**Цифровая обработка сигналов**

Лабораторная работа № 4

Моделирование цифровой фильтрации с помощью **GUI SPTool**

1. Краткие сведения из теории

Решение типичной задачи ЦОС – фильтрации сигнала с помощью **SPTool** – предполагает возможность выполнения следующих действий:

синтеза цифрового фильтра (ЦФ),

анализа характеристик синтезированного ЦФ,

создания входного сигнала,

импортирования входного сигнала в **SPTool**,

визуализации входного и выходного сигнала,

моделирования процесса фильтрации,

расчёта и визуализации спектров входного и выходного сигнала,

сохранения полученных данных для следующих сеансов работы,

экспорта сохранённых данных в **MATLAB** (если их предполагается использоватьв **MATLAB**е**)**.

Рассмотрим реализацию вышеописанных действий в **MATLAB** (кроме последнего пункта, он – на самостоятельную проработку).

* 1. ***Синтез ЦФ.***

1.1.1. Обращение к **GUI SPTool** происходит после записи имени

>> sptool

в командном окне **MATLAB.** После обращенияоткрывается **Первое окно SPTool:startup. spt** с тремя полями: **Signals, Filters, Spectra**. Синтез ЦФ выполняется в поле **Filters** после нажатия кнопки **New Design**.

Поле **Filters** содержит 4 кнопки:

**View** – просмотр характеристик фильтра,

**New Design** – синтез нового фильтра,

**Edit Design** – изменение требований к фильтру и его синтез без изменения имени фильтра,

**Apply** – моделирование процедуры фильтрации сигнала, имя которого выделено в поле **Signals**, фильтром, имя которого выделено в поле **Filters**.

1.1.2. После нажатия кнопки **New Design** открывается **Второе окно Filter Designer**, в котором могут выполняться следующие действия:

а) ввод исходных данных для синтезируемого ЦФ (на левом поле **Specifications**), в т.ч.:

аа) частоты дискретизации в Гц (**Sampling Frequency**),

аб) типа избирательного фильтра (**Type**),

ав) метода аппроксимации для выбранного фильтра (**Algorithm**),

аг) требований к характеристике ослабления –

в полосе пропускания (**Passband**): граничная частота в Гц, максимально допустимое ослабление в дБ,

в полосе задерживания (**Stopband**): граничная частота в Гц, минимально допустимое ослабление в дБ,

б) синтез ЦФ по введённым требованиям – после нажатия кнопки **Apply** (внизу, на левом поле **Specifications**),

в) вывод данных о синтезированном фильтре, в т.ч.:

ва) график характеристики ослабления (в центре – **Frequency Response**),

вб) порядок ЦФ (**Order** на правом поле **Measurements**),

вв) действительное отклонение (на правом поле **Measurements)** в полосах пропускания (**Passband**) и задерживания (**Stopband**),

вг) веса (**Weight** на правом поле **Measurements** в полосах пропускания и задерживания,

вд) имя синтезированного фильтра (на левом поле **Specifications** во внутреннем окне **Filter**), /имена задаются автоматически – **filt1, filt2** и т.д. последовательно, например, для имени **filt1** считаем, что синтезируется 1-й фильтр/.

1.1.3. После синтеза фильтра окно **Filter Designer** закрывается и пользователь вновь попадает в окно **SPTool:startup.spt**. Информация о синтезированном фильтре

***1.2. Анализ характеристик синтезированного фильтра.***

1.2.1. Для анализа характеристик синтезированного фильтра следует:

– в поле **Filters** окна **SPTool:startup.spt** выделить имя фильтра,

– нажать кнопку **View**, в результате чего открывается **Третье окно** **Filter Viewer**, содержащее:

– имя фильтра (сверху слева – **Filter**),

– частоту дискретизации (сверху слева – FS),

– графики (в центре окна), отмеченные галочкой на левом поле **Plots**:

– **Magnitude** – АЧХ,

– **Phase** – ФЧХ,

– **Group Delay** – ГВП,

– **Zeros and Poles** – карта нулей и полюсов,

– **Impulse Response** – импульсная характеристика,

– **Step Response** – переходная характеристика,

1.2.2. В окне **Filter Viewer** имеется возможность:

– изменить единицы измерения или масштаб графиков по оси У – на левом поле **Plots**:

– для АЧХ – **Magnitude**,

– для ФЧХ – **Phase**,

– изменить масштаб по оси абсцисс (одновременно для всех графиков) – на левом поле **Frequency** **Axis (Scale),**

– изменить диапазон частот, на котором строятся графики – на левом поле **Frequency** **Axis (Range).**

1.2.3. В окне **Filter Viewer** имеется возможность работы с инструментами:

– в окошке **Selection** кнопка **Color** – изменение цвета графиков (всех одновременно),

– в окошке **Rulers**, которое позволяет выбрать один из 6 графиков (два щелчка левой кнопки мыши на поле интересующего графика), для которого можно

– кнопкой **Vertical** – перемещать сплошную и пунктирную прямые вертикальные линии; при этом автоматически фиксируются значения соответствующих аргументов **х1, х2** и разности **dx** между ними,

