

**Задание №2****Расчет установившегося синусоидального режима.**

1. Для заданных  $2^x$ -полюсников "1", "2", "3" при питании от источника синусоидального напряжения на частоте, соответствующей варианту, определить функции времени мгновенных значений токов в ветвях, а также показания приборов электродинамической системы (действующие значения).

2. Для каждой схемы построить векторные диаграммы токов и напряжений, продемонстрировав выполнение законов Кирхгофа в векторной форме.

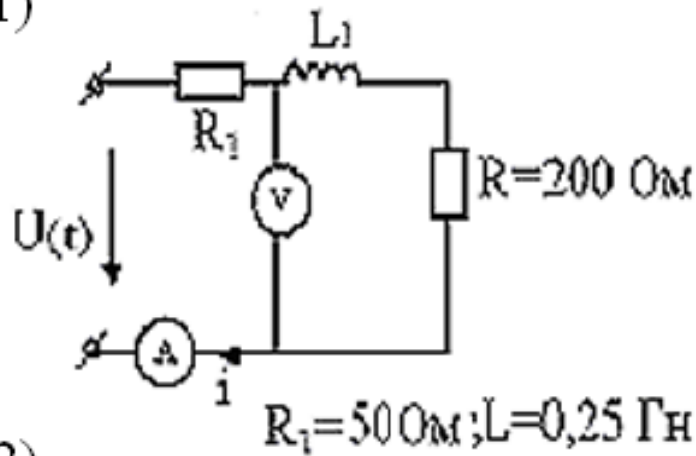
3. Определить активные мощности, потребляемые  $2^x$ -полюсниками на заданной частоте.

4. Выполнить компьютерное моделирование каждого двухполюсника, определить комплексные и мгновенные значения токов в ветвях, измерить активную мощность.

5. Для схем "1" и "2" получить частотные зависимости модуля комплексного входного сопротивления  $|Z_{вх.}(\omega)|$ , построить график  $|Z_{вх.}(\omega)|$  в частотном диапазоне  $0 \leq f \leq 10$  кГц.

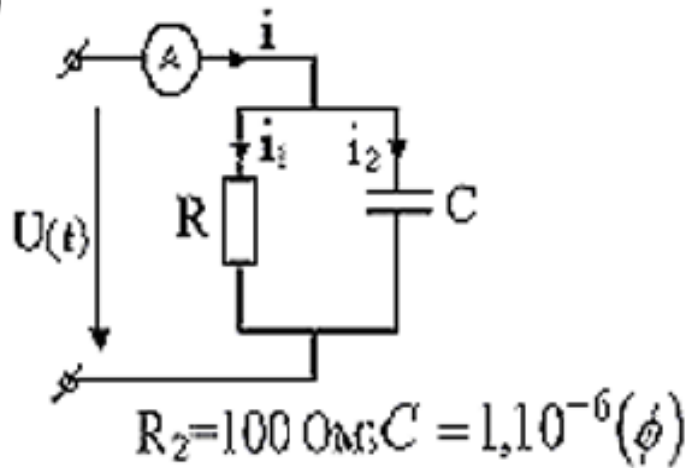
6. Для схем «1» и «2» выполнить компьютерное моделирование и получить графики модуля и фазы комплексного входного сопротивления.

1)

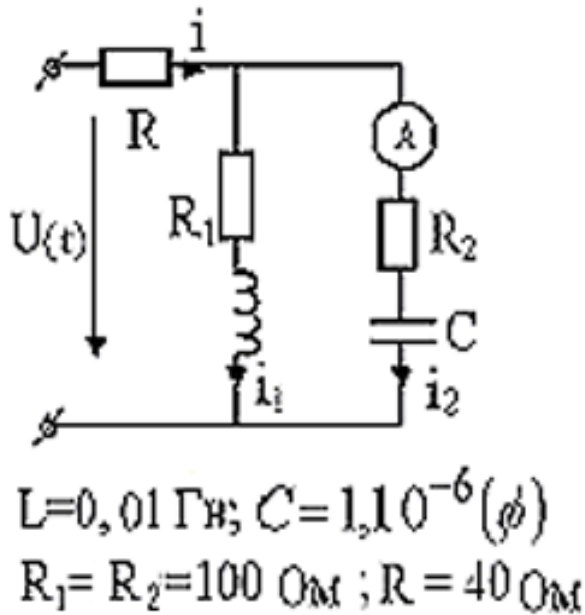


$$U(t) = 200 \sin(\omega t + \alpha) (\beta)$$

2)

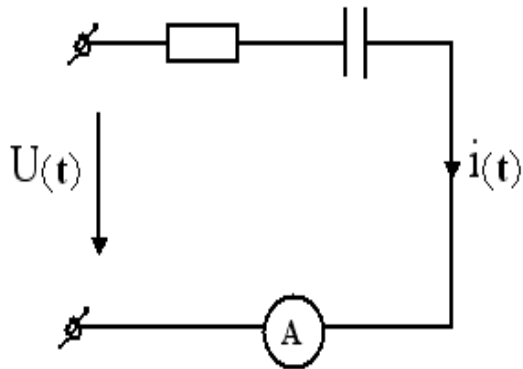


3)



$N_{\Sigma}$ бр.	$\omega (\text{рад/с})$	$\alpha (\text{рад})$
1	2000	0
11	2500	90
21	4000	45
31	5000	90
41	8000	0
51	10000	0
61	12500	45
71	20000	30
81	25000	30
91	40000	0
101	50000	30
111	7500	0

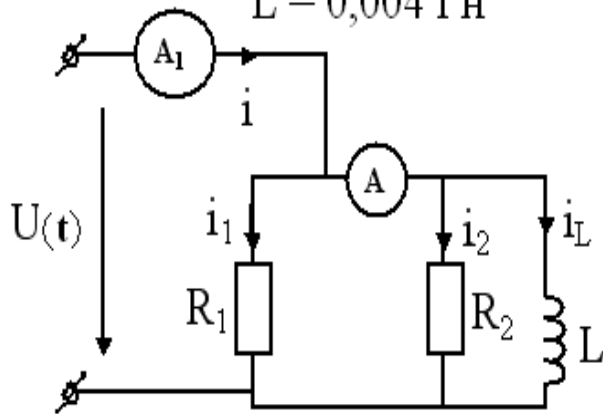
1)  $R_2=100\text{OM}; C=1,10^{-6}(\phi)$



