

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)
Кафедра 410**

А.В. БРУХАНСКИЙ

Параметрические методы спектрального анализа

Учебное пособие к лабораторной работе

Москва
МАИ
2020

Лабораторная работа № 4 «Параметрические методы спектрального анализа»

В лабораторной работе изучаются методы параметрического спектрального анализа случайных процессов, в том числе речевых.

Для выполнения лабораторной работы необходимо в среде MATLAB ввести тексты следующих функций и скриптов и проанализировать результаты вычислений. Файлы с оцифрованными голосовыми сообщениями, на которые наложена гармоническая помеха v1.mat, v2.mat и т.д. находятся в архиве Звуковые_файлы.zip на сайте lms.mai.ru. Каждый файл содержит запись одной фразы, которую необходимо отфильтровать от гармонических помех и привести в отчете о выполнении работы. Определение частоты помехи выполняется одним из методов параметрического спектрального анализа, а синтез режекторных фильтров, необходимых для удаления помехи осуществляется с помощью программы синтеза фильтров filterDesigner.

1. Расчет спектральной плотности мощности коррелированного случайного процесса методами периодограмм и Уэлча

```
1  % Периодограмма
2  % [Pxx,f] = periodogram(x, window, Nfft, Fs, 'range')
3  % x - отсчеты сигнала
4  % window - коэффициенты весового окна (модифицированная периодограмма)
5  % Nfft - размерность БПФ - по умолчанию max(256, 2^nextpow2(length(x)))
6  % Fs - частота дискретизации в Гц
7  % 'range' = 'onesided' (по умолчанию) или 'twosided' - размерность Pxx и f
8  % Если выходные параметры не указаны, то функция periodogram строит график
9  % СПМ с помощью функции psdplot
10 - clear
11 - n = 1024;
12 - Fs = 1024;
13 - x = randn(1, n);
14 - wind = window(@hamming,n); % окно Хэмминга
15 - %wind = rectwin(n); % прямоугольное окно
16 - a = 0.9; % Коэффициент обратной связи фильтра
17 - y = filter(1/sqrt(1-a^2), [1, -a], x);
18 - [G,f] = freqz(1, [1, -a],n,Fs);
19 - GdB = 20*log10(abs(G)/abs(G(1)));
20 - y = (y)/std(x);
21 - figure(1)
22 - periodogram(y, wind, Fs, Fs, 'onesided')
23 - hold on
24 - plot(f,GdB, '--r')
25 - hold off
26 - legend('Экспериментальная СПМ', 'Ожидаемая СПМ')
```

```

27 % Расчет СПМ по методу Уэлча
28 nw =128; %nw =32;
29 wind1=window(@hamming,nw); % окно Хэмминга
30 %wind1 = rectwin(nw); % прямоугольное окно
31 noverlap = 0; % noverlap = nw/2;
32 if nw >= 128 ns=128;
33 else ns = 256-nw^2/(nw-noverlap);end
34 figure(2)
35 [Pw,f1]=pwelch(y,wind1,noverlap,nw);
36 [G1,f2] = freqz(1, [1, -a],n,n);
37 GdB1 = 20*log10(abs(G1)/abs(G1(1)));
38 Pwdb = 10*log10(Pw/ns); %/abs(Pw(1))*hp
39 Pwdb(1) = 0;
40 plot(f1(1:nw/2)*n/pi/2,Pwdb(1:nw/2),'-b',f2,GdB1,'--r')
41 axis tight, grid on
42 title('Оценка СПМ случайного процесса по методу Уэлча')
43 xlabel('Частота, Гц'); ylabel('СПМ, дБ');
44 legend('Экспериментальная СПМ', 'Ожидаемая СПМ')

```

2. Оценка спектральной плотности мощности речевого сигнала с помощью параметрических методов спектрального анализа

```

1 % оценка СПМ речевого сигнала mtlb
2 load mtlb
3 sound(mtlb,Fs); % прослушивание загруженного файла
4 N = length(mtlb);
5 M = 14; % порядок модели авторегрессии
6 figure(1)
7 % Метод Уэлча N = 512
8 Hwelch = spectrum.welch;
9 psd(Hwelch,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
10 % Метод Юла-Уокера N = 512
11 figure(2)
12 Hyulear = spectrum.yulear(M);
13 psd(Hyulear,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
14 % Метод Берга N = 512
15 figure(3)
16 Hburg = spectrum.burg(M);
17 psd(Hburg,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
18 % Метод Юла-Уокера N = 64
19 figure(4)
20 Hyulear = spectrum.yulear(M);
21 psd(Hyulear,mtlb(1001:1064),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
22 % Ковариационный метод N = 64
23 figure(5)
24 Hcov = spectrum.cov(M);
25 psd(Hcov,mtlb(1001:1064),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
26 % Модифицированный ковариационный N = 64
27 figure(6)
28 Hmcov = spectrum.mcov(M);
29 psd(Hmcov,mtlb(1001:1064),'Fs',Fs,'NFFT',1024)

