

# ТОЭ – часть 2

## практическое занятие 1

Начальные условия и  
принужденные составляющие

При расчете **переходных процессов** используются **начальные условия** и **принужденные составляющие** напряжений и токов.

**Принужденные составляющие (ПС)** определяются при **постоянных** и **синусоидальных** источниках из расчета **установившегося** режима *после* коммутации, когда **ключ** ( $K$ ) уже давно сработал ( $t = \infty$ ).

Различают последний момент перед коммутацией ( $t = 0-$ ) и первый момент после коммутации ( $t = 0+$ ) ключа  $K$ .

## Различают:

а) *независимые* начальные условия (ННУ),  
которые находятся из расчета схемы **до**  
**коммутации** в момент  $t = 0^-$  :

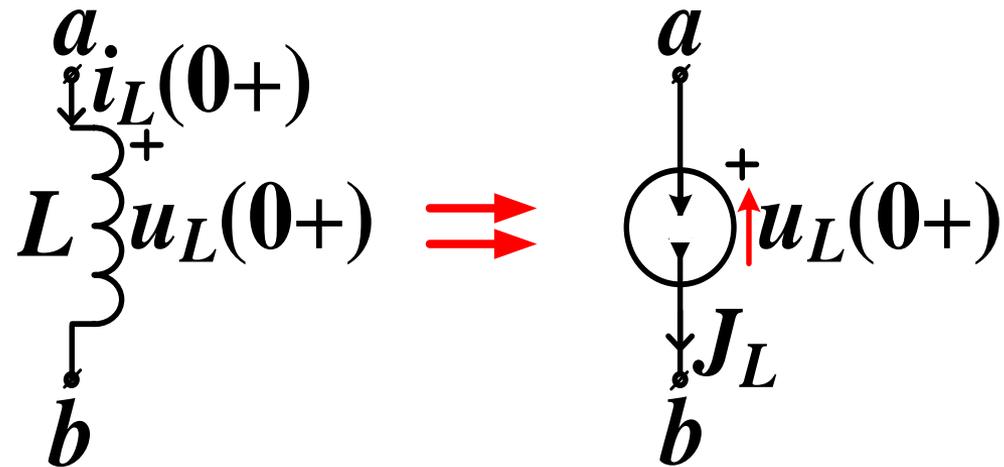
$$i_L(0^-) = i_L(0^+) \quad \text{и} \quad u_C(0^-) = u_C(0^+)$$

б) *зависимые* начальные условия (ЗНУ),  
которые находятся из расчета схемы **после**  
**коммутации** в момент  $t = 0^+$ :

$$i_C(0^+), \quad u_L(0^+)$$

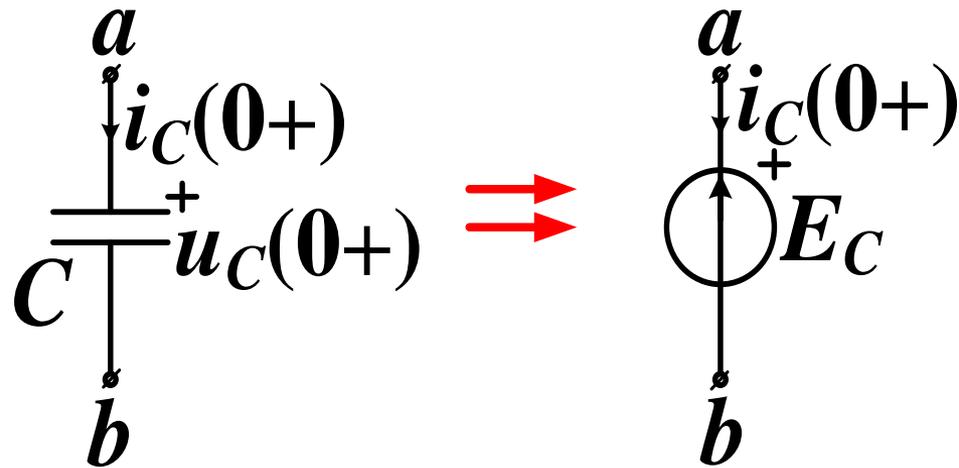
**и другие величины**

При определении **зависимых** начальных условий **индуктивные** элементы заменяют **источниками тока**:



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

При этом **емкостные** элементы заменяют **источниками ЭДС**:



$$E_C = u_C(0+) = u_C(0-)$$

# Задача 1

Дано:

$E=100$  (В);  $J=2$  (А);  $R=100$  (Ом).

