

7.2. Исследование переходных процессов в линейных цепях первого и второго порядков

7.2.A. Цель работы: исследование переходных процессов и определение переходных характеристик в линейных RC - и RL - цепях первого порядка и в RLC - цепи второго порядка.

В работе студенты экспериментально исследуют переходные процессы в линейных последовательных RC - и RL - цепях при ненулевых начальных условиях. Исследуется характер временных зависимостей реакций в переходном режиме.

Методом численного анализа определяются переходные характеристики исследуемых цепей.

Переходные процессы в линейной RLC - цепи исследуются в режиме численного анализа по переходным характеристикам.

Создаются схемы для проведения виртуальных экспериментов и численного анализа.

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

7.2.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНОЙ RC - ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

7.2.Б.1. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента согласно рис.7.12.

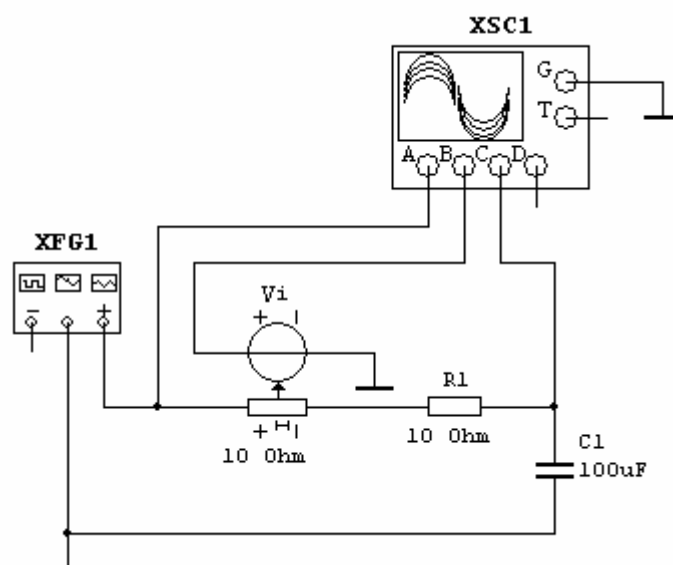


Рис.7.12. Схема виртуального эксперимента для получения временных зависимостей реакций RC - цепи в переходных режимах

Исследование переходных процессов в линейных цепях осуществляется при импульсных периодических сигналах прямоугольной формы. В этом случае коммутации в цепи происходят, благодаря импульсному характеру функции сигнала. В качестве источника сигналов в работе используется генератор сигналов *XFG...*. Входным сигналом цепи является периодическая последовательность разнополярных прямоугольных импульсов напряжения (разнополярный меандр). Разнополярность импульсов обеспечивает ненулевые независимые начальные условия для переменных цепи.

7.2.Б.2. Модели генератора *XFG1*, резистора *R1*, емкости *C1*, управляемого током источника напряжения *Vi*, четырехканального осциллографа *XSCI* и заземлений вызываются аналогично п.п.1.2.Б.6, 1.2.Б.4, 1.2.В.2, 1.2.Б.11, 3.2.Б.4 и 1.2.Б.2, 1.2.Б.3 соответственно.

7.2.Б.3. Разместить все элементы и соединить между собой согласно схеме рис.7.12 (см. п.1.2.Б.13).

-Для удобства сборки схемы развернуть изображение модели генератора *XFG1* в горизонтальной плоскости на 180° (см. п.6.2.Б.3).

- Для удобства визуального наблюдения временных зависимостей сигнала и реакций задать различные цвета проводникам, соединяющим входы каналов осциллографа *A, B, C* со схемой (см. п.1.2.Б.12, 1.2.Б.13).

7.2.Б.4. По заданию преподавателя задать параметры пассивных элементов: *R1*- в диапазоне 10 ... 20 Ом; *C1*- в диапазоне 100 ... 200 мкФ (см. п.п.1.2.Б.15, 1.2.В.7 соответственно).

7.2.Б.5. Для заданных значений *R1* и *C1* рассчитать постоянную времени цепи $\tau = R1 \cdot C1$ в секундах и частоту импульсного периодического сигнала $f = 1/10\tau$, Гц.

7.2.Б.6. Задать параметры входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$, используя лицевую панель генератора.

- В разделе *Waveforms* задать форму сигнала – разнополярные прямоугольные импульсы.

- В разделе *Signal Options* в строке *Frequency* задать значение частоты f , рассчитанное в п.7.2.Б.5.

