) Вычисленное значение отсчетов задержки должно быть равно $(N-1)/2$, где $N = 103$ – число весов фильтра. Почему¹ это должно быть групповым временем задержки линейно-фазового фильтра (который имеет симметричную импульсную передаточную функцию)?

¹ Why should this be the group delay of a linear phase filter (which has a symmetrical impulse response)?

7.5 IIR Цифровые Фильтры

SystemView обеспечивает проектирование как FIR-фильтров, так и IIR-фильтров (фильтров с бесконечной импульсной передаточной функцией). IIR фильтры имеют рекурсивную обратную связь.

Подробная информация относительно IIR фильтров может быть найдена в [кратком учебнике по DSP](#).

Упражнение 7.12 Проектирование IIR Фильтров

IIR фильтры могут быть разработаны в пределах SystemView в диалоговом окне LINEARSYS, которое можно открыть, используя кнопку

Analog...

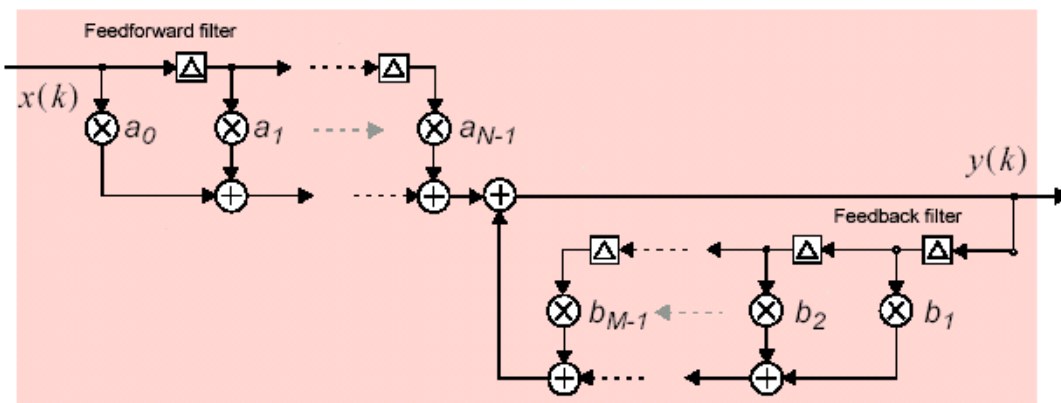
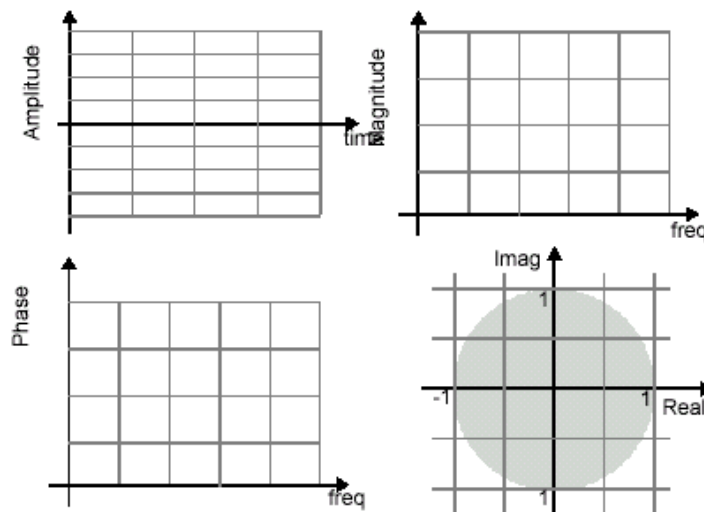


Рисунок 7.8 – Обобщенная схема IIR-фильтра

Спроектируйте 6-полюсный низкочастотный IIR-фильтр Баттерворта и наблюдайте его работу, подавая на вход подходящие сигналы. Постройте графики импульсной передаточной функции, АЧХ, ФЧХ, нули и полюса разработанного фильтра:



Вопрос:

Как долго (в числе выборок) – продолжал длиться импульса?

Объясните, почему число выбранных полюсов было равно 6, принимая во внимание то, что в окне диалога LinearSys/Filter количество коэффициентов числителя и знаменателя равно 7.

Является ли IIR-фильтр линейно-фазовым? Что было бы, если бы были предъявлены менее строгие требования к линейности фазы в полосе пропускания и было бы это желательным свойством?

7.6 Все пропускающий цифровой фильтр

Иногда нам может понадобиться фильтр, который передает все частоты без ослабления, но некоторым способом изменяет фазу сигнала. Такие типы фильтров называются все пропускающими фильтрами. (Самый простой пример - все частоты проходят по прямой части проведенного провода). Общая функция преобразования такого типа для все пропускающих фильтров следующая:

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}}{a_N + \dots + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-(N-1)} + a_0 z^{-N}} \quad (7.1)$$

Следовательно, если коэффициенты числителя = { 1,2,6,7,8 } тогда фильтр будет следующим:

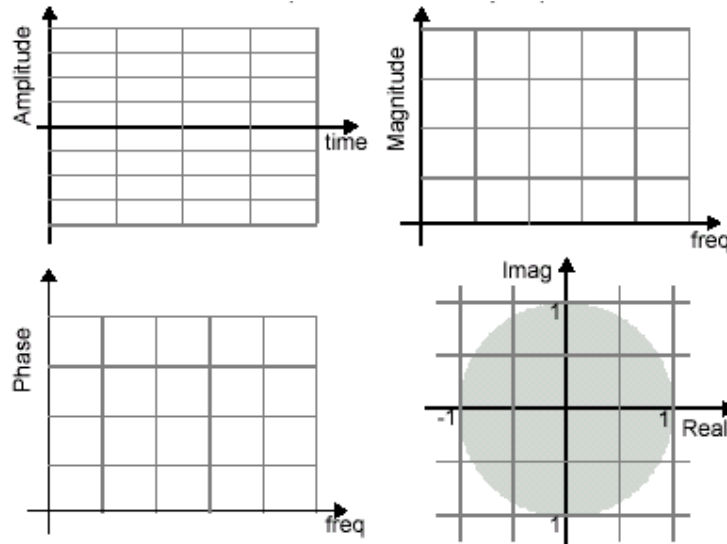
$$H(z) = \frac{1 + 2z^{-1} + 6z^{-2} + 7z^{-3} + 8z^{-4}}{8 + 7z^{-1} + 6z^{-2} + 2z^{-3} + 1z^{-4}} \quad (7.2)$$

Каким образом определить устойчивость разработанного фильтра?

Упражнение 7.13 Настройка всепроходящих фильтров

Установите всепроходящий фильтр с 5 коэффициентами прямой и 5 коэффициентами обратной связи. Обратите внимание, что Вы должны будете сделать так, чтобы полюса были в пределах круга модуля; Сначала проверьте импульсную передаточную функцию на сходимость, которая должна гарантировать что полюса находятся в пределах круга модуля. (Один простой набор коэффициентов знаменателя был бы {5,4,3,2,1}, а коэффициенты числителя - {1,2,3,4,5}, обозначенный в Упражнении 7.1.

(а) Постройте графики импульсной передаточной функции, АЧХ, ФЧХ, нули и полюса разработанного фильтра:



(b) Используйте в качестве входного сигнала синусоидальный сигнал любой частоты, либо подключите источник качающейся частоты и сравните величины входного и выходного сигналов. Является ли разработанный фильтр всепропускающим?

(c) Рассмотрите полюса и нули фильтра. Обратите внимание, что нули – фактически являются “зеркальным отражением” полюсов. Следовательно, этот фильтр в части прямой связи всегда является неминимально-фазовым, поэтому полюса ДОЛЖНЫ БЫТЬ в единичном круге.

7.7 Фильтр с ограниченной длиной слова (Wordlength)

Пока мы имели дело с фильтрами, точность коэффициентов которых задана числами с плавающей запятой. Если в реальности будет использоваться DSP процессор с 16 разрядной длиной слова, или даже 8 разрядный, как будет это влиять на импульсную, амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики фильтра?

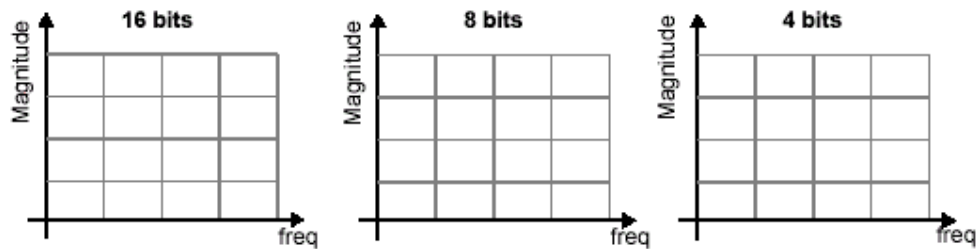
Упражнение 7.14 FIR фильтр с ограниченной длиной слова

Откройте:

```
Getting Started\ filter\firwordlen.svu
```

(a) Рассмотрите параметры FIR фильтра и затем установите в диалоговом окне LINEAR/SYS проекта фильтра **Quantization:** значение битов, равным 16 (не забудьте нажать на кнопку Apply (Применить)). Просмотрите импульсную передаточную функцию и частотную

характеристику¹. Имеются ли заметные изменения? Постройте график частоты величины фильтра с 16 разрядной разрешающей способностью ниже:



(b) Теперь установите число битов, равным 8. Какие изменения произошли с импульсной передаточной функцией и АЧХ? Эскиз выше.

