

5. В. Макаренко О выборе аппроксимации и расчете параметров активных фильтров, часть 2 // Электронные компоненты и системы, №2, 2013. с. 49-53. url: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_Active%20Filters_part2_EKIS_2_2013-2.pdf.
6. В. Макаренко О выборе аппроксимации и расчете параметров активных фильтров, часть 3 // Электронные компоненты и системы, №3, 2013. с. 46-50. url: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_Active%20Filters,%20part%203_EKIS_3_2013-3.pdf.
7. Мошиц Г. Проектирование активных фильтров /

- Мошиц Г., Хорн П.; [перевод с английского М. Н. Микшиса и И. Н. Теплюка]. – М.: Мир, 1984. – 320 с.
8. Справочник по расчету и проектированию АРС-схем / [Букашкин С. А., Власов В. П., Змий Б.Ф. и др.]; под ред. А. А. Ланнэ. – М.: Радио и связь, 1984. – 368 с., ил.
9. <http://www.tucows.com/thankyou.html?swid=1170907>
10. <http://www.ti.com/design-resources/design-tools-simulation/filter-designer.html>.
11. <https://www.analog.com/designtools/en/filterwizard/>
12. <https://www.analog.com/en/parametricsearch/11096>

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ЗВУКОВЫХ ФАЙЛОВ В ПРОГРАММЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ LTSPICE

В статье риведена краткая информация о возможностях программы LTSpice по обработке и формированию звуковых файлов. Приведены примеры формирования, сохранения и чтения многоканальных звуковых файлов.

В. Макаренко

GENERATION AND PROCESSING OF SOUND FILES IN THE LTSPICE SIMULATION PROGRAM

Abstract – The article provides brief information about the capabilities of the LTSpice program for processing and generating sound files. Examples of the formation, storage and reading of multi-channel audio files are given.

V. Makarenko

Программа моделирования LTSpice от компании Analog Devices позволяет не только осуществлять моделирование различных устройств, но и предоставляет пользователю возможность создавать и сохранять на диске многоканальные звуковые файлы, а также осуществлять обработку звуковых файлов, считанных с диска. Единственным ограничением является формат звуковых файлов. Файлы должны быть записаны в формате wav.

Напомним некоторые моменты по работе со звуковыми файлами, приведенными в [1]. В качестве источника звуковых файлов для записи на диск может служить как источник тока, так и источник напряжения. Для того, чтобы прочитать wav-файл, с дивка следует воспользоваться командой `lxxx n1 n2 wavefile=<имя файла> [chan=<nnn>]`.

В этом режиме LTSpice позволяет использовать wav-файл (файл с расширением wav) как источник входного сигнала. Если wav-файл находится в директории LTSpice, то достаточно указать только его имя. Если файл находится в другом месте, то требуется указать полное имя, содержащее абсолютный путь к файлу. Имя файла следует заключить в двой-

ные кавычки, если в нем или в его пути присутствуют пробелы. Файл может содержать от 0 до 65 536 каналов. В параметре `chan` необходимо задать используемый канал. По умолчанию используется первый (левый) канал, имеющий номер 0. Канал номер 1 соответствует правому каналу на выходе звуковой карты ПК. Полный размах токового сигнала, записанного в wav-файл, лежит в диапазоне от -1 до 1 А.

Для иллюстрации этого режима создадим звуковой сигнал с помощью источника тока и запишем его в файл. Для этого используем модель, показанную на рис. 1. Для записи сформируем ЧМ-сигнал с несущей частотой 3 кГц и частотой модулирующего сигнала 200 Гц. Командная строка для создания звукового файла будет выглядеть следующим образом

.WAVE n:\output1.wav 16 44.1K V(1).

В этой строке:

- `.WAVE` – команда для создания файла с расширением wav
- `n:\output1.wav` – путь и имя сохраняемого файла
- `16` – число разрядов квантования при аналого-

цифровом преобразовании

- 44.1K – частота дискретизации
- V(1) – точка (узел) схемы с которой снимается звуковой сигнал (рис. 1).

