Лекция 6. Импульсные сигналы и переходные процессы.

1. Общие сведения об импульсных сигналах. Примеры.
2. Переходная и импульсная характеристики цепи.
3. Переходные процессы
   3.1. Общие сведения.
   3.2. Законы коммутации.
   3.3. Схемы замещения реактивных элементов при коммутации и в цепях постоянного тока.
   3.4. Начальные условия переходного процесса.
4. Методы расчета линейных цепей при импульсном воздействии.
   4.1. Классический метод.
   4.2. Спектральный метод.
   4.3. Операторный метод.
   4.4. Временной метод. (Метод интеграла Дюамеля)
5. Передача импульсных сигналов через линейные цепи.
   5.1. Передача импульсных сигналов через дифференцирующую цепь.
   5.2. Передача импульсных сигналов через интегрирующую цепь.
   5.3. Воздействие импульсных сигналов на колебательный контур.
6. Связь между дифференциальным уравнением и характеристиками электрической цепи.

Импульсные сигналы и переходные процессы.

Общие сведения об импульсных сигналах.

- В электрических цепях наряду с непрерывными сигналами, которые описываются непрерывными функциями времени, часто применяются и импульсные сигналы. Они существуют не на всей временной оси, и или их величина не произвольна.

- Названия импульсным сигналам дают в соответствии с их формой временной диаграммы.
- Простейшими импульсными сигналами являются сигналы, представленные на рис. 6.1:
- 1′ – положительный перепад амплитуды *E*;
- 2′ – отрицательный перепад амплитуды *E*, задержанный на *tu*;
- 3′ – одиночный прямоугольный импульс, есть сумма двух предыдущих сигналов.
- Кроме перечисленных сигналов в импульсной технике широко применяются сигналы, показанные на рис. 6.2:
- 1 – треугольный импульс,
- 2 – пилообразный импульс,
- 3 – экспоненциальный импульс.

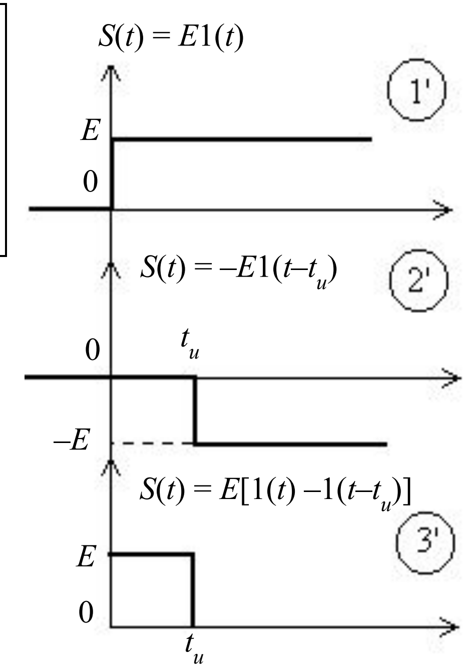


Рис. 6.1

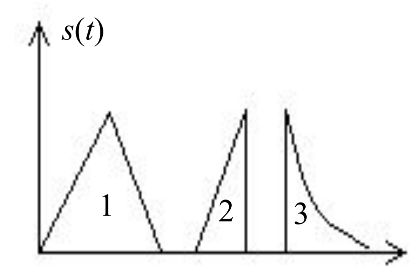


Рис. 6.2

Переходная и импульсная характеристика цепи

Свойства электрических цепей в частотной области характеризуют частотными характеристикам, а во временной – временными. Их две: переходная и импульсная.

- **1. Переходной характеристикой *h*(*t*)** линейной цепи называют отклик $y(t) = h(t)$ (выходной сигнал) цепи на единичное ступенчатое воздействие $x(t)=1(t)$ напряжения или тока, при нулевых начальных условиях.

Если ступенчатое воздействие имеет амплитуду X_0, то ПХ находится так: $\boldsymbol{h(t) = y(t) / X_0}$

Вид переходной характеристики цепи зависит от элементов и порядка их соединения.

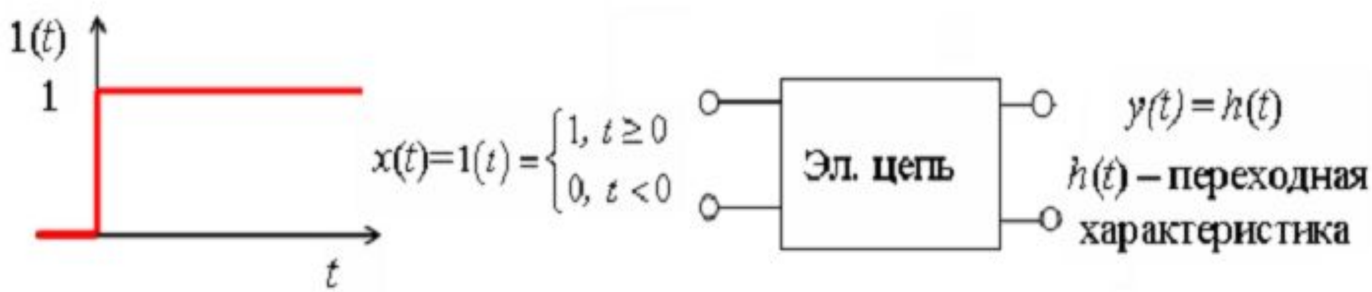
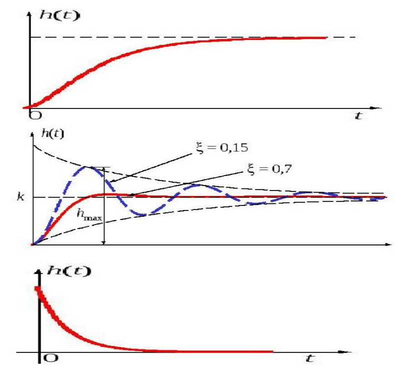
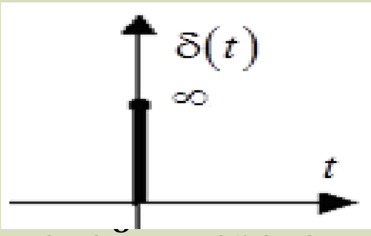