- В строке *Duty Cycle* установить значение скважности сигнала 50% (по умолчанию 50%).

- В строке *Amplitude* установить по заданию преподавателя значение амплитуды входного напряжения $U_{\text{мвх}}$ в диапазоне 100 ... 200 В.

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

- Остальные параметры сигнала оставить по умолчанию.

7.2.Б.7. Настроить четырехканальный осциллограф *XSCI* аналогично п.3.2.Б.11. Задать режим по входу *DC*.

7.2.Б.8. Задать параметры управляемого током источника напряжения *Vi* аналогично п.1.2.Б.21. В этой цепи источник *Vi* используется в качестве безынерционного линейного датчика тока. Поскольку масштаб по оси "Y"

четырёхканального осциллографа *XSCI* единый для всех каналов, то необходимо установить соответствующий коэффициент передачи датчика V_i .

- На закладке *Value* окна *CONTROLLED VOLTAGE SOURCES* датчика V_i в строке *Transresistance (H)* установить значение коэффициента передачи 10 Ом (по умолчанию 1 *Ohm*).

- При таком коэффициенте ($H = 10$ Ом) напряжение на выходе источника V_i в вольтах будет соответствовать десятикратному ($H \cdot i$) значению тока в амперах, проходящего через входной резистор датчика. При этом входное сопротивление датчика $R_{\text{двх.}} = 0$. Следовательно, при последующих измерениях значение тока определяется как $i = V_i / H$.

7.2.Б.9. Провести виртуальный эксперимент получения временных зависимостей $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$, $u_{\text{с}}(t)$.

- Запустить модель переключателем .

- Зафиксировать временные зависимости $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$ и $u_{\text{с}}(t)$ 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 .

- Используя визирь определить координаты 6...7 точек на периоде для каждой временной зависимости, включая обязательно точки, в которых происходят коммутации (скачки) напряжения сигнала.

- Результаты измерений занести в табл.7.3.

Таблица 7.3

Временные зависимости $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$, $u_{\text{с}}(t)$

$t, \text{с}$							
$u_{\text{вх}}, \text{В}$							
$i, \text{А}$							
$u_{\text{с}}, \text{В}$							

7.2.Б.10. По данным табл.7.3 построить графики $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$, $u_{\text{с}}(t)$ на одной координатной сетке.

7.2.Б.11. Для каждого момента коммутации определить независимые начальные условия переменной состояния, используя данные табл.7.3. Указать эти условия на графиках временных зависимостей.

7.2.Б.12. Подготовить схему виртуального эксперимента *RC* – цепи для определения переходных характеристик в режиме численного анализа согласно рис.7.13.

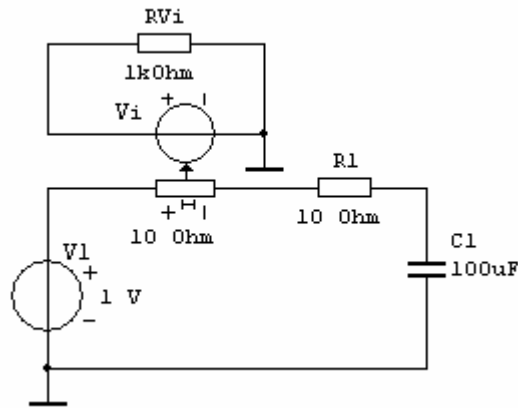



Рис. 7.13. Схема RC-цепи для определения переходных характеристик в режиме численного анализа

- Заменить генератор сигналов *XFG1* на источник постоянного напряжения *V1*, отключив предварительно генератор *XFG1* от цепи (см. п.п.1.2.Б.13, 1.2.Б.2).
- Отсоединить от исследуемой цепи осциллограф *XSC1*, удалив проводники, соединяющие осциллограф с цепью (см. п.1.2.Б.13).
- Присоединить к выводам управляемого источника *Vi* нагрузочный резистор *RVi*.
- Задать параметры источника постоянного напряжения *V1* в соответствии с определением переходных характеристик: установить напряжение сигнала, равное 1 В (см. п.1.2.Б.14).
- Задать параметры нагрузочного резистора *RVi* аналогично п.1.2.Б.15. Установить значение сопротивления *RVi* равным 1кОм (по умолчанию принято 1 *kOhm*).
- Идентифицировать узлы (узловые напряжения) схемы аналогично п.6.2.Б.15.
- Выбрать в качестве реакций для определения переходных характеристик напряжение на емкости $u_C(t)$ и ток $i(t)$, которому соответствует напряжение на выходе источника *Vi*.