.WAVE n:\output1.wav 16 44.1K V(1)

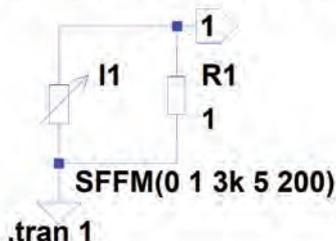


Рис. 1. Модель для формирования и записи звукового файла с помощью источника тока

Для создания этой команды необходимо нажать на пиктограмму Text на панели управления программы и в открывшемся окне Edit Text on the Schematic (рис. 2) ввести необходимые записи. Следует отметить этот текст как Spice directive, иначе он будет восприниматься программой как комментарий и не вызовет никаких действий. Аналогичную процедуру можно проделать, нажав самую кнопку на панели управления SPICE Directive, которая находится правее кнопки Text.

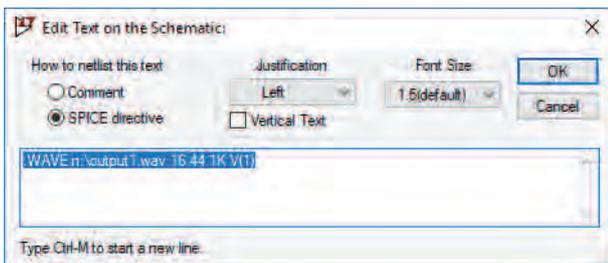


Рис. 2. Окно Edit Text on the Schematic

Записанный файл output1.wav для контроля был воспроизведен и прослушан музыкальным проигрывателем Windows.

Для записи звукового файла допускается задавать число разрядов квантования в диапазоне от 1 до 32. Частота дискретизации может задаваться в диапазоне от 1 Гц до 4 294 967 295 Гц. Число узлов схемы (число каналов) может быть задано равным от 1 до 65 535. При этом для каждого узла схемы создается независимый канал в wav-файле.

Следует помнить, что диапазон преобразуемых в цифровой код значений тока сигнала лежит в диапазоне ±1 А или ±1 В в зависимости от того, какой

параметр преобразуется.

Для прослушивания записанных файлов с помощью звуковой карты ПК необходимо, чтобы частота дискретизации была равна одному из указанных значений 11.025, 22.05 или 44.1 кГц. Эти частоты поддерживаются любыми звуковыми картами. Если звуковая карта вашего ПК поддерживает частоты 48, 96 и 192 кГц, то их тоже можно задавать. А число каналов для прослушивания следует задавать не более двух.

Чтобы воспроизвести wav-файл, необходимо в источнике тока выбрать режим PWL FILE, после чего станет активной кнопка BROVSE (рис. 3). После нажатия на нее откроется окно с директорией, где находится файл модели LTspice.

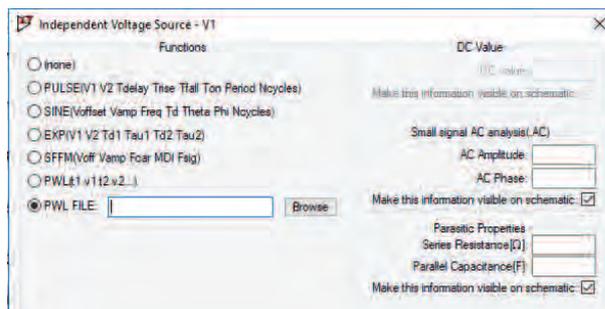


Рис. 3. Окно выбора режима работы с wav-файлом

Чтобы найти wav-файл необходимо открыть директорию, в которой записан звуковой файл, и в нижней правой части окна выбрать режим All Files (*.*) . По умолчанию установлен режим ASCII Files (*.txt), как показано на рис. 4. После выбора файла на рабочем листе схемы появится командная строка PWL file="Звук 1.wav", где Звук 1 – имя звукового файла, выбранного для проверки работы в этом режиме. В качестве звукового файла выбран музыкальный файл одного из эстрадных исполнителей.



Рис. 4. Фрагмент окна поиска wav-файла

Для того, чтобы программа смогла воспроизвести форму сигнала этого файла и не появилось сообщение об ошибке, необходимо отредактировать командную строку и заменить текст PWL file на wavefile (рис. 5). Номер канала можно не указывать. По умолчанию будет воспроизводиться левый канал. Форма напряжения на выходе генератора V1 пока-

зана на рис. 6. Воспроизводится только отрезок длительностью 1 с. При необходимости изменить длительность фрагмента нужно в строке **.tran 1** вместо цифры 1 вписать требуемое время.

