

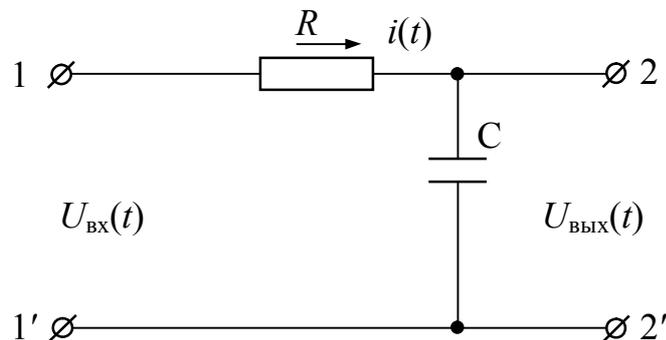
Лабораторная работа № 16

Исследование работы дифференцирующей и интегрирующей цепей

В импульсных устройствах задающий генератор часто вырабатывает импульсы прямоугольной формы определенной длительности и амплитуды, которые предназначены для представления чисел и управления элементами вычислительных устройств, устройств обработки информации и др. Однако, для правильного функционирования различных элементов в общем случае требуются импульсы вполне определенной формы, отличной от прямоугольной, имеющие заданные длительность и амплитуду. Вследствие этого возникает необходимость предварительно преобразовать импульсы задающего генератора. Характер преобразования может быть разным. Так, может потребоваться изменить амплитуду или полярность, длительность задающих импульсов, осуществить их задержку во времени.

Преобразования в основном осуществляются с помощью линейных цепей – четырехполюсников, которые могут быть пассивными и активными. В рассматриваемых цепях пассивные четырехполюсники не содержат в своем составе источники питания. С помощью линейных цепей осуществляются такие преобразования, как дифференцирование, интегрирование, укорочение импульсов, изменение амплитуды и полярности, задержка импульсов во времени. Операции дифференцирования, интегрирования и укорочения импульсов выполняются соответственно дифференцирующими и укорачивающими цепями, изменение амплитуды и полярности импульса может производиться с помощью импульсного трансформатора, а задержка его во времени - линией задержки.

ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ. На рис. 1 приведена схема простейшей цепи (пассивного четырехполюсника), с помощью которой можно выполнить операцию интегрирования входного электрического сигнала, поданного на зажимы 1-1', если выходной сигнал снимать с зажимом 2-2'.



Составим уравнение цепи для мгновенных значений токов и напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$U_{\text{вх}}(t) = i(t) \cdot R + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

Отсюда следует, что ток цепи будет изменяться по закону

$$i = \frac{U_{\text{вх}}(t)}{R} - \frac{1}{RC} \int_0^t i(t) dt$$

Если выбрать постоянную времени $\tau = RC$ достаточно большой, то вторым слагаемым в последнем уравнении можно пренебречь, тогда

$$i(t) = \frac{U_{\text{вх}}(t)}{R}$$

Напряжение на конденсаторе (на зажимах 2-2') будет равно:

$$U_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}}(t) dt = \frac{U_{\text{вх}}(t)}{RC} \quad (1)$$

Из (1) видно, что цепь, приведенная на рис. 1, выполняет операцию интегрирования входного напряжения и умножения его на коэффициент пропорциональности, равный обратному значению постоянной времени цепи:

$$\frac{1}{RC} = \frac{1}{\tau}.$$

Временная диаграмма выходного напряжения интегрирующей цепи при подаче на вход последовательности прямоугольных импульсов показана на рис. 2.

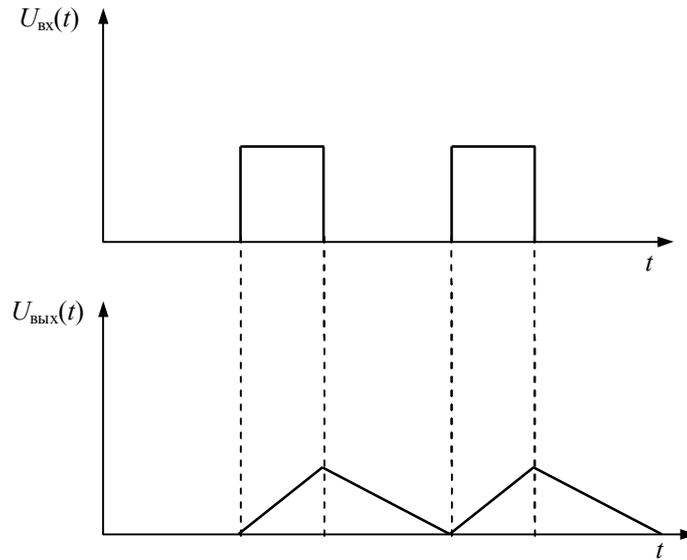


Рис. 2. Временная диаграмма работы интегрирующей цепи.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ. С помощью цепи, схема которой приведена на рис. 3 (пассивного четырехполюсника), можно выполнять операцию дифференцирования входного электрического сигнала, поданного на зажимы 1-1', если выходной сигнал снимать с зажимов 2-2'.