Определить:

а) ННУ:  $i_L(0-)$ ,  $u_C(0-)$ ;

б) ЗНУ:  $u_L(0+)$ ,  $i_C(0+)$ ,  $u(0+)$ ,  $i(0+)$ ;

в) ПС: для источников  $i_{пр}$ ,  $u_{пр}$ .

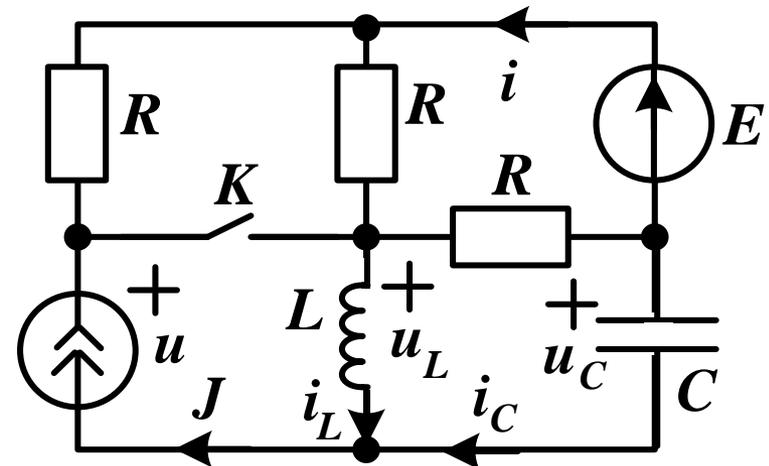
Ключ  $K$  замыкается:

а) **до** коммутации

ключ **разомкнут**;

б) **после** коммутации

ключ **замкнут**.



# 1. Находим ННУ (схема до коммутации):

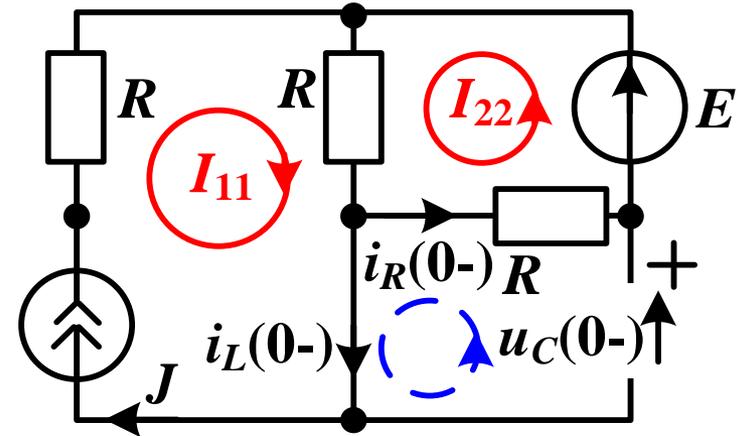
При постоянных источниках  $L$  – коротка,  $C$  – разрыв.

По методу контурных токов:

$$I_{11} = J = 2 \text{ (A)},$$

$$2RI_{22} + RI_{11} = E, \text{ тогда}$$

$$I_{22} = E/2R - 0,5J = -0,5 \text{ (A)}.$$



В результате ННУ:

$$i_L(0-) = I_{11} = 2 \text{ (A)};$$

$$u_C(0-) = -i_R(0-)R = -I_{22}R = 50 \text{ (B)}.$$

## 2. Находим ЗНУ (схема после коммутации):

$$J_L = i_L(0^-) = i_L(0^+) = 2 \text{ (A)}; E_C = u_C(0^-) = u_C(0^+) = 50 \text{ (V)}.$$