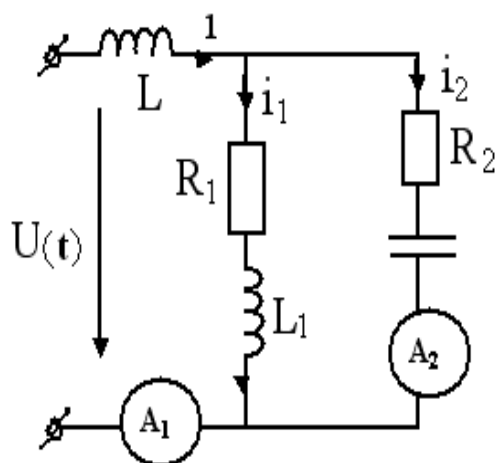
$$U(t)=200\sin(\omega t+\alpha)$$

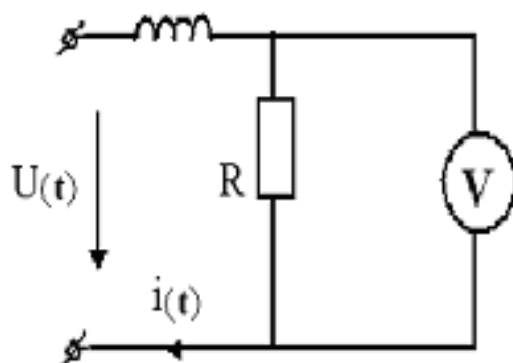
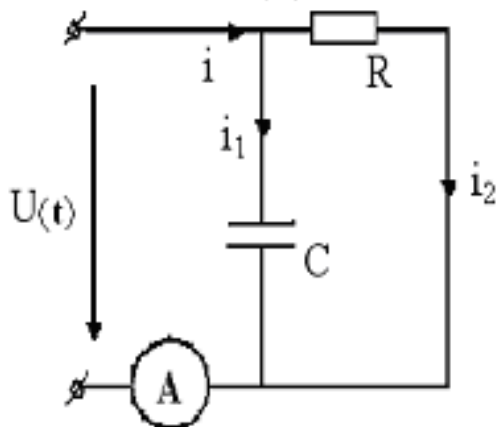
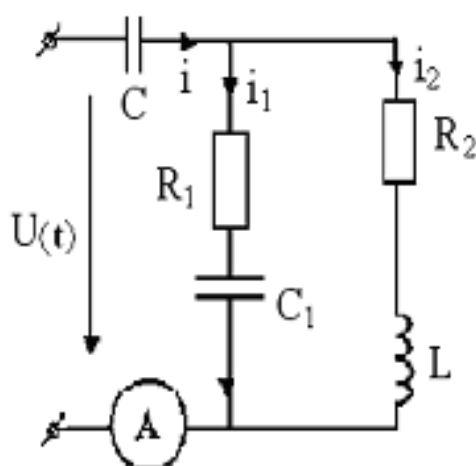
$N_0$ вр.	$\omega$ (рад/с)	$\alpha$ (град)
2	2000	0
12	2500	90
22	4000	45
32	5000	90
42	8000	0
52	10000	0
62	12500	45
72	20000	90
82	25000	30
92	40000	0
102	50000	-30
112	7500	0

2)  $R_1=50\text{OM}; R_2=200\text{OM};$   
 $L=0,004\text{ГН}$



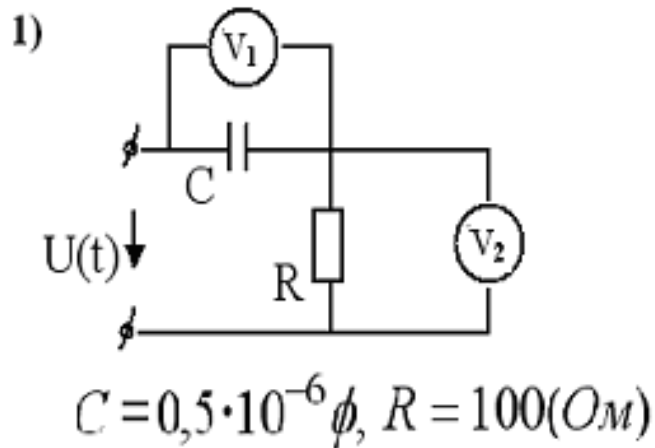
3)  $L=0,01\text{ГН}; C=1,10^{-6}(\phi)$   
 $R_1=R_2=100\text{OM}; L=0,02\text{ГН}$



1)  $R=100\text{OM}$ 2)  $C_1=1,10^{-6}(\phi)$ ;  $R=200\text{OM}$ 3)  $L=0,01\text{ ГН}$ ;  $C_1=1,10^{-6}(\phi)$   
 $R_1=R_2=100\text{OM}$   $C_1=2,10^{-6}(\phi)$ 

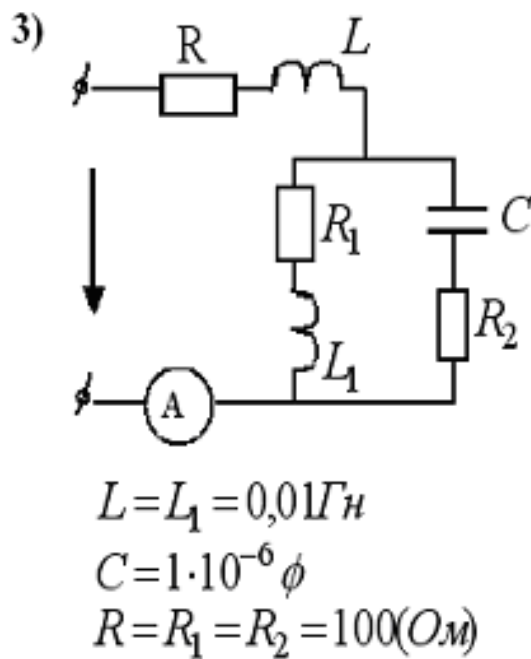
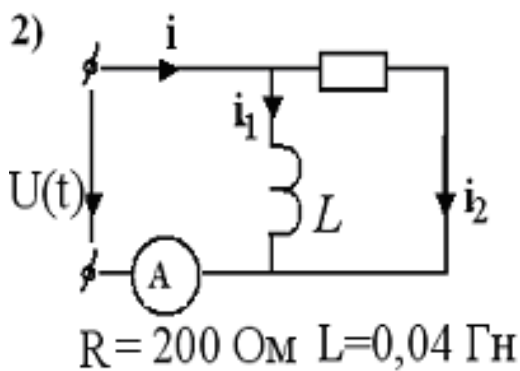
$$U(t)=200 \sin(\omega t+\alpha) \text{ (D)}$$

№ Bp.	$\omega(\text{pad}/\text{c})$	$\alpha(\text{pad})$
3	10000	90
13	3000	0
23	4000	45
33	5000	0
43	2500	90
53	2000	-45
63	12500	0
73	20000	0
83	25000	30
93	40000	-30
103	50000	0
113	7500	0