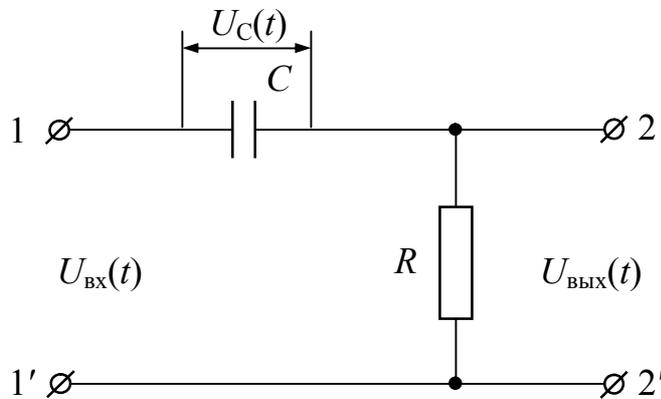


Рис. 3. Дифференцирующая цепь

Составим уравнение цепи для мгновенных значений тока и напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$U_{\text{вх}}(t) = i(t)R + U_C(t) = i(t)R + \frac{1}{C} \int_0^t i(t)dt$$

Если сопротивление R мало и членом $i(t)R$ можно пренебречь, то ток в цепи

$$i = C \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt} \quad (2)$$

Анализируя (2), можно видеть, что с помощью рассматриваемой цепи выполняют операцию дифференцирования входного напряжения и умножения его на коэффициент пропорциональности, равный постоянной времени $\tau = RC$. Форма входного напряжения дифференцирующей цепи при подаче на вход прямоугольных импульсов приведена на рис. 4. В этом случае теоретически, выходное напряжение должно представлять собой знакопеременные импульсы бесконечно большой амплитуды и малой (близкой к нулю) длительности.

Однако вследствие различия свойств реальной и идеальной дифференцирующих цепей, а также конечной крутизны фронта импульса на выходе получают импульсы, амплитуда которых меньше амплитуды входного сигнала, а длительность их определяется как $\tau_u \approx (3 \div 4)\tau = (3 \div 4)RC$.

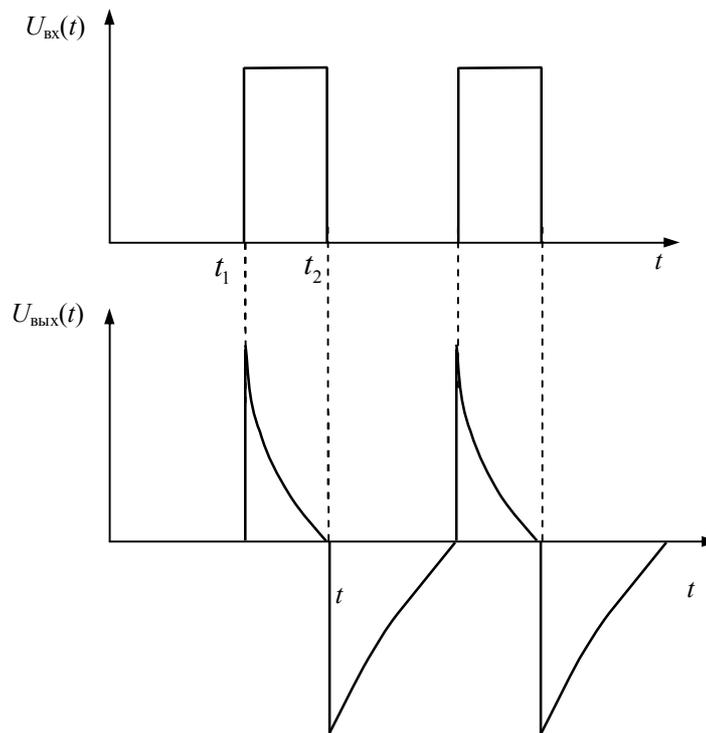


Рис. 2. Временная диаграмма работы дифференцирующей цепи.