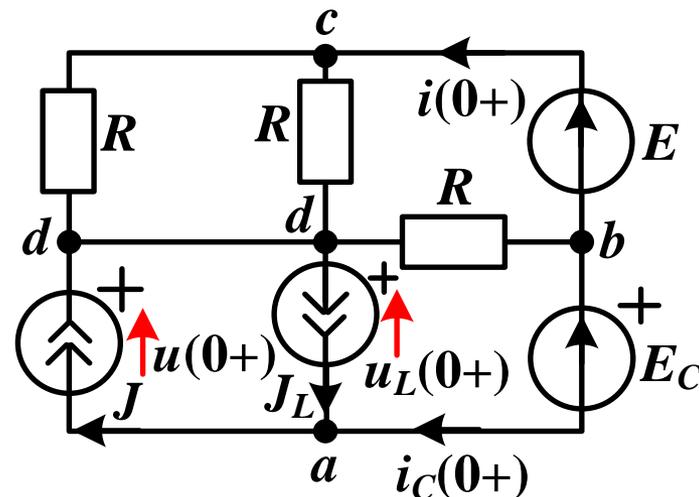
По методу узловых

потенциалов:  $\varphi_a = 0 \text{ (V)}$ ,

$\varphi_b = E_C = 50 \text{ (V)}$ ,  $\varphi_c = \varphi_b + E = 150 \text{ (V)}$ ,

$\varphi_d(3/R) - \varphi_c(2/R) - \varphi_b(1/R) = J - J_L$ ,

тогда  $\varphi_d = 116,66 \text{ (V)}$ .



В результате ЗНУ:

$$u_L(0^+) = u(0^+) = \varphi_d - \varphi_a = 116,66 \text{ (V)};$$

$$i(0^+) = (\varphi_b - \varphi_d + E) / 0,5R = 0,66 \text{ (A)}; i_C(0^+) = J - J_L = 0 \text{ (A)}.$$

3. Находим ПС (схема после коммутации при  $t=\infty$ ):

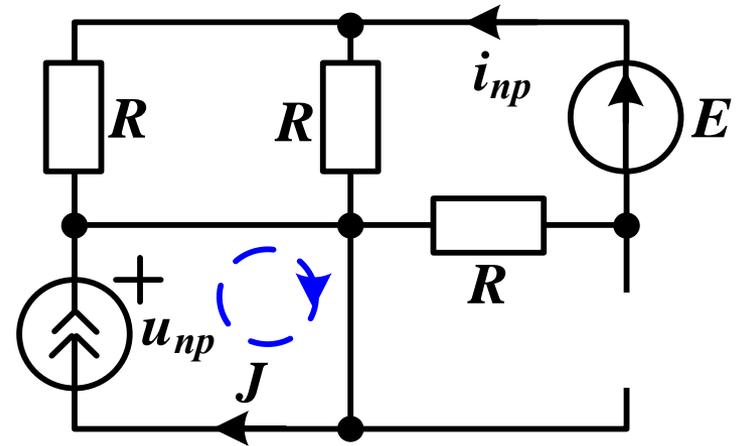
При постоянных источниках  $L$  – коротка,  $C$  – разрыв.

По 2-му закону Кирхгофа:

$$u_{np} = 0 \text{ (В)}.$$

По закону Ома:

$$i_{np} = E / [R + RR / (R + R)] = 0,66 \text{ (А)}.$$



# Задача 2

Дано:

$E=200$  (В);  $J=1$  (А);  $R=100$  (Ом).

Определить:

а) ННУ:  $i_L(0-)$ ,  $u_C(0-)$ ;

б) ЗНУ:  $u_L(0+)$ ,  $i_C(0+)$ ,  $u(0+)$ ,  $i(0+)$ ;

в) ПС: для источников  $i_{пр}$ ,  $u_{пр}$ .

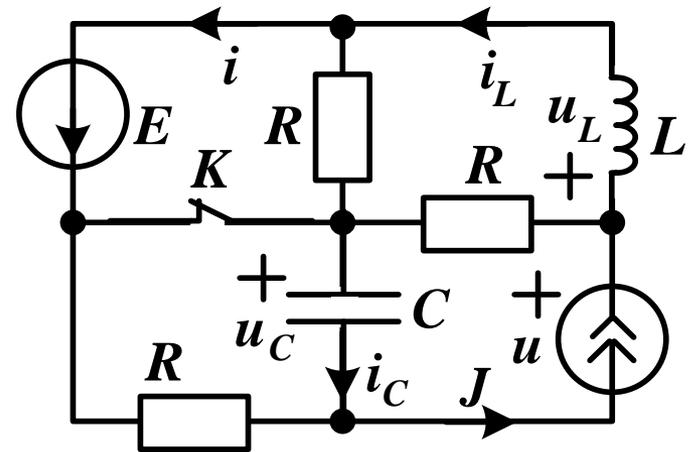
Ключ  $K$  размыкается:

а) **до** коммутации

ключ **замкнут**;

б) **после** коммутации

ключ **разомкнут**.