(c) Уменьшите число битов до 4. Какие изменения произошли с импульсной передаточной функцией и АЧХ? Эскиз выше.

(d) Что случилось здесь? (*What is happening here?*)

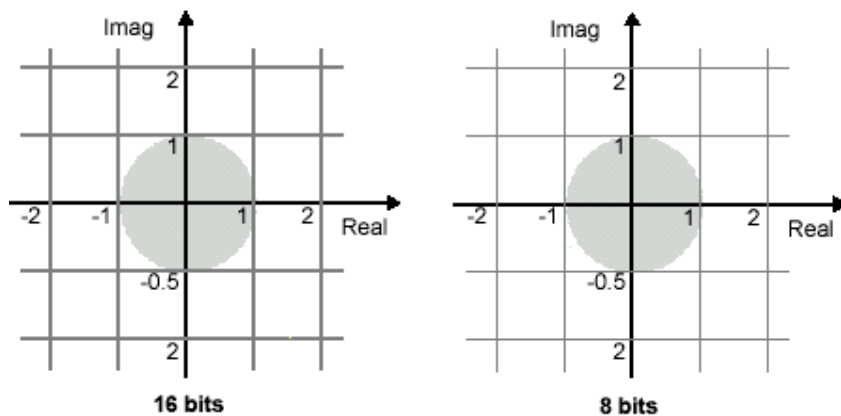
Упражнение 7.15 IIR-фильтр с ограниченной длиной слова

Откройте:

`Getting Started\ filter\iirwordlen.svu`

Рассмотрите параметры IIR-фильтра и затем установите число битов квантования равным 16 в диалоговом окне проектирования LINEAR/SYS.

Постройте график расположения полюсов и нулей ниже:



Просмотрите импульсную передаточную функцию и частотную характеристику. Имеются ли значимые изменения?

¹ the frequency gain response

Теперь установите число битов квантования равным 8. На какие изменения импульсной передаточной функции и АЧХ Вы обратили внимание?

(е) Можете ли Вы сказать, что система непостоянна?

Вопрос:

Почему АЧХ IIR-фильтра имеет более резкий спад, чем у FIR-фильтра при одинаковом числе битов квантования?

Начертите блок-схему (или спроектируйте в SystemView), простую систему, которая позволит осуществить ИСТИННОЕ цифровое моделирование¹, то есть квантованные входные данные, ограниченную длину слова и квантованные выходные данные.

8 АДАПТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Этот компакт-диск включает “живую” версию SystemView адаптивной библиотеки фильтров AdaptLib, который обеспечивает всесторонний набор модулей для выполнения адаптивных алгоритмов обработки сигналов. (См. Приложение А, для получения дополнительной информации.)

Адаптивная библиотека, используемая в этом курсе имеет модули для следующего класса алгоритмов:

- § Least Mean Squares (LMS) Наименьшее количество Средних Квадратов
- § Recursive Least Squares (RLS) Рекурсивное Наименьшее количество Квадратов
- § Complex LMS (CLMS) Комплекс LMS

Фактически любой вариант, типа фильтрованного - X LMS имеет ошибки признака нормализованной, многоканальной LMS и так далее может быть сформирован с помощью этих модулей. Модули, рассмотренные в Приложении А, и резюме представлены на рисунке 8.2.

Рисунок 8.1 отображает алгоритмы, которые могут быть осуществлены с помощью библиотеки, и рисунок 8.3 отображает различные прикладные программы, которые могут быть осуществлены.

¹ BIT TRUE simulation

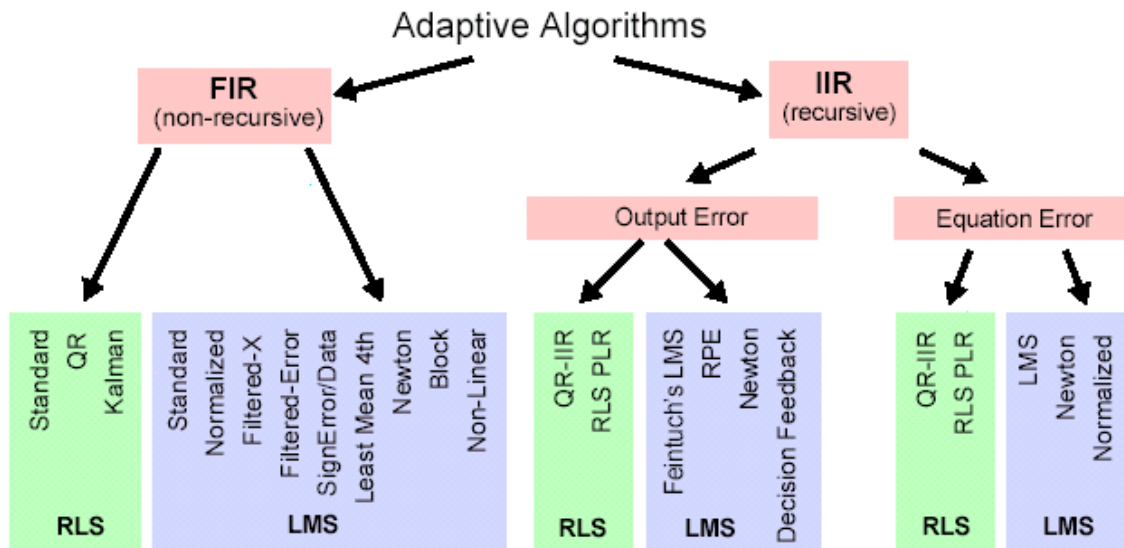


Рисунок 8.1 – Обзор стандартных адаптивных алгоритмов

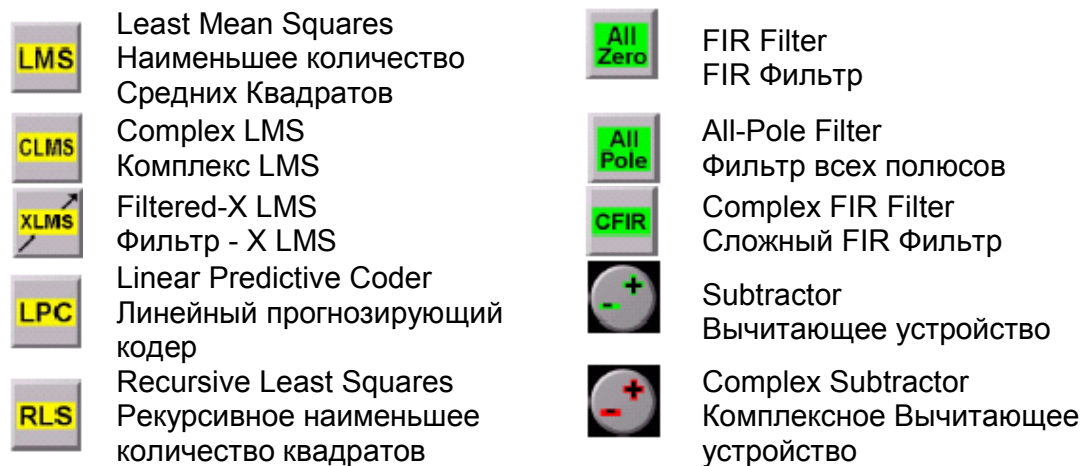


Рисунок 8.2 – Модули библиотеки *Adapt_dsp.dll*

Системная Идентификация	Inv. Системная Идентификация	Предсказание	Шум Cancelation
Телефонный канал	Уравнивание Канала	МДКРК (CDMA) ¹	Актив.
ЕCHO Модема	Направленное	LPC Речевое	Шум.Контроль
Акуст. ЕCHO контроль	Уравнивание	Кодир.	Побочный шум
Канал Радио	Слепое	Период.	ЕСG шум.
Комнатная акустика	Уравнивание	Шумоподавлен.	контроль
	Решающая	Специальное	Акуст.
	Обратная связь	“Беление”	Формирование
	Дробный компенсатор	Адаптивный получатель	Контроль шума
		МДКРК	мультимед.

Рисунок 8.3 – Адаптивные прикладные программы обработки сигналов.

¹ МДКРК - множественный доступ с кодовым разделением каналов

8.1 Установка Адаптивной Библиотеки

Когда Вы откроете Ваш первый адаптивный пример, SystemView должен обнаружить требуемую библиотеку и она должна быть загружена. После того библиотечные модули могут использоваться точно так же как и обычные.

Библиотека может быть найдена в файле:

Digital Comm\External Files\Custom Dills

8.2 Универсальный модуль наименьшего среднеквадратического значения


Большинство общих маркеров в адаптивной библиотеке – модули наименьшего среднеквадратического значения (LMS). Они дают возможность прямого выполнения LMS и множество его вариантов.

