

[2] MSM9-E-1790 Rev. 1 (C) 2005 Electronics Workbench Corporation. All rights reserved. Published November 2005. Printed in Canada.

[3] Гордяскина Т.В., Лебедева С.В. Моделирование радиоэлектронных цепей в Multisim: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ и курсового проекта по дисциплине «Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ в радиотехнике» для студентов дневного и заочного обучения по специальности 162107.65 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». – Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 40 с.

Н.В. Филинова, А.А. Ипатов, Т.В. Гордяскина
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB R2007B

Ключевые слова: Радиотехнический сигнал, звуковой диапазон, моделирование цифровых сигналов, нерекурсивный цифровой фильтр.

В статье рассматривается исследование радиотехнических сигналов звукового диапазона частот в программном пакете Matlab R2007b

В настоящее время наиболее динамично развивающимся видом связи является связь с подвижными объектами, расширяющая возможности традиционной телефонной связи. Основной тенденцией развития систем подвижной радиосвязи является использование цифровых методов обработки и передачи сигналов. Это связано с тем, что цифровые методы, в сравнении с аналоговыми, наиболее эффективны в обработке и передаче речевых сигналов. К наиболее эффективным методам цифровой обработки речевых сигналов относятся: преобразование и кодирование источника (звука); помехоустойчивое кодирование канала передачи; цифровая модуляция и эффективная демодуляция, позволяющие повысить результативность использования радиочастотного ресурса по сравнению с аналоговыми методами [1].

В основу создания систем цифровой связи заложены методы, предложенные В.А. Котельниковым в теореме, впервые изложенной в 1933 г. в работе «О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи».

Студентам специальности 250503-65 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» как будущим специалистам нужно знать основы цифровой обработки сигналов звукового диапазона частот (речевых сигналов). Рассмотрим более подробно теоретические основы формирования и обработки звука.

Спектральный состав звуков речи различен - каждому звуку речи соответствует свое распределение энергии по частотному диапазону, называемое формантным рисунком. Первые две (основные) форманты определяют произносимый звук речи, а остальные (вспомогательные) характеризуют индивидуальную для каждого человека окраску, тембр голоса. Если фильтром низкой частоты обрезать вспомогательные форманты спектра речевого сигнала, то исчезнет индивидуальная для каждого человека окраска произносимых звуков, но само речевое сообщение будет понято. Некоторые звуки отчетливо распознаются по одной первой форманте (а, о, у). Это происходит потому, что низкие частоты обладают большой энергией.

Форматный рисунок глухих звуков выражен слабо. У них спектр не дискретный, а сплошной и характеризуются только огибающей спектра. Для звука максимум спектральной плотности расположен вблизи частот 5000...8000 Гц. В полосе частот 1500...8000 Гц находится спектр согласных звуков и, в частности фрикативных со-

гласных (в, ф, з, с, ж, ш, х, щ). Восприятие их особенно важно для разборчивости речи. Реальный аудио сигнал – это сложное по форме колебание, некая сложная зависимость амплитуды звуковой волны от времени. Преобразование аналогового звукового сигнала в цифровой вид заключается в:

- осуществлении замеров величины амплитуды аналогового сигнала с некоторым временным шагом - дискретизация;
- последующей записи полученных значений амплитуды в численном виде – квантование.

В процессе оцифровки возникают следующие проблемы:

Во-первых, частота дискретизации, устанавливаемая теоремой Котельникова, является минимально необходимой, но не достаточной. В теореме Котельникова показано, что произвольный сигнал, спектр которого не содержит частот выше F_b , может быть полностью восстановлен, если известны отсчетные значения этого сигнала, взятые через равные промежутки времени $T_0=1/(2F_b)$. Дискретизация вносит дополнительные помехи в спектр исходного сигнала, добавляя в него его же зеркальную копию. Поэтому значение частоты дискретизации должно выбираться несколько большим, чем частота, устанавливаемая теоремой Котельникова, чтобы сделать возможной успешную фильтрацию лишних спектральных составляющих.

