

ТОЭ – часть 2

практическое занятие 11

Расчет переходных процессов в
нелинейных цепях методом условной
линеаризации

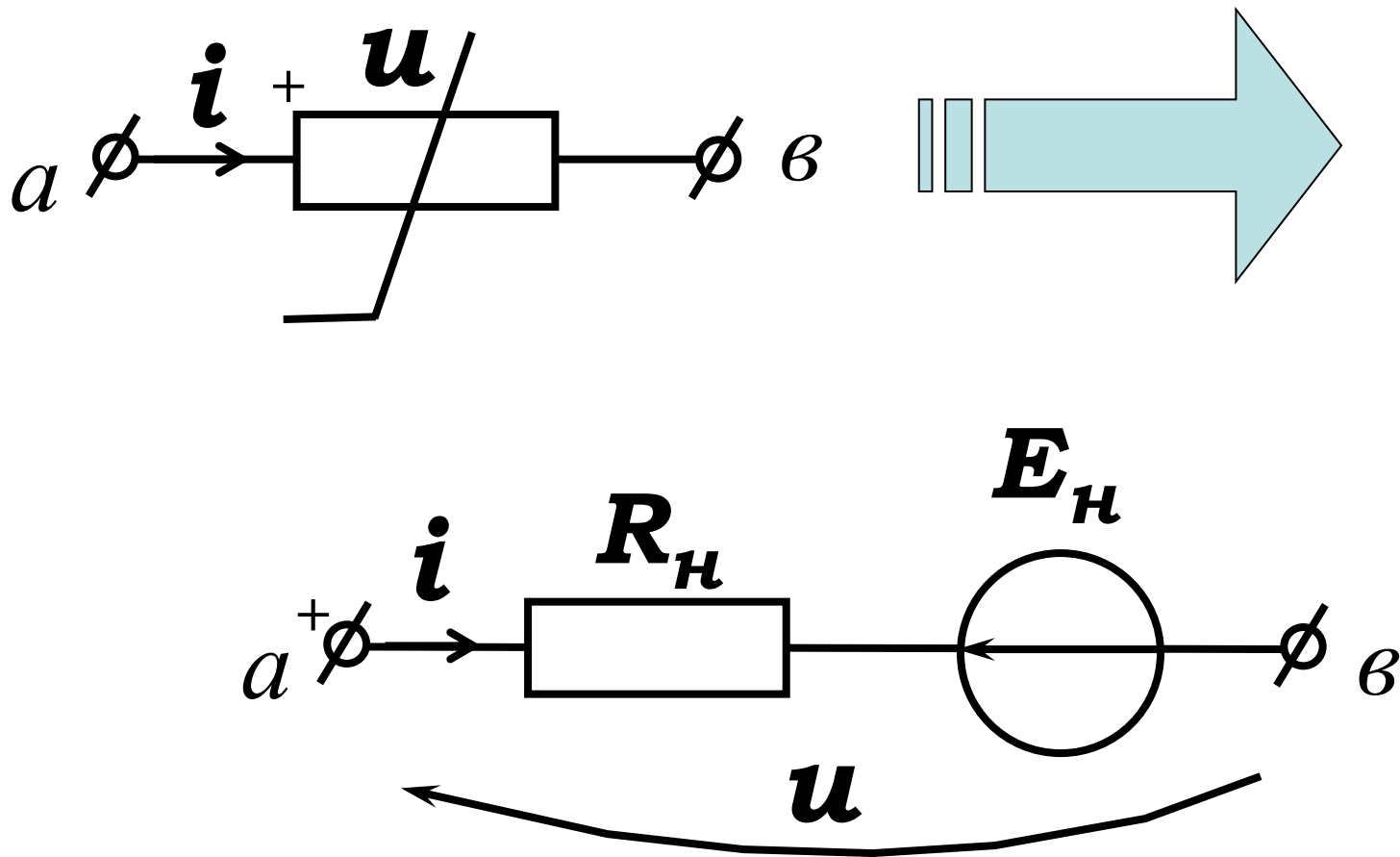
Метод **условной линеаризации** дает **ориентировочное** решение и заключается в **условной замене нелинейных** элементов **линейными** элементами.

