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

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 частота среза фильтра аналогового прототипа должна быть пересчитана по формуле

Для заданной частоты дискретизации 24000 Гц 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.

прототипы.emf

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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

АЧХ_цифра_1.emf

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.

общий_вид_АЧХ.emf

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.

left_min.emf

Отсчеты по оси частот приведены в килогерцах.

right_min.emf

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');