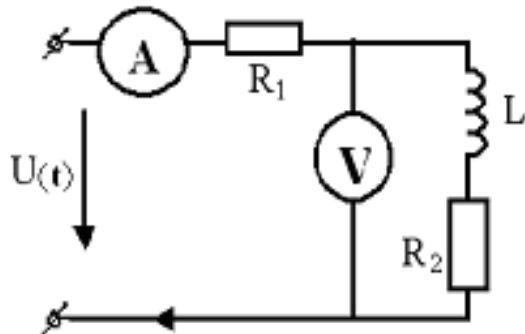


$$U(t) = 240 \sin(\omega t + \alpha)$$

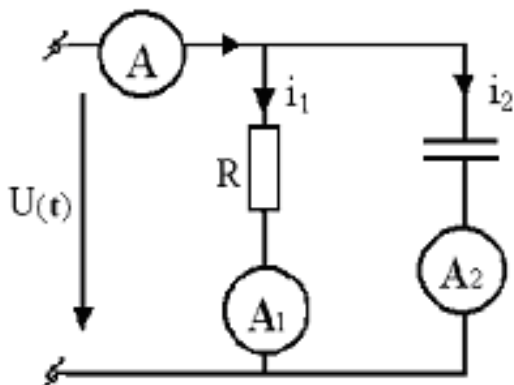
№ вар	$\omega \left( \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$	$\alpha$ (град)
4	2000	$0^{\circ}$
14	2500	$0^{\circ}$
24	4000	$-30^{\circ}$
34	5000	$30^{\circ}$
44	8000	$45^{\circ}$
54	10000	$90^{\circ}$
64	12500	$0^{\circ}$
74	25000	$0^{\circ}$
84	40000	$90^{\circ}$
94	50000	$-90^{\circ}$
104	20000	$0^{\circ}$
114	7500	$0^{\circ}$



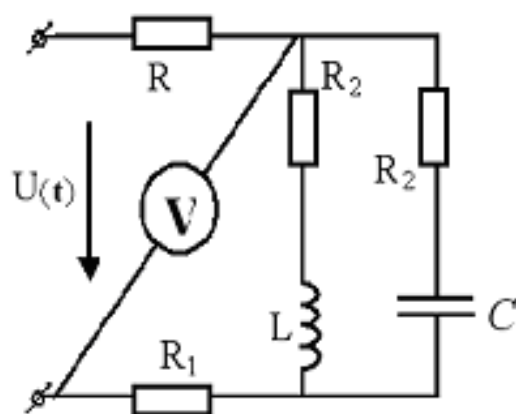
1)  $R_1 = R_2 = 50 \text{ Ом}; L = 0,02 \text{ Гн}$



2)  $C = 2 \cdot 10^{-6} (\phi); R = 50 \text{ Ом}$



3)  $L_1 = 0,01 \text{ Гн}; C = 1,10^{-6} (\phi)$   
 $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}; R = 50 \text{ Ом}$

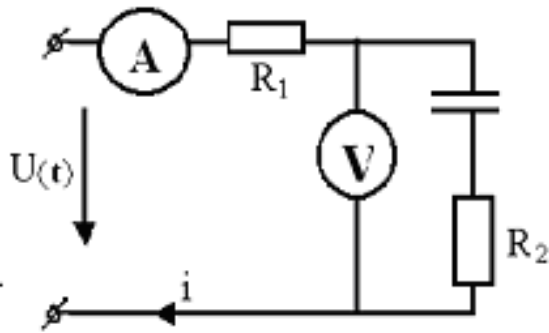


$$U(t) = 200 \sin(\omega t + \alpha)$$

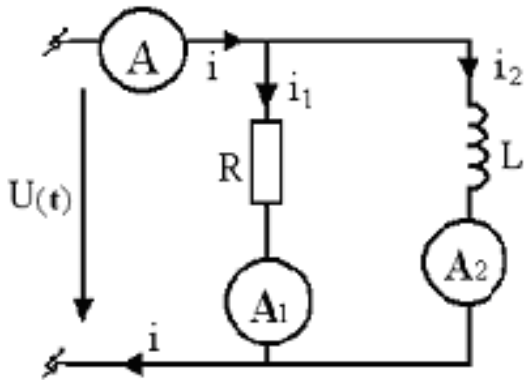
$N_0$ ВР.	$\omega$ (рад / с)	$\alpha$ (град)
5	2500	90
15	10000	0
25	4000	45
35	5000	90
45	8000	0
55	2000	45
65	12500	0
75	20000	30
85	25000	90
95	40000	-30
105	50000	0
115	7500	0

1)  $R_1 = R_2 = 50 \text{ OM}; C = 5 \cdot 10^{-6}(\phi)$

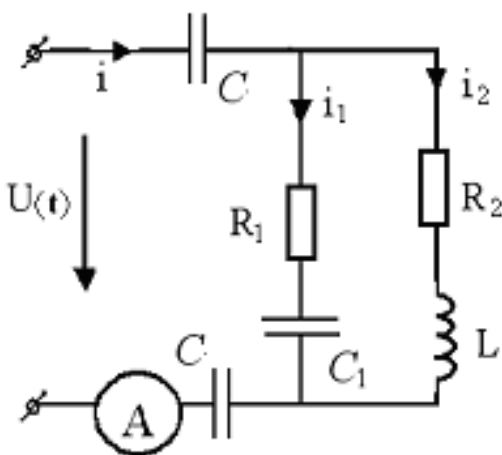
$U(t) = 400 \sin(\omega t + \alpha)$



2)  $L = 5 \cdot 10^{-6} \text{ ГН}; R = 50 \text{ OM}$

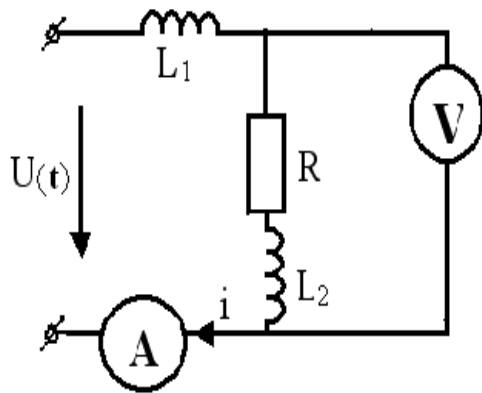


3)  $L_1 = 0,01 \text{ ГН}; C = 1,1 \cdot 10^{-6}(\phi)$   
 $C = 1,1 \cdot 10^{-6}(\phi); R_1 = R_2 = 100 \text{ OM}$

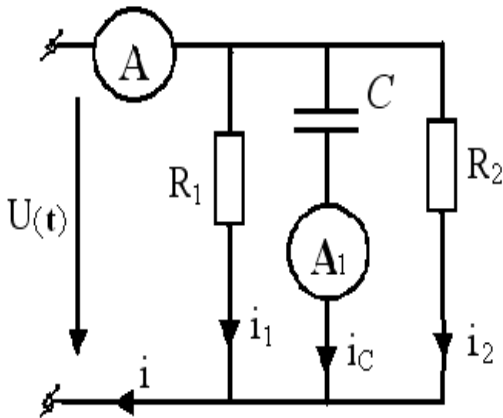


№ бр.	$\omega(\text{рад} / \text{с})$	$\alpha(\text{град})$
6	2000	0
16	2500	90
26	4000	45
36	5000	0
46	8000	-45
56	10000	0
66	12500	30
76	20000	-30
86	25000	90
96	40000	0
106	50000	0
116	7500	0

