

## Лабораторна робота № 34

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ

#### Мета роботи

Дослідження перехідних процесів в електричних колах постійного струму при послідовному з'єднанні: резистивно-індуктивних ( $RL$ ) елементів; резистивно-ємнісних ( $RC$ ) елементів; резистивно-індуктивно-ємнісних ( $RLC$ ) елементів.

#### Підготовка до роботи

Вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками до роботи, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту і відповіді на наступні питання:

1. Які закони комутації ви знаєте та на якому базовому фізичному законі вони ґрунтуються ?
2. Яка фізична та математична сутність вимушеної і вільної складових перехідного процесу ?
3. Якою енергією забезпечується вільна складова перехідного процесу ?
4. Що таке стала часу електричного кола та як її можна визначити ?
5. За яких умов виникає коливальний або аперіодичний перехідний процес ?
6. Що таке початкові умови, якими вони бувають і як визначаються ?
7. Як визначити сталі інтегрування загального рішення перехідного струму (напруги) ?

#### Опис лабораторної установки

Для електропостачання використовується джерело регульованої постійної напруги стенду НДЛС, на яке вмикається досліджуване електричне коло через транзисторний комутатор (далі ключ). Схема пристрою наведена на рис. 34.1 а.

Період перемикачів ключа  $K$  при застосуванні внутрішньої синхронізації, дорівнює періоду промислової частоти ( $T = 0.02 \text{ c}$ ). Таким чином ключ половину періода ( $0,01 \text{ c}$ ) замкнений і половину періода (теж  $0,01 \text{ c}$ ) розімкнений.

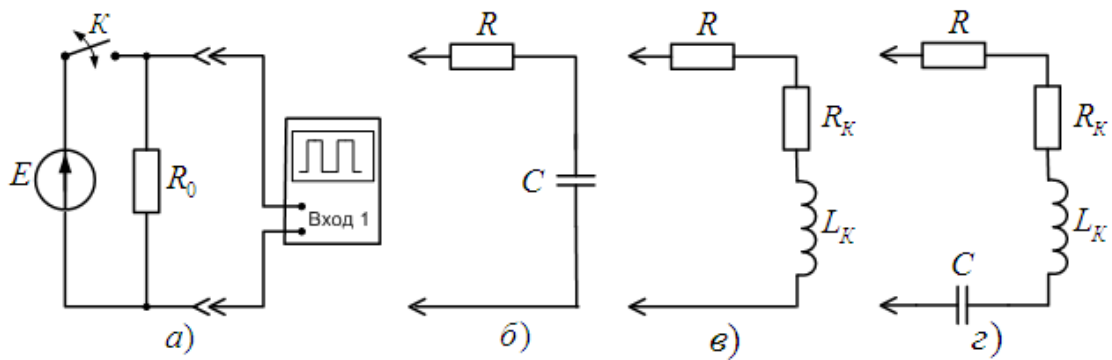


Рис. 34.1

Досліджувані кола ( $RC$ ,  $RL$ , або  $RLC$ ) складають на набірному полі стенду з елементів, розміщених у блоках опорів, ємностей та індуктивностей стенду. Через опір  $R_0 \approx 50$  Ом відбувається розряд ємності чи індуктивності при розмиканні комутатора  $K$ . Для спостереження кривих струму і напруги на окремих ділянках досліджуваного електричного кола під час перехідного процесу використовується осцилограф.

### Порядок виконання роботи

#### **Калібровка осцилографа.**

Скласти електричне коло, зображене на рис.34.1а. Встановити напругу регульованого джерела постійної напруги  $U = 12$  В. Підключити гніздо "Вход 1" осцилографа до резистора  $R_0$ . Увімкнути транзисторний комутатор в режимі внутрішньої синхронізації, а осцилограф - в режимі зовнішньої синхронізації від однієї з фаз блоку трифазної напруги 5 В, після чого спостерігати на екрані осцилографа прямокутні імпульси напруги. Обертанням ручок "Длительность развертки" (2 мс) та "Стабильность" домогтися того, щоб на екрані спостерігався один період прямокутної імпульсної напруги (як показано на рис.34.2). Виміряти в міліметрах розмір одного періоду  $l_T$  та визначити масштаб часу за формулою:  $m_t = 0.02 / l_T$ . Якщо зробити  $l_T = 100$  мм, тоді  $m_t = T / l_T = 0,02 / 100 = 0.2$  мс/мм. Поворотом ручки "Чувствительность" встановити розмір амплітудного значення імпульсної напруги на екрані осцилографа 30 мм та обчислити масштаб напруги за формулою:  $m_U = E / l_U = 12 / 30 = 0,4$  В/мм.

