

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Высшая школа интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий

**Отчёт по лабораторной работе №3**  
**Дисциплина:** Телекоммуникационные технологии  
**Тема:** Аperiodические сигналы

Работу выполнил:  
Ляшенко В.В.  
Группа: 3530901/80201  
Преподаватель:  
Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2021

# Оглавление

<b>1</b>	<b>Упражнение 3.1</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Упражнение 3.2</b>	<b>6</b>
2.1	Класс SawtoothChirp . . . . .	6
2.2	Спектрограмма . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Упражнение 3.3</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Упражнение 3.4</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Упражнение 3.5</b>	<b>11</b>
5.1	Класс TromboneGliss . . . . .	11
5.2	Спектрограмма . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Упражнение 3.6</b>	<b>13</b>
6.1	Спектрограмма . . . . .	13
6.2	Спектры гласных звуков . . . . .	14
6.2.1	Звук а . . . . .	14
6.2.2	Звук э . . . . .	14
6.2.3	Звук и . . . . .	15
6.2.4	Звук о . . . . .	16
6.2.5	Звук у . . . . .	16
<b>7</b>	<b>Выводы</b>	<b>18</b>

# Список иллюстраций

1.1	Утечка. Окно Хэмминга . . . . .	4
1.2	Применение разных окон . . . . .	5
2.1	Спектрограмма . . . . .	7
3.1	Спектр чирпа . . . . .	8
4.1	Спектрограмма глissандо . . . . .	10
5.1	Спектрограмма глissандо C3-F3 . . . . .	12
6.1	Спектрограмма гласных звуков . . . . .	13
6.2	Спектр звука а . . . . .	14
6.3	Спектр звука э . . . . .	15
6.4	Спектр звука и . . . . .	15
6.5	Спектр звука о . . . . .	16
6.6	Спектр звука у . . . . .	17

# Листинги

1.1	Вычисление разных оконных функций . . . . .	4
2.1	Класс SawtoothChirp . . . . .	6
2.2	Создание спектрограммы . . . . .	6
3.1	Создание пилообразного чирпа . . . . .	8
3.2	Получение спектра чирпа . . . . .	8
4.1	Получение звука глissандо . . . . .	10
4.2	Получение спектрограммы . . . . .	10
5.1	Класс TromboneCliss . . . . .	11
5.2	Создание сигнала . . . . .	11
5.3	Получение спектрограммы . . . . .	11
6.1	Получение спектрограммы гласных звуков . . . . .	13
6.2	Получение спектра звука а . . . . .	14
6.3	Получение спектра звука э . . . . .	14
6.4	Получение спектра звука и . . . . .	15
6.5	Получение спектра звука о . . . . .	16
6.6	Получение спектра звука у . . . . .	16

# Глава 1

## Упражнение 3.1

В начале нам требуется загрузить и послушать примеры из блокнота `chap03.ipynb`.

Теперь в примере с утечкой заменим окно Хэмминга одним из окон, предоставляемых NumPy, и посмотрим как они влияют на утечку. Утечка при использовании окна Хэмминга имеет вид, представленный на Рис.1.1.

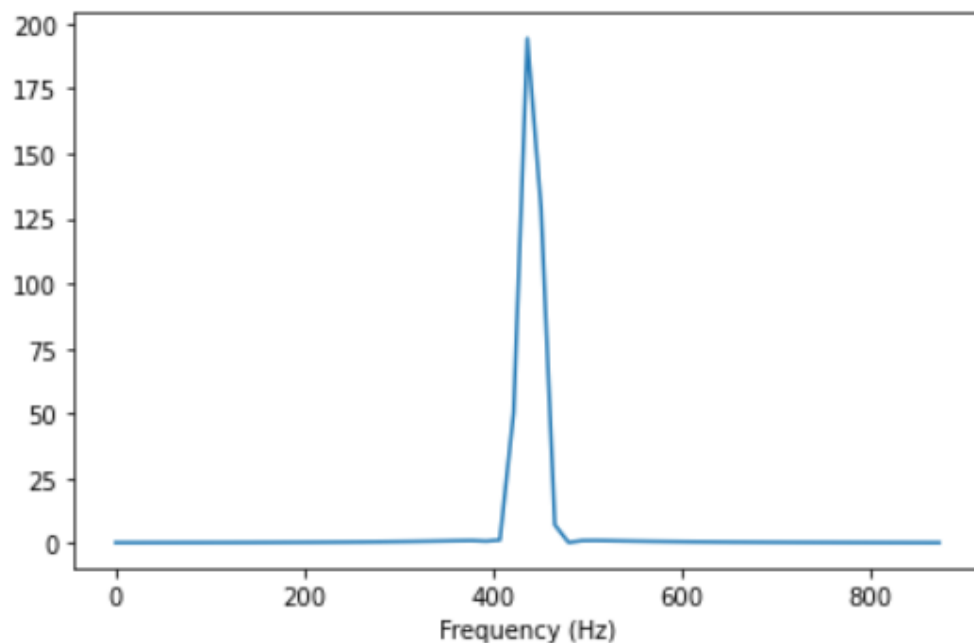


Рис. 1.1: Утечка. Окно Хэмминга

NumPy дает функции для вычисления других оконных функций, такие как `bartlett`, `blackman`, `hanning` и `kaiser`. Используем их (Рис.1.2).

```
import thinkplot
import numpy as np

wave = signal.make_wave(duration)
wave.window(np.bartlett(len(wave)))
spectrum = wave.make_spectrum()
spectrum.plot(high=880, label="bartlett")

wave = signal.make_wave(duration)
wave.window(np.blackman(len(wave)))
```

```

spectrum = wave.make_spectrum()
spectrum.plot(high=880, label="blackman")

wave = signal.make_wave(duration)
wave.window(np.hanning(len(wave)))
spectrum = wave.make_spectrum()
spectrum.plot(high=880, label="hanning")

wave = signal.make_wave(duration)
wave.window(np.kaiser(len(wave),5))
spectrum = wave.make_spectrum()
spectrum.plot(high=880, label="kaiser")

thinkplot.config(xlabel='Frequency (Hz)', legend=True)

```

Листинг 1.1: Вычисление разных оконных функций

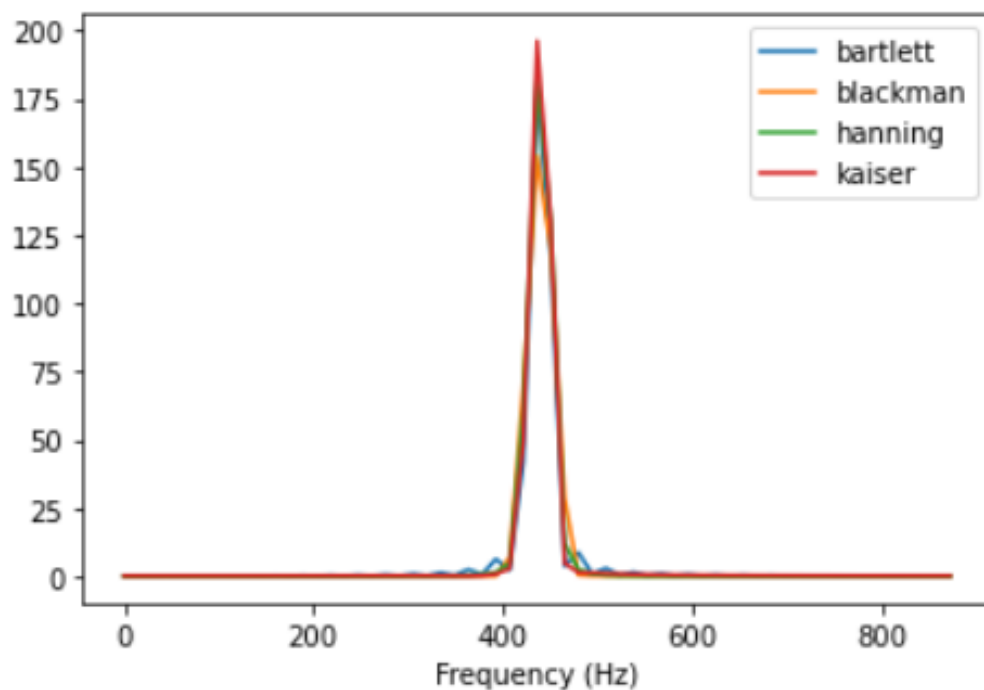


Рис. 1.2: Применение разных окон

Все окна хорошо справляются с уменьшением утечки.

# Глава 2

## Упражнение 3.2

### 2.1 Класс SawtoothChirp

Напишем класс `SawtoothChirp`, расширяющий `Chirp` и переопределяющий `evaluate` для генерации пилообразного сигнала с линейно увеличивающейся частотой.

```
from thinkdsp import Chirp, normalize, unbias, PI2

class SawtoothChirp(Chirp):

    def evaluate(self, ts):
        freqs = np.linspace(self.start, self.end, len(ts))
        dts = np.diff(ts, prepend=0)
        dphis = PI2 * freqs * dts
        phases = np.cumsum(dphis)
        cycles = phases / PI2
        frac, _ = np.modf(cycles)
        ys = normalize(unbias(frac), self.amp)
        return ys
```

Листинг 2.1: Класс `SawtoothChirp`

### 2.2 Спектрограмма

Нарисуем эскиз спектрограммы этого сигнала, а затем распечатаем.

```
signal = SawtoothChirp(start=220, end=880)
wave = signal.make_wave(duration=1, framerate=4000)
spectrogram = wave.make_spectrogram(128)
spectrogram.plot()
decorate(xlabel='Time (s)', ylabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 2.2: Создание спектрограммы

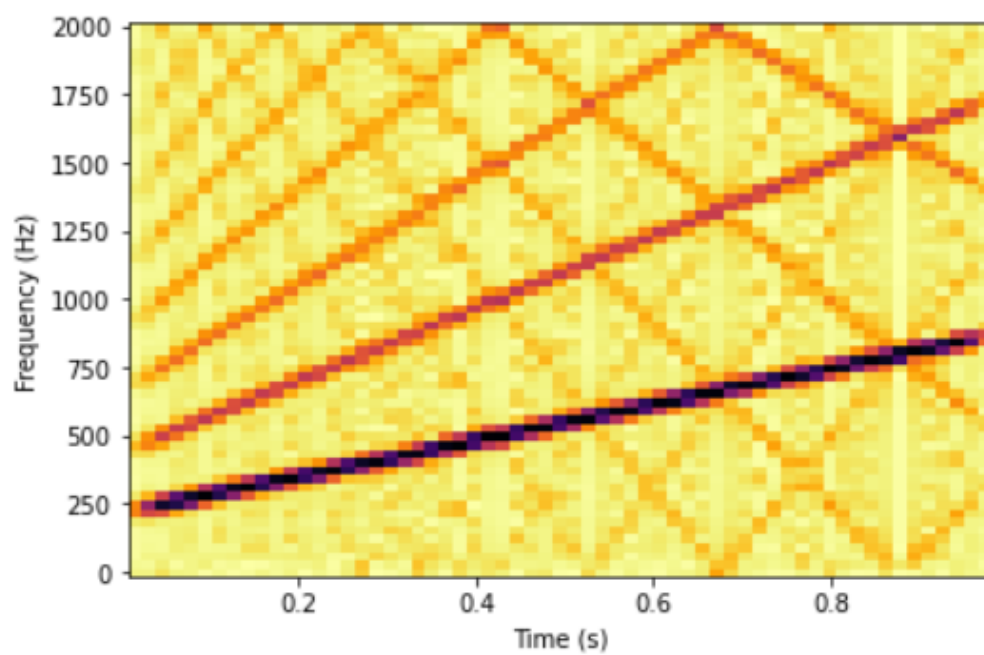


Рис. 2.1: Спектрограмма

Мы можем увидеть на рис.2.1, как гармоники с наложенными частотами отражаются от частоты сворачивания.

Послушаем получившийся сигнал. Именно отражающиеся гармоники мы слышим как фоновое шипение.



# Глава 3

## Упражнение 3.3

Создадим пилообразный чирп, меняющийся от 2500 до 3000 Гц, и на его основе сгенерируем сигнал длительностью 1 с и частотой кадров 20 кГц.

```
signal = SawtoothChirp(start=2500, end=3000)
wave = signal.make_wave(duration=1, framerate=20000)
```

Листинг 3.1: Создание пилообразного чирпа

Теперь нам нужно вывести спектр данного сигнала. Но прежде мы должны предположить как он будет выглядеть. Так как основная частота меняется в диапазоне от 2500 до 3000 Гц, то здесь будет большой всплеск. На первой гармонике (диапазон от 5000 до 6000 Гц,) будет всплеск поменьше, а на второй гармонике ([7500;9000]) - ещё ниже. Выведем спектр.

```
spectrogram = wave.make_spectrogram(128)
spectrogram.plot()
decorate(xlabel='Time (s)', ylabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 3.2: Получение спектра чирпа

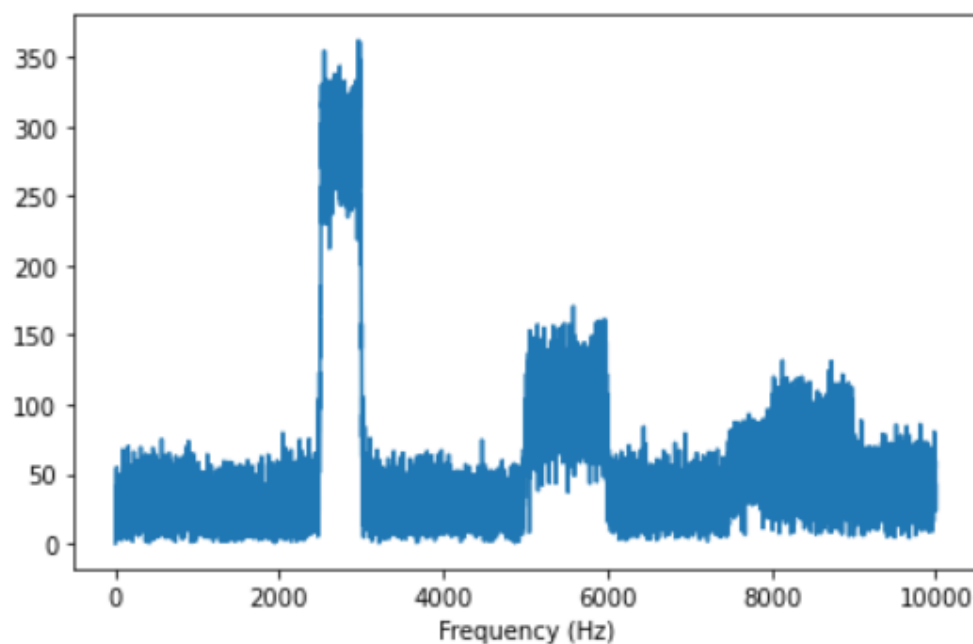


Рис. 3.1: Спектр чирпа

Как мы можем видеть из рис.3.1 полученный спектр совпал с ожидаемым.

# Глава 4

## Упражнение 3.4

В данном упражнении нам необходимо распечатать спектрограмму первых нескольких секунд звука глissандо. Воспользуемся подсказкой из пособия и скачаем произведение "Rhapsody in Blue" Джорджа Гершвина, которое содержит глissандо.

```
from thinkdsp import read_wave
wave = read_wave('sounds/rhapblue11924.wav')
segment = wave.segment(start=2, duration=9)
segment.make_audio()
```

Листинг 4.1: Получение звука глissандо

Теперь выведем его спектрограмму (Рис.4.1).

```
spectrogram = segment.make_spectrogram(512)
spectrogram.plot()
decorate(xlabel='Time (s)', ylabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 4.2: Получение спектрограммы

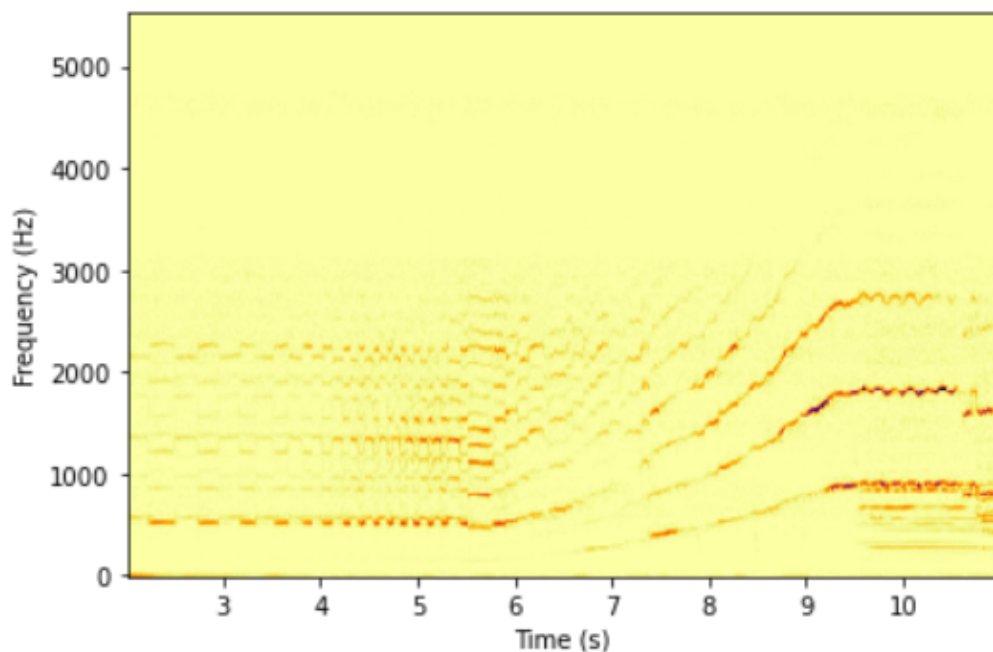


Рис. 4.1: Спектрограмма глissандо

# Глава 5

## Упражнение 3.5

### 5.1 Класс TromboneGliss

Напишем класс `TromboneGliss`, расширяющий `Chirp` и предоставляющий `evaluate`.

```
class TromboneGliss(Chirp):

    def evaluate(self, ts):
        start, end = 1.0 / self.start, 1.0 / self.end
        freqs = 1.0 / np.linspace(start, end, len(ts))

        dts = np.diff(ts, prepend=0)
        dphis = PI2 * freqs * dts
        phases = np.cumsum(dphis)
        ys = self.amp * np.cos(phases)
        return ys
```

Листинг 5.1: Класс `TromboneGliss`

Создадим сигнал, имитирующий глissандо на тромбоне от C3 до F3, и обратно до C3. C3 - 262 Гц, F3 - 349 Гц.

```
C3 = 262
F3 = 349
signal = TromboneGliss(C3, F3)
wave_CF = signal.make_wave(duration=1)
wave_CF.apodize()
signal = TromboneGliss(F3, C3)
wave_FC = signal.make_wave(duration=1)
wave_FC.apodize()
wave = wave_CF | wave_FC
wave.make_audio()
```

Листинг 5.2: Создание сигнала

### 5.2 Спектрограмма

Напечатаем спектрограмму полученного сигнала.

```
spectrogram = wave.make_spectrogram(1024)
spectrogram.plot(high=1000)
```

```
decorate(xlabel='Time (s)', ylabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 5.3: Получение спектрограммы

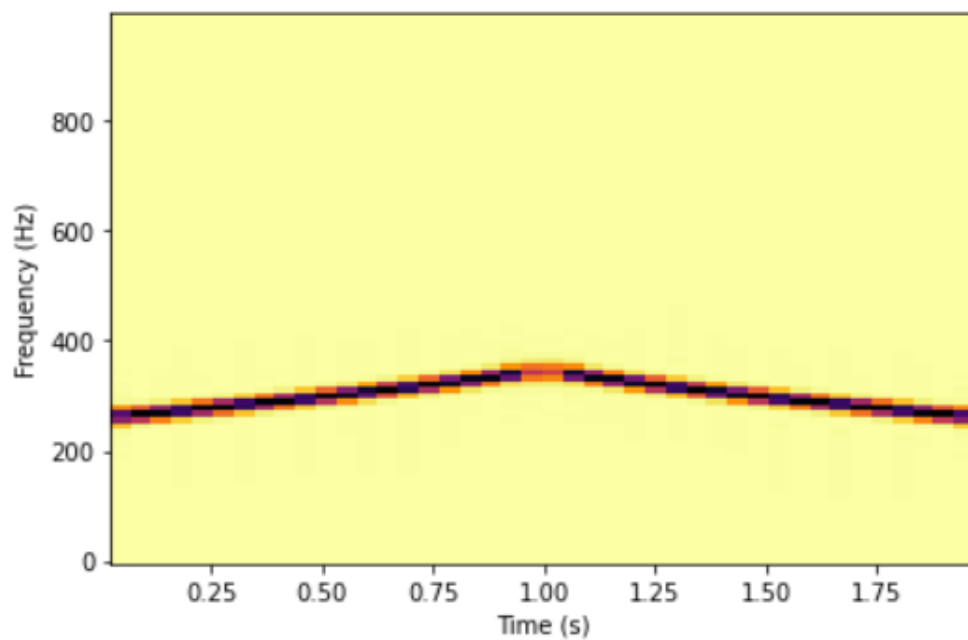


Рис. 5.1: Спектрограмма глissандо C3-F3

Как мы можем видеть на рис.5.1, глissандо больше похоже на линейный чирп.

# Глава 6

## Упражнение 3.6

### 6.1 Спектрограмма

Скачаем с <https://freesound.org> запись серии гласных звуков и посмотрим на спектрограмму.

```
wave = read_wave('sounds/523079__team-saul-nosthas__vowels-of-various-people.  
wav')  
vowels = wave.segment(start=0, duration=6)  
vowels.make_spectrogram(512).plot(high=1500)  
decorate(xlabel='Time (s)', ylabel='Frequency (Hz)')  
vowels.make_audio()
```

Листинг 6.1: Получение спектрограммы гласных звуков

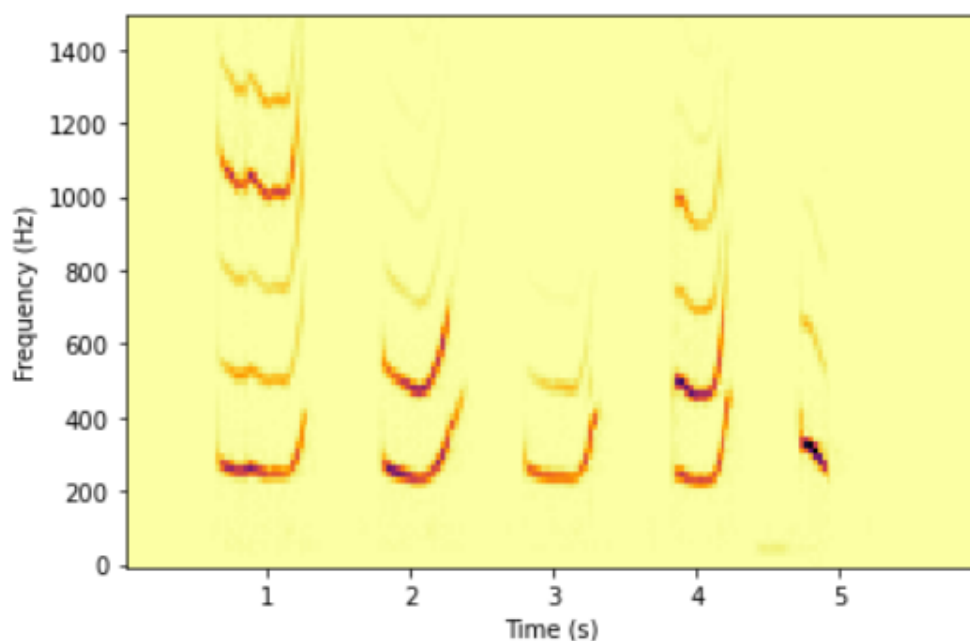


Рис. 6.1: Спектрограмма гласных звуков

Как мы можем видеть на рис.6.1, разные гласные звуки имеют разные частоты, так что различить гласные по спектру возможно, но очень трудно.

## 6.2 Спектры гласных звуков

Пики на спектрограмме называются формантами. Гласные звуки различаются соотношением амплитуд первых двух формант относительно основного тона.

Посмотрим на спектры каждого звука.

### 6.2.1 Звук а

```
segment = vowels.segment(start=0.5, duration=0.75)
segment.make_spectrum().plot(high=1000)
decorate(xlabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 6.2: Получение спектра звука а

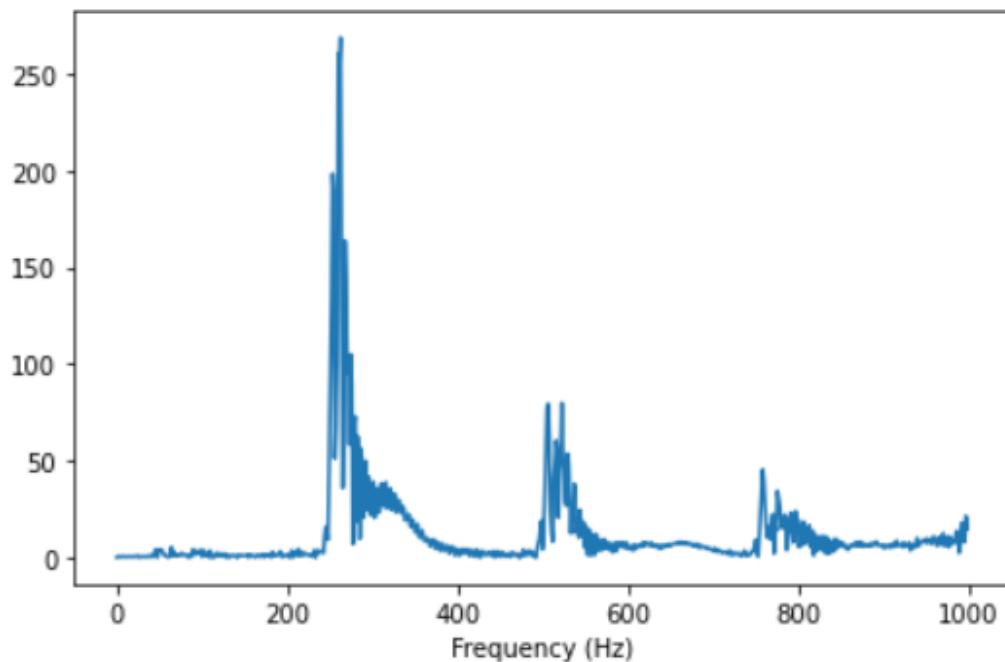


Рис. 6.2: Спектр звука а

На рис.6.2 видно, что основная частота находится между 200 и 300 Гц. Следующие самые высокие пики находятся между 500-600 Гц и 700-800 Гц соответственно.

### 6.2.2 Звук э

```
segment = vowels.segment(start=1.5, duration=0.9)
segment.make_spectrum().plot(high=1000)
decorate(xlabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 6.3: Получение спектра звука э

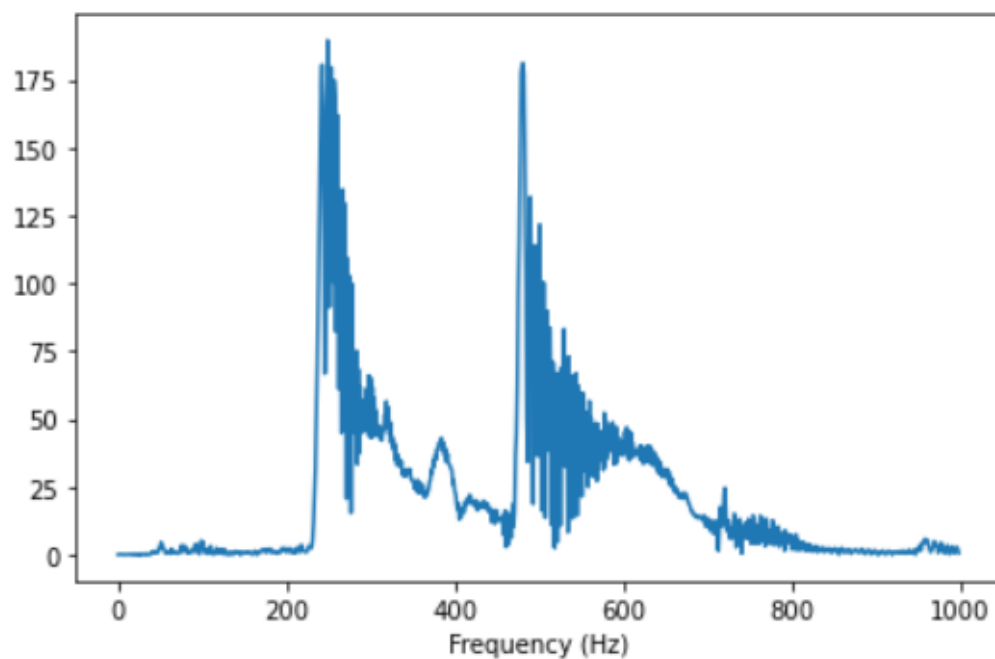


Рис. 6.3: Спектр звука э

На рис.6.3 мы видим два похожих пика на 300 и 500 Гц соответственно.

### 6.2.3 Звук и

```
segment = vowels.segment(start=2.7, duration=0.7)
segment.make_spectrum().plot(high=1000)
decorate(xlabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 6.4: Получение спектра звука и

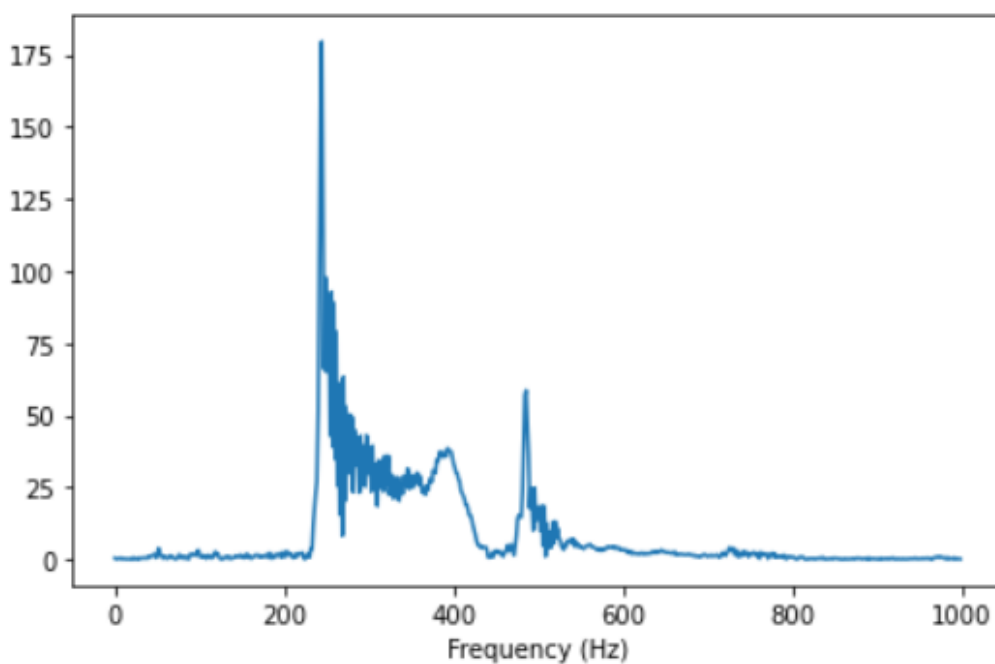


Рис. 6.4: Спектр звука и



На рис.6.4 мы видим основную частоту на 200, а следующий пик на 500 Гц.

### 6.2.4 Звук о

```
segment = vowels.segment(start=3.6, duration=0.8)
segment.make_spectrum().plot(high=1000)
decorate(xlabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 6.5: Получение спектра звука о

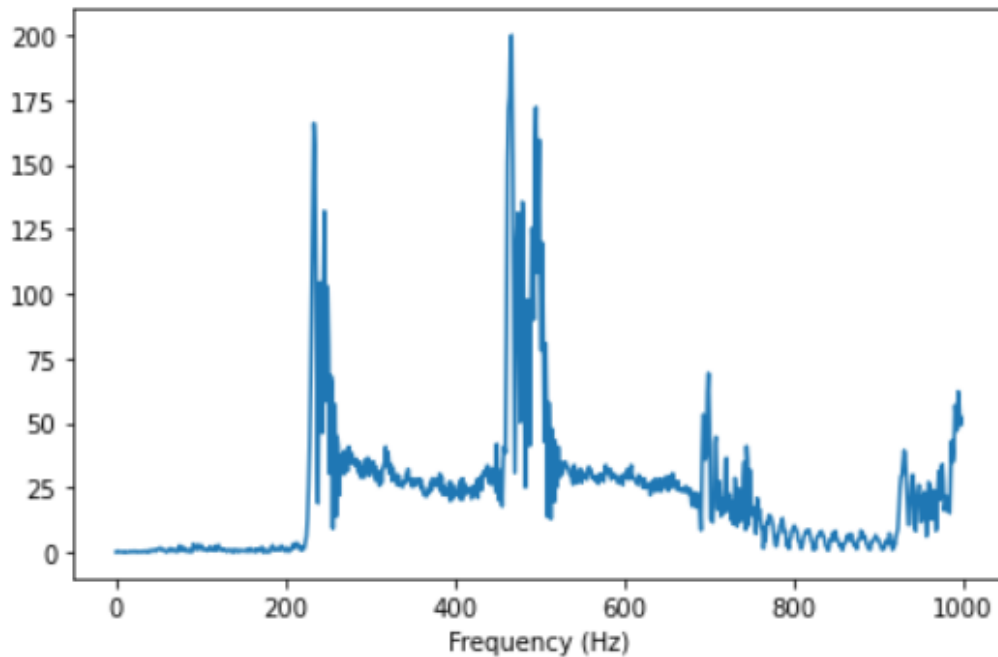


Рис. 6.5: Спектр звука о

Звук о имеет высокоамплитудную форманту около 500 Гц, даже выше основной частоты.

### 6.2.5 Звук у

```
segment = vowels.segment(start=4.5, duration=0.6)
segment.make_spectrum().plot(high=1000)
decorate(xlabel='Frequency (Hz)')
```

Листинг 6.6: Получение спектра звука у

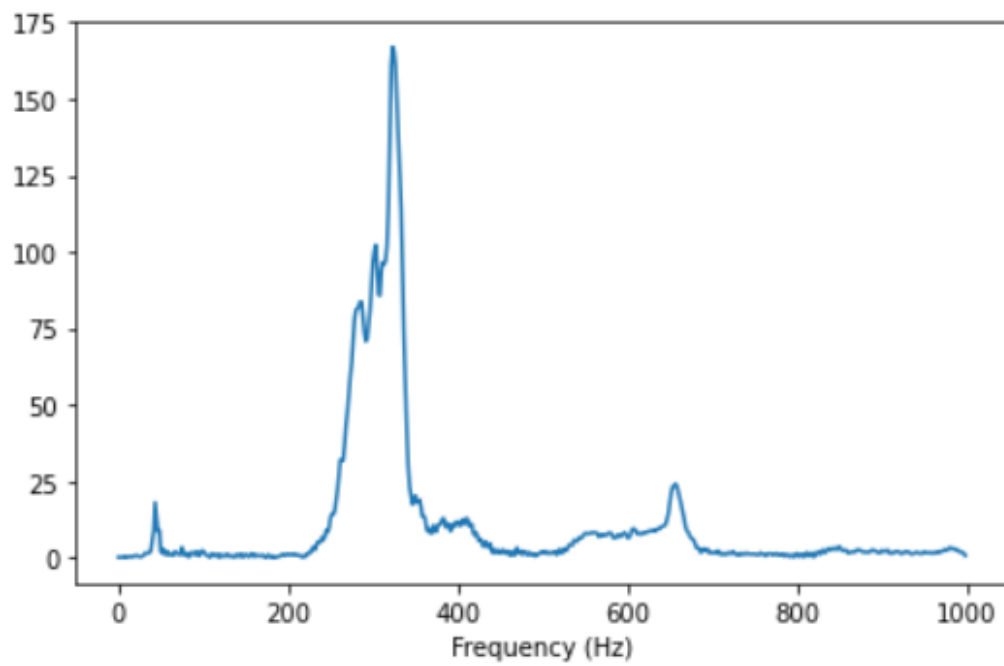


Рис. 6.6: Спектр звука у

Звук у имеет высокоамплитудную форманту около 300 Гц и не имеет высокочастотных составляющих.

# Глава 7

## Выводы

В результате выполнения данной работы мы познакомились с понятиями аperiodических сигналов, частотные компоненты которых изменяются во времени. К ним относятся практически все сигналы. А также с chirпами - сигналами с переменной частотой.

Кроме того, мы научились работать со спектрограммами и окнами.

Спектрограмма - это способ визуализации кратковременных ПФ. У неё на оси  $x$  время, а на оси  $y$  частоты.

Окно - это функция, преобразующая аperiodический сегмент во нечто похожее на периодическое.