

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
«МАИ»

Кафедра теоретической радиотехники

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
«Исследование временных характеристик цепей первого порядка»

Утверждено на заседании кафедры 405
31 августа 2013 г.
протокол № 8

Москва, 2013 г.

Цель работы. Экспериментальное исследование временных характеристик RC - и RL - цепей, наблюдение реакции цепей на последовательность прямоугольных импульсов при различных соотношениях между длительностью импульсов и постоянной времени цепи.

1. Краткие теоретические сведения

Переходным называется процесс изменения токов и напряжений в цепи при её переходе от одного установившегося режима к другому. Переходные процессы возникают в цепи при её коммутации (подключении цепи к источнику питания или отключении от него), при скачкообразном изменении напряжения (тока) источника или параметров элементов цепи. Характер переходного процесса зависит от типа цепи, начальных условий и от анализируемой величины (ток или напряжение). Под начальными условиями понимают значения токов и напряжений на элементах схемы в момент времени непосредственно перед коммутацией.

В данной работе исследуется переходной процесс в линейной цепи первого порядка под действием скачка источника напряжения $e(t)$ от одной заданной величины до другой заданной величины, например:

$$v_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} E^-, & t < 0, \\ E^+, & t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Переходной процесс представляет собой сумму собственной (свободной) и вынужденной (установившейся) реакций:

$$v_{\text{вых}}(t) = \begin{cases} v(0^-), & t < 0, \\ v_{\text{соб}}(t) + v_{\text{вын}}, & t > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $v(t)$ – напряжение между заданными узлами цепи.

Собственная реакция цепи первого порядка определяется выражением:

$$v_{\text{соб}}(t) = K \cdot e^{-\alpha t}, \quad t > 0, \quad (3)$$

где K – амплитуда собственной реакции, $\alpha = 1/\tau$ – коэффициент затухания (собственная частота) цепи, τ – постоянная времени цепи, определяемая выражениями:

$$\tau_{RL} = \frac{L}{R}, \quad \tau_{RC} = RC. \quad (4)$$

Для определения независимых начальных условий (напряжения на ёмкости $v_C(0^-)$ или тока через индуктивность $i_L(0^-)$) и вынужденной реакции цепи на заданное воздействие необходимо ёмкость заменить на холостой ход (XX) –

разрыв цепи, а индуктивность – на короткое замыкание (КЗ) согласно рис. 1. Далее необходимый ток или напряжение можно найти по эквивалентной схеме для значения входного воздействия при $t = 0^-$ и $t \rightarrow \infty$.

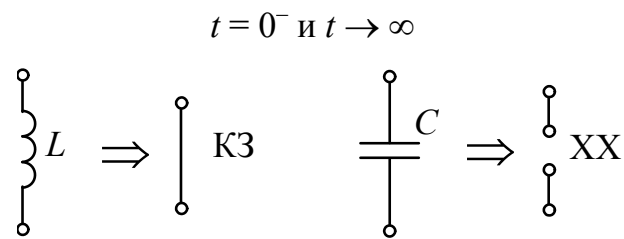


Рис. 1. Эквивалентные схемы реактивных элементов по постоянному току.

Для определения начальных условий в момент времени $t = 0^+$ необходимо индуктивность и ёмкость заменить эквивалентными источниками тока или напряжения соответственно согласно рис. 2, а величину входного воздействия принять равной значению напряжения на входе цепи E^+ .

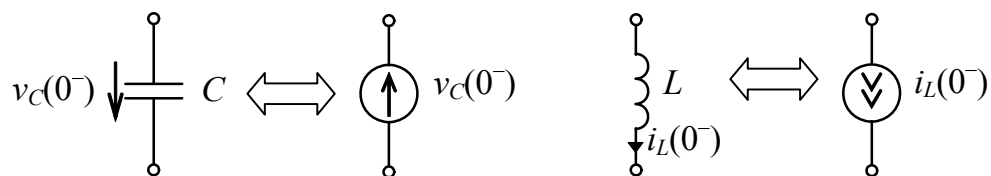


Рис. 2. Эквивалентные схемы реактивных элементов для $t = 0^+$.

После замены реактивных элементов искомые начальные условия и установившееся значение в цепи первого порядка находятся путём расчёта цепи по постоянному току.

При анализе переходных процессов в линейных цепях необходимо помнить, что ток через индуктивность и напряжение на ёмкости являются переменными состояниями цепи и не могут измениться скачком:

$$i_L(0^-) = i_L(0^+), \quad v_C(0^-) = v_C(0^+). \quad (5)$$

В общем случае реакция цепи первого порядка на произвольное входное воздействие может быть записана в виде:

$$s(t) = s(\infty) + (s(0^+) - s(\infty)) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t > 0, \quad (6)$$

где $s(t)$ – ток или напряжение на элементе цепи.