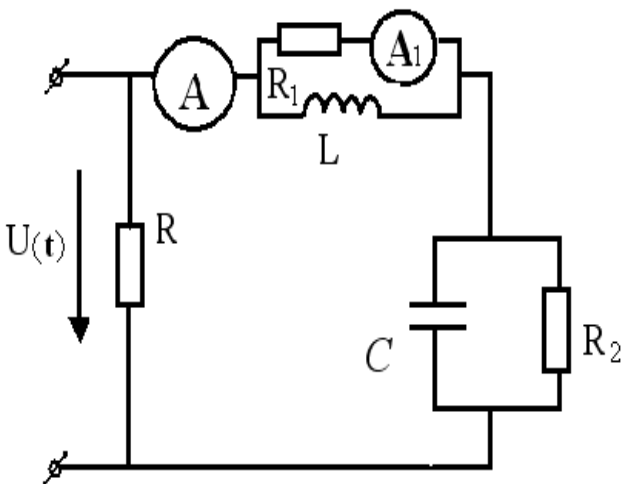
1)  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L_1 = 0,01 \text{ Гн}$ ,  $L_2 = 0,02 \text{ Гн}$



2)  $R_1 = R_2 = 200 \text{ Ом}$ ,  $C = 1,1 \cdot 10^{-6} (\phi)$



3)  $L = 0,01 \text{ Гн}$ ;  $C = 1,1 \cdot 10^{-6} (\phi)$   
 $R = R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$

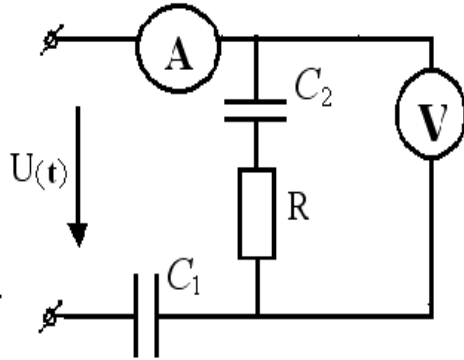


$$U(t) = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha)$$

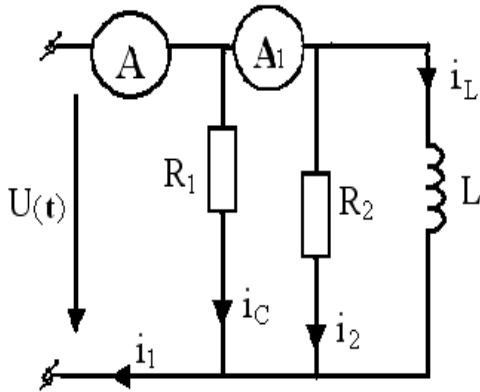
$N_0$ вр.	$\omega$ (рад / с)	$\alpha$ (град)
7	2000	0
17	2500	90
27	4000	45
37	10000	0
47	8000	-45
57	10000	0
67	12500	30
77	20000	-30
87	25000	90
97	40000	0
107	50000	0
117	7500	0



$$1) R = 100 \text{ Ом}; C_2 = C_1 = 2,10^{-6} (\phi)$$

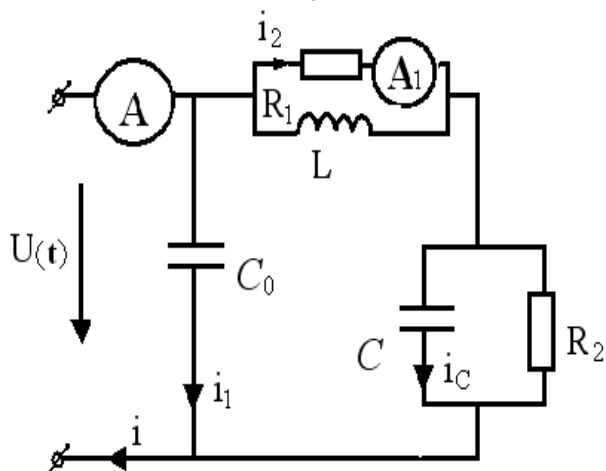


$$2) R_1 = R_2 = 200 \text{ Ом}, C = 1,10^{-6} (\phi)$$



$$3) L = 0,01 \text{ Гн}; C = 1,10^{-6} (\phi)$$

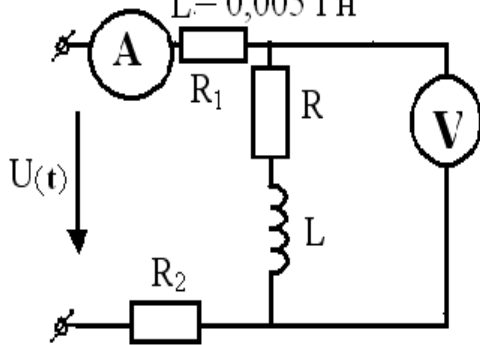
$$R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом} C_0 = 2,10^{-6} (\phi)$$



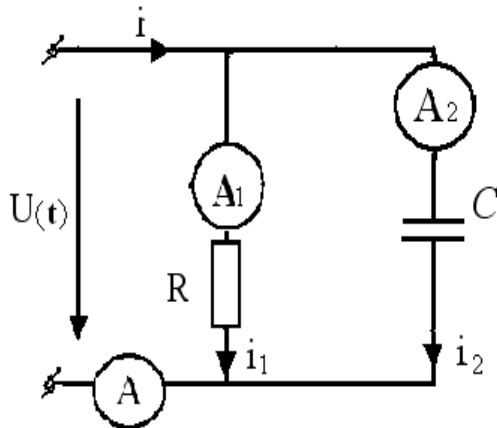
$$U(t) = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha)$$

$N_0$ Бр.	$\omega$ (рад/с)	$\alpha$ (град)
8	10000	0
18	8000	45
28	5000	90
38	4000	-90
48	2500	0
58	8000	30
68	7500	-30
78	12500	60
88	20000	-60
98	25000	0
108	40000	0
118	50000	0

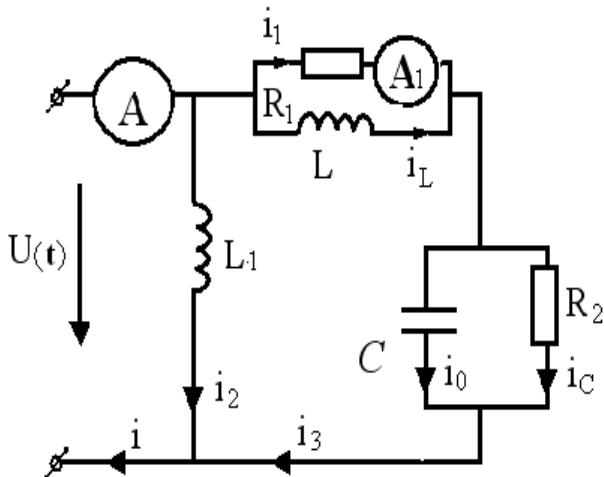
- 1)  $R_1 = R_2 = 25 \text{ Ом}; R = 50 \text{ Ом};$   
 $L = 0,005 \text{ Гн}$