```

```

30 % Графики функции mtlb
31 figure(7)
32 subplot(3,1,1)
33 plot(mtlb); title('Сигнал mtlb(1:4001)')
34 axis tight
35 subplot(3,1,2)
36 plot(1001:1512,mtlb(1001:1512))
37 axis tight
38 title('фрагмент сигнала mtlb(1001:1512)')
39 subplot(3,1,3)
40 plot(1001:1064,mtlb(1001:1064))
41 axis tight
42 title('фрагмент сигнала mtlb(1001:1064)')

```

3. Оценка разрешающей способности параметрических методов спектрального анализа на примере анализа двух гармонических сигналов в белом гауссовском шуме

```

1 % СПМ 2-х синусоид в шумах
2 clear
3 fs = 1000; % Частота дискретизации
4 t = (0:fs)/fs; % Моменты отсчетов сигнала на интервале 1 с
5 A = [2 1]; % Амплитуды синусоид
6 f = [120;130]; % частоты синусоид
7 xn = A*sin(2*pi*f*t) + 0.01*randn(size(t));
8 figure(1)
9 % Метод Уэлча
10 subplot(2,1,1)
11 Hwelch = spectrum.welch('hamming',256,50);
12 psd(Hwelch,xn,'Fs',fs,'NFFT',4096)
13 % Метод Бурга
14 subplot(2,1,2)
15 Hburg = spectrum.burg(14);
16 psd(Hburg,xn,'Fs',fs,'NFFT',4096)
17 % Метод MUSIC
18 figure(2), subplot(2,1,1)
19 p = 4; % размерность подпространства сигналов: 2 частоты, 2 амплитуды
20 pmusic(xn,p,4096) % простейший вариант вызова функции pmusic
21 p = [Inf,1.2]; % размерность подпространства не задается, порог = 1.2
22 wl = 7; % размер окна (размерность собственных векторов)
23 subplot(2,1,2)
24 pmusic(xn,p,4096,fs,wl); % вызов функции pmusic с заданием порога
25 % Метод собственных векторов
26 figure(3), subplot(2,1,1)
27 reig(xn,4,4096) % простейший вариант вызова функции reig
28 subplot(2,1,2)
29 reig(xn,p,4096,fs,wl); % вызов функции reig с заданием порога

```

4. Анализ СПМ речевого сигнала, искаженного помехами

```
1 % оценка СПМ речевого сигнала y
2 load v1
3 mtlb = y;
4 sound(mtlb,Fs);
5 % Уэлча
6 N = length(mtlb);
7 M = 14; % порядок модели авторегрессии
8 figure(1)
9 % Метод Уэлча N = 512
10 Hwelch = spectrum.welch;
11 psd(Hwelch,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
12 % Метод Юла-Уокера N = 512
13 figure(2)
14 Hyulear = spectrum.yulear(M);
15 psd(Hyulear,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
16 % Метод Берга N = 512
17 figure(3)
18 Hburg = spectrum.burg(M);
19 psd(Hburg,mtlb(1001:1512),'Fs',Fs,'NFFT',1024)
```