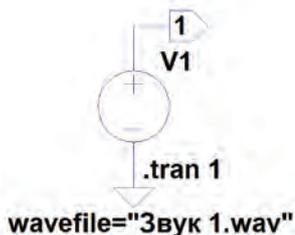


Рис. 5. Схема модели для воспроизведения формы сигнала, записанного в звуковом файле

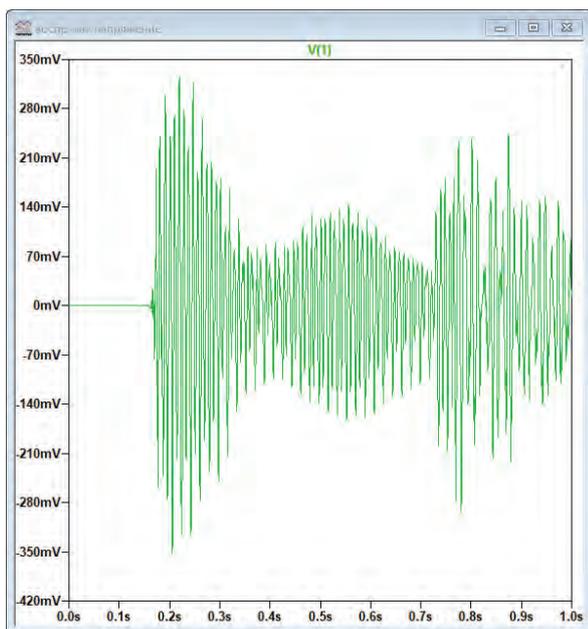


Рис. 6. Форма сигнала во время воспроизведения первой секунды звукового файла

Рассмотрим пример создания стереофонического файла [2]. Для создания двухканального файла используем два генератора гармонического сигнала (рис. 7). Для каждого канала указана амплитуда и частота сигнала. Для левого канала частота сигнала 2000 Гц, амплитуда 0.5 В, а для правого канала – 3000 Гц амплитудой 1 В.

Для записи звукового файла используется директива

.wave n:\stereo.wav 16 48k Left Right

Число разрядов установлено 16, а частота дискретизации 48 кГц.

Для проверки записанного файла, кроме прослушивания с помощью стандартного проигрывателя, использована внешняя программа анализа зву-

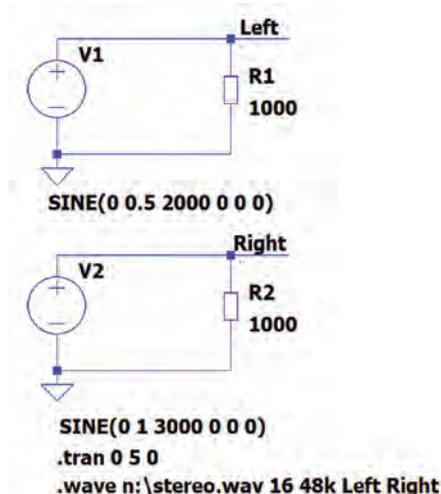


Рис. 7. Модель для создания стереофонического звукового файла

ковых сигналов SpectraLAB. Для контроля записанного сигнала в LTspice использована модель, приведенная на рис. 8.

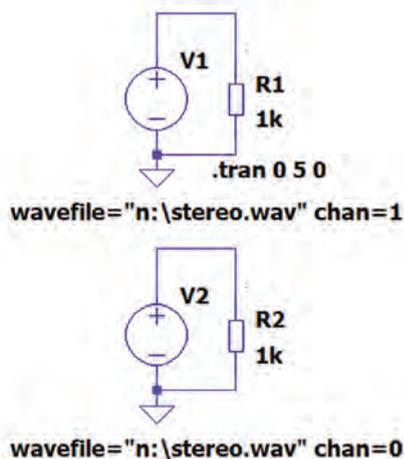


Рис. 8. Модель для чтения стереофонического файла

Анализ сигнала в каждом канале осуществляется с помощью генераторов V1 и V2. Для каждого из генераторов обязательно в директиве указать кроме пути и имени файла номер канала. Форма напряжения на выходах генераторов приведена на рис. 9.

Формы сигналов на выходах левого и правого каналов, полученные при обработке записанного файла с помощью SpectraLAB, приведены на рис. 10, а их спектры – на рис. 11.