Для универсальной LMS архитектуры показанной на рисунке 8.4, основное уравнение модификации веса, следующее:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu(-\nabla_k) \quad [8.1]$$

где LMS градиент определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{\nabla}_k &= \frac{de^2(k)}{d\mathbf{w}(k)} = 2e(k) \left[\frac{de(k)}{d\mathbf{w}(k)} \right] = 2e(k) \left[\frac{d[d(k) - y(k)]}{d\mathbf{w}(k)} \right] \\ &= 2e(k) \left[-\frac{dy(k)}{d\mathbf{w}(k)} \right] = -2e(k) \left[\frac{dy(k)}{d\mathbf{w}(k)} \right] \end{aligned} \quad (8.2)$$

LMS модуль  осуществляется, как показано на рисунке 8.5, уравнением:

$$\frac{dy(k)}{d\mathbf{w}(k)} = \frac{d[\mathbf{w}^T(k)\mathbf{x}(k)]}{d\mathbf{w}(k)} = \mathbf{x}(k) \quad (8.3)$$

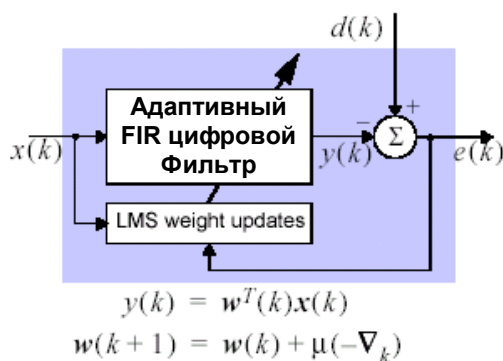
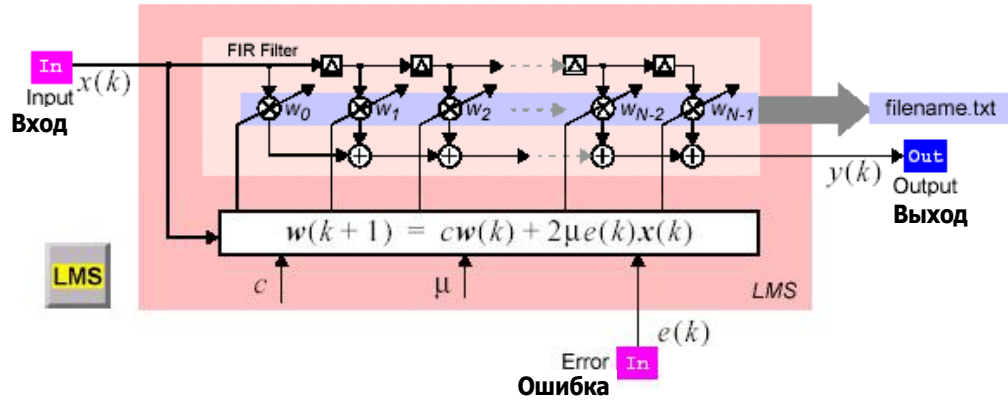


Рисунок 8.4 – Универсальный LMS процессор



<p>Векторные определения:</p> $w(k) = [w_0, w_1, \dots, w_{N-1}]^T_k$ $x(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$	<p>Выход фильтра: $N-1$</p> $y(k) = w^T(k)x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n(k)x(k-n)$ <p>Модификация веса: $n=0$</p> $w(k) = cw(k-1) + 2\mu e(k)x(k)$
---	---

Рисунок 8.5 – LMS модуль из адаптивной библиотеки (Lite). Адаптивные веса фильтра сохраняются в конце моделирования в файле, определенном пользователем

Константа c - коэффициент забывания, который мы обсудим позже, для большинства случаев моделирования $c=1$. Для универсальной адаптивной системы, показанной на рисунке 8.4 алгоритм модифицирован по стандарту LMS. Отметим, что:

$$\frac{dy(k)}{dw(k)} = \frac{d[w^T(k)x(k)]}{dw(k)} = x(k) \tag{8.4}$$

Стандартная модификация веса LMS определяется так:

$$w(k+1) = w(k) + 2\mu e(k)x(k) \tag{8.5}$$

LMS алгоритм осуществлен с использованием LMS модулей, и вычислением $e(k)$, показанных на рисунке 8.6. Для получения дополнительной информации об LMS см. [краткий учебник по DSP](#).

Используя LMS модуль, мы можем легко установить LMS варианты такие, как признаки данных, признаки ошибки, задержанного LMS, переменный размер шага, фильтрованный-X

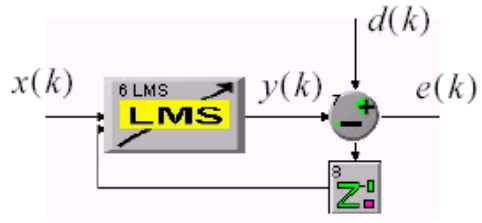




Рисунок 8.6 – Общие символические сравнивающие подключения LMS.

LMS и так далее, соответственно настраивая различные входы модуля.

Обратите внимание, что  – это просто общий вычитающий модуль вычисляющий $d(k) - y(k)$.

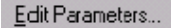
8.3 Общая адаптивная фильтрация LMS и системная идентификация

В следующих упражнениях может быть полезно использовать системный просмотр  реального времени и просматривать сигнал ошибки.

Упражнение 8.1 Общая LMS фильтрация

Откройте идентифицирующий пример адаптивной системы фильтра:

`Getting Started\adaptive\sys_id_lms.svu`

Выберите  (нажатием на правую кнопки мыши по символу) модуля LMS, и обратите внимание, что номер весов FIR в адаптивном фильтре равен 20 и, что адаптивные веса фильтра будут сохранены в файле в конце моделирования под именем:

`Digital Comm\External Files\General\sys_id_lms_temp.txt`

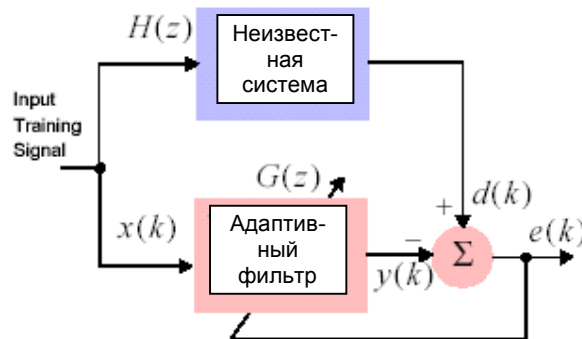


Рисунок 8.7 – Идентификация системы

Если Вы определили, что имя файла “temp.txt” обратите внимание на следующее: маркеры будут читаться или записываться в файл:

`c:\Program Files\SystemView\temp.txt`

То есть путь установки по умолчанию SystemView приписывает к имени файла.

(Вы может также просматривать сведения о параметрах модуля, помещая указатель мыши поверх модуля, не нажимая кнопки мыши).

В LMS модуле размер шага μ , первоначально установлен равным 0.01. Выбирая:

$$0 < \mu < \frac{1}{N \langle \text{input signal power} \rangle}$$

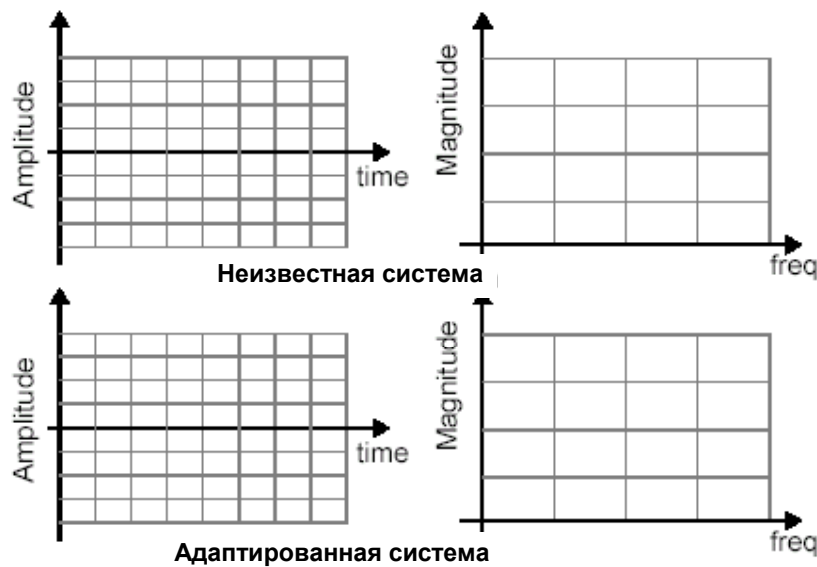
тогда мы допускаем ошибку во входной мощности белого шума сигнала 1, и в числе весов фильтра $N = 20^1$. (Обратите внимание, что эти адаптивные упражнения Вам будут требоваться повсюду, чтобы управлять размером шага, гарантируя сходимость и стабильность.) Утечка установлена в $c = 1$, (то есть утечки веса нет).



Сигнал ошибки и модификация веса сгенерированы как $e(k) = d(k) - y(k)$ и обратная связь в LMS модуле (см. рисунок 8.5) и вес обновлен – поэтому

$$w(k) = cw(k-1) + 2\mu e(k-1)x(k-1)$$


то есть стандартный LMS.