Рис. 1.3. К определению переходной характеристики цепи



- **2. Импульсная характеристика g(t)**– это отклик цепи на воздействие сигнала в виде дельта-функции δ(t), при нулевых начальных условиях.

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ \infty, & t = 0; \\ 0, & t > 0. \end{cases}$$



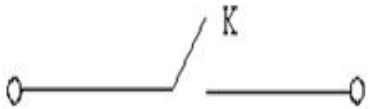
Свойства: 1. $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1$ .2 $\int_{-\infty}^{+\infty} s(t)\,\delta(t-t_0)\,dt = s(t_0)$

Связь между импульсной и переходной характеристикой: т.к. $\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$, то $\boldsymbol{g(t) = dh(t)/dt}$

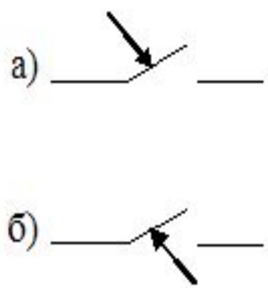
Общие сведения о переходных процессах в линейных цепях

- Различают два режима работы цепи :
  1. установившейся, когда параметры сигналов постоянны во времени;
  2. неустановившейся, когда параметры сигналов во времени изменяются.

Переходным процессом (ПП) **(режимом)** называется процесс изменения токов и напряжений в цепи при ее переходе от одного установившегося режима к другому. ПП есть частный случай нестационарного режима работы цепи.

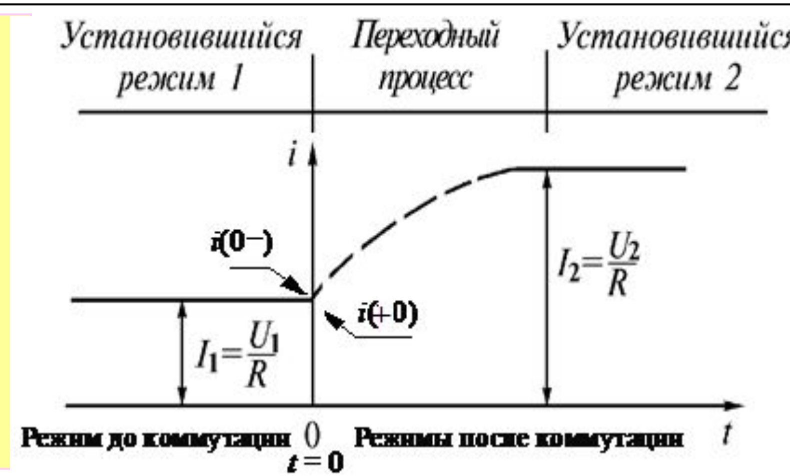


$$R=\begin{cases}0 & \text{, если К - замкнут}\\ \infty & \text{, если К - разомкнут}\end{cases}$$



Причина переходного процесса - различные **коммутации в цепи**. ***Коммутацией*** принято называть мгновенное изменение схемы или параметров ее элементов. Считают, что коммутация происходит мгновенно, в момент времени t=0, с помощью идеального ключа или ступенчатого сигнала. Ключ это двухполюсник с двумя состояниями : R=0 –ключ замкнут и R= ∞ - ключ разомкнут.

- Переходные процессы возникают в цепях, содержащих энергоемкие элементы (индуктивные и емкостные элементы), и обусловлены тем, что энергия магнитного и электрического полей не может изменяться мгновенно т.к. в этом случае создается бесконечная мощность.
- В резистивных цепях переходные процессы протекаю мгновенно.

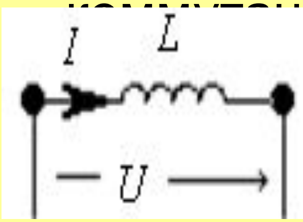


Следует подчеркнуть, что переходные процессы во многих устройствах и системах связи являются составной "нормальной" частью режима их работы. Но в ряде случаев переходные процессы могут приводить к таким нежелательным явлениям, как возникновение сверхтоков и перенапряжений.