В общем случае форма выходного напряжения зависит от соотношения длительности импульса входного сигнала t_u и постоянной времени дифференцирующей цепи τ . В момент t_1 входное напряжение приложено к резистору R , так как напряжение на конденсаторе скачком измениться не может. Затем напряжение на конденсаторе C возрастает по экспоненциальному закону, а напряжение на резисторе R , т.е. выходное напряжение, снижается по экспоненциальному

закону и становится равным нулю в момент t_2 когда зарядка конденсатора заканчивается. При малых значениях τ длительность выходного напряжения мала. Когда напряжение $U_{ex}(t)$ становится равным нулю, конденсатор начинает разряжаться через резистор R . Таким образом, формируется импульс обратной полярности.

Пассивные интегрирующие и дифференцирующие цепи имеют следующие недостатки: обе математические операции реализуются приближенно, с известными погрешностями. Приходится вводить корректирующие звенья, в свою очередь, сильно снижающие амплитуду выходного импульса, т.е. без промежуточного усиления сигналов практически невозможно n -кратное дифференцирование и интегрирование.

Эти недостатки не свойственны активным дифференцирующему и интегрирующему устройствам. Одним из возможных способов реализации этих устройств является применение операционных усилителей.

АКТИВНОЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО. Схема такого устройства на операционном усилителе приведена на рис. 5. Ко входу 1 подключен конденсатор C , а в цепь обратной связи включен резистор R_{OC} . Так как входное сопротивление чрезвычайно велико $R_{ex} \rightarrow \infty$, то входной ток обтекает схему по пути, указанному пунктиром. С другой стороны, напряжение U_{ex} в этом включении очень мало, так как $K_u \rightarrow \infty$, поэтому потенциал точки B схемы практически равен нулю.

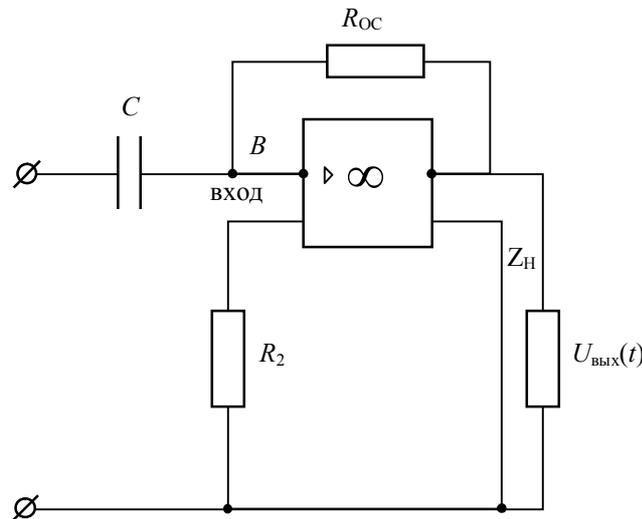


Рис. 5. Активное дифференцирующее устройство

Следовательно, ток на входе

$$i(t) = -U_{ex}/R_{OC} \quad (3)$$

Ток на выходе $i(t)$ одновременно является зарядным током конденсатора C : $dq = C dU_{ex}(t)$, откуда

$$i(t) = C dU_{ex}(t)/dt \quad (4)$$

Приравнявая левые части уравнений (3) и (4), можно написать

$$\frac{-U_{ex}(t)}{R_{OC}} = C \frac{dU_{ex}(t)}{dt}, \text{ откуда}$$

$$U_{ex}(t) = -R_{OC} \cdot C \frac{dU_{ex}(t)}{dt} \quad (5)$$

Таким образом, выходное напряжение операционного усилителя является произведением входного напряжения по времени, умноженной на постоянную времени $\tau = R_{OC} \cdot C$.

АКТИВНОЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО. Схема интегрирующего устройства на операционном усилителе, приведенная на рис. 6, отличается от дифференцирующего устройства рис. 5 только тем, что конденсатор C и резистор R_{OC} (на рис. 6 – R_1) поменялись местами.

