

## Лабораторная работа 2.1

### Исследование переходных процессов в RC - цепи первого порядка

#### 2.1. Общие сведения о переходных процессах в линейных цепях

Наряду с установившимися режимами в электрических цепях наблюдаются переходные процессы, происходящие при переходе от одного установившегося режима к другому. Переходные процессы возникают при включении или выключении отдельных ветвей или при внезапном изменении параметров цепи. Такие изменения называют *коммутациями*. Принято считать, что коммутация происходит в момент времени  $t = 0$ .

В реальных цепях переходный процесс мгновенно завершиться не может. Причина заключается в том, что энергия  $w_L = \frac{L i_L^2}{2}$ , запасаемая в магнитном поле индуктивного элемента, и энергия  $w_C = \frac{C u_C^2}{2}$ , запасаемая в электрическом поле емкостного элемента, не могут изменяться мгновенно.

Характер переходных процессов зависит от многих факторов, в частности от числа индуктивных и емкостных элементов, конфигурации цепи, формы токов и напряжений источников и т. д.

Поскольку токи индуктивных и напряжения емкостных элементов являются непрерывными функциями времени, то в момент коммутации справедливы равенства:

$$i_L(0_-) = i_L(0_+);$$

$$u_C(0_-) = u_C(0_+).$$

Эти равенства называют *законами коммутации*. Итак, в начальный момент после коммутации токи индуктивных элементов и напряжения емкостных элементов остаются такими же, какими они были перед коммутацией, а затем плавно изменяются.

Подчеркнем, что условие непрерывности справедливо только для токов  $i_L$  и напряжений  $u_C$ . Напряжения индуктивных и токи емкостных элементов, так же как напряжения и токи резистивных элементов, «имеют право» изменяться скачком.

Значения тока индуктивного и напряжения емкостного элементов в момент коммутации называют *независимыми начальными условиями*. Эти токи и напряжения, а также независимые источники, определяют режим цепи

в первый момент после коммутации. Если в момент коммутации токи всех индуктивных и напряжения всех емкостных элементов равны нулю, то соответствующие начальные условия называют *нулевыми*. В противном случае начальные условия являются ненулевыми.

При  $t = 0_+$  индуктивный элемент эквивалентен независимому источнику тока, а емкостный – источнику напряжения (рис. 2.1.1, а, б). Замена индуктивного и емкостного элементов при  $t = 0_+$  независимыми источниками упрощает расчет послекоммутационного режима, поскольку мы получаем резистивную цепь, описываемую алгебраическими уравнениями. При нулевых начальных условиях емкостный элемент эквивалентен короткому замыканию, а индуктивный – разрыву (рис. 2.1.2, а, б).