Во-вторых, квантование значений сигнала привносит в спектр сигнала дополнительную помеху, называемую шумом квантования или шумом дробления. Природа шума квантования такова, что ширина спектральной области, в которой он простирается, пропорциональна значению частоты дискретизации. Причем при фиксированной разрядности квантования, общая энергия шума квантования остается постоянной. Это означает, что чем выше частота дискретизации, тем в более широкой спектральной области простирается шум квантования и, соответственно, тем ниже его мощность в некоторой фиксированной интересующей нас полосе спектра, например, в полосе слышимых частот.

Наконец, возникает еще один неприятный эффект оцифровки, называемый гранулярным шумом. Гранулярным шумом называют эффект неустойчивости округления в процессе квантования. Если величина сигнала незначительно меняется около некоторой величины, являющейся границей между двумя соседними уровнями квантования, даже самые маленькие колебания величины сигнала вокруг этой границы могут вызывать заметные изменения результатов округления при квантовании значений амплитуды.[1]

В работе предлагается методика исследования звуковых сигналов в программной среде Matlab R2007B, которая позволит обрабатывать звуковой файл синтезированными в среде Filter Design полосовыми нерекурсивными цифровыми фильтрами и исследовать преобразования этого сигнала в среде Signal processing tool books с отображением звука, осциллограммы, спектра. В силу того, что спектр звукового сигнала распределен в диапазоне частот (от 20 Гц до 20 кГц), то ослабляя сигнал в различных частотных диапазонах, можно определить каким образом фильтрация влияет на качество воспроизведения цифрового звукового сигнала. [2]

В Matlab R2007B исследуется мужской и женский голос, музыка, мужской голос+ музыка, женский голос+ музыка.

Исследование состоит из следующих этапов:

1. Перед началом работы выбрать музыкальные файлы с расширением .MP3, «нарезать» по (5–10 сек) в программе Audacity и сохранить в формате «wav».

Wav-формат файла-контейнера предназначен для хранения записи оцифрованного аудиопотока. Этот контейнер, как правило, используется для хранения несжатого звука в импульсно-кодовой модуляции. Однако контейнер не налагает каких-либо ограничений на используемый алгоритм кодирования. Сигнал на выходе программы представляет собой массив чисел, соответствующих значению выборки звукового сигнала, следующих со стандартной частотой дискретизации $F_d=44,1$ кГц.

2. Запустить программный пакет Matlab R2007b.

В рабочем поле (workspace) вызвать функцию wavread.

$[y,fs]=\text{wavread}(\text{'путь до файла.wav'})$; (путь к файлу не должен содержать русских букв).

Пример: $[y,fs]=\text{wavread}(\text{'C:\rabota\music\narezka.wav'})$, где Y – значение сигнала, F_s – частота дискретизации (44100 Гц).

Пример окна команд Matlab R2007b приведен на рис. 1.

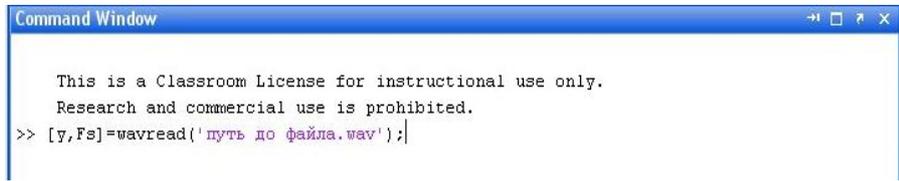


Рис. 1. Пример вызова функции wavread в командном окне Matlab R2007b

3. Вызвать функцию sptool (Signal processing tool books).

В рабочем поле ввести команду “sptool”.