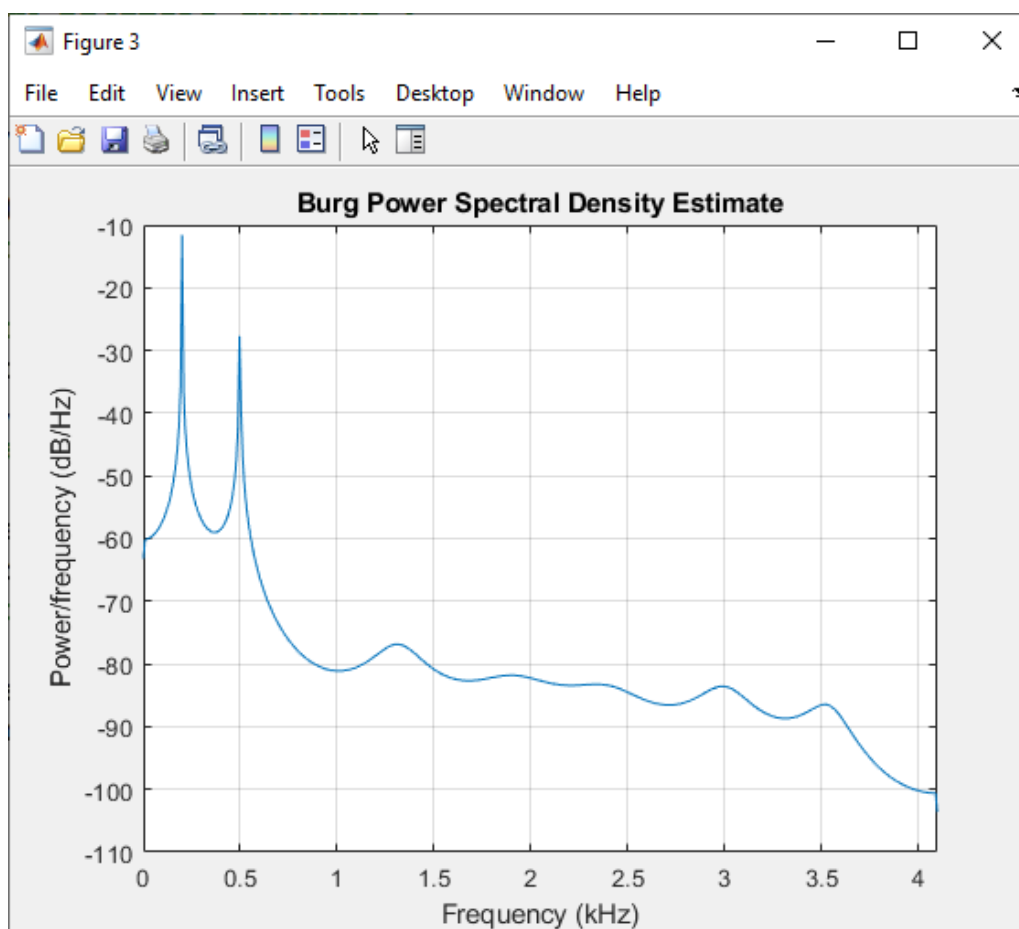


Рисунок 1. Форма СПМ речевого сигнала рассчитанная по методу Берга

На рисунке 1 показан вид спектральной мощности сигнала с наложенными на него двумя гармоническими помехами частотами 200 кГц и 500 кГц.

На рисунке 2 представлено окно программы filterDesigner с результатом синтеза режекторного фильтра на частоту 500 Гц.

