

Верба Борис Павлович

аспирант

Мосунов Дмитрий Геннадьевич

аспирант

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический
университет им. М.Т. Калашникова»

г. Ижевск, Ижевская область

DOI 10.21661/r-471898

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДЫ MATHLAB 6.5 И ПОСЛЕДУЮЩИМ АНАЛИЗОМ РЕЗУЛЬТАТОВ

Аннотация: в статье рассматриваются способы построения согласующего контура для согласования для согласования импеданса антенны. В среде математического моделирования *MathLab 6.5* рассчитаны и промоделированы различные зависимости реактивных элементов согласующего контура, построены графики в комплексной плоскости. Проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: согласующее устройство, согласующий контур, согласование, антenna, импеданс, реактанc, реактивное сопротивление, нормированное сопротивление, комплексная плоскость.

Для согласования антенны с передатчиком могут быть применены различные трансформирующие схемы на реактивных сопротивлениях. Использование трех и более реактивных сопротивлений при свободном выборе L и C приводит к бесконечно большому числу возможных вариантов решения. Некоторые из них приводят к большому затуханию и сильной частотной зависимости, и не всегда можно определить, при каких условиях встречаются эти нежелательные свойства. Поэтому рекомендуется выбирать более простые схемы. Возможные варианты схем на двух реактивных сопротивлениях, пути и области трансформации показаны на рисунке 1.

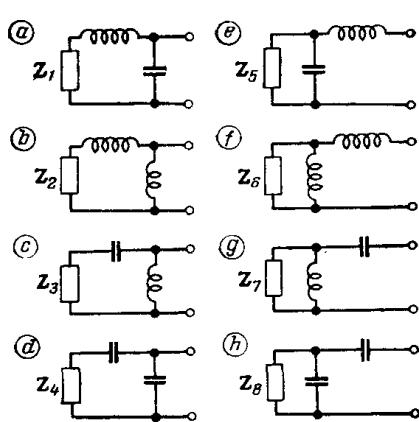


Рис. 3-58. Схемы с двумя реактивными сопротивлениями.

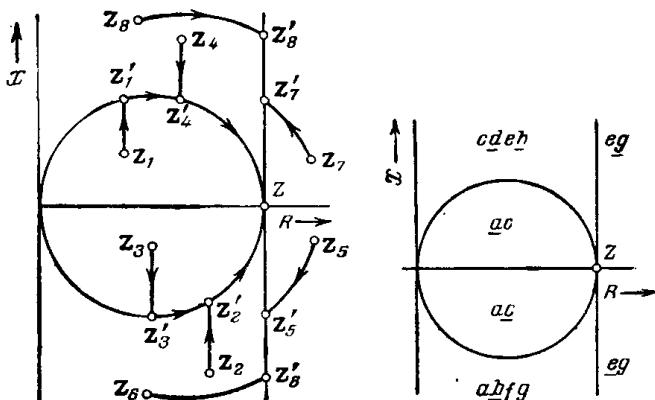


Рис. 3-59. Пути трансформации для схем с двумя реактивными сопротивлениями.

Рис. 3-60. Области трансформации.

Рис. 1. Варианты схем, пути и области трансформации

Любое сопротивление антенны $Z_a = R_a + iX_a$ может быть согласовано схемами (а, е) и/или схемами (с, г). В САУ на дискретно коммутируемых элементах схемы (а, е) применяются часто, тогда как схемы (с, г) практически не используются.

Определим зависимости $XL = f(Z_a)$ и $XC = f(Z_a)$ для схем (а), (е). Сопротивления нормируем относительно $Z = 1$. Для наглядности результаты отображаем в виде графиков.

Текст программы в MATLAB6, содержащий формулы расчета функций $XL = f(Z_a)$ и $XC = f(Z_a)$ с учетом раздела аргумента между схемами (а) и (е), приводится на рисунке 2.

```

C:\MATLAB6p5\work\LC_trans_5a.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
function z = LC_trans(t)
% Построение пути трансформации СУ
t = 0:pi/50:2*pi;
t = 0:pi/50:2*pi; z=1/2+1/2*exp(i*t);
plot (z),grid; axis square; axis([-0.01 3.01 -1.51 1.51]); title('Путь трансформации СУ'); hold on;
Za=2+1*i;
x1=0.000001; y1=-0.000001; x2=real(Za); y2=imag(Za); x3=real(Za); y3=-imag(Za);
x0=1/2*(y1^2*x2^2+y2^2*x3^2-y3^2*x0^2)+2*x2*(x3^2+y3^2*x1^2-y1^2)+y3*(x1^2+y1^2*x2^2-y2^2);
y0=1/2*(x1^2*(x2^2+y2^2*x3^2-y3^2*x0^2)+x2^2*(x3^2+y3^2*x1^2-y1^2)+x3*(x1^2+y1^2*x2^2-y2^2));
q1=x1+y1*i; q2=x2+y2*i; q3=x3+y3*i; q0=0+0*y0*i;
t = 0:pi/50:2*pi;
t = 0:pi/50:2*pi; z=q0+q0*exp(i*t); plot (z);

if abs(q0)=1/2 model=1; elseif imag(q2)<=0 model=1;
else model=0; end
if real(q2)<=1 elseif imag(q2)<=0 model=0; end
plot (q1,'g.'); plot (q2,'g.'); plot (q3,'g.'); plot (q0+0.0000001*i,'g.');
Zc2=x2+y2*i;

if model==0
Im=-x0*sin(acos((1-q0)/q0)); Re=1; Zr=Re+Im*i;
Zli=0-Im*i;
Z3i=1/(1/(1-Zli)-1/Zc2); Rez=Zli+(Z3i*Zc2)/(Z3i+Zc2);

plot (Zr,'bo'); plot (Zc2,'go'); plot (Zli,'yo'); plot (Z3i,'mo'); plot (Rez+0.0001*i,'ro');

k=menu('Data', sprintf('Za : Re=%g Im=%g',real(Zc2),imag(Zc2)), 'CY : L-C-Za', sprintf('XL = %g',imag(Zli)), ...
sprintf('XC = %g',real(Z3i)), 'Help', sprintf('Zr : Re=%g Im=%g',real(Zr),imag(Zr)), ...
sprintf('Zli : Re=%g Im=%g',real(Zli),imag(Zli)), sprintf('Z3i : Re=%g Im=%g',real(Z3i),imag(Z3i)), ...
sprintf('Rez : Re=%g Im=%g',real(Rez),imag(Rez)), sprintf('Model : %d',model), 'Exit'); end

```

```

36 - if model==1
37 - Re=real(Za); Im=1/2*sin(acos(2*(real(Za)-1/2))); Zr=Re+Im*i;
38 - Z2i=Zr-Za;
39 - Z3i=2r/(Zr-1); Rez=Z3i*(Z2i+Za)/(Z3i+Z2i+Za);
40 -
41 - plot (Zr,'b.'): plot (Za,'r.'): plot (Z2i,'y.'): plot (Z3i,'m.'): plot (Rez=0.0001*i,'k.'):
42 - k=menu('Data', sprintf('Za : Re=%g Im=%g',real(Za),imag(Za)), 'CY : C-L-Za', sprintf('XC = %g',imag(Z3i)), ...
43 - sprintf('XL = %g',imag(Z2i)), 'Help', sprintf('Zr : Re=%g Im=%g',real(Zr),imag(Zr)), ...
44 - sprintf('Z3i : Re=%g Im=%g',real(Z3i),imag(Z3i)), sprintf('Z2i : Re=%g Im=%g',real(Z2i),imag(Z2i)), ...
45 - sprintf('Rez : Re=%g Im=%g',real(Rez),imag(Rez)), sprintf('Model : %g',model), 'Exit'): end
46 -
47 -
48 -

```



Рис. 2. Программа расчета значений $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$ для схем (а), (е)

Сопротивление антенны $Za = Ra + iXa$ задается в строке 8. В строках 10...13 по трем точкам 0; $Ra+iXa$; $Ra-iXa$ находятся координаты центра и радиус окружности, которая определяет характер дальнейшего движения к точке согласования $Z=1$.

Результаты расчета значений $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$ схем (а), (е) для $Za = 2 + i \times 1$ представлены на рисунке 3.

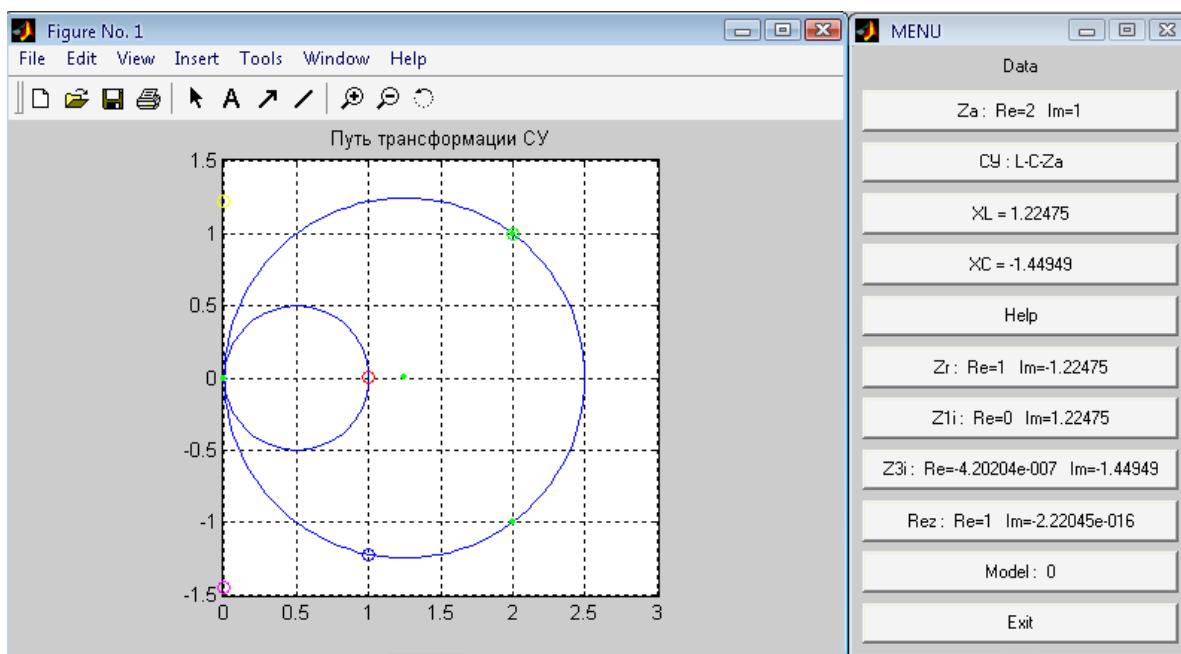


Рис. 3. Результаты расчета значений $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$

Зеленым маркером на графике отмечены центр окружности и ее точки: 0, $2 + i \times 1$, $2 - i \times 1$. Зеленая окружность соответствует сопротивлению антенны $Za = 2 + i \times 1$. В строках 18...20 программы определяется вид схемы согласования. В данном случае – схема (е) – вариант СУ L-C-Za. В строках 26...28 рассчитывается значение XC, которое сдвигает Za по окружности до положения

синего маркера. Далее XL перемещает это сопротивление в точку согласования $Z = 1$, отмеченную красным маркером.

Желтым маркером на графике отмечено значение XL, сиреневым – XC.

Аргумент Za и расчетные данные – тип СУ, величины XL и XC выводятся в таблицу MENU, расположенную справа от графика.

Данная программа может использоваться в качестве калькулятора при отладке СУ, а также для целей интерполяции, экстраполяции и предсказания на основе результатов измерения параметров СУ, представленного в виде четырехполюсника.

СУ при измерениях подключается своим входом и выходом к векторному анализатору. На основе полученных матриц рассчитываются эквивалентные Т-образные схемы замещения.

Если реальное СУ мало отличается от идеального, то эквивалентная схема просто повторяет схему и значения элементов XL и XC, установленные в СУ. Если же отличия существенны, то для некоторой окрестности точки Za должны быть вычислены поправочные коэффициенты для определения XL и XC.

Определим характер поведения функций $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$ схем (а), (е) над комплексной плоскостью $Za = Ra + iXa$. Необходимо также выяснить характер функций на границах раздела области аргумента. Данные для наглядности целесообразно представить в виде трехмерных графиков.

Фрагмент программы вывода значений $XL = f(Za)$ на печать приводится на рисунке 4.

```

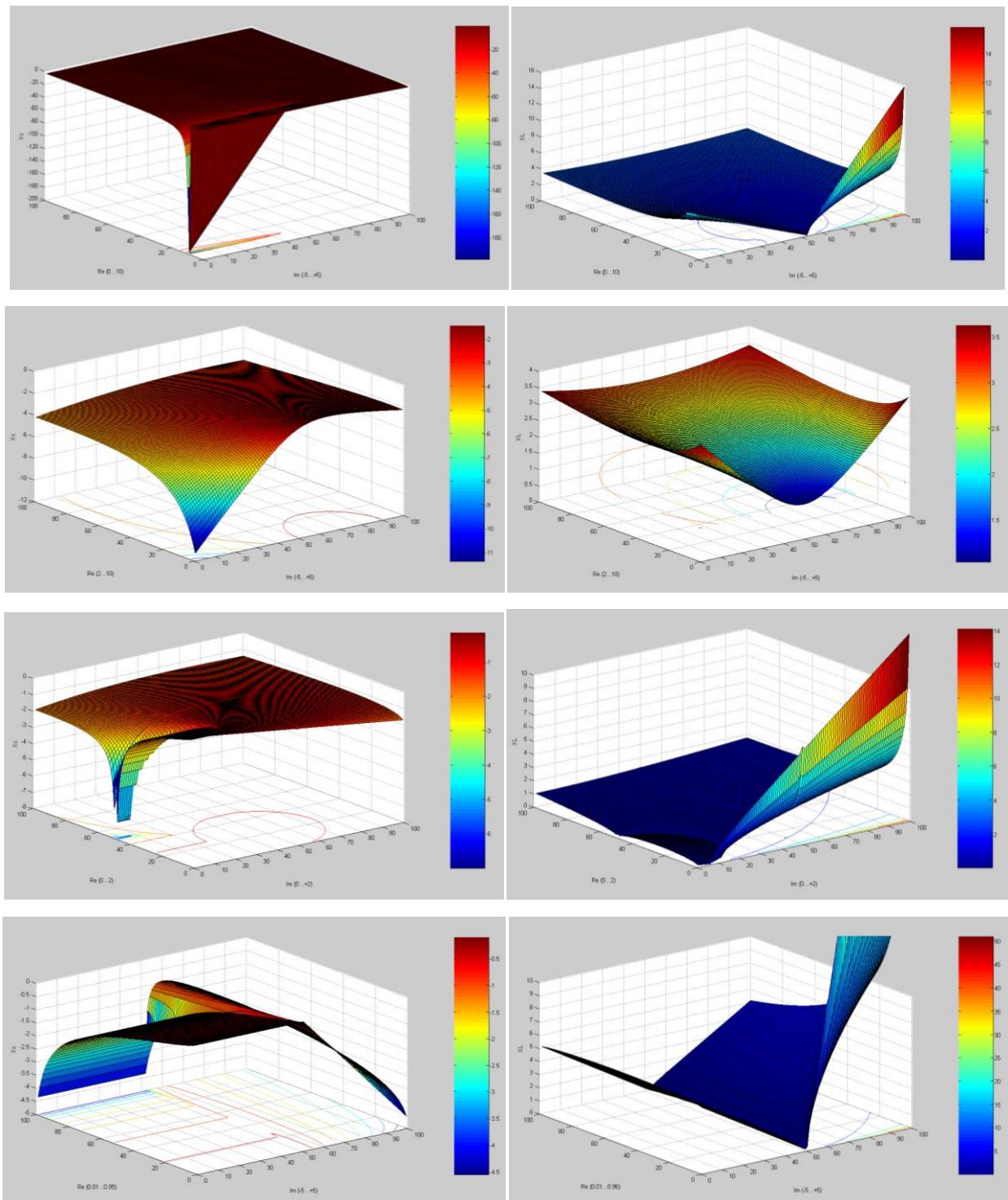
1 | function ZL = LC_print_XL(Za,m,n)
2 | % Построение путем трансформации СУ
3 |
4 | global ZANT;
5 | Za=ZANT;
6 |
7 | for n=1:100
8 | n=0+n;
9 | for m=1:100
10| Ra=0; Xa=-0.5; m=0+m; Ra=Ra+0.02*m; Xa=Xa+0.02*(n-0.001); global ZANT; ZANT=Ra+Xa*i;
11| ZL(m,n) = LC_trans_XL(ZANT);
12| ImZL=imag(ZL);
13| end
14| end
15| y=n; x=m;
16| [x,y]=meshgrid([1:1:100]);
17| z=ImZL;
18| mesh(x,y,z);
19| surf(x,y,z);
20| axis ([0 100 0 100 0 4]);
21| colorbar;
22| XLabel('Im (-0.5...+1.5)'); YLabel('Re (0...2)');
23| ZLabel('XL');

```

Рис. 4. Фрагмент программы для построения графика значений $XL = f(Za)$

Глобальная переменная ZANT (сопротивление антенны) является общей для используемых функций. Через эту переменную в строке 11 программа обращается к функции расчета $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$, рассмотренной ранее. Показанный фрагмент формирует массив значений XL : 100x100x100 значений и выводит его на печать.

На рисунке 5 представлены графики функций $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$.



a) $XC = f(Za)$

b) $XL = f(Za)$

Рис. 5. Графики функций $XC = f(Za)$ и $XL = f(Za)$

Эти графики, построенные в разных масштабах и на разных участках аргумента позволяют детально рассмотреть исследуемые зависимости.

По результатам моделирования этих схем могут быть сделаны следующие выводы:

1. Область определения аргумента Za – правая полуплоскость ($Ra > 0$).
2. Область определения аргумента Za делится на две части: для схемы (e) – модель 0 (L-C-Za), и для схемы (a) – модель 1 (C-L-Za).
3. Модель 0 охватывает правый верхний квадрант плоскости, за исключением верхней части полукруга радиуса 0.5 с центром в точке 0.5, и часть правого нижнего квадранта, лежащую правее линии $(1 - iXa)$.
4. Модель 1 охватывает остальную часть правой полуплоскости.
5. Функция $XL = f(Za)$ разрывов не имеет. При подходе аргумента к границе раздела (к верхней полуокружности) индуктивность уменьшается до нуля, после чего начинает возрастать уже в другой схеме включения.
6. Функция $XC = f(Za)$ имеет аналогичный характер. При подходе аргумента к границе (к линии переключения) емкость уменьшается до нуля, после чего начинает возрастать уже в другой схеме включения.
7. В верхнем квадранте на границе переключения работает только емкость (при этом $L = 0$), В нижнем квадранте на границе переключения работает только индуктивность (при этом $C = 0$). В остальной области работают оба элемента.

Список литературы

1. Коротковолновые антенны / Под ред. Г.З. Айзенберга – М.: Радио и связь, 1985. – 536 с.
2. Алексеев О.В. Проектирование радиопередающих устройств с применением ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1987.
3. Горбаченко В.И. Вычислительная линейная алгебра с примерами на MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 320 с.

4. Ротхаммель К. Антенны. – М.: Энергия, 1969. – 312 с.
5. Черных И. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: Питер, 2007. – 288 с.
6. Шишаков К.В. Расчет и повышение эффективности основных параметров радиолиний с укороченными вибраторными антеннами КВ и УКВ диапазонов / К.В. Шишаков, М.А. Бояршинов, Караваев П.В. [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – №4. – С. 16–25.