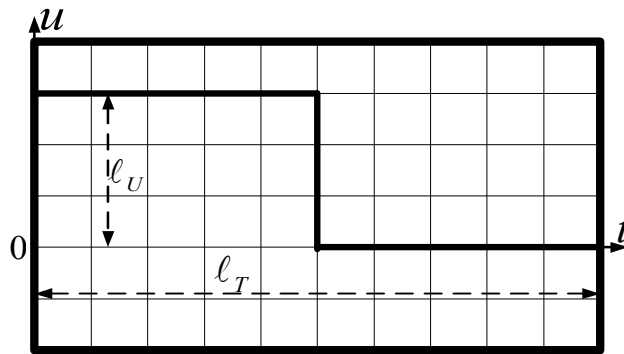


Рис. 34.2

### Дослідження перехідного процесу у колі RC

1. Підключити до джерела імпульсної напруги послідовно з'єднані резистор  $R_4 = 200 \text{ Ом}$  та конденсатор  $C_2$  (рис. 34.1б). Подати на вхід осцилографа сигнал напруги з конденсатора. Спостерігати на екрані криві зміни напруги конденсатора під час двох перехідних процесів: при підключенні джерела енергії (ліва половина екрану) - заряд конденсатора; при відімкненні джерелі енергії (права половина екрану) – розряд конденсатора.

2. Ручками " $\leftrightarrow$ " та "Синхронізація" сумістити початок перехідного процесу при заряді конденсатора з початком розгортки осцилографа, слідкуючи за тим, щоб розмір періоду сигналу дорівнював розміру  $l_T$ , який використовувався при визначенні масштабу  $m_t$ . За наявності стійкої зовнішньої синхронізації ці умови виконуються автоматично.

3. Сфотографувати або замалювати у масштабі з екрану осцилографа криві зміни напруг  $u_R(t)$  та  $u_C(t)$  під час заряду та розряду конденсатора.

Користуючись кривою  $u_R(t)$ , побудувати у масштабі  $m_i$  графік  $i(t)$ .

4. Повторити дослід при  $R_4 = 100 \text{ Ом}$ .

### Дослідження перехідного процесу у колі RL

Під'єднати до джерела імпульсної напруги послідовно з'єднані резистор  $R_4 = 500 \text{ Ом}$  та котушку індуктивності  $L_2$ , яка має невідомі параметри  $R_K$  та  $L_K$  (рис.34.1в).

Сфотографувати або змалювати у масштабі з екрану осцилографа криві зміни  $u_K(t)$  та  $u_R(t)$ . Користуючись осцилограмою  $u_R(t)$  побудувати у масштабі графік струму  $i(t)$ .

Повторити дослід при  $R_4 = 300 \text{ Ом}$ .

### Дослідження перехідного процесу у колі RLC

Виміряти опір котушки  $R_K$  омметром. Підключити послідовно з'єднані резистор  $R_4 = 50 \text{ Ом}$ , конденсатор  $C_4 = 3 \text{ мкФ}$ , та котушку індуктивності  $L_4 = 60 \text{ мГн}$  (з параметрами  $R_K, L_K$ ) до джерела імпульсної напруги (рис. 34.1з).

Сфотографувати або змалювати у масштабі з екрану осцилографа криві зміни  $u_R(t)$ ,  $u_K(t)$  та  $u_C(t)$  при коливальному заряді та розряді конденсатора (звертаємо увагу на те, що активний опір кола при розряді конденсатора збільшується на величину  $R_0$ ).

Підібрати ємність  $C$  контуру, при якій частота коливань  $\omega'$  зарядного струму подвоїться (при цьому період коливань зменшиться вдвічі).

Сфотографувати або змалювати графіки  $u_R(t)$ ,  $u_L(t)$  та  $u_C(t)$ .

Встановити  $R_4 = 250 \text{ Ом}$ ,  $C_4 = 3 \text{ мкФ}$ ,  $L_4 = 60 \text{ мГн}$ . Сфотографувати або змалювати у масштабі з екрану осцилографа криві зміни  $u_R(t)$ ,  $u_K(t)$  та  $u_C(t)$  при аперіодичному заряді та розряді конденсатора

Розрахувати значення опору критичного режиму за формулою  $R_{KP} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ .  
при параметрах:  $L = 60 \text{ мГн}$  та  $C = 3 \text{ мкФ}$ .

Підібрати експериментально, користуючись зображенням кривої  $u_R(t)$  при заряді конденсатора, величину опору  $R_4$ , яка відповідає критичному режиму при вказаних параметрах  $L$  та  $C$ , враховуючи, що загальний опір кола при заряді дорівнює:  $(R_4 + R_K)$ . Упевнитись, що цей опір відповідає розрахованому значенню  $R_{KP}$ .

Сфотографувати або змалювати графіки  $u_R(t)$ ,  $u_L(t)$  та  $u_C(t)$  критичного режиму.

### **Обробка результатів експериментів:**

#### ***1. Перехідний процес у колі RC***

1.1. Користуючись даними дослідів, для кожного з режимів визначити сталу часу  $\tau$  кола та ємність конденсатора  $C_2$ , окремо при заряді конденсатора та при його розряді.

1.2. За осцилограмою  $u_C(t)$  для різних режимів, упевнитись у виконанні другого закону комутації, (пояснити як).

1.3. Зробити письмовий висновок про вплив величини опору резистора  $R_4$  на швидкість перехідного процесу.

1.4. Користуючись осцилограмою одного з режимів, розрахувати числові значення складових аналітичних виразів для  $u_C(t)$ ,  $u_R(t)$  та  $i_C(t)$  при заряді та розряді конденсатора. Для кожного члена бригади обрані осцилограми напруг повинні бути різними.

