

6.2. Определение частотных характеристик линейных RC и RL - цепей первого порядка

6.2.A. Цель работы: исследование частотных свойств линейных RC и RL - цепей первого порядка.

В работе студенты экспериментально определяют частотные характеристики линейных RC и RL - цепей.

Создаются схемы для проведения виртуальных экспериментов.

Используется режим численного анализа определения частотных характеристик.

Анализируются результаты моделирования.

Виртуальные эксперименты и численный анализ проводятся на базе пакета *MultiSim 10.0.1*. Используются библиотечные модели контрольно-измерительных приборов и компонент.

Рабочее задание

6.2.B. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ RC - ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

6.2.B.1. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента и численного анализа согласно рис.6.8.

Определение частотных характеристик осуществляется при синусоидальных сигналах. В качестве источника сигналов в данной работе используется генератор сигналов *XFG...*. Входной переменной цепи является синусоидальное напряжение на выходе генератора.

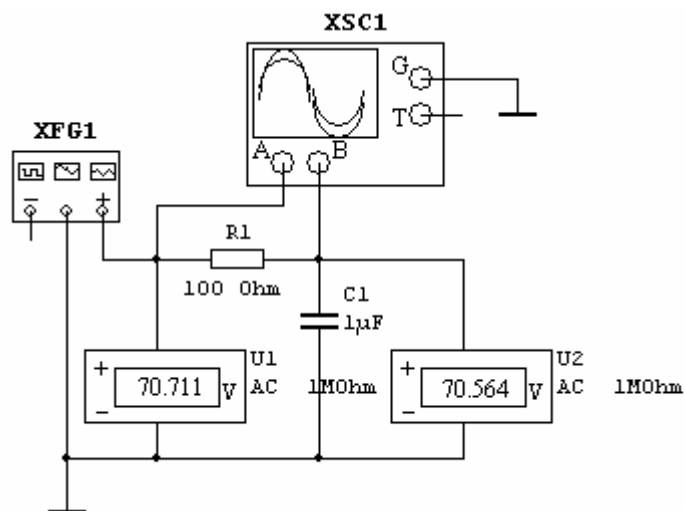


Рис.6.8. Схема виртуального эксперимента и численного анализа для определения частотных характеристик RC - цепи

6.2.B.2. Модели генератора сигналов *XFG1*, резистора *R1*, емкости *C1*, вольтметров *U1*, *U2*, заземлений и двухканального осциллографа *XSC1* вызываются аналогично п.п. 1.2.B.6, 1.2.B.4, 1.2.B.2., 1.2.B.8, 1.2.B.2, 1.2.B.3 и 1.2.B.7 соответственно.

6.2.Б.3. Разместить все элементы и соединить их между собой согласно схеме рис.6.8 (см.п.1.2.Б.13).

- Для удобства сборки схемы развернуть в горизонтальной плоскости изображение модели генератора сигналов *XFG1* на 180° , используя окно команд редактирования изображения элементов схемы, команду *Flip Horizontal* аналогично п.5.2.Б.12.

- Для удобства визуального наблюдения временных зависимостей входного сигнала и выходной реакции и проведения соответствующих измерений задать проводникам, соединяющим входы каналов осциллографа

A и *B* со схемой, различные цвета (см. п.п.1.2.Б.12, 1.2.Б.13).

6.2.Б.4. По заданию преподавателя установить значения параметров пассивных элементов: *R1*- в диапазоне 100...200 Ом; *C1*- в диапазоне 1...2 мкФ (см. п.п.1.2.Б.15, 1.2.В.7 соответственно).

6.2.Б.5. Для заданных значений параметров *R1* и *C1* рассчитать постоянную времени цепи $\tau = R1 \cdot C1$ в секундах и частоту сопряжения $f_{\text{сп}} = \omega_{\text{сп}} / 2\pi = 1 / 2\pi\tau$, Гц.

6.2.Б.6. Принять для определения характеристик частотный диапазон $f_{\text{нач.}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}} \dots f_{\text{кон.}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$.

6.2.Б.7. Задать параметры входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$, используя лицевую панель генератора *XFG1* (см.п.1.2.Б.20).

- В разделе *Waveforms* задать синусоидальную форму сигнала нажатием соответствующей кнопки.

- В разделе *Signal Options* в строке *Frequency* задать начальное значение частоты из принятого частотного диапазона $f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$, Гц.

- В строке *Amplitude* установить по заданию преподавателя значение амплитуды входного сигнала $U_{\text{мвх}}$ в диапазоне 10...100 В.

- В строке *Offset* установить значение напряжения смещения, равным нулю (по умолчанию 0 V).


- Остальные параметры сигнала оставить по умолчанию.

6.2.Б.8. Задать параметры вольтметров *U1*, *U2* аналогично п.п.1.2.Б.18, 1.2.Б.19. При этом для обоих вольтметров в строке *Mode* установить вид режима работы по переменному току *AC*.

6.2.Б.9. Настроить двухканальный осциллограф *XSC1* аналогично п.1.2.Б.22. Задать режим по входу *AC*.

6.2.Б.10. Провести виртуальный эксперимент измерения действующих значений входного напряжения $U_{\text{вх}}$, выходного напряжения $U_{\text{вых}} = U_C$ и разности начальных фаз $\varphi = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$ напряжений $u_{\text{вых}}(t)$ и $u_{\text{вх}}(t)$ при заданной частоте сигнала.

- Открыть лицевую панель осциллографа *XSC1* и поместить ее в удобном месте экрана, чтобы она не закрывала цифровые индикаторы вольтметров.

- Запустить модель переключателем .

- Зафиксировать показания вольтметров $U1$, $U2$ и временные зависимости $u_{\text{вх}}(t)$ и $u_{\text{вых}}(t)$ на экране осциллографа в процессе двух-трехкратного заполнения экрана.

Замечание. Показания всех приборов следует фиксировать по завершении переходных процессов измерения в вычислительном эксперименте.

- Отключить модель переключателем .

- Занести показания вольтметров $U1$ и $U2$ в табл.6.1, где показание $U1$ есть действующее значение напряжения входного сигнала $U_{\text{вх}}$, а показание $U2$ - действующее значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

6.2.Б.11. Вычислить значение модуля частотной передаточной функции

(АЧХ) $|W_u(j\omega)| = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$. Результат занести в табл.6.1.

