

Автор методических рекомендаций д.т.н., проф. Калиниченко А.Н.

## Работа № 2. ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЭКГ

**Цели работы:** ознакомление с цифровой фильтрацией сигналов и её программной реализацией.

### Основные положения

*Цифровой фильтр* — это математический алгоритм обработки дискретных сигналов, который описывается *разностным уравнением*:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} c_i x(n-i) + \sum_{j=1}^N d_j y(n-j), \quad (1)$$

где  $x(n)$  и  $y(n)$  — соответственно отсчёты входного и выходного сигналов,  $c_i$  и  $d_j$  — константы, называемые *коэффициентами* фильтра, а  $M$  и  $N$  — соответствуют количеству коэффициентов для первой и второй сумм.

ЦФ является *нерекурсивным*, если все коэффициенты  $d_j$  равны нулю, или *рекурсивным* в противном случае. В данной работе будут рассматриваться только нерекурсивные фильтры.

В таблице вариантов указаны два набора коэффициентов  $c_i$ , определяющих фильтры двух различных типов (называемых далее *a* и *b*). Значения коэффициентов первого набора симметричны относительно центрального коэффициента, а второго — антисимметричны (т.е. имеют симметрию со знаком минус). Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), показывающие зависимость коэффициента передачи фильтров от частоты, для таких двух типов фильтров определяются соответственно выражениями:

$$H(f) = c_{\frac{M-1}{2}} + 2 \sum_{k=1}^{\frac{M-1}{2}} c_{\left(\frac{M-1}{2}-k\right)} \cos(2\pi f k T); \quad (2)$$

$$H(f) = c_{(M-1)/2} + 2 \sum_{k=1}^{(M-1)/2} c_{\left(\frac{M-1}{2}-k\right)} \sin(2\pi f k T), \quad (3)$$

где  $f$  — частота в Гц, а  $T=1/f_d$  — интервал дискретизации при частоте дискретизации равной  $f_d$ .

*Импульсной* характеристикой фильтра называется его отклик на единичный импульс, а *переходной* характеристикой — отклик на единичное ступенчатое воздействие.

## Задание на выполнение работы

- Для двух заданных фильтров ( $a$  и  $b$ ) рассчитать и построить графики их основных характеристик (набор коэффициентов, АЧХ, импульсная и амплитудная характеристики).
- Прочитать из файла фрагмент ЭКГ, выполнить его фильтрацию обоими фильтрами и построить графики сигнала до и после фильтрации.

## Порядок выполнения работы

**Расчёт характеристик фильтров.** Наборы коэффициентов для заданных в вашем варианте фильтров указаны в табл. 2 Приложения.

1. Запустите систему MATLAB.
2. В главном окне установите путь к вашей рабочей папке.
3. Выведите вручную выражения для разностных уравнений и АЧХ фильтров  $a$  и  $b$ , пользуясь формулами 1, 2 и 3.

В качестве примера рассмотрим фильтр типа  $a$ , заданный следующим набором коэффициентов:  $c_0=1/10$ ,  $c_1=2/10$ ,  $c_2=4/10$ ,  $c_3=2/10$ ,  $c_4=1/10$ .

Из выражений 1 и 2 получим:

$$y(n) = 0,1x(n) + 0,2x(n-1) + 0,4x(n-2) + 0,2x(n-3) + 0,1x(n-4)$$

$$\text{и } H(f) = 0,4 + 0,4\cos(2\pi fT) + 0,2\cos(4\pi fT).$$

4. Создайте новый М-файл и сохраните его под каким-нибудь именем.
5. Начните вашу программу с создания векторов коэффициентов заданных фильтров. Например, для предложенного выше фильтра типа  $a$ :

```
Ca=[1/10 2/10 4/10 2/10 1/10]; % Вектор коэффициентов фильтра  
Ma=length(Ca); % Число коэффициентов
```

6. Создайте графическое окно, содержащее восемь полей вывода графиков, расположенных в две колонки по четыре ряда в каждой (см. Работу 1).

В первой колонке должны будут выводиться графики для фильтра  $a$ , а во второй – для фильтра  $b$ . Расположение графиков по рядам должно быть следующим:

- коэффициенты фильтров;
  - АЧХ;
  - импульсная характеристика;
  - переходная характеристика.
7. Постройте в полях первого ряда графики коэффициентов фильтров  $a$  и  $b$  по следующему образцу:

```
subplot(4,2,1) % Активизация поля с номером "1"  
stem(Ca) % График коэффициентов в виде вертикальных линий
```

**title('Filter a') % Заголовок над графиком**

Для построения АЧХ необходимо задать значение частоты дискретизации  $Fd$ . В данном случае  $Fd=250$  Гц. Тогда рассчитать и построить график АЧХ можно следующим образом:

```
Fd=250; % Частота дискретизации (Гц)  
T=1/Fd; % Интервал дискретизации (с)  
f=0:Fd/2; % Диапазон изменения частоты для АЧХ  
% (от 1 Гц до Fd/2 Гц с шагом 1 Гц)  
Ha=abs(2/5+2/5*cos(2*pi*f*T)+1/5*cos(4*pi*f*T)); % Расчёт АЧХ  
subplot(4,2,3) % Активизация поля с номером "3"  
plot(f,Ha) % График АЧХ
```

8. Получите и постройте импульсные характеристики для фильтров  $a$  и  $b$ .

Для получения импульсной характеристики необходимо сформировать входную последовательность, все значения которой, кроме одного (равного единице), равны нулю и подать её на вход разностного уравнения цифрового фильтра. Для рассматриваемого фильтра эти действия могут быть выполнены следующим образом:

```
N=20; % Число значений во входной последовательности  
for n=1:N; % Программный цикл, в котором создаётся входной  
    X(n)=0; % массив, содержащий "N" нулевых значений  
end  
    X(10)=1; % Присвоение 10-му элементу значения "1"  
Y=zeros(1,N); % Создание и заполнение нулями вых. массива  
for n=Ma:N % Филтрация входного массива с записью  
    % получаемых значений в выходной массив  
    Y(n)=0.1*X(n)+0.2*X(n-1)+0.4*X(n-2)+0.2*X(n-3)+0.1*X(n-4);  
end  
subplot(4,2,5) % Активизация поля с номером "5"  
stem(X, '.') % График входной последовательности  
hold on  
stem(Y, 'r') % График выходной последовательности
```

**Замечание:** Обратите внимание, что выходные значения могут быть рассчитаны только для элементов выходного массива, начиная с  $Y(Ma)$ .

9. По аналогии с показанным выше образцом рассчитайте и постройте переходные характеристики для фильтров  $a$  и  $b$ . Входная последовательность должна содержать нули в начальной части и единицы, начиная с некоторого элемента и до конца.

10. Разверните графическое окно на весь экран, создайте заголовок окна и сохраните окно. Сохраните текст программы.

**Фильтрация фрагмента реальной записи ЭКГ.** Имя файла, содержащего фрагмент ЭКГ для вашего варианта, указано в табл. 2 Приложения.

11. Перепишите в вашу рабочую папку файл с записью ЭКГ.
12. Создайте новый М-файл и сохраните его под каким-нибудь именем.
13. Используя в качестве основы первую программу, подготовьте программу, которая выполняет следующие действия:
  - читает фрагмент ЭКГ из файла с заданным для вашего варианта именем (см. Работу 1);
  - создает графическое окно с тремя расположенными друг под другом полями для вывода графиков;
  - выполняет фильтрацию фрагмента ЭКГ с помощью обоих фильтров;
  - выводит друг под другом графики исходного сигнала и сигнала после обработки фильтрами  $a$  и  $b$ .
14. Разверните графическое окно на весь экран. Если на полученных графиках масштабы по оси  $y$  получились разными, приведите их к одинаковым значениям (пункт меню Edit→Axes Properties).
15. Разверните графическое окно на весь экран, создайте заголовок окна и сохраните окно. Сохраните текст программы.

### **Содержание отчёта**

1. Название, цель и задачи работы.
2. Тексты программ и изображения графических окон, которые требовалось сохранять в ходе выполнения работы.
3. Объяснение полученных результатов и выводы.