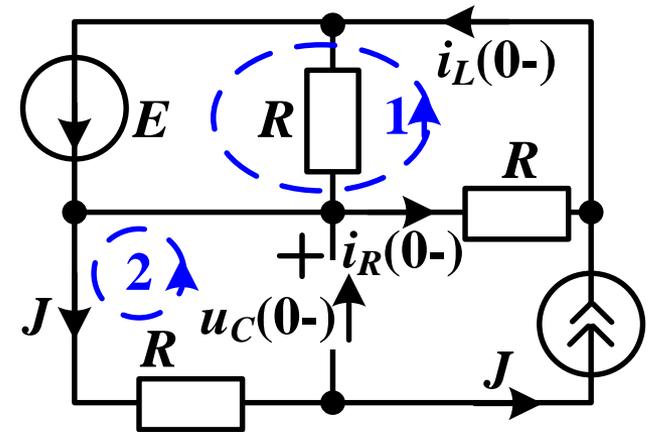
# 1. Находим ННУ (схема до коммутации):

При постоянных источниках  $L$  – коротка,  $C$  – разрыв.

По 2-му закону Кирхгофа:

1 контур  $E = Ri_R(0-)$ , тогда

$$i_R(0-) = E/R = 2 \text{ (А)}.$$



В результате ННУ:

по 1-му закону Кирхгофа  $i_L(0-) = J + i_R(0-) = 3 \text{ (А)}$ ;

по 2-му закону Кирхгофа (2 контур)  $u_C(0-) = RJ = 100 \text{ (В)}$ .

## 2. Находим ЗНУ (схема после коммутации):

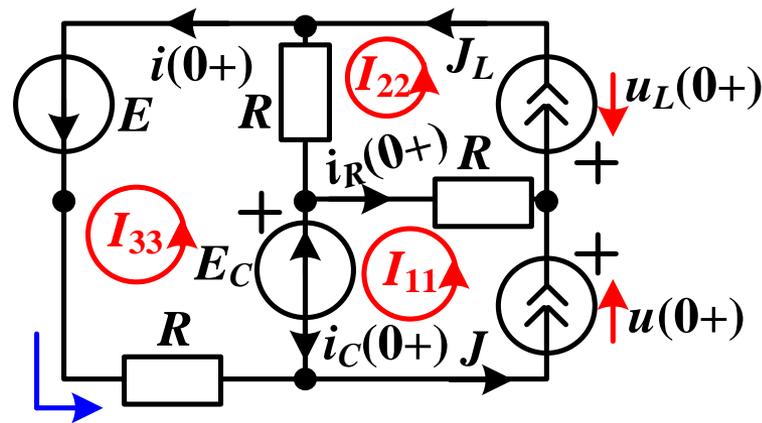
$$J_L = i_L(0^-) = i_L(0^+) = 3 \text{ (A)}; E_C = u_C(0^-) = u_C(0^+) = 100 \text{ (V)}.$$

По методу контурных токов:

$$I_{11} = J = 1 \text{ (A)}, I_{22} = J_L = 3 \text{ (A)},$$

$$2RI_{33} - 0I_{11} - RI_{22} = E + E_C,$$

тогда  $I_{33} = 3 \text{ (A)}$ .