Как следует из рис. 11 процедура формирования стереофонического файла приводит к появлению

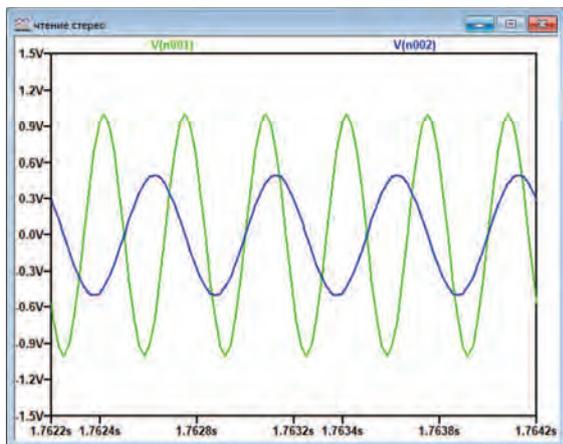


Рис. 9. Воспроизведенный стереофонический сигнал

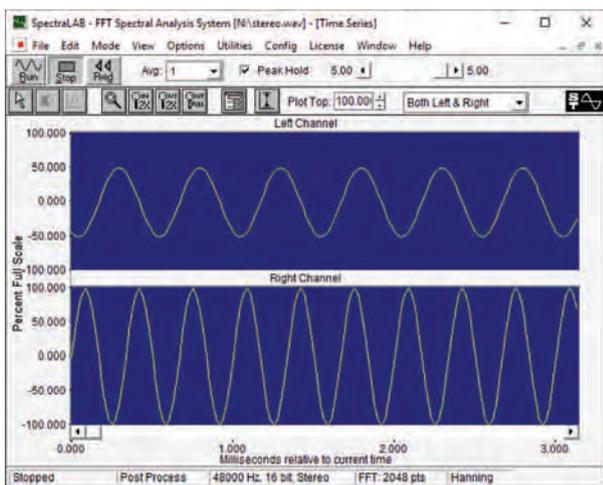


Рис. 10. Результат анализа записанного файла внешней программой

комбинационных составляющих в спектре. В спектре правого канала есть составляющая 1 кГц с уровнем -50 дБ. Это следует учитывать при формировании двухканальных файлов либо файлов с большим количеством каналов.

Для измерения переходного затухания между каналами в [2] предложено поочередно подавать сигнал частотой 1 кГц в левый и правый канал при записи. Но измерить переходное затухание гораздо проще, записав в одном канале сигнал с номинальным уровнем, а в другом с нулевым. Используя модель, приведенную на рис. 7, установим уровень сигнала генератора V1 равным 1 мВ и запишем такой файл. Измерение спектра при воспроизведении такого файла (рис. 12) позволяет сделать вывод о том, что переходное затухание между каналами не менее 70 дБ (определяется разрешающей способ-

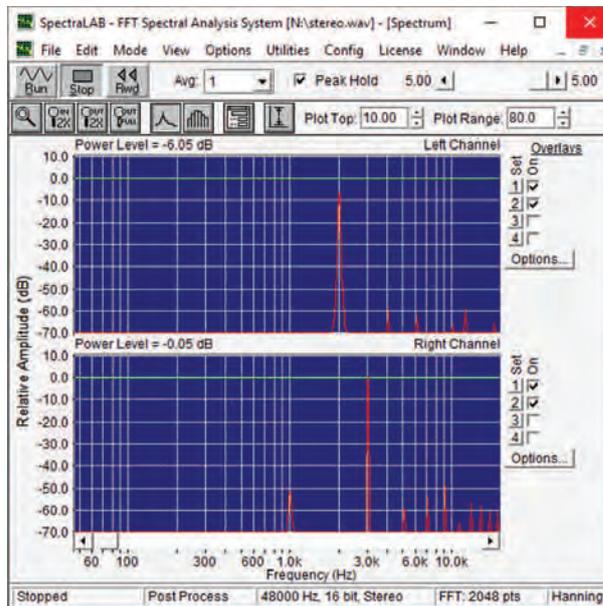


Рис. 11. Результаты спектрального анализа записанного файла внешней программой

ностью анализатора спектра), а вот комбинационные искажения имеют место. Т.е. динамический диапазон, свободный от шумов и искажений, составляет 50 дБ.