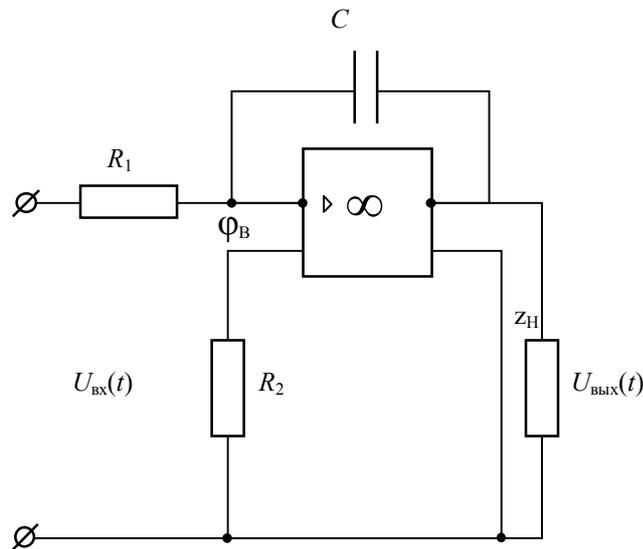


Рис. 6. Активное интегрирующее устройство

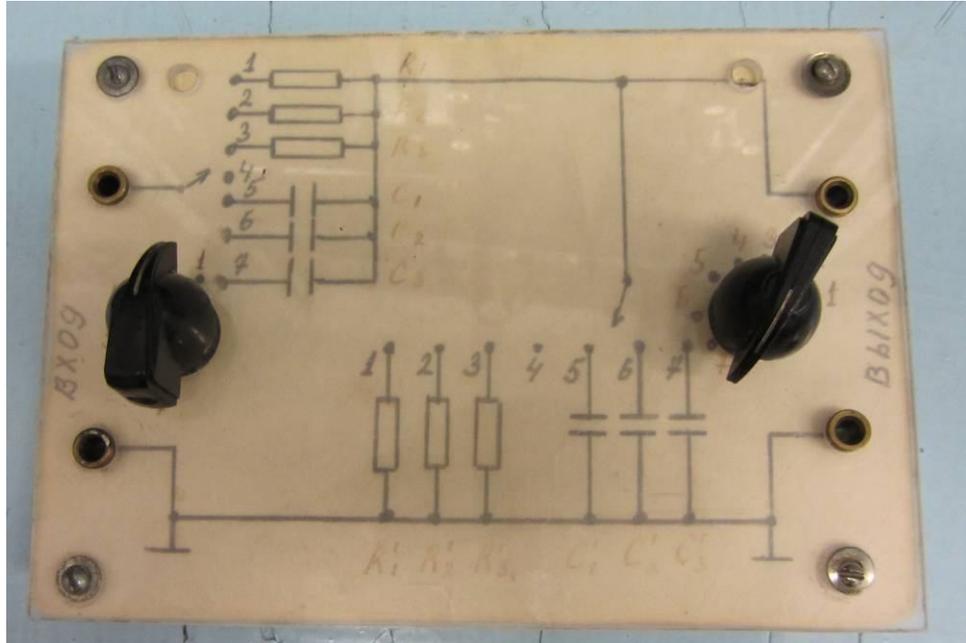
По-прежнему $R_{ex} \rightarrow \infty$ и коэффициент усиления по напряжению $K_u \rightarrow \infty$. Следовательно, в устройстве конденсатор C , заряжается током $i(t) = U_{ex}(t)/R_1$. Так как напряжение на конденсаторе практически равно выходному напряжению ($\varphi = 0$), а операционный усилитель изменяет фазу входного сигнала на угол π , имеем

$$U_{вых}(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_{ex}(t) dt \quad (6)$$

Таким образом, выходное напряжение активного интегрирующего устройства есть произведение определенного интеграла от входного напряжения по времени на коэффициент $-\frac{1}{\tau}$.

Оборудование

Панель для изучения дифференцирующих и интегрирующих цепей



Генератор



Двухлучевой осциллограф



Соединительные провода



ХОД РАБОТЫ

1. Определить постоянную времени $\tau = RC$ для нескольких значений R и C (задаются преподавателем).
2. Собрать схему для исследования дифференцирующей цепи.
3. Получить осциллограммы сигнала на входе и выходе дифференцирующей цепи для 3-х случаев:
 - а) $t_u > \tau$
 - б) $t_u = \tau$
 - в) $t_u < \tau$,где t_u – длительность импульса подаваемого сигнала на вход дифференцирующей цепи с генератора **прямоугольных импульсов**.
4. Зарисовать полученные осциллограммы.
5. Осуществить пп. 1-4 для интегрирующей цепи.