- 2)  $R = 200 \text{ Ом}, C = 0,5 \cdot 10^{-6} (\phi)$



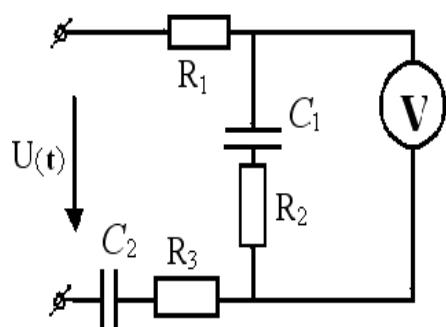
- 3)  $L = 0,01 \text{ Гн} \quad C = 1,10^{-6} (\phi)$   
 $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}; L_1 = 0,005 \text{ Гн}$



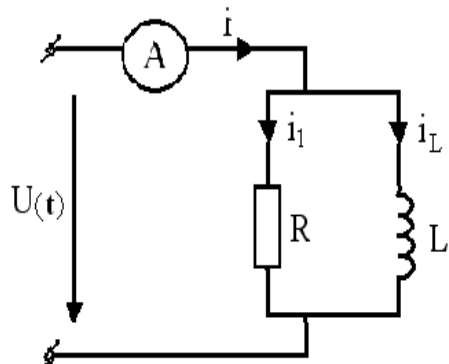
$$U(t) = 200\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha) \text{ В}$$

$N_{\text{вп.}}$	$\omega (\text{рад/с})$	$\alpha (\text{град})$
9	8000	30
19	7500	60
29	5000	-60
39	4000	120
49	16000	0
59	10000	0
69	12500	90
79	20000	-90
89	16000	0
99	25000	45
109	40000	0
119	4500	0

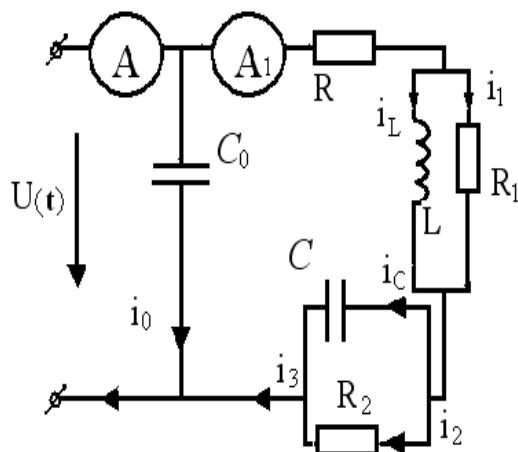
- 1)  $C_2=2 \cdot 10^{-6} \text{Ф}; C_1=0,5 \cdot 10^{-6} \text{Ф}; R_2=R_3=150 \text{ом};$   
 $R_1=100 \text{ом}$



- 2)  $R=100 \text{ом}; L=0,01 \text{Гн}$



- 3)  $L=0,01 \text{Гн}; C=1 \cdot 10^{-6} \text{Ф}; R=R_1=R_2=100 \text{ом};$   
 $C_0=0,5 \cdot 10^{-6} \text{Ф}$



$$U(t) = 400\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha)$$

№ вр.	$\omega$ (рад / с)	$\alpha$ (град)
10	10000	30
20	12500	45
30	20000	90
40	25000	0
50	40000	0
60	5000	-45
70	2000	60
80	2500	-30
90	7500	-90
100	4000	0
110	5000	0
120	8000	0

### ПРИМЕР 1

Проведем выполнение 3<sup>х</sup> первых пунктов расчетного задания для цепи, изображенной на рис. 6 .

Дано:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + \alpha) = 360\sqrt{2} \sin(1000t + 34^\circ) \text{ В}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 100 \text{ Ом} \\ R_2 &= 200 \text{ Ом} \\ L_1 &= 0,04 \text{ Гн} \\ L_2 &= 0,02 \text{ Гн} \\ C &= 50 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \end{aligned}$$

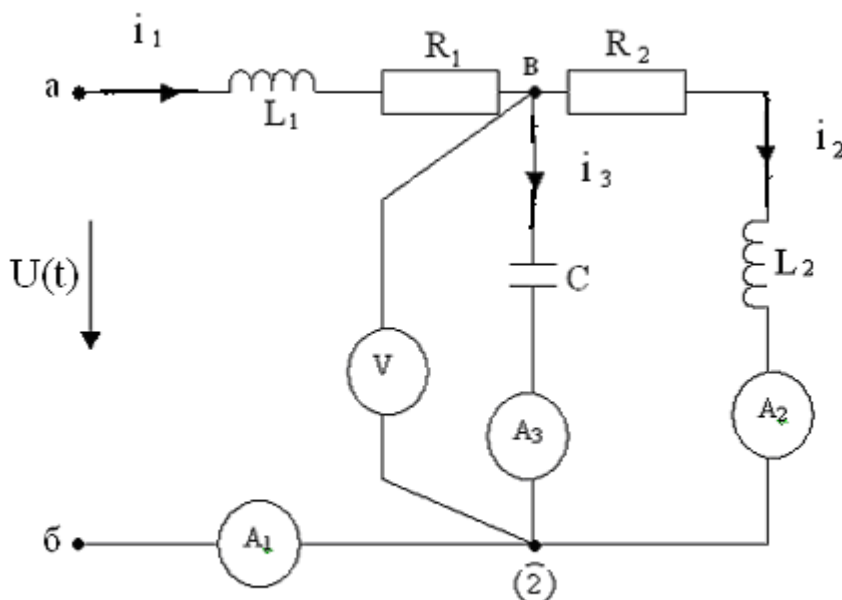


Рис. 6

## РЕШЕНИЕ

1. Комплекс действующего значения входного напряжения:

$$\dot{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\alpha} = 360 e^{j34^\circ} \text{ В.}$$

2. Комплексные сопротивления всех пассивных элементов цепи:

$$Z_{R1} = R_1 = 100 \text{ Ом}; \quad Z_{R2} = R_2 = 200 \text{ Ом};$$

$$Z_{L1} = j\omega L_1 = j \cdot 1000 \cdot 0,04 = j400 \text{ Ом};$$

$$Z_{L2} = j\omega L_2 = j200 \text{ Ом};$$

$$Z_C = -j \frac{1}{\omega C} = -j \frac{1}{1000 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = -j200 \text{ Ом.}$$

3. Символическая расчетная модель цепи приведена на рис.7, где  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{U}$  - комплексы действующего значения. Идеальные измерительные приборы на рис. 7 не показаны.