– кнопкой **Horizontal** – перемещать сплошную и пунктирную прямые горизонтальные линии; при этом автоматически фиксируются значения соответствующих функций **у1, у2** и разности **dу** между ними,

– кнопкой **Track** – перемещать сплошную и пунктирную вертикальные линии для отмеченных на графике точек; при этом автоматически фиксируются значения соответствующих аргументов **х1, х2,** функций **у1, у2** и разностей **dу** между ними,

– кнопкой **Slope** (по сравнению с **Track**) соединить появляющейся дополнительной линией отмеченные на графике точки, при этом автоматически фиксируется значение тангенса угла наклона этой линии к оси абсцисс,

– кнопкой **Peaks** – отмечать максимумы,

– кнопкой **Valley** – отмечать минимумы.

1.2.4. В окне **Filter Viewer** имеются средства управления масштабом (в верхней части окна).

***1.3. Создание входного сигнала.***

Источником сигнала для **MATLAB** может быть:

1.3.1. Рабочее пространство **Workspace,** если сигнал создаётся непосредственно в командном окне, например, две гармоники дискретного сигнала с частотами 500 Гц и 750 Гц в смеси с шумом:

>>n=1:1000;

>>x=0.7\*sin(0.5\*pi.\*n)+0.5\*sin(0.75\*pi.\*n);

>>y=rand(1,length(x));

>>sum=y+x;

1.3.2. Диск **Disk**, если сигнал создаётся как **m** – файл.

***1.4. Импортирование входного сигнала в SPTool.***

Для импортирования входного сигнала необходимо в первом окне **SPTool:startup.spt** войти в меню (сверху) **File – Import**. После этого открывается **Четвёртое окно Import to SPTool**, в котором следует поле **source** отметить точкой, откуда импортируется сигнал – **From Workspace** или **From Disk**. При этом:

1.4.1. Если сигнал импортируется **From Workspace**, необходимо:

– в поле **Workspace** **Content** выделить имя сигнала (в примере п. 1.3.1 оно задано как **sum**),

– выделить имя импортированного сигнала и нажать кнопку «→», это указание рассматривать сигнал **sum** как данные,

– в поле окна справа ввести:

**Import As – Signal;**

**Sampling Frequency** – частоту дискретизации по табл. из п. 2.1, например, 2000 Гц;

**Name** – имя сигнала в **SPTool**, например, **sig3**;

– нажать кнопку **ОК.**

1.4.2. Если сигнал импортируется **From Disk**, необходимо:

– в поле **Source** нажать активированную кнопку **Browse**, в результате чего открывается **Пятое окно** **Select File to Open,** в котором требуется

– отметить курсором имя **m** – файла, например, **sig1**;

– нажать кнопку **Открыть,** после чего автоматически открывается окно **Import to SPTool,** в котором справа следует

– в поле **File** **Contents** выделить имя сигнала (имя переменной, соответствующей сигналу в **m** – файле, например – **s),** и нажать кнопку «→», это указание рассматривать сигнал **sum** как данные,

– – в поле окна справа ввести:

**Import As – Signal;**

**Sampling Frequency** – частоту дискретизации по табл. из п. 2.1, например, 2000 Гц;

**Name** – имя сигнала в **SPTool**, например, **sig3**;

– нажать кнопку **ОК.**

***1.5. Визуализация входного и выходного сигналов.***

1.5.1. Для просмотра сигнала необходимо:

– в поле **Signals** окна **SPTool:startup.spt** выделить имя сигнала, например, **sig3**;

– нажать кнопку **View**, в результате чего открывается **Шестое окно** **Signal Viewer**, содержащее:

– имя сигнала **sig3,**

– частоту дискретизации 2000 Гц,

– график дискретного сигнала, представленный непрерывной кривой на интервале времени *[0, NT] = [0, N/FS],* где *N* число точек сигнала, например, при *FS* = 2000 Гц интервал равен [0; 0,5]; дискретное время может быть определено как *nT*, в примере *n*/2000, где *n* = 1, 2, … *N.*

1.5.2. В окне **Signal Viewer** имеется возможность работы с инструментами **Selection** и **Rulers** (правое поле окна), а также средства управления масштабом (сверху), пользование ими – см. п. 1.2.3.

***1.6. Моделирование процесса фильтрации.***

После синтеза фильтра и импортирования входного сигнала можно моделировать процесс фильтрации. Для этого необходимо:

1.6.1. В поле **Signals** окна **SPTool:startup.spt** выделить имя сигнала, например, **sig3.**

1.6.2. В поле **Filters** окна **SPTool:startup.spt** выделить имя сигнала, например, **filt1.**

1.6.3. В поле **Filters** нажать кнопку **Apply**, в результате чего открывается **Седьмое окно Apply** **Filters** с именами входного сигнала (**sig3**), фильтра (**filt1**), выходного сигнала (например, **sig2**). Если имя выходного сигнала устраивает (иначе его можно изменить), нажать кнопку **ОК**. После этого происходит автоматический возврат в окно **SPTool:startup.spt.**

1.6.4. Можно в поле **Signals** окна **SPTool:startup.spt** выделить одновременно входной и выходной сигналы (удерживая **«CTRL»**), в примере **sig3** и **sig2**, и нажав кнопку **View**, в окне **Signal** **Browser** по очереди просмотреть сигналы, указывая в **Selection** их имена.

1.7. ***Расчёт и визуализация спектров входного и выходного сигналов.***

Для расчёта и просмотра спектра сигнала в окне **SPTool:startup.spt** необходимо:

1.7.1. В поле **Signals** выделить имя сигнала, например, входного – **sig3.**

1.7.2. В поле **Spectra** нажать кнопку **Create** (создать), после чего появляется **Восьмое окно Spectrum Viewer** с именем спектра сигнала (**spect1**). Имена спектров задаются автоматически (подобно именам фильтров и сигналов) – **spect1, spect, spect13…**

1.7.3. В окне **Spectrum Viewer** следует:

– указать метод расчёта спектра, например, **FFT,**

– задать количество точек, по которым рассчитывается спектр (для **FFT** – равное ближайшему 2N),

– нажать кнопку **Apply.**

В окне **Spectrum Viewer** появляется график амплитудного спектра (при расчёте по методу **FFT** – модуль ДПФ).

1.7.4. Аналогично рассчитывается и просматривается спектр выходного сигнала. В примере обе гармоники оказались подавленными, так как они находятся в полосе задерживания синтезированного фильтра **filt1.**

1.7.5. В окне **Spectrum Viewer** имеется возможность работы с инструментами **Selection** и **Rulers** (правое поле окна), а также средства управления масштабом (сверху), пользование ими – см. п. 1.2.3.

1.8. ***Выход из программы******SPTool*.**

При выходе из программы **SPTool** автоматически запрашивается, надо ли сохранять данные (фильтры, сигналы, спектры. Если надо, данные сохраняются в файлах со своими именами и расширением **.spt** на диске в папке **work\startup.spt.** Для повторного использования сохранённых данных следует осуществить их экспорт в **MATLAB**.

2. Практическая часть (порядок выполнения лабораторной работы)

С помощью алгоритма, изложенного в п. 1.1:

2.1. Синтезировать фильтр.

2.2. Вывести данные о нём и проанализировать данные.

2.3. Создать входной сигнал.

2.4. Импортировать входной сигнал в **SPTool.**

2.5. Просмотреть входной и выходной сигналы.

2.6. Промоделировать процесс фильтрации.

2.7. Рассчитать и просмотреть спектры входного и выходного сигналов.

2.8. Сохранить данные при выходе из **SPTool.**

Варианты исходных данных к заданию приведены в таблице ниже.

Таблица 4.1

Варианты исходных данных

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные | Варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Частота дис-  кретизации,  FS Гц | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 |
| Тип фильтра **Type** | **lowpass** | | | | | | | | | |
| Вид фильтра и метод аппроксимации | Оптимальный КИХ-фильтр Чебышева с Линейной ФЧХ – **Equiripple FIR** | | | | | | | | | |
| Полоса пропускания, граничная частота, Гц | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 |
| Полоса пропускания,  максимально допустимое ослабление в дБ | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 |
| Полоса задерживания, граничная частота, Гц | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 |
| Полоса задерживания, минимально допустимое ослабление в дБ | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |

3. Содержание отчёта.

3.1. Название курса, название и номер лабораторной работы, ф. и. о. и номер группы студента, дату выполнения работы.

3.2. Запись своих индивидуальных заданий и диалога с ЭВМ, графики по пп. 2.1-2.2.

3.3. Вывод по работе в целом

4. Задания для самоподготовки и самопроверки

4.1. Сформулируйте и поясните (без доказательства) теорему о КИХ-фильтрах с линейной ФЧХ.

4.2. Почему идеальная импульсная характеристика – это физически нереализуемый БИХ-фильтр?

4.3. Что такое явление Гиббса?

4.4. Запишите функцию, называемую ядром Дирихле, и изобразите её график.

4.5. Как понимать синтез фильтров методом окон**?**

4.6. Какие окна чаще всего используются для синтеза цифровых фильтров?

4.7. Сформулируйте постановку задачи оптимального (по Чебышеву) синтеза КИХ-фильтра.

4.8. Что Вы знаете о П.Л.Чебышеве?

4.9. Запишите полином Чебышева.

4.10.Сформулируйте теорему Чебышева.

4.11.Расскажите о синтезе ЦФ по введённым требованиям.

4.12. Что Вы знаете о возможности работы с инструментами в окне **Filter Viewer**? Где искать это окно?

4.13. Что Вы знаете о создании входного сигнала для ЦФ?

4.14. Что Вы знаете об импортировании входного сигнала для ЦФ в **SPTool**?

4.15. Что Вы знаете о визуализации входного и выходного сигнала для ЦФ в **SPTool**?

4.16. Опишите порядок моделирования процесса фильтрации**.**

4.17. Что Вы знаете о расчёте и визуализации спектров входного и выходного сигналов ЦФ?