

Лабораторная работа №2

ИНТЕГРИРУЮЩИЕ И ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИЕ ЦЕПИ

Цель работы - Исследование электрических процессов при прохождении импульсов прямоугольной формы через дифференцирующие и интегрирующие цепи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При приложении к входу линейной цепи синусоидального напряжения на всех ее элементах также будет синусоидальное напряжение. Если же на входе линейной цепи, содержащей частотно-зависимые элементы (например, конденсатор, индуктивная катушка), действует напряжение, представляющие собой сумму гармоник разных частот, то форма напряжения на ее элементах не повторяет форму входного напряжения.

Это объясняется тем, что гармоники входного напряжения по-разному пропускаются этой цепью. При этом соотношении между их амплитудами, а также фазами на входе цепи и ее элементах неодинаковы. Данное свойство используется при формировании импульсов с помощью линейных цепей. Свойства линейных цепей с частотно-зависимыми элементами используются при построении дифференцирующих и интегрирующих цепей.

Для анализа взаимодействия цепи, содержащей емкость и сопротивление с электрическим сигналом, представляющим собой сумму нескольких гармонических составляющих, рассматривается изменение напряжения U и тока I во времени.

Представим, что конденсатор, предварительно заряженный до напряжения U , присоединяется к резистору R таким образом, что образуется цепь, показанная на рис. 2.1.

$$\text{Тогда } C \cdot \left(\frac{dU}{dt} \right) = I = -\frac{U}{R}$$

Это выражение представляет собой дифференциальное уравнение, решение которого имеет вид:

$$U = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

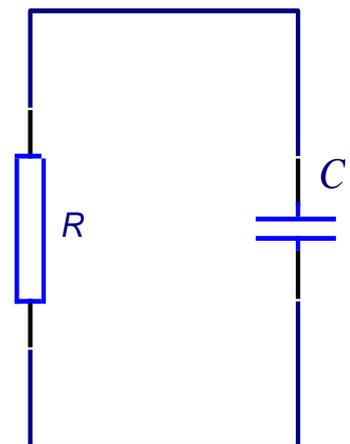


Рис.2.1

Отсюда следует, что если заряженный конденсатор подключить к резистору, то он будет разряжаться так, как показано на рис. 2.2.

Произведение RC называют **τ постоянной времени**. Если R измерять в омах, а C - в фарадах, то их произведение будет измеряться в секундах.

Пусть в момент времени t_0 на вход цепи, показанной на рис. 2.3, подается постоянное напряжение $U_{вх} = \text{const}$. Уравнение, описывающее процесс заряда конденсатора, выглядит следующим образом:

$$I_c = C \cdot \left(\frac{dU}{dt} \right) = \frac{(U_{вх} - U_c)}{R}$$

и имеет решение $U_c = U_{вх} + A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$.

Коэффициент A можно определить из начальных условий (см. рис. 2.4):

$$U_c = 0 \text{ при } t=0,$$

откуда $A = -U_{вх}$

Рассмотрим процесс передачи идеального прямоугольного импульса (т.е. сигнала, содержащего бесконечный набор гармоник), у которого как фронт, так и срез имеют большую крутизну через цепь, показанную на рис. 2.3. В зависимости от величины постоянной времени цепи (RC) возможны четыре случая:

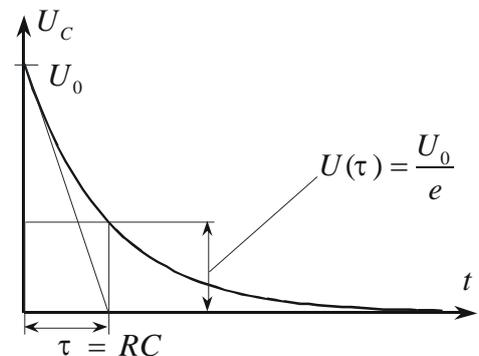


Рис.2.2

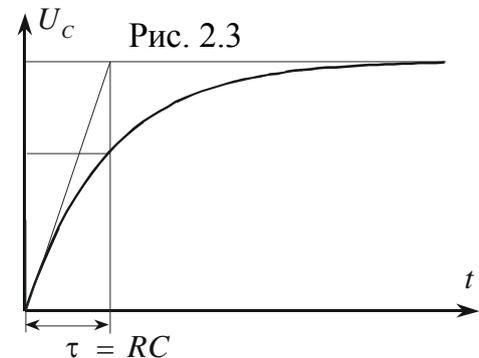
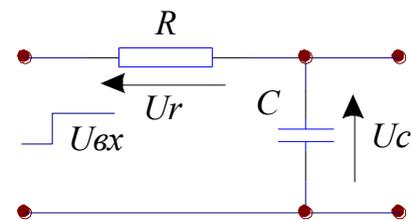


Рис.2.4

1. Воздействие прямоугольного импульса на проходную цепь.

В этой цепи постоянная времени $R \cdot C$ должна быть значительно больше длительности импульса t_u , который на нее воздействует.

Напряжения заряда и разряда описываются соответственно выражениями:

$$U_{c(z)} = U_a \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_u}{R \cdot C}} \right)$$

$$U_{c(p)} = U_a \cdot e^{-\frac{t_u}{R \cdot C}}$$

В то же время $U_{ex}(t) = U_c(t) + U_r(t)$

Поскольку постоянная времени $R \cdot C$ проходной цепи большая, в цепи заряда будет протекать малый ток, конденсатор за время действия импульса зарядится до небольшого напряжения.

Так как $t_u \ll R \cdot C$, заряд-разряд конденсатора протекает практически на линейном участке, и напряжение U_c (см. рис. 2.5) также является линейно изменяющимся. Из рис. 2.5 видно, что сигнал на резисторе U_r имеет завал вершины в пределах действия входного импульса, поскольку

$$U_r(t) = U_{ex}(t) - U_c(t)$$

После прекращения действия входного импульса конденсатор разряжается на резистор и на нем формируется импульс отрицательной полярности. Чем больше будет постоянная времени $R \cdot C$, тем меньше будет завал вершины импульса напряжения, выделяющегося на резисторе во время действия входного импульса и амплитуда импульса отрицательной полярности, формирующийся на резисторе за счет разряда конденсатора после окончания входного импульса.

Таким образом, для неискаженной передачи импульсов через проходную цепь необходимо выбирать постоянную времени, значительно превышающую длительность входного импульса.

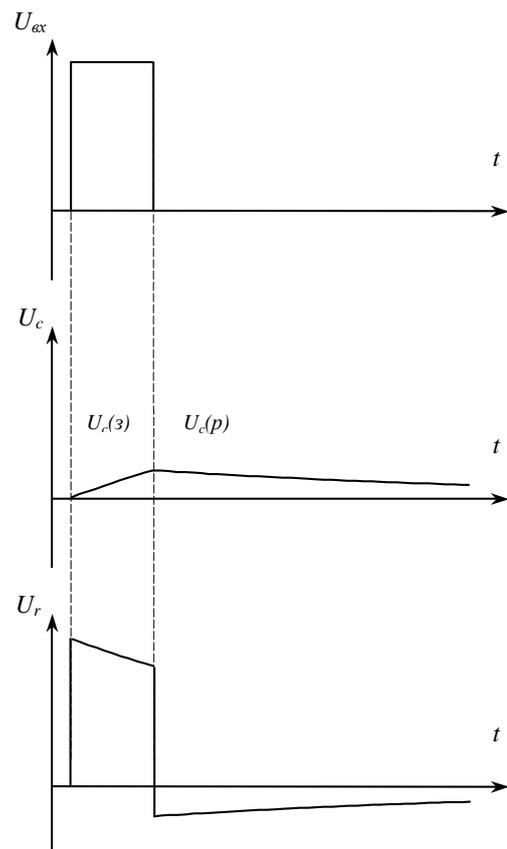


Рис.2.5

2. Воздействие прямоугольного импульса на $R \cdot C$ -цепь, у которой

$$R \cdot C = t_u.$$

Поскольку постоянная времени RC -цепи равна длительности воздействующего на нее импульса, то за время действия импульса конденсатор успеет зарядиться до напряжения, составляющего $0,63 \cdot U_a$, поскольку:

$$U_c(t_u) U_a \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = U_a \cdot (1 - e^{-1}),$$

$$U_c(t=t_u) = 0,63 \cdot U_a$$

Поскольку входное напряжение импульса распределяется между двумя элементами: конденсатором C и резистором R , падение напряжения на последнем можно определить по второму закону Кирхгоффа:

$$U_r(t) = U_{ex}(t) - U_c(t)$$

и при $t=t_u$ напряжение U_r будет составлять $0,37 \cdot U_a$ (рис. 2.6). Зарядившийся до напряжения $0,63 \cdot U_a$ конденсатор после прекращения действия входного импульса при $t > t_u$ начнет разряжаться на резистор R , формируя экспоненциальный импульс отрицательной полярности, превышающий по амплитуде такой же импульс, рассмотренный в первом случае.

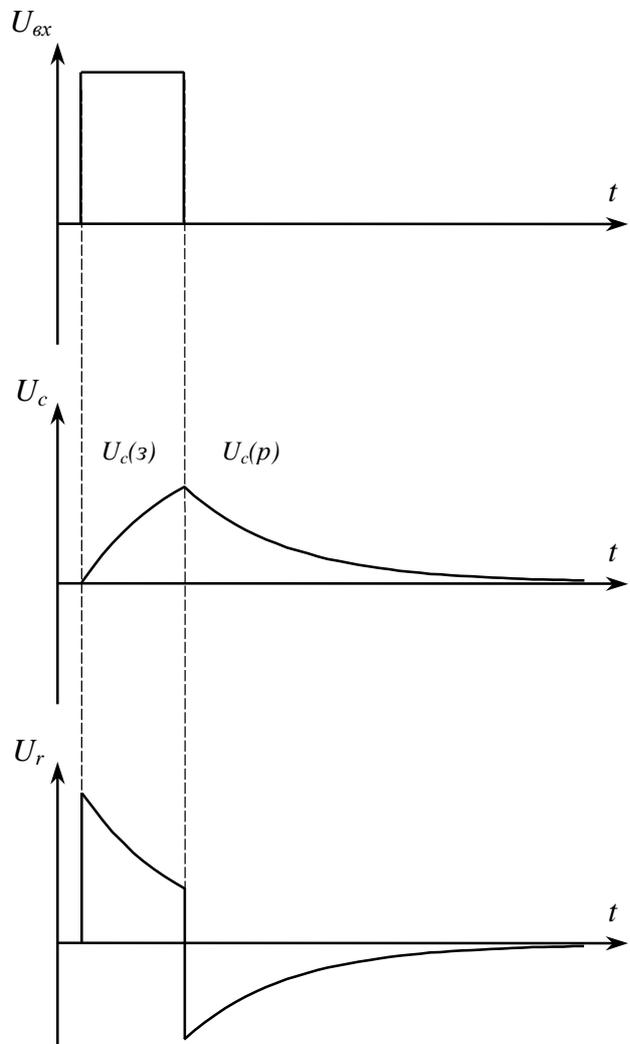


Рис.2.6

3. Воздействие прямоугольного импульса на цепь, у которой

$$t_u = 5 \cdot R \cdot C$$

За время $5 \cdot R \cdot C$ переходные процессы в RC -цепи практически заканчиваются. Это значит, что конденсатор успевает зарядиться до напряжения $0,995 \cdot U_a$ и за такое же время успевает разрядиться до $0,005 \cdot U_a$. Как следует из рис. 2.7, ток заряда - разряда конденсатора на резисторе R формирует экспоненциальные импульсы одинаковой амплитуды и длительности положительной полярности при заряде конденсатора и отрицательной полярности при его разряде .

