

Ст. преподаватель кафедра ПрЭ Коваленко В. Е. Томск 2021г .

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

на тему: "Законы коммутации. Определение граничных условий при расчете переходных процессов"

Вводная часть.

При расчете переходных процессов следует подчеркнуть, что любое изменение параметров или структуры электрической цепи называется коммутацией. Основные виды коммутаций, наиболее часто встречающихся на практике включение или выключение источников электромагнитной энергии, подключение или отключение пассивных ветвей, внезапное изменение параметров и т.д.

В большинстве случаев замыкание и размыкание ключа при расчете переходных процессов полагается мгновенным. Однако в ряде схем предположение о мгновенной коммутации приводит к тому, что задача оказывается недостаточно корректно поставленной и возникают дополнительные трудности при определении начальных условий. Дело в том, что при размыкании ключа с конечной скоростью между расходящимися контактами ключа возникает электрическая дуга, сопротивление которой является нелинейной функцией протекающего через неё тока. Переходный режим сопровождается возникновением перенапряжений и сверхтоков, что нежелательно в большинстве электрических схем. Перенапряжения могут оказаться настолько значительными, что вызовут пробой изоляции и выведут из строя измерительную аппаратуру.

Необходимо отметить, что при наличии коммутации происходит изменение запасенной в цепи энергии. Энергия не может измениться скачком, так как это потребовало бы бесконечно большой мощности источника, что физически осуществить не возможно. В цепях с

сосредоточенными параметрами энергии запасается в ёмкостях и индуктивностях ($W_C = \frac{Cu_e^k}{2}$; $W_L = \frac{Li_L^2}{2}$). В цепи с чисто активным сопротивлением переходный процесс возникнуть не может.

Принципы непрерывности во времени потокосцепления индуктивности и электрического заряда ёмкости и называется законами коммутации. Значение тока в индуктивности $i_L(0)$ и напряжения на ёмкости $u_C(0)$ в момент коммутации, то есть при $t = 0$ называются независимыми начальными условиями. Значения тока на индуктивности и напряжении на ёмкости до коммутации обозначаются через $i_L(-0)$ и $u_C(-0)$.

Аналитическая запись законов коммутации:

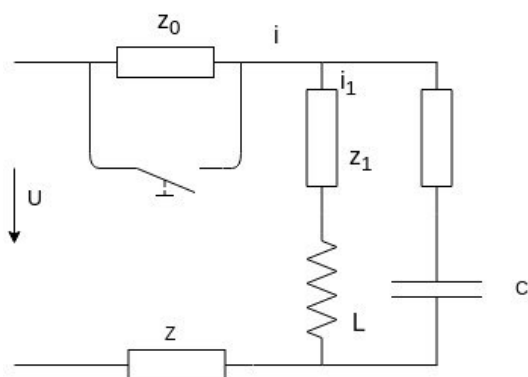
$i_L(-0) = i_L(0)$ - первый закон коммутации.

$u_C(-0) = u_C(0)$ - второй закон коммутации.

Начальные значения величин, не подчиняющихся законам коммутации, то есть $u_L(0)$, $i_C(0)$ и на других элементах (кроме $i_L(0)$ и $u_C(0)$) $i_n(0)$ и $u_n(0)$ называются зависимыми начальными условиями.

При расчете переходного процесса операторным методом знание начальных условий необходимо для составления схемы замещения, а при расчете классическим методом - для однозначного решения дифференциальных уравнений (при определении постоянных интегрирования). Конечные условия - это значения электрических величин в момент $t = \infty$, то есть в принужденном режиме. Порядок определения граничных условий рассмотрим на конкретном примере.

Пример 1



Дано: $z = z_0 = z_1 = z_2 = 10 \text{ Ом}$

$U = 60 \text{ В} = \text{Const};$

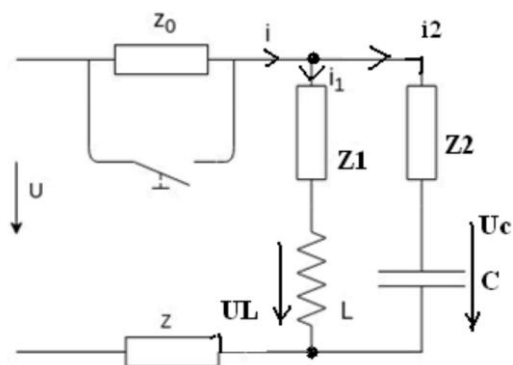
$L = 0,1 \text{ Гн}; C = 20 \text{ мкФ}.$

Ключ замыкается.