#### ***2. Перехідний процес у колі RL***

2.1. За даними дослідів розрахувати активний опір котушки  $R_K$ , сталу часу  $\tau$ , а через неї - індуктивність котушки  $L_K$ , окремо при заряді індуктивності та при її розряді.

2.2. Користуючись осцилограмами  $u_R(t) = R_4 \cdot i(t)$  для різних режимів, упевнитись у виконанні першого закону комутації.

2.3. Зробити висновок щодо впливу величини активного опору в колі  $RL$  на швидкість перехідного процесу.

2.4. Користуючись осцилограмою одного з режимів, записати аналітичні вирази для  $u_K(t)$ ,  $u_R(t)$  та  $i(t)$  при заряді та розряді котушки індуктивності. Для кожного члена бригади обрані осцилограми напруг повинні бути різними.

### 3. Перехідний процес у колі $RLC$

3.1. Користуючись осцилограмою  $u_R(t)$  при коливальному перехідному процесі визначити період  $T'$  коливань та їх кутову частоту  $\omega'$ . Розрахувати декремент коливань  $\Delta = \frac{u_C(t)}{u_C(t+T')} = e^{\delta T'}$ , логарифмічний декремент коливань

$\ln \Delta = \delta T'$  та згасання  $\delta = \frac{\ln \Delta}{T'}$  контуру для обох режимів (заряду і розряду конденсатора).

3.2. Розрахувати ємність конденсатора аналітично (див. формулу (34.8) методичних вказівок) для режиму подвоєної частоти, враховуючи, що індуктивність контуру залишилась незмінною, а загальний активний опір кола при заряді конденсатора дорівнює  $(R_4 + R_k)$ . Порівняти розраховане та підібране експериментально значення ємностей конденсатора.

3.3. Зробити в протоколі письмовий висновок щодо впливу величини опору резистора  $R_4$  на характер перехідного процесу у колі  $RLC$ .

3.4. Записати аналітичні вирази для  $u_C(t)$ ,  $u_K(t)$ ,  $u_R(t)$  та  $i(t)$  при заряді та розряді конденсатора на коло  $RL$ . Для кожного члена бригади досліджувані режими повинні бути різними.

#### **Методичні вказівки.**

Перехідним називається електромагнітний процес, що відбувається в електричному колі під час переходу його від одного усталеного стану (режиму) до іншого. Зміну стану кола може викликати зміна його структури (вмикання, вимикання, коротке замикання гілок чи окремих ділянок, тощо), або зміна фізичних величин (значень ЕРС, параметрів елементів). Такі зміни звичайно називають комутаціями.

Електромагнітні процеси в лінійних електричних колах зі сталими параметрами у загальному випадку описуються системами лінійних інтегро-диференційних рівнянь, оскільки напруги на резистивних, індуктивних і ємнісних елементах відповідно записуються такими виразами:

$$u_R(t) = Ri(t); \quad u_L(t) = L \frac{di}{dt}; \quad u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + u_C(0) . \quad (34.1)$$

Відповідно, перехідний електромагнітний процес у колі рис. 34.3 при підключенні послідовно з'єднаних резистивно-індуктивних елементів до джерела постійної напруги описується рівнянням:

$$E = u_R(t) + u_L(t), \quad \text{або} \quad E = Ri(t) + L \frac{di}{dt}. \quad (34.2)$$

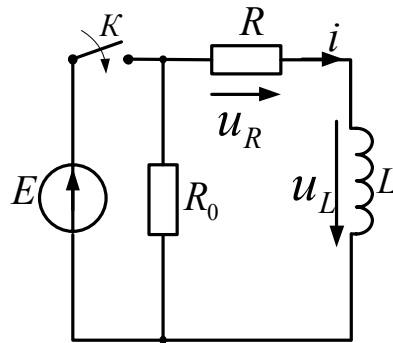


Рис. 34.3

Розв'язавши рівняння (34.2) відносно струму, отримаємо:

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) = i_{уст} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}),$$

тут  $i_{уст}$  - усталений струм кола рис. 34.1 після закінчення перехідного процесу.

Напруга на індуктивності  $u_L(t) = E e^{-\frac{R}{L}t}$ .

Графіки залежностей  $i(t)$  та  $u_L(t)$  при підключенні послідовно з'єднаних резистора та індуктивності до джерела постійної напруги наведені на рис. 34.4.

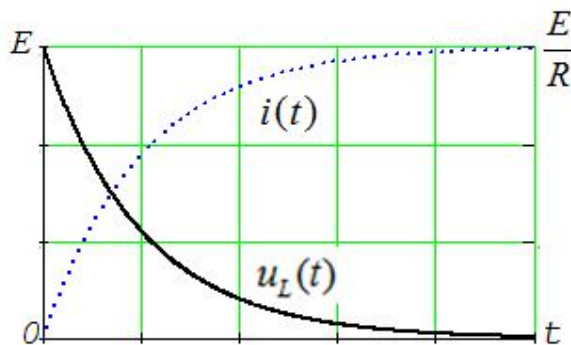


Рис. 34.4

Після відключення електричного кола  $RL$  від джерела ЕРС і одночасним його вмиканням на опір  $R_0$  (рис.34.5), перехідний процес буде описуватись рівнянням:

$$0 = u_R(t) + u_{R_0}(t) + u_L(t), \quad \text{або} \quad 0 = i(t)(R + R_0) + L \frac{di(t)}{dt}. \quad (34.3)$$