Пример графика переходного процесса в цепи первого порядка показан на рис. 3.

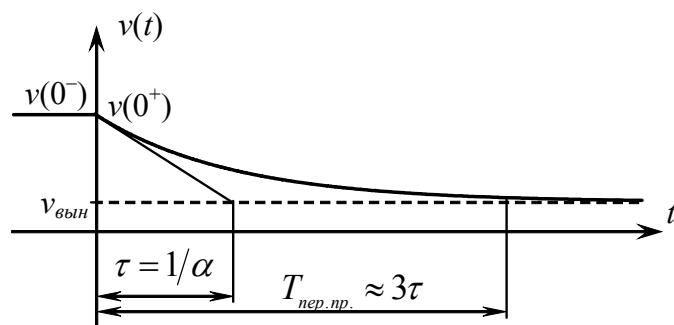


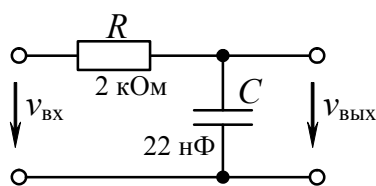
Рис. 3. Переходной процесс в цепи первого порядка.

2. Задание для подготовки к лабораторной работе

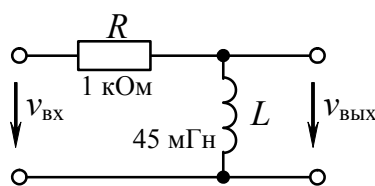
Зарисовать в отчёт схему исследуемой цепи согласно номеру варианта.

Таблица 1

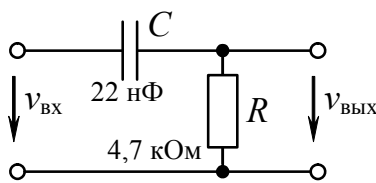
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема цепи	3 а)	3 б)	3 в)	3 г)	3 а)	3 б)	3 в)	3 г)	3 а)	3 б)
E^- , В	-1	3	-4	1	0	2	-2	-8	4	-3
E^+ , В	2	-2	0	6	-3	-4	1	-3	1	2



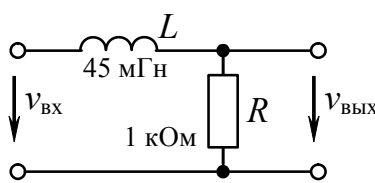
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Линейные цепи первого порядка.

Для известных номиналов элементов цепи (рис. 4) рассчитать постоянную времени цепи, начальные условия, вынужденную реакцию и нарисовать график переходного процесса.

3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерение переходной характеристики

Соберите схему подключения измерительных приборов и стенда для измерения переходной характеристики линейной цепи, показанную на рис. 5.

Сигнал на вход макета подаётся с генератора импульсов. Рекомендуется при этом использовать синхронизацию генератора и осциллографа.

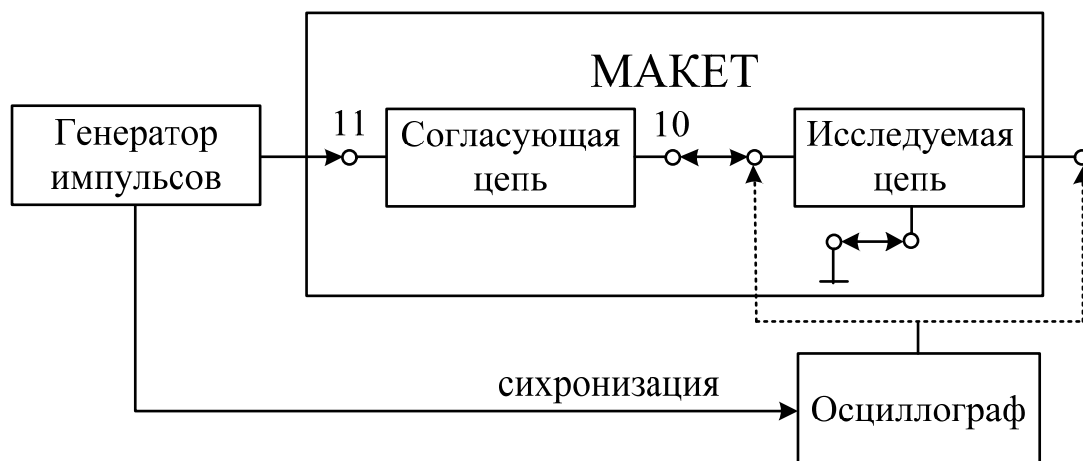


Рис. 5. Схема подключения измерительных приборов и стенда.