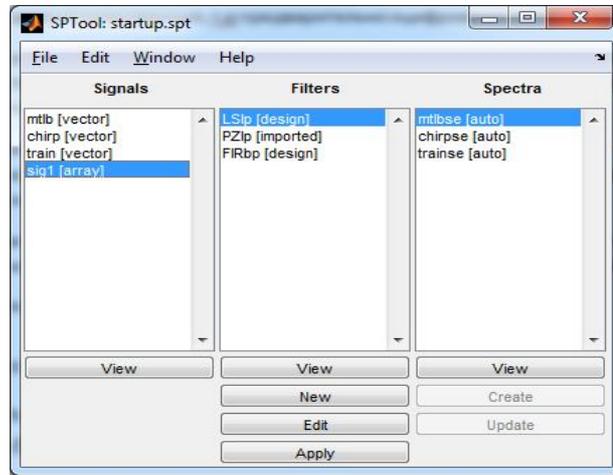


Рис. 2. Рабочее окно sptool.

Для импортирования звукового сигнала в sptool в file выбрать Import...

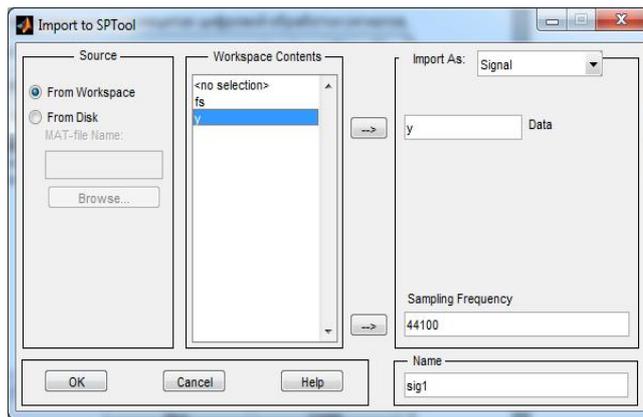


Рис. 3. Окно Import to sptool

Выбрать From Workspace, а так же выбрать переменную (Content) “y” и добавить её значение в “Data”. Выбрать переменную “Fs” и добавить её значение в “Sampling Frequency”. (Частота дискретизации определяется как стандартная 44,1 кГц).

В столбце Signals появился новый сигнал (sig1 [array]).

4. Исследование осциллограммы и спектра входного сигнала в sptool.

Осциллограмма исходного входного сигнала Sig1 и его спектр приведены на Рис.4.

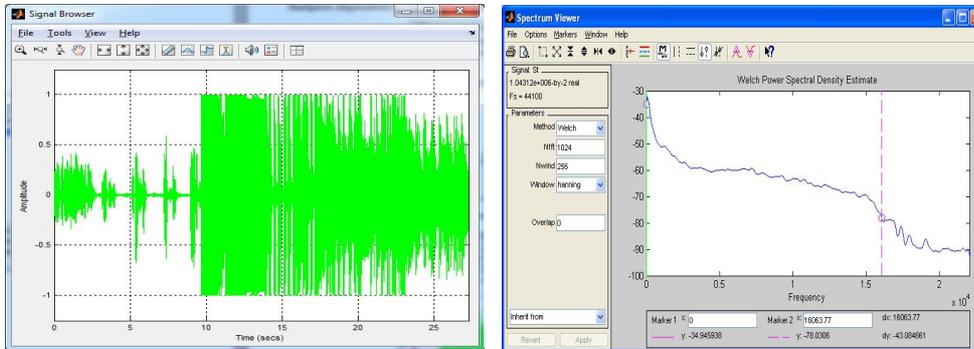


Рис. 4. Осциллограмма и спектр исходного входного сигнала Sig1

5. Синтез цифровых фильтров в программной среде Filter Design.

Цифровой фильтр синтезируется в программной среде Filter Design на основе АЧХ аналоговых прототипов (задаются граничные частоты F_{stop} , F_{pass} и коэффициенты затухания A_{stop} и A_{pass} полос пропускания и задерживания).