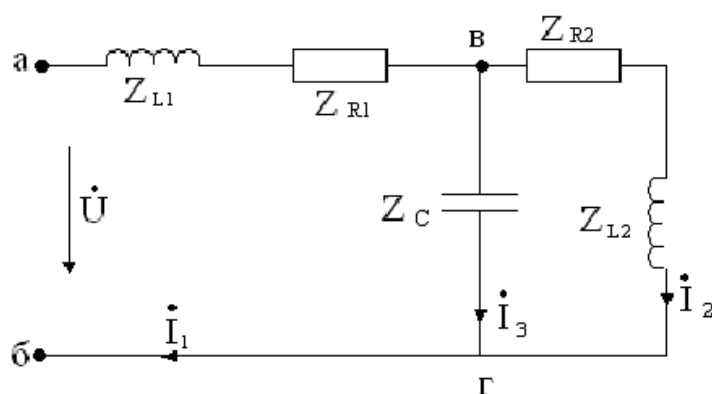


Рис. 7

## 4. Расчет символической модели.

Полное комплексное входное сопротивление по отношению к зажимам «аб» (рис.7):

а)  $Z_{a\bar{b}} = Z_{L1} + Z_{R1} + Z_{\bar{e}z}$ , где

$$Z_{\bar{e}z} = \frac{(Z_{R2} + Z_{L2}) \cdot Z_C}{(Z_{R2} + Z_{L2}) + Z_C} = \frac{(20 + j20) \cdot (-j20)}{20 + j20 - j20} = 20 - j20 = 20\sqrt{2}e^{-j45^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_{a\bar{b}} = 10 + j40 + 20 - j20 = 30 + j20 \cong 36e^{j34^\circ} \text{ Ом.}$$

б) Комплекс действующего значения тока  $\dot{I}_1$ :

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_1 / Z_{a\bar{b}} = \frac{360e^{j34^\circ}}{36e^{j34^\circ}} = 10e^{j0} \text{ А.}$$

в) Комплекс напряжения  $\dot{U}_{\bar{e}z}$

$$\dot{U}_{\bar{e}z} = \dot{I}_1 \cdot Z_{\bar{e}z} = 10e^{j0} \cdot 20\sqrt{2}e^{-j45^\circ} = 200\sqrt{2}e^{-j45^\circ} \text{ В}$$

г) Токи в параллельных ветвях

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{\bar{e}z}}{Z_{R2} + Z_{L2}} = \frac{200\sqrt{2}e^{-j45^\circ}}{20 + j20} = 10e^{-j90^\circ} \text{ А.};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{\bar{e}z}}{Z_C} = \frac{200\sqrt{2}e^{-j45^\circ}}{-j20} = \frac{200\sqrt{2}e^{-j45^\circ}}{20e^{-j90^\circ}} = 10\sqrt{2}e^{+j45^\circ} \text{ А.}$$

5. Найденным комплексам токов соответствуют синусоидальные функции времени:

$$i_1(t) = 10\sqrt{2}\sin(1000t + 0^\circ)A,$$

$$i_2(t) = 10\sqrt{2}\sin(1000t - 90^\circ)A,$$

$$i_3(t) = 20\sin(1000t + 45^\circ)A.$$

6. Показания приборов равны модулям найденных комплексов действующего значения:

$$\textcircled{A_1} \rightarrow I_1 = 10A,$$

$$\textcircled{A_2} \rightarrow I_2 = 10A,$$

$$\textcircled{A_3} \rightarrow I_3 = 10\sqrt{2}A,$$

$$\textcircled{V} \rightarrow U_{\text{БГ}} = 200\sqrt{2}В.$$

7. Активная мощность, потребляемая от источника:

$$P = U \cdot I_1 \cos(34^\circ - 0^\circ) = 360 \cdot 10 \cdot 0,83(3) = 3000\text{Вт}, \text{ или}$$

$$P = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 = 10^2 \cdot 10 + 10^2 \cdot 20 = 3000\text{Вт}$$

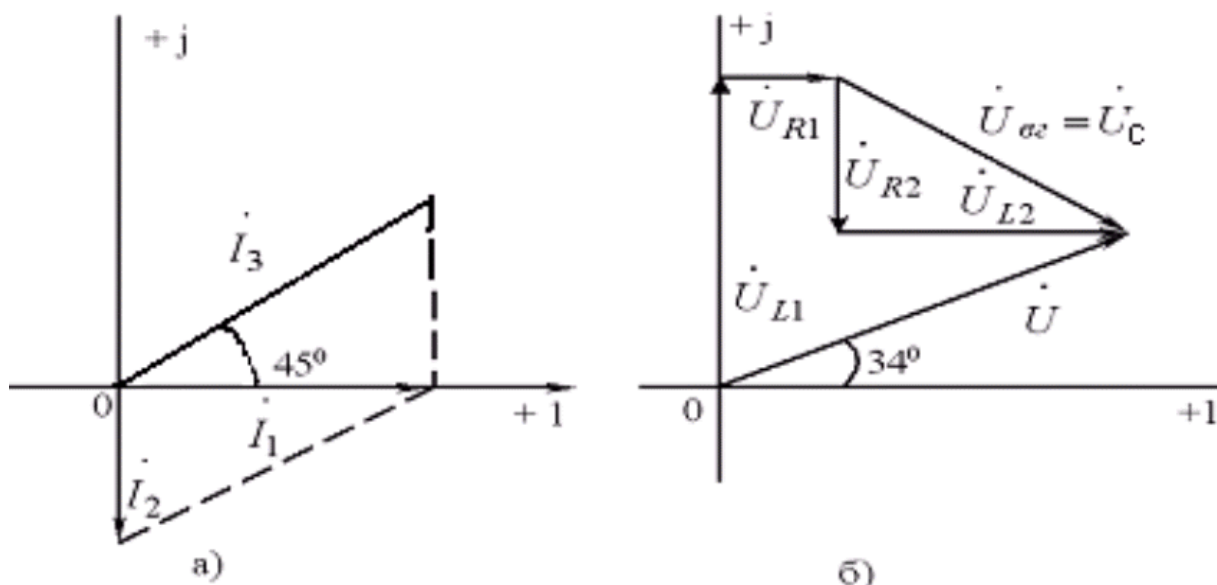


Рис. 8

8. Для данной цепи справедлива система уравнений Кирхгофа в комплексной форме:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$$

$$\dot{U} = \dot{I}_1 \cdot j\omega L_1 + \dot{I}_1 R_1 + \dot{U}_{\text{сз}} = \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{R1} + \dot{U}_c$$

$$\dot{U}_{вз} = \dot{U}_c = I_2 R_2 + I_2 \cdot j\omega L_2 = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{L2}$$

Этим уравнениям соответствуют векторные диаграммы рис.8

Векторная диаграмма напряжений рис. 8, б построена с учетом предварительно найденных модулей векторов:

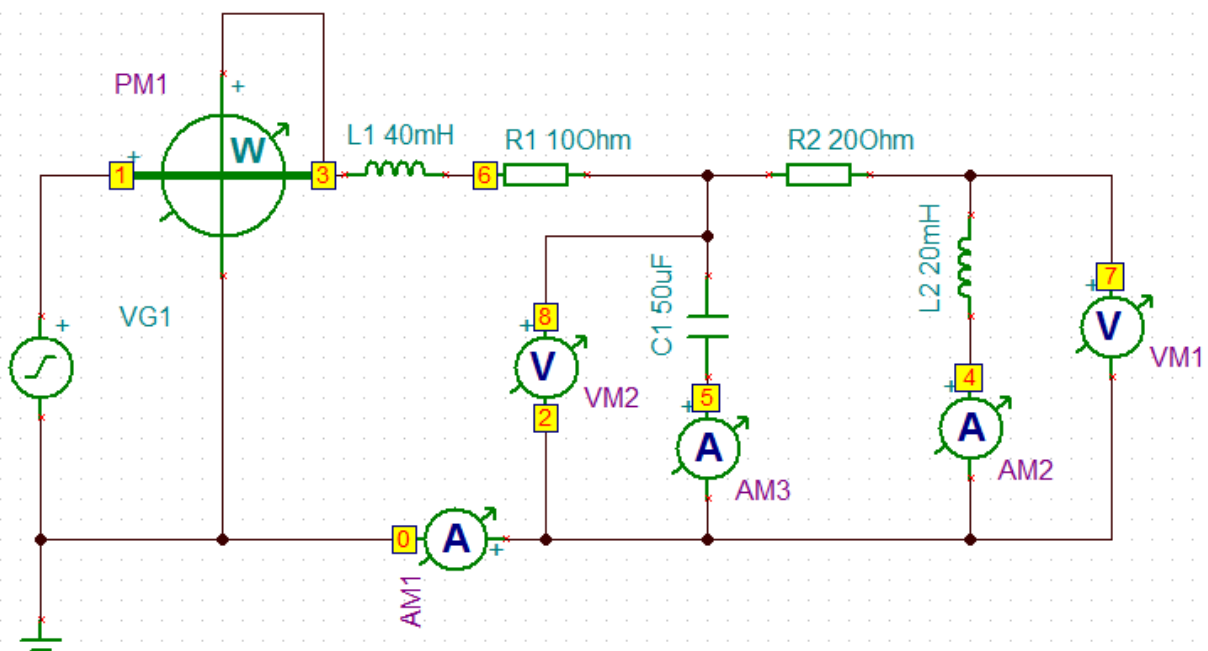
$$U_{L1} = I_1 \cdot \omega L_1 = 10 \cdot 40 = 400B,$$

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 10 \cdot 10 = 100B,$$

$$U_{R2} = I_2 \cdot R_2 = 10 \cdot 20 = 200B,$$

$$U_{L2} = I_2 \cdot \omega L_2 = 10 \cdot 20 = 200B.$$

### Компьютерное моделирование



F=159,154 Гц U<sub>m</sub>=509,117 В Φ=34 град

Variable	Value
AM1	14,12A
AM2	14,12A
AM3	19,97A
I_L1[3,6]	14,12A / 310,3m°
I_L2[4,7]	14,12A / 90,31°
I_R1[6,8]	14,12A / 310,3m°
I_R2[8,7]	14,12A / -89,69°
I_VG1[1,0]	14,12A / -179,69°
PM1	2,99kW
V_AM1[2,0]	0V / 0°
V_AM2[4,2]	0V / 0°
V_AM3[5,2]	0V / 0°
V_C1[5,8]	399,38V / 135,31°
V_L1[3,6]	564,81V / 90,31°
V_L2[4,7]	282,41V / -179,69°
V_R1[6,8]	141,2V / 310,3m°
V_R2[8,7]	282,41V / -89,69°
V_VG1[1,0]	509,12V / 34°
V_VM1[7,2]	282,41V / 310,98m°
V_VM2[8,2]	399,38V / -44,69°
VM1	282,41V
VM2	399,38V
VP_1	509,12V / 34°
VP_2	0V / 0°
VP_3	509,12V / 34°
VP_4	0V / 0°
VP_5	0V / 0°
VP_6	509,12V / -33,38°
VP_7	282,41V / 310,98m°
VP_8	399,38V / -44,69°

Show

Nodal Voltages       Currents

Other Voltages       Outputs

Cancel      Help

## ПРИМЕР 2

Получение частотной зависимости модуля комплексного входного сопротивления  $|Z_{ex}|$   $\omega$  (пункт «4» расчетного задания) показано для двухполосников рис 9,а и рис. 10, а.

А. Схема рис. 9, а ( $R = 100 \text{ Ом}$ ,  $L = 0,1 \text{ Гн}$ ,  $C = 10 \cdot 10^{-6} \text{ ф}$ )

Последовательное включение элементов данного пассивного двухполюсника позволяет сразу записать его комплексное вход-



ное сопротивление в алгебраической форме:

$$Z_{ex} = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right).$$

Его модуль:

$$|Z_{ex}| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

По полученному выражению на рис 9б построен график зависимости  $|Z_{ex}|$  от  $\omega$ .

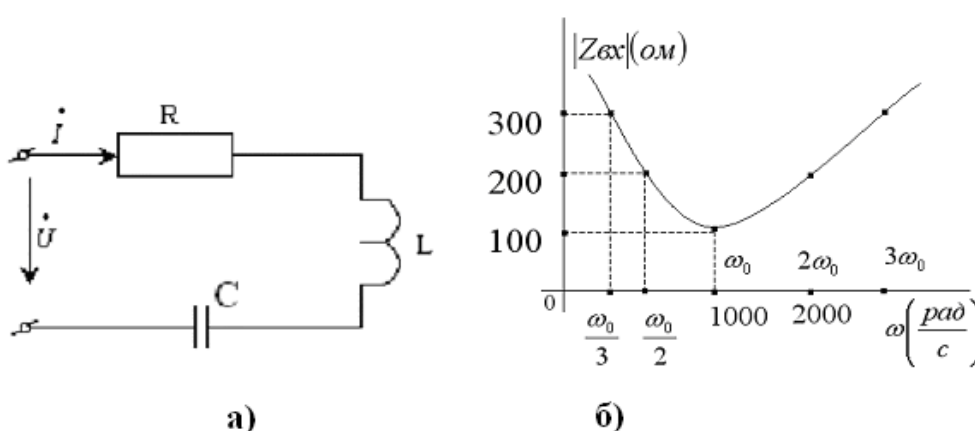
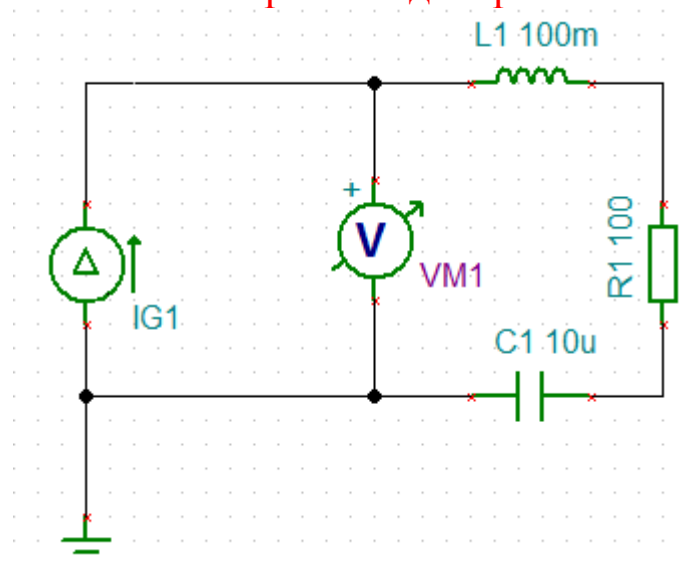


