Домашнее задание по курсу “**Цифровая обработка сигналов**”.

**Цель работы**: освоение методов синтеза передаточной функции *H*(*Z*) цифровых БИХ-фильтров с классическими характеристиками.

**Задание**:

1. По заданным требованиям к характеристике затухания (см. приложение) цифрового полосового фильтра **Чебышева 1-го рода** рассчитать необходимый порядок фильтра.
2. Получить передаточную функцию *H*(*Z*) цифрового полосового фильтра с помощью билинейного Z-преобразования 3-я способами:
* прямая реализация (функция cheby1),
* биквадная реализация (произведение биквадов и факторизация самножителей 4-го порядка на самножители 2-го порядка),
* параллельная реализация (сумма биквадов),
1. Построить графики характеристики затухания и убедиться что полученный фильтр удовлетворяет заданным требованиям к затуханию (демонстрация неравномерности в полосе пропускания и затухания в полосе задерживания за частотой *f*-*S* и *fS*).

**Содержание отчета**:

1. Титульный лист.
2. Порядок расчета *H*(*Z*) для каждого метода (используемые формулы и пояснения).
3. Графики затухания полученных фильтров c заданными ограничениями из таблицы (см. приложение).
4. Программный код. (MatLab)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| *f*-1, Гц | *f*1, Гц | *f*-*S*, Гц | *fS*, Гц | *FS*, Гц | *a*max, дБ | *a*min, дБ |  |
| 1125 | 1375 | 750 | 1750 | 5000 | 0.1 | 80 |  |

1. Выводы по полученным результатом (достоинства и недостатки каждого метода).

**Пример Решения**

Задание 1.

По заданным требованиям и характеристикам затухания цифрового полосового фильтра Чебышева 1-го рода рассчитать требуемый порядок фильтра.

Требования для расчета полосового фильтра:

Тип – Чебышева 1-го рода, полосовой;

границы полосы пропускания: - f-1=5400 Гц; f2=6600 Гц;

границы полосы подавления: - f-S=3600 Гц; fS=8400 Гц;

допустимые пульсации в области пропускания amax – 0.02 dB;

уровень подавления amin– 70 dB.

Решение.

По заданным требованиям определяем порядок аналогового фильтра с заданными требованиями. Для этого используем функции cheb1ord

Wp = [ 5400 6600 ];

Ws = [ 3600 8400 ];

Rp = 0.02;

Rs = 70;

[n,Wn] = cheb1ord( Wp, Ws, Rp, Rs, 's' )

[ n, Wn ] = cheb1ord( Wp, Ws, Rp, Rs, 's' )

Ниже приведена распечатка результата вызова функции.

n =

 6

Wn =

 5400 6600

>>

Требуемый порядок фильтра равен 6.

Задание 2.

Получить передаточную функцию *H(Z)* цифрового полосового фильтра с помощью билинейного Z-преобразования 3-я способами:

Прямая реализация (cheby1),

Для построения дискретного фильтра по его налоговому прототипу можно использовать билинейное Z-преобразование

$$p=\frac{2}{T}\frac{z-1}{z+1}.$$

Известно, что при этом преобразовании возникают искажения на частотной оси АФХ и ФЧХ. Для коррекции этих искажений необходимо выполнить коррекцию частот среза аналогового прототипа.

Для того, чтобы частота среза дискретного фильтра была реализована на требуемой частоте $ω\_{0д}, $ частота среза фильтра аналогового прототипа должна быть пересчитана по формуле

$$ω\_{0а}=\frac{2}{T}tg\left(\frac{ω\_{0а}T}{2}\right).$$

Для заданной частоты дискретизации 24000 Гц $T=41,666 $мкс.

Пересчитываем заданные точки частот срезов:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| частоты | f-S Гц | f-1 Гц | f1 Гц | fS Гц |
| без коррекции | 3600 | 5400 | 6600 | 8400 |
| с коррекцией | 3606,76 | 5422,90 | 6641,91 | 8486,81 |

Приведем графики АЧХ аналогового прототипа (пунктир) и скорректированного аналогового прототипа. Синтезируем требуемый аналоговый прототип с откорректированными частотами.



По полученному аналоговому прототипу синтезируем дискретный фильтр посредством функции bilinear . В результате получаем дискретный фильтр с передаточной функцией *H(Z)*

bz =

 1.0e-006 \*

 Columns 1 through 8

 0.0269 -0.0000 -0.1616 -0.0000 0.4040 -0.0000 -0.5387 -0.0000

 Columns 9 through 13

 0.4040 -0.0000 -0.1616 -0.0000 0.0269

>> az

az =

 Columns 1 through 8

 1.0000 -2.8007 9.1019 -15.6748 27.7047 -32.7759 38.7468 -32.1691

 Columns 9 through 13

 26.6885 -14.8198 8.4461 -2.5505 0.8938

$$H\left(z\right)=\frac{b(z)}{a(z)}$$

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Значения коэффициентов | Bz | az |
| 0 | 0.0269 | 1.0000 |
| 1 | -0.0000 | -2.8007 |
| 2 | -0.1616 | 9.1019 |
| 3 | -0.0000 | -15.6748 |
| 4 | 0.4040 | 27.7047 |
| 5 | -0.0000 | -32.7759 |
| 6 | -0.5387 | 38.7468 |
| 7 | -0.0000 | -32.1691 |
| 8 | 0.4040 | 26.6885 |
| 9 | -0.0000 | -14.8198 |
| 10 | -0.1616 | 8.4461 |
| 11 | -0.0000 | -2.5505 |
| 12 | 0.0269 | 0.8938 |