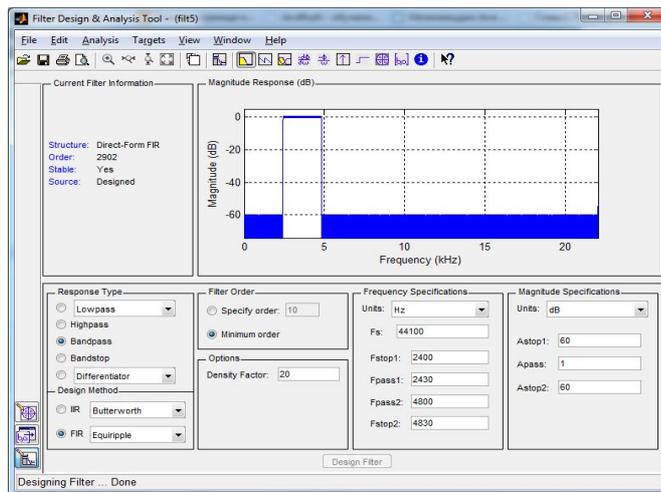


Рис. 5. АЧХ нерекурсивного полосового цифрового фильтра с частотой дискретизации 44.1 кГц

6. Исследование процесса фильтрации входного сигнала.

6.1. Исследование процесса прохождения звукового сигнала через полосовые ЦФ.

Синтезированный фильтр накладывается на входной сигнал и отклик фильтра соответствует сигналу, спектр которого расположен в полосе пропускания фильтра.

– *Глубокий бас* находится в диапазоне между 10 и 100 Гц. Большая часть этого диапазона частот намеренно отфильтровывается при записи речи, чтобы избежать

шума. Значительная часть этого диапазона может быть также отброшена при обработке звука.

– *Средний бас* – диапазон частот 100-300 Гц. Это основные гармоники для большинства речевых голосов. Мужской и женский голос имеют здесь почти одинаковую энергию, но нельзя разобрать гласные звуки, которые зависят от более высоких гармоник, создаваемых резонансами рта.

– *Нижняя середина* является диапазоном 300-600 Гц. Это нижние гармоники основных частот голоса. Этот и следующий диапазоны содержат большую часть энергии человеческого голоса, а также основную и наиболее мощные гармоники большинства мелодических инструментов. Поэтому есть вероятность того, что при сведении голос и музыка будут состязаться между собой.

– *Середина* – диапазон частот от 600 Гц до 1,2 кГц. Основная энергия данного диапазона вырабатывается гармониками высшего порядка. Женский голос, яркий по природе, сильнее в этом диапазоне. Но ничей голос не различим полностью, так как глухие согласные звуки начинаются только в следующей октаве.

– *Верхняя середина* является октавой 1,2–2,4 кГц. Этот диапазон важен для речи: здесь достаточно энергии гармоник для различения большинства гласных звуков и охватываются все согласные звуки.

– *Нижний верх* является октавой 2,4–4,8 кГц. Большинство гласных звуков и здесь имеют заметные гармоники, но они не важны для различимости и только улавливают присутствие. В телефонии частоты обрезаются посередине этого диапазона на 3,5 кГц, но все равно обеспечивают достаточно голоса для того, чтобы не только понять слова, но и узнать говорящего. Пример осциллограммы и спектра сигнала, расположенного в этом диапазоне частот, приведен на рис. 6.

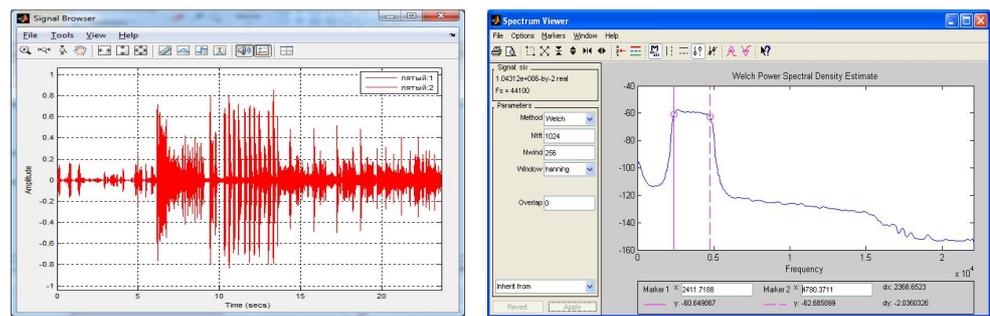


Рис. 6. Осциллограмма и спектр звукового сигнала в диапазоне 2400-4800 Гц

– *Средний верх* является диапазоном частот 4,8–9,6 кГц. Можно слышать только немного мужского голоса и от женского голоса остались лишь фрикативные согласные звуки (в, ф, з, с, ж, ш, х, щ).