В результате ЗНУ:

$$i(0^+) = I_{33} = 3 \text{ (A)}; i_C(0^+) = I_{11} - I_{33} = -2 \text{ (A)};$$

$$i_R(0^+) = I_{22} - I_{11} = 2 \text{ (A)};$$

$$u(0^+) - E_C = -Ri_R(0^+), \text{ тогда } u(0^+) = E_C - Ri_R(0^+) = -100 \text{ (V)};$$

$$E + u(0^+) - u_L(0^+) = Ri(0^+), \text{ тогда } u_L(0^+) = -200 \text{ (V)}.$$

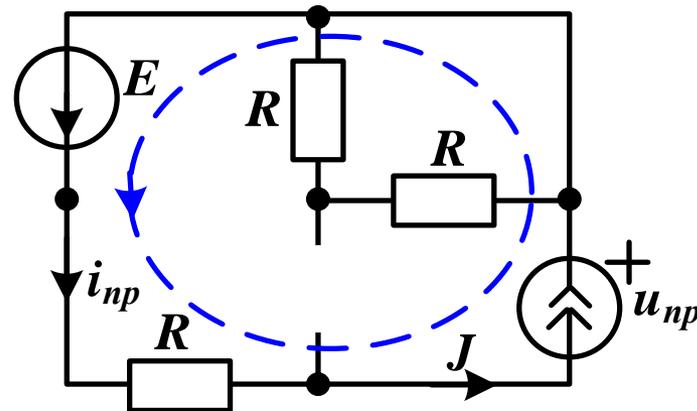
### 3. Находим ПС (схема после коммутации при $t=\infty$ ):

При постоянных источниках  $L$  – коротка,  $C$  – разрыв.

По законам Кирхгофа:

$$i_{np} = J = 1 \text{ (A)};$$

$$u_{np} = -E + Ri_{np} = -100 \text{ (В)}.$$



# Задача 3

Дано:

$$e(t) = 200 \sin(100t + 90^\circ) \text{ (В);}$$

$$L = 1 \text{ (Гн); } C = 50 \text{ (мкФ); } R = 200 \text{ (Ом).}$$

Определить:

а) ННУ:  $i_L(0^-)$ ,  $u_C(0^-)$ ;

б) ЗНУ:  $u_L(0^+)$ ,  $i_C(0^+)$ ,  $i_R(0^+)$ ;

в) ПС:  $i_{L\text{пр}}(t)$ ,  $u_{C\text{пр}}(t)$ .

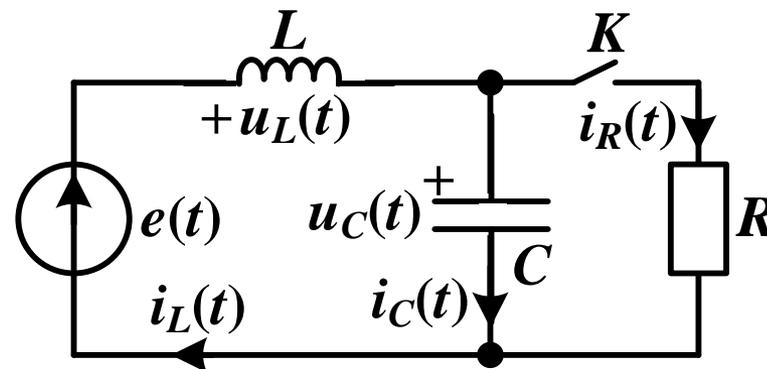
Ключ **K** замыкается:

а) **до** коммутации

ключ **разомкнут**;

б) **после** коммутации

ключ **замкнут**.



# 1. Находим ННУ (схема до коммутации):

При гармонических источниках символический метод:

$$\underline{E}_m = 200e^{j90^\circ} \text{ (В)}; X_L = \omega L = 100 \cdot 1 = 100 \text{ (Ом)}; X_C = 1/\omega C = 200 \text{ (Ом)}.$$

По закону Ома:

$$\underline{I}_{LD} = \underline{E}_m / (jX_L - jX_C) = 2e^{j180^\circ} \text{ (А)},$$

$$\underline{U}_{CD} = (-jX_C)\underline{I}_{LD} = 400e^{j90^\circ} \text{ (В)}.$$

