

Санкт-Петербургский государственный политехнический  
университет Петра Великого

**Высшая школа интеллектуальных систем и  
суперкомпьютерных технологий**

Отчёт по лабораторной работе №11  
Дисциплина: Телекоммуникационные технологии  
Тема: Модуляция и выборка (квантование)

Выполнил студент гр. 3530901/80201

В.А. Пучкина

Преподаватель:

Н.В. Богач

Санкт-Петербург  
2021

# Содержание

<b>1</b>	<b>Упражнение 11.1</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Упражнение 11.2</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Упражнение 11.3</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Выводы</b>	<b>13</b>

## Список иллюстраций

1	Изучение примеров (влияние коэффициента выборки). . . . .	5
2	Изучение примеров (сравнение исходного и дискретизированного сигналов). . . . .	5
3	Изучение примеров (сравнение исходной функции, суммы функции $\text{sinc}$ и её сдвинутых масштабированных копий). . . . .	6
4	Сигнал барабанного соло. . . . .	8
5	Спектр нашего сигнала. . . . .	9
6	Спектр сигнала с отфильтрованными нижними частотами. . . . .	10
7	Спектр сэмплированного сигнала. . . . .	10
8	Спектр сэмплированного сигнала после применения фильтра НЧ. .	11
9	Сравнение спектров до и после дискретизации. . . . .	11
10	Сравнение интерполированной и фильтрованной wave. . . . .	12

## Листинги

1	Чтение файла. . . . .	8
2	Получение спектра. . . . .	8
3	Уменьшение частоты дискретизации. . . . .	9
4	Применение фильтра НЧ. . . . .	9
5	Дискретизация сигнала. . . . .	9
6	Повторное применение фильтра НЧ. . . . .	10
7	Сравнение спектров. . . . .	11
8	Сравнение wave. . . . .	12

# 1 Упражнение 11.1

В этом упражнении необходимо изучить примеры в файле `chap11.ipynb`.

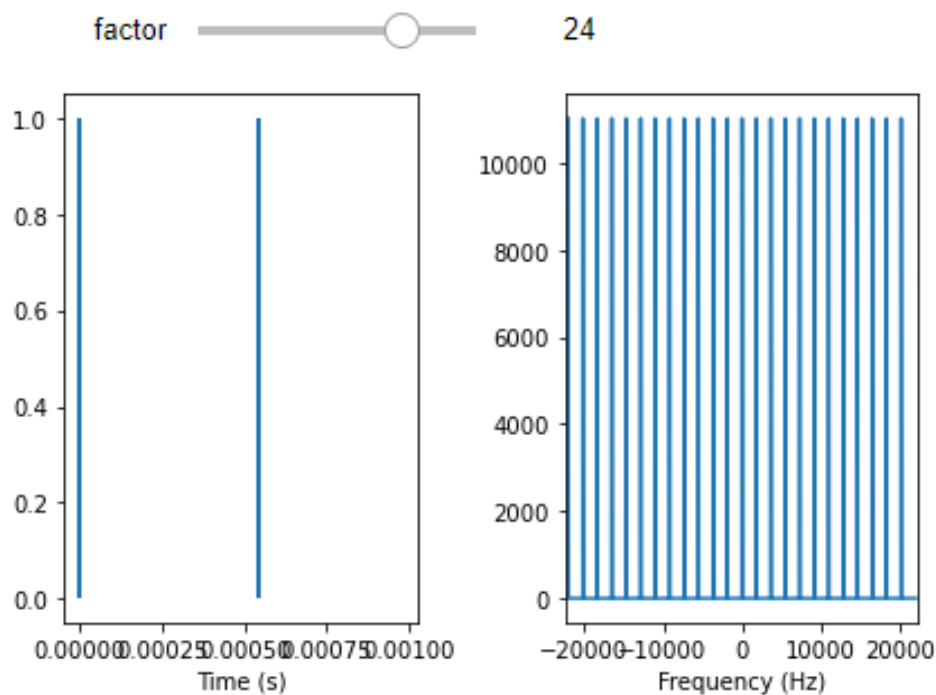


Рис. 1: Изучение примеров (влияние коэффициента выборки).