(а) Рассмотрите “систему неизвестной” импульсной передаточной функции, которая установлена в простой низкочастотный фильтр. Постройте график импульсной передаточной функции и АЧХ:




(b) Запустите систему. Обратите внимание, что Вы получите предупреждение “No Input Connection” (“Вход не подключен”) касающегося неподключенного LinearSys модуля  в нижнем правом углу экрана. Щелкните на “Run System”  (“Пуск системы”), чтобы продолжить выполнение (неподключенный модуль будет игнорироваться).

¹ then we err on this side of caution given the white noise input signal power of 1, and number of filter weights $N = 20$

Этот несвязанный маркер  LinearSys включен, чтобы позволить Вам открыть файл, в котором были сохранены адаптивные веса после моделирования.

Обратите внимание, что LMS модуль сохраняет адаптированные веса в файле, который определен в диалоговом окне LMS параметра. Эти веса могут быть просмотрены с помощью (неподключенного) LinearSys модуля в нижнем правом углу экрана нажатием правой кнопки мыши и , затем используйте пункт меню  >  >  и выберите:

`Digital Comm\External Files\General\sys_id_lms.txt`

Постройте графики импульсного отклика и АЧХ для LinearSys  модуля, как было показано выше.

(с) Рассмотрите неизвестную системную импульсную передаточную функцию снова, и замените любой из весов, скажем, на 0.5. Обратите внимание, что импульсная передаточная функция теперь изменилась, как и АЧХ. Теперь повторно запустите моделирование. Просматривая адаптивные значения веса фильтра и сигнал ошибки, адаптировался LMS модуль вновь? (Вам необходимо читать в весах к модулю LinearSys, чтобы увидеть недавно модифицированные значения файла “`sys_id_lms_temp.txt`”).¹

(d) Уменьшите размер шага, скажем коэффициентом 10 (просто измените функцию шага исходной амплитуды модуля) и повторно запустите систему. Что можно сказать теперь о скорости сходимости сигнала ошибки?

(e) Увеличьте размер шага до тех пор пока LMS станет нестабильным. Это соглашается связанный предложенный выше?²

Упражнение 8.2 Нормализованный Размер Шага LMS

Откройте:

`Getting Started\adaptive\normalized.svu`

Эта система вычисляет размер шага LMS во время выполнения так:

$$\mu = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{(x^2(k) + x^2(k-1) + \dots + x^2(k-N+1) + \epsilon)} \right) \approx \frac{1}{2} \left(\frac{1}{N[\text{Signal Power of } x(k)]} \right)$$

¹ Note you require to read in the weights to the LinearSys token to see the newly updated “`sys_id_lms_temp.txt`” file values.

² Does this agree with the bound suggested above?

Выбор, обычно связанный с LMS рассчитан перед выполнением алгоритма как:

$$0 < \mu < \frac{1}{N \langle \text{input signal power} \rangle}$$

NLMS устанавливает размер шага равным половине максимума, но все еще в пределах обычных границ стабильности. Следовательно быстрая сходимость поддерживается даже если мощность входного сигнала изменяется.

Упражнение 8.3 Надмодельные (Overmodeled) и Подмодельные (Undermodeled) Системы

Откройте:

`Getting Started\adaptive\lms_modelling.svu,`

который является простым примером системной идентификации.

Для моделирования системной идентификации в [Упражнении 8.1](#), количество адаптивных весов фильтра и число “неизвестных” весов фильтра были теми же самыми; следовательно мы смогли найти почти точную модель.

Фильтр в этой системе является полосовым фильтром с 20 весами и LMS маркер был установлен, чтобы иметь то же самое количество 20 весов **в первом образце**.

(a) Спроектируйте систему и представьте адаптивные веса фильтра, чтобы подтвердить, что система адаптирована к импульсной передаточной функции неизвестной системы.

(b) Измените число адаптивных весов FIR фильтра до 30 (Overdetermined) и повторно запустите систему. Обратите внимание на значения весов фильтра после сходимости. Каковы значения “дополнительного пространства” 10 весов?

(c) Измените число адаптивных весов FIR фильтра сначала на 10 (Underdetermined) и запустите систему вторично. Обратите внимание на значения весов фильтра после сходимости. Каковы значения этих 10 весов, и как они достигаются? Сравните их с импульсной передаточной функцией неизвестной системы.

(d) Измените неизвестную систему на 8 полюсный низкочастотный фильтр Баттерворта с частотой среза, равной 1000 Гц. Обратите внимание на импульсную характеристику и частотную характеристику “неизвестной системы”. Запустите LMS сначала с 20 весами, и затем выберите “подходящее” количество в порядке, чтобы была достигнута “разумная” идентификация системы. Как Вы определили “разумные” размеры?

Вопрос:

Что можно сказать о результатах идентификации системы, когда LMS недостаточно или слишком определен (детерминирован)¹? Каким образом выбирается порядок (длина) FIR-фильтра при идентификации системы с бесконечной импульсной характеристикой?

Почему в предыдущем примере при изменении длины адаптивного фильтра, необходимо было изменить размер шага, чтобы обеспечить стабильность?

Упражнение 8.4 Шум наблюдения

Откройте:

`Getting Started\adaptive\lms_obsnoise.svu`

При моделировании системы идентификации в предыдущем случае отсутствовал шум наблюдения, то есть сигнал был только на выходе неизвестной системы. Следовательно, пока адаптивный фильтр и неизвестная система имели подобные импульсные отклики, и мы могли фактически достигнуть нулевой ошибки.

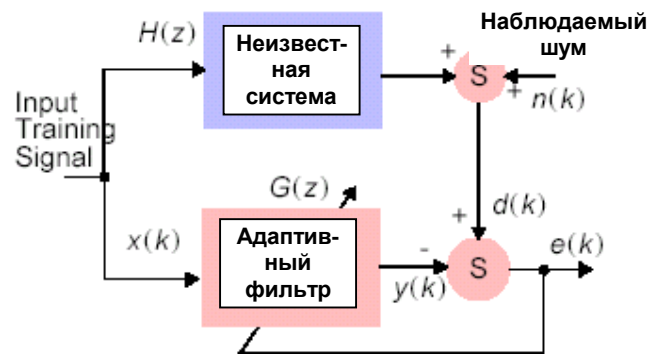


Рисунок 8.8 – Идентификация системы с шумом наблюдения

В новой системе имеется небольшое количество некоррелированного шума наблюдения, добавленного к неизвестному системному выходу.

(Например, в акустической системе идентификации помещения этот некоррелированный шум был бы типично фоновым шумом, воспринимаемым чувствительным микрофоном.)

(а) Запустите систему и обратите внимание на конечную величину ошибки. Проверьте, действительно ли выполнена адаптация фильтра, с помощью проверки весовых значений.

(б) В окне анализа обратите внимание, что сигнал ошибки после адаптации имеет соизмеримый уровень мощности с наблюдаемым сигналом шума (то есть $20 \log_{10}|n(k)|$). Является ли это ожидаемым результатом?

¹ under- or over-determined?

8.4 Адаптивный Эхо-Компенсатор

Широко применяемый эхо-компенсатор – фактически системная идентификация. **Рисунок 8.9** иллюстрирует простую "голосовую" эхо-компенсацию, посредством чего адаптивный фильтр сначала обучается, передавая белый шум через телефонный канал, гарантируя сигнал на дальнем конце $b(k) = 0$. Таким образом, он выполняет адаптивную идентификацию системы на тракте эха. После адаптации во время $t = t_0$, если ошибка $e(k) = 0$, тогда адаптация выключена, и сигнал в наушнике - по существу

$$e(k) = \text{Echo} - \text{PseudoEcho} + b(k) \approx b(k)$$

и эхо-сигнал будет подавлен. Понятно, что эхо-компенсатор должен иметь достаточную импульсную характеристику¹, чтобы моделировать тракт эха, и время адаптации должно быть достаточно коротко, чтобы быть приемлемым для вызывающих абонентов. Это относится к решениям инженеров по ЦОС. Этот тип контроля эха также используется в модемах V.32, где микрофоны заменены источниками данных в двоичном коде.

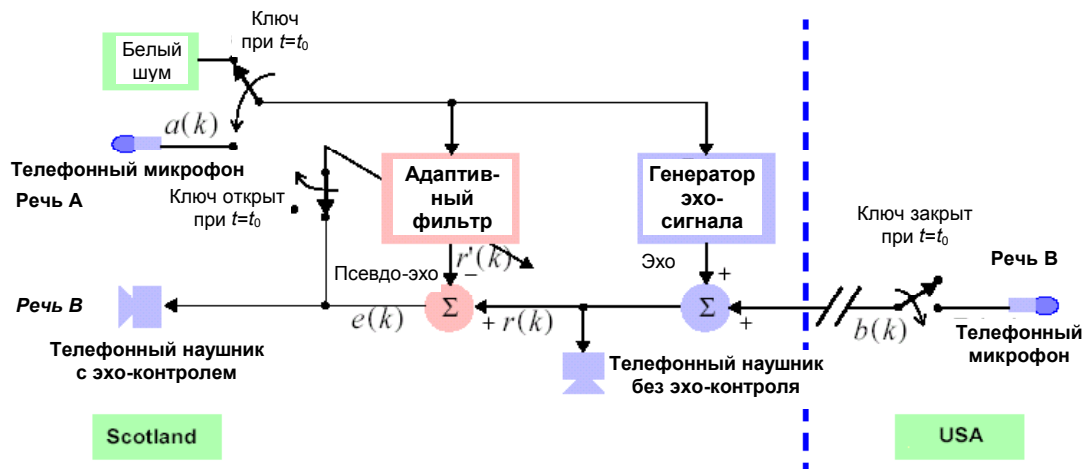


Рисунок 8.9 – Программирование компенсатора ECHO

Упражнение 8.5 LMS аудио- эхо-компенсатор

Откройте:

[Getting Started\adaptive\echo_cancel_lms.svu](#)

Речевые файлы, используемые в этом примере, дискретизированы частотой 8kHz при разрешающей способности в 16 бит. Эта простая демонстрация адаптивной эхо-компенсации может рассматриваться как

¹ sufficient impulse response

идентификация системы канала телефонного эха, где удаленный speaker эффективно осуществляет наблюдение за шумом. Сравните рисунки 8.8 и 8.10.