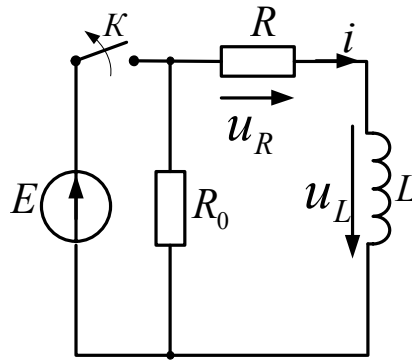


Рис. 34.5

Розв'язавши рівняння (34.3) відносно струму, отримаємо вираз:

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{R+R_0}{L}t} = i(0) e^{-\frac{R+R_0}{L}t}.$$

Напруга на індуктивності  $u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} = -\frac{R + R_0}{R} E e^{-\frac{R+R_0}{L}t}.$

Графіки залежностей  $i(t)$  та  $u_L(t)$  при розряді індуктивності в схемі рис. 34.5 наведені на рис. 34.6.

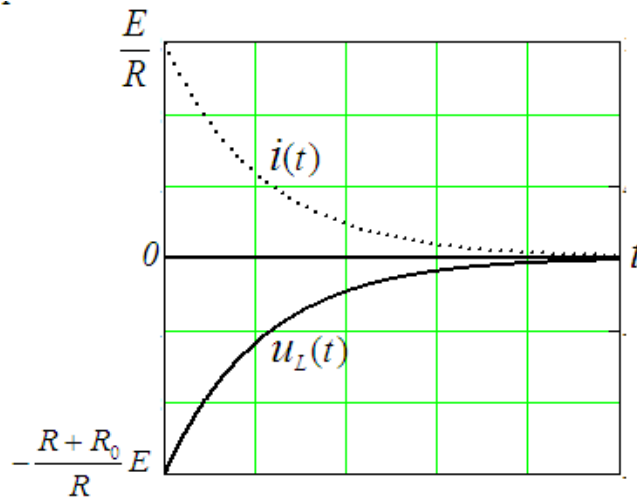


Рис. 34.6

**Зауваження:** В реальних умовах котушка індуктивності не є ідеальною: вона крім індуктивності має ще й активний опір  $R_K$  провідника обмотки. Схема з реальною котушкою представлена рис. 34.7. Тут також враховано, що при розряді котушки слід враховувати додатковий опір  $R_0$ .



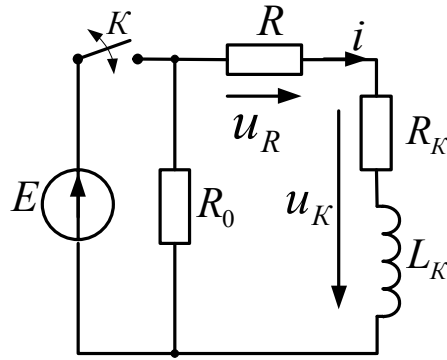


Рис. 34.7

В результаті рівняння для струму та напруг цього кола зміняться. Струм перехідного процесу при підключенні до джерела буде змінюватись за співвідношенням:

$$i(t) = \frac{E}{R+R_K} (1 - e^{-\frac{R+R_K}{L}t}),$$

а закономірність зміни напруги на котушці в цьому режимі буде такою:

$$u_k(t) = R_k i(t) + L_k \frac{di}{dt} \quad \text{або} \quad u_k(t) = \frac{ER_K}{R+R_K} + \frac{ER}{R+R_K} e^{-\frac{R-R_K}{L}t}$$

Відповідні графіки  $i(t)$  та  $u_k(t)$  представлені на рис. 34.8

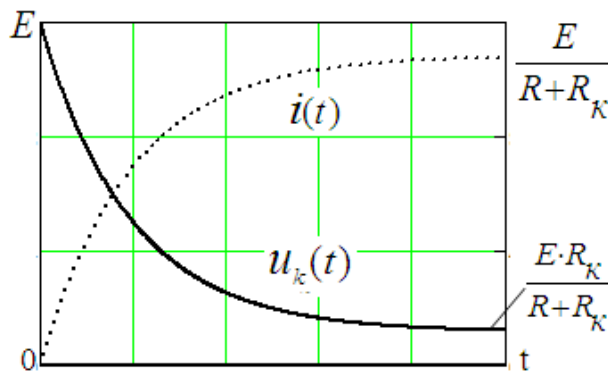


Рис. 34.8

Після відключення джерела ЕРС від досліджуваного кола (рис. 34.7) рівняння (34.3) зміниться на (34.3\*)  $0 = i(t)(R + R_K + R_0) + L \frac{di(t)}{dt}$ . (34.3\*)

Матимемо також зміни у розв'язках відносно  $i(t)$  та  $u_k(t)$  :

$$i(t) = \frac{E}{R+R_K} (1 - e^{-\frac{R+R_K+R_0}{L}t}); \quad u_k(t) = -\frac{R+R_0}{R+R_K} E e^{-\frac{R+R_0+R_K}{L}t}$$