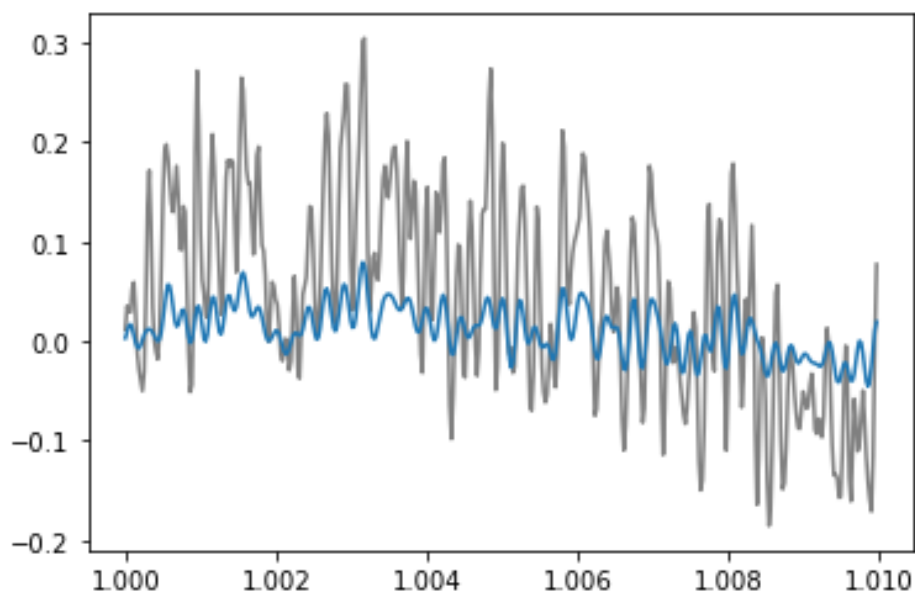


Рис. 2: Изучение примеров (сравнение исходного и дискретизированного сигналов).

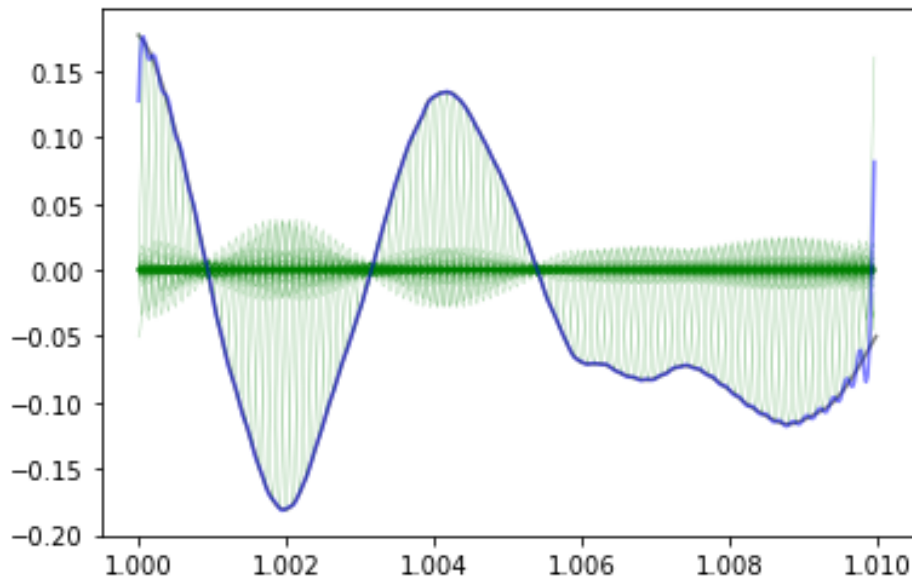


Рис. 3: Изучение примеров (сравнение исходной функции, суммы функции sinc и её сдвинутых масштабированных копий).