График АЧХ построенного дискретного фильтра приведен ниже. Масштаб по частотной оси расширен до значения частоты дискретизации для того, чтобы наглядно увидеть симметрию построенной АЧХ фильтра относительно частоты Найквиста, которая равна

$$F\_{N}=12000 Гц.$$



3. Построить графики характеристики затухания и убедиться, что полученный фильтр удовлетворяет заданным требованиям к затуханию (демонстрация неравномерности в полосе пропускания и затухание в полосе подавления за частотой f-S и частотой fS ).

Общий вид АЧХ дает наглядное представление о уровне пульсаций в полосе пропускания.



Отсчеты по оси частот приведены в килогерцах.

Чтобы получить представление о соответствии параметров фильтра в полосе подавления заданным требованиям, приводим два детальных графика данной АЧХ в области подавления при масштабе по оси Y, позволяющем проанализировать выполнение заданных требований.

Первый приведенный график показывает ход графика АЧХ в точке входа в заданную полосу подавления – граничная частота 3600 Гц.

На втором графике показан фрагмент графика АЧХ вблизи второй граничной точки, задающей полосу подавления. Масштаб по оси Y выбран таким образом, чтобы ход графика мог быть соотнесен с параметром amin , задающим коэффициент затухания в полосе подавления на уровне -70dB.



Отсчеты по оси частот приведены в килогерцах.



Пример Кода Программы

clc;

clear;

wd= 0:1e-6:1;

wd1=0.5;

N=20;

n=-N:N;

win=window(@rectwin, 2\*N+1);

bn=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn(isnan(bn))= wd1;

bn = bn.\*win.';

HFIR=freqz(bn, 1, pi\*wd);

aHFIR=abs(HFIR);

winF=freqz(win, 1, pi\*wd);

figure(1),

subplot(2,1,1), plot(wd, -20\*log10(aHFIR)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Rectangular window');

subplot(2,1,2), plot(wd, 20\*log10(abs(winF/max(winF)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Rectangular window');

win1=window( @triang, 2\*N+1);

bn1=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn1(isnan(bn1))= wd1;

bn1 = bn1.\*win1.';

HFIR1=freqz(bn1, 1, pi\*wd);

aHFIR1=abs(HFIR1);

winF1=freqz(win1, 1, pi\*wd);

figure(2),

subplot(211),

plot(wd, -20\*log10(aHFIR1)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Triangle window');

subplot(212),

plot(wd, 20\*log10(abs(winF1/max(winF1)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Triangle window');

win2=window(@blackman, 2\*N+1);

bn2=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn2(isnan(bn2))= wd1;

bn2 = bn2.\*win2.';

HFIR2=freqz(bn2, 1, pi\*wd);

aHFIR2=abs(HFIR2);

winF2=freqz(win2, 1, pi\*wd);

figure(3),

subplot(211),

plot(wd, -20\*log10(aHFIR2)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Blackman window');

subplot(212),

plot(wd, 20\*log10(abs(winF2/max(winF2)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Blackman window');

win3=window( @hann, 2\*N+1);

bn3=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn3(isnan(bn3))= wd1;

bn3 = bn3.\*win3.';

HFIR3=freqz(bn3, 1, pi\*wd);

aHFIR3=abs(HFIR3);

winF3=freqz(win3, 1, pi\*wd);

figure(4),

subplot(211),

plot(wd, -20\*log10(aHFIR3)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Hann window');

subplot(212),

plot(wd, 20\*log10(abs(winF3/max(winF3)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Hann window');

win4=window( @hamming , 2\*N+1);

bn4=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn4(isnan(bn4))= wd1;

bn4 = bn4.\*win4.';

HFIR4=freqz(bn4, 1, pi\*wd);

aHFIR4=abs(HFIR4);

winF4=freqz(win4, 1, pi\*wd);

figure(5),

subplot(211),

plot(wd, -20\*log10(aHFIR4)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Hamming window');

subplot(212),

plot(wd, 20\*log10(abs(winF4/max(winF4)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Hamming window');

win5=window( @nuttallwin , 2\*N+1);

bn5=sin(pi\*wd1\*n)./(pi\*n);

bn5(isnan(bn5))= wd1;

bn5 = bn5.\*win5.';

HFIR5=freqz(bn5, 1, pi\*wd);

aHFIR5=abs(HFIR5);

winF5=freqz(win5, 1, pi\*wd);

figure(6),

subplot(211),

plot(wd, -20\*log10(aHFIR5)), grid

xlabel('Omega');

ylabel('A(Omega)');

title('A(Omega) of filter with Nuttal window');

subplot(212),

plot(wd, 20\*log10(abs(winF5/max(winF5)))), grid

ylim([-200 0])

ylabel('H(j\*Omega)');

xlabel('Omega');

title('A(Omega) with Nuttal window');