МО УКРАИНЫ

Севастопольский государственный

технический университет

 *Кафедра РЭ*

#

# КУРСОВАЯ РАБОТА

## по дисциплине

## «Основы автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры»

Тема работы: Расчет частотных характеристик активного

фильтра второго порядка на операционном усилителе.

Номер зачётной книжки: 971959

## Выполнил: ст. гр. Р-32д

 Бут Р.

 Проверил:

 Иськив В.

 СЕВАСТОПОЛЬ 2000

Задание: рассчитать АЧХ и ФЧХ заданного фильтра по уравнениям математической модели и сравнить данные расчетов с результатами применения стандартного пакета автоматизированного проектирования.

Исходные данные:

 f0=11.5 кГц.

 f1=6.2 кГц.

 f2=9 кГц.

 f3=9.2 кГц.

 f4=10.5 кГц.



#### Содержание

Стр.

1. Выбор схемной реализации фильтра, разработка его эквивалентной схемы. ………………………………4

2. Формирование уравнений математической модели фильтра. ………………………………………………..5

1. Разработка блок - схемы алгоритма и программы формирования матрицы главных сечений (МГС). …...9
2. Расчет коэффициентов уравнения выхода. ………………………………………………………………….11
3. Формирование системы линейных уравнений для расчета частотных характеристик, разработка алгоритма программы. ………..……………………………………………………………………………….12
4. Расчет частотных характеристик с использованием пакета «Electronics Workbench Pro». ………………16
5. Заключение. …………………………………………………………………………………………………….18
6. Список литературы. …………………………………………………………………………………………...19

1. Выбор схемной реализации фильтра, разработка его

эквивалентной схемы.

При выборе схемной реализации фильтра необходимо произвести оценку его добротности. Оценку добротности производится по отношению резонансной частоты к удвоенному значению частотного интервала по уровню 0,707

Следовательно



Добротность Q=3.14<2 - данный фильтр будет среднедобротным. Схема такого фильтра будет выглядеть следующим образом

DA

+

\_



R3



R2





Рис.1. Схема полосового фильтра со средней добротностью.

Для построения эквивалентной схемы фильтра, необходимо заменить операционный усилитель его схемой замещения, которая представлена на рис.2.

R1

Е

Rвых

R2

 Рис.2. Схема замещения операционного усилителя.

где, R1=R2=500 кОм, Rвых=100 Ом, Е=1 В.

В результате замены операционного усилителя его схемой замещения, эквивалентная схема фильтра будет выглядеть как показано на рис. 3.

(4)

C4

R5

E1

(3)

(2)

C3

R11

R10

(7)

(6)

(5)

I13

R6

R9

R7

E2

I12

R8

(1)

(0)

Рисунок.3. Эквивалентная схема фильтра.

Рассчитаем элементы фильтра:

 Пусть С3=16 нФ, С4=64 нФ, тогда остальные элементы схемы:

E1= 7.5 мВ;

E2= 7.125 мВ;

R5= 8.5 кОм;

R6= 40 кОм;

R7= 12 кОм;

R8= 4 кОм;

R9= 1.3 кОм;

R10= 2.8 кОм;

R11= 700 Ом;

I12= 5 мА;

I13= 0.5 мА.

1. Формирование уравнений математической модели фильтра.

Более универсальным в задачах исследования, разработок является метод переменных состояния, отличительной особенностью и достоинством которого является возможность получения ММ в так называемой форме Коши (уравнения относительно производных), что позволяет использовать базовые программы математического обеспечения ЭВМ. Метод переменных состояний является базовым методом в САПР устройств, систем, сетей радиосвязи.

 Суть метода состоит в том, что анализируемая RLC- цепь может представлена в виде: пассивной линейной R-цепи из которой выносятся реактивные элементы и независимые источники входных воздействий. Далее реактивные элементы и независимые источники представляются, как вектор состояния X(t) и вектор воздействия Xни(t) анализируемой цепи. Тогда полная система уравнений математической модели анализируемой цепи будет иметь вид:

Iрез(t)=В1X(t)+B2Xни(t) (I),

dX(t)/dt=P1(t)+P2Xни(t) (2),

Xвых(t)=Dl X(t)+ D2Xни(t) (3),

где

(1) - уравнение токов резистивных элементов, Bl, B2 -матричные коэффициенты, значение которых определяется топологией и сопротивлениями резистивных элементов R-цепи.

(2) - уравнение состояния, Р1,Р2-матричные коэффициенты, значения которых зависит от топологии цепи и параметров ее элементов;

(3) - уравнение выхода в котором скаляр Хвыx.(t) обозначает напряжение Uвых. либо ток Iвых. для выделенного при анализе выхода схемы, а коэффициенты D1,D2 определяются данными схемы.

Алгоритм решения системы (1) - (3) основан на следующей последовательности действий:

* первоначально решаются уравнения (2) (при этом порядок уравнения, то есть число уравнений, объединенных в матричное выражение (2), определяется числом элементов вектора Х);
* по найденному значению Х рассчитывается вектор Iрез. из

уравнения (1);

* для известных значений Х и Iрез. находится значение

скаляра Хвых(t).