В данном упражнении были изучены все примеры в файле `chap11.ipynb`. Были изучены свертка с импульсами, амплитудная модуляция, сэмплинг и интерполяция Sinc.

## 2 Упражнение 11.2

В этом упражнении необходимо изучить [этот](#) видеоролик, демонстрирующий теорему о выборках в действии. Кроме того, в этом видео представлена также другая полезная информация о выборках.

Данный видеоролик был изучен. Была получена информация о том, что визуализировать цифровой сигнал как "ступеньки" не совсем верно. Также была получена информация, объясняющая, почему аналоговый сигнал в пределах человеческого слуха (от 20 Гц до 20 кГц) может воспроизводиться с идеальной точностью с использованием 16-битного цифрового сигнала 44,1 кГц.

### 3 Упражнение 11.3

При взятии выборок из сигнала при слишком низком framerate большие частоты заворота дадут биения. И в таком случае эти компоненты будет невозможно отфильтровать, поскольку они будут неотличимы от более низких частот. Вариант решения - отфильтровать эти частоты до выборки с помощью фильтра низких частот (фильтр сглаживания)

В этом упражнении необходимо применить фильтр низких частот (НЧ) к записи "Соло на барабане" до выборки. Затем опять с помощью фильтра НЧ удалить спектральные копии, вызванные выборкой.

Итак, считаем файл.

```
1 swave = read_wave('resources/Sounds/task3_kevcio_amen_break_a_160_bpm.wav')
2 wave.normalize()
3 wave.plot()
4 wave.make_audio()
```

Листинг 1: Чтение файла.

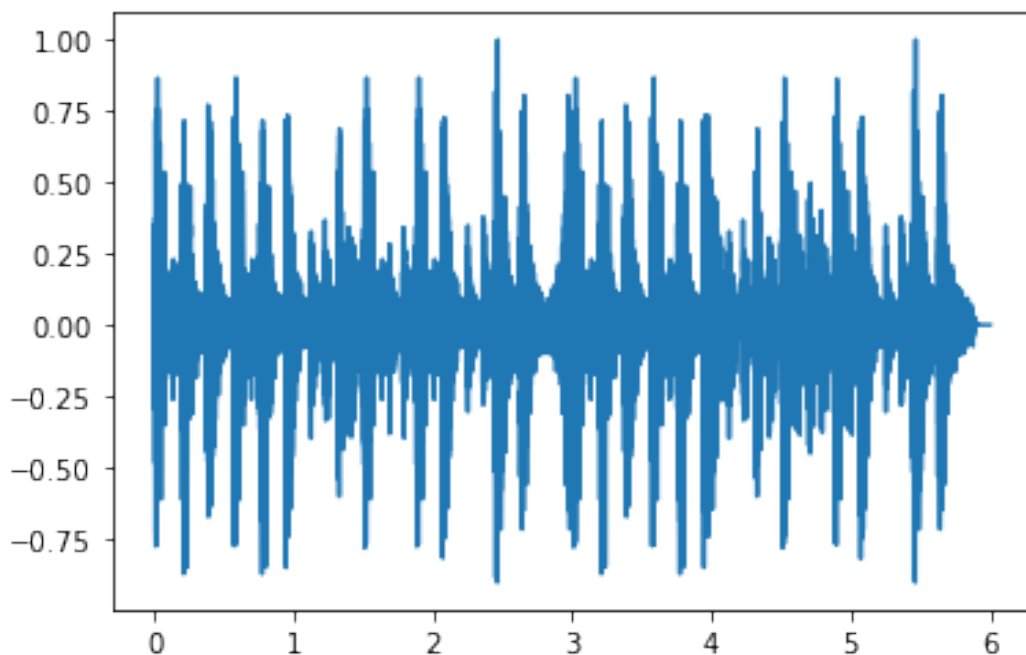


Рис. 4: Сигнал барабанного соло.

Теперь получим его спектр.

```
1 spectrum = wave.make_spectrum(full=True)
2 spectrum.plot()
```

Листинг 2: Получение спектра.



