

Вербя 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 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, антенна, импеданс, реактанс, 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 встретятся эти нежелательные свойства. Поэтому рекомендуется выбирать более простые схемы. Возможные варианты схем на двух реактивных сопротивлениях, пути и области трансформации показаны на рисунке 1.

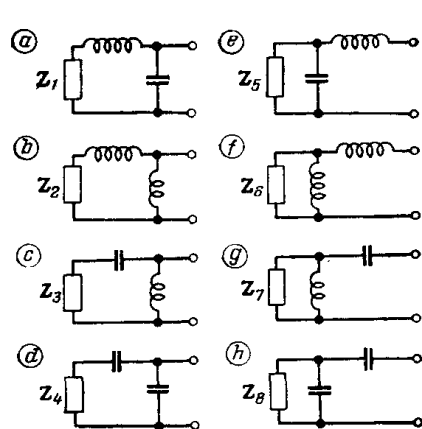


Рис. 3-58. Схемы с двумя реактивными сопротивлениями.

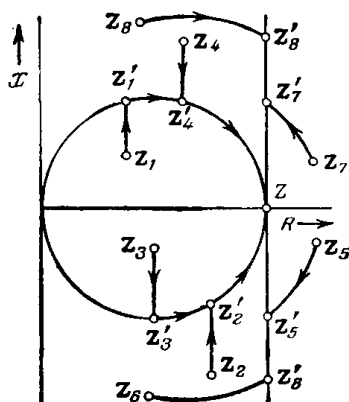


Рис. 3-59. Пути трансформации для схем с двумя реактивными сопротивлениями.

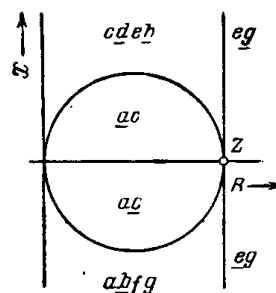


Рис. 3-60. Области трансформации.

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, g). В САУ на дискретно коммутируемых элементах схемы (а, е) применяются часто, тогда как схемы (с, g) 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.

```

1 function z = LC_trans(t)
2 % Построение пути трансформации CY
3
4 t = 0:pi/50:2*pi;
5 t = 0:pi/50:2*pi; z=1/2+1/2*exp(i*t);
6 plot(z),grid; axis square; axis([-0.01 3.01 -1.51 1.51]); title('Путь трансформации CY'); hold on;
7
8 Za=2+1*i;
9
10 x1=0.000001; y1=-0.000001; x2=real(Za); y2=imag(Za); x3=real(Za); y3=-imag(Za);
11 x0=-1/2*(y1*(x2^2+y2^2-x3^2-y3^2)+y2*(x3^2+y3^2-x1^2-y1^2)+y3*(x1^2+y1^2-x2^2-y2^2))/(x1*(y2-y3)+x2*(y3-y1)+x3*(y1-y2));
12 y0=1/2*(x1*(x2^2+y2^2-x3^2-y3^2)+x2*(x3^2+y3^2-x1^2-y1^2)+x3*(x1^2+y1^2-x2^2-y2^2))/(x1*(y2-y3)+x2*(y3-y1)+x3*(y1-y2));
13 q1=x1+y1*i; q2=x2+y2*i; q3=x3+y3*i; q0=x0+y0*i;
14
15 t = 0:pi/50:2*pi;
16 t = 0:pi/50:2*pi; z=q0+q0*exp(i*t); plot(z);
17
18 if abs(q0)<=1/2 model=1; elseif imag(q2)<=0 model=1;
19 else model=0; end
20 if real(q2)<=1 elseif imag(q2)<=0 model=0; end
21
22 plot(q1,'g'); plot(q2,'g'); plot(q3,'g'); plot(q0+0.00000001*i,'g');
23 Zc2=x2+y2*i;
24
25 if model==0
26 Im=-x0*sin(acos((1-q0)/q0)); Re=1; Zr=Re+Im*i;
27 Zli=0-Im*i;
28 Z3i=1/(1/(1-Zli)-1/Zc2); Rez=Zli+(Z3i*Zc2)/(Z3i+Zc2);
29
30 plot(Zr,'bo'); plot(Zc2,'go'); plot(Zli,'yo'); plot(Z3i,'mo'); plot(Rez+0.0001*i,'ro');
31
32 k=menu('Data', sprintf('Za : Re=%g Im=%g',real(Za),imag(Za)), 'CY : L-C-Za', sprintf('XL = %g',imag(Zli)), ...
33 sprintf('XC = %g',imag(Z3i)), 'Help', sprintf('Zr : Re=%g Im=%g',real(Zr),imag(Zr)), ...
34 sprintf('Zli : Re=%g Im=%g',real(Zli),imag(Zli)), sprintf('Z3i : Re=%g Im=%g',real(Z3i),imag(Z3i)), ...
35 sprintf('Rez : Re=%g Im=%g',real(Rez),imag(Rez)), sprintf('Model : %q',model), 'Exit'); end
    
```

```

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

```

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

Соппротивление 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 (a), (e) для $Za = 2 + i \times 1$ представлены на рисунке 3.