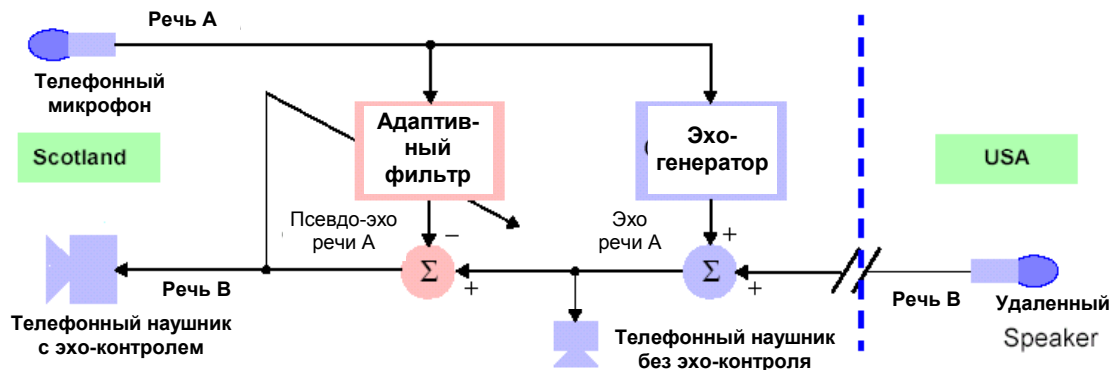


Рисунок 8.10 – Эхо-компенсатор

(a) Запустите систему и слушайте местный сигнал наушника с эхо, и сигнал без эхо. Выполнил ли эхо-компенсатор свою задачу?

(b) Попробуйте увеличить и уменьшать размер шага, чтобы почувствовать эффект изменения на эхо-контроле.

(c) Канал эха был установлен как IIR-фильтр. Обратите внимание на количество весов адаптивного фильтра, требуемых для моделирования данного канала. Попробуйте увеличивать и уменьшать их количество. Выполнил ли свою задачу эхо-компенсатор ?

8.5 Подавление помех и шумов

В этом разделе осуществляется моделирование различных адаптивных структур подавления помехи, от аудио-применений до телекоммуникационных систем, подавления интерференции в подвижной радиосвязи, CDMA.

Упражнение 8.6 Адаптивное подавление помех в аудио-сигналах

Подавление помехи имеет широкий диапазон применений в тех областях, где присутствует фоновый шум, и передаваемый речевой сигнал спектрально маскирован, как показано в [упражнении 8.11](#). Передаваемый речевой сигнал спектрально маскируется шумом (например, портативный телефон в автомобиле – шумом от автомобильного двигателя). Используя адаптивный фильтр, можно пытаться минимизировать ошибку, находя корреляцию между шумом в сигнальном микрофоне и (коррелированным) шуму в микрофоне ссылки(рекомендации).

В этом специфическом случае сигнал помехи не имеет тенденцию обращаться в ноль, поскольку мы обращаем внимание на сигнал, $d(k) = s(k) + n(k)$ принимая во внимание, что входной сигнал $x(k) = n'(k)$ передается на фильтр и не содержит любую речь. Поэтому не возможно “вычесть” любую речь при формировании $e(k) = d(k) - y(k)$. Следовательно, уменьшая мощность помех сигнала, мы обращаем внимание только на то, что удаляется только шум и $e(k) = s(k)$.

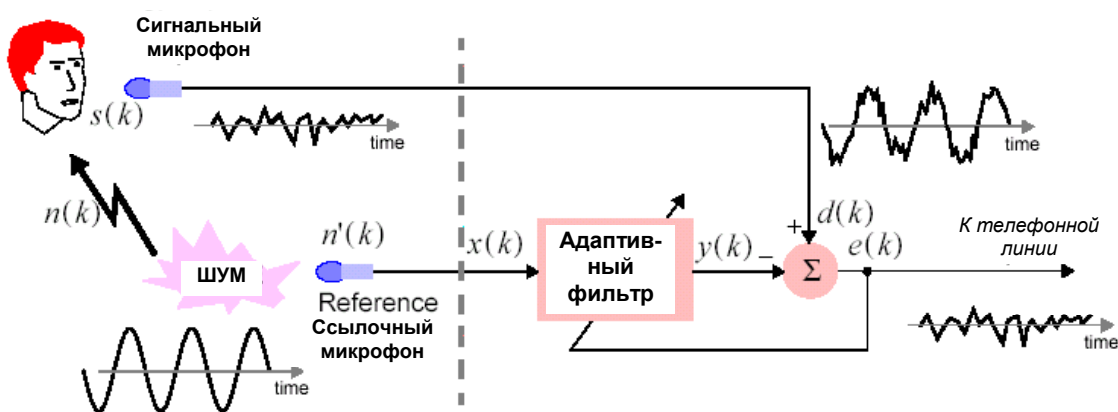


Рисунок 8.11 – Адаптивное подавление помех

Откройте систему подавления помех:

[Getting Started\adaptive\noise_cancel_audio_lms.svu](#)

(a) Изучите параметры системы и запустите ее. Прослушайте выходной сигнал.

(b) Измените источник шума на качание частоты (chirp) амплитудой 4000 в диапазоне от 200Hz до 3000Hz в течение периода 0.25 с, и запустите еще раз. Успешно ли подавление?

(c) Измените шумовой источник, перейдя к Гауссову шуму со среднеквадратичным отклонением (standard deviation) 2000. Успешно ли подавление в этом случае?

(d) Поместите задержку в 5 отсчетов между источником шума и адаптивным фильтром. При запуске системы подавление помехи будет неудачным. Это происходит потому, что адаптивный фильтр должен предсказать величину отсчетов случайного шумового сигнала, чтобы вычесть его из суммы "сигнал+шум". Это возможно с детерминированным периодическим сигналом, но не со стохастическим (случайным) сигналом.

(e) После того, как фильтр адаптировался к шуму, сигнал ошибки, представляющий собой обратную связь для фильтра, примерно аппроксимирует речевой сигнал (то есть отличный от нуля). Следовательно, веса адаптивного фильтра непрерывно изменяются и, соответственно, некоторые искажения будут слышны в речи.

Откройте систему

`Getting Started\adaptive\noise_cancel_audio_lms2.svu`

Эта систем отключается адаптацию через 2 секунды. Шум соответствует шуму, рассмотренному в части (d). Как это исполняется?

(f) Откройте систему

`Getting Started\adaptive\noise_cancel_audio_lms3.svu`

где часть речевого сигнала проникла в тракт сигнала помех.

Как работает система? Пробуйте изменить значение параметра GAIN, увеличив/уменьшив уровень мощности, просачивающейся в шумовую ссылку. При этом, для маленькой утечки мощности (GAIN (увеличение) = 0.01, или -20 дБ) эффект минимален.

8.6 Идентификация адаптивных инверсных систем - выравнивание¹

В этом разделе мы рассмотрим идентификацию инверсных систем и трудности со сходимостью неминимально-фазовых систем и комплексных систем. Позже в курсе мы рассмотрим выравнивание данных, которое основано на идентификации инверсных систем.