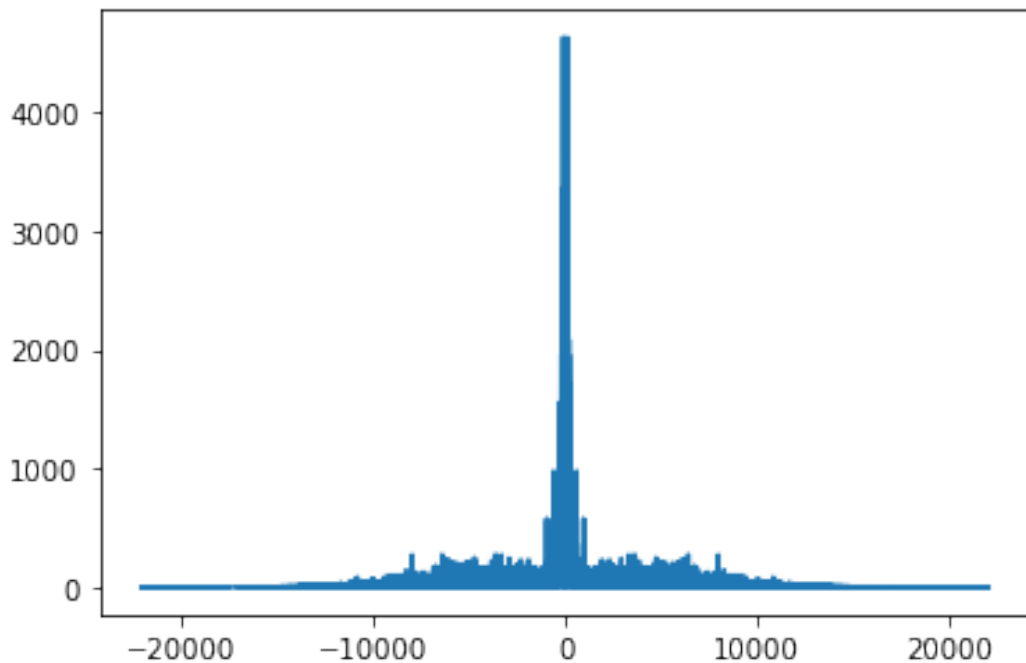


Рис. 5: Спектр нашего сигнала.

Уменьшим частоту дискретизации (которая сейчас равно 44,1 кГц) в 3 раза.

```
1 factor = 3
2 framerate = wave.framerate / factor
3 cutoff = framerate / 2 - 1
```

Листинг 3: Уменьшение частоты дискретизации.

Применим фильтр сглаживания (фильтр НЧ), чтобы удалить частоты выше новой частоты свертки ( $\text{framerate}/2$ ).

```
1 spectrum.low_pass(cutoff)
2 spectrum.plot()
3 filtered = spectrum.make_wave()
4 filtered.make_audio()
```

Листинг 4: Применение фильтра НЧ.

Полученный сигнал стал более глухим, однако это неплохой результат.

Теперь используем функцию `sample`, описанную в файле `chap11.ipynb`.

```
1 sampled = sample(filtered, factor)
2 sampled.make_audio()
3 sampled_spectrum = sampled.make_spectrum(full=True)
4 sampled_spectrum.plot()
```

Листинг 5: Дискретизация сигнала.