– *Верхние высокие* частоты от 9,6 кГц до 20 кГц являются самой верхней октавой. В течение почти всего трека практически ничего не слышно.

6.2. Исследование процесса прохождения звукового сигнала через режекторные ЦФ. Методика исследования аналогична методике, рассмотренной для полосовых ЦФ.

Пример осциллограммы и спектра на выходе режекторного ЦФ приведен на рис. 7.

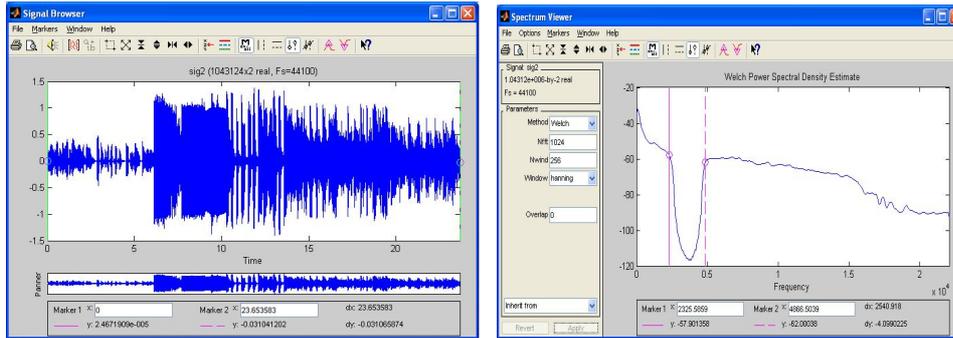


Рис. 7. Осциллограмма и спектр звукового сигнала в диапазоне 2400–4800 Гц

Подавление энергии сигнала в некотором диапазоне частот (см. методику п.6) при прослушивании проявляется снижением уровня звука.

6.3. Исследование процесса прохождения звукового сигнала через низкочастотные ЦФ. Рассмотрим влияние фильтра низкой частоты (ФНЧ) на входной сигнал в диапазоне частот 50–3600 Гц (полоса пропускания телефонной линии).

Пример осциллограммы и спектра на выходе ФНЧ приведен на рис. 8. При прослушивании сигнала заметно, что фильтр не пропускает высокие частоты, но и без них можно разобрать речь говорящего.

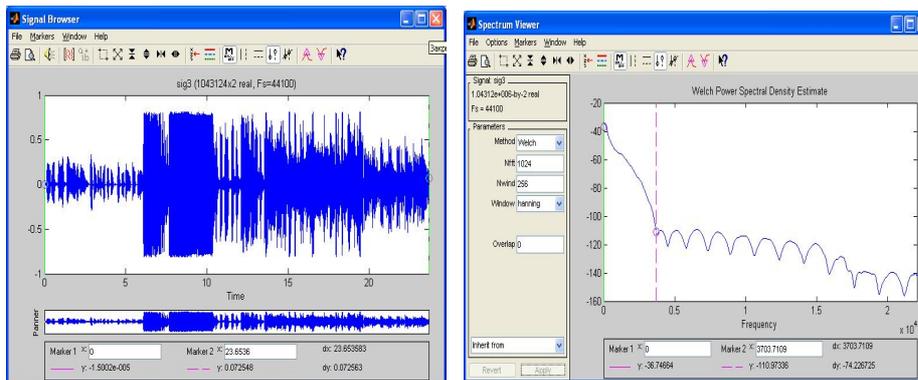


Рис. 8. Осциллограмма и спектр звукового сигнала в диапазоне 50–3600 Гц.

7. Исследование влияния частоты дискретизации на воспроизведение входного звукового сигнала.