Определить граничные условия

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

Разметка цепи. Выбираем направления токов и напряжений в схеме.



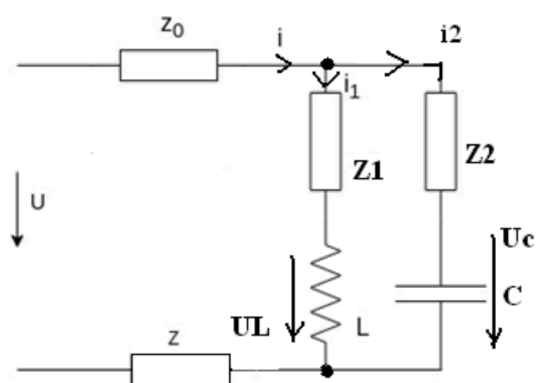
1. Определяем Граничные условия.

а) Рассмотреть цепь до коммутации при $t = -0$. При этом необходимо определить $i_L(-0)$ и $u_C(-0)$, так как согласно законам коммутации эти величины при $t = 0$, (в первый момент коммутации) сохраняют то же значения, что и до коммутации.

Рассматривая работу цепи в установившемся до коммутационном режиме, следует подчеркнуть, что при $u = \text{Const}$; индуктивность обладает сопротивлением, равным нулю, а емкость представляет собой бесконечно большое сопротивление.

Выполняя расчеты в этом пункте, следует отметить, в каком положении находился ключ до коммутации. В данной задаче при $t = 0$ ключ разомкнут (к.р.).

Схема до коммутации



$$i(-0) = i_1(-0) = \frac{u}{z+z_0+z} = \frac{60}{30} = 2A - \text{это ток в индуктивности,}$$

Конденсатор зарядится или разрядится до напряжения присутствующее в узлах ветви, куда он включен, т.е. для схемы задачи до коммутации это напряжение на сопротивление Z_1 .

Тогда $u_C(-0) = u_1(-0)$, и

$$u_C(-0) = i_1(-0)z_1 = 20V.$$

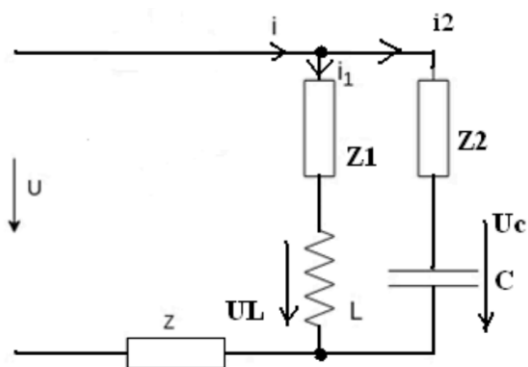
б) Рассмотреть цепь при $t = 0$ (к.з. - ключ замкнут).

На основании законов коммутации.

$$i_1(-0) = i_1(0) = 2A$$

$$u_C(-0) = u_C(0) = 20V.$$

Схема после коммутации. Для определения ЗНУ анализируем эту схему.



Для момента $t = 0$ составить систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для определения зависимых начальных условий для схемы после коммутации.

$$i(0) - i_1(0) - i_2(0) = 0$$

$$i(0)Z + i_1(0)Z_1 + u_L(0) = U$$

$$i(0)Z + i_2(0)Z_2 + u_C(0) = U$$

В данной системе можно подчеркнуть известные начальные условия: $i_1(0)$ и $u_C(0)$. При составлении системы желательно контуры выбирать так, чтобы в уравнение входило меньше неизвестных величин. Решаем систему уравнений.