Перехідний процес у колі з послідовним з'єднанням резистивного і ємнісного елементів при вмиканні його на джерело постійної напруги (рис. 34.9) описується рівнянням (34.4) .

$$E = u_R(t) + u_C(t) = Ri(t) + u_C(t) = RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t). \quad (34.4)$$

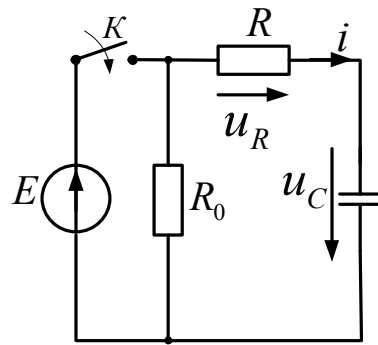


рис. 34.9

Звідки  $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{1}{RC}t})$ ;  $i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$ .

Графіки залежностей  $i(t)$  та  $u_C(t)$  при заряді конденсатора наведені на рис.34.10.

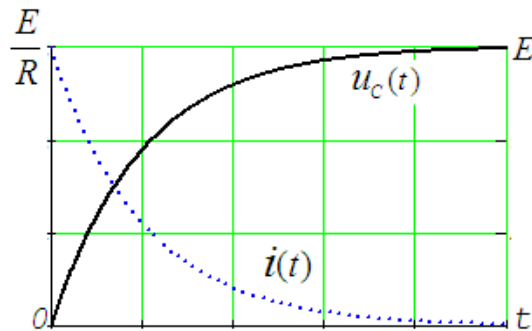


Рис. 34.10

Перехідний процес при розряді ємності  $C$  через опори  $R$  та  $R_0$  (рис. 34.11) описується рівнянням (34.5).

$$0 = u_R(t) + u_{R_0}(t) + u_C(t) = (R + R_0)i(t) + u_C(t) = (R + R_0)C \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) \quad (34.5)$$

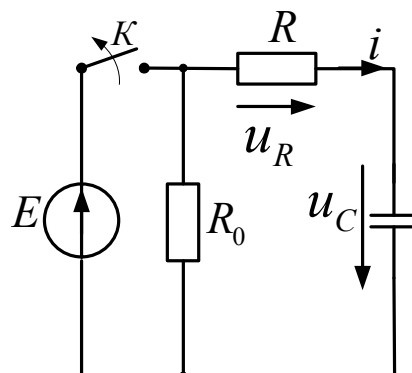


Рис. 34.11

Розв'язок рівняння (34.5) дає вирази для напруги на ємності та струму у колі відповідно:

$$u_C(t) = E e^{\frac{-1}{(R+R_0)C}t}; \quad i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = -\frac{E}{R+R_0} e^{\frac{-1}{(R+R_0)C}t}.$$

Графіки залежностей  $i(t)$  та  $u_C(t)$  у розглянутому режимі наведені на рис.34.12.

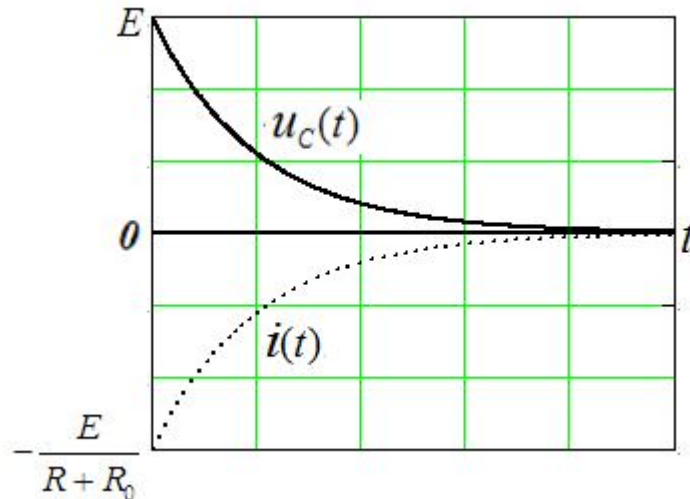


Рис. 34.12

Як бачимо, у електричних колах при послідовному з'єднанні резистивно-індуктивних елементів ( $RL$ ) або резистивно-ємнісних елементів ( $RC$ ) (такі кола вважаються колами першого порядку), складові струмів та напруг, які характеризують вільний режим, змінюються за законом експоненти:

$$i(t) = i_{уст} + Ae^{pt} = i_{уст} + Ae^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Швидкість згасання перехідного процесу

визначається показником експоненти і характеризується сталою часу  $\tau = \frac{1}{|p|}$ .

Для кола  $RC$ :  $\tau = RC$ , а для кола  $RL$ :  $\tau = L/R$ . Стала часу  $\tau$  - це проміжок часу, протягом якого вільна складова струму або напруги зменшується у  $e$  разів ( $e = 2.7183$  - основа натуральних логарифмів).