Законы коммутации

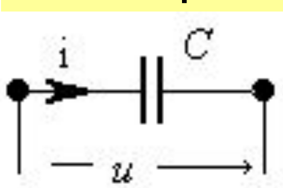
- В основе анализа переходных процессов лежат законы коммутации:

- ***<u>Первый закон коммутации для индуктивности :</u>*** в начальный момент времени после коммутации (при *t*=+0), ток через индуктивность сохраняет такое же значение, как и перед коммутацией (при *t*= - 0), т.е.:



$$i_L(+0) = i_L(-0) \qquad I_L(t) = \frac{1}{L}\int_0^t u_L\,dt + I_{L(-0)} \qquad W_L = \frac{LI^2}{2}$$

- ***<u>Второй закон коммутации для емкости:</u>*** в начальный момент времени после коммутации (при *t*= +0), напряжение на емкости сохраняет такое же значение, как и перед коммутацией (при *t*= -0), т.



$$u_C(+0) = u_C(-0) \qquad U_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i_C\,dt + U_{C(-0)} \qquad W_c = \frac{CU^2}{2}$$

- Характер переходного процесса зависит от числа реактивных элементов, от формы токов и напряжений источников, от схемы цепи, от начальных условий и от анализируемой величины (ток или напряжение).

Схемы замещения реактивных элементов при коммутации и в цепях постоянного тока

- Из законов коммутации следует:

1. **Схемы замещения индуктивного элемента.** Сразу после коммутации (при t=+0) индуктивный элемент эквивалентен независимому источнику тока, т.к. $i_L(+0)=i_L(-0)$. При нулевых условиях индуктивный элемент эквивалентен разрыву цепи (холостой ход - ХХ).,
2. **Схемы замещения емкостого элемента.** Емкостной элемент эквивалентен источнику напряжения, т.к. $u_C(+0)=u_C(-0)$ а при нулевых условиях - короткому замыканию (КЗ).

- **Схемы замещения L, C при постоянном токе.** Такой режим имеет место когда t= - 0 и t=∞, т.к. ω=0. В этом режиме, индуктивность эквивалентна КЗ, а емкость – ХХ (рис.1.2),.

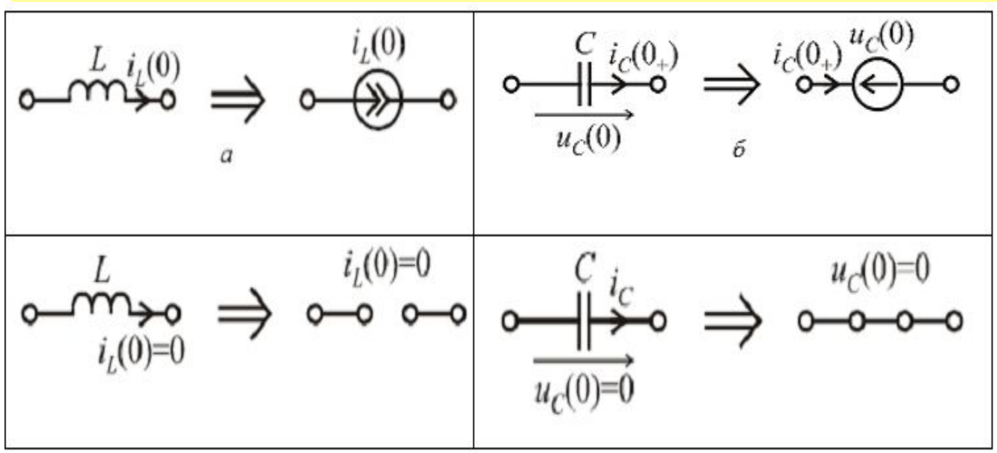


Рис.1.1. Эквивалентные схемы реактивных элементов при коммутации t=+0, (ω→∞).

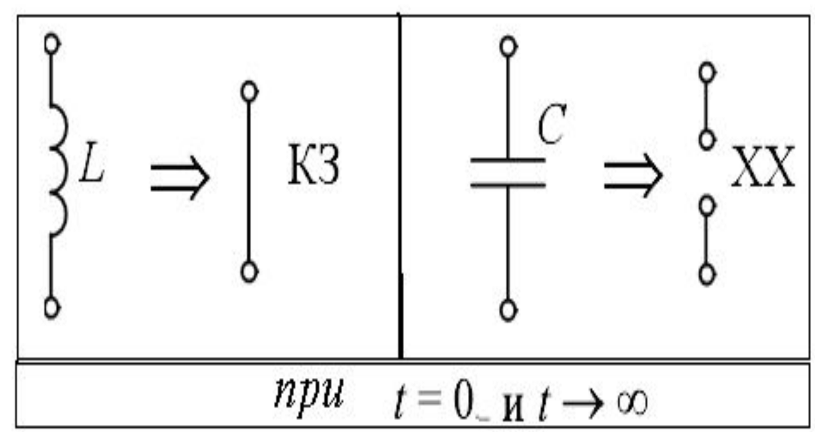


Рис.1.2. Эквивалентные схемы реактивных элементов *L* и *C* по постоянному току

Начальные условия переходного процесса

- **Под начальными условиями** понимают значения тока и напряжения на элементах схемы непосредственно в момент коммутации.

Различают два вида начальных условий: ***независимыми* или *зависимыми***.

- ***Независимыми*** называют начальные условия, подчиняющиеся законам коммутации, они не зависят от коммутаций в схеме. Это напряжение на емкости $u_C(0)$ и ток индуктивности $i_L(0)$ в момент коммутации.

  Если в момент коммутации они равны нулю, то начальные условия называют *нулевыми*. В противном случае – *ненулевыми*.

- **Зависимые начальные условия** это токи и напряжения на элементах, которые не подчиняются законам коммутации и могут изменяться скачком. Например это напряжение и ток в ветви с сопротивлением $u_R(0)$ и $i_R(0)$, напряжение на индуктивности $u_L(0)$, ток в ветви с емкостью $i_C(0)$.

6.3. Методы анализа линейных цепей при импульсном воздействии

- Задача анализа цепи заключается в отыскании отклика при известном входном сигнале (воздействии).
- При импульсном воздействии, когда $x(t)$ – произвольная функция времени, основными методами анализа цепей являются:

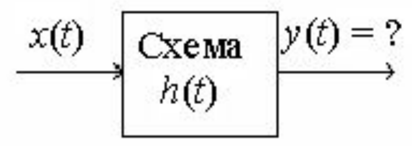


Рис. 6.8

- 1) классический метод;
- 2) спектральный метод;
- 3) операторный метод;
- 4) временной (метод интеграла Дюамеля).

- Расчет переходной характеристики есть частный случай расчета переходного процесса.

1.3. Расчет переходных процессов в линейных цепях

В простых цепях расчет переходных процессов и анализ **проводят классическим методом**. Он обладает физической наглядностью. В сложных цепей применяют **операторный метод. Класс. метод состоит в следующем:**

1. Составляют систему уравнений на основании законов Кирхгофа для мгновенных значений напряжения и тока для состояния цепи после коммутации. Для простых цепей эту систему уравнений можно исключением переменных свести к одному в общем случае неоднородному дифференциальному уравнению относительно какой-либо величины.

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f(t) \qquad (4.4.1)$$

где a_n, ., a_0 – постоянные коэффициенты; t – время; $f(t)$ – внешнее воздействие (ЭДС, ток); y – искомая функция (ток, напряжение, .); n – порядок уравнения (цепи) обычно равен числу реактивных элементов в схеме.

В качестве искомой величины (у) выбирают либо ток в индуктивном элементе, либо напряжение на ёмкости.

2. Записывают общее решение линейного дифференциального уравнения. Оно. состоит их двух составляющих

$$\boldsymbol{y(t) = y_1(t) + y_2(t),} \qquad (4.4.3)$$

где $\boldsymbol{y1(t)}$ – общее решение однородного линейного дифференциального уравнения, когда $\boldsymbol{f = 0}$. Оно не зависит от воздействия (x) и называется свободной составляющей общего решения. Оно известно

$$y_1(t) = \sum_{i=1}^{n} A_i e^{p_i t}$$

$\boldsymbol{y_2(t)}$ – это частное решение неоднородного уравнения, оно зависит от источников и полученные при этом токи и напряжения называют установившимися или принужденными. Частое решение находят в стационарном режиме в послекоммутационной цепи, когда переходной процесс закончен, т.е. когда $t \to \infty$, т.к., $\lim\limits_{x \to \infty} y_{св}(t) = 0$

где pi – корни характеристического уравнения, Ai – постоянные интегрирования.

3. Находят вынужденную составляющую, по схеме замещения когда $t \to \infty$. **y2(t)= y(t→∞)**

4. Находят корни *pi* характеристического уравнения: $a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_0 = 0$

5. Находят постоянные интегрирования для свободных составляющих -***Ai*** . Их определяют из начальных условий для общего решения, используя два закона коммутации: - для индуктивности и - для емкости, по схеме замещения при $t \to 0$.

6. Проводят анализ корней и записывают общее решение.

Расчет переходного процесса в цепи классическим методом

- Этапы расчета переходного процесса в цепи классическим методом:
- 1. Найти независимые начальные условия, то есть, напряжения на ёмкостях и токи на индуктивностях в момент начала переходного процесса Uc(-0) и IL(-0).
- 2. Составить систему уравнений на основе законов Кирхгофа2. Составить систему уравнений на основе законов Кирхгофа, Ома, электромагнитной индукции и т.д., описывающих состояние цепи после коммутации, и методом исключением переменных получить одно дифференциальное уравнение, в общем случае неоднородное относительно искомого тока *i* или напряжения *u*. Для простых цепей получается дифференциальное уравнение первого или второго порядка, в котором в качестве искомой величины выбирают либо ток в индуктивном элементе, либо напряжение на емкостном элементе.
- 3. Составить общее решение полученного неоднородного дифференциального уравнения цепи в виде суммы частного решения неоднородного дифференциального уравнения и общего решения соответствующего однородного дифференциального уравнения.
- 4. Найти для общего решении постоянные интегрирования из начальных условий, т. е. условий в цепи в начальный момент времени после коммутации.
- Применительно к электрическим цепям в качестве частного решения неоднородного дифференциального уравнения выбирают установившийся режим в рассматриваемой цепи (если он существует), т. е. постоянные токи и напряжения, если в цепи действуют источники постоянных ЭДС и токов, или синусоидальные напряжения и токи при действии источников синусоидальных ЭДС и токов. Токи и напряжения установившегося режима называют *установившимися*.
- Общее решение однородного дифференциального уравнения описывает процесс в цепи без источников ЭДС и тока, который поэтому называют *свободным процессом*. Токи и напряжения свободного процесса называют *свободными*, а их выражения должны содержать постоянные интегрирования, число которых равно порядку однородного уравнения.

