

Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами и методы их расчета

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Переходными процессами называют явления, имеющие место в электрических цепях при изменении режима их работы (определение на экран) Например:

- при включении и выключении ветвей,
- при включении и выключении пассивных и активных элементов;
- при внезапном изменении параметров элементов;
- при коротком замыкании элементов или отдельных участков цепи;
- при обрыве отдельных участков электрических цепей.

Эти процессы обусловлены изменением энергетического состояния цепи при переходе от одного установившегося режима к другому.

Так как энергии магнитного и электрического полей не могут изменяться мгновенно, то для завершения переходного процесса требуется некоторый промежуток времени, в течении которого токи и напряжения могут достигать больших величин.

В одних устройствах таких как системы автоматики, импульсная техника, переходные процессы являются нормальным режимом работы; в других устройствах (например в длинных линиях электропередачи) – переходные процессы являются аварийным режимом работы.

Поэтому важным является учет переходных процессов при проектировании и эксплуатации радиотехнической и электротехнической аппаратуры.

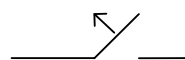
КОММУТАЦИЯ И ЕЁ ЗАКОНЫ

Переходный процесс в электрических цепях наступает в результате коммутации.

Коммутацией называют включение или отключение цепи от источника энергии, а так же изменение ее параметров. На схеме коммутация обозначается в виде ключа со стрелкой:

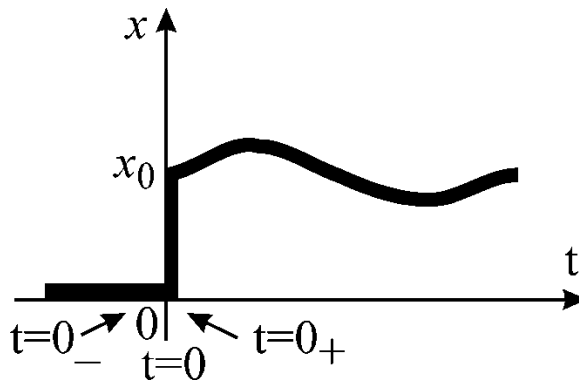


Замыкание ключа



Размыкание ключа

Рисунок на экран



Момент коммутации обычно принимают за начало отсчета и обозначают $t = 0$ или $t(0)$.

$t = 0$ или $t(0)$ - начало отсчета

Момент времени непосредственно перед коммутацией обозначается $t(0_-)$, непосредственно после коммутации $t(0_+)$.

$t(0_-)$ - момент времени непосредственно перед коммутацией

$t(0_+)$ - момент времени непосредственно после коммутации

Законы коммутации

Законы коммутации основаны на том, что энергия электрического и магнитного полей не может изменяться скачком.

Первый закон коммутации:

- Ток в индуктивности непосредственно после коммутации равен току в той же индуктивности непосредственно перед коммутацией.

Другими словами:

ток через индуктивность в момент коммутации не может изменяться скачком:

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

Второй закон коммутации:

- Напряжение на емкости непосредственно после коммутации равно напряжению на этой же емкости непосредственно перед коммутацией.

Другими словами:

напряжение на емкости в момент коммутации не может изменяться скачком.

$$U_C(0_+) = U_C(0_-)$$

Следует отметить, что *скачкообразно могут изменяться:*

- 1) Токи в сопротивлениях и ёмкостях;
- 2) Напряжения на сопротивлениях и индуктивностях.

СКАЧКООБРАЗНО МОГУТ ИЗМЕНЯТЬСЯ

$$i_R(t), i_C(t),$$

$$U_R(t) U_L(t)$$

В электрических цепях, состоящих только из активных сопротивлений, переход от одного установившегося состояния к другому совершается мгновенно.

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

Значения токов и напряжений на элементах электрической цепи в момент коммутации называются *начальными условиями*.

Различают *независимые и зависимые начальные условия*.

НЕЗАВИСИМЫЕ НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:

$$i_L(0_+)$$

$$u_C(0_+)$$

К *независимым начальным условиям* относятся: ток в индуктивности, и напряжение на емкости в момент непосредственно после коммутации.

Эти ток и напряжение определяются законами коммутации.

ЗАВИСИМЫЕ НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:

$$i_R(0_+) \quad i_C(0_+) \quad U_R(0_+) \quad U_L(0_+)$$

Значения всех остальных токов и напряжений и их производных в момент непосредственно после коммутации относятся к *зависимым начальным условиям*.

В зависимости от энергетического состояния цепи различают два вида задач:

Первая, когда электрическая цепь непосредственно перед коммутацией не обладала запасом энергии, то есть ток в индуктивности и напряжение на ёмкости были равны нулю.

ЗАДАЧА С НУЛЕВЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ

$$i_L(0_+) = 0; \quad U_C(0_+) = 0.$$

Вторая задача, когда электрическая цепь перед коммутацией обладала запасом энергии.

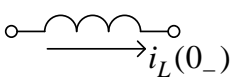

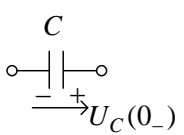
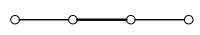
ЗАДАЧА С НЕНУЛЕВЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ

$$i_L(0_+) \neq 0; \quad U_C(0_+) \neq 0.$$

Зависимые начальные условия можно определить составив систему интегрально-дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа и решив их для момента сразу после коммутации.

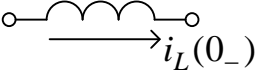

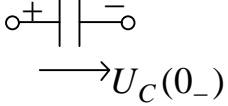
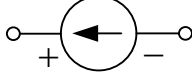
Также зависимые начальные условия можно определить по эквивалентной схеме замещения для момента непосредственно после коммутации.

Таблица 1

Элемент	Нулевые начальные условия
	$i_L(0_+) = 0$ 
	$U_C(0_+) = 0$ 

В этой схеме замещения при нулевых начальных условиях индуктивность заменяется на разрыв (таблица 1), а ёмкость на короткозамкнутый участок (таблица 1).

Таблица 2

Элемент	Ненулевые начальные условия $i_L(0_+) \neq 0; U_C(0_+) \neq 0$
	$i_L(0_+)$ 
C 	$U_C(0_+)$ 

При ненулевых начальных условиях, когда ток в индуктивности и напряжение на ёмкости в момент непосредственно после коммутации не равны нулю, индуктивность в схеме замещения равносильна источнику тока (таблица 2), ток которого равен $i_L(0_+)$, а ёмкость равносильна источнику напряжения с ЭДС равной $U_C(0_+)$. (таблица 2)

Итак, вы узнали:

Что переходные процессы возникают при переходе цепи от одного установившегося состояния к другому.

Что для возникновения переходных процессов необходимо наличие в цепи энергоёмких элементов (индуктивности, ёмкости)

Что законы коммутации основаны на сохранении постоянства энергии электрических и магнитных полей в момент коммутации.

Что начальные условия - это значения токов и напряжений на элементах цепи в момент коммутации. Они бывают зависимыми и независимыми, нулевыми и ненулевыми.