При  $t = 0$ :  $i(0) = i_{уст} + A$ , звідки  $A = i(0) - i_{уст}$

При  $t = \tau$ :  $i(\tau) = i_{уст} + Ae^{-1} = i_{уст} + \frac{A}{e} = i_{уст} + \frac{A}{2.7183}$

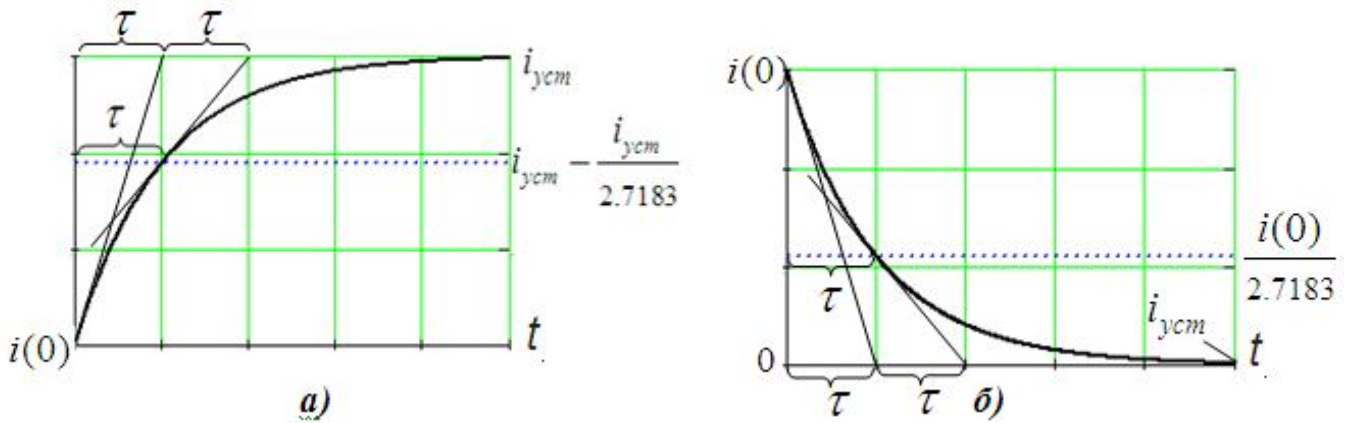


Рис. 34.13

Сталу часу в електричному колі з одним накопичувальним елементом (індуктивністю чи ємністю) можна визначити також графічним шляхом. Для цього у будь-якій точці кривої струму або напруги проводять дотичну до її перетину з усталеним (вимушеним) значенням. Відстань у часі між точкою дотику та точкою перетину з рівнем усталеного значення і буде дорівнювати сталій часу. На рис.34.13 *a* і *б* демонструються обидва способи визначення сталої часу  $\tau$ .

За проміжок часу  $t = 5\tau$  вільна складова зменшується від початкового значення у  $e^5 = 148.4$  рази, що складає 0,674%, тому вважають, що за цей проміжок часу перехідний процес практично закінчується, хоч теоретично він продовжується нескінченно довго.

Розглянемо електромагнітний процес, який має місце при підключенні до джерела постійної напруги електричного кола з послідовно з'єднаними резистивним, індуктивним та ємнісним елементами (коло  $RLC$ , рис.34.14),

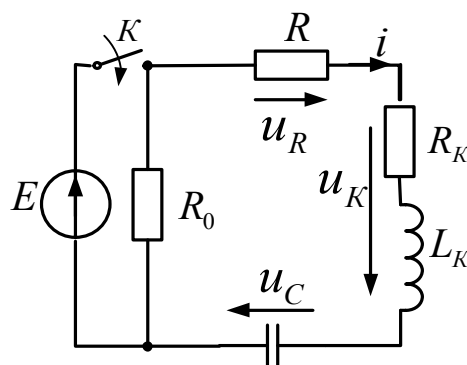


Рис. 34.14

Рівняння цього кола має такий вигляд:

$$E = u_R(t) + u_K(t) + u_C(t) = Ri(t) + R_k i(t) + L_k \frac{di}{dt} + u_C(t)$$

З урахуванням (34.1) одержимо:

$$E = LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + (R + R_k) \cdot C \frac{du_C}{dt} + u_C(t). \quad (34.6)$$

Для розв'язку рівняння (34.6) запишемо відповідне йому характеристичне рівняння:

$$L \cdot C \cdot p^2 + (R + R_k) \cdot C \cdot p + 1 = 0 \quad \text{або} \quad p^2 + \frac{R + R_k}{L} p + \frac{1}{LC} = 0 \quad (34.7)$$

Корені цього квадратного рівняння визначимо так

$$p_{1,2} = -\frac{(R + R_k)}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{(R + R_k)}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}.$$

Позначимо:  $\delta = \frac{(R + R_k)}{2L}$  та  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , тоді  $p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$ .

В залежності від співвідношення між величинами  $(R + R_k)$ ,  $L$  та  $C$  отримаємо три варіанти коренів характеристичного рівняння:

а) при  $\delta > \omega_0$  корені будуть дійсними та різними, а перехідний процес - аперіодичним;

б) при  $\delta = \omega_0$  одержимо два дійсних, однакових кореня  $p_1 = p_2 = -\delta$ , що відповідає граничному аперіодичному режиму. Параметри кола, за яких відбувається цей режим, називаються критичними і між ними існує така залежність:  $R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ; (Пам'ятаємо, що у лабораторній роботі цей опір складається з двох складових:  $R_{кр} = R + R_k$ );

в) при  $\delta < \omega_0$  корені  $P$  вийдуть комплексно-спряженими

$$p_{1,2} = -\delta \pm j\omega', \quad \omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2},$$

а перехідний процес матиме коливальний характер, в якому  $\delta$  характеризує згасання амплітуди коливань, а  $\omega'$  - їх частоту.