Согласно номеру варианта в табл. 1 подключите исследуемую цепь. Номера контактов для подключения цепи показаны на рис. 6.

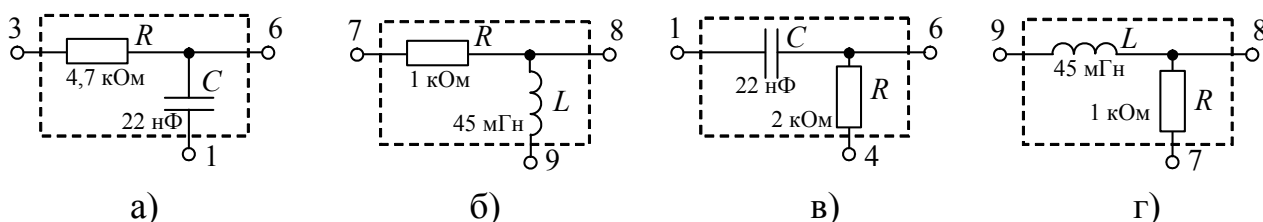


Рис. 6. Схемы подключения линейных цепей.

Произведите экспериментальное определение переходной характеристики цепи – реакции на единичное скачкообразное воздействие. Для этого установите параметры импульсного сигнала: длительность импульса $\tau_{и} = 1000$ мкс, период повторения $T = 4000$ мкс, амплитуда $U_{и} = 1$ В (контроль параметров осуществляется по осциллографу). Полярность импульсов, снимаемых с генератора, отрицательная. Установите такую развертку осциллографа, чтобы наблюдать на экране однократное ступенчатое воздействие. Подключите осциллограф к выходу исследуемой цепи, наблюдайте переходную характеристику. Развертку подберите так, чтобы характеристика была достаточно растянутой. Изобразите осциллограмму переходной характеристики в отчете. Найдите по ней постоянную времени цепи. Примерные графики переходных характеристик приведены на рис. 7.

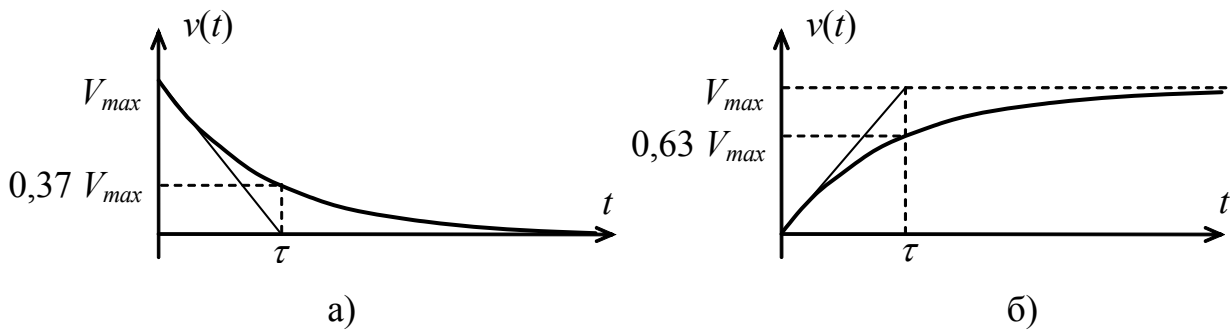


Рис. 7. Переходные характеристики цепей первого порядка.

2. Исследование реакции цепи на прямоугольные импульсы

Исследуйте реакцию цепи на последовательность прямоугольных импульсов. Устанавливая следующие параметры импульсов: длительность импульса а) $\tau_u = 10\tau$, б) $\tau_u = \tau$, в) $\tau_u = 0,1\tau$, период $T = 5\tau_u$, амплитуда $V_{вх} = 1$ В, зарисуйте в одном масштабе осциллограммы входных и выходных импульсов. Отметьте, как изменяется форма выходных импульсов при изменении длительности входного сигнала.

3. Выводы по работе

Сделайте комментарии и выводы по проделанной работе. Объясните вид переходной характеристики исходя из свойств емкости, индуктивности и сопротивления, а также свойств образуемой ими одноконтурной цепи. Учтите, что напряжение на емкости и ток через индуктивность не могут изменяться скачком, что вследствие инерционных свойств реактивных элементов возникают переходные процессы в цепи. Поскольку прямоугольный импульс можно представить как наложение смещенных во времени ступенчатых воздействий, следует утверждать, опираясь на принцип суперпозиции и принцип инвариантности во времени линейной цепи, что форма выходного импульса определяется наложением смещенных во времени переходных характеристик. Используйте данное положение для объяснения характера выходного сигнала цепи при различных длительностях входных импульсов. Сопоставьте экспериментальные результаты с выводами теоретического анализа процессов в исследуемых цепях.