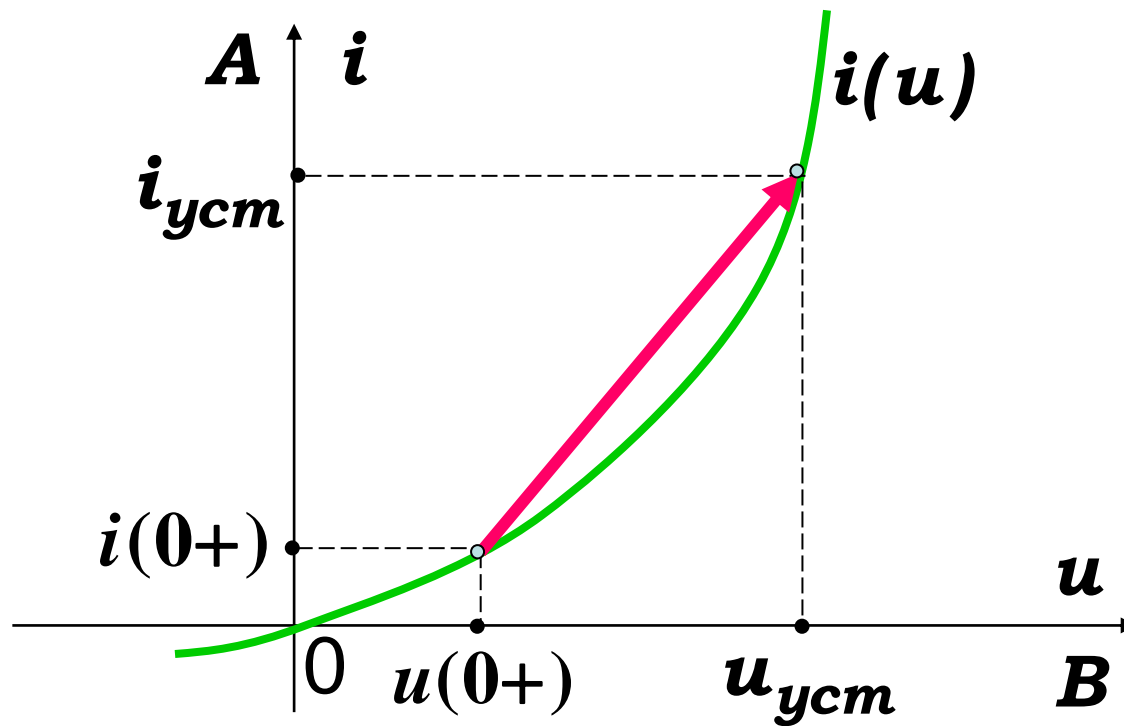
Напряжения и токи переходного процесса находятся в виде **приближенных** функций времени **классическим** или **операторным** методом.

Этот метод наиболее удобно применять для нелинейных цепей с **постоянными** источниками.

Замена нелинейных элементов линейными осуществляется **следующим образом**:

Резистивный элемент

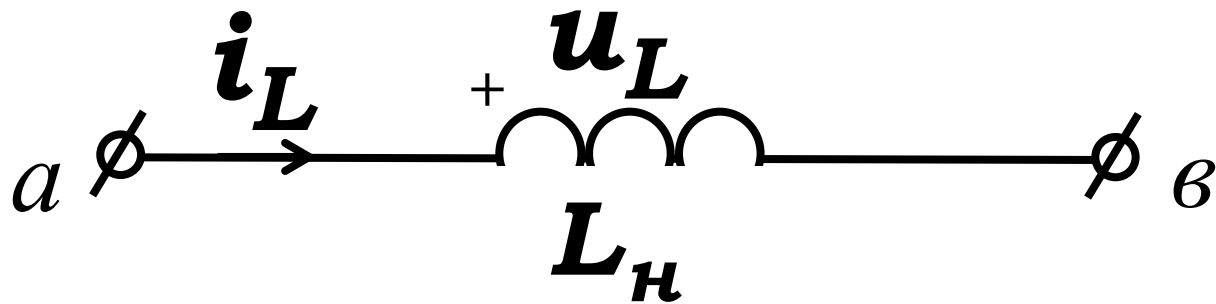
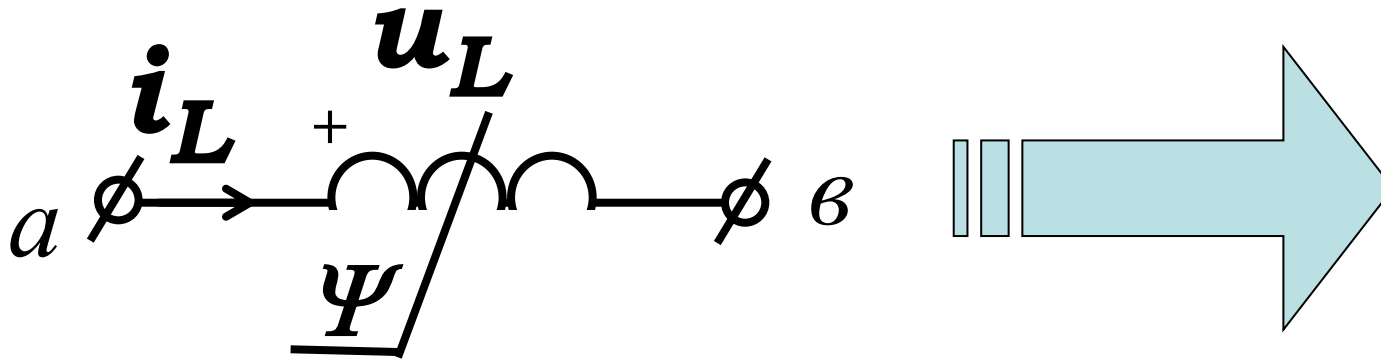