Графіки залежностей  $u_C(t)$ ,  $u_L(t)$  та  $u_R(t) = Ri(t)$  під час аперіодичного а) та коливального б) перехідного процесу в колі  $RLC$  наведені на рис.34.15.

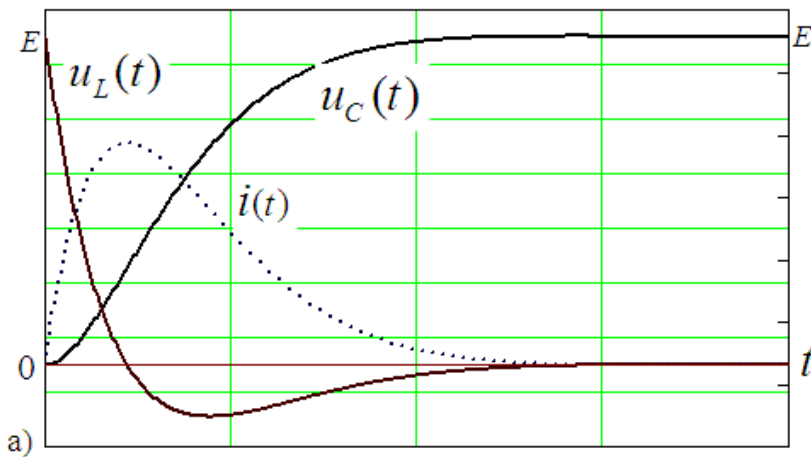


Рис. 34.15 а

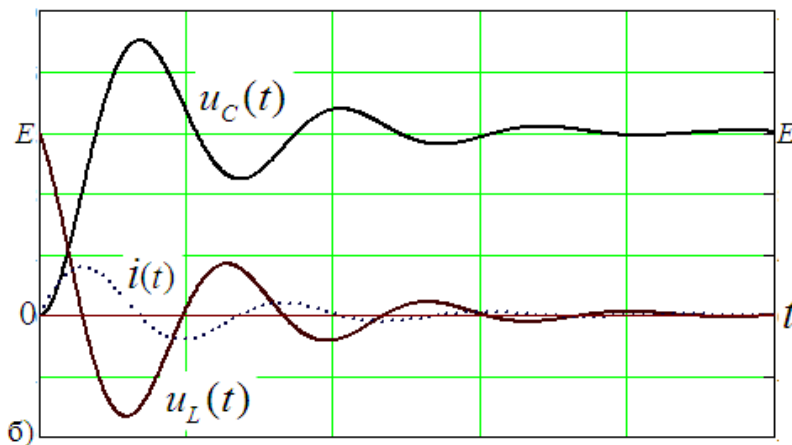


Рис. 34.15 б

При аперіодичному заряді ємності струми та напруги змінюються, як показано на рис.34.15а. При коливальному заряді ємності струми та напруги змінюються, як показано на рис.34.15б.

Для критичних параметрів елементів електричного кола, що відповідають граничному режиму, криві залежностей  $u_C(t)$ ,  $u_L(t)$  та  $u_R(t)$  мало відрізняються від тих, що наведені на рис.34.15а.

При дослідженні впливу ємності кола на частоту власних коливань  $\omega'$  зарядного струму, величину ємності за умови зростання власної частоти контуру в 2 рази ( $\omega'_2 = 2\omega'_1$ ) визначають із співвідношення

$$C_2 = \frac{C_1}{4 - \frac{3\delta^2}{\omega_{01}^2}} \quad (34.8)$$

Тут:  $C_1$ — величина ємності кола, що відповідає частоті власних коливань  $\omega'_1$ ;

$$\omega_{01}^2 = \frac{1}{LC_1}; \quad \delta = \frac{R + R_K}{2L}.$$

При відключенні джерела постійної напруги від електричного кола з послідовно з'єднаними резистивним, індуктивним та ємнісним елементами (коло  $RLC$ , рис.34.16), конденсатор, попередньо заряджений до напруги  $u_C(0) = E$ , буде розряджатись через  $L_K, R_K, R, R_0$ .