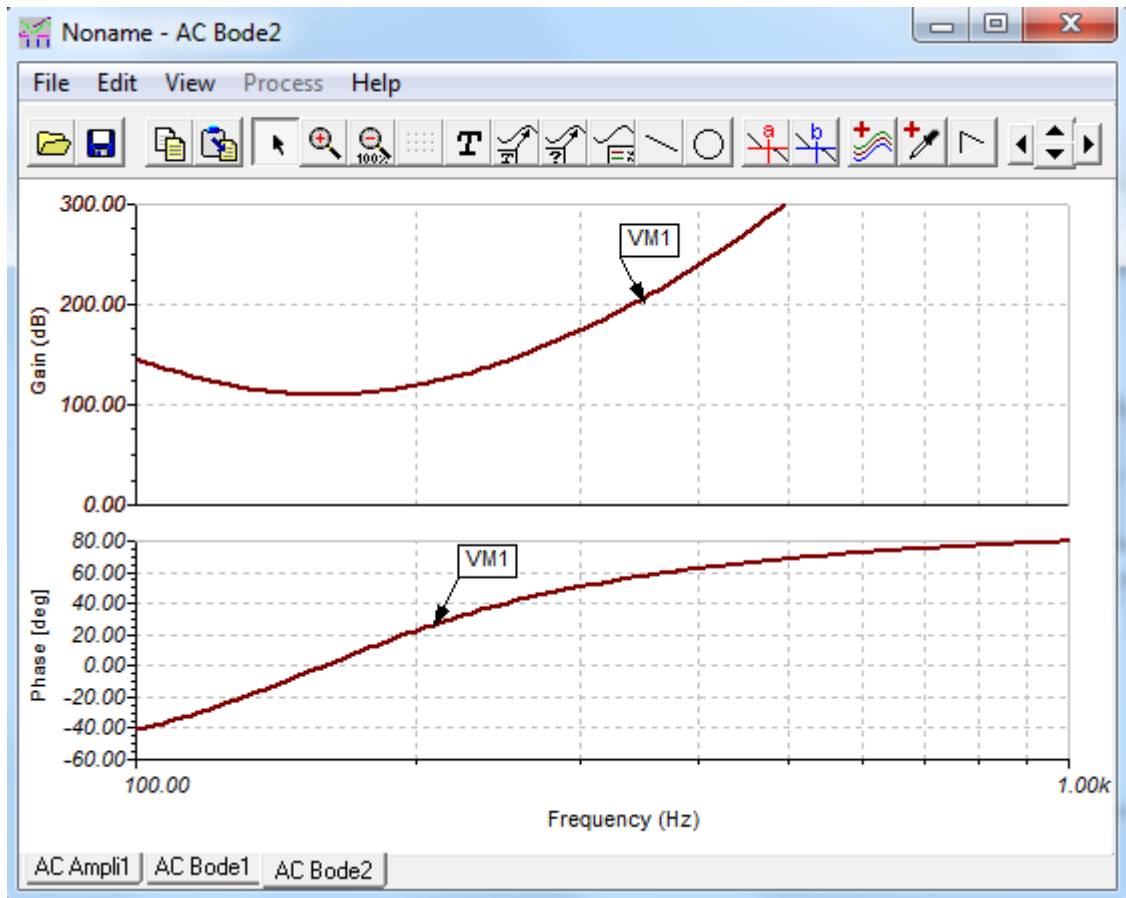
Рис. 9

### Компьютерное моделирование

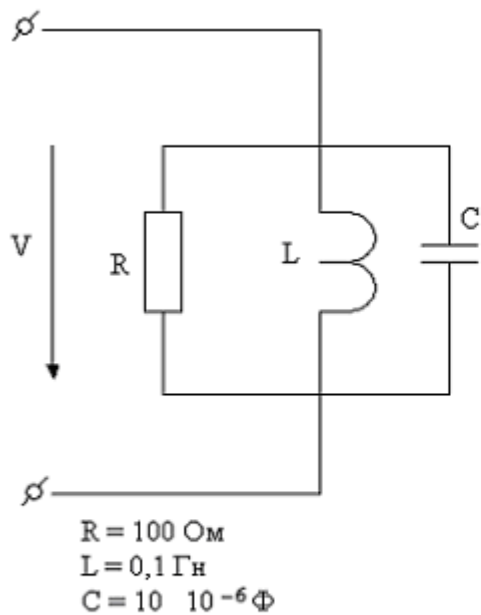


$$\underline{U}_{m1} = \underline{I}_m \underline{Z}_{ex}$$

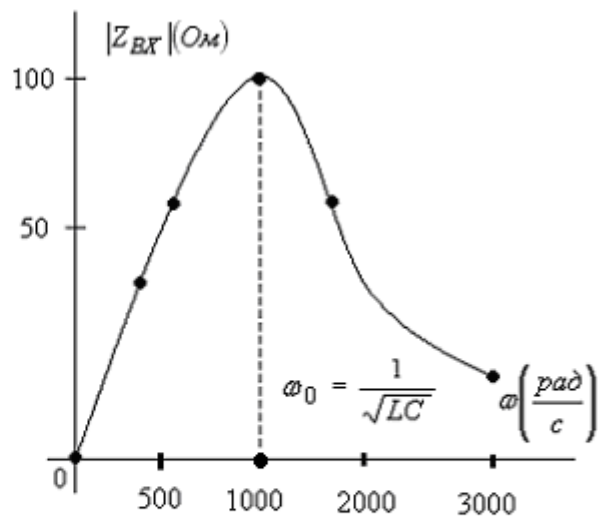
Выполнить: *Analysis- AC Analysis-AC Transfer Characteristic*



Б. Для двухполюсника рис. 10 а, рекомендуется сначала получить выражение модуля комплексной входной проводимости:



а)



б)

Рис. 10

$$Y_{ex} = Y_R + Y_L + Y_C = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right);$$

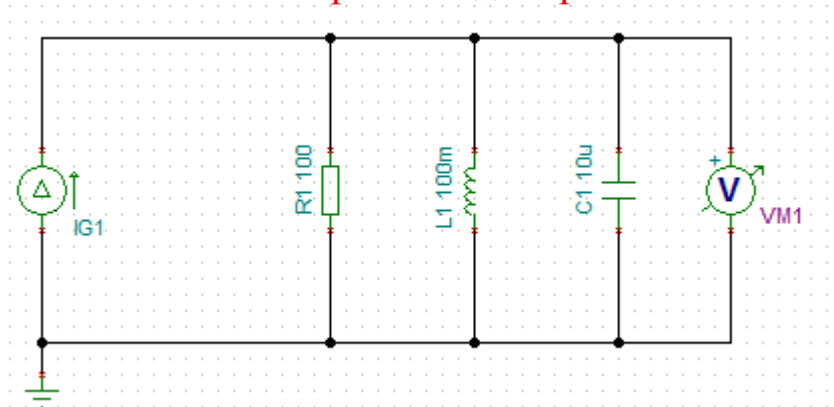
$$|Y_{ex}| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}.$$

Искомая функция модуля комплексного входного сопротивления

$$|Z_{ex}| = \frac{1}{|Y_{ex}|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}.$$

График зависимости  $|Z_{ex}|$  от  $\omega$  построен на рис.10,б.

### Компьютерное моделирование



$$U_{m1} = I_m Z_{ex}$$

Выполнить: *Analysis- AC Analysis-AC Transfer Characteristic*