Значение коэффициентов В1, В2, Р1, Р2 находятся в результате преобразования топологических уравнений анализируемой цепи.

где FCL, FERx и т.п. -подматрицы МГС.

Для получение матрицы главных сечений необходимо преобразовать редуцированую матрицу цепи.

Запишем редуцированную матрицу:

В результате преобразований получим матрицу главных сечений:

Выделим подматрицы из МГС



 Определим коэффициенты В1, В2, Р1, Р2, используя для этого программу “Mathcad”.

Составим необходимые транспонированые подматрицы

Составим матрицу сопротивлений Rp и Rx, а также матрицу ёмкостей C

 Подставляя полченные матрицы в вышеприведённые формулы получим:



Для определения коэффициентов P1 и P2 составим подматрицу МГС Fci:

 Тогда

3.Разработка блок - схемы алгоритма и программы формирования матрицы главных сечений.

Рис. 4. Блок-схема алгоритма программы формирования МГС.

Program MATR;

 const k=30;

 var n,m,i,j,c,r,e,Ii,s,l,G,z,y,p,q,d:integer;

 STM:array[1..k,1..k] of integer;

 PR:array[1..k] of integer;

 b:array[1..k] of integer;

 MGS,FERx,FCRx,FRpRx,FEL,FCL,FRpL,FEI,FCI,FRpI:array[1..k,1..k] of integer;

 { Процедура ввода структурной матрицы ипараметров схемы.}

 procedure strm;

 begin

 writeln;

 write(' ‚Введите количество узлов n=');

 read(n);

 write(' ‚ Введите количество ветвей m=');

 read(m);

 write(' ‚ Введите последовательно количество элементов схемы E,C,R,L,I.');

 writeln;

 write(' E='); read(e);

 write(' C='); read(c);

 write(' R='); read(r);

 write(' L='); read(l);

 write(' I='); read(Ii);

 write('‚Введите элементы структурной матрицы СТРМ[i,j]=1,-1,0 если j ветвь');

 writeln(втекает в i узел то СТРМ[i,j]=1, если вытекает то -1, если не подключен -0.');

 for i:=1 to n do

 begin writeln;

 for j:=1 to m do

 begin

 write(' СТРМ[',i,'узел,',j,'ветвь]='); read(STM[i,j]);

 end;

 end;

 {Вывод на экран структурной матрицы}

 write(' СТРМ');

 for i:=1 to n do

 begin writeln;

 for j:=1 to m do

 write(STM[i,j]:3);

 end;

 end;

 procedure sea;

 begin

 writeln;

 write(' Для прлолжения программы нажмите ENTER . ');

 readln;

 end;

 {”Формирование МГС из структурной матрицы.}

 procedure MGSS;

 begin

 for s:=1 to n do begin i:=s;j:=s;

 while i<=n do begin while j<=m do begin if STM[i,j]<>0 then begin

 p:=i;g:=j;i:=n;j:=m end;j:=j+1 end;i:=i+1 end;

 if p>s then for j:=1 to m do begin PR[j]:=STM[s,j];

 STM[s,j]:=STM[p,j];

 STM[p,j]:=PR[j] end;

 if g<>s then begin

 for i:=1 to n do b[i]:=STM[i,g];

 for j:=g downto s+1 do

 for i:=1 to n do STM[i,j]:=STM[i,j-1];

 for i:=1 to n do STM[i,s]:=b[i] end;

 if STM[s,s]=-1 then for j:=s to m do STM[s,j]:=-STM[s,j];

 for i:=1 to n do begin if i<>s then begin

 if STM[i,s]=1 then for j:=s to m do STM[i,j]:=STM[s,j]-STM[i,j];

 if STM[i,s]=-1 then for j:=s to m do STM[i,j]:=STM[s,j]+STM[i,j] end;end;

 end;

 writeln('Матрица главных сечений');

 for i:=1 to n do for j:=1 to m-s do MGS[i,j]:=STM[i,j+s];

 for i:=1 to n do begin writeln;for j:=1 to m-s do begin

 if MGS[i,j]=-1 then write(' ',MGS[i,j]);

 if MGS[i,j]<>-1 then write(' ',MGS[i,j]) end;end;end;

 {Формирование подматриц из МГС‘}

 procedure MGS2;

 begin

 s:=r+e+c-n;

 for i:=1 to e do {Выделение Ferхорд}

 for j:=1 to s do

 FERx[i,j]:=MGS[i,j];

 for i:=e+1 to e+c do { Выделение Fcrхорд}

 for j:=1 to s do

 FCRx[i-e,j]:=MGS[i,j];

 for i:=e+c+1 to n do { Выделение Fребер rхорд}

 for j:=1 to s do

 FRpRx[i-e-c,j]:=MGS[i,j];

 for i:=1 to e do { Выделение Fel}

 for j:=s+1 to s+l do

 FEL[i,j-s]:=MGS[i,j];

 for i:=e+1 to e+c do { Выделение Fcl}

 for j:=s+1 to s+l do

 FCL[i-e,j-s]:=MGS[i,j];

 for i:=e+c+1 to n do { Выделение Frреберl}

 for j:=s+1 to s+l do

 FRpL[i-e-c,j-s]:=MGS[i,j];

 for i:=1 to e do { Выделение Fei}

 for j:=s+l+1 to s+l+Ii do

 FEI[i,j-s-l]:=MGS[i,j];

 for i:=e+1 to e+c do { Выделение Fci}

 for j:=s+l+1 to s+l+Ii do

 FCI[i-e,j-s-l]:=MGS[i,j];

 for i:=e+c+1 to n+1 do { Выделение Frреберi}

 for j:=s+l+1 to s+l+Ii do

 FRpI[i-e-c,j-s-l]:=MGS[i,j];

 end;

 begin

 strm;

 sea;

 MGSS;

 sea;

 MGS2;

 write('FERx');

 for i:=1 to e do

 begin writeln;

 for j:=1 to s do

 write(FERx[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FCRx');

 for i:=1 to c do

 begin writeln;

 for j:=1 to s do

 write(FCRx[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FRpRx');

 for i:=1 to n-e-c do

 begin writeln;

 for j:=1 to s do

 write(FRpRx[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FEL');

 for i:=1 to e do

 begin writeln;

 for j:=1 to l do

 write(FEL[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FCL');

 for i:=1 to c do

 begin writeln;

 for j:=1 to l do

 write(FCL[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FRpL');

 for i:=1 to n-1-e-c do

 begin writeln;

 for j:=1 to l do

 write(' ',FRpL[i,j],' ');

 end;

 sea;

 write('FEI');

 for i:=1 to e do

 begin writeln;

 for j:=1 to Ii do

 write(FEI[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FCI');

 for i:=1 to c do

 begin writeln;

 for j:=1 to Ii do

 write(FCI[i,j]:4);

 end;

 sea;

 write('FRpI');

 for i:=1 to n-e-c do

 begin writeln;

 for j:=1 to Ii do

 write(FRpI[i,j]:4);

 end;

 sea;

 end.

4.Расчет коэффициентов уравнения выхода.

 Для расчета коэффициентов D1, D2 уравнения выхода в случае, когда Xвых.(t)=Uвых(t), выходной отклик цепи можно представить в виде алгебраической суммы напряжений ветвей при обходе некоторого контура от начальной выходной клеммы к конечной.

 В том случае когда выходное напряжения снимается с резистивного элемента, формирование коэффициентов может быть представлено в виде некоторого алгоритма представленного ниже.

 Алгоритм расчета коэффициентов:

1. D1 - определяется как к-я строка коэффициента В1, где к-порядковый номер элемента в соответствующем векторе Iрез;
2. D2-определяется как элемент b[k,i] из коэффициента В2, где i-порядковый номер входного источника в векторе Xни.
3. Если Xвых=U[Rk] коэффициенты D1=D1\*Rk, D2=D2\*Rk.

На основание выше всего изложенного рассчитаем коэффициенты D1, D2:

k=4, i=2.

5.Формирование системы линейных уравнений для расчета частотных характеристик, разработка алгоритма программы.

 Для анализа частотных характеристик цепи достаточно воспользоваться уравнением состояния (1) и выхода(3). Предполагая характер входного воздействия гармонической функцией времени и записывая Хни(t) как Хвх(t),

запишем эти уравнения в комплексной форме:



 Полагая Хвх = 1 можно определить Хвых = К\*Хвх. Представляя переменные Х и К в развернутой форме и приводя подобные, получим следующею систему уравнений позволяющую рассчитать действительную и мнимую части комплексного коэффициента передачи:

Распишем эту систему конкретно для нашего случая, и получим следующий результат:



Решим эту систему методом Крамера

где p1= -6.152^7 и p2= -1.48^7.

#### По найденным значениям х найдем мнимую и действительную части комплексного коэффициента передачи цепи К' и К''



#### АЧХ и ФЧХ строятся по следующим формулам



 Рис. 5. АЧХ и ФЧХ проектируемой цепи.

6.Расчет частотных характеристик с использованием пакета

 «Electronics Workbench Pro».

В данном пакете была спроектирована схема полосового фильтра.

И были получены следующие результаты:

АЧХ

ФЧХ

7. Заключение.

 В ходе выполненной работы пришли к следующим результатам:

1. Была проверена правильность выбора схемы и её расчёта с помощью новейшего пакета компьютерного моделирования электронных схем “Electronics Workbench Pro” .
2. Для убеждения в правильности расчёта схемы, расчёты также проводились в программе “Mathcad”. В результате были получены зависимости АЧХ и ФЧХ от частоты, изображенные на рис. 5.
3. На основе полученных результатов можно сказать, требуемая перед нами цель была выполнена. Есть некоторые различия, но они обусловлены погрешностью математических вычислений.

8. Список используемой литературы.

1. Мошиц Г., Хорн П. “Проектирование активных фильтров”.

1. Калабеков Б.А. и др. “Методы автоматизированного расчета электронных схем.”.

3. Конспект лекций.