6.3.2. Спектральный метод анализа

- Спектральный метод применяется в тех случаях, когда входной сигнал может быть представлен спектром. Сигнал имеет спектр, когда он обладает конечной энергией, т.е. удовлетворяет условию:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t)dt < \infty$$

Этапы применения метода (рис. 6.3):

1) по известному сигналу находится его спектр:

$$S_1(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_1(t)e^{-j\omega t}dt$$

– прямое преобразование Фурье;

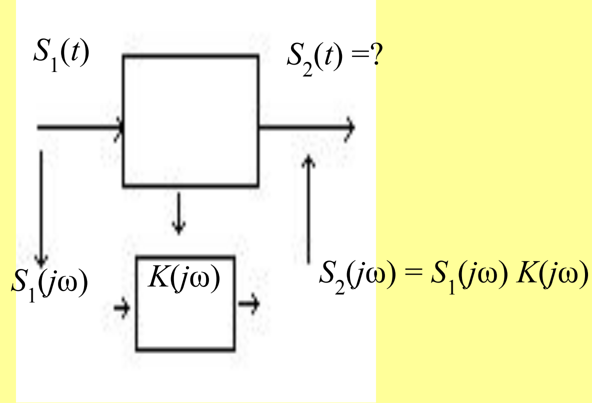


Рис. 6.3

2) по известной схеме электрической цепи определяется ее частотная передаточная характеристика:

$$K(j\omega) = \frac{Y_m}{X_m}$$

;

3) находится спектральная плотность выходного сигнала:

$$S_2(j\omega) = K(j\omega)\, S_1(j\omega)$$

4) по известному спектру выходного сигнала находится сам выходной сигнал

$$S_2(j\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} S_2(j\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

- обратное преобразование Фурье

.

6.3.3. Операторный метод анализа

- Операторный метод расчета переходных процессов применим при любых входных сигналах. Метод основан на том, что функции $s(t)$ вещественной переменной t, которую называют *оригиналом*, ставится в соответствие функция $F(p)$ комплексной переменной $p = \alpha + j\omega$, которую называют *изображением*. В результате этого производные и интегралы от оригиналов заменяются алгебраическими функциями от соответствующих изображений (дифференцирование заменяется умножением на оператор p, а интегрирование – делением на него), что, в свою очередь, определяет переход от системы интегро-дифференциальных уравнений к системе алгебраических уравнений относительно изображений искомых переменных.
- Соответствие между изображением $F(p)$ и оригиналом $s(t)$ в сокращенной записи обозначается: $F(p) = s(t)$ или $F(p) = L\{s(t)\}$.

Порядок расчета переходных характеристик заключается в следующем (рис. 6.4):

1) находим операторное представление входного сигнала:

$$S_1(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_1(t) e^{-pt} dt$$

– прямое преобразование Лапласа;

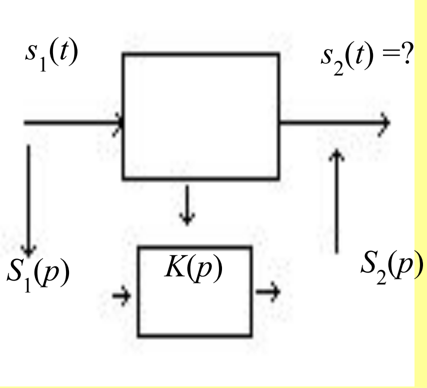


Рис. 6.4

2) находим операторную передаточную функцию цепи:

$$H(p) = H(j\omega)\Big|_{j\omega = p}$$;

3) находим операторное представление отклика:

$$S_t(p) = H(p) S_t(p)$$;

4) с помощью обратного преобразования Лапласа находим отклик цепи:

.

$$s_2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_2(p) e^{pt} dp$$

6.3.4. Метод интеграла Дюамеля

- Метод позволяет находить отклик цепи при нулевых начальных условиях при произвольном входном сигнале и известной переходной (импульсной) характеристике цепи $h(t)$ (рис. 6.8).
- Произвольный импульсный сигнал $x(t)$ (рис. 6.9) заменим совокупностью элементарных ступенчатых сигналов с амплитудами Δx, возникающими в моменты времени $\tau_к$ со сдвигом по времени на $\Delta\tau$.

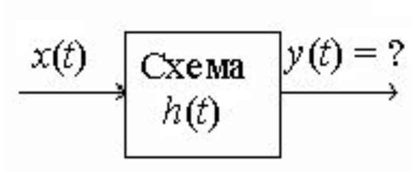


Рис. 6.8

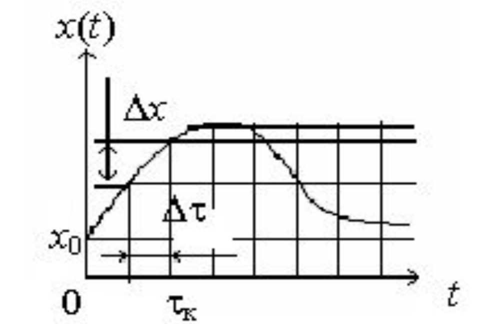


Рис. 6.9

Как следует из рис. 6.9, x_0 – амплитуда нулевого ступенчатого сигнала, при t=0. $y(0) = h(t)x_0$

отклик на него

$$\Delta x = x'_\tau(\tau_к)\Delta\tau$$

где Δx– амплитуда элементарного ступенчатого сигнала,

. $x'(\tau_к)$ – производная от сигнала в момент времени $\tau_к$, она равна тангенсу угла наклона сигнала в момент времени $\tau_к$.

Тогда отклик на элементарный ступенчатый сигнал $\Delta x h(t-\tau_к) = x_t'(\tau_{ê})h(t-\tau_{ê})\Delta\tau$

.

- Используя принцип суперпозиции и переходя к пределу суммы при $\Delta\tau \to 0$ ($\Delta\tau = d\tau$), можно записать

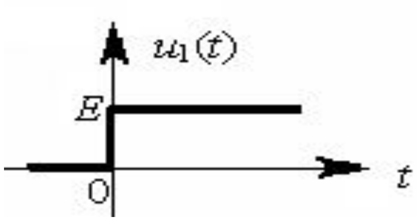
$$y(t) = h(t)x_0 + \sum x'(\tau_к)h(t-\tau_к)\Delta\tau = \lim_{\Delta\tau\to\infty} = x_0 h(t) + \int_0^t x'(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

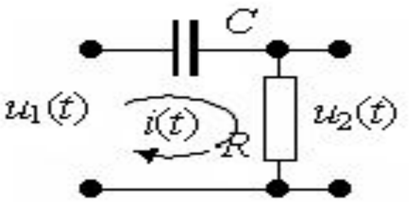
- .
- Последнее выражение и называется интегралом Дюамеля. Оно позволяет получить отклик на заданное воздействие в любой момент времени t после коммутации. Интегрирование ведется по τ – текущее время ($0 < \tau < t$), причем выражения $x'(\tau)$ и $h(t-\tau)$ получают из выражений для $x(t)$ и $h(t)$ путем замены t на τ и $t-\tau$.

Передача импульсных сигналов через простейшие цепи

Электрические цепи служат для связи различных устройств между собой.
При этом ставится различные задачи например: неискаженная передача сигнала или преобразования сигналов одной формы в другую.

Передача импульсных сигналов через дифференцирующую цепь





•Цепь, состоящая из *RC*-элементов (рис) называется дифференцирующей *RC*-цепью.

•Установим связь между выходным *u*2 и входным *u*1 напряжениями, считая входной сигнал *u*1 произвольным.

$$u_C + u_R = u_1(t);$$

•Используя второй закон Кирхгофа и соотношения, устанавливающие связь между напряжениями и токами на элементах схемы получим интегральное уравнение. После дифференцирования получим диф.уравнение.

$$u_2 = iR \Rightarrow i = \frac{u_2}{R}, \quad u_C = \frac{1}{C}\int i dt + u_C(-0).$$

$$u_2 + \frac{1}{RC}\int u_2 dt = U_1,$$

$$RC\frac{du_2}{dt} + u_2 = RC\frac{du_1}{dt}.$$

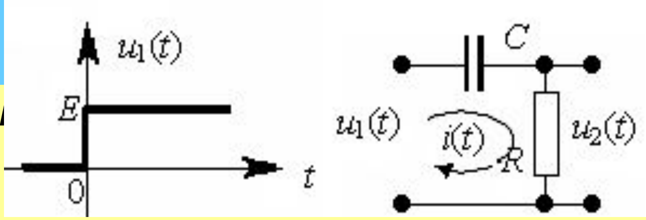
•Если $RC\frac{du_2}{dt} << u_2$ то получим, что выходной сигнал есть производная от входного сигнала.

$$\text{то } u_2 = RC\frac{du_1}{dt},$$

Отсюда и название этой цепи – дифференцирующая цепь.

$$\text{если } RC << 1, \text{ или } u_2 << \frac{du_1}{dt}$$

Рассмотрим два частных случая.



•**А. Входной сигнал – ступенчатое напряжение амплитудой**

•Используя классический метод, определим отклик цепи.

•1) Составим дифференциальное уравнение и приведем его к стандартному виду:

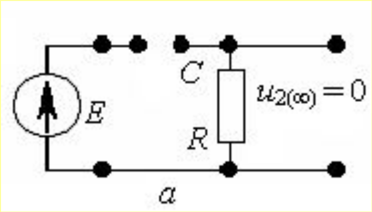
$$RC\frac{du_2}{dt} + u_2 = RC\frac{du_1}{dt}$$

•2) Запишем общее решение

$$u_2(t) = u_{вын} + u_{своб} = u_{2(\infty)} + A\,e^{p_1 t}$$

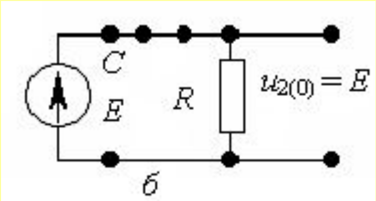
•3) Найдем вынужденную составляющую общего решения в стационарном (установившемся) режиме, когда $t \to \infty$ ($\omega = 0$), по схеме замещения исходной цепи при $\omega = 0$

Из схемы следует, что $u_2(\omega=0) = 0$.



•4) Найдем показатель экспоненты $p1$.

Коэффициенты p находят, как корни характеристического уравнения $RCp1 + 1 = 0$. Отсюда $p1 = -(RC)^{-1}$.



•5) Найдем произвольную постоянную $A1$ из начальных условий $t = +0$ и законам коммутации для емкости используя схему замещения.(при $t = +0$, $\omega \to \infty$). **u2(0)=*A*1=*E*. Отсюда A1=E.**

.

