

Министерство образования Российской Федерации  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиотехнический факультет

Кафедра радиотехники

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

по дисциплине **Устройства приёма и обработки сигналов**

Тема **Компьютерное моделирование линейных электрических цепей**

Выполнил студент	РТ-982			Ю.А. Степаненко	
	группа	подпись	дата	инициалы	фамилия
Руководитель					
		подпись	дата	инициалы	фамилия
Члены комиссии					
		подпись	дата	инициалы	фамилия
Нормоконтролёр		подпись	дата	инициалы	фамилия

Защищена \_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_

## Содержание

Введение . . . . .	3
1 Элементы теории четырёхпольсников . . . . .	5
2 Моделирование фильтра сосредоточенной селекции . . . . .	9
3 Моделирование входной цепи . . . . .	12
4 Вопросы моделирования сложных цепей . . . . .	17
Заключение . . . . .	19
Список литературы . . . . .	20
Приложение А Листинг программы расчёта ФСС . . . . .	21
Приложение Б Листинг программы расчёта входной цепи с индуктивно- емкостной связью . . . . .	26

## Введение

В курсе лекций по специальным дисциплинам таким как радиотехнические цепи и сигналы, устройства формирования электрических сигналов, устройства приёма и обработки сигналов и др. линейные электрические цепи а также цепи, приводимые к линейным анализируются методом четырёхполюсников.

Как известно, во многих случаях задача анализа рабочих режимов в электрических цепях ограничивается расчётом токов и напряжений в отдельных участках цепей или нахождением уравнений связи между этими токами и напряжениями. При этом режимы остальных участков цепей остаются неизвестными, хотя все их параметры учитываются при решении соответствующих задач. Тогда рассматриваемую часть цепи можно характеризовать обобщёнными параметрами по отношению к некоторым выделенным зажимам.

Часть цепи, характеризуемую обобщёнными параметрами, необходимыми и достаточными для составления уравнений связи между токами и напряжениями на её зажимах, называют многополюсниками.

Реальная схема соединений элементов части цепи, составляющей многополюсник, может быть неизвестна. Число плюсов многополюсника равно числу зажимов на границе данной части схемы. При исследовании режимов в электрических цепях чаще всего используют двухполюсники, трёхполюсники и четырёхполюсники.

С помощью метода четырёхполюсников возможно определение таких параметров электрических цепей как комплексный коэффициент передачи цепи по напряжению с учётом нагрузки на выходе и на входе цепи, комплексное входное сопротивление с учётом нагрузки на выходе а также комплексное выходное сопротивление с учётом нагрузки на входе. Результаты моделирования с помощью данного метода дают практически полное совпадение с данными, полученными с помощью программного продукта OrCAD 9.1.

Нужно отметить что хотя с помощью пакета моделирования OrCAD 9.1. можно получить те же результаты, но иногда из-за особенностей схемы это не всегда удобно.

К недостаткам данного метода можно отнести сложность организации мо-

делей индуктивностей с отводами.

Ниже будут рассмотрены особенности применения данного метода в расчёте некоторых каскадов радиоприёмного устройства.

## 1 Элементы теории четырёхпольников

Как известно, четырёхпольник на фиксированной частоте характеризуется четырьмя в общем случае комплексными величинами. Эти величины связывают токи и напряжения на зажимах четырёхпольника. В зависимости от того какие параметры являются входными а какие выходными, существует несколько систем параметров. В данном случае интерес представляет система А-параметров. Взаимосвязь между токами и напряжениями в данном случае выражается системой (1) :

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2 \end{cases} \quad (1)$$

или в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

На рисунке 1 приведена схема четырёхпольника с направлениями токов, соответствующих системе А- параметров.

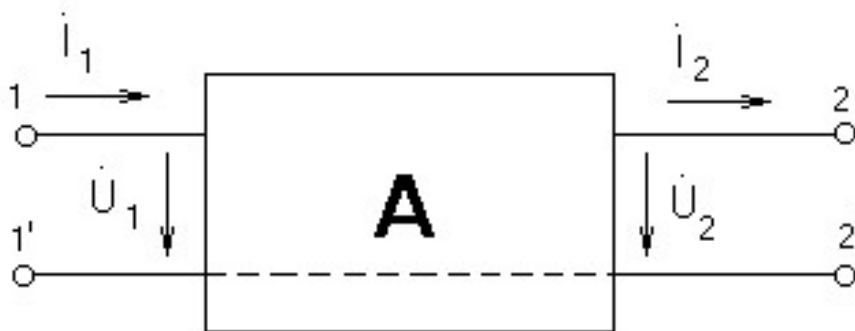


Рисунок 1 – Четырёхпольник в системе А- параметров

Допустим, что два четырёхпольника соединяются каскадно, тогда параметры эквивалентного четырёхпольника определяются по формуле (3):

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{21} & A_{22} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Отметим, что важно соблюдать порядок расстановки матриц, который должен соответствовать порядку расстановки четырёхполюсников. Так формула (3) справедлива для схемы на рисунке 2.

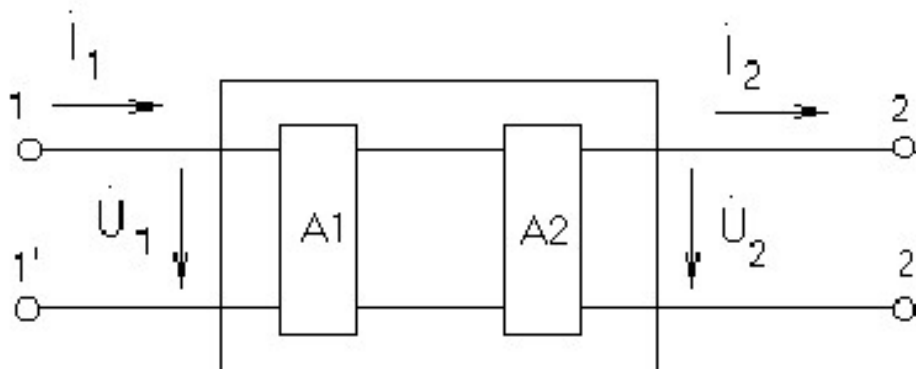


Рисунок 2 – Схема каскадного соединения четырёхполюсников

В результате таких преобразований получается система А- параметров сложного четырёхполюсника. Коэффициент передачи четырёхполюсника по напряжению рассчитывается по формуле (4):

$$K_U = \frac{Z_n}{A_{11}Z_n + A_{12}} \quad (4)$$

где  $Z_n$ - сопротивление на которое нагружается выход четырёхполюсника.

Во многих случаях (особенно при расчёте фильтров согласованной селекции) при расчёте коэффициента передачи следует учитывать, что четырёхполюсник должен быть нагружен и по входу. На рисунке 3 показана схема, в соответствии с которой работает данная формула.