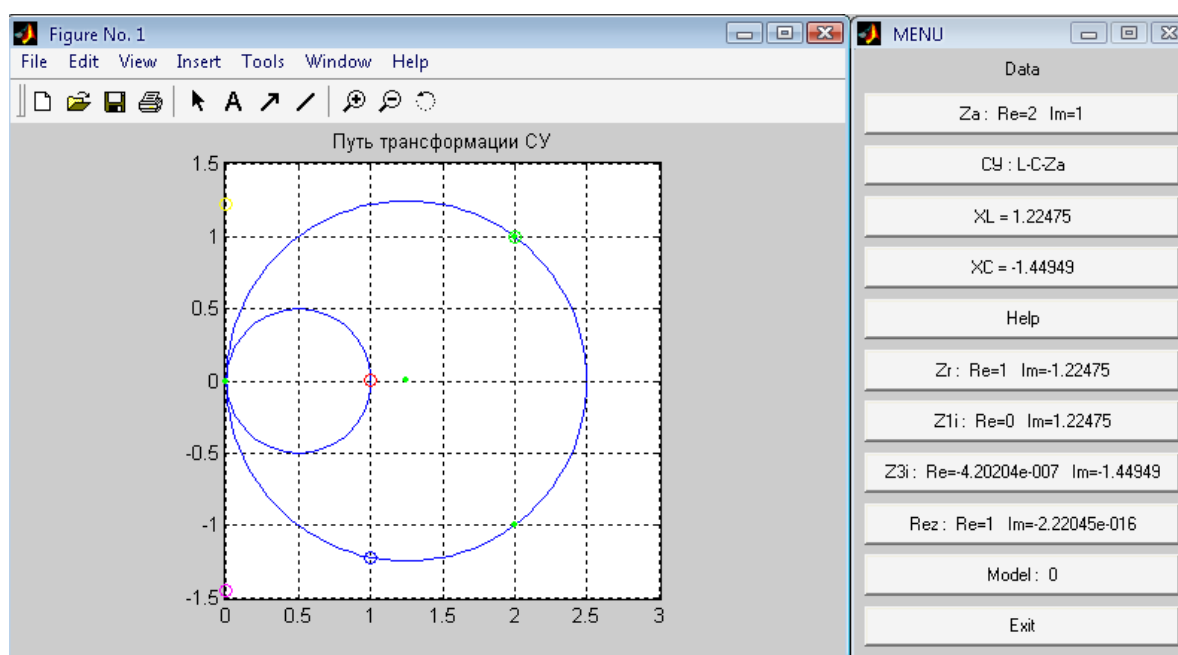


Рис. 3. Результаты расчета значений $XL = f(Za)$ и $XC = f(Za)$

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 (e) – вариант CY 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.

Желеым маркером на графике отмечено значение XL, сиреневым – XC. Аргумент Z_a и расчетные данные – тип СУ, величины XL и XC выводятся в таблицу MENU, расположенную справа от графика.

Данная прогамма может использоваться в качестве калькулятора при отладке СУ, а также для целей интерполяции, экстраполяции и предсказания на основе результатов измерения пераметров 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 Z_a должны быть вычислены поправочные коэффициенты для определения XL и XC.