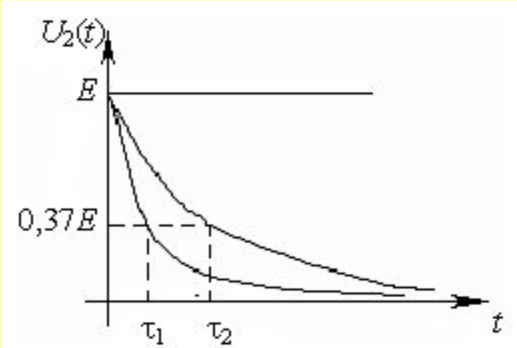
•6) Запись общего решения:

$$U_2(t) = E e^{-\frac{t}{RC}} = E e^{-\frac{t}{\tau}}$$

•Временная диаграмма приведена на рис.: экспоненциальный импульс.

Он имеет два параметра: 1. Е – амплитуда экспоненциального импул

2. τ=RC – постоянная времени



•**Б. Пусть входной сигнал – одиночный прямоугольный импульс** амплитудой *E* и длительностью *t*и. Такой импульс представляет собой суперпозицию двух ступенчатых сигналов и аналитически записывается как

•Зная отклик на ступенчатый сигнал и используя принцип суперпозиции, аналитическое выражение для выходного сигнала:

$$U_1(t) = E[1(t) - 1(t - t_и)]$$

•На рис 6.15 показаны три временные диаграммы выходного сигнала при различных соотношения между т и *t*и.

$$U_1(t) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}1(t) - Ee^{-\frac{t-t_и}{\tau}}1(t - t_n)$$

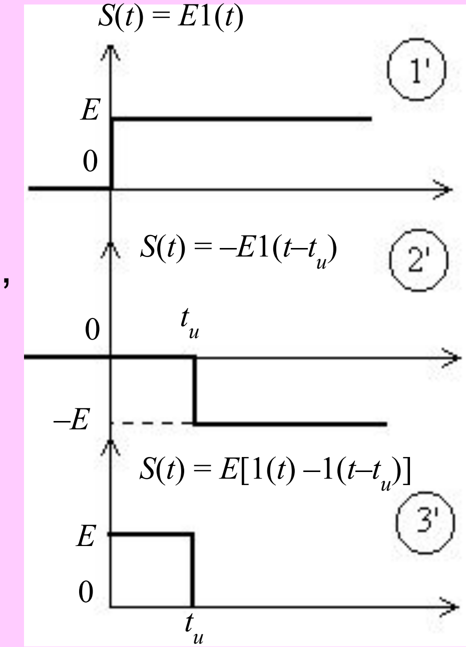
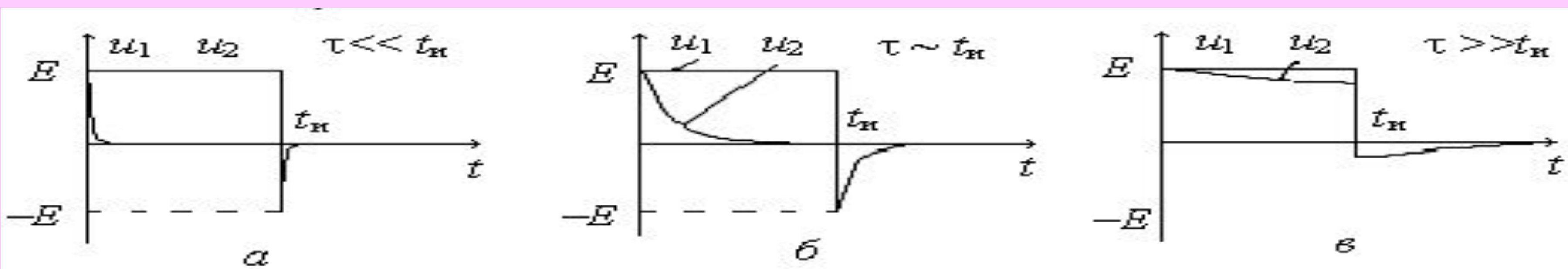


Рис. 6.1



В зависимости от соотношения между τ и $t_и$ эта RC -цепь имеет три названия.

Если τ << *t*и, то цепь называется дифференцирующей

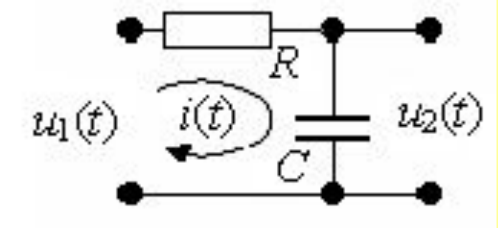
Если τ ≈ *t*и, то цепь называется укорачивающей

Если τ >> *t*и, то цепь называется разделительной

•.

Передача импульсных сигналов через интегрирующую цепь

•Цепь, состоящая из *RC*-элементов (рис) называется интегрирующей *RC*-цепью.



•Установим связь между выходным *u*2=F(u1), считая входной сигнал *u*1 произвольным.

$$u_C + u_R = u_1(t);$$

•Используя второй закон Кирхгофа и соотношения, устанавливающие связь между напряжениями и токами на элементах схемы, после подстановки в первое уравнение получим.

$$u_2 = u_C, \quad i = C\frac{du_2}{dt}, \quad u_R = Ri = RC\frac{du_2}{dt}.$$

$$RC\frac{du_2}{dt} + u_2 = u_1$$

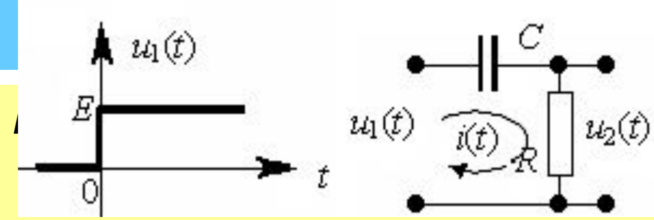
•Последнее означает, что выходной сигнал есть интеграл от входного сигнала.