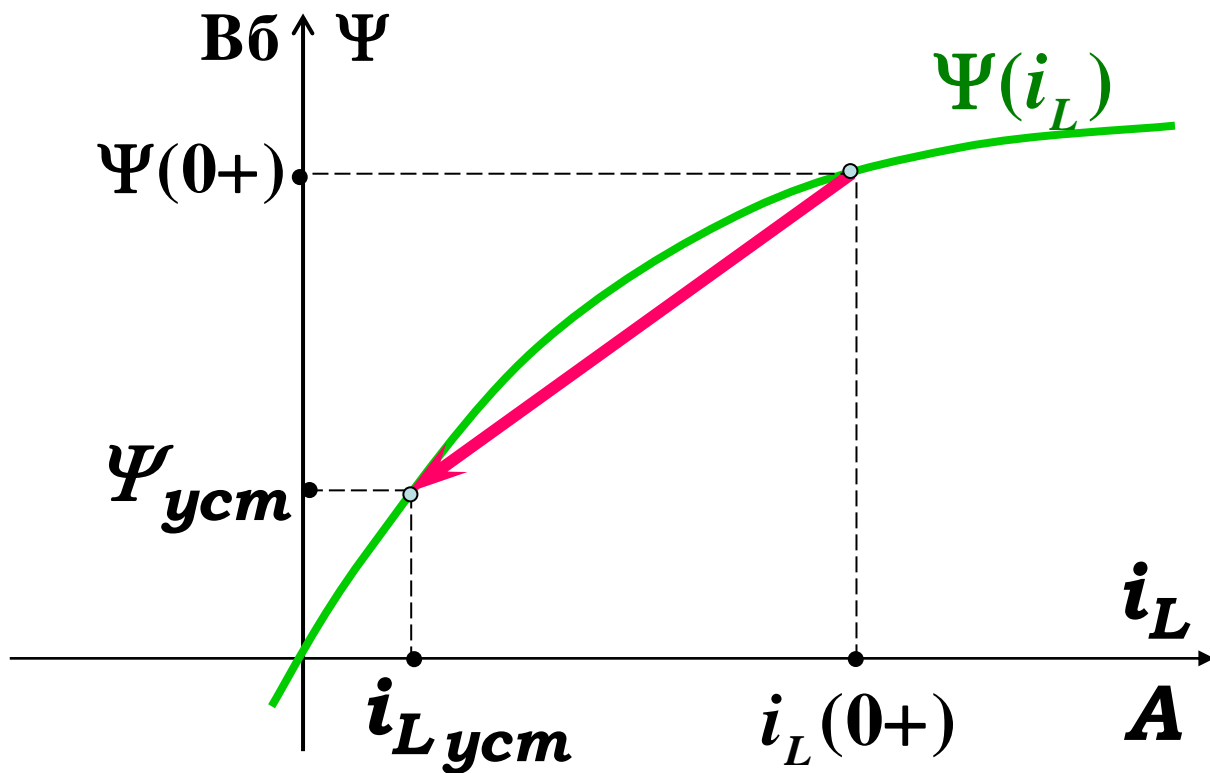


$$R_H = \frac{u_{уст} - u(0+)}{i_{уст} - i(0+)}, \text{ Ом}$$

$$E_H = u(0+) - R_H \cdot i(0+), \text{ В}$$

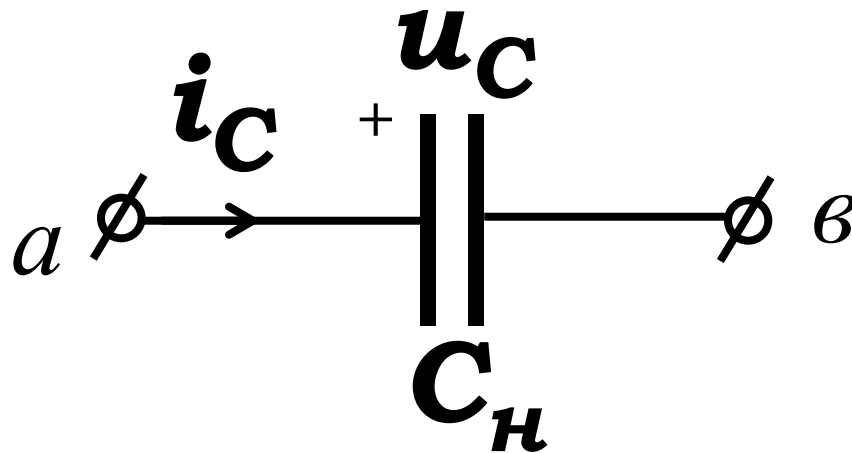
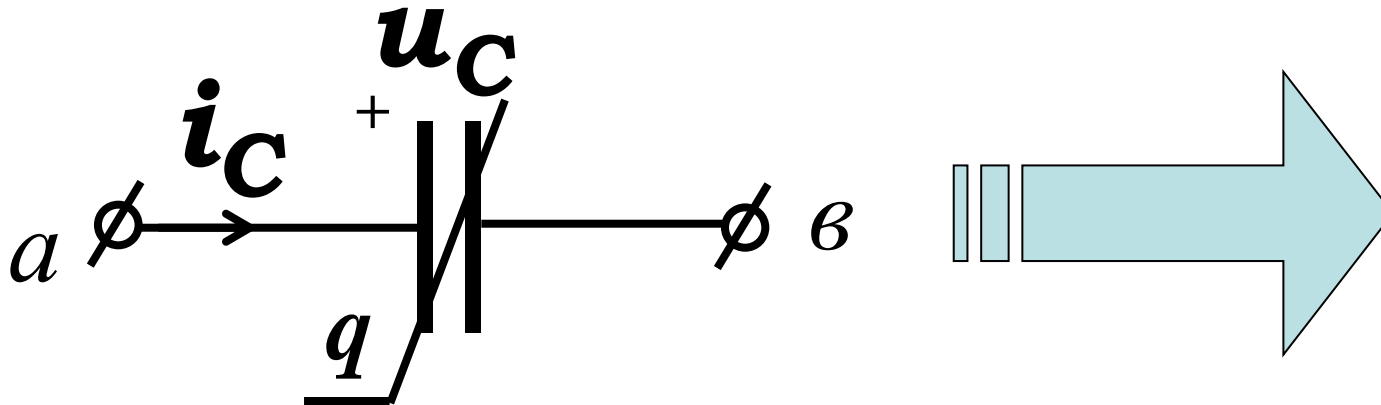
ИНДУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