Упражнение 8.7 Идентификация минимально-фазовой инверсной системы

Откройте систему

`Getting Started\adaptive\inv_sys_id_lms.svu`

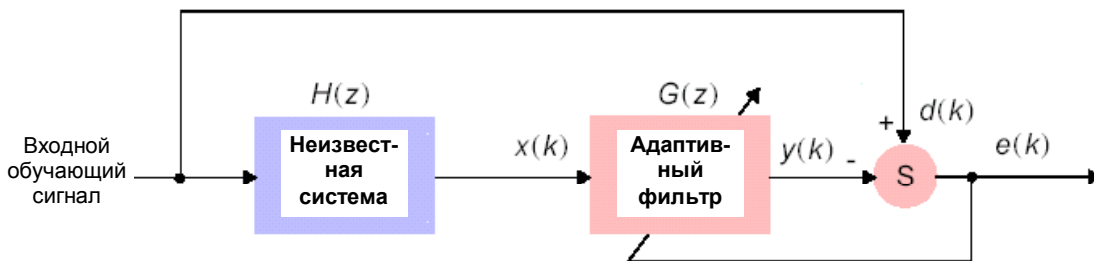


Рисунок 8.12 – Идентификация инверсной системы

которая имеет в первом приближении следующую SFG архитектуру:

Неизвестный фильтр, подлежащий инверсной идентификации очень прост, то есть имеет 2 веса FIR фильтра с коэффициентами, $\{1, 0.5\}$:

¹ Equalization – выравнивание

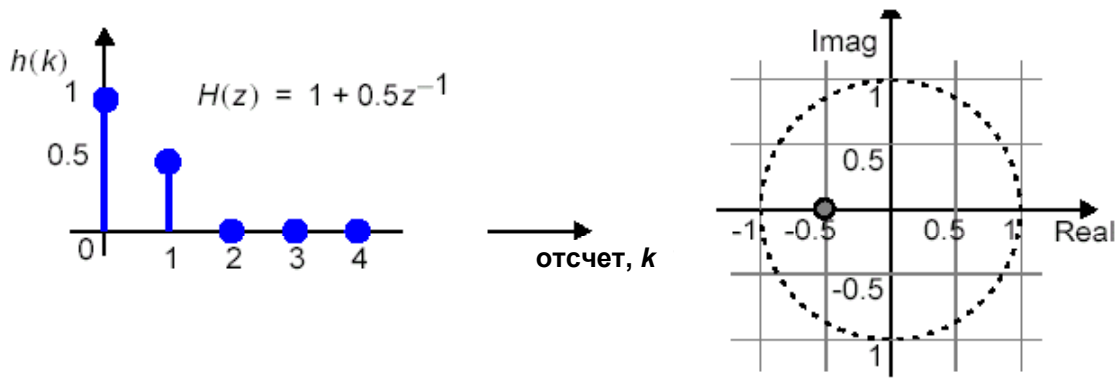


Рисунок 8.13 – Неизвестная минимально-фазовая система

В минимально-фазовых системах ноль передаточной функции находится внутри единичного круга. Например, при $(1+0,5z^{-1}) = 0$, то $z = -0.5$.

Следовательно, инверсная система может иметь одиночный полюс внутри единичного круга. Учитывая, что мы ищем инверсию системы, используя FIR-фильтр, то можно предсказать результат, вычисляя инверсию простым делением полинома z -преобразования импульсной характеристики неизвестной системы:

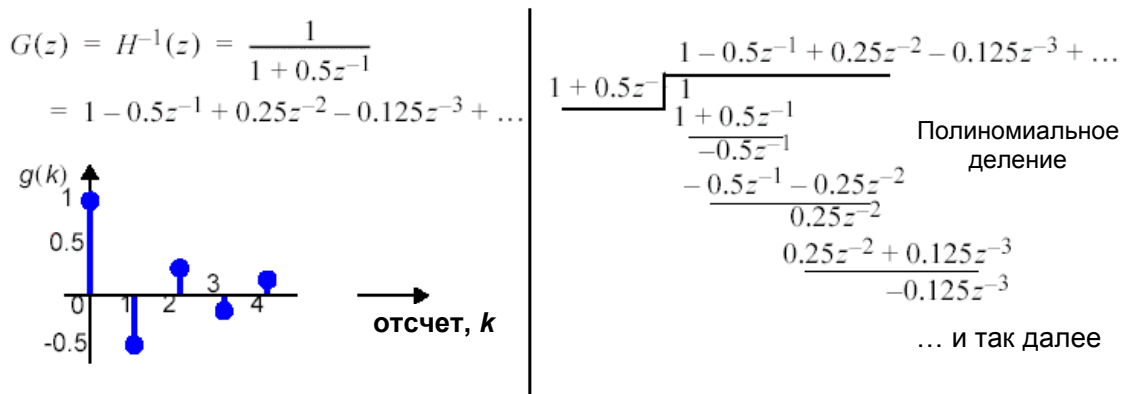
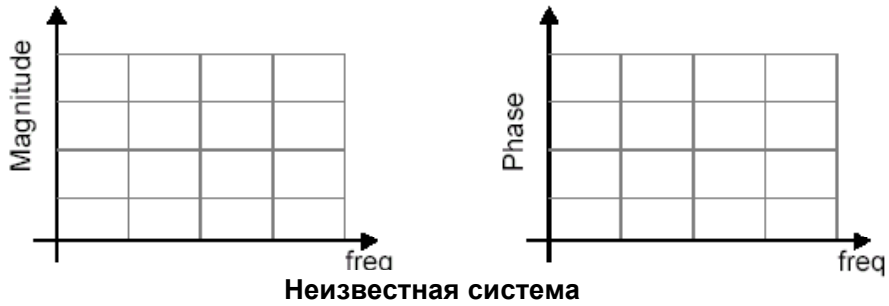


Рисунок 8.14 – Нахождение инверсии полиномиальным делением

The polynomial product $G(z)H(z)=1$.

Адаптивный фильтр имеет 20 весов, размер шага был установлен в пределах "обычных" границ, и для первых упражнений моделирования ниже, задержка полезного сигнала в тракте - НОЛЬ.

Запустите систему. Нарисуйте графики АЧХ и ФЧХ неизвестной системы и адаптивного фильтра.



Осуществлена ли идентификация инверсии системы? Соответствует ли импульсная характеристика адаптивного фильтра вычисленному выше полиному?

Упражнение 8.8 Идентификация максимально-фазовой инверсной системы

Система, используемая в предыдущем примере

[Getting Started\adaptive\inv_sys_id_lms_maxphase.svu](#)

$H(z) = 1 + 0.5z^{-1}$ имела минимальную фазу, означая устойчивость и осуществимость инверсной системы.

(а) Измените эту систему на *неминимально-фазовую* систему:

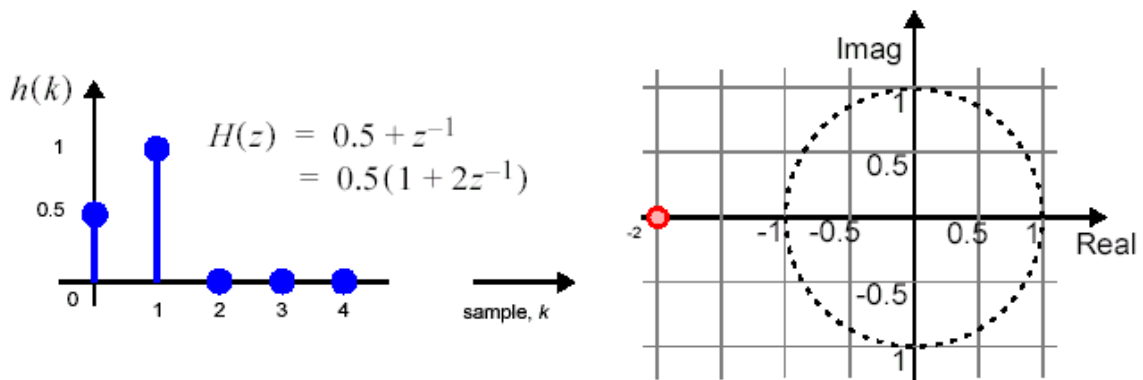


Рисунок 8.15 – Неизвестная не-минимально-фазовая система

То есть система имеет ноль в $z = -2$ и следовательно инверсия имела бы полюс в $z = -2$, который находится вне единичного круга и является неустойчивым (unstable - нестабильным).

(b) Запустите систему. Сходится ли адаптивный фильтр? (Вы должны обратить внимание, что адаптивные веса фильтра эффективно случайны, и ошибка не сходится к нулю.)

Так как ноль был вне единичного круга, и сходящаяся инверсия может быть вычислена через полиномиальное деление, что требует наличия предсказывающих (feedforward) элементов (в противоположность задержке)! Следовательно, наша (случайная) адаптивная система никогда не может сходиться к нулевой ошибке, поскольку она не может предсказывать вперед во времени.

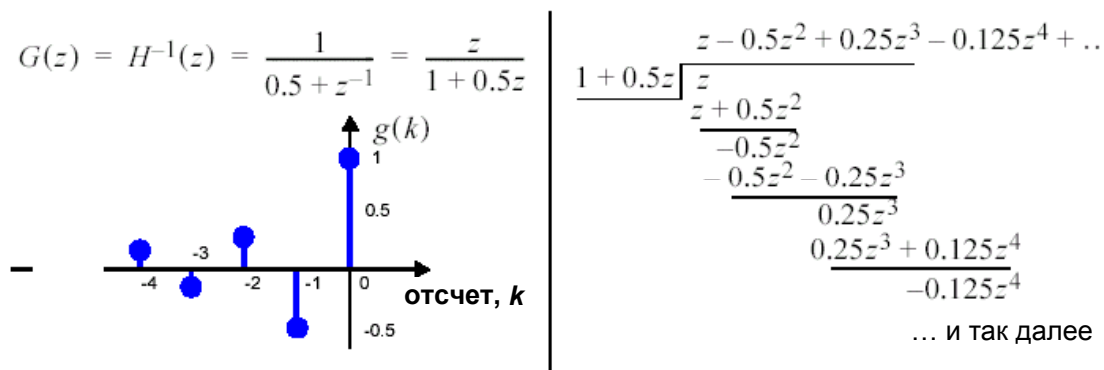


Рисунок 8.16: Не-минимально-фазовая инверсия с помощью полиномиального деления

(c) Установите задержку тракта полезного сигнала, равной 20, и повторно запустите систему. Обратите внимание на полную архитектуру системы, инвертирование которой теперь действительно (эффективно):