7.2.Б.13. Задать вид численного анализа и его параметры.

- Вызвать окно перечня видов анализа кнопкой  на инструментальной панели.
- Выбрать анализ переходных режимов *Transient Analysis* и, активизируя эту строку, открыть окно задания параметров анализа *Transient Analysis* на закладке *Analysis Parameters*.
- В разделе *Initial Conditions* (начальные условия) выбрать вид независимых начальных условий в перечне падающего меню: *Set to zero* – нулевые (по умолчанию *Automatically determine initial* – автоматическое определение начальных условий).
- В разделе *Parameters* в строке *Start time (TSTART)* установить значение нижнего предела интегрирования (момент коммутации) $t_0 = 0$.

- В строке *End time (TSTOP)* установить значение верхнего предела интегрирования $t_{\text{рас.}} = (5 - 6)\tau$ в секундах, используя значение τ , рассчитанное в п.7.2.Б.5.

- Включить режим автоматического выбора максимального шага интегрирования *Maximum time step setting (TMAX)*.

- Включить режим *Minimum number of time points* (задание минимального количества точек расчета, выводимых на графики) и установить значение равное 1000.

- Открыть закладку *Output variables*.

- В обоих разделах *Variables in circuit* и *Selected variables for analysis* в падающих меню установить вид списка переменных *All variables* (все переменные).

- Перевести из окна раздела *Variables in circuit* в окно раздела *Selected variables for analysis* номера узлов (узловых напряжений), выбранных в п.7.2.Б.12 реакций (см. п.6.2.Б.16).

7.2.Б.14. Запустить процесс анализа кнопкой Simulate.

- Результаты анализа отображаются в окне *Analysis Graphs* (см. п.6.2.Б.17).

7.2.Б.15. Используя визирь снять с результатов анализа координаты 4...6 точек для каждой переходной характеристики: $h_u(t) = u_C(t)$ и $h_i(t) = i(t)$ (см. п.6.2.Б.18). Координаты точек обеих характеристик следует снимать для одинаковых значений времени t , т.е. использовать один визирь (положение визира измеряет одновременно значение $u_C(t)$ и значение $i(t)$ для момента t , соответствующего этому положению).

- С горизонтальной оси "X" считывается значение t в секундах.

- С вертикальной оси "Y" считываются мгновенные значения переходных характеристик в вольтах. Значения координат характеристики $i(t)$ следует вычислять по значению напряжения управляемого источника V_i с учетом коэффициента передачи H (см. п.7.2.Б.8).

- Данные измерений занести в табл.7.4.

Таблица 7.4

Переходные характеристики RC - цепи первого порядка $u_C(t)$, $i(t)$

$t, \text{с}$						$t_{\text{рас.}}, \text{с}$
$V_i, \text{В}$						
$i, \text{А}$						
$u_C, \text{В}$						

7.2.Б.16. По результатам численного анализа (табл.7.4) построить на одной координатной сетке графики переходных характеристик $u_C(t)$, $i(t)$ и указать на графиках независимые начальные условия для переменной состояния.

7.2.Б.17. Принять значение допустимой погрешности по заданию преподавателя $\pm \Delta\%$ в диапазоне (3...5)%.

7.2.Б.18. Используя визиры определить значение $t_{\text{рас.}}$ по моменту окончательного входа характеристики $u_C(t)$ в трубку заданной (допустимой) погрешности. Результат измерения занести в табл.7.4.

7.2.Б.19. Проанализировать характер переходных характеристик и сделать выводы.

7.2.Б.20. Провести численный анализ переходных процессов в исследуемой цепи (рис.7.13) в режиме перебора (изменения) параметра резистора $R1$. В качестве изменяемого параметра принять сопротивление резистора.

По существу такой анализ позволяет исследовать влияние значений параметров элементов на скорость протекания переходного процесса. При неизменном значении емкости конденсатора $C1$ изменение сопротивления резистора $R1$ приводит к соответствующему изменению постоянной времени цепи $\tau = R1 \cdot C1$.

- Выбрать в перечне видов анализа режим изменения параметров *Parameter Sweep* и открыть окно задания параметров режима *Parameter Sweep* на закладке *Output variables*.

- Оставить (или перевести) в окне *Selected variables for analysis* номер только одного узла (узловое напряжение), соответствующего переменной состояния: для цепи RC – напряжение $u_C(t)$.