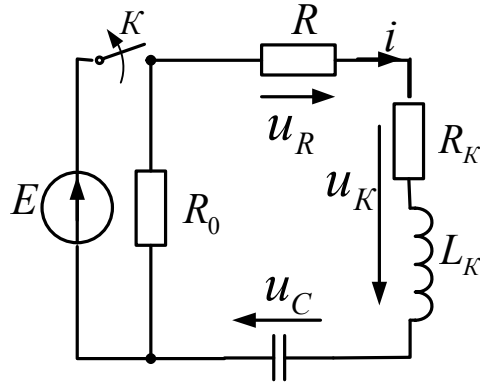


Рис. 34.16

В цьому випадку рівняння кола матиме наступний вигляд:

$$0 = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t) = Ri(t) + R_k i(t) + R_0 i(t) + L_k \frac{di}{dt} + u_C(t)$$

З урахуванням (34.1) одержимо:

$$0 = LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + (R + R_k + R_0) \cdot C \frac{du_C}{dt} + u_C(t). \quad (34.9)$$

Для розв'язку рівняння (34.9) запишемо відповідне йому характеристичне рівняння (34.10):

$$L \cdot C \cdot p^2 + (R + R_k + R_0) \cdot C \cdot p + 1 = 0 \quad \text{або} \quad p^2 + \frac{R + R_k + R_0}{L} p + \frac{1}{LC} = 0 \quad (34.10)$$

Корені цього квадратного рівняння визначимо так

$$p_{1,2} = -\frac{(R + R_k + R_0)}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{(R + R_k + R_0)}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}.$$

Позначимо:  $\delta = \frac{(R + R_k + R_0)}{2L}$  та  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , тоді  $p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$ .

В залежності від співвідношення між величинами  $R_e = R + R_k + R_0$ ,  $L$  та  $C$  отримаємо три варіанти коренів характеристичного рівняння, як і при підключенні кола  $RLC$  до джерела постійної ЕРС.

Графіки залежностей  $u_C(t)$ ,  $u_L(t)$  та  $u_R(t) = Ri(t)$ , під час аперіодичного  $a$  та коливального  $b$  розряду конденсатора в колі  $RLC$ , наведені на рис. 34.17.

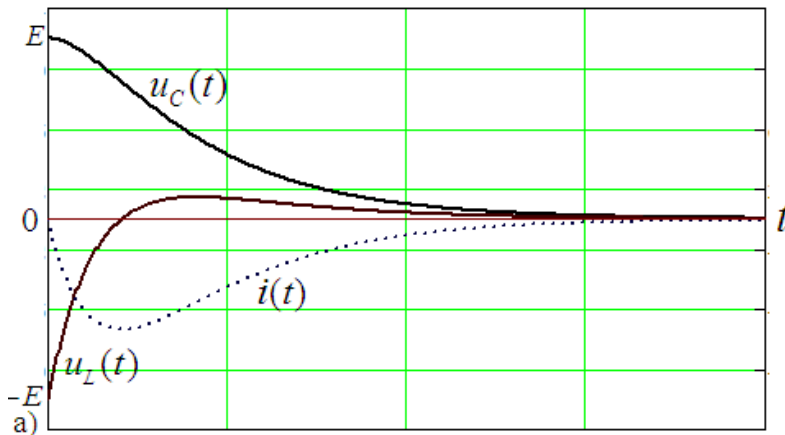


Рис. 34.17  $a$

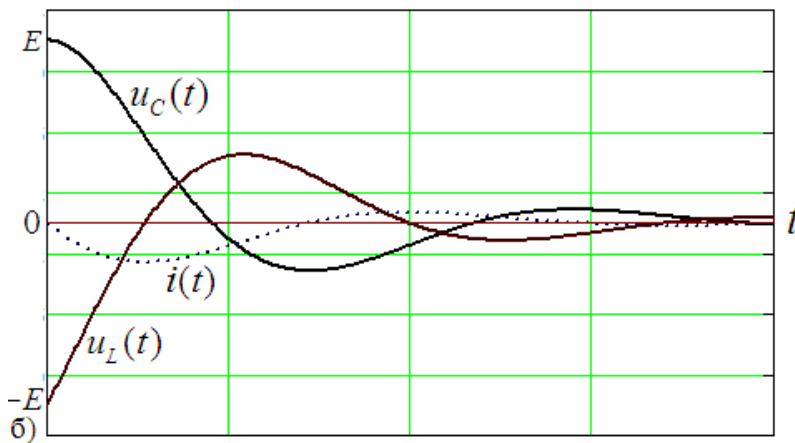


Рис. 34.17  $b$

### Питання для самостійної роботи

1. Чому виникають перехідні процеси ?
2. Які складові мають струми та напруги під час перехідного процесу ?
3. Якою енергією забезпечується вільна складова перехідного процесу ?
4. Чи можуть змінюватись стрибком напруга і струм котушки індуктивності або напруга і струм конденсатора?

5. Яким чином стала часу  $\tau$  характеризує перехідний процес, і як її визначити у колі при послідовному з'єднанні резистивного та індуктивного елементів (коло  $RL$ ), або при послідовному з'єднанні резистивного та ємнісного елементів (коло  $RC$ ) ? Як визначити сталу часу складного електричного кола з одним реактивним елементом ?



6. Від чого залежить характер перехідного процесу у колі при послідовному з'єднанні резистивного, індуктивного та ємнісного елементів (коло  $RLC$ ) ?

### Література

1. В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб, І.А. Курило та ін. Теоретичні основи електротехніки. Т2. Підручник. –Київ, НТУУ «КПІ». 2008. – 224 с.
2. Перхач В.С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола: Підручник. К: Вища школа., 1992. - 439 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники, Т1. Учебник. - Л.: Энергоиздат, 1981. - 536 с.
4. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей: Учебник. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.