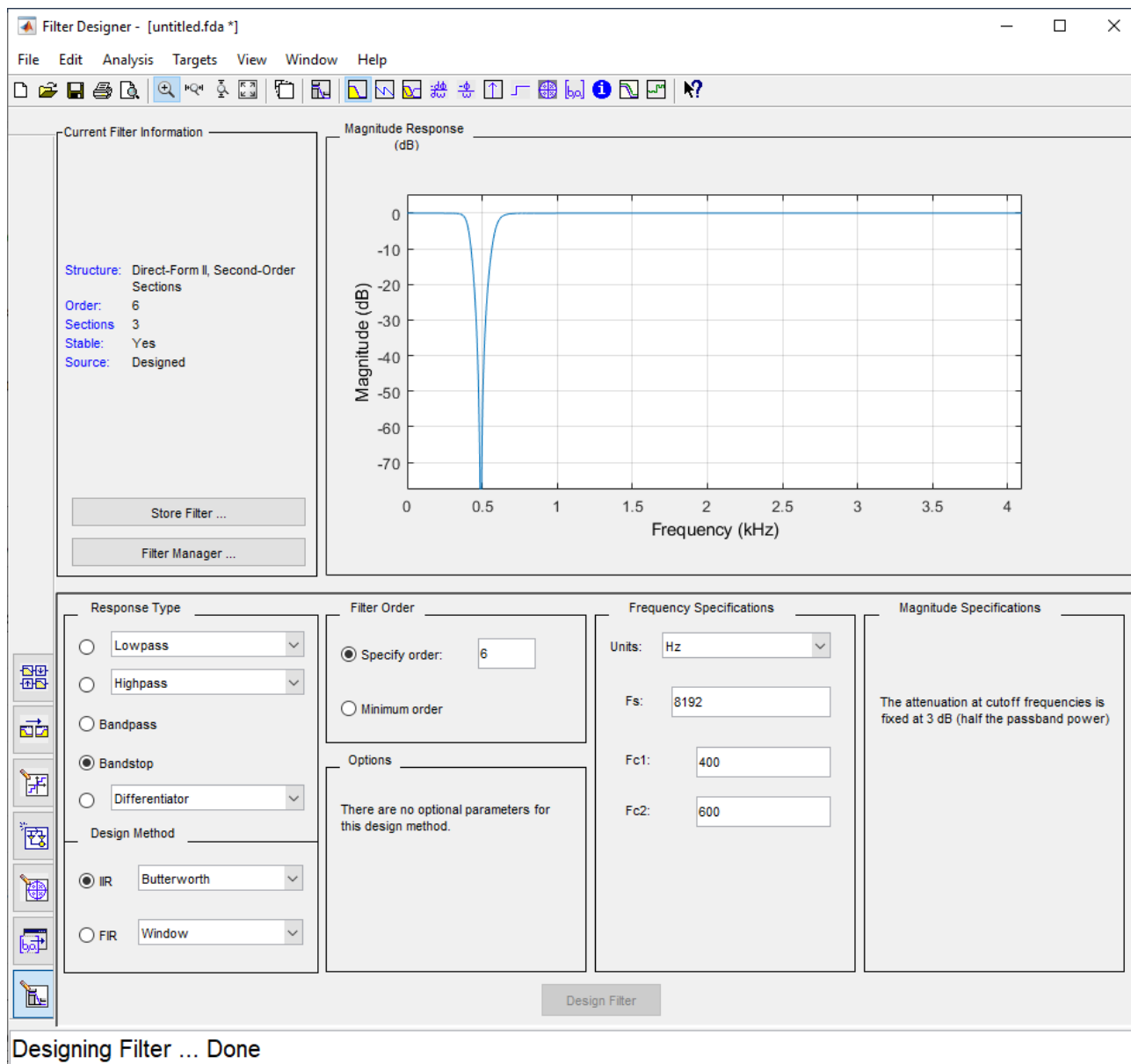


Рисунок 2. Окно программы filterDesigner с АЧХ режекторного фильтра

Для фильтрации сигнала от помех рекомендуется выбрать режекторный (Bandstop) БИХ (IIR) фильтр Баттерворта 6-го порядка. По умолчанию синтезированный фильтр получается в виде последовательно соединенных фильтров 2-го порядка (SOS - Second Order Sections). Для удобства дальнейшего

использования его нужно преобразовать в обычную однозвенную каноническую форму. Это делается выбором пункта «Convert to Single Section» из пункта главного меню «Edit». Затем выполняется экспорт коэффициентов синтезированного фильтра в рабочее пространство Matlab, рисунок 3.

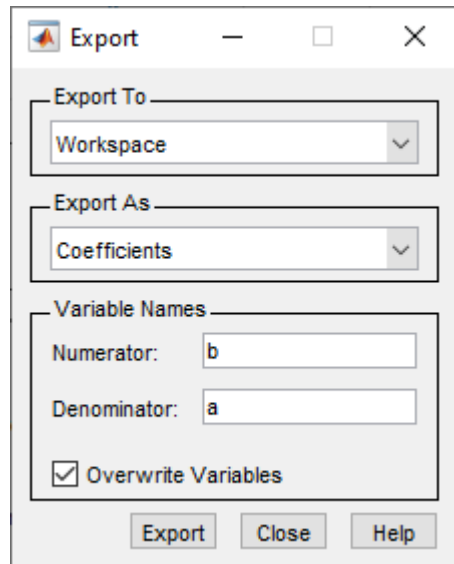


Рисунок 3. Окно экспорта коэффициентов фильтра в Workspace

Диалоговое окно экспорта коэффициентов вызывается из пункта главного меню «File».

Фильтрацию сигнала от помех можно выполнить командой

$$x = filter(b, a, y)$$

в командном окне Matlab.

Операцию очистки голоса от помех необходимо выполнить дважды для каждой из двух гармоник, наложенных на речевой сигнал.

Прослушать результат фильтрации можно с помощью команды

$$x = sound(x, Fs).$$

В отчете о выполнении работы приведите графики спектральных плотностей всех анализируемых сигналов с выводами, сделанными по результатам их анализа. Результатом выполнения 4-го пункта работы является прослушанная фраза, которую приведите в отчете в виде текста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. - М.: Мир, 1990. - 584 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. 2-е изд. - Питер, 2006. - 751 с.
3. Солонина А.И. и др. Основы цифровой обработки сигналов. 2-е изд. - ВHV-СПб, 2005. -768 с.
4. Солонина А.И. и др. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. - ВHV-СПб, 2008. - 816 с.