7.1. Увеличение частоты дискретизации до $F_d = 90$ кГц. Стандартная частота дискретизации сигнала звукового диапазона частот $F_d = 44,1$ кГц, посмотрим, что произойдет с сигналом, при увеличении частоты, например, до $F_d = 90$ кГц. Пример осциллограммы и спектра приведен на рис. 9.

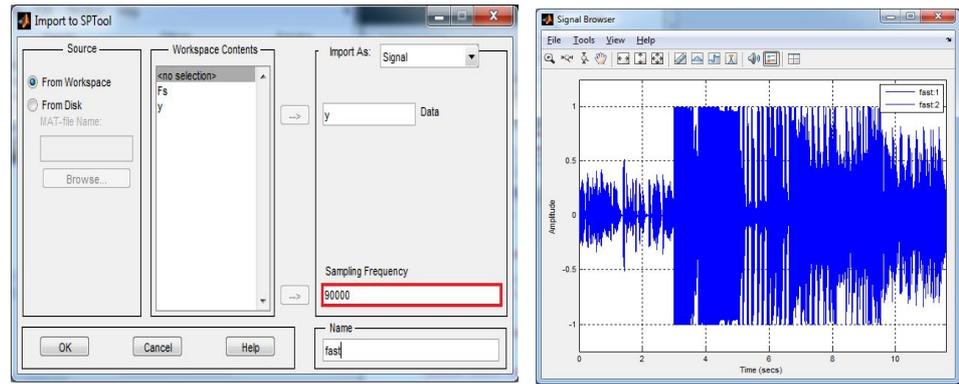


Рис. 9. Окно Import to sptool и осциллограмма для входного сигнала с $F_d = 90$ кГц

При увеличении F_d до 90 кГц длительность сигнала уменьшилась примерно в 2 раза (это заметно на осциллограмме) и скорость воспроизведения так же увеличилась примерно в 2 раза.

7.2. Уменьшение частоты дискретизации до $F_d = 30$ кГц.

Пример осциллограммы и спектра при $F_d = 30$ кГц приведен на рис. 10.

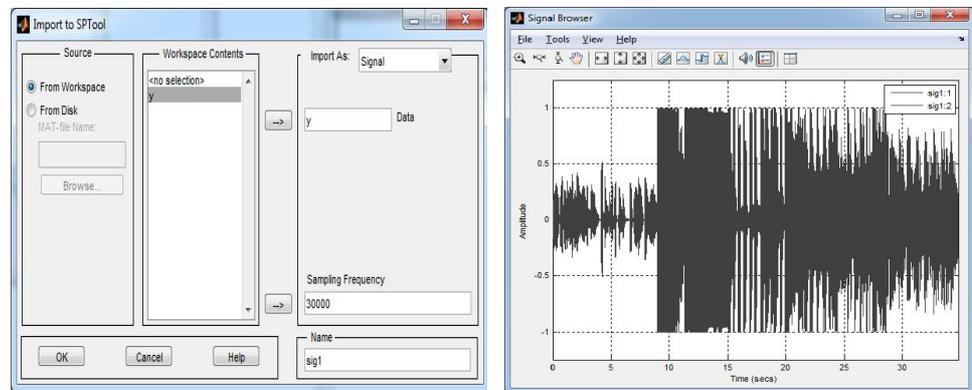


Рис. 10. Окно Import to sptool и осциллограмма для входного сигнала с $F_d = 30$ кГц

При частоте дискретизации $F_d = 30$ кГц сигнал заметно замедлился, а время воспроизведения увеличилось.

Предложенная методика исследования сигналов звукового диапазона частот в программном пакете Matlab R2007b позволяет наглядно изучить основы цифровой обработки случайных сигналов.

Список литературы:

- [1] Рихтер С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи, Учебное пособие для вузов, 2011.-304с.
- [2] Гордяскина Т.В., Грошева Л.С. Принципы цифровой обработки сигналов в радиоэлектронном оборудовании, 2008 г.