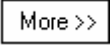
- Открыть закладку *Analysis Parameters* и повторить далее все соответствующие операции аналогично п.6.2.Г.30.

- В блоке *Points to sweep* в разделе *Start* задать начальное значение изменяемого параметра равным $0,5 \cdot R1$ Ом, где $R1$ - сопротивление исходной схемы (см.п.7.2.Б.4).


- В разделе *Stop* задать конечное значение параметра равным $1,5 \cdot R1$ Ом.

- В разделе *# of points* задать число изменений параметра равное 3.

- Шаг изменения параметра в разделе *Increment* выбирается автоматически.


- Расширить окно *Parameter sweep* (закладку *Analysis Parameters*) кнопкой .

- В разделе *Analysis to sweep* блока *More Options* выбрать из списка вид анализа – *Transient analysis*.

- Кнопкой  вызвать окно задания параметров анализа *Sweep of Transient Analysis* на закладке *Analysis Parameters*.

- Задать все параметры анализа одинаковыми с соответствующими параметрами п.7.2.Б.13. (Если значения параметров остались прежними с предыдущего численного анализа, то оставить их значения без изменений).

- Закрыть окно *Sweep of Transient Analysis* кнопкой .

- Запустить процесс анализа кнопкой .

7.2.Б.21. Результатами анализа в этом случае являются переходные характеристики $u_C(t)$ при различных значениях сопротивления резистора RI , т.е. при различных значениях τ .

7.2.Б.22. Повторить п.7.2.Б.15. Результаты измерения координат переходных характеристик занести в табл.7.5.

Таблица 7.5

Переходные характеристики RC - цепи первого порядка при различных значениях активного сопротивления ($h(t) = u_C(t)$)

$t, \text{с}$	$t_0 = 0$				$t_{\text{рас.}}, \text{с}$	$RI, \text{Ом}$	$\tau, \text{с}$
$u_C, \text{В}$							
$u_C, \text{В}$							
$u_C, \text{В}$							

7.2.Б.23. Рассчитать значения постоянной времени цепи τ для каждого варианта RI и занести их в табл.7.5.

7.2.Б.24. Повторить для каждого варианта RI п.п.7.2.Б.17 и 7.2.Б.18. Результаты измерений $t_{\text{рас.}}$ занести в табл.7.5.

7.2.Б.25. Используя результаты табл.7.5 построить на одной координатной сетке переходные характеристики $u_C(t)$ для соответствующих значений сопротивления RI .

7.2.Б.26. Проанализировать характер переходных характеристик и сделать выводы о влиянии значений параметров цепи на скорость протекания переходного процесса (оценить быстродействие цепи).

7.2.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНОЙ RL - ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

7.2.В.1. Сформировать схему для проведения виртуального эксперимента согласно рис.7.14.

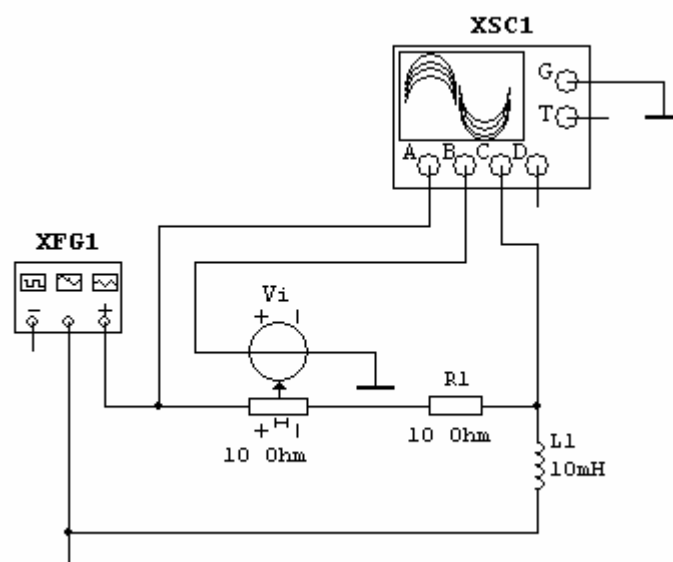


Рис.7.14. Схема виртуального эксперимента для получения временных зависимостей реакций RL - цепи в переходных режимах.

7.2.В.2. Вызвать модель линейной индуктивности $L1$ аналогично п.1.2.В.2.

7.2.В.3. Все остальные операции создания схемы рис.7.14 практически полностью повторяют операции формирования схемы RC - цепи рис.7.12 (см.п.п.7.2.Б.1, 7.2.Б.2 и 7.2.Б.3).

