

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-
ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра інформатики та прикладної математики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання
систем»

для студентів спеціальностей 121 «Інженерія програмного
забезпечення» та 122 Комп'ютерні науки

Укладачі проф. Колодяжний В.М.,
ст. викладач Козачок Л.М.

2017 рік

Краткие теоретические сведения о дискретных фильтрах

В зависимости от наличия обратной связи различают рекурсивные и нерекурсивные фильтры. Наиболее простыми по структуре являются нерекурсивные фильтры. Структура фильтра приведена на рис. 5.1.

Нерекурсивные фильтры имеют ограниченную (конечную) во времени импульсную характеристику, поэтому их часто называют КИХ (FIR)-фильтрами. Достоинства нерекурсивных фильтров: они обладают линейной ФЧХ, то есть не вносят фазовых искажений в сигнал, являются абсолютно устойчивыми.

Рекурсивные фильтры – это фильтры с обратной связью. Структура рекурсивного фильтра приведена на рис. 5.2.

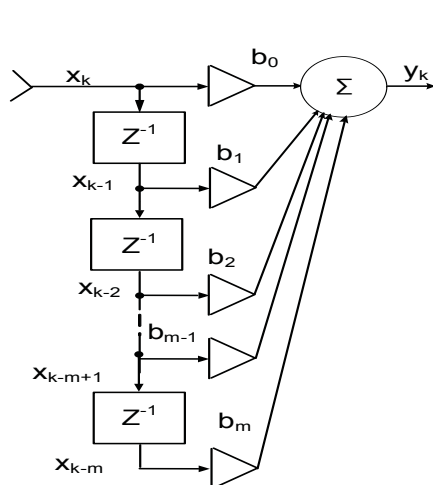


Рис. 5.1

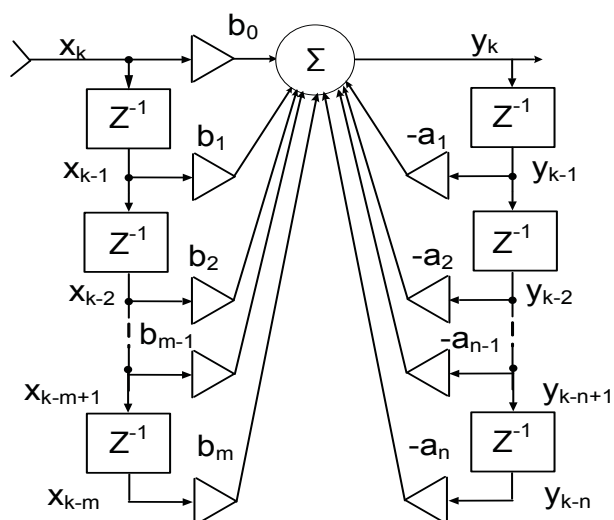


Рис. 5.2

Рекурсивные фильтры имеют бесконечную во времени импульсную характеристику, поэтому их часто называют БИХ (IIR)-фильтрами. Они имеют меньший порядок по сравнению с нерекурсивными фильтрами при одинаковых требованиях к крутизне «ската» АЧХ, но вносят фазовые искажения в сигнал и за счет наличия обратной связи могут быть неустойчивыми.

Основной характеристикой дискретного фильтра является функция передачи (системная функция):

$$H(z) = (b_0 + b_1 * z^{-1} + \dots + b_m * z^{-m}) / (1 + a_1 * z^{-1} + a_2 * z^{-2} + \dots + a_n * z^{-n}).$$

Числитель функции характеризуется вектором **b** коэффициентов, а знаменатель – вектором **a**.

Кроме того, часто используется частотная характеристика фильтра – зависимость комплексного коэффициента передачи фильтра от частоты. Частотная характеристика описывается амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками.

Проектирование (синтез) фильтров осуществляется либо по аналоговому фильтру – прототипу с помощью билинейного преобразования, либо прямым методом, то есть в соответствии с заданной частотной характеристикой. Рекурсивные фильтры обычно проектируются по первому методу, а нерекурсивные – по второму.

Аналоговые фильтры, используемые в качестве прототипов, различаются по типу аппроксимации идеальной (прямоугольной) АЧХ. Наиболее крутой спад АЧХ реализуется эллиптическим фильтром. Однако в этом случае на АЧХ появляются пульсации как в полосе пропускания, так и в полосе заграждения. Наиболее гладкой является АЧХ фильтра Баттерворта, но спад АЧХ у данного фильтра очень пологий.

Кроме указанных аппроксимаций, наиболее часто используются фильтры Чебышева первого и второго рода, которые обеспечивают более крутой спад АЧХ по сравнению с фильтром Баттерворта, но обуславливают пульсации АЧХ либо в полосе пропускания, либо в полосе заграждения.

Основной метод проектирования нерекурсивных фильтров – использование весовых (оконных) функций. Результат проектирования нерекурсивных фильтров зависит от выбора весовой функции. Весовая функция определяет уровень «лепестков» АЧХ в полосе задерживания и ширину переходной зоны АЧХ от полосы пропускания до полосы задерживания.

Следует отметить, что крутизну спада АЧХ любого фильтра можно увеличить, повышая порядок фильтра. Однако при этом увеличивается стоимость реализации фильтра.

Функции, используемые для расчета частотной характеристики фильтра и результатов фильтрации

Для расчета частотной характеристики фильтра используется функция **freqz**. Пример построения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ):

```
b=[1 2 3 4];  
a=[1 0.1];  
N=1024;
```

```

Fs=1e6;
[h,f] = freqz(b,a,N,Fs);
plot(f,abs(h));
[phi,f] = phasez(b,a,N,Fs);
plot(f,phi);
grid on

```

Здесь векторы **b**, **a** – наборы коэффициентов числителя и знаменателя системной функции соответственно; **N** – число точек расчета (по умолчанию – 512); **Fs** – частота дискретизации. Выходные параметры: **h**, **f** – комплексный коэффициент передачи и вектор частот, для которых проведен расчет. Для построения фазочастотной характеристики (ФЧХ) используется функция **phasez**. Пример:

```

[phi,f] = phasez(b,a,N,Fs);
plot(f,phi);
grid on

```

Если использовать функцию **freqz** без указания выходных параметров, то строятся графики АЧХ и ФЧХ (рис. 5.3). Пример:

```

freqz(b,a,N,Fs);

```

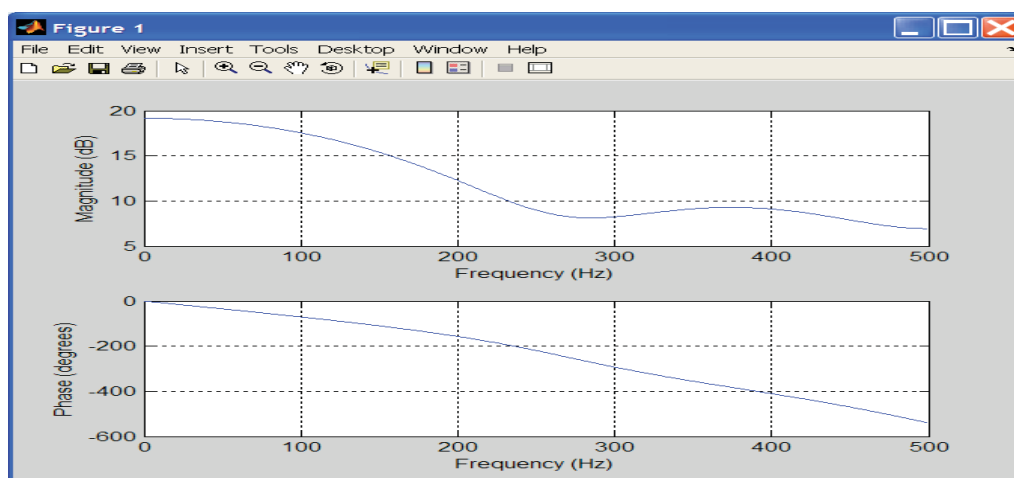


Рис. 5.3

Для расчета результатов фильтрации используется функция **filter(b,a,x)**. Здесь **x** – вектор входного сигнала. Синтаксис вызова функции следующий: **y= filter(b,a,x)**. Здесь **y** – вектор выходного сигнала. Пример:

```

Fs=1000;