6.2.Б.12. Определить разность между начальными фазами $u_{\text{вых}}(t)$ и $u_{\text{вх}}(t)$: $\varphi = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$.

- Для определения значения φ установить на экране осциллографа с изображениями $u_{\text{вх}}(t)$ и $u_{\text{вых}}(t)$ визир "1" в одно из начал функции $u_{\text{вх}}(t)$, а визир "2" - в ближайшее к нему начало функции $u_{\text{вых}}(t)$.

- В окне результатов измерений на лицевой панели осциллографа в строке "T2-T1" столбца *Time* зафиксировать разность показаний визиров по оси абсцисс (оси " t ") в секундах: $\Delta t = (T2 - T1)$ с. Занести значение Δt в табл. 6.1.

- Вычислить значение $\varphi^\circ = \Delta t \cdot f \cdot 360^\circ$ и занести его в табл.6.1. Угол φ является аргументом (ФЧХ) частотной передаточной функции $W_u(j\omega)$.

- Занести значение заданной частоты f напряжения сигнала и значение $\lg f$ в табл.6.1.

- Рассчитать значение ЛАЧХ $L(\omega) = 20\lg|W_u(j\omega)|$ дБ. Результат занести в табл.6.1.

Таблица 6.1

Экспериментальные частотные характеристики *RC*- цепи при $U_{\text{вых}} = U_{\text{с}}$

f , Гц	0	$f_{\text{нач}} = 0,1f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	∞	Примеч.
	0					∞	
$\lg f$	-					-	
$U_{\text{вых}}$, В							
$U_{\text{вх}}$, В							
$ W_u(j\omega) $							АЧХ
Δt , с							
φ , град.							ФЧХ
$L(\omega)$, дБ	-					-	ЛАЧХ

6.2.Б.13. Задавая последовательно значения частоты сигнала $f = f_{\text{сп}}$, $10 \cdot f_{\text{сп}}$, $100 \cdot f_{\text{сп}}$ (см. п.6.2.Б.7) и, оставляя неизменными остальные параметры сигнала, повторить п.п. 6.2.Б.10, 6.2.Б.11, 6.2.Б.12 для этих частот.

6.2.Б.14. Определить любым удобным методом предельные значения функций $|W_u(j\omega)|$ и $\varphi(\omega)$ для $f = 0$ и $f = \infty$. Занести эти значения в табл. 6.1.

6.2.Б.15. Подготовить схему виртуального эксперимента к режиму численного анализа.


Численный анализ определяет реакции цепи для соответствующих режимов. Реакциями являются *узловые напряжения* – напряжения между каким-либо узлом схемы и базисным узлом.

В качестве базисного узла программа выбирает узел заземления. Поэтому процедуры анализа требуют идентификацию (задание номеров) узлов.

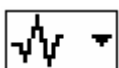
- Вызвать окно команд оформления схемы щелчком правой клавиши мыши на свободном от схемы поле.

- Выбрать команду "Show..." и открыть этой командой окно *Show*.


- Включить кнопку *Show node names*.

- Закрыть окно кнопкой . В результате на схеме цепи появляются номера узлов.

6.2.Б.16. Задать вид численного анализа и его параметры.

- Вызвать окно перечня видов анализа нажатием кнопки  на инструментальной панели.

- Выбрать частотный анализ *AC Analysis* и, активизируя эту строку, открыть окно задания параметров анализа *AC Analysis* на закладке *Frequency Parameters*.

- Задать значение начальной частоты анализа $[FSTART]$ $f_{\text{нач}} = 0,1 f_{\text{сп}}$, Гц и значение конечной частоты $[FSTOP]$ $f_{\text{кон}} = 100 f_{\text{сп}}$, Гц (см. п.п. 6.2.Б.5, 6.2.Б.6.), а также соответствующий масштаб в окнах .

- В строке *Sweep type* указать тип шкалы по горизонтальной оси частот -*Decade* (в декадах).


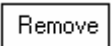
- В строке *Number of points per decade* задать количество точек расчета в одной декаде $N = 1000$.

- В строке *Vertical scale* указать тип шкалы по вертикальной оси – *Linear* (линейный).

- Открыть закладку *Output variables*. Закладка содержит два окна. Каждое окно имеет падающее меню со списком вида возможных переменных, сигналов и параметров компонент и модели. По умолчанию установлен вариант для всех переменных и сигналов *All variables*. Следует оставить для обоих окон список *All variables*.


- В левом окне *Variables in circuit* содержится перечень всех узлов

(узловых напряжений) для возможного анализа исследуемой цепи. Выделить из этого списка узел, соответствующий выходному напряжению $u_{\text{вых}}(t)$. Для схемы рис.6.8- это напряжение на емкости $u_C(t)$, которое рассматривается относительно базисного узла.


- Перевести выделенный узел (напряжение) нажатием кнопки  в правое окно *Selected variables for analysis*. Обратный перевод осуществляется кнопкой возврата .


6.2.Б.17. Запустить процесс анализа кнопкой .


- Результаты анализа отображаются в открывшемся окне *Analysis Graphs*.

- При необходимости изменить цвет заливки поля экрана кнопкой  (по умолчанию - черный). Вызов полноэкранного изображения и возврат к первоначальному варианту изображения осуществляется стандартной кнопкой.

6.2.Б.18. Используя визиры снять с результатов частотного анализа координаты точек АЧХ и ФЧХ для тех значений частоты f , которые использовались в виртуальном эксперименте (см. табл.6.1).

- Вызвать масштабную сетку на координатные плоскости АЧХ и ФЧХ кнопкой , предварительно активизируя соответствующую плоскость щелчком левой клавиши мыши на поле изображения результатов.

- Вызвать на координатные плоскости курсоры нажатием кнопки  аналогично вызову масштабной сетки. При вызове курсоров появляется окно с таблицей результатов измерений. Это окно при необходимости можно "обрезать", оставив только нужную для работы информацию, например, только строку XI , YI , для визира "1" с координатами точек соответствующей характеристики.

- При необходимости можно вызвать окно цветовой маркировки результатов анализа, если на одной координатной плоскости представляется несколько кривых (характеристик). Это окно вызывается нажатием кнопки .

- С горизонтальных осей "X" считываются значения частоты f в Гц.

- С оси "Y" АЧХ (верхняя координатная плоскость) считываются *относительные* значения амплитуды (*Magnitude*) соответствующего узлового напряжения (или нескольких напряжений) в масштабе, принятом ранее для вертикальной шкалы, например, для *Linear* - в относительных единицах, для *Decibel* - в дБ (децибелах). *Базисным* напряжением является заданное амплитудное значение напряжения сигнала источника на входе цепи.

- С оси "Y" ФЧХ (нижняя координатная плоскость) считывается значение аргумента частотной передаточной функции (аргументов, если несколько функций) в градусах (*Phase (deg)*), т.е. разность между

начальными фазами соответствующего выходного напряжения и напряжения входного сигнала $\varphi^\circ = \psi_{\text{вых}}^\circ - \psi_{\text{вх}}^\circ$.

- Занести результаты численного анализа (координаты точек АЧХ и ФЧХ) в табл.6.2.

- Заккрыть окно *Analysis Graphs*.

Таблица 6.2

Результаты численного анализа: АЧХ, ФЧХ при $U_{\text{вых}} = U_{\text{с}}$

$f, \text{Гц}$	$f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	Примечание
$ W_u(j\omega) $					АЧХ
$\varphi, \text{град.}$					ФЧХ

6.2.Б.19. Сравнить результаты численного анализа с соответствующими результатами виртуального эксперимента. Сделать выводы.

6.2.Б.20. Используя результаты виртуального эксперимента (табл.6.1), построить графики АЧХ, ФЧХ и ЛАЧХ. По оси частот использовать логарифмический масштаб ($\lg f$).

6.2.Б.21. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о частотных свойствах исследуемой цепи.

6.2.Б.22. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента и численного анализа согласно рис.6.9.

Схему рис.6.9. целесообразно формировать на основе схемы рис.6.8.

- Поменять местами резистор $R1$ и емкость $C1$, предварительно отсоединив их от остальной цепи.

- Входной переменной цепи (рис.6.9) остается синусоидальное напряжение на выходе генератора $XFG1$.

- Выходной переменной цепи будет являться $u_{\text{вых}}(t) = u_R(t)$ - синусоидальное напряжение на резисторе $R1$.

6.2.Б.23. Параметры всех элементов цепи и настройки приборов оставить без изменения (см. п.п.6.2.Б.4, ..., 6.2.Б.9).

6.2.Б.24. Провести виртуальный эксперимент и численный анализ для цепи рис.6.9 аналогично п.п.6.2.Б.10, ..., 6.2.Б.20.

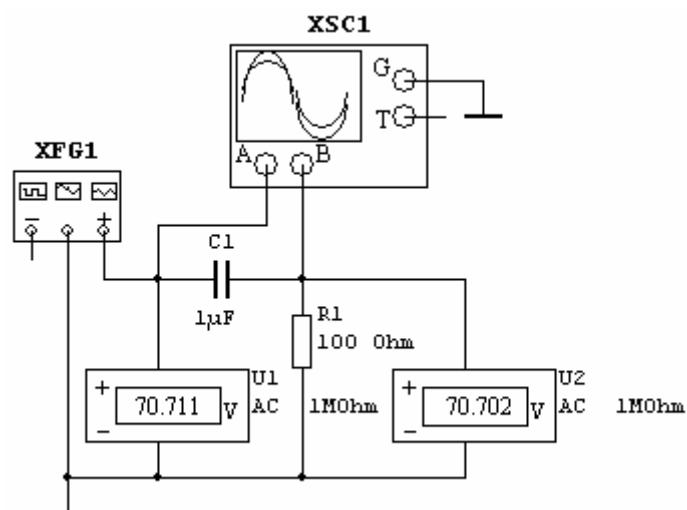


Рис.6.9. Схема виртуального эксперимента и численного анализа для определения частотных характеристик CR - цепи

6.2.Б.25. Результаты эксперимента и численного анализа занести в соответствующие графы табл.6.3 и.6.4.

6.2.Б.26. Используя результаты виртуального эксперимента (табл.6.3) построить графики АЧХ, ФЧХ и ЛАЧХ. По оси частот использовать логарифмический масштаб ($\lg f$).

Таблица 6.3

Экспериментальные частотные характеристики CR - цепи при $U_{\text{вых}} = U_R$

f , Гц	0	$f_{\text{нач}} = 0,1 f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	∞	Примеч.
	0					∞	
$\lg f$	-					-	
$U_{\text{вых}}$, В							
$U_{\text{вх}}$, В							
$ W_u(j\omega) $							АЧХ
Δt , с							
φ , град.							ФЧХ
$L(\omega)$, дБ	-					-	ЛАЧХ

6.2.Б.27. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о частотных свойствах исследуемой цепи.

Таблица 6.4

Результаты численного анализа: АЧХ, ФЧХ при $U_{\text{вых}} = U_R$

f , Гц	$f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	Примечание
$ W_u(j\omega) $					АЧХ
φ , град.					ФЧХ

6.2.Б.28. Сравнить частотные характеристики и свойства цепей рис.6.8 и 6.9. Сделать выводы.

6.2.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ RL - ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

6.2.В.1. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента и численного анализа согласно рис.6.10.

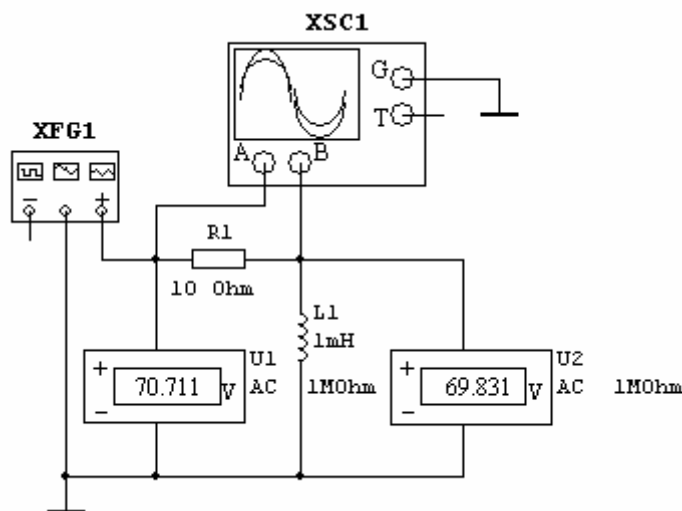


Рис.6.10. Схема виртуального эксперимента и численного анализа для определения частотных характеристик RL - цепи

6.2.В.2. Модели генератора сигналов $XFG1$, резистора $R1$, индуктивности $L1$, вольтметров $U1$, $U2$, заземлений и двухканального осциллографа $XSC1$ вызываются аналогично п.п.1.2.Б.6, 1.2.Б.4, 1.2.В.2, 1.2.Б.8, 1.2.Б.2, 1.2.Б.3 и 1.2.Б.7 соответственно.

6.2.В.3. Разместить все элементы и соединить их между собой согласно схеме рис.6.10 (см. п.п.1.2.Б.13, 6.2.Б.3).

6.2.В.4. По заданию преподавателя задать параметры пассивных элементов: $R1$ - в диапазоне 10 ... 20 Ом; $L1$ - в диапазоне 1 ... 2 мГн (см. п.п. 1.2.Б.15 и 1.2.В.6 соответственно).

6.2.В.5. Для заданных значений параметров $R1$ и $L1$ рассчитать постоянную времени цепи $\tau = L1/R1$ в секундах и частоту сопряжения $f_{\text{сп}} = \omega_{\text{сп}}/2\pi = 1/2\pi\tau$, Гц .

6.2.В.6. Принять для определения характеристик частотный диапазон $f_{\text{нач.}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}} \dots f_{\text{кон.}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$.

6.2.В.7. Задать параметры входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$ аналогично п.6.2.Б.7.

6.2.В.8. Задание параметров вольтметров $U1$, $U2$ и настройку двухканального осциллографа $XSC1$ провести аналогично п.п.6.2.Б.8 и 6.2.Б.9 соответственно.

6.2.В.9. Провести виртуальный эксперимент измерения действующих значений входного напряжения $U_{\text{вх}}$, выходного напряжения $U_{\text{вых}} = U_L$ и разности начальных фаз $\varphi = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$ напряжений $u_{\text{вых}}(t)$ и $u_{\text{вх}}(t)$ для следующих частот входного сигнала: $f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$; $f = 1 \cdot f_{\text{сп}}$; $f = 10 \cdot f_{\text{сп}}$; $f = 100 \cdot f_{\text{сп}}$ аналогично п.п. 6.2.Б.10, ..., 6.2.Б.14.

6.2.В.10. Результаты виртуального эксперимента занести в табл.6.5.

Таблица 6.5

Экспериментальные частотные характеристики RL - цепи при $U_{\text{вых}} = U_L$

$f, \text{Гц}$	0	$f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	∞	Примеч.
	0					∞	
$\lg f$	-					-	
$U_{\text{вых}}, \text{В}$							
$U_{\text{вх}}, \text{В}$							
$ W_u(j\omega) $							АЧХ
$\Delta t, \text{с}$							
$\varphi, \text{град.}$							ФЧХ
$L(\omega), \text{дБ}$							ЛАЧХ

6.2.В.11. Подготовить схему виртуального эксперимента к режиму численного анализа аналогично п.п.6.2.Б.15, 6.2.Б.16.

6.2.В.12. Запустить процесс частотного анализа *AC Analysis* и снять данные результатов анализа аналогично п.п.6.2.Б.17 и 6.2.Б.18.

Результаты численного анализа занести в табл.6.6.

Таблица 6.6

Результаты численного анализа: АЧХ, ФЧХ при $U_{\text{вых}} = U_L$

$f, \text{Гц}$	$f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	Примечание
$ W_u(j\omega) $					АЧХ
$\varphi, \text{град.}$					ФЧХ

6.2.В.13. Сравнить результаты численного анализа с соответствующими результатами виртуального эксперимента. Сделать выводы.

6.2.В.14. На основе результатов виртуального эксперимента (табл.6.5) построить графики АЧХ, ФЧХ и ЛАЧХ. По оси частот использовать логарифмический масштаб ($\lg f$).

6.2.В.15. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о частотных свойствах исследуемой цепи.

6.2.В.16. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента и численного анализа согласно рис.6.11.

- Схему рис.6.11 целесообразно формировать на основе схемы рис.6.10.

- Поменять местами резистор $R1$ и индуктивность $L1$, предварительно отсоединив их от остальной цепи.

- Входной переменной цепи (рис.6.11) остается синусоидальное напряжение на выходе генератора $XFG1$.

- Выходной переменной цепи будет являться $u_{\text{вых}}(t) = u_R(t)$ - синусоидальное напряжение на резисторе $R1$.

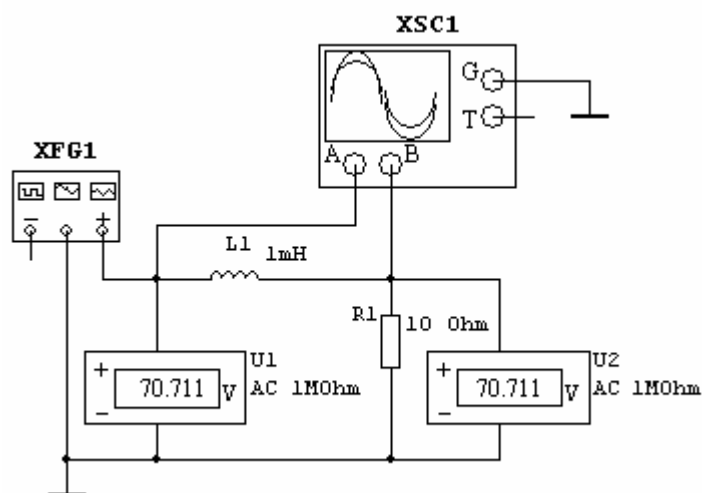


Рис.6.11. Схема виртуального эксперимента и численного анализа для определения частотных характеристик LR - цепи

6.2.В.17. Параметры всех элементов цепи и настройки приборов оставить без изменений (см. п.п.6.2.В.4, ..., 6.2.В.8).

6.2.В.18. Провести виртуальный эксперимент и численный анализ для цепи рис.6.11 аналогично п.п.6.2.В.9, ..., 6.2.В.12.

6.2.В.19 Результаты эксперимента и численного анализа занести в соответствующие графы табл.6.7. и 6.8.

Таблица 6.7

Экспериментальные частотные характеристики LR - цепи при $U_{\text{вых}} = U_R$

f , Гц	0	$f_{\text{нач}} = 0,1 f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	∞	Примеч.
	0					∞	
$\lg f$	-					-	
$U_{\text{вых}}$, В							
$U_{\text{вх}}$, В							
$ W_u(j\omega) $							АЧХ
Δt , с							
φ , град.							ФЧХ
$L(\omega)$, дБ	-					-	ЛАЧХ

6.2.В.20 Используя результаты виртуального эксперимента (табл. 6.7) построить графики АЧХ, ФЧХ и ЛАЧХ. По оси частот использовать логарифмический масштаб ($\lg f$).

6.2.В.21. Сравнить результаты численного анализа с соответствующими результатами виртуального эксперимента. Сделать выводы.

6.2.В.22. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о частотных свойствах исследуемой цепи.

Таблица 6.8

Результаты численного анализа: АЧХ, ФЧХ LR – цепи при $U_{\text{вых}} = U_R$					Примечание
f , Гц	$f_{\text{нач}} = 0,1 \cdot f_{\text{сп}}$	$1 \cdot f_{\text{сп}}$	$10 \cdot f_{\text{сп}}$	$f_{\text{кон}} = 100 \cdot f_{\text{сп}}$	
$ W_u(j\omega) $					АЧХ
φ , град.					ФЧХ

6.2.В.23. Сравнить частотные характеристики и свойства цепей рис.6.10 и 6.11.

6.2.В.24. Сопоставить между собой частотные характеристики и частотные свойства RL и RC цепей (рис.6.8, 6.9 и рис.6.10, 6.11). Сделать выводы.

6.2.Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА

6.2.Г.1. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента и численного анализа согласно рис.6.12.

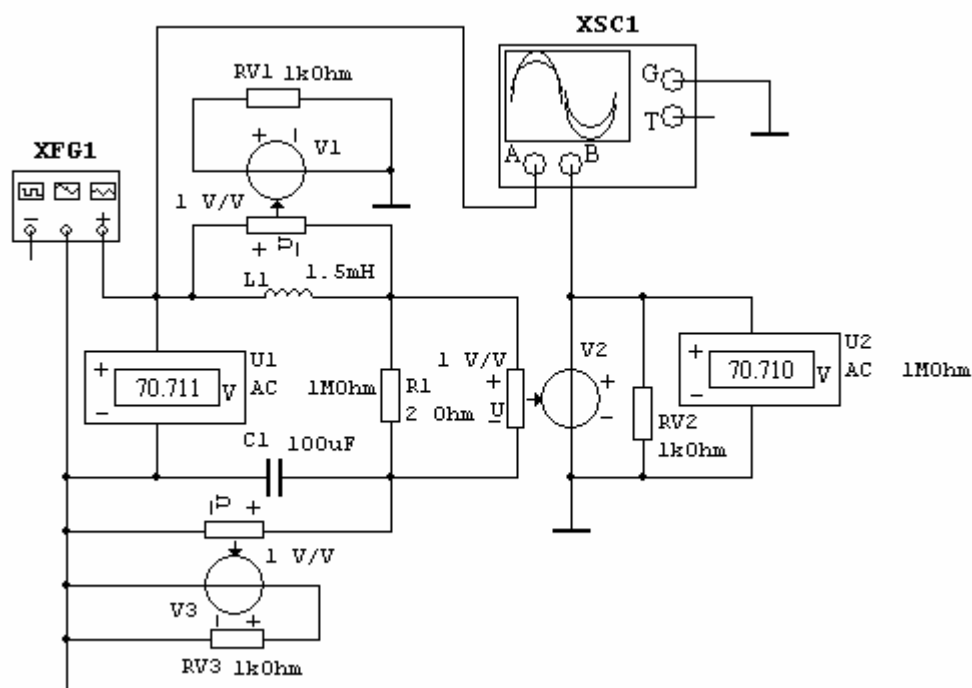



Рис.6.12. Схема виртуального эксперимента и численного анализа для определения частотных характеристик последовательного резонансного контура.

6.2.Г.2. Модели генератора сигналов $XFG1$, индуктивности $L1$, емкости $C1$, резисторов $R1$, $RV1$, $RV2$, $RV3$, вольтметров $U1$, $U2$, двухканального осциллографа $XSC1$ и заземлений вызываются аналогично п.п.1.2.Б.6, 1.2.В.2, 1.2.Б.4, 1.2.Б.8, 1.2.Б.7 и 1.2.Б.2, 1.2.Б.3 соответственно.

6.2.Г.3. В качестве датчиков напряжений в схеме рис.6.12 используются источники напряжений $V1$, $V2$, $V3$, управляемые напряжениями.

Источник напряжения, управляемый напряжением, является в данном случае линейным четырехполюсным элементом. Напряжение на выводах источника линейно зависит от напряжения, подаваемого на его вход.


Коэффициент передачи определяется выражением $E = V_{\text{вых}} / V_{\text{вх}}$, где $V_{\text{вых}}$ - напряжение на выходе источника, а $V_{\text{вх}}$ - напряжение, подаваемое на вход источника.

6.2.Г.4. Нажатием кнопки  на линейке промышленных элементов открыть окно *Select a Component*, при этом в разделе *Database* выделена группа *Sources*.

- Из списка элементов группы *Sources* в окне *Family* выбрать и выделить элемент *CONTROLLED VOLTAGE SOURCES* (управляемые источники напряжения).

- В разделе *Component* выбрать из списка моделей и выделить элемент *VOLTAGE CONTROLLED VOLTAGE SOURCE* (источник напряжения, управляемый напряжением).

- В разделе *Symbol (DIN)* появляется изображение модели источника.

- Нажатием кнопки  перевести модель на поле. Курсором поместить ее в нужное место и зафиксировать.

6.2.Г.5. Повторить операции п.6.2.Г.4 согласно количеству управляемых источников схемы рис.6.12, либо копировать модель источника нужное количество раз. Разместить все модели управляемых источников $V1$, $V2$, $V3$ на поле, при необходимости развернув их должным образом (см. рис. 6.12).

6.2.Г.6. Соединить все элементы между собой согласно схеме рис.6.12 (см. п.п.1.2.Б.13, 6.2.Б.3).

6.2.Г.7. По заданию преподавателя задать параметры пассивных элементов последовательного резонансного контура: $R1$ - в диапазоне 1...3 Ом; $L1$ - в диапазоне 1...2 мГн; $C1$ - в диапазоне 100...300 мкФ (см. п.п. 1.2.Б.15, 1.2.В.6, 1.2.В.7).

6.2.Г.8. Задать значения сопротивлений нагрузки управляемых источников $RV1 = RV2 = RV3 = 1$ кОм (см.п.1.2.Б.15).

6.2.Г.9. Задать параметры вольтметров $U1$, $U2$ аналогично п.п.1.2.Б.18, 1.2.Б.19. При этом для обоих вольтметров в строке *Mode* установить вид режима работы по переменному току *AC*.

6.2.Г.10. Задать параметры управляемого источника напряжения (датчика напряжения) последовательно для каждого источника $V1$, $V2$, $V3$, используя окно задания параметров *CONTROLLED VOLTAGE SOURCES*.

- На закладке *Value* в строке *Voltage Gain [E]* задать значение коэффициента передачи 1 В/В (по умолчанию 1 V/V) для каждого источника. При таком коэффициенте передачи напряжение на выходе источника в вольтах будет соответствовать напряжению на входе источника в вольтах.

- При необходимости на закладке *Label* в строке *Reference ID* задать соответствующий идентификатор (маркировку) источника: $V1$, $V2$, $V3$.

- Заккрыть окно *CONTROLLED VOLTAGE SOURCES* кнопкой .

6.2.Г.11. Используя заданные параметры контура (п.6.2.Г.7) рассчитать значение резонансной (собственной) частоты контура:

$$f_0 = \omega_0 / 2\pi = 1 / 2\pi \sqrt{LI \cdot CI}, \text{ Гц.}$$

6.2.Г.12. Задать параметры входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$ на лицевой панели генератора *XFG1* (см.п.1.2.Б.20).

- В разделе *Signal Options* в строке *Frequency* задать значение частоты сигнала $f = f_0$, Гц (см. п.6.2.Г.11).

- Остальные параметры задать аналогично параметрам п.6.2.Б.7.


6.2.Г.13. Настроить двухканальный осциллограф *XSCI* аналогично п.1.2.Б.22. Задать режим по входу *AC*.

6.2.Г.14. Провести виртуальный эксперимент измерения действующих, амплитудных (мгновенных) значений синусоидального напряжения входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$ и тока контура $i(t)$ и их начальных фаз $\psi_{\text{вх}}$ и ψ_i для резонансного режима в последовательном резонансном контуре (при $f = f_0$).

- Запустить модель переключателем .

- Зафиксировать показания вольтметров *U1*, *U2* и временные зависимости $u_{\text{вх}}(t)$ и $u_{R1}(t)$ на экране осциллографа в процессе двух-трехкратного заполнения экрана.

Замечание. Показания всех приборов следует фиксировать по завершении переходных процессов измерения в вычислительном эксперименте.

- Отключить модель переключателем .

6.2.Г.15. Занести показания вольтметров *U1* и *U2* в табл. 6.9, где показание *U1* есть действующее значение синусоидального напряжения входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$, а показание *U2* - действующее значение синусоидального напряжения $u_{R1}(t)$ на резисторе *R1*.

Таблица 6.9

Резонансные значения переменных последовательного резонансного контура

$f = f_0$	$U1 = U_{\text{вх}}$	$U2 = U_{R1}$	I	$U_{m\text{вх}}$	I_m	$\psi_{\text{вх}}$	ψ_i
Гц	В	В	А	В	А	град.	град

6.2.Г.16. Рассчитать действующее значение тока контура $I = U_{R1} / R1$ и занести его в табл.6.9.

6.2.Г.17. Используя визирь измерить амплитудные значения $U_{m\text{вх}}$ и U_{mR1} напряжений $u_{\text{вх}}(t)$ и $u_{R1}(t)$. Рассчитать амплитудное значение тока $I_m = U_{mR1} / R1$.

- Занести значения $U_{m\text{вх}}$ и I_m в табл.6.9.

6.2.Г.18. Для определения начальных фаз $\psi_{\text{вх}}$ и ψ_i установить визир "1" в одно из начал функции $u_{\text{вх}}(t)$, а визир "2" - в ближайшее к нему начало функции $u_{RI}(t)$. Поскольку функция $u_{RI}(t)$ совпадает с точностью до масштаба RI с функцией $i(t)$, то положение визира "2" будет соответствовать одновременно и началу функции $i(t)$.

- Разность начальных фаз $\varphi = \psi_{\text{вх}} - \psi_i$ определяется аналогично п.6.2.Б.12 по значению $\Delta t = (T2 - T1)$ с, т.е. $\varphi^\circ = \Delta t \cdot f_0 \cdot 360^\circ$.

- В резонансном режиме $\psi_{\text{вх}} = \psi_i$ (начальные фазы напряжения сигнала и тока контура совпадают). Поэтому положения визиров "1" и "2" совпадают. Убедиться в этом по временным зависимостям на экране осциллографа.

- Значения начальных фаз следует рассчитать по выражениям: $\psi_{\text{вх}}^\circ = (T1) \cdot f_0 \cdot 360^\circ$; $\psi_i^\circ = (T2) \cdot f_0 \cdot 360^\circ$, где $T1$ и $T2$ – показания визиров "1" и "2" по оси " t " в секундах, а f_0 - значение частоты сигнала при резонансе в Гц.

- Занести значения $\psi_{\text{вх}}$ и ψ_i в табл.6.9.

6.2.Г.19. Проанализировать результаты измерений и сделать выводы.

6.2.Г.20. Подготовить схему виртуального эксперимента к режиму численного анализа аналогично п.6.2.Б.15.

6.2.Г.21. Задать вид численного анализа *AC Analysis* аналогично п.6.2.Б.16.

6.2.Г.22. Задать параметры численного анализа (см.п.6.2.Б.16).

- Задать значение начальной частоты анализа [*FSTART*] $f_{\text{нач}} = 0,5 \cdot f_0$ и значение конечной частоты [*FSTOP*] $f_{\text{кон}} = 2 \cdot f_0$.

- Остальные параметры на закладке *Frequency Parameters* принять аналогичными параметрам п.6.2.Б.16.

- Открыть закладку *Output variables* и перевести из окна *Variables in circuit* в окно *Selected variables for analysis* номера узлов (узловых напряжений), соответствующих напряжениям управляемых источников $V1$, $V2$, $V3$, т.е. напряжениям $u_{LI}(t)$, $u_{RI}(t)$ и $u_{CI}(t)$ (см. схему рис.6.12).

6.2.Г.23. Запустить процесс анализа кнопкой Simulate.

6.2.Г.24. Результатами частотного анализа в этом случае являются АЧХ и ФЧХ для различных выходных напряжений $u_{LI}(t)$, $u_{RI}(t)$, $u_{CI}(t)$ при одном и том же входном напряжении сигнала $u_{\text{вх}}(t)$ (см. п.6.2.Б.17).

6.2.Г.25. Используя визиры снять с результатов частотного анализа координаты 5-6 точек АЧХ и ФЧХ в диапазоне $f_{\text{нач}} \dots f_{\text{кон}}$. При этом обязательно снять координаты резонансной точки $f = f_0$. Операции процесса измерений аналогичны п.6.2.Б.18.

6.2.Г.26. Результаты измерений занести в табл.6.10.

В табл. 6.10 все АЧХ – координаты по оси " Y " (*Magnitude*), представляющие собой *относительные* значения амплитуд соответствующих выходных напряжений в относительных единицах при

принятом для вертикальной шкалы масштабе *Linear*. Базисным напряжением является амплитуда входного сигнала (с генератора *XFG1*).

Таблица 6.10

Результаты численного анализа: АЧХ, ФЧХ последовательного резонансного контура

f , Гц	$f_{\text{нач}} = \dots$	$f_0 = \dots$	$f_{\text{кон}} = \dots$	Примечание
$\lg f$				
$U_{mL1}/U_{\text{мвх}}$				АЧХ
φ_{L1}				ФЧХ $u_{\text{вых}} = u_{L1}$
$U_{mR1}/U_{\text{мвх}}$				АЧХ
φ_{R1}				ФЧХ $u_{\text{вых}} = u_{R1}$
$U_{mC1}/U_{\text{мвх}}$				АЧХ
φ_{C1}				ФЧХ $u_{\text{вых}} = u_{C1}$

Все ФЧХ – это аргументы соответствующих частотных передаточных функций и определяются как разности начальных фаз соответствующих синусоидальных напряжений: $\varphi = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$. Значения координат φ считываются с оси "*Y*" *Phase (deg)* в градусах при тех же значениях частоты, что и для АЧХ. Значения частоты f в Гц считываются с осей "*X*" *Frequency (Hz)*.

6.2.Г.27. Вычислить значения $\lg f$ для всех частот, зафиксированных при снятии результатов анализа и занести в табл.6.10.

6.2.Г.28. По данным табл.6.10 построить графики АЧХ для трех вариантов выходных напряжений на одной координатной плоскости и графики ФЧХ – на своей координатной плоскости.

По оси частот использовать логарифмический масштаб ($\lg f$).


6.2.Г.29. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о резонансных (частотных) свойствах последовательного резонансного контура.

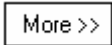
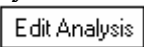
6.2.Г.30. Провести частотный анализ процессов в исследуемой цепи

(рис.6.12) в режиме перебора (изменения) параметра резистора контура $R1$. В качестве изменяемого параметра принять сопротивление резистора $R1$.

- Выбрать в перечне видов анализа режим перебора (изменения) параметров *Parameter Sweep*. Активизируя эту строку открыть окно задания параметров режима *Parameter Sweep* на закладке *Output variables*.

- Перевести в окно *Selected variables for analysis* номер только одного узла (узловое напряжение), соответствующего напряжению управляемого источника, входным напряжением которого является $u_{R1}(t)$. Если в окне

присутствуют номера других узлов схемы, то их следует удалить кнопкой  (см. п.6.2.Б.16).

- Открыть закладку *Analysis Parameters*.
- В блоке *Sweep Parameters* в разделе *Sweep Parameter* выбрать из списка *Device Parameter* (имя параметра).
- В разделе *Device* из списка видов элементов исследуемой цепи, выбрать вид компоненты, параметры которой подлежат изменению - *Resistor*.
- В разделе *Name* выбрать из списка элементов указанного вида обозначение (идентификатор) нужного элемента - *r: xr1* (резистор *R1*).
- В разделе *Parameter* выбрать из списка наименований параметров элемента параметр, значения которого подлежат изменениям - *resistance* (сопротивление).
- В строке *Present Value* указывается автоматически номинальное (заданное ранее) значение выбранного параметра: для сопротивления – в Ом; для индуктивности – в Гн; для емкости – в Ф и т.д.
- В строке *Description* указывается автоматически наименование параметра, выбранного для изменения - *resistance*.
- В блоке *Points to sweep* в разделе *Sweep Variation Type* выбрать из списка характер изменения (шкалу) параметра - *Linear* (линейный).
- В разделе *Start* задать начальное значение изменяемого параметра. Для нашего случая принять его равным 1 Ом. Это начальное значение из рекомендуемого в п.6.2.Г.7 диапазона для *R1*. (По умолчанию – номинальное значение).
- В разделе *Stop* задать конечное значение изменяемого параметра равное 3 Ом. Это конечное значение из диапазона для *R1*.
- В разделе *# of points* задать число изменений параметра равное 3.
- В разделе *Increment* задать шаг изменения параметра равный 1 Ом. Возможен автоматический выбор шага в соответствии с диапазоном изменения параметра, числом изменений и шкалой.
- Расширить окно *Parameter Sweep* (закладка *Analysis Parameters*) нажатием кнопки . В результате расширения появляется блок *More Option*.
- В разделе *Analysis to sweep* блока *More Option* выбрать из списка вид анализа – *AC Analysis*.
- Кнопкой  вызвать окно задания параметров выбранного вида анализа – *Sweep of AC Analysis* на закладке *Frequency Parameters*.
- Задать (или оставить) параметры частотного анализа на закладке *Frequency Parameters* одинаковыми со значениями [*FSTART*], [*FSTOP*], *Sweep type*, *Number of points per decade*, *Vertical scale*, принятыми в п.п. 6.2.Г.22 и 6.2.Б.16.

- Закрывать окно параметров анализа кнопкой Apply. Происходит возврат к расширенному окну *Parameter Sweep*, которое при необходимости можно вернуть к нерасширенному варианту кнопкой Less <<.

- Запустить процесс анализа кнопкой Simulate.

6.2.Г.31. Результатами анализа в этом случае являются АЧХ и ФЧХ при $u_{\text{вых}}(t) = u_{RI}(t)$ и различных значениях сопротивления резистора RI .

6.2.Г.32. Повторить п.6.2.Г.25. Результаты измерений координат АЧХ и ФЧХ занести в табл.6.11.

6.2.Г.33. Используя визеры, определить для каждой АЧХ полосу частот Δf (или $\Delta \omega$), соответствующую уровню $1/\sqrt{2}$ от резонансного значения АЧХ, т.е. примерно 0,707. В резонансном режиме относительное значение амплитуды выходного напряжения $(U_{mRI}/U_{mBX}) = 1$.

Таблица 6.11

АЧХ и ФЧХ последовательного резонансного контура для различных значений активного сопротивления при $U_{\text{вых}} = U_{RI}$

f , Гц	$f_{\text{нач}} = \dots$	$f_0 = \dots$	$f_{\text{кон}} = \dots$	Θ	Примечание
$\lg f$					RI , Ом
U_{mRI}/U_{mBX}					АЧХ
φ , град.					ФЧХ
U_{mRI}/U_{mBX}					АЧХ
φ , град.					ФЧХ
U_{mRI}/U_{mBX}					АЧХ
φ , град.					ФЧХ

6.2.Г.34. Рассчитать величину добротности контура Θ для каждого варианта значения RI согласно выражению $\Theta = f_0/\Delta f$ (см. (6.19)). Занести результаты расчета в табл.6.11.

6.2.Г.35. Вычислить значения $\lg f$ для всех частот, зафиксированных при снятии результатов анализа и занести в табл.6.11.

6.2.Г.36. По данным табл.6.11 построить графики АЧХ и ФЧХ аналогично п.6.2.Г.28.

6.2.Г.37. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о влиянии активного сопротивления контура на величину добротности и на вид резонансных характеристик.

6.2.Г.38. Аналогично п.п. 6.2.Г.30, ..., 6.2.Г.37 провести частотный анализ процессов в исследуемой цепи в режиме перебора параметра конденсатора контура CI . В качестве изменяемого параметра принять емкость конденсатора CI .

- При настройке параметров режима *Parameter Sweep* в разделе *Device* выбирается *Capacitor* (конденсатор), в разделе *Name* - *cc1* (конденсатор CI), в разделе *Parameter* - *capacitance* (емкость).

- Выбор начального и конечного значений параметра в разделах *Start* и *Stop* аналогичен выбору значений сопротивления $R1$ в п.6.2.Г.30 из рекомендованного в п.6.2.Г.7 диапазона для $C1$. В разделе *# of points* задать число изменений равное 3. Значение шага изменений выбирается автоматически.

- Остальные параметры анализа оставить теми же, что и в п.6.2.Г.30.

6.2.Г.39. Для каждого значения емкости $C1$ определить резонансную частоту: f_{01}, f_{02}, f_{03} .

6.2.Г.40. Результаты измерений и расчета занести в табл.6.12.

6.2.Г.41. Рассчитать величину добротности Θ для каждого варианта значения емкости $C1$ аналогично п.п. 6.2.Г.33, 6.2.Г.34 и значения $\lg f$ аналогично п.6.2.Г.35. Результаты расчетов занести в табл. 6.12.

Таблица 6.12

АЧХ и ФЧХ последовательного резонансного контура для различных значений емкости при $U_{\text{вых}} = U_{R1}$

f , Гц	$f_{\text{нач}} = \dots$	\dots	$f_0 = \dots$	\dots	$f_{\text{кон}} = \dots$	Θ	Примечание
$\lg f$							$C1$, Ф
$U_{mR1}/U_{m\text{вх}}$							АЧХ
φ , град.							ФЧХ
$U_{mR1}/U_{m\text{вх}}$							АЧХ
φ , град.							ФЧХ
$U_{mR1}/U_{m\text{вх}}$							АЧХ
φ , град.							ФЧХ

6.2.Г.42. По данным табл. 6.12 построить графики АЧХ и ФЧХ аналогично п.6.2.Г.28.

6.2.Г.43. Проанализировать характер частотных характеристик и сделать выводы о влиянии емкости контура на величину добротности и вид резонансных характеристик.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. У каких элементов параметры зависят от частоты сигнала?
2. Какие цепи считаются частотно-зависимыми?
3. В чем основной смысл частотного анализа линейных цепей?
4. Что такое передаточная функция и что она определяет?
5. Что такое частотная передаточная функция?
6. Какие формы представления имеет частотная передаточная функция?
7. Что такое амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ)?
8. Что характеризуют АЧХ и ФЧХ?

9. Что такое логарифмические частотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ)?

10. В чем заключается практическое значение частотных характеристик?

11. Какую техническую информацию о свойствах линейной цепи (устройства) можно получить из частотных характеристик?

12. Что такое частота сопряжения?

13. В каких цепях могут возникать явления электромагнитного резонанса?

14. Какие характерные особенности имеют частотные характеристики резонансных цепей (объектов)?

15. Какие характерные особенности присущи резонансным режимам в пассивных цепях?

16. Какие простейшие модели резонансных линейных цепей Вам известны?

17. Каким соотношением связаны резонансная (собственная) частота и параметры в простейших резонансных контурах?

18. Как технически можно обеспечить наступление резонансного режима в линейной резонансной цепи?

19. Что такое резонанс напряжений и резонанс токов и в каких цепях он возможен?

20. Какими особенностями характеризуются режимы резонанса напряжений и резонанса токов?

21. Что такое добротность контура и что она характеризует?

22. Каким образом можно определить величину добротности контура экспериментальным и расчетным путем?

23. Что такое полоса пропускания контура?

24. Какие варианты экспериментального определения частотных характеристик Вам известны?

25. Каким образом можно определить наступление резонансного или близкого к нему режима в последовательном и в параллельном резонансных контурах?

26. Какие технические примеры использования явления резонанса в электромагнитных устройствах Вам известны?