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

7.2.В.5. При заданных значениях $R1$ и $L1$ рассчитать постоянную времени цепи $\tau = L1/R1$ в секундах и частоту импульсного сигнала $f = 1/10\tau$ Гц.

7.2.В.6. Задать параметры входного сигнала $u_{\text{вх}}(t)$ полностью идентичными параметрам, заданным в п.7.2.Б.6.

7.2.В.7. Настройка четырехканального осциллографа $XSC1$ и параметры управляемого током источника напряжения Vi полностью совпадают с настройкой и параметрами, указанными в п.п. 7.2.Б.7 и 7.2.Б.8.

7.2.В.8. Провести виртуальный эксперимент получения временных зависимостей $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ аналогично п.7.2.Б.9. Результаты измерений занести в табл.7.6.

7.2.В.9. По данным табл.7.6 построить графики $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$ и $u_L(t)$ на одной координатной сетке.

Таблица 7.6

Временные зависимости $u_{\text{вх}}(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$

$t, \text{с}$							
$u_{\text{вх}}, \text{В}$							
$i, \text{А}$							

$u_L, \text{ В}$							
------------------	--	--	--	--	--	--	--

7.2.В.10. Для каждого момента коммутации определить независимые начальные условия переменной состояния, используя данные табл.7.6 и указать их на графиках временных зависимостей.

7.2.В.11. Подготовить схему виртуального эксперимента RL - цепи для определения переходных характеристик в режиме численного анализа согласно рис.7.15.

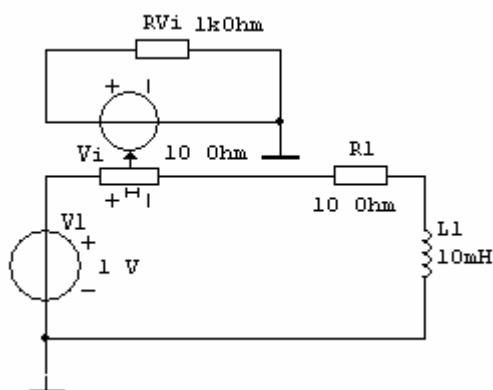


Рис.7.15. Схема RL - цепи для определения переходных характеристик в режиме численного анализа

Подготовка схемы рис.7.15 полностью аналогична подготовке схемы рис.7.13 п.7.2.Б.12.

7.2.В.12. Выбрать в качестве реакций для определения переходных характеристик ток $i(t)$, который является переменной состояния- током в индуктивности $i_L(t) = i(t)$, и напряжение $u_L(t)$. Току $i(t)$ соответствует напряжение на выходе источника V_i .

7.2.В.13. Задание вида численного анализа и его параметров полностью аналогично п.7.2.Б.13.

7.2.В.14. Провести численный анализ переходного процесса и обработку его результатов аналогично п.п.7.2.Б.14 и 7.2.Б.15.

-Данные измерений занести в табл.7.7.

7.2.В.15. Повторить операции п.7.2.Б.16 для результатов численного анализа табл.7.7.

7.2.В.16. Принять значение допустимой погрешности по заданию преподавателя $\pm\Delta\%$ в диапазоне (3...5)%.

7.2.В.17. Повторить п.п.7.2.Б.18 и 7.2.Б.19. Значения $t_{\text{рас.}}$ определять по моменту окончательного входа характеристики $i(t) = i_L(t)$ в трубку заданной (допустимой) погрешности. Результат измерения занести в табл.7.7.

Таблица 7.7

Переходные характеристики RL - цепи первого порядка $i(t)$, $u_L(t)$

$t, \text{ с}$	$t_0 = 0$					$t_{\text{рас.}}, \text{ с}$
$V_i, \text{ В}$						

i, A						
u_L, B						

7.2.B.18. Провести численный анализ переходных процессов в исследуемой цепи (рис.7.15) в режиме изменения параметра резистора RI . В качестве изменяемого параметра принять сопротивление резистора. Изменение сопротивления резистора RI при неизменном значении индуктивности LI приводит к соответствующему изменению постоянной времени цепи $\tau = LI/RI$ и, таким образом, к изменению скорости протекания переходного процесса.

- Выбор вида анализа *Parameter Sweep*, настройку его параметров и запуск провести аналогично операциям п.7.2.B.20.

- Выбрать в качестве исследуемой переменной напряжение управляемого источника Vi (датчика тока). Оно соответствует в масштабе коэффициента передачи H току $i(t)$, т.е. в данном случае – переменной состояния.