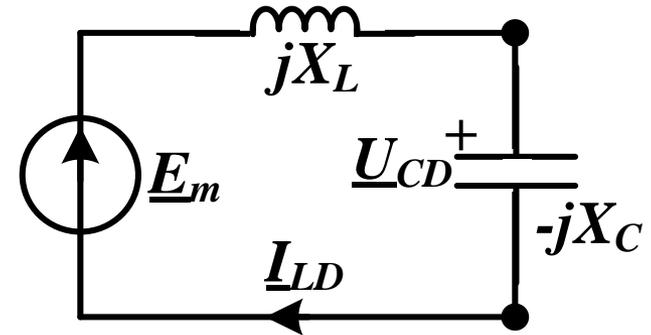
Тогда  $i_{LD}(t) = 2\sin(100t + 180^\circ)$  А,

$$u_{CD}(t) = 400\sin(100t + 90^\circ) \text{ В}.$$

В результате ННУ:

$$i_L(0^-) = i_{LD}(0) = 2\sin(180^\circ) = 0 \text{ (А)};$$

$$u_C(0^-) = u_{CD}(0) = 400\sin(90^\circ) = 400 \text{ (В)}.$$



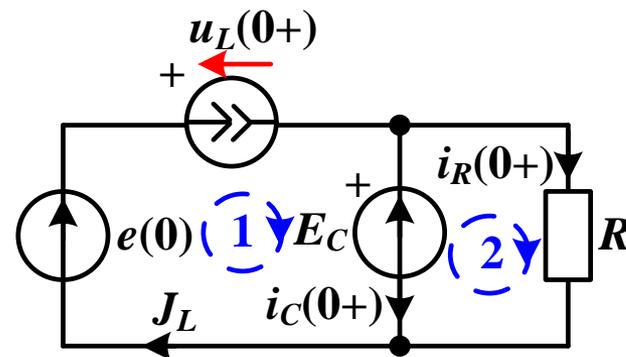
2. Находим ЗНУ (схема после коммутации):

$$J_L = i_L(0^-) = i_L(0^+) = 0 \text{ (A)}; E_C = u_C(0^-) = u_C(0^+) = 400 \text{ (V)};$$
$$e(0) = 200 \sin(90^\circ) = 200 \text{ (V)}.$$

По 2-му закону Кирхгофа:

1 контур  $e(0) - u_L(0^+) - E_C = 0$ ;

2 контур  $E_C = R i_R(0^+)$ .



В результате ЗНУ:

$$u_L(0^+) = -E_C + e(0) = -400 + 200 = -200 \text{ (V)};$$

$$i_R(0^+) = E_C / R = 2 \text{ (A)}; i_C(0^+) = J_L - i_R(0^+) = -2 \text{ (A)}.$$

3. Находим ПС (схема после коммутации при  $t=\infty$ ):

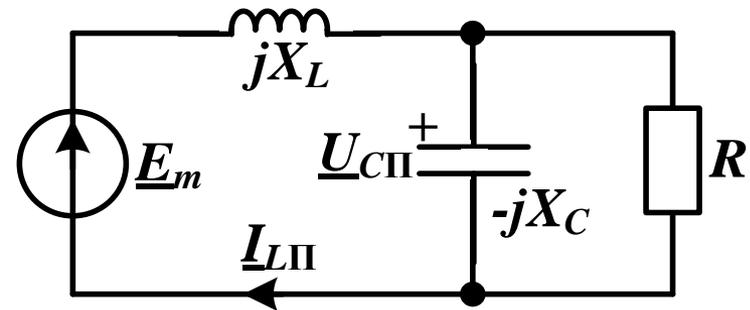
При гармонических источниках символический метод:

$$\underline{E}_m = 200e^{j90^\circ} \text{ (В)}; X_L = 100 \text{ (Ом)}; X_C = 200 \text{ (Ом)}; R = 200 \text{ (Ом)}.$$

По закону Ома:

$$\underline{I}_{L\Pi} = \frac{\underline{E}_m}{jX_L + \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C}} = 2e^{j90^\circ} \text{ (А)};$$

$$\underline{U}_{C\Pi} = \left[ \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C} \right] \underline{I}_{L\Pi} = 282e^{j45^\circ} \text{ (В)}.$$



В результате принужденные составляющие:

$$i_{L\Pi}(t) = 2\sin(100t + 90^\circ) \text{ А}; u_{C\Pi}(t) = 282\sin(100t + 45^\circ) \text{ В}.$$