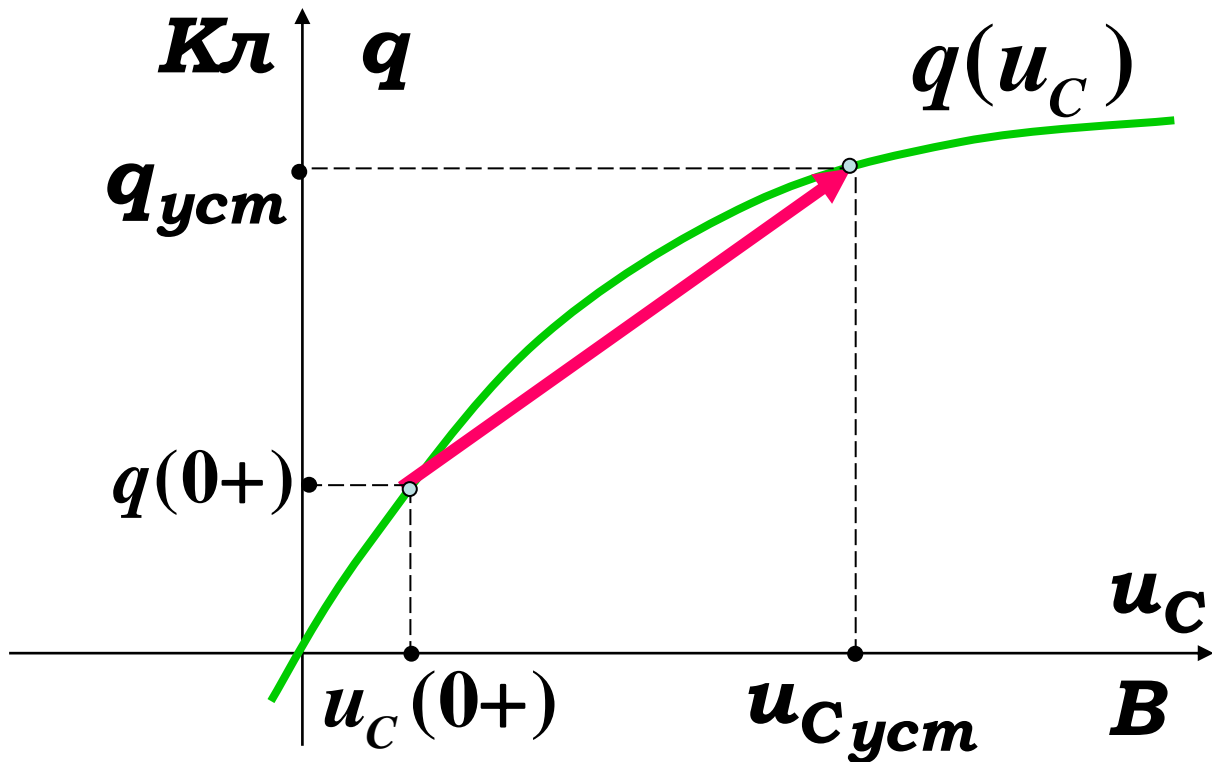




$$L_H = \frac{\Psi_{уст} - \Psi(0+)}{i_{Lуст} - i_L(0+)}, \Gamma_H$$

Ёмкостный элемент





$$C_H = \frac{q_{\text{уст}} - q(0+)}{u_{C\text{уст}} - u_C(0+)}, \quad \Phi$$

Задача

Дано:

$$J=2 \text{ (А)}; R=100 \text{ (Ом)};$$

$$u=\alpha \cdot i^2=100i^2, \text{ (В)} - \text{ВАХ НРЭ-ов (} i \text{ в амперах, } i>0\text{)};$$

$$q=10^{-6}u_C^2, \text{ (Кл)} - \text{КВХ НЕЭ (} u_C \text{ в вольтах)}.$$

Определить:

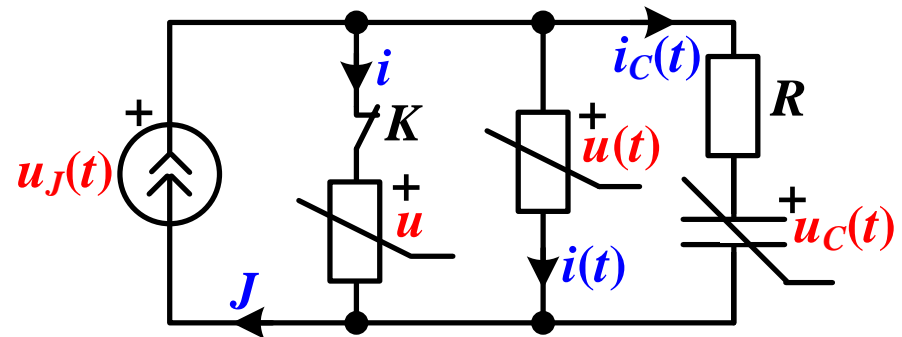
$$u_J(t)=? \text{ (В)}, u(t)=? \text{ (В)}, u_C(t)=? \text{ (В)}, i(t)=? \text{ (А)}, i_C(t)=? \text{ (А)}$$

Ключ K размыкается.

Нелинейная цепь с

двумя одинаковыми НРЭ

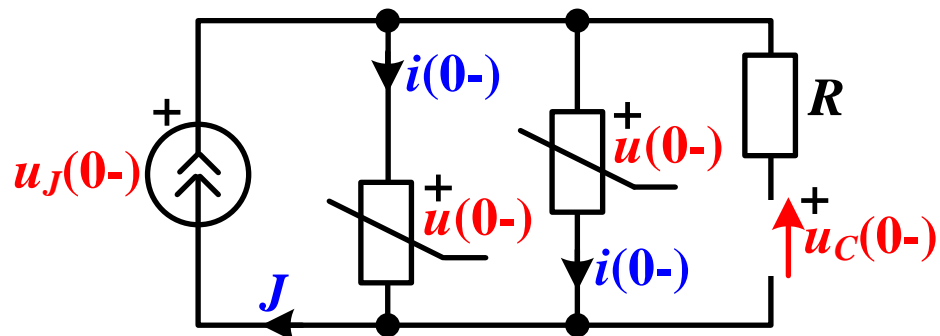
и одним НЕЭ.



1. Находим ННУ (схема до коммутации):

$$i_L(0^-)=?, u_C(0^-)=?$$

При постоянных источниках: L , НИЭ – коротка;
 C , НЕЭ – разрыв.