- Оставить (или перевести) в окне *Selected variables for analysis* номер только одного узла (узловое напряжения), соответствующего напряжению источника Vi .

7.2.B.19. Результатами анализа являются переходные характеристики $h(t) = i(t) = i_L(t)$ при различных значениях сопротивления резистора RI , т.е. при различных значениях постоянной времени τ .

7.2.B.20. Повторить п.7.2.B.15. Результаты измерения координат переходных характеристик занести в табл. 7.8. При занесении результатов учитывать масштаб определения тока: $i(t) = Vi(t)/H, A$.

Таблица 7.8.

Переходные характеристики RL - цепи первого порядка при различных значениях активного сопротивления ($h(t) = i_L(t)$)

t, c	$t_0 = 0$				$t_{pac.}, c$	$RI, Ом$	τ, c
i_L, A							
i_L, A							
i_L, A							

7.2.B.21. Повторить п.п.7.2.B.23 и 7.2.B.24. Результаты расчета τ и измерений $t_{pac.}$ занести в табл.7.8.

7.2.B.22. По результатам табл.7.8. построить на одной координатной сетке переходные характеристики $i_L(t)$ для соответствующих значений RI .

7.2.B.23. Проанализировать характер переходных характеристик, сравнить их с характеристиками RC - цепи (см. п.7.2.B.25) и сделать выводы по результатам сравнения и по влиянию значений параметров цепи на скорость протекания переходного процесса (оценить быстродействие цепи).

7.2.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНОЙ RLC - ЦЕПИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

В данной работе исследования переходных процессов проводятся в режиме численного анализа, результатами которого являются переходные характеристики.

Переходные характеристики позволяют судить о характере процесса и дают необходимую техническую информацию о динамических свойствах цепи.

7.2.Г.1. Сформировать схему для определения переходных характеристик RLC - цепи в режиме численного анализа согласно рис.7.16.

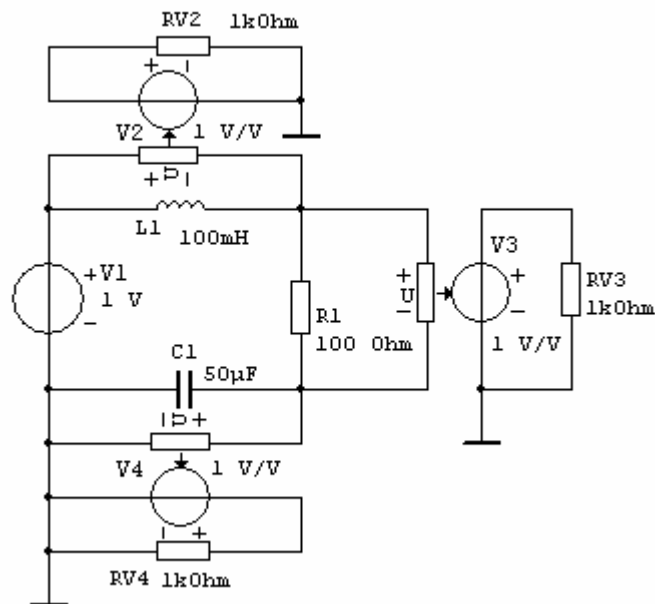


Рис.7.16. Схема последовательной RLC - цепи для определения переходных характеристик в режиме численного анализа

7.2.Г.2. Модели линейных элементов емкости $C1$, индуктивности $L1$, резистора $R1$, нагрузочных резисторов $RV2$, $RV3$, $RV4$, источника постоянного напряжения $V1$ и заземлений вызываются аналогично п.п.1.2.В.2, 1.2.Б.4, 1.2.Б.2 и 1.2.Б.3 соответственно.

7.2.Г.3. Модели источников напряжения, управляемых напряжением

$V2$, $V3$, $V4$ вызываются аналогично п.п.6.2.Г.4 и 6.2.Г.5.

Управляемые источники напряжения $V2$, $V3$, $V4$ используются в данной работе в качестве датчиков напряжений (см.п.6.2.Г.3).

7.2.Г.4. Соединить все элементы между собой согласно схеме рис.7.16 (см.п.1.2.Б.13).

7.2.Г.5. По заданию преподавателя задать параметры пассивных элементов: $R1$ - в диапазоне 100...200 Ом; $L1$ - в диапазоне 50 ...200 мГн, $C1$ - в диапазоне 1...50 мкФ (см. п.п.1.2.Б.15, 1.2.В.6, 1.2.В.7).