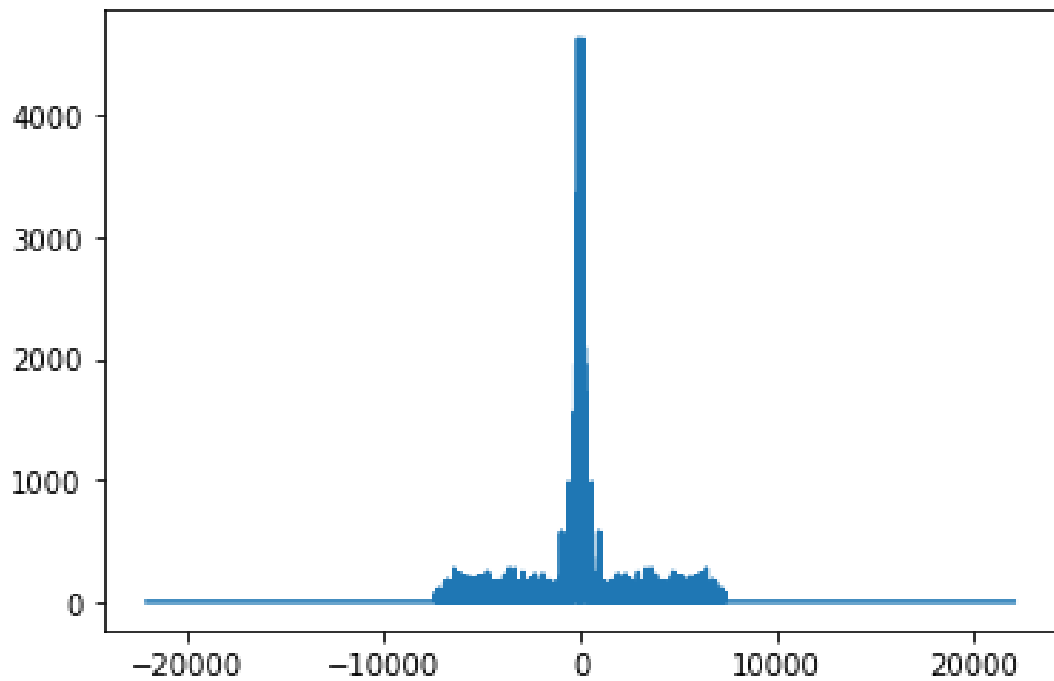


Рис. 6: Спектр сигнала с отфильтрованными нижними частотами.

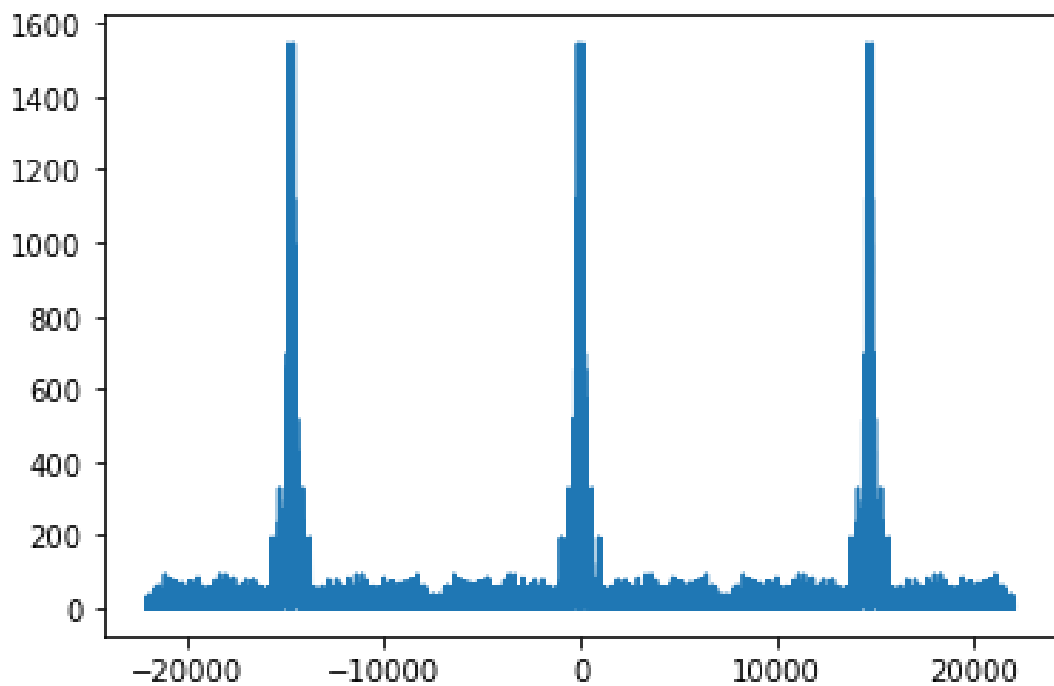


Рис. 7: Спектр сэмплированного сигнала.