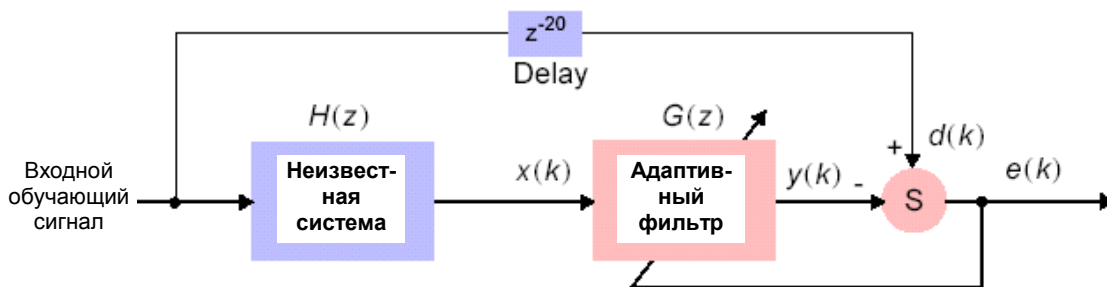


Рисунок 8.17 – Обратная системная идентификация не-минимальных систем

Сходится ли теперь система? Так, почему, представление задержки желаемого тракта позволяет инверсии быть найденной?¹ Так как неиз-

¹ So why did introducing the delay in the desired path allow an inverse to be found?

вестная система представляется задержкой, для верного инвертирования системы необходимо, чтобы адаптивный фильтр осуществлял временное предсказание, что невозможно.

Простым преобразованием в структурной схеме идентификации инверсной системы (SFG), показанной на рисунке 8.18 можно получить:

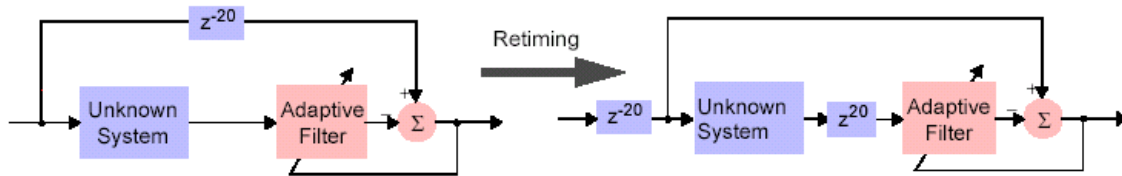


Рисунок 8.18 – Ретайминг идентификации инверсной системы. Иллюстрирует неявный "временной сдвиг" перед адаптивным фильтром

Эквивалентная система справа показывает, что желаемая задержка тракта в 20 отсчетов, может рассматриваться как задержка во входе. При этом отсутствует необходимость в задержке в желаемом тракте и предсказание в 20 отсчетов в каскаде с адаптивным фильтром (то есть $z^{-20}z^{20}=1$). Вспомните, что инверсия была определена в [упражнении 8.8](#) как:

$$G(z) = \frac{1}{H(z)} = \frac{1}{0.5 + z^{-1}} = \frac{z}{1 + 0.5z} = z - 0.5z + 0.25z^2 - 0.125z^3 + \dots$$

Неявная каскадированная задержка в 20 отсчетов позволяет адаптивным весам фильтра приспособляться:

$$\begin{aligned} G(z) &= \frac{1}{H(z)z^{20}} = \frac{z^{-20}}{0.5 + z^{-1}} = \frac{z^{-19}}{1 + 0.5z} \\ &= \dots - 0.125z^{-16} + 0.25z^{-17} - 0.5z^{-18} + z^{-19} \end{aligned}$$

что должно согласовываться с вашими результатами в [упражнении 8.8](#). Когда задержка в 10 была вставлена адаптивный фильтр, приспособленный:

$$\begin{aligned} G(z) &= H^{-1}(z) = \frac{z^{-10}}{0.5 + z^{-1}} = \frac{z^{-9}}{1 + 0.5z} \\ &= \dots - 0.125z^{-6} + 0.25z^{-7} - 0.5z^{-8} + z^{-9} \end{aligned}$$

Другой путь просто объяснения, почему неминимально-фазовые каналы не адаптируются, состоит в том, чтобы рассмотреть канал, который осуществляет задержку, то есть $H(z) = z^{-1}$ (ноль в $-\infty$). Единственно возможный путь верно правильно инвертировать этот канал состоит в том, чтобы использовать "предсказание" во времени. Но это - невозможно. Однако,

если мы "уравняем" задержку тракта канала с задержкой желаемого тракта, тогда можно найти соответствующую инверсию.

Вопрос:

Если задержка канала неизвестна (минимально-фазовая или неминимально-фазовая), часто используемое правило большого пальца должно установить желательную задержку тракта около 1/2 длины адаптивного фильтра. Причина, почему это должно быть, основано на ваших результатах моделирования и ответе на предыдущий вопрос.

8.7 Наименьшее среднеквадратическое значение против рекурсивного наименьшего квадратического значения¹

Кроме LMS-алгоритма, изученного в этом курсе, имеются другие адаптивные алгоритмы, которые также осуществляют минимизацию ошибки. Эти алгоритмы определены подробно в примечаниях курса.

Один известный и мощный (линейный) алгоритм - RLS-алгоритм. В пределах "lite"-версии адаптивной библиотеки RLS-алгоритм был выполнен в виде модуля. Преимущество RLS состоит в том, что он адаптируется быстрее и часто имеет улучшенный MMSE.

Однако требуется

сравнить MACs в выборку с LMS требованием в выборку и могут показывать числовые проблемы стабильности (ошибки деления на ноль как значения

Станут очень малыми, их в конечном счете обнуляют). Можно также иметь проблемы с Трэнкингом не-постоянных сред.

Подробная информация относительно RLS доступна в [Кратком учебнике по DSP](#).

Упражнение 8.9 LMS против RLS

Откройте систему

```
Getting Started\adaptive\lms_vs_rls.svu
```

В этом простом примере идентификации системы, демонстрируется сравнительная работа LMS и RLS алгоритмов.

(a) Запустите систему, и сравните скорость адаптации обеих систем. Для этого случая шум наблюдения был установлен равным нулю.

(b) Измените среднеквадратическое значение (standard deviation) наблюдаемого шума, равным 0.001 (то есть на 60 dB ниже мощности входно-

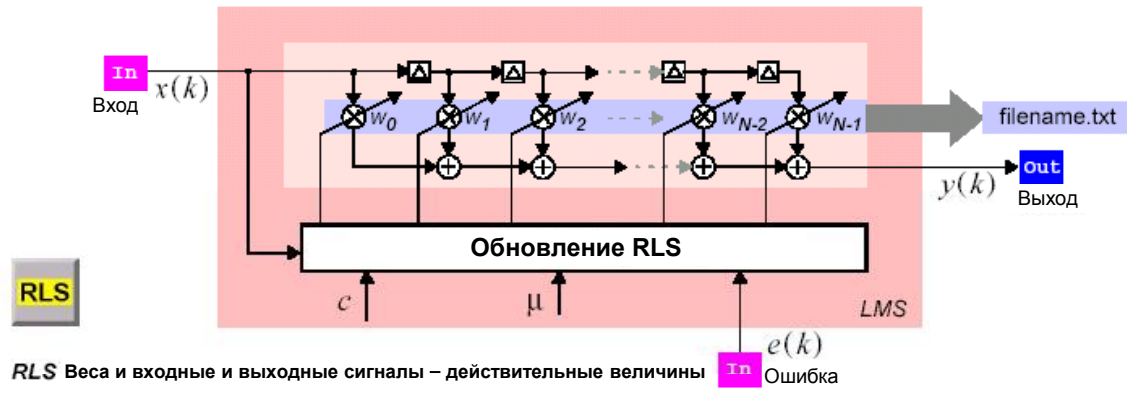
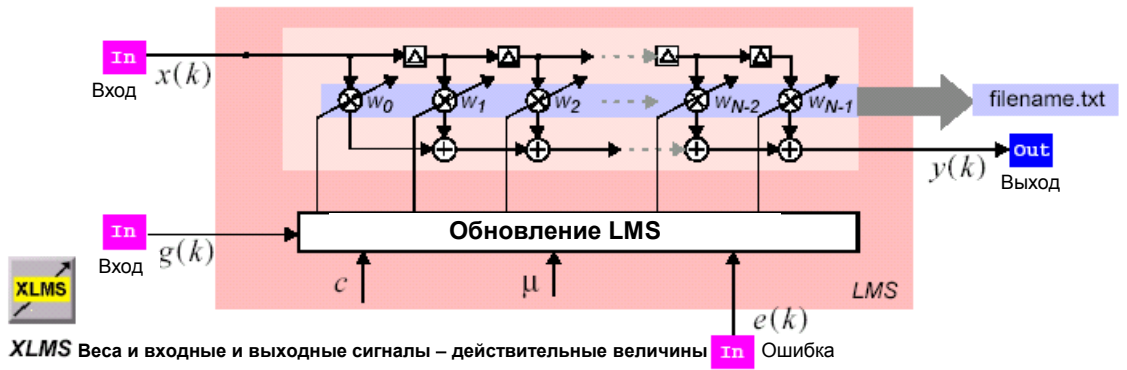
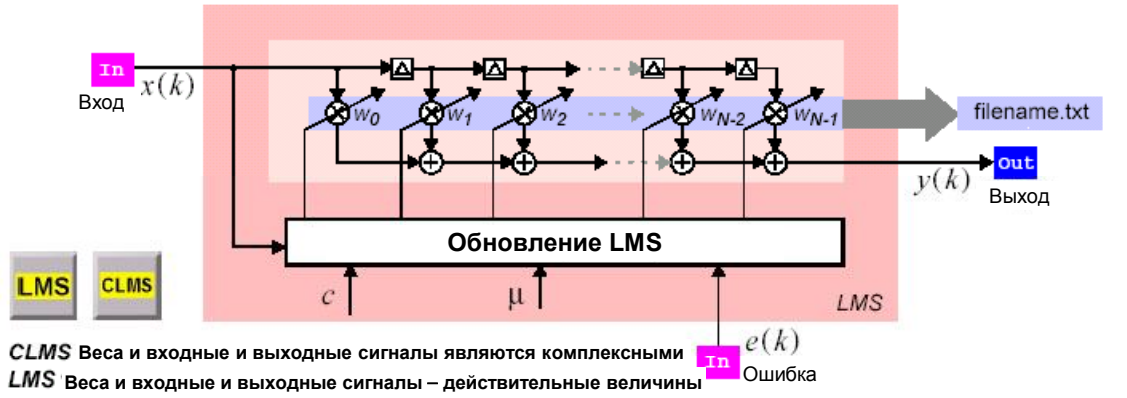
¹ *Least Mean Squares vs. Recursive Least Squares (LMS vs. RLS)*