Из первого уравнения получим $i(0) = i_1(0) + i_2(0)$

Подставим в третье, выразим $i_2(0)$ и вычислим его.

$$(i_1(0) + i_2(0))Z + i_2(0)Z_2 + u_C(0) = U$$

$$i_2(0) = (U - i_1(0)Z - u_C(0)) / (Z + Z_2) = 1A; \quad i_1(0) = 3A;$$

$$u_L(0) = U - i(0)Z - i_1(0)Z_1 = 60 - 30 - 20 = 10V.$$

в) Рассмотрим цепь при $t = \infty$, когда переходный процесс закончится, с целью определения конечных значений величин.

$t = \infty$, ключ замкнут.

Рассматривая работу цепи в установившемся уже после коммутационном режиме (схема после коммутации в п.б). Аналогично анализу при определении ННУ($n.a$), отмечаем что при $u = Const$; индуктивность обладает сопротивлением, равным нулю, а емкость представляет собой бесконечно большое сопротивление.

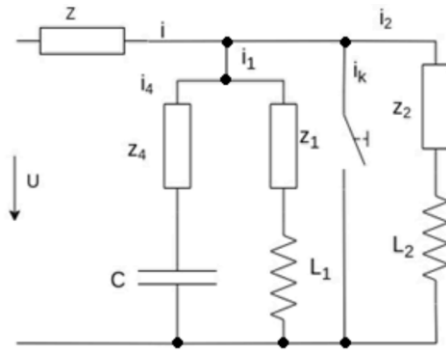
Тогда $u_L(\infty) = 0$; $i_2(\infty) = 0$.

И, следовательно

$$i(\infty) = \frac{u}{Z + Z_1} = 3A; \quad i_1(\infty) = 3A; \quad u_C(\infty) = i_1(\infty)Z_1 = 30V;$$

Граничные условия определены, задача решена.

Пример 2



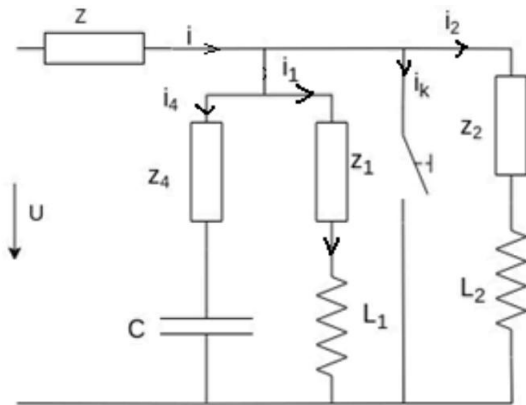
Дано: $U(t) = 100 = \text{const}$
 $Z = Z_1 = 10 \text{ Ом}; Z_2 = Z_4 = 20 \text{ Ом};$
 $L_1 = L = 0,2 \text{ Гн}; C = 10 \text{ мкФ}.$

Ключ замыкается.

Определить граничные условия.

РЕШЕНИЕ

Разметка цепи. Выбираем направления токов и напряжений в схеме.

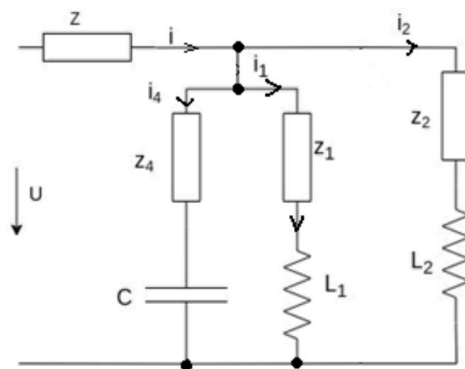


1. Определяем Граничные условия.

а) Определение независимых начальных условий(ННУ). Рассмотрим цепь до коммутации при $t = -0$.

$t = -0$ (к.р.)

Цепь до коммутации будет такой:



Определяем $i_1(-0)$, $i_2(-0)$ и $u_C(-0)$

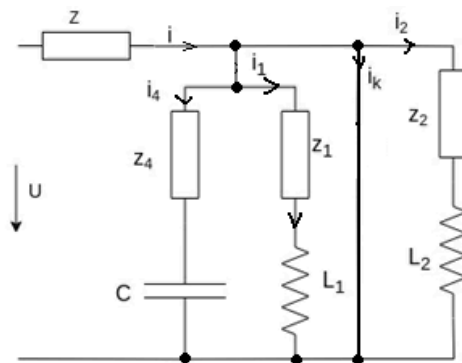
$$i(-0) = \frac{U}{Z + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}} = 5A; \quad i_1(-0) = i_2(-0) = 2,5A;$$

$$u_c(-0) = i_1(-0)Z_1 = 25B.$$

б) Определение независимых начальных условий (ЗНУ). Рассмотреть цепь после коммутации при $t = 0$

$$\begin{cases} i_1(0) = i_1(-0) = 2,5A; \\ i_2(0) = i_2(-0) = 2,5A; \\ u_c(0) = u_c(-0) = 25A. \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{независимые} \\ \text{начальные условия.} \end{array}$$