По 1-закону Кирхгофа: $i(0^-)=J/2=1$ (А),

тогда по 2-му закону Кирхгофа:

$$u_J(0^-)=u(0^-)=u_C(0^-)=100i(0^-)^2=100 \text{ (В)}.$$

В результате ННУ:

$$u_C(0^-)=100 \text{ (В)}.$$

2. Находим ЗНУ (схема после коммутации):

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

По законам Кирхгофа :

$$J = i(0^+) + i_C(0^+),$$

$$u_J(0^+) = u(0^+) = a \cdot i(0^+)^2 = Ri_C(0^+) + E_C,$$

$$\text{тогда } a \cdot i(0^+)^2 + Ri(0^+) - RJ - E_C = 0,$$

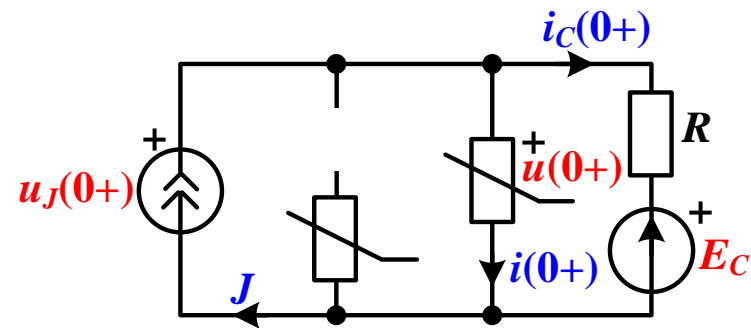
$$\text{или } i(0^+)^2 + i(0^+) - 3 = 0 \text{ и}$$

$$i(0^+) = -0,5 \pm 1,803 = 1,303 \approx 1,3 \text{ (А)} > 0.$$

$$\text{Далее: } i_C(0^+) = J - i(0^+) = 0,7 \text{ (А)};$$

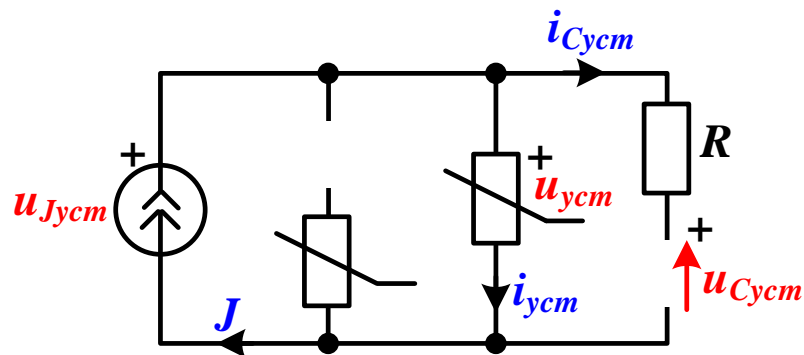
$$u_J(0^+) = u(0^+) = a \cdot i(0^+)^2 = 169 \text{ (В)};$$

$$q(0^+) = 10^{-6} u_C(0^+)^2 = 0,01 \text{ (Кл)}.$$



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

При постоянных источниках: L , НИЭ – коротка;
 C , НЕЭ – разрыв.



$$i_{уст} = J = 2 \text{ (A)}; i_{Cуст} = 0;$$

$$u_{Jуст} = u_{Cуст} = u_{уст} = \alpha \cdot i_{уст}^2 = 400 \text{ (В)};$$

$$q_{уст} = 10^{-6} u_{Cуст}^2 = 0,16 \text{ (Кл)}.$$

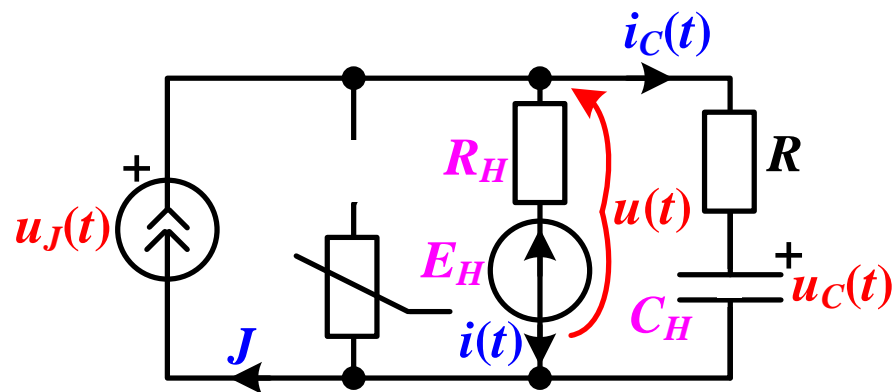
4. Линеаризованные параметры НРЭ и НЕЭ:

$$R_H = \frac{u_{уст} - u(0+)}{i_{уст} - i(0+)} = \frac{400 - 169}{2 - 1,3} = 330 \text{ (Ом)};$$

$$E_H = u(0+) - R_H i(0+) = 169 - 330 \cdot 1,3 = -260 \text{ (В)};$$

$$C_H = \frac{q_{уст} - q(0+)}{u_{Суст} - u_C(0+)} = \frac{0,16 - 0,01}{400 - 100} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (Ф)} = 500 \text{ (мкФ)}.$$

5. Линейная схема после коммутации:



6. Находим корни характеристического уравнения (линейная схема после коммутации):

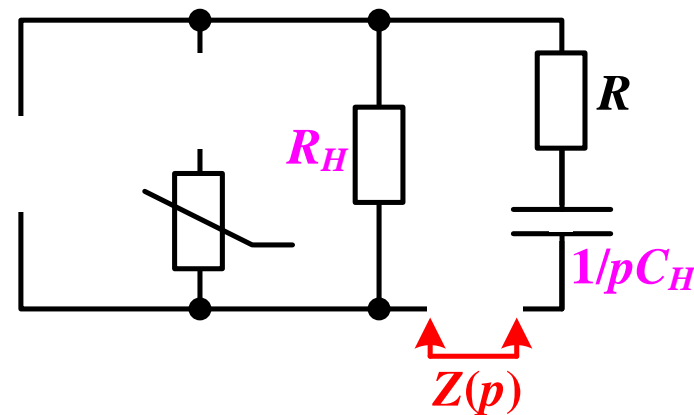
ЭДС E – **закоротка**; источник тока J – **разрыв**; емкостный элемент $C \rightarrow 1/pC$; индуктивный элемент $L \rightarrow pL$

Сопротивление:

$$Z(p) = 1/pC_H + R + R_H = 0,$$

тогда

$$p = -1/(R + R_H)C_H = -4,65 \text{ (1/с)}.$$



Постоянная времени:

$$\tau = 1/|p| = 0,215 \text{ (с)},$$

длительность переходного процесса

$$t_{II} = 5\tau = 1,075 \text{ (с)}.$$

6. Окончательный результат (для одного p):

$$u_J(t) \approx u_{J_{уст}} + [u_J(0+) - u_{J_{уст}}] e^{pt} = 400 - 231e^{-4,65t} \text{ (В)};$$

$$u(t) \approx u_{уст} + [u(0+) - u_{уст}] e^{pt} = 400 - 231e^{-4,65t} \text{ (В)};$$

$$u_C(t) \approx u_{C_{уст}} + [u_C(0+) - u_{C_{уст}}] e^{pt} = 400 - 300e^{-4,65t} \text{ (В)};$$

$$i(t) \approx i_{уст} + [i(0+) - i_{уст}] e^{pt} = 2 - 0,7e^{-4,65t} \text{ (А)};$$

$$i_C(t) \approx i_{C_{уст}} + [i_C(0+) - i_{C_{уст}}] e^{pt} = 0,7e^{-4,65t} \text{ (А)}.$$

Проверка:

$$u(t) = R_H i(t) + E_H = 330(2 - 0,7e^{-4,65t}) - 260 = 400 - 231e^{-4,65t} \text{ (В)} - \text{верно};$$

$$i_C(t) = C_H \frac{du_C(t)}{dt} = 0,6975e^{-4,65t} \approx 0,7e^{-4,65t} \text{ (А)} - \text{верно}.$$