7.2.Г.6. Задать значения сопротивлений нагрузки управляемых источников $RV2 = RV3 = RV4 = 1$ кОм (по умолчанию 1 kOhm), см. п.1.2.Б.15.

7.2.Г.7. Задать параметры управляемых источников $V2$, $V3$, $V4$ идентичными параметрам в п.6.2.Г.10. Операции задания параметров аналогичны операциям п.6.2.Г.10.

7.2.Г.7. Задать параметры источника постоянного напряжения $V1$ в соответствии с определением переходных характеристик: установить напряжение сигнала 1 В (см. п.1.2.Б.14).

7.2.Г.8. Используя заданные значения параметров RI , LI , CI определить корни λ_1 , λ_2 характеристического уравнения цепи (см. выражение (7.43)).

- Рассчитать значения $\delta = RI/2LI$ и $\omega_0 = \sqrt{1/LI \cdot CI}$ и сравнить их между собой.

- По результатам этого сопоставления определить вид корней и характер ожидаемого переходного процесса.

- Занести значения параметров RI , LI , CI , δ и ω_0 в соответствующие графы табл.7.9.

- Определить корни λ_1 и λ_2 по выражению (7.45) и занести их значения в соответствующие графы табл.7.9.

Таблица 7.9

Параметры RLC - цепи в переходном режиме

Характер переходного процесса									
Апериодический: $\delta > \omega_0$					Колебательный: $\delta < \omega_0$				
$RI, \text{Ом}$	$LI, \text{Гн}$	$CI, \text{Ф}$	δ	$\omega_0, \text{рад/с}$	$RI, \text{Ом}$	$LI, \text{Гн}$	$CI, \text{Ф}$	δ	$\omega_0, \text{рад/с}$
λ_1					λ_1				
λ_2					λ_2				

7.2.Г.9. Идентифицировать узлы (узловые напряжения) схемы аналогично п.6.2.Б.15.

7.2.Г.10. Выбрать в качестве реакций для определения переходных характеристик напряжения: на индуктивности- $u_L(t)$, на емкости- $u_C(t)$, на резисторе- $u_R(t)$. Переходная характеристика $i(t) = i_L(t) = i_C(t) = i_R(t)$ будет совпадать по форме с характеристикой $u_R(t)$.

7.2.Г.11. При численном анализе использовать для выбранных реакций $u_L(t)$, $u_R(t)$, $u_C(t)$ напряжения их датчиков $V2$, $V3$, $V4$.

7.2.Г.12. Задать вид численного анализа и его параметры аналогично п.7.2.Б.13.

- На закладке Analysis Parameters в разделе *Parameters* установить в строке *End time (TSTOP)* значение верхнего предела интегрирования $t_{\text{рас.}} \cong (5...6)/\delta$ в секундах для случая $\delta < \omega_0$ или $t_{\text{рас.}} \cong (5...6)/|\lambda|_{\min}$ в секундах для случая $\delta > \omega_0$, где $|\lambda|_{\min}$ - наименьший из модулей $|\lambda_1|$ и $|\lambda_2|$.

- Остальные операции и значения параметров на закладке Analysis Parameters совпадают с операциями и параметрами п.7.2.Б.13.

- На закладке *Output variables* перевести из окна раздела *Variables in circuit* в окно раздела *Selected variables for analysis* номера узлов (узловых напряжений), соответствующих напряжениям управляемых источников (датчиков напряжений) $V2$, $V3$, $V4$ согласно п.7.2.Г.11.

7.2.Г.13. Запустить процесс анализа кнопкой .

7.2.Г.14. Обработку результатов численного анализа провести аналогично п.7.2.Б.15.

- Данные измерений занести в табл.7.10.

7.2.Г.15. Повторить операции п.7.2.Б.16 для результатов численного анализа табл.7.10 и указать характер процесса.

Таблица 7.10

Переходные характеристики RLC - цепи второго порядка $u_L(t)$, $u_C(t)$, $u_R(t)$

Характер процесса: ...						$t_{\text{рас}}$, с
t , с	$t_0 = 0$					
u_L , В						
u_C , В						
u_R , В						

7.2.Г.16. Повторить п.п.7.2.Б.17, 7.2.Б.18 и 7.2.Б.19 для результатов проведенного анализа.