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

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

```

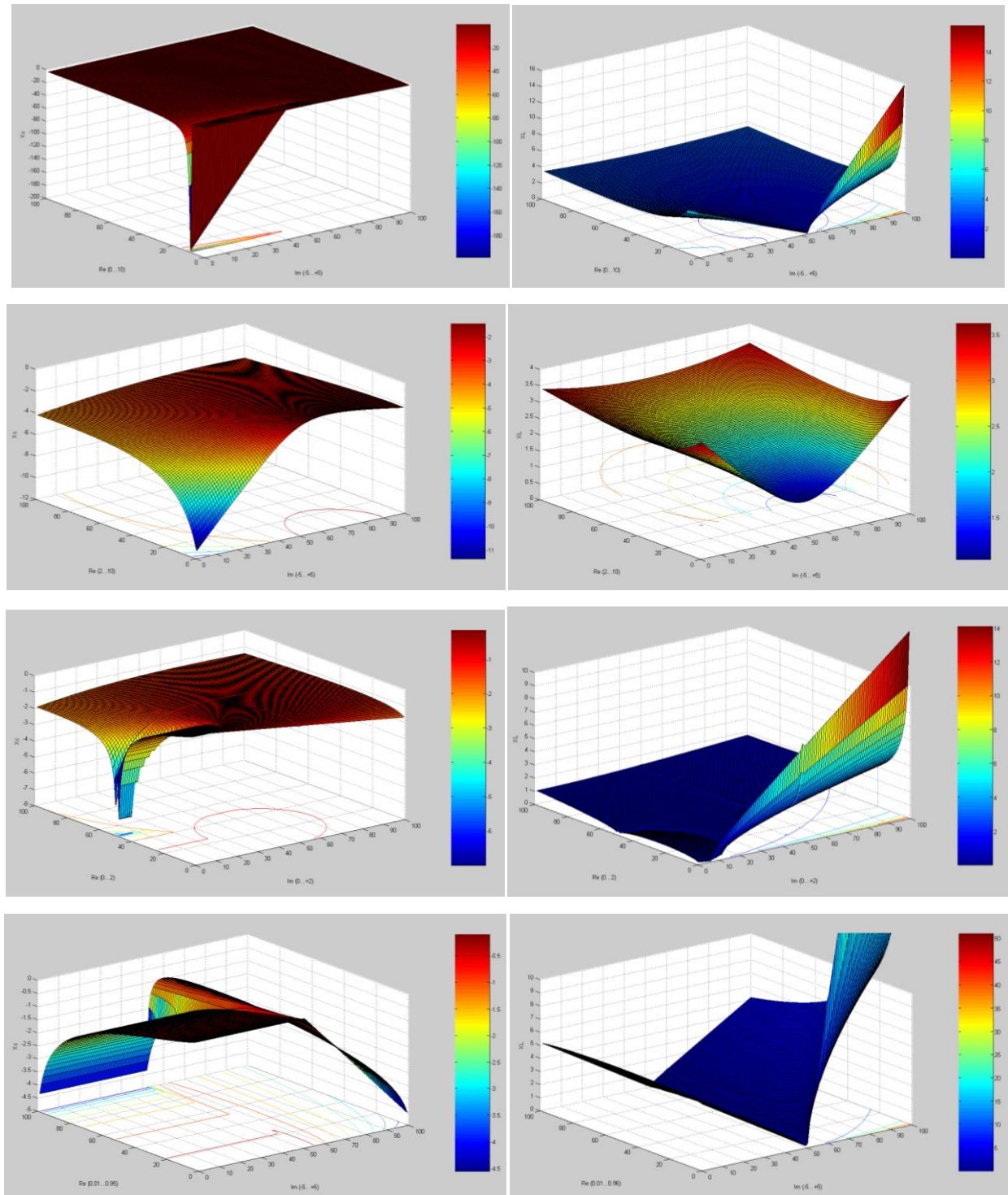
1 function ZL = LC_print_XL(Za,m,n)
2 % Построение пути трансформации СУ
3
4 global ZANT
5 Za=ZANT;
6
7 for n=1:100
8     n=0+n;
9     for m=1:100
10        Ra=0; Xa=0.5; m=0+m; Ra=Ra+0.02*m; Xa=Xa+0.02*(n-0.001); global ZANT, ZANT=Ra+Xa*i;
11        ZL(m,n) = LC_trans_XL(ZANT);
12        ImZL=imag(ZL);
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 $XL = f(Z_a)$

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 $XC = f(Za)$.



а) $X_C = f(Z_a)$

б) $X_L = f(Z_a)$

Рис. 5. Графики функций $X_C = f(Z_a)$ и $X_L = f(Z_a)$

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 Z_a – правая полуплоскость ($\text{Re } Z_a > 0$).
2. Область определения аргумента Z_a делится на две части: для схемы (е) – модель 0 (L-C- Z_a), и для схемы (а) – модель 1 (C-L- Z_a).
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 $(1 - iX_a)$.
4. Модель 1 охватывает остальную часть правой полуплоскости.
5. Функция $X_L = f(Z_a)$ 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 $X_C = f(Z_a)$ 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.