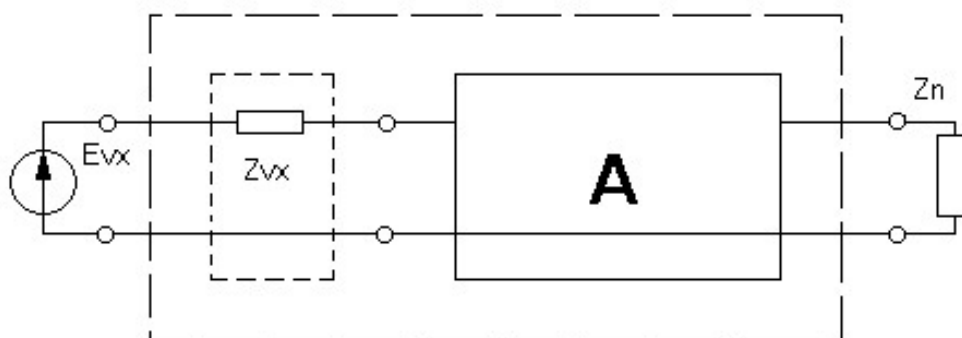


Рисунок 3 – Пояснение работы формулы (4)

Формула (4) учитывает только идеальный источник напряжения  $E_{ВХ}$  и сопротивление нагрузки  $Z_n$ . Сопротивление  $Z_{VX}$  нужно включить в параметры четырёхполюсника предварительно.

Входное и выходное сопротивления рассчитываются по следующим формулам:

$$Z_{VX} = \frac{A_{11}Z_n + A_{12}}{A_{21}Z_n + A_{22}} \quad (5)$$

$$Z_{ВЫХ} = \frac{A_{22}Z_{VX} + A_{12}}{A_{21}Z_{VX} + A_{11}} \quad (6)$$

Как было сказано выше, сложный четырёхполюсник можно представить в виде каскадного соединения простых четырёхполюсников. Определим А-параметры некоторых простых четырёхполюсников. На рисунке 4 приведены схемы простых четырёхполюсников и соответствующие им матрицы А-параметров.

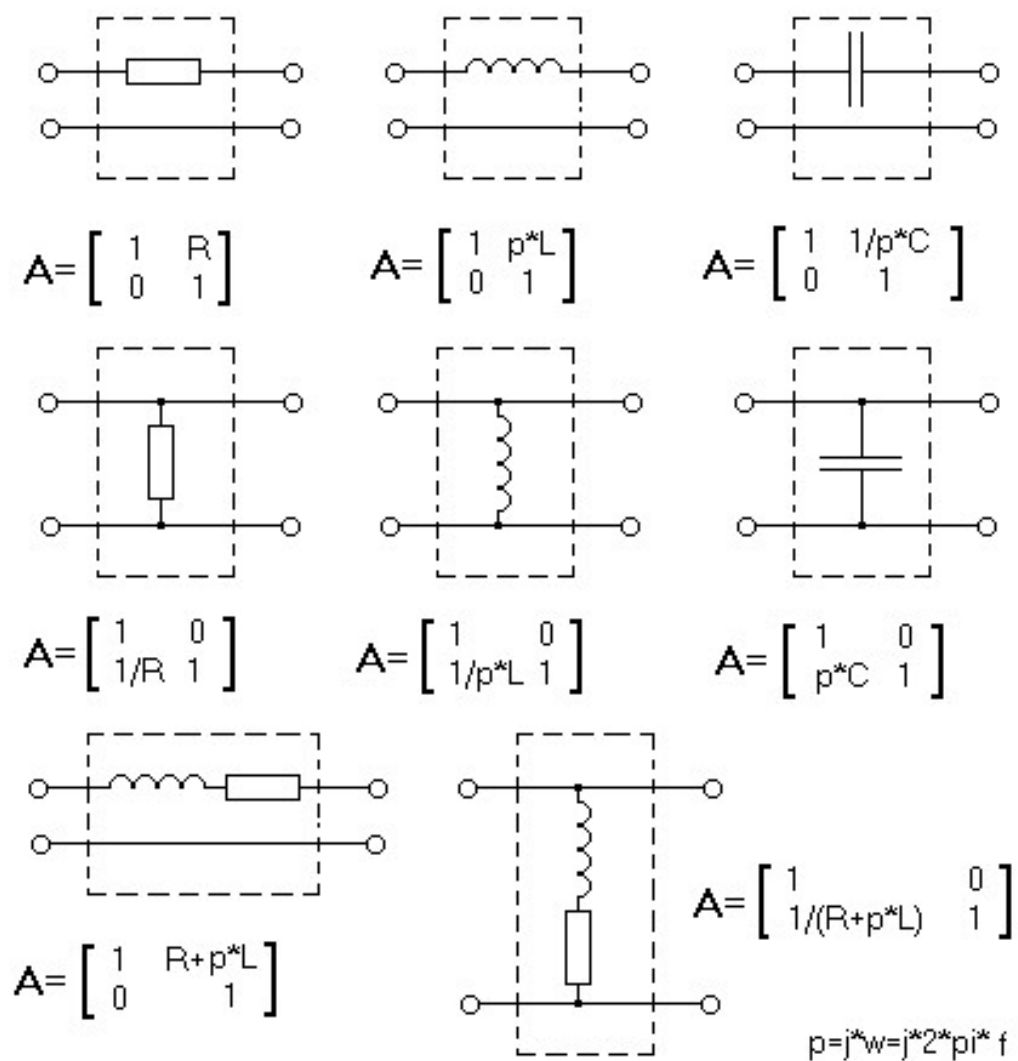


Рисунок 4 – Матрицы A- параметров четырёхполюсников



## 2 Моделирование фильтра сосредоточенной селекции

В качестве примера применения данного метода рассчитаем АЧХ и ФЧХ фильтра сосредоточенной селекции. Точные формулы для расчёта элементов звена фильтра а также схема звена приведены в [1], с. 283.

Программа написана в среде MATLAB/OCTAVE и оформлена в виде .m – файла. Листинг данной программы приведён в приложении А, а алгоритм работы на рисунке 5.

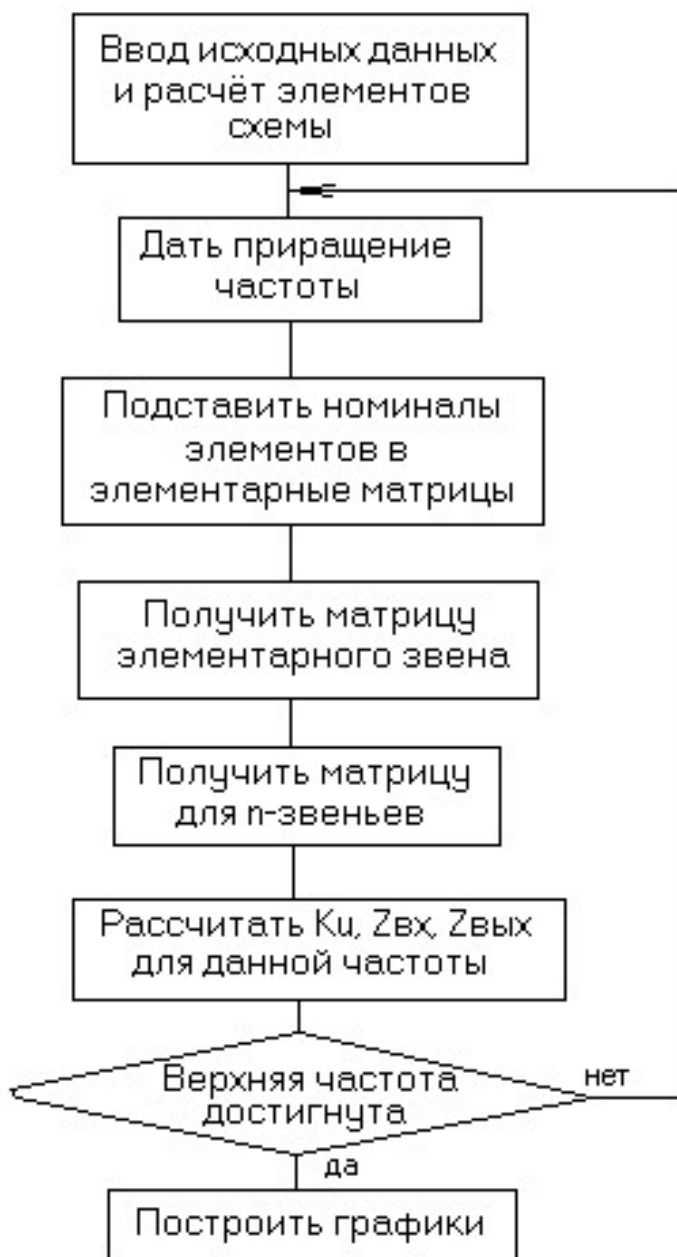


Рисунок 5 – Алгоритм работы программы расчёта ФСС

На рисунках 6, 7, 8 приведены графики, полученные с помощью данного метода.

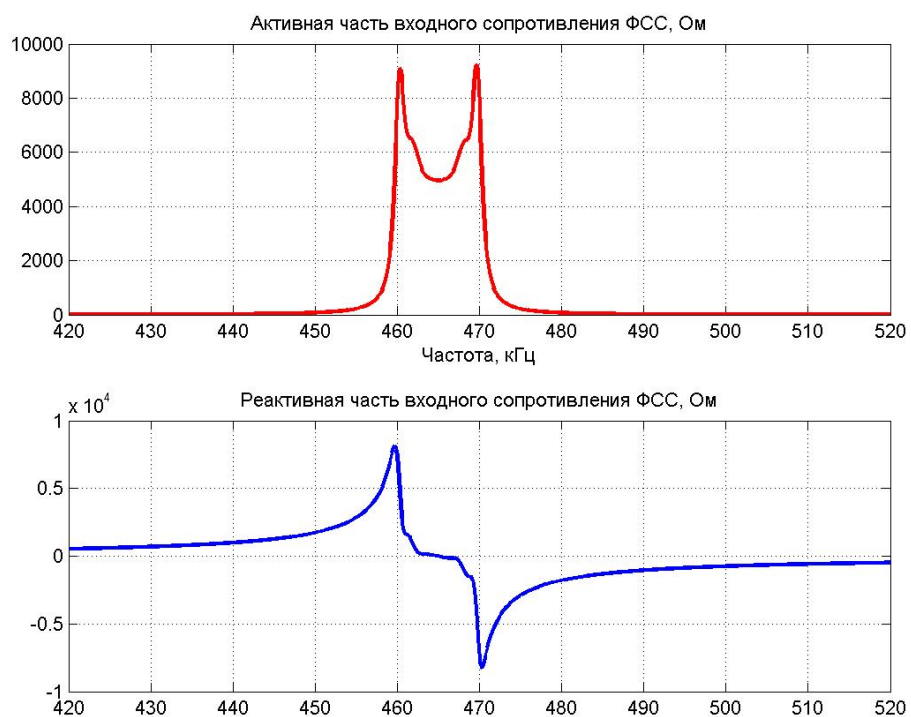


Рисунок 6 – Входное сопротивление ФСС

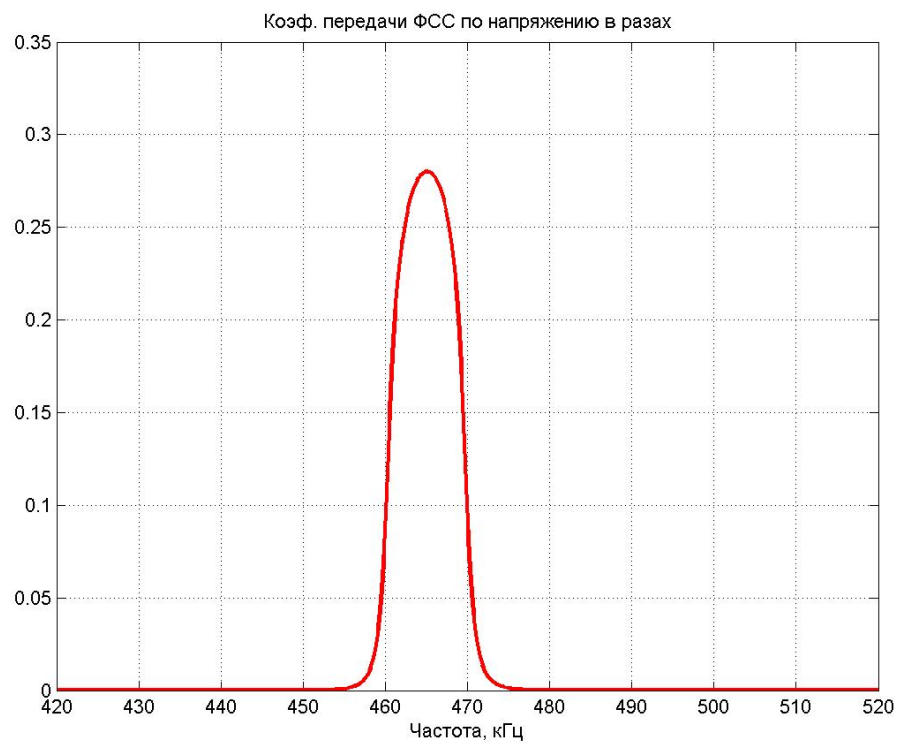


Рисунок 7 – Коэффициент передачи по напряжению ФСС

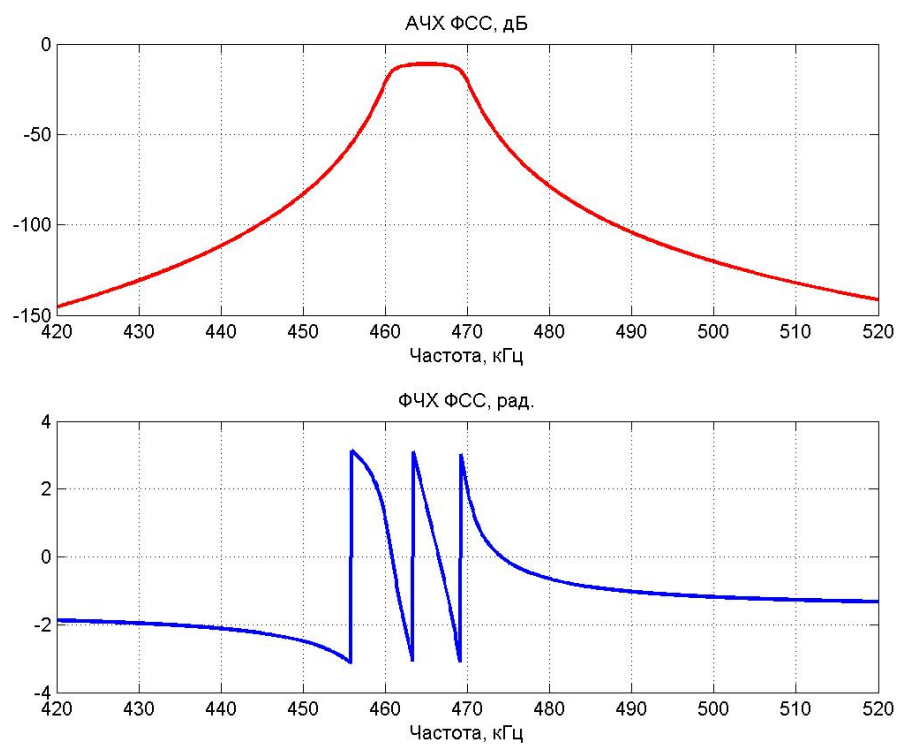


Рисунок 8 – АЧХ и ФЧХ фильтра сосредоточенной селекции

### 3 Моделирование входной цепи

Рассмотрим некоторые особенности применения данного метода. В литературе обычно пользуются моделями четырёхполюсников в системе Y-параметров. Ниже приведены формулы для пересчёта из одной системы параметров в другую:

$$\left\{ \begin{array}{l} |Y| = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21} \\ A_{11} = -\frac{Y_{22}}{Y_{21}} \\ A_{12} = -\frac{1}{Y_{21}} \\ A_{21} = -\frac{|Y|}{Y_{21}} \\ A_{22} = -\frac{Y_{11}}{Y_{21}} \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |A| = A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} \\ Y_{11} = \frac{A_{22}}{A_{12}} \\ Y_{12} = -\frac{|A|}{A_{12}} \\ Y_{21} = -\frac{1}{A_{12}} \\ Y_{22} = \frac{A_{11}}{A_{12}} \end{array} \right. \quad (8)$$

Система Y- параметров также полезна тем, что допускает параллельное соединение четырёхполюсников. Ниже приведены формулы и схема, поясняющая

их работу:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{111} & Y_{112} \\ Y_{121} & Y_{122} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{211} & Y_{212} \\ Y_{221} & Y_{222} \end{bmatrix} \quad (9)$$

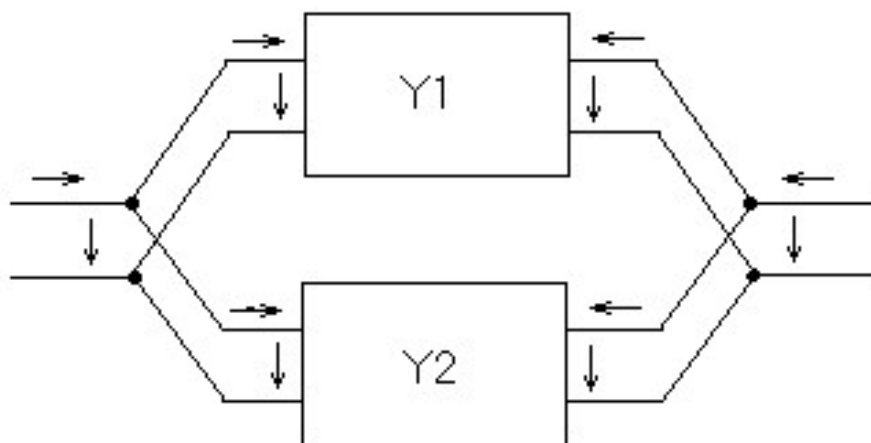


Рисунок 9 – Параллельное соединение четырёхполюсников

Применим данные формулы для расчёта входной цепи приёмника с индуктивно-емкостной связью с антенной. Данная схема представлена на рисунке 10.

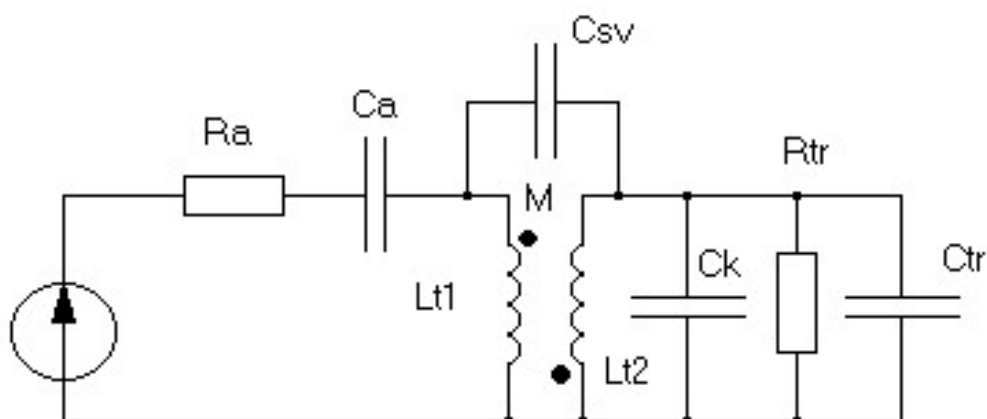


Рисунок 10 – Схема входной цепи с индуктивно-емкостной связью

Из рисунка 10 видно, что в цепи присутствует трансформатор. Нужно обратить внимание на включение обмоток трансформатора. На рисунке 11 приведены схемы трансформаторных элементов с разным включением обмоток.

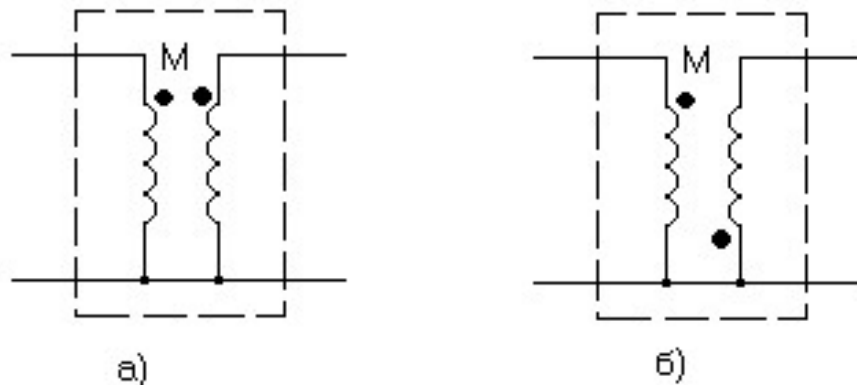


Рисунок 11 – Схемы трансформаторных элементов

Уравнения схемы на рисунке 11.а в системе Y-параметров приведены ниже:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_2 p}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} & \frac{-Mp}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} \\ \frac{-Mp}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} & \frac{L_1 p}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Уравнения для схемы на рисунке 11.б легко получить, произведя подстановку:

$$\begin{cases} I_2 \rightarrow (-I_2) \\ U_2 \rightarrow (-U_2) \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, уравнения для случая 11.б примут вид:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_2 p}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} & \frac{Mp}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} \\ \frac{Mp}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} & \frac{L_1 p}{L_1 L_2 p^2 - (pM)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Для получения Y- параметров конденсатора  $C_{SV}$  на рисунке 10 нужно воспользоваться матрицей A- параметров с рисунка 4 и формулами (8). Воспользовавшись (9) получим матрицу Y- параметров параллельного соединения транс-

форматора и конденсатора  $C_{SV}$ . Далее перейдя с помощью (7) в систему А- параметров, построим эквивалентный четырёхполусник для всей цепи.

В приложении Б приведён листинг программы, вычисляющей параметры цепи на рисунке 10 при известных номиналах элементов. К особенности данной программы относится то, что она вычисляет семейство коэффициентов передачи по напряжению, что достигнуто с помощью двух циклов, один из которых вложен в другой. Один отвечает за изменение частоты, а другой за изменение номинала конденсатора переменной ёмкости. Ниже на рисунке 12 приведено семейство АЧХ в рабочем диапазоне частот.

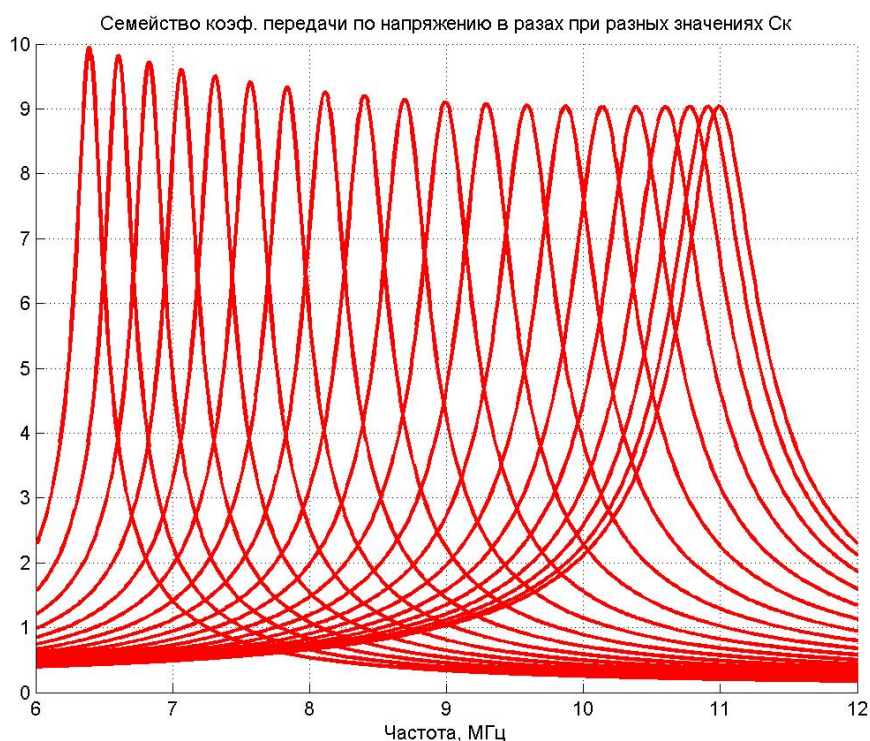


Рисунок 12 – АЧХ для схемы с рисунка 10

Отметим, что при расчёте АЧХ было использовано завышенное активное входное сопротивление транзистора (порядка 10 кОм), что и послужило причиной высокого коэффициента передачи. Нужно сказать, что данная схема предназначена для применения совместно с лампами а не с транзисторами, что легко проиллюстрировать, построив график изменения выходного сопротивления от частоты при фиксированном значении КПЕ (рисунок 13).

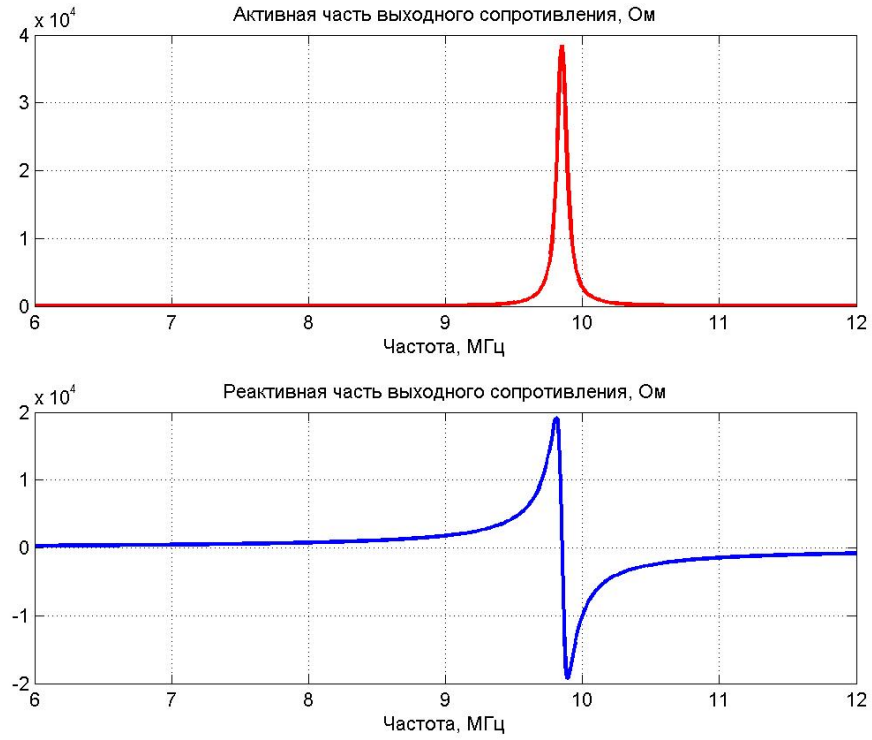


Рисунок 13 – Выходное сопротивление схемы с рисунка 10

Нужно сказать, что в рассмотренном примере использовалась идеализированная модель трансформатора так как в ней не учитывались потери в обмотках. В ниже приведённых формулах для схемы на рисунке 11.а учтены потери в обмотках:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r_2 + L_2 p}{(r_1 + L_1 p)(r_2 + L_2 p) - (pM)^2} & \frac{-Mp}{(r_1 + L_1 p)(r_2 + L_2 p) - (pM)^2} \\ \frac{-Mp}{(r_1 + L_1 p)(r_2 + L_2 p) - (pM)^2} & \frac{r_1 + L_1 p}{(r_1 + L_1 p)(r_2 + L_2 p) - (pM)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (13)$$



#### 4 Вопросы моделирования сложных цепей

Как известно, активный элемент можно рассматривать как невзаимный четырёхполюсник, то есть в случае  $Y_{12} \neq Y_{21}$  Y- параметров. Данная модель рассмотрена во многих книгах и может применяться при компьютерном расчёте без внесения в неё каких-либо изменений.

Рассмотрим случай индуктивности с отводом. Схема приведена на рисунке 14.

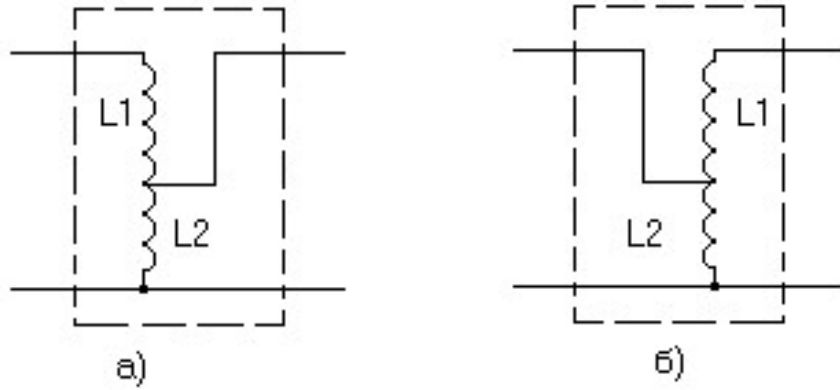


Рисунок 14 – Индуктивность с отводом

Для случая на рисунке 14.а получаем:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_2 p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} & \frac{-(L_2 + M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} \\ \frac{-(L_2 + M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} & \frac{(L_1 + L_2 + 2M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Для случая на рисунке 14.б формулы получаются при подстановке в (14) следующих соотношений:

$$\begin{cases} I_1 \rightarrow I_2 \\ I_2 \rightarrow I_1 \\ U_1 \rightarrow U_2 \\ U_2 \rightarrow U_1 \end{cases} \quad (15)$$

В результате :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(L_1 + L_2 + 2M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} & \frac{-(L_2 + M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} \\ \frac{-(L_2 + M)p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} & \frac{L_2p}{L_2(L_1 + L_2 + 2M)p^2 - ((L_2 + M)p)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

При анализе большинства схем резонансных усилителей требуется модель колебательного контура с двумя отводами от индуктивности. Схема такого контура приведена на рисунке 15.

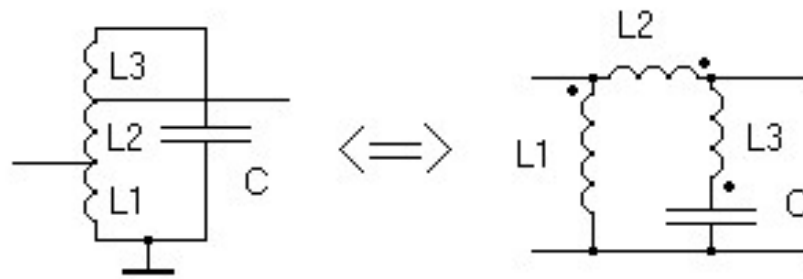


Рисунок 15 – Колебательный контур с отводами от индуктивности

К сожалению, из-за сложности формул (необходимости учёта не только индуктивностей  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  но и взаимоиндуктивностей  $M_{12}$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{23}$ ) в данной работе не были получены  $Y$ -параметры данного четырёхполюсника.

## **Заключение**

Как видно, данный метод анализа имеет как сильные так и слабые стороны. К последним относятся трудность получения параметров сложных четырёх-полюсников, внимательность и приблизительное предвидение результата моделирования при составлении моделей. Нужно сказать, что современные пакеты моделирования электронных схем обладают гораздо большими возможностями анализа.

К сильным сторонам относится открытость алгоритма анализа, возможности задания сложных зависимостей номиналов элементов от частоты, возможность проведения оптимизации сразу по нескольким параметрам.

## Список литературы

1. Проектирование радиоприёмных устройств. Под ред. А.П. Сиверса. Учебное пособие для вузов. М., «Сов. Радио», 1976.
2. Теоретические основы электротехники. Т.1. Основы теории линейных цепей. Под ред. П. А. Ионкина. Учебник для электротехн. Вузов. Изд. 2-е, переработ. И доп. М., «Высш. Школа», 1976.
3. В. И. Сифоров Радиоприёмные устройства. Издание 5-е, переработанное. Военное издательство министерства обороны Союза ССР, М., 1954.
4. Арсланов М. З. Рябков В. Ф. Радиоприёмные устройства. Учебное пособие для вузов. М., «Советское радио», 1973. 392 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Листинг программы расчёта ФСС

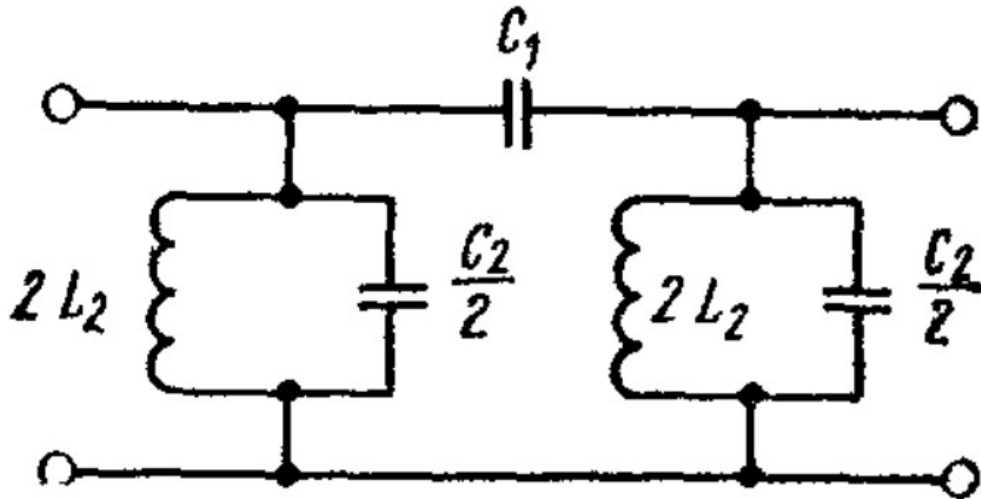


Рисунок А.1 – Звено фильтра сосредоточенной селекции [1], с. 283.

```
1 %-----
2 % Алгоритм расчёта основных параметров фильтра сосредоточенной
3 % селекции на связанных контурах с внешнеемкостной связью
4 % Формулы и базовый элемент из А.П.Сиверса , стр. 283
5 % Упрощения:
6 % -идеальные L и C элементы
7 % -разброс параметров не учитывается
8 % Позволяет определить:
9 % -коэффициент передачи по напряжению
10 % -выходное сопротивление каскада с учетом нагрузки на входе
11 % -входное сопротивление каскада с учетом нагрузки на выходе
12 % Основан на использовании матриц A-параметров
13 % Составитель Степаненко Юрий Анатольевич РТ-982 30.03.2002
14 %-----
15
```

```

16 clear all;
17 close all;
18
19 MGz=1e6; kGz=1e3;
20 pF=1e-12; nF=1e-9;
21 nHn=1e-9;
22 kOm=1e3; Om=1;
23 %-----
24 %----- A - параметры простых элементов -----
25 %-----
26 % MR=[1 R ; 0 1]; %Последовательный резистор
27 % ML=[1 p*L ; 0 1]; %Последовательная индуктивность
28 % MC=[1 1/(p*C) ; 0 1]; %Последовательный конденсатор
29 %
30 % MRh=[1 0 ; 1/R 1]; %Параллельный резистор
31 % MLh=[1 0 ; 1/(p*L) 1]; %Параллельная индуктивность
32 % MLh=[1 0 ; 1/(R+p*L) 1]; %Параллельная индуктивность с потерями
33 % MCh=[1 0 ; p*C 1]; %Параллельный конденсатор
34 %-----
35
36 %-----Параметры элементов схемы -----
37 f1=460*kGz; f2=470*kGz; % Частоты среза фильтра
38 W0=5000*Om; % Характеристическое сопротивление фильтра
39 d=0.0025;
40 C1=(f1+f2) / (4*pi*f1*f2*W0)
41 C2=f1 / (pi*f2*(f2-f1)*W0)
42 L2=W0*(f2-f1) / (4*pi*f1*f2)
43 r=pi*(f2+f1)* 2*L2*d
44 Zvx=5000*Om; Zn=5000*Om; % Сопротивления. при необходимости подключаемые
45 % ко входу и выходу четырёхполюсника для определения
46 % его основных параметров
47 MRvx=[1 Zvx ; 0 1]; %Последовательный резистор
48 MRn=[1 0 ; 1/Zn 1]; %Параллельный резистор
49
50 %-----
51
52 len=1000; %Размерность массивов результатов
53 f=420*kGz; %Начальная частота

```

```

54 df=0.1*kGz;%Шаг по частоте
55
56 for k=1:len,
57     f=f+df;
58     F(k)=f/kGz;
59     w=2*pi*f;
60     p=j*w;
61     %-----Частотно-зависимые элементы -----
62     % MLh2=[1 0 ; 1/(p*2*L2) 1]; %Параллельная индуктивность
63     MLh2=[1 0 ; 1/(r+p*2*L2) 1]; %Параллельная индуктивность с потерями
64     MCh2=[1 0 ; p*C2/2 1]; %Параллельный конденсатор
65     MC1=[1 1/(p*C1) ; 0 1]; %Последовательный конденсатор
66     %-----
67     M1=MLh2*MCh2*MC1*MLh2*MCh2;
68     MU=M1*M1*M1*M1*M1;
69     MURvx=MRvx*MU;%Для определения АЧХ нужно согласовать по входу
70     %----- Расчёт частотных параметров четырёхполюсника -----
71     Ku(k)=(Zn/(MURvx(1,1)*Zn+MURvx(1,2))); %Коэффициент передачи (по
        ↳ напряжению) четырёхполюсника,нагруженного на Rизм
72     lgKu(k)=20*log10(abs(Ku(k)));
73     Zvxod(k)=(MU(1,1)*Zn+MU(1,2))/(MU(2,1)*Zn+MU(2,2)); % Входное
        ↳ сопротивление четырёхполюсника
74     Zvjxod(k)=(MU(2,2)*Zvx+MU(1,2))/(MU(1,1)+MU(2,1)*Zvx); % Выходное
        ↳ сопротивление чатырёхполюсника
75     %-----
76 end ;
77
78
79 h = figure(1),
80 plot(F,abs(Ku), 'r', 'LineWidth' , 2);
81 grid on;
82 zoom on;
83 title('Коэф. передачи ФСС по напряжению в размах');
84 xlabel('Частота, кГц');
85 saveas(h,'RIs007','jpg');
86
87
88 h = figure(2),

```

```

89 subplot(2,1,1);
90 plot(F,lgKu, 'r', 'LineWidth' , 2);
91 grid on;
92 zoom on;
93 title('АЧХ ФСС, дБ');
94 xlabel('Частота, кГц');
95
96 subplot(2,1,2);
97 plot(F,angle(Ku), 'b', 'LineWidth' , 2);
98 grid on;
99 zoom on;
100 title('ФЧХ ФСС, рад. ');
101 xlabel('Частота, кГц');
102 saveas(h, 'RIs008', 'jpg');
103
104
105
106 h = figure(3);
107 subplot(2,1,1),
108 plot(F,real(Zvxod), 'r', 'LineWidth' , 2);
109 grid on;
110 zoom on;
111 title('Активная часть входного сопротивления ФСС, Ом');
112 xlabel('Частота, кГц');
113
114 subplot(2,1,2),
115 plot(F,imag(Zvxod), 'b', 'LineWidth' , 2);
116 grid on;
117 zoom on;
118 title('Реактивная часть входного сопротивления ФСС, Ом');
119 xlabel('Частота, кГц');
120 saveas(h, 'RIs006', 'jpg');
121
122
123
124 h = figure(4);
125 subplot(2,1,1);
126 plot(F,real(Zvjxod), 'r', 'LineWidth' , 2);

```



```

127 grid on;
128 zoom on;
129 title('Активная часть выходного сопротивления ФСС, Ом');
130 xlabel('Частота, кГц');
131
132 subplot(2,1,2);
133 plot(F,imag(Zvjxod),'b', 'LineWidth' , 2);
134 grid on;
135 zoom on;
136 title('Реактивная часть выходного сопротивления ФСС, Ом');
137 xlabel('Частота, кГц');
138 saveas(h,'RIs0061','jpg');

```

## Приложение Б

(обязательное)

### Листинг программы расчёта входной цепи с индуктивно-емкостной связью

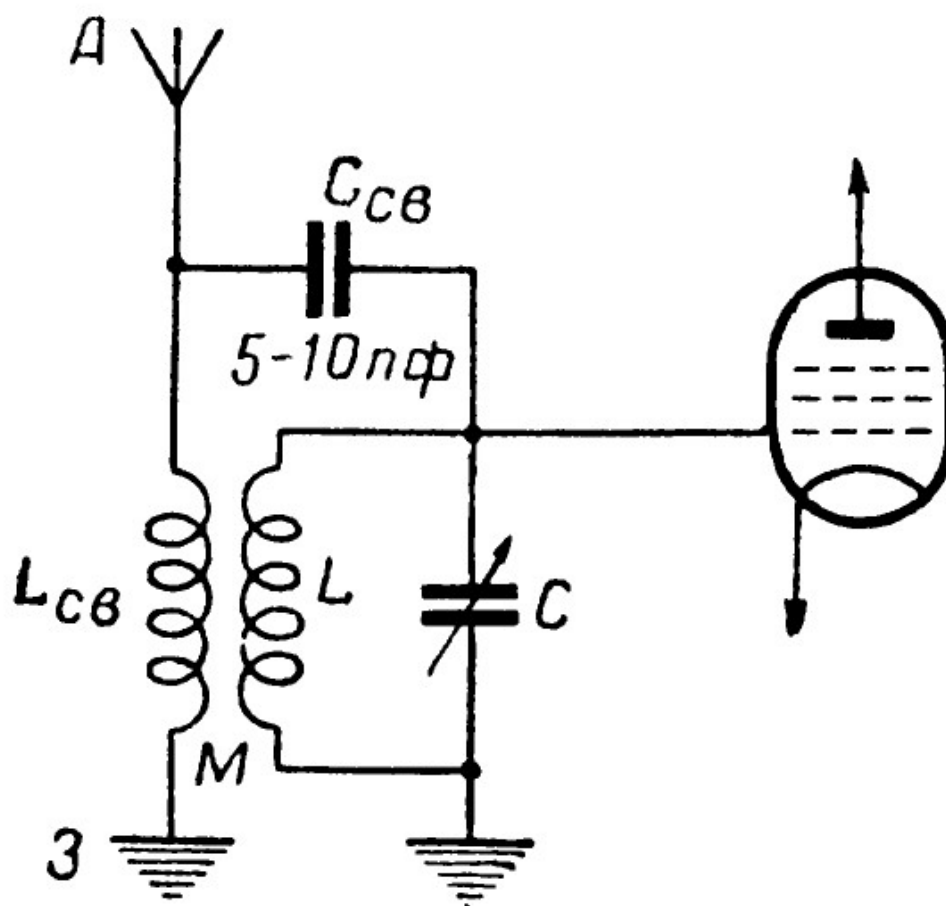


Рисунок Б.1 – Схема с индуктивно-емкостной связью между контуром и антенной [3], с. 35.

1 %-----

2 % Алгоритм расчёта основных параметров входной цепи с

3 % индуктивно-емкостной связью между контуром и антенной

4 %

5 % базовый элемент из В.И.Сифорова "Радиоприёмные устройства" М. 1954 г.

6 % стр.35 рис.20.

```

7 % Упрощения:
8 % -идеальные L и C элементы
9 % -разброс параметров не учитывается
10 % -входное сопротивление транзистора как RC двухполюсник
11 % -антенна замещена последовательной RC цепочкой
12 % Позволяет определить:
13 % -изменение резонансного коэффициента передачи по диапазону
14 % -избирательность по зеркальному каналу
15 % -выходное сопротивление каскада с учетом влияния антенны
16 % Основан на использовании матриц A-параметров
17 % Составитель Степаненко Юрий Анатольевич РТ-982 31.03.2002
18 %-----
19
20 clear all;
21 close all;
22
23 MGz=1e6; kGz=1e3;
24 pF=1e-12; nF=1e-9;
25 nHn=1e-9; mkHn=1e-6;
26 kOm=1e3; Om=1;
27 %-----
28 %----- A - параметры простых элементов -----
29 %-----
30 % MR=[1 R ; 0 1]; %Последовательный резистор
31 % ML=[1 p*L ; 0 1]; %Последовательная индуктивность
32 % MC=[1 1/(p*C) ; 0 1]; %Последовательный конденсатор
33 %
34 % MRh=[1 0 ; 1/R 1]; %Параллельный резистор
35 % MLh=[1 0 ; 1/(p*L) 1]; %Параллельная индуктивность
36 % MCh=[1 0 ; p*C 1]; %Параллельный конденсатор
37 %-----
38
39 %-----Параметры элементов схемы -----
40 Ra=20*Om; Ca=150*pF; % Параметры антенны
41 Lt1=20*mkHn; Lt2=6*mkHn; kc=0.3; %Индуктивности обмоток и коэф. связи
42 Csv=10*pF; % Ёмкость связи
43 Mt=kc*sqrt(Lt1*Lt2); % Взаимная индуктивность обмоток трансформатора

```

```

44 Ckmin=20*pF;Ckmax=100*pF;lenC=20;dCk=(Ckmax-Ckmin)/lenC; %
    ↪ Возможности КПЕ
45 fmin=6*MGz;fmax=12*MGz;% Исследуемый диапазон частот
46 lenF=500; %Размерность массивов результатов
47 Rtr=10000*Om;Ctr=10*pF;% Входное сопротивление транзистора (R и C соединяются
    ↪ параллельно)
48 %-----
49 df=round((fmax-fmin)/lenF); %Шаг по частоте
50
51
52 for k=1:lenF,
53     f=fmin+k*df;
54     F(k)=f/MGz;
55     w=2*pi*f;
56     p=j*w;
57 %-----Частотно-зависимые элементы -----
58 %===== Y- параметры для трансформатора со встречным включением обмоток
59     Mtrn=[p*Lt2/(-p*Mt*p*Mt+p*p*Lt1*Lt2)
        ↪ p*Mt/(-p*Mt*p*Mt+p*p*Lt1*Lt2) ;
        p*Mt/(-p*Mt*p*Mt+p*p*Lt1*Lt2)
        ↪ p*Lt1/(-p*Mt*p*Mt+p*p*Lt1*Lt2)];
61 %===== Y-параметры для конденсатора связи Csv =====
62     MCsv=[1 1/(p*Csv) ; 0 1]; %Последовательный конденсатор
63     A=MCsv;
64     DA=A(1,1)*A(2,2)-A(1,2)*A(2,1);
65     Y(1,1)=A(2,2)/A(1,2);
66     Y(1,2)=-DA/A(1,2);
67     Y(2,1)=-1/A(1,2);
68     Y(2,2)=A(1,1)/A(1,2);
69     MCsv=Y;
70     MEk=Mtrn+MCsv; % Поэлементное сложение матриц Y-параметров
71
72 %===== Перевод эквивалентного четырёхполюсника из Y в A-параметры
73     Y=MEk;
74     DY=Y(1,1)*Y(2,2)-Y(1,2)*Y(2,1);
75     A(1,1)=-Y(2,2)/Y(2,1);
76     A(1,2)=-1/Y(2,1);
77     A(2,1)=-DY/Y(2,1);

```

```

78     A(2,2)=-Y(1,1)/Y(2,1);
79     MEk=A;
80     %====Сопротивление антенны=====
81     MRa=[1 Ra ; 0 1];           %Последовательный резистор
82     MCa=[1 1/(p*Ca) ; 0 1]; %Последовательный конденсатор
83     MAnt=MRa*MCa;
84     Zvx=Ra+1/(p*Ca);
85     %====Сопротивление транзистора=====
86     Zn=1/(p*Ctr+1/Rtr);
87     %=====
88     for n=1:lenC,
89         Ck=Ckmin+(n*n/lenC)*dCk;
90
91         MCKh=[1 0 ; p*Ck 1];     %Параллельный конденсатор
92         MU=MEk*MCKh;% Для расчёта выходного сопротивления
93         MU1=MAnt*MU;% Для расчёта коэффициента передачи по напряжению
94
95         %----- Расчёт частотных параметров четырёхполюсника -----
96         Ku(n,k)=abs(Zn/(MU1(1,1)*Zn+MU1(1,2))); %Коэффициент передачи (по
           ↳ напряжению) четырёхполюсника,нагруженного на Zn
97         %lgKu(k)=20*log10(abs(Ku(k)));
98         if n==round(lenC/2),
99             Zvjxod(k)=(MU(2,2)*Zvx+MU(1,2))/(MU(1,1)+MU(2,1)*Zvx); %
           ↳ Выходное сопротивление чатырёхполюсника (Ck=(Ckmax-Ckmin)/2)
100         end ;
101         %-----
102     end ;
103 end ;
104
105 h = figure(1);
106 hold on
107 for n=1:lenC,
108     plot(F,Ku(n,:), 'r', 'LineWidth' , 2);
109 end ;
110 grid on;
111 zoom on;
112 title('Семейство коэф. передачи по напряжению в размах при разных
       ↳ значениях Ck');

```

```

113 xlabel('Частота, МГц');
114 saveas(h, 'RIs012', 'jpg');
115
116
117
118 h = figure(3);
119 subplot(2,1,1);
120 plot(F, real(Zvjxod), 'r', 'LineWidth' , 2);
121 grid on;
122 zoom on;
123 title('Активная часть выходного сопротивления, Ом');
124 xlabel('Частота, МГц');
125
126
127 subplot(2,1,2),
128 plot(F, imag(Zvjxod), 'b', 'LineWidth' , 2);
129 grid on;
130 zoom on;
131 title('Реактивная часть выходного сопротивления, Ом');
132 xlabel('Частота, МГц');
133 saveas(h, 'RIs013', 'jpg');
134
135 %figure(4),rotate3d,view,
136 %surf(Ku),shading interp;

```