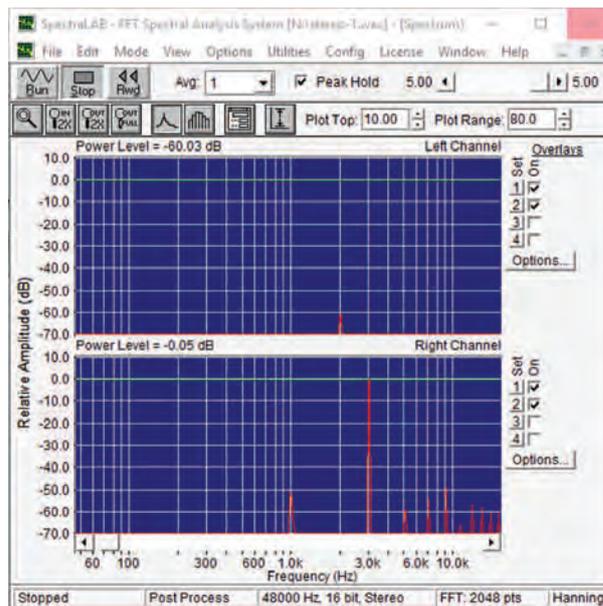


Рис. 12. Спектр стереофонического сигнала при уровне сигнала в левом канале 1 мВ

Попробуем оценить, как влияет разрядность аналого-цифрового преобразования на спектр записанного сигнала. Используя модель на рис. 7, зададим число разрядов равным 24. При воспроизведе-

денин получен результат, аналогичный приведенному на рис. 12.

Проверка влияния частоты дискретизации на уровень комбинационных составляющих и искажений показала, что при числе разрядов 24 и частоте дискретизации 192 кГц уровень комбинационных искажений снизился до -55 дБ (рис. 13), но вырос уровень второй и третьей гармоники на 3 дБ.

Анализируя результаты проведенных экспериментов, можно сделать вывод о том, что частота и число разрядов квантования мало влияют на полученный результат и свободный от шумов и искажений динамический диапазон не превышает 50...52 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Макаренко Программа моделирования электронных схем LTspice, часть 3 / Электронные компоненты и системы, №2(222), 2018 (с. 52-62).
 Url: [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2018_2/Makarenko_V_The_software_for_modeling_electronic_circuits_LTspice,_part_3_EKIS_2\(222\)_2018.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2018_2/Makarenko_V_The_software_for_modeling_electronic_circuits_LTspice,_part_3_EKIS_2(222)_2018.pdf)

2. Simon Bramble LTspice Audio WAV Files: Using

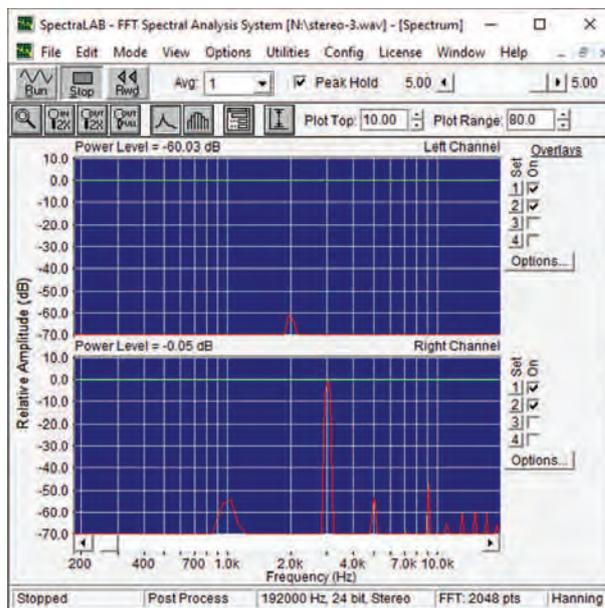


Рис. 13. Спектр стереофонического сигнала при уровне сигнала в левом канале 1 мВ, частоте дискретизации 192 кГц и 24 разрядах квантования

Stereo and Encrypting Voice Messages / Analog Dialogue, Vol 54 No 1, March 2020.



КОМПОНЕНТЫ ANALOG DEVICES

ДЛЯ НОСИМЫХ МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВ

Обеспечивают измерения:

- артериального давления
- длительности и скорости пульсовой волны
- минутного сердечного выброса
- электрокардиограммы
- общего периферийного сопротивления сосудов
- импеданса кожи
- температуры тела и окружающей среды

при:

- высокой точности измерений
- низком энергопотреблении
- малых габаритах



VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Analog Devices в Украине

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua