

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Основи електрики та електроніки, електричні  
вимірювання та їх стандартизація»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 12 - Перехідні процеси в електричних колах**

**Кременчук 2023**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

### **Рецензенти:**

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

### **План лекції:**

1. Дослідження перехідних процесів у колах першого порядку за допомогою класичного методу
2. Класичний метод розрахунку перехідних процесів в колах другого порядку
3. Операторний метод розрахунку перехідних процесів
4. Часовий метод розрахунку кіл

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

#### **Допоміжна:**

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

## Текст лекції

### 1. Дослідження перехідних процесів у колах першого порядку за допомогою класичного методу

Перехідні процеси можуть виникати в електричному колі, якщо в схемі є хоча б один реактивний елемент ( $L$  або  $C$ ) і якщо в цьому колі є комутатор (що включає, відключає, перемикає). Це необхідні й достатні умови для виникнення перехідних процесів.

Правила комутації засновані на законі збереження енергії, який вказує, що в момент комутації в індуктивності не може бути стрибка струму, а в ємності не може бути стрибка напруги. За допомогою цих правил знаходять необхідні параметри кола.

Розрахунки перехