



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИУК «Информатика и управление»

КАФЕДРА ИУК4 «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии»

Домашняя работа

ДИСЦИПЛИНА: «Цифровая обработка сигналов»

Выполнил: студент гр. ИУК4-72Б _____ (____Моряков В.Ю.____)
(Подпись) (Ф.И.О.)

Проверил: _____ (____Чурилин О.И____)
(Подпись) (Ф.И.О.)

Дата сдачи (защиты):

Результаты сдачи (защиты):

- Балльная оценка:

- Оценка:

Калуга, 2025

Целью выполнения домашней работы является формирование практических навыков разложения сигналов с использованием дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Основными **задачами** выполнения лабораторной работы являются:

- 1) с помощью ДПФ построить АЧХ гармонического сигнала;
- 2) из спектра сигнала определить частоты основных гармоник сигнала и осуществить фильтрацию этих гармоник с помощью фильтров любого типа, подобрав соответствующие параметры фильтров;
- 3) в спектральной плоскости отобразить составляющую сигнала;
- 4) над каждой выделенной составляющей сигнала произвести обратное ДПФ;
- 5) построить графики полученных сигналов.

Вариант 17

№	S_1			S_2			S_3			S_4		
	A_1	ω_1	φ_1	A_2	ω_2	φ_2	A_3	ω_3	φ_3	A_4	ω_4	φ_4
17	2	45	40	1,5	60	-80	0,7	90	120	1	20	0

Листинг программы:

```
# %% [markdown]
# # Подключение основных библиотек

# %%
%matplotlib ipynb
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.signal import find_peaks, butter, filtfilt

# %% [markdown]
# # Генерация исходных сигналов

# %%

A = np.array([2, 1.5, 0.7, 1])
omega = np.array([45, 60, 90, 20])
phi = np.array([40, -80, 120, 0])

fs = 1000
T = 1
t = np.linspace(0, T, int(fs*T), endpoint=False)
```

```
signals = [A[i] * np.sin(2 * np.pi * omega[i] * t + phi[i]) for i in
range(4)]
S1, S2, S3, S4 = signals
S = S1 * S3 * (S2 + S4)
```

```
plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(t, S)
plt.title("Сигнал S(t)")
plt.xlabel("Время, с")
plt.ylabel("Амплитуда")
plt.grid(True)
plt.show()
```

```
# %% [markdown]
# # Спектр исходного сигнала
```

```
# %%
N = len(S)
S_fft = np.fft.fft(S)
freqs = np.fft.fftfreq(N, 1/fs)
```

```
plt.figure(figsize=(10,4))
plt.stem(freqs[:N//2], np.abs(S_fft)[:N//2]) # use_line_collection убран
plt.title("Амплитудный спектр S(f)")
plt.xlabel("Частота, Гц")
plt.ylabel("Амплитуда")
plt.grid(True)
plt.show()
```

```
peaks, _ = find_peaks(np.abs(S_fft)[:N//2], height=0.1)
peak_freqs = freqs[peaks]
print("Основные гармоники (Гц):", peak_freqs)
```

```
# %% [markdown]
# # Разложение сигнала на гармоники
```

```
# %%
harmonics = []
for pf in peak_freqs:
    S_fft_filtered = np.zeros_like(S_fft)
    S_fft_filtered[np.abs(freqs - pf) < 1] = S_fft[np.abs(freqs - pf) < 1]
    S_fft_filtered[np.abs(freqs + pf) < 1] = S_fft[np.abs(freqs + pf) < 1]
    filtered_signal = np.fft.ifft(S_fft_filtered).real
    harmonics.append(filtered_signal)

plt.figure(figsize=(10,3))
plt.plot(t, filtered_signal)
plt.title(f"Составляющая сигнала для частоты {pf:.2f} Гц")
plt.xlabel("Время, с")
plt.ylabel("Амплитуда")
plt.grid(True)
plt.show()
```

```
# %% [markdown]
# # Полосовая фильтрация с помощью фильтра Баттерворта
```

```
# %%
filtered_signals = []

for pf in peak_freqs:
    bandwidth = 1
```

```

    low = (pf - bandwidth) / (fs / 2)
    high = (pf + bandwidth) / (fs / 2)
    b, a = butter(N=4, Wn=[low, high], btype='bandpass')

    filtered_signal = filtfilt(b, a, S)
    filtered_signals.append(filtered_signal)

    F_fft = np.fft.fft(filtered_signal)

    plt.figure(figsize=(10,4))
    plt.stem(freqs[:N//2], np.abs(S_fft)[:N//2], linefmt='C0-',
markerfmt='C0o', basefmt='C0-', label='Исходный спектр')
    plt.stem(freqs[:N//2], np.abs(F_fft)[:N//2], linefmt='C1--',
markerfmt='C1x', basefmt='C1-', label='Фильтрованная гармоника')
    plt.title(f"Наложение спектра гармоника {pf:.2f} Гц на исходный спектр")
    plt.xlabel("Частота, Гц")
    plt.ylabel("Амплитуда")
    plt.legend()
    plt.grid(True)
    plt.show()

    plt.figure(figsize=(10,3))
    plt.plot(t, filtered_signal, label=f'Гармоника {pf:.2f} Гц')
    plt.title(f"Временной сигнал гармоника {pf:.2f} Гц после фильтрации")
    plt.xlabel("Время, с")
    plt.ylabel("Амплитуда")
    plt.grid(True)
    plt.legend()
    plt.show()

# %%
from scipy.signal import butter, filtfilt

filtered_signals = []

bandwidth = 5
window = np.hanning(len(S))
S_windowed = S * window

for pf in peak_freqs:
    low = (pf - bandwidth) / (fs / 2)
    high = (pf + bandwidth) / (fs / 2)
    b, a = butter(N=4, Wn=[low, high], btype='bandpass')

    sig_filtered = filtfilt(b, a, S_windowed)
    filtered_signals.append(sig_filtered)

    F_fft = np.fft.fft(sig_filtered)
    plt.figure(figsize=(10,4))
    plt.stem(freqs[:N//2], np.abs(F_fft)[:N//2], linefmt='C1-',
markerfmt='C1o', basefmt='C1-', label='После фильтрации')
    plt.title(f"Спектр гармоника {pf:.2f} Гц после фильтрации")
    plt.xlabel("Частота, Гц")
    plt.ylabel("Амплитуда")
    plt.legend()
    plt.grid(True)
    plt.show()

    plt.figure(figsize=(10,3))
    plt.plot(t, sig_filtered, label=f'Гармоника {pf:.2f} Гц после
фильтрации')
    plt.title(f"Временной сигнал гармоника {pf:.2f} Гц после фильтрации")
    plt.xlabel("Время, с")

```

```

plt.ylabel("Амплитуда")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

# %%
def extract_fft_params(signal, fs):
    N = len(signal)
    F_fft = np.fft.fft(signal)
    freqs = np.fft.fftfreq(N, 1/fs)

    pos_mask = freqs >= 0
    F_fft_pos = F_fft[pos_mask]
    freqs_pos = freqs[pos_mask]

    idx_peak = np.argmax(np.abs(F_fft_pos))
    amplitude = np.abs(F_fft_pos[idx_peak]) * 2 / N
    frequency = freqs_pos[idx_peak]
    phase = np.angle(F_fft_pos[idx_peak])

    return amplitude, frequency, phase

amplitudes_filtered = []
frequencies_filtered = []
phases_filtered = []

for sig_filtered in filtered_signals:
    amp, freq, phase = extract_fft_params(sig_filtered, fs)
    amplitudes_filtered.append(amp)
    frequencies_filtered.append(freq)
    phases_filtered.append(phase)

amplitudes_original = []
frequencies_original = []
phases_original = []

for sig in harmonics:
    amp, freq, phase = extract_fft_params(sig, fs)
    amplitudes_original.append(amp)
    frequencies_original.append(freq)
    phases_original.append(phase)

plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(peak_freqs, amplitudes_original, 'o-', label='Исходные амплитуды',
color='C0')
plt.plot(peak_freqs, amplitudes_filtered, 'x--', label='Фильтрованные
амплитуды', color='C1')
plt.xlabel("Частота гармоник, Гц")
plt.ylabel("Амплитуда")
plt.title("Сравнение амплитуд исходных и фильтрованных сигналов")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(peak_freqs, phases_original, 'o-', label='Исходные фазы',
color='C0')
plt.plot(peak_freqs, phases_filtered, 'x--', label='Фильтрованные фазы',
color='C1')
plt.xlabel("Частота гармоник, Гц")
plt.ylabel("Фаза, рад")
plt.title("Сравнение фаз исходных и фильтрованных сигналов")
plt.grid(True)

```

```

plt.legend()
plt.show()

# %%
reconstructed_original = []
reconstructed_filtered = []

for amp, freq, phase in zip(amplitudes_original, frequencies_original,
phases_original):
    sig = amp * np.cos(2 * np.pi * freq * t + phase)
    reconstructed_original.append(sig)

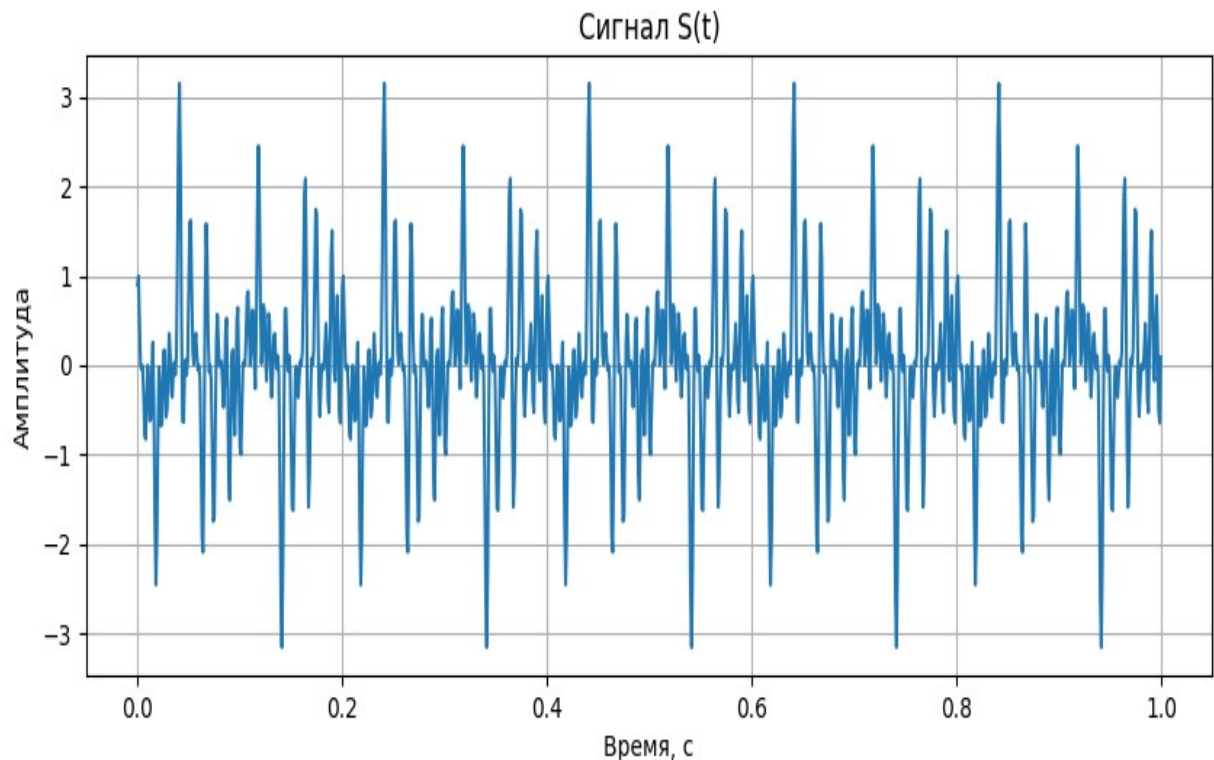
for amp, freq, phase in zip(amplitudes_filtered, frequencies_filtered,
phases_filtered):
    sig = amp * np.cos(2 * np.pi * freq * t + phase)
    reconstructed_filtered.append(sig)

for i, pf in enumerate(peak_freqs[:len(reconstructed_original)]):
    plt.figure(figsize=(10,3))
    plt.plot(t, reconstructed_original[i], label=f'Исходная {pf:.2f} Гц',
linestyle='-')
    plt.plot(t, reconstructed_filtered[i], label=f'Фильтрованная {pf:.2f}
Гц', linestyle='--')
    plt.xlabel("Время, с")
    plt.ylabel("Амплитуда")
    plt.title(f"Гармоника {pf:.2f} Гц: реконструкция по амплитуде, частоте и
фазе")
    plt.grid(True)
    plt.legend()
    plt.show()

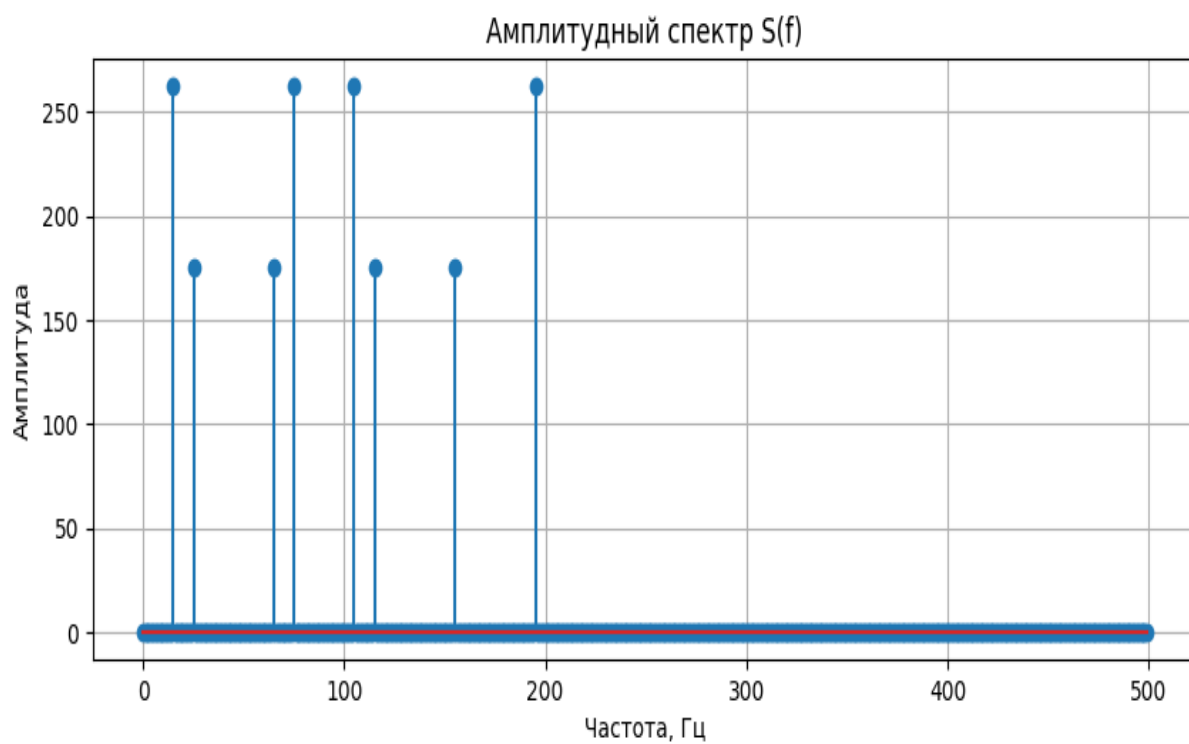
```

Результаты выполнения программы:

Исходный сигнал:



Спектр исходного сигнала:



Исходные гармоники:

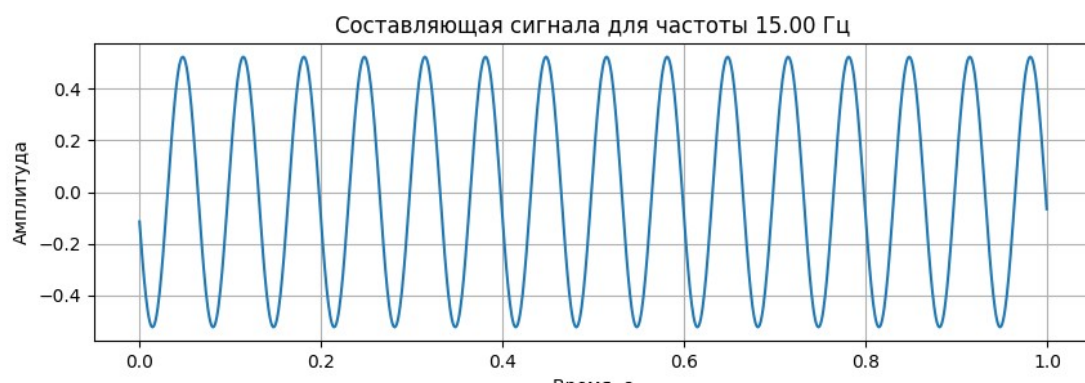
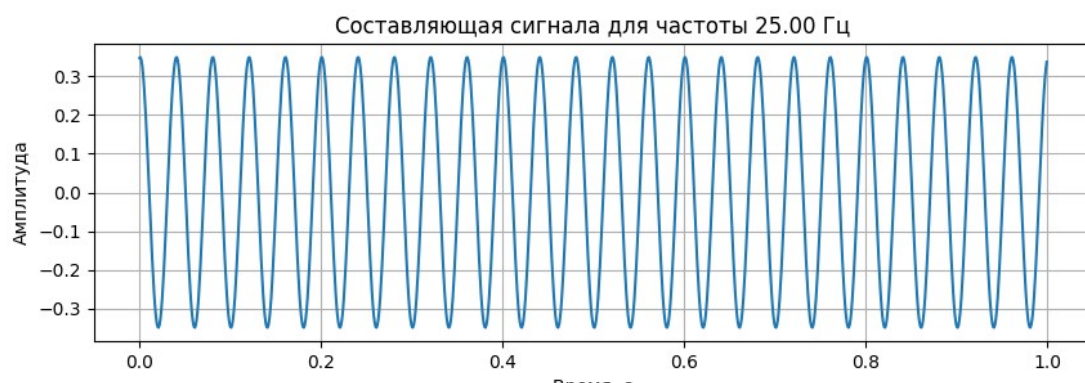


Figure 4



Фильтрация гармоник фильтром Баттерворта:

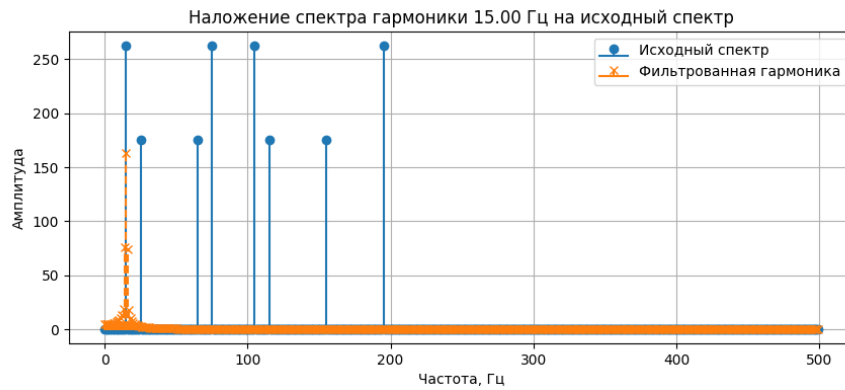
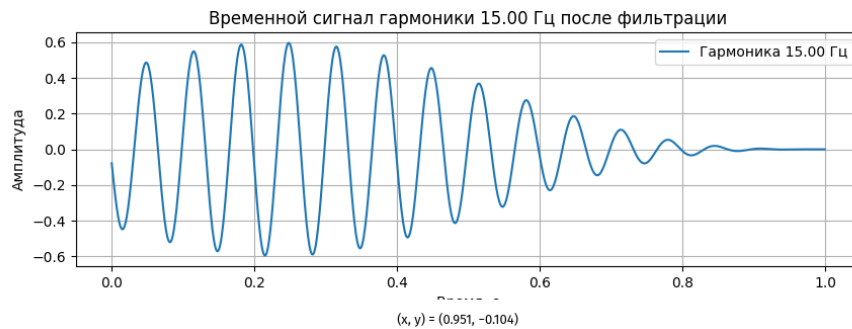


Figure 12



Убираем растекание спектра добавлением окна Хан:

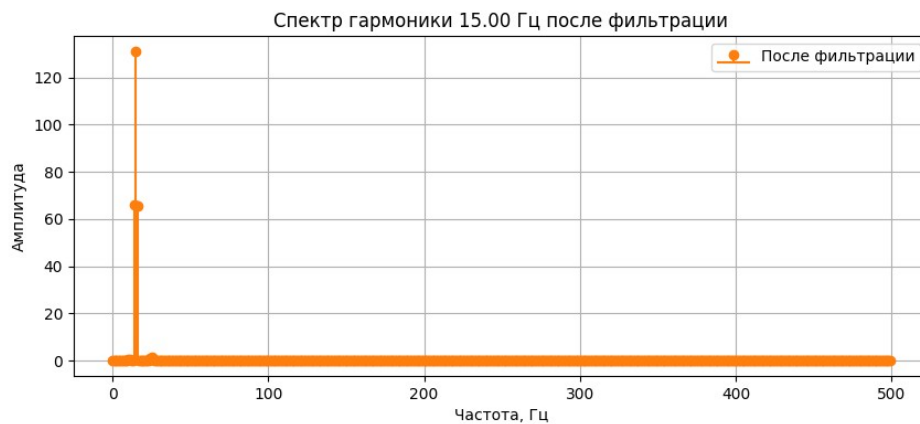
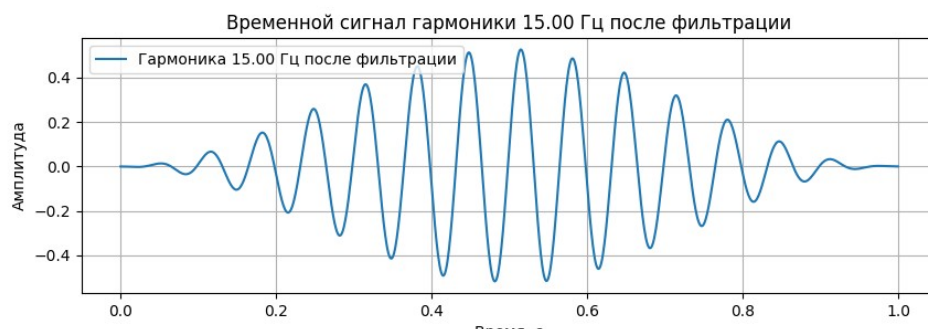


Figure 28



Сравнение фазы и аплитуды сигналов до и после фильтрации:

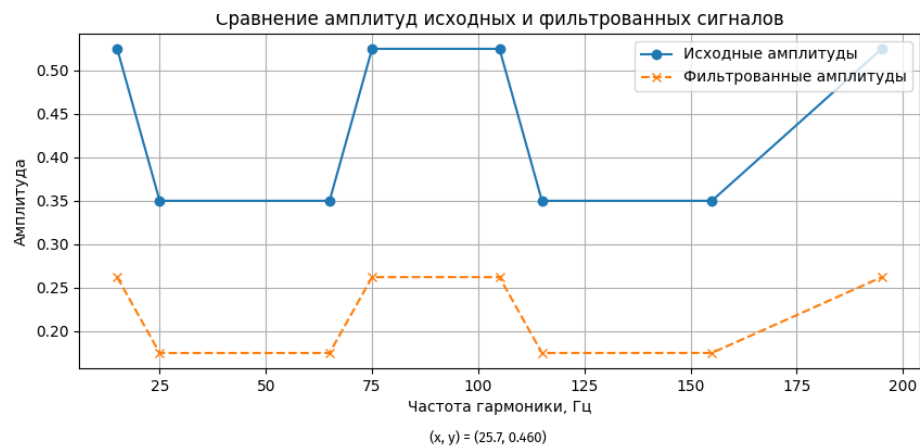
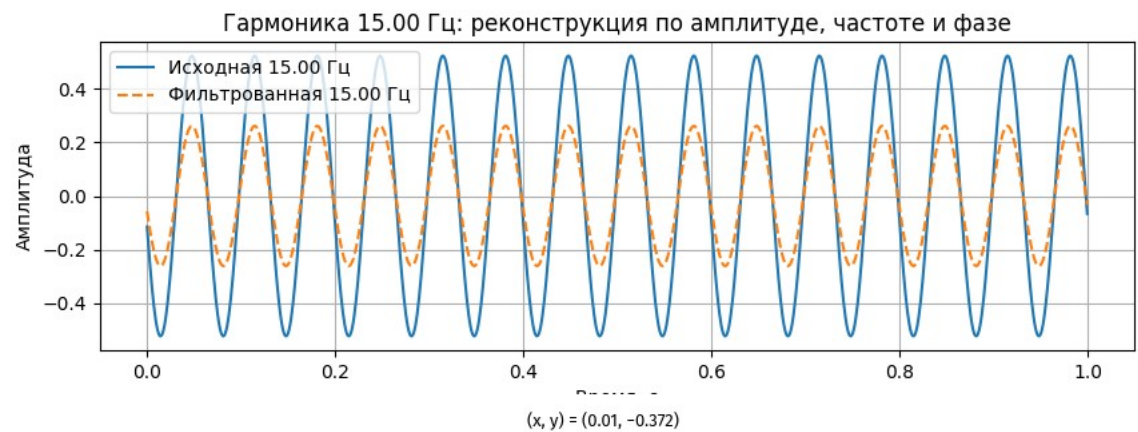


Figure 44



Сравнение гармоник до и после фильтрации:



Вывод: в ходе лабораторной работы я получил навыки построения аналоговых фильтров, а также базовые навыки спектрального анализа сигналов, восстановления исходного сигнала и научился работать с ДПФ.