Результат содержит копии спектра около 20 кГц. Их очень хорошо видно на спектре (Рис.7). При прослушивании очень заметны новые звонкие звуки.

Избавимся от спектральных копий, повторно применим фильтр НЧ.

```

1 sampled_spectrum.low_pass(cutoff)
2 sampled_spectrum.plot()

```

Листинг 6: Повторное применение фильтра НЧ.

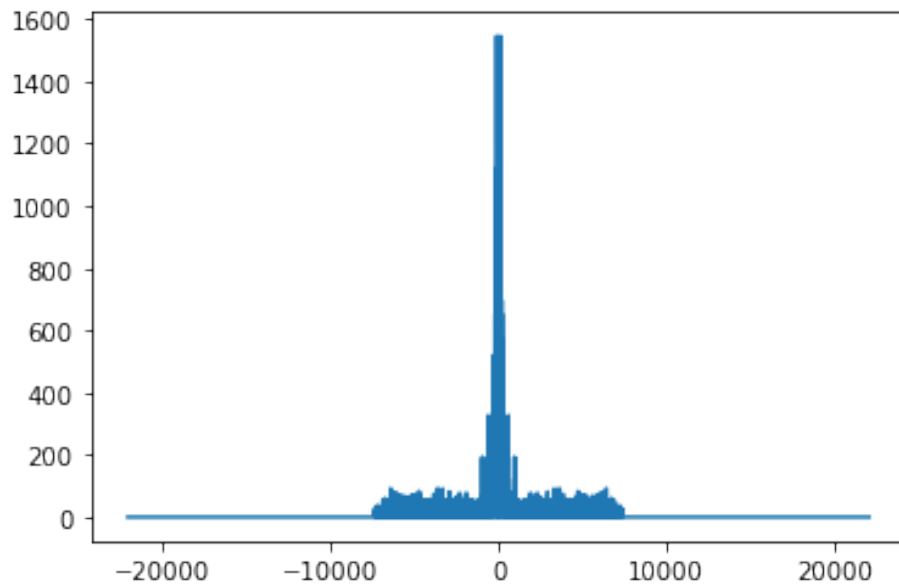


Рис. 8: Спектр сэмпированного сигнала после применения фильтра НЧ.

Масштабируем полученный спектр и сравним его со спектром до дискретизации.

```

1 sampled_spectrum.scale(factor)
2 spectrum.plot()
3 sampled_spectrum.plot()
4 spectrum.max_diff(sampled_spectrum)

```

Листинг 7: Сравнение спектров.

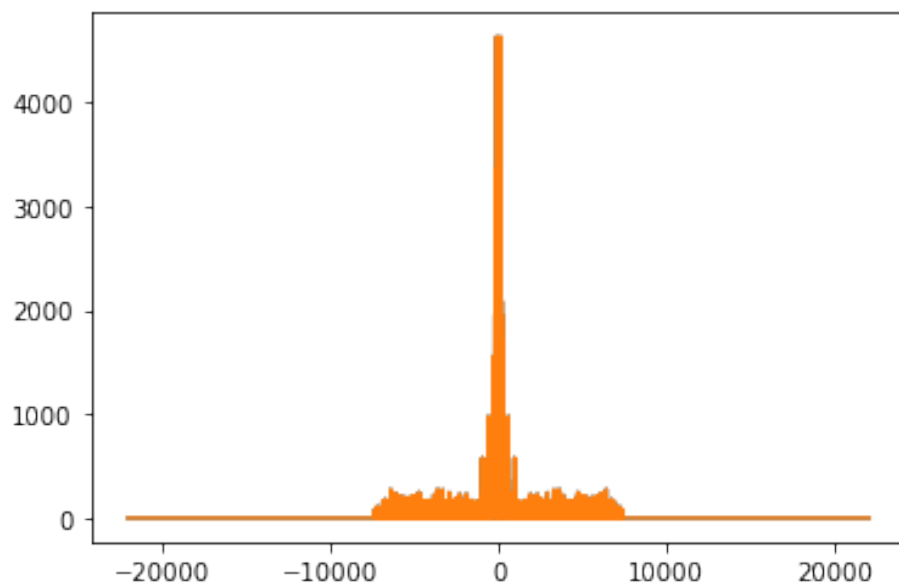


Рис. 9: Сравнение спектров до и после дискретизации.