Отсюда и название этой цепи – интегрирующая цепь

$$\text{Если } RC\frac{du_2}{dt} >> u_2, \text{ то } RC\frac{du_2}{dt} = u_1$$

$$\text{отсюда, } u_2 = \frac{1}{RC}\int u_1 dt$$

Рассмотрим два часных случая.



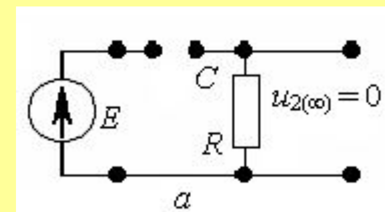
- **А. Входной сигнал – ступенчатое напряжение амплитудой *E***
- Используя классический метод, определим отклик цепи.
- 1) Составим дифференциальное уравнение и приведем его к стандартному виду:

$$RC\frac{du_2}{dt} + u_2 = RC\frac{du_1}{dt}$$

- 2) Запишем общее решение

$$u_2(t) = u_{вын} + u_{своб} = u_{2(\infty)} + A\,e^{p_1 t}$$

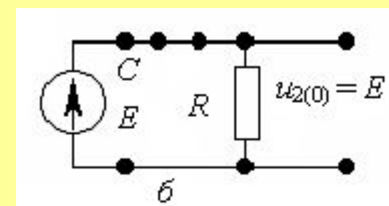
- 3) Найдем вынужденную составляющую общего решения в стационарном (установившемся) режиме, когда $t \to \infty$ ($\omega = 0$), по схеме замещения исходной цепи при $\omega = 0$



Из схемы следует, что $\boldsymbol{u_2(\omega=0)= 0}$.

- 4) Найдем показатель экспоненты $p1$.

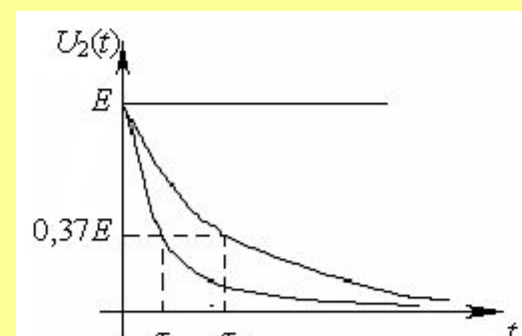
Коэффициенты p находят, как корни характеристического уравнения $RCp1 + 1 = 0$. Отсюда $p1 = -(RC)^{-1}$.



- 5) Найдем произвольную постоянную $A1$ из начальных условий $t = +0$ и законам коммутации для емкости используя схему замещения.(при $t = +0$, $\omega \to \infty$). **u2(0)=*A*1=*E*. Отсюда А1=Е.**

.6) Запись общего решения:

$$U_2(t) = Ee^{-\frac{t}{RC}} = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$$



- Временная диаграмма приведена на рис.- экспоненц.импульс.

Он имеет два параметра: 1. Е – амплитуда экспоненциального импульса 2. τ=RC – постоянная времени

Связь между дифференциальным уравнением и характеристиками электрической цепи

1.В общем случае связь между входным сигналом и выходным сигналами устанавливается ДУ:
$$Y(t) = f(X(t)) \to a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1}\frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_0 = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1}\frac{d^{m-1}x}{dt^{m-1}} + \ldots + b_0$$

2. Связь дифференциального уравнения с частотной передаточной функцией.

$$x(t) = X_m \cos(\omega t - \varphi_x) \to X_m e^{j\omega t} \quad (1) \qquad Y(t) = Y_m \cos(\omega t - \varphi_y) \to Y_m e^{j\omega t} \quad (2)$$

Подставим (1) и (2) в дифференциальное уравнение

$$\left[a_n (j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \ldots + a_0\right] Y_m e^{j\omega t} = \left[b_m (j\omega)^n + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \ldots + b_0\right] X_n e^{j\omega t}.$$, получим

$$H(j\omega) = \frac{\dot{Y}_m}{\dot{X}_m} = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \ldots + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \ldots + a_0}$$

3) Связь частотной с операторной функцией цепи $H(p)$.

По определению: $H(p) = H(j\omega)|_{j\omega \to p}$. Отсюда

$$H(p) = \frac{b_m p^n + b_{m-1} p^{m-1} + \ldots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_0}$$

4) Связь между импульсной $g(t)$ и переходной характеристикой $h(t)$.

Так как $\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$, то $g(t) = \frac{dh(t)}{dt}$.

5) Связь между $g(t)$ и $H(j\omega)$, $H(p)$. Из спектрального анализа следует выходной сигнал

. Если x(t)=δ(t), то спектр X(jω)=1, то

$$Y(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) H(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$$g(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$ (ОПФ),следовательно. $$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt$$ (ППФ).

Дисциплина:
Электротехника и электроника

Лектор: Погодин Дмитрий Вадимович

Кандидат технических наук,

доцент кафедры РИИТ

(кафедра Радиоэлектроники и информационно-измерительной техники)