4. Воздействие прямоугольного импульса на цепь, у которой

$$t_u \gg 5 \cdot R \cdot C$$

Вследствие того, что $t_u \gg 5 \cdot R \cdot C$, а переходные процессы в RC -цепи заканчиваются за время $5 \cdot R \cdot C$, то за время действия входного импульса конденсатор успевает зарядиться до уровня U_a входного импульса напряжения, а затем

$$U_c(t) = \text{const} = U_a$$

до окончания действия импульса. Форма напряжений $U_c(t)$ и $U_r(t)$ показана на рис. 2.8. Как видно из рисунка длительность импульсов напряжения $U_r(t)$ значительно меньше длительности входного, поэтому такие цепи являются и укорачивающими.

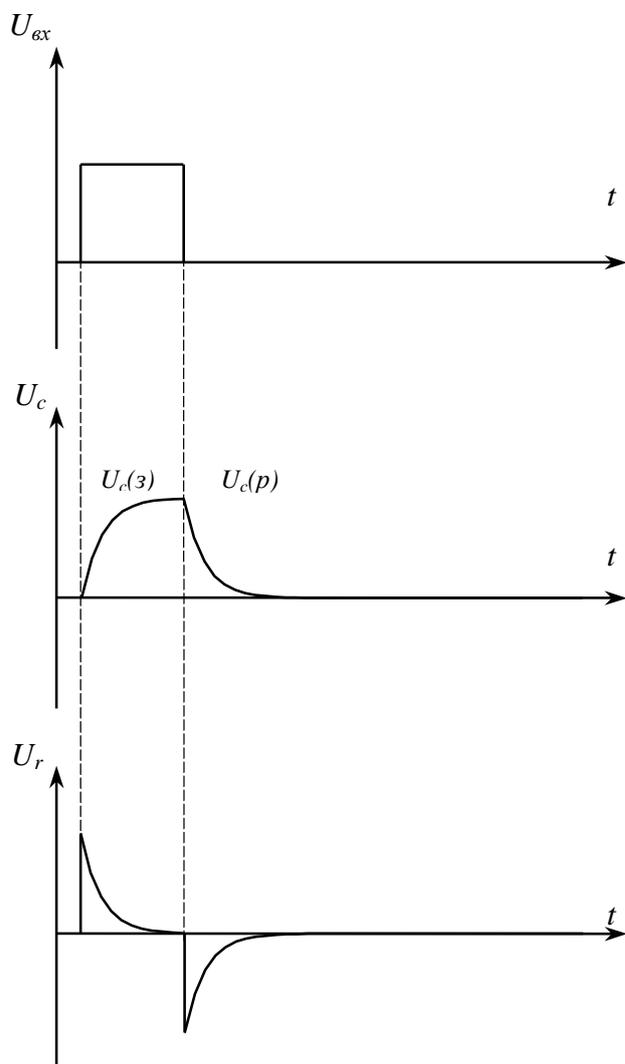


Рис.2.7

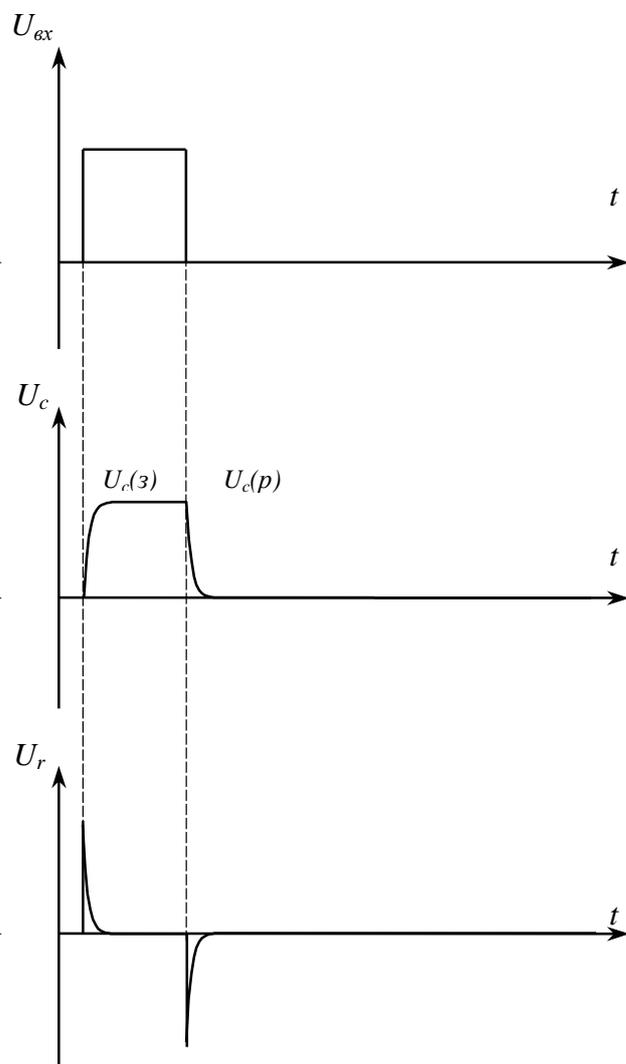


Рис.2.8

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ

Рассмотрим схему, показанную на рис. 2.9. Напряжение на конденсаторе C в любой момент времени может быть определено по второму закону Кирхгофа:

$$U_c = U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}, \text{ поэтому}$$

$$I_c = C \cdot \frac{d(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})}{dt} = \frac{U_{\text{вых}}}{R}$$

Если резистор и конденсатор выбрать так, чтобы сопротивление R и емкость C были достаточно малыми и выполнялось условие

$$\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$$

то $C \cdot \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} = \frac{U_{\text{вых}}}{R}$ или