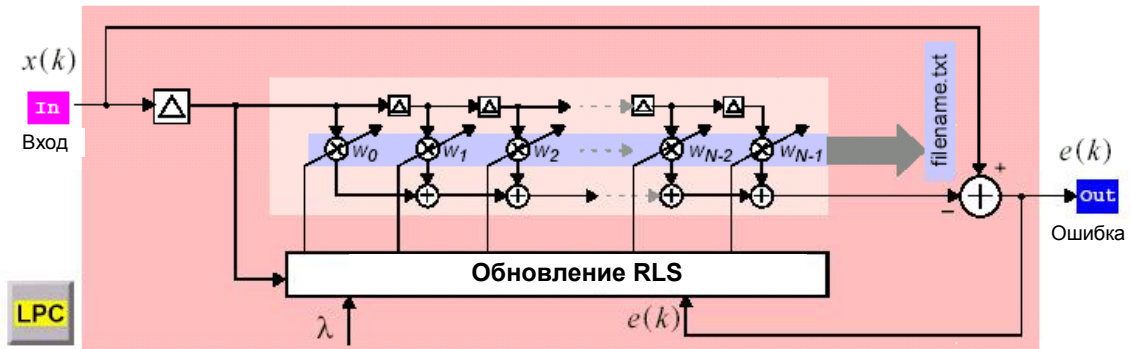
го сигнала, которая имеет стандартную девиацию, равную 1) и запустите систему еще раз. В окне анализ просмотрите перекрытие $20\log_{10}e_2$ (к). Сравните скорость адаптации RLS и аналогичного LMS алгоритмов.

Даже увеличение размера шага LMS-алгоритма не даст возможности приблизиться к RLS-алгоритму.

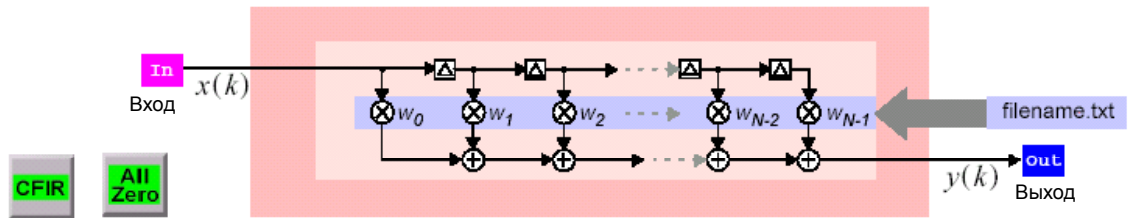
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Краткий обзор адаптивных модулей



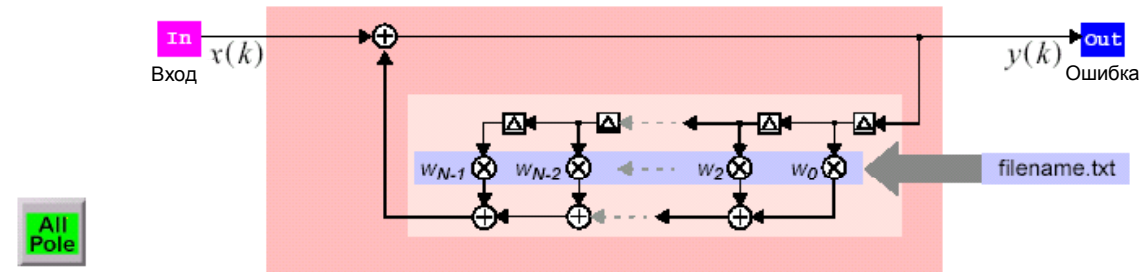


LPC Веса и входные и выходные сигналы – действительные величины




CFIR Веса и входные и выходные сигналы – действительные величины

All-Zero Веса и входные и выходные сигналы – действительные величины



All-Pole Веса и входные и выходные сигналы – действительные величины
(Входной файл – в форме SystemView FIR-числителя)

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	3
1.1	Установка программы SystemView	3
1.2	Упражнения по моделированию в SystemView.....	3
1.3	Функциональные возможности полной версии SystemView..	4
1.4	Решения	4
2	Моделирование систем связи и цифровая обработка сигналов с помощью SystemView	4
2.1	Визуализация посредством блок-схем.....	4
2.2	Этапы изучения SystemView	6
2.3	Что вы узнаете из «Начиная работу с SystemView»	6
2.4	Ссылки на упражнения	6
3	Первое моделирование при помощи SystemView	7
3.1	Используемые в тексте обозначение нажатий на кнопки мыши.....	7
3.4	Устанавливаем в модели системы время и частоту дискретизации	12
3.5	Арифметические действия над параметрами	14
3.6	Устанавливаем количество выборок для FFT	14
3.7	Запускаем процесс моделирования.....	15
3.8	Окно анализа в SystemView.....	15
3.9	Движения мыши в окне анализа.....	18
3.10	Анализируем данные моделирования. Калькулятор окна моделирования 	20
3.11	Перемещение от одного окна к другому.....	21
3.13	Модифицирование/ перезапуск процесса моделирования. .	23
3.13	Частота выборок, приближающаяся к частоте Найквиста ..	24
3.14	Блоки обработки выходных данных в SystemView.....	25
3.15	Одиночные шаги – одна выборка за все время	27
3.16	Демонстрационные примеры SystemView.....	27
4	Проектирование новой системы.....	28
4.1	Редактирование существующего проекта SystemView	28
4.2	Запуск системы и анализ данных	31
4.3	Анализ системы при помощи динамического просмотра в реальном времени. Режим осциллографа	32
5	Обработка сигналов во временной области	35
5.1	Квантование сигналов. Моделирование ADC	35
5.2	Нелинейность операций квантователя	37
5.3	Квантование и элайзинг (aliasing).....	38
5.4	Аудио сигнал на входе и на выходе.....	41
5.5	Математика и SystemView.....	43
6	Обработка сигналов в частотной области.....	44

6.1	Ряд Фурье	44
6.2	Разрешающая способность по частоте и частотный интервал	46
6.3	Гармонические искажения в частотной области	48
6.4	Частотный интервал ФТТ и спектральная утечка	50
6.5	Манипуляции с окнами	50
6.6	Искажения сигнала в частотной области	52
6.7	Периодические сигналы в шуме	53
6.8	Анализ аperiodических сигналов: частотно-временные графики	54
6.9	Частотный анализ речевых сигналов	55
7	Цифровая Фильтрация	57
7.1	Проектирование конечной передаточной импульсной функции (FIR)	57
7.2	Моделирование цифровой фильтрации	60
7.3	Стандартные типы FIR-фильтров	64
7.4	Линейные фазовые цифровые фильтры	67
7.5	ИИР цифровые фильтры	68
7.6	Все пропускающий цифровой фильтр	69
7.7	Фильтр с ограниченной длиной слова (Wordlength)	70
8	Адаптивная цифровая фильтрация	72
8.1	Установка адаптивной библиотеки	74
8.2	Универсальный модуль наименьшего среднеквадратического значения	74
8.3	Общая адаптивная фильтрация LMS и системная идентификация	76
8.5	Подавление помех и шумов	82
8.6	Идентификация адаптивных инверсных систем - выравнивание	84
8.7	Наименьшее среднеквадратическое значение против рекурсивного наименьшего квадратического значения	89
	Приложение А Краткий обзор адаптивных модулей	91