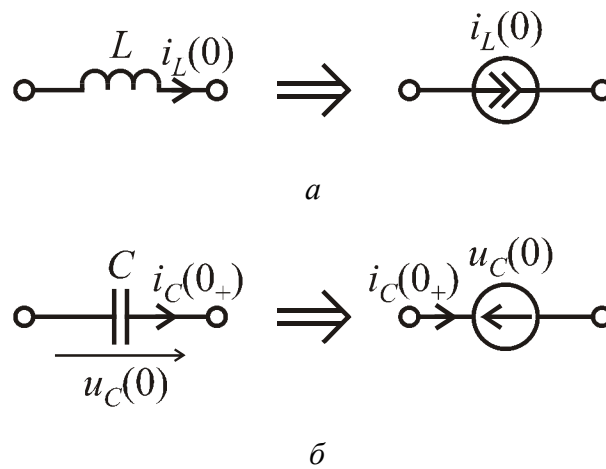


Рис. 2.1.1

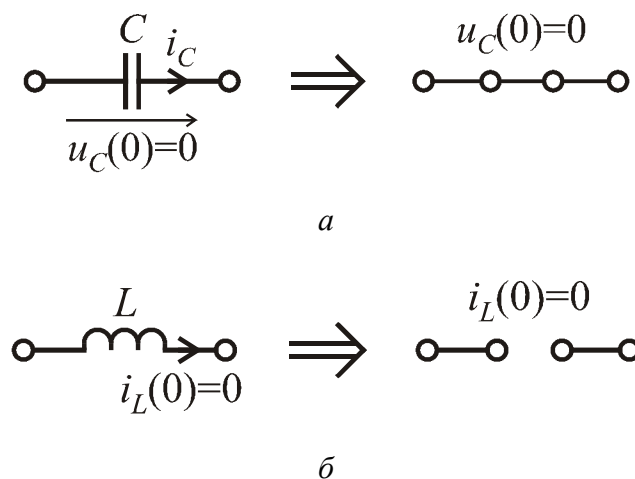


Рис. 2.1.2

## 2.1.2. Переходный процесс в RC-цепи

Предположим, что в момент  $t=0$  последовательная RC-цепь подключается к источнику постоянного напряжения (рис. 2.1.3). Начальное напряжение емкостного элемента  $u_c(0) = U_0$ .

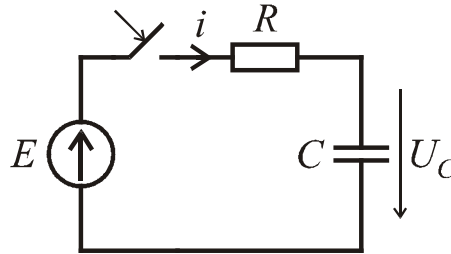


Рис. 2.1.3

В соответствии с вторым законом Кирхгофа для цепи на рис. 2.1.3 при  $t \geq 0$  справедливо уравнение

$$u_c + Ri = E.$$

С учетом того, что  $i = C \frac{du_c}{dt}$ , получим уравнение состояния:

$$\frac{du_c}{dt} = -\frac{1}{\tau} u_c + \frac{1}{\tau} E, \quad (2.1.1)$$

Здесь  $t = RC$  – постоянная времени RC-цепи. Искомой величиной является напряжение емкостного элемента  $u_c(t)$ .

Решение уравнения (2.1.1) равно сумме принужденной и свободной составляющих:

$$u_c(t) = u_{св} + u_{пр}$$

Свободная составляющая напряжения на емкости

$$u_{св}(t) = A e^{-t/\tau}.$$

Здесь  $A = U_0 - u_{уст}$  – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.

Закон изменения свободной составляющей напряжения  $u_{св}(t)$  определяется тремя величинами: начальным состоянием  $U_0 = u_c(0)$ , установившимся состоянием  $u_{уст}$  и постоянной времени  $\tau = RC$ . Характер переходного процесса определяется знаком постоянной времени. Если  $\tau > 0$ ,

то свободная составляющая  $u_{св}(t) = (U_0 - u_{уст})e^{-t/\tau}$  затухает с течением времени.

Величина постоянной времени определяет скорость изменения свободной составляющей. Постоянная времени равна промежутку времени, за который свободная составляющая переходного тока или напряжения изменяется в  $e = 2.718$  раза.

Теоретически стационарный режим в цепи устанавливается спустя бесконечно большое время после коммутации, поскольку свободная составляющая никогда не обращается в нуль. На практике длительность переходного процесса принимают равной  $(4-5)\tau$ .

Второе слагаемое в формуле (4.11) выражает установившийся, или принужденный, режим, задаваемый источником. Его называют *принужденной составляющей*. Принужденная составляющая имеет форму, сходную с формой входного сигнала. Если в цепи действуют источники постоянных напряжений и токов, то и принужденная составляющая будет постоянной.

При экспериментальном исследовании переходных процессов на входе цепи включают источник прямоугольных импульсов. Это равносильно тому, что на входе включаются источники напряжения противоположной полярности (рис. 2.1.).

## Рекомендуемая литература

1. Бычков, Ю. А. Основы теории электрических цепей: учеб. для вузов / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Э. П. Чернышев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. – 464 с.
2. Бакалов, В. П. Основы теории цепей: учебник для вузов / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. И. Крук. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2000. – 592 с.
3. Атабеков Г. И. Основы теории цепей: Учебник. 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2006. – 432 с.
4. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 1 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 270 с.
5. Матханов, П. Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи / П. Н. Матханов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
6. Белецкий, А. Ф. Теория линейных электрических цепей / А. Ф. Белецкий. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.
7. Башарин, С. А. Теоретические основы электротехники: Теория электрических цепей и электромагнитного поля: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / С. А. Башарин, В. В. Федоров. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.