- Значение $t_{\text{рас.}}$ определить по моменту окончательного входа характеристики $u_C(t)$ в трубку заданной погрешности. Результат измерения занести в табл.7.10.

7.2.Г.17. Изменить значение параметра одного из элементов, принятое в п.7.2.Г.5, например емкости $C1$, таким образом, чтобы получить другой вид корней характеристического уравнения. Если при ранее заданных параметрах выполнялось условие $\delta > \omega_0$, то необходимо добиться выполнения условия

$\delta \leq \omega_0$ и наоборот.

- Рассчитать значения δ и ω_0 и занести новый вариант значений всех параметров цепи в соответствующие графы табл.7.9.

- Определить новые значения корней λ_1 и λ_2 по выражению (7.45) и занести их в табл.7.9.

7.2.Г.18. Задать вид численного анализа аналогично п.7.2.Б.13.

- Открыть окно задания параметров анализа *Transient Analysis* на закладке *Analysis Parameters*.

- В разделе *Parameters* в строке *End time (TSTOP)* установить значение верхнего предела интегрирования $t_{\text{рас.}}$ в секундах в соответствии с соотношением между значениями δ и ω_0 (см. п.7.2.Г.12).

- Остальные параметры анализа на закладках *Analysis Parameters* и *Output variables* оставить теми же, что и в п.7.2.Г.12.

7.2.Г.19. Запустить процесс анализа кнопкой .

- 7.2.Г.20. Обработку результатов провести аналогично п.7.2.Б.15.
- Данные измерений занести в табл.7.11.
 - Повторить операции п.п.7.2.Г.15, 7.2.Г.16 для результатов численного анализа табл.7.11.

Таблица 7.11

Переходные характеристики RLC - цепи второго порядка $u_L(t)$, $u_C(t)$, $u_R(t)$

Характер процесса: ...						$t_{\text{рас}}, \text{с}$
$t, \text{с}$	$t_0 = 0$					
$u_L, \text{В}$						
$u_C, \text{В}$						
$u_R, \text{В}$						

7.2.Г.21. Проанализировать результаты табл.7.10 и табл.7.11. Сделать выводы о влиянии параметров элементов цепи на характер переходных процессов и на скорость протекания процесса. Сделать выводы о связи вида корней характеристического уравнения цепи и характера переходного процесса.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие цепи принято относить к линейным динамическим цепям?
2. Какие режимы в цепях называются установившимися?
3. Что такое переходный процесс (режим)?
4. Что является причиной возникновения переходного процесса?
5. В чем заключается понятие коммутаций?
6. В чем отличие реальной коммутации и идеальной?
7. В чем состоит задача анализа переходных процессов в цепи?
8. Какие основные особенности переходных процессов в реальных цепях (устройствах) известны Вам?
9. Какие основные упрощающие допущения принимаются при анализе переходных процессов в линейных цепях?
10. В чем состоит общий порядок анализа переходных процессов?
11. Что представляет в общем случае полная математическая модель цепи для анализа переходных процессов?
12. Какие методы решения уравнений цепи при анализе переходных процессов Вам известны и в чем их основной смысл?
13. Какие переменные являются переменными состояниями при анализе переходных процессов в технических устройствах?
14. Какие переменные электрической цепи выбираются в качестве

переменных состояния?

15. Что такое независимые начальные условия и на основе чего они определяются в технических задачах?

16. В чем заключаются законы коммутации и их следствия?

17. Что такое зависимые начальные условия и на основе чего они определяются?

18. Что такое порядок динамической цепи и чем он определяется?

19. Какой характер имеют временные зависимости реакций в переходных режимах в цепях первого и второго порядков?

20. Что такое постоянная времени цепи, от чего она зависит и как влияет на скорость протекания переходного процесса?

21. Как определить значение постоянной времени цепи по временной зависимости реакции?

22. Какие способы построения характеристического уравнения цепи Вам известны?

23. Какова взаимосвязь между видом корней характеристического уравнения цепи и характером переходного процесса?

24. Что такое переходные и импульсные переходные характеристики и в чем их практический смысл?

25. Какие варианты экспериментального определения переходных и импульсных переходных характеристик Вам известны?

26. Какие варианты аналитического определения переходных и импульсных переходных характеристик Вам известны и в чем их основной смысл?

27. Каким образом можно определить приближенное значение верхнего предела интегрирования при аналитическом построении переходных характеристик?

28. Что такое расчетное время переходного процесса и как оно определяется?

29. Какие технические параметры и и каким образом можно получить из переходных и импульсных характеристик?