при $t = 0$ ключ замкнут, цепь приведена на рисунке ниже



Для момента $t = 0$ составить систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для определения зависимых начальных условий для схемы после коммутации.

$$i(0) - i_4(0) - i_1(0) - i_k(0) - i_2(0) = 0$$

$$i(0)Z = U$$

$$i_1(0)Z_1 + u_{L1}(0) = 0$$

$$i_4(0)Z_4 + u_C(0) = 0$$

$$i_2(0)Z_2 + u_{L2}(0) = 0$$

Получим при решении этой системы:

$$i(0) = 10A; \quad i_4(0) = -5A; \quad u_{L1}(0) = -50B; \quad u_{L2}(0) = -50B;$$

$$i_k(0) = 10A \text{ - зависимые начальные условия.}$$

в) Определение конечных условий (КУ). Рассмотреть цепь при $t = \infty$.

(к.з.).

$$i_1(\infty) = i_2(\infty) = i_4(\infty) = 0; \quad u_c(\infty) = u_{z_1}(\infty) = u_{z_2}(\infty) = 0;$$

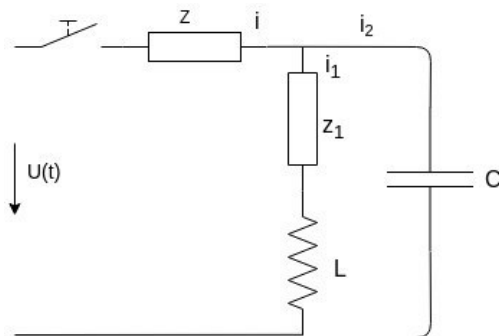
$$i_k(+0) = 10 = i(\infty) = 10A. \text{ - конечных условий}$$

Граничные условия определены, задача решена.

В процессе решения предложенных задач можно подчеркнуть, что для расчета переходного режима в схеме с двумя накопителями энергии вполне достаточно определить два начальных условия $[i_z(+0) \text{ и } U_L(+0) \text{ или } i'_c(+0) \text{ и } U_c(+0)]$. Однако, в целях проверки правильности выполненного решения желательно знать граничные условия для всех электрических величин.

Решаем самостоятельно. Определяем граничные условия.

Задача 1

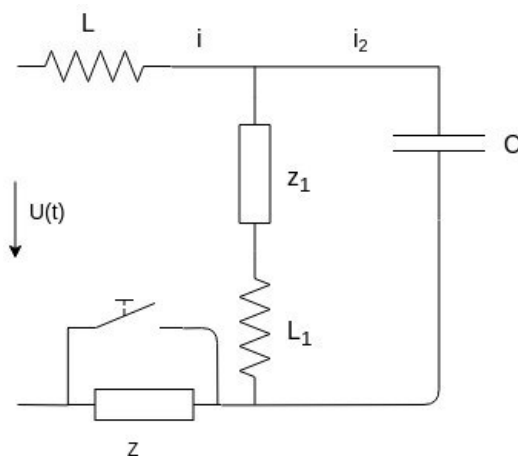


Дано: $U(t) = 80 = \text{const}$
 $Z = Z_1 = 20 \text{ Ом};$
 $L = 0,01 \text{ Гн}; C = 0,1 \text{ мкФ}.$

Ключ замыкается.

Определить граничные условия (ГУ).

Задача 2



Дано: $U(t) = 120 = \text{const}$
 $Z = Z_1 = 20 \text{ Ом};$
 $L = L_1 = 0,1 \text{ Гн}; C = 1 \text{ мкФ}.$

Ключ размыкается.

Определить граничные условия.