Как мы видим из Рис9, разница между спектрами до и после дискретизации небольшая (максимальная разница составляет  $1.8189894035458565e-12$ ).

Теперь преобразуем спектр обратно в wave и сравним полученный результат с оригинальным textttwave.

```
1 interpolated = sampled_spectrum.make_wave()
2 filtered.plot()
3 interpolated.plot()
4 interpolated.make_audio()
5
```

Листинг 8: Сравнение wave.

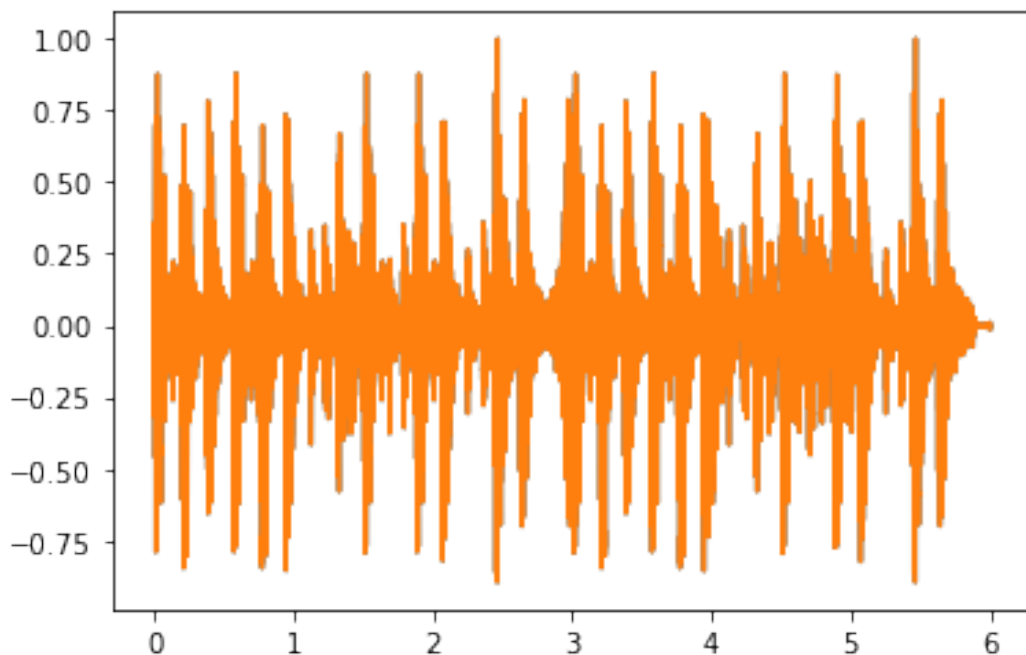


Рис. 10: Сравнение интерполированной и фильтрованной wave.

Как мы видим, разница между интерполированным и фильтрованным сигналом минимальна. Если быть точнее, максимальная разница составляет  $5.5629064211378$ . Звук тоже не отличается.

В данном упражнении на сигнал был применён фильтр НЧ до выборки, а после неё с его же помощью были удалены спектральные копии, вызванные выборкой. Таким образом нам удалось интерполировать сигнал с наименьшими потерями для звука.

## 4 Выводы

В ходе выполнения данной лабораторной работы были изучены модуляция и выборка. Также были изучены примеры в файле `chap11.ipynb` и просмотрен полезный видеоролик.

Кроме того, был применён способ, использующий фильтр НЧ, для интерполирования сигнала. Полученный сигнал минимально отличается от того, который был до интерполяции.