$$U_{\text{вых}}(t) = R \cdot C \cdot \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt}$$

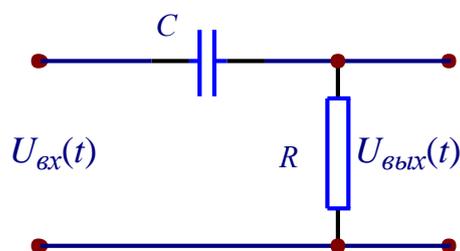


Рис. 2.9

Таким образом, мы получили, что выходное напряжение пропорционально скорости изменения входного сигнала.

Для того, чтобы выполнялось условие $\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$, произведение $R \cdot C$ должно быть небольшим, но при этом сопротивление R не должно быть слишком маленьким, чтобы не перегружать источник сигнала. Дифференцирующие цепи удобно использовать для выделения фронта и среза импульсных сигналов.

ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ

Рассмотрим схему, показанную на рис. 2.10. Напряжение на резисторе R на основании второго закона Кирхгофа равно $U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}$, следовательно:

$$I_c = C \cdot \frac{dU_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{dt}$$

Если обеспечить выполнение условия $\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} \ll \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$ за счет большого значения

произведения $R \cdot C$, то получим:

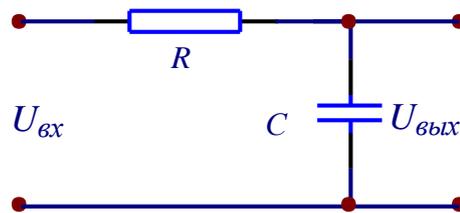


Рис. 2.10

$$C \cdot \frac{dU_{\text{вых}}}{dt} = \frac{U_{\text{вх}}}{R}, \text{ или } U_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t U_{\text{вх}}(t) dt + const$$