```

```

t=0:1/Fs:1;
f1=10;
f2=100;
s1=sin(2*pi*f1*t);
s2=sin(2*pi*f2*t);
s=s1+s2;
plot(t,s);
B=fir1(150,0.02, 'low');
freqz(B,1,[],Fs)
y=filter(B,1,s);
plot(t,y);

```

В данном примере использована функция **fir1(N,Wn,'low')** расчета нерекурсивного фильтра нижних частот. Здесь **N** – порядок фильтра, **Wn** – частота среза (на уровне –6 дБ), нормированная к половине частоты дискретизации (в данном примере $Wn=0,02*0,5*1000=10$ Гц). Если последний параметр функции принимает значения: **'high'**, **'bandpass'**, **'stop'**, то имеют место соответственно фильтр верхних частот, полосовой фильтр, режекторный фильтр. В последних двух случаях параметр **Wn = [W1 W2]**, где **W1, W2** – граничные частоты.

Функция **filter** может также использовать параметры фильтра, если последний задан в виде объекта. Синтаксис вызова функции в этом случае следующий: **y1 = filter(Hd,x)**. Здесь **Hd** – объект дискретного фильтра. Для создания объекта дискретного фильтра служит функция **dfilt**. Пример вызова функции:

```

Hd = dfilt.dffir(B)

```

После точки указывается идентификатор структуры фильтра (в данном примере используется структура прямой формы нерекурсивного фильтра), в скобках указываются параметры структуры (в данном случае – вектор коэффициентов фильтра). Для данных предыдущего примера использование фильтра в форме объекта показано следующим примером:

```

Hd = dfilt.dffir(B);
y1 = filter(Hd,s);
plot(t,y1);

```

Проектирование фильтров

Для синтеза фильтров используется графическая среда “Filter Design&Analysis Tool”, которая вызывается командой **fdatool**. На рис. 5.4 показано окно программы.

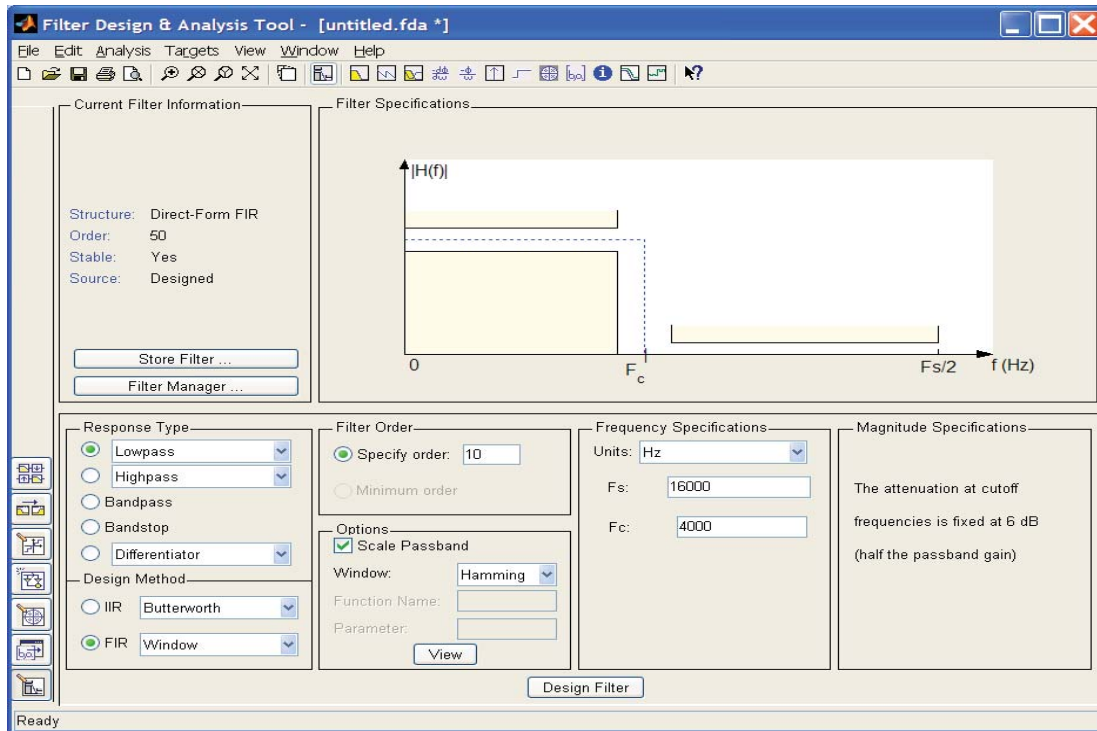


Рис. 5.4

Рассмотрим порядок расчета фильтра на конкретном примере. Пусть необходимо рассчитать нерекурсивный фильтр нижних частот со следующими параметрами: частота среза 4 кГц, частота дискретизации 16 кГц, на частоте 5 кГц необходимо обеспечить подавление не менее 40 дБ.

Открываем вкладку **Filter Design** (самая нижняя кнопка в левом углу окна программы). Выбираем соответствующий тип фильтра, метод синтеза – с помощью весовой (оконной) функции Хэмминга, устанавливаем предварительное значение порядка фильтра равным 10 и заданные значения частот дискретизации и среза. На рис. 5.4 (пункт меню **Analysis|Filter Specifications** или соответствующая кнопка на панели инструментов) видно, как указанные параметры фильтра определяют условия фильтрации.

Запускаем процесс расчета фильтра кнопкой **Filter Design** (в сере-

дине нижней части окна программы). Результаты расчета представлены на рис. 5.5.

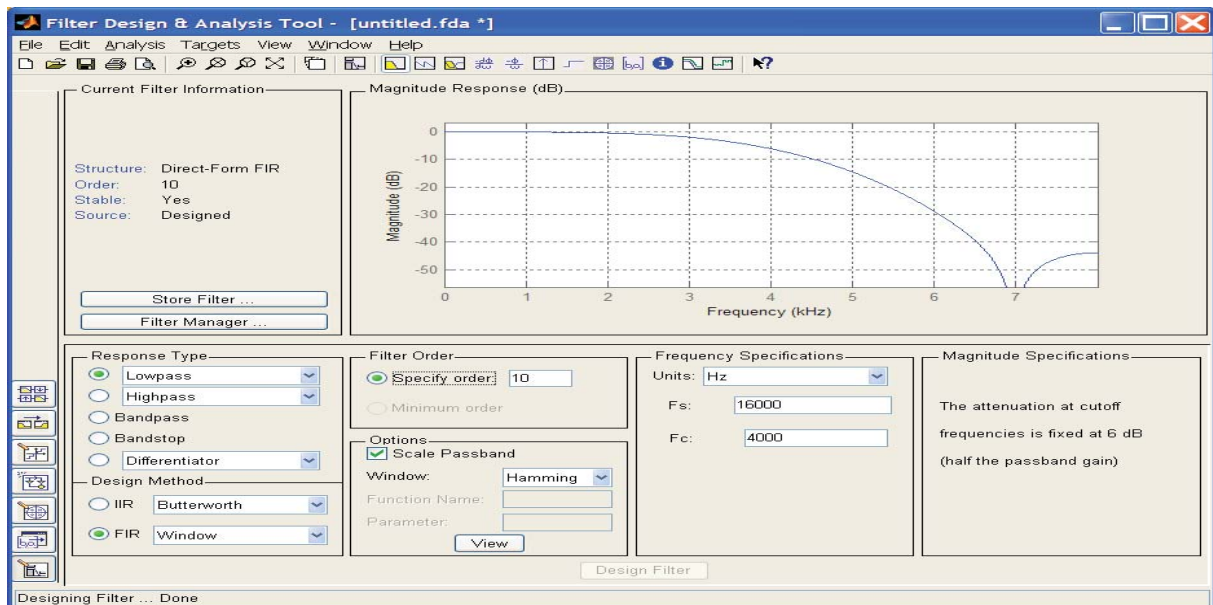


Рис. 5.5

Рис. 5.5 отображает амплитудно-частотную характеристику фильтра. В правой нижней секции окна программы указывается уровень затухания (6 дБ) на частоте среза, в верхней левой секции окна программы – результаты проектирования. Из графика видно, что уровень затухания на частоте 5 кГц составляет примерно 15 дБ, что меньше заданного затухания 40 дБ. Увеличивая порядок фильтра до 24, добиваемся нужного затухания (рис. 5.6).

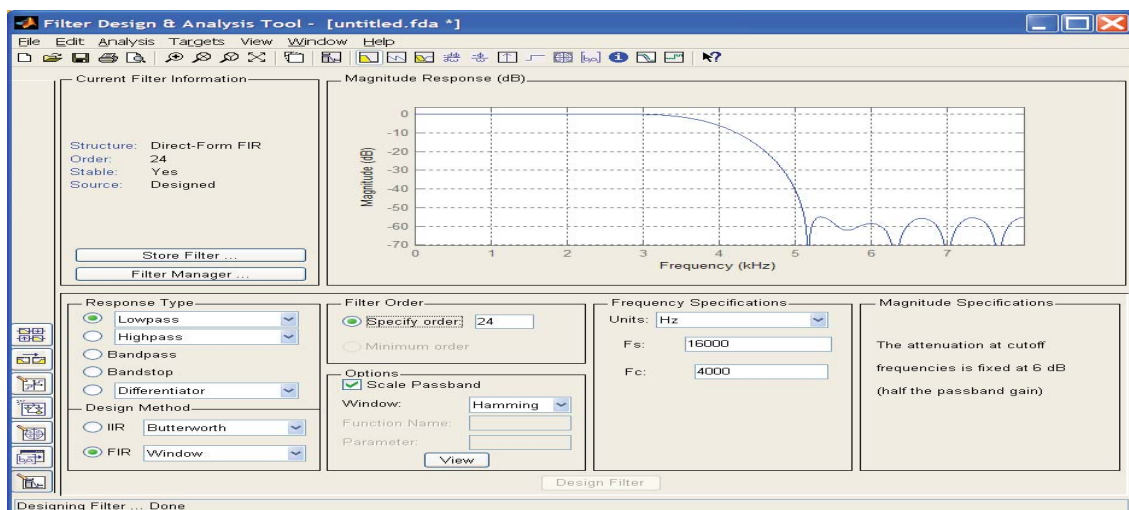


Рис. 5.6

Для сохранения результатов проектирования (в виде коэффициентов нерекурсивного фильтра) экспортируем их в рабочее пространство

MATLAB и сохраняем в переменной **LPFilter** (пункт меню **File|Export**). На рис. 5.7 отражено соответствующее диалоговое окно экспорта.

Используя интерфейс окна, показанного на рисунке, можно сохранить результаты расчета в иной форме: в виде объекта, в текстовом файле и т.д. Для проверки правильности экспорта строим график частотной характеристики фильтра и сравниваем его с аналогичным изображением в данной графической среде.



Рис. 5.7

freqz(LPFilter,1,[],16000)

Задание 2

1. Сформировать массив звуковых данных, пораженных гармонической помехой, используя заданный звуковой файл.
2. Провести спектральный анализ полученного массива заданным методом. Сформулировать необходимые требования к фильтру, устраняющему помеху.
3. Спроектировать соответствующий нерекурсивный фильтр, используя метод весовых функций.
4. Отфильтровать пораженный помехой звуковой сигнал и оценить результаты фильтрации.
5. Построить таблицу изученных команд и функций с пояснениями по их использованию.

Содержание отчета

1. Распечатка истории команд.
2. Графики по итогам выполнения задания.
3. Таблица изученных команд и функций с пояснениями по их использованию.

Контрольные вопросы

1. Дать сравнительную характеристику рекурсивных и нерекурсивных фильтров.
2. Ответить на вопросы преподавателя по использованию изученных команд и функций.