Таким образом, схема интегрирует входной сигнал по времени. Рассмотрим каким образом эта схема обеспечивает интегрирование в случае сигнала прямоугольной формы. $U_{\text{вых}}(t)$ представляет собой график экспоненциальной зависимости, определяющей заряд конденсатора (см. рис. 2.11). Начальный участок экспоненты - прямая с углом наклона, определяемым ее постоянной времени, причем, чем больше постоянная времени, тем ближе

форма сигнала к линейно нарастающей, т.е. на этом участке выходной сигнал будет иметь значение, близкое к точному значению определенного интеграла от входного сигнала.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассчитать постоянную времени RC -цепи по номиналам элементов, выданных преподавателем.

2. Исследовать прохождение импульса прямоугольной формы через дифференцирующую цепь при длительности импульса $10 \cdot (RC)$, $5 \cdot (RC)$, (RC) и $0.1 \cdot (RC)$. Зарисовать и пояснить осциллограммы выходного сигнала дифференцирующей цепи.

3. Исследовать прохождение импульса прямоугольной формы через интегрирующую цепь при длительности импульса $10 \cdot (RC)$, $5 \cdot (RC)$, (RC) и $0.1 \cdot (RC)$.

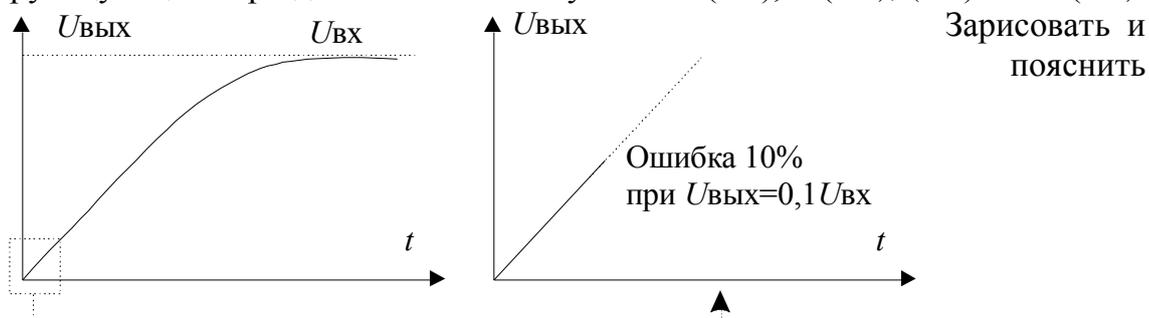


Рис. 2.11

осциллограммы выходного сигнала интегрирующей цепи.

Примечание: При выполнении п. 2 на вход цепи подавать импульсную последовательность со скважностью $Q=2$.

При выполнении п. 3 подбирать экспериментально $5 < Q < 15$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните физические процессы, происходящие в дифференцирующей цепи при воздействии на нее монополярных прямоугольных импульсов напряжения.
2. Как изменяется форма напряжения на выходе дифференцирующей цепи, если изменять сопротивление, емкость цепи, длительность и период повторения прямоугольных импульсов на входе?
3. В чем отличие проходной цепи от дифференцирующей?
4. Объясните физические процессы, происходящие в интегрирующей цепи при воздействии на ее вход прямоугольных монополярных импульсов напряжения.
5. Запишите формулу для определения амплитуды импульсов на выходе интегрирующей RC -цепи при воздействии на нее прямоугольных импульсов.
6. Как будет изменяться форма выходного сигнала интегрирующей цепи, если изменить сопротивление цепи, емкость, длительность и период повторения входных импульсов?

ОТЧЕТ ДОЛЖЕН СОДЕРЖАТЬ

1. Исследуемые принципиальные схемы.
2. Результаты выполнения пп. 1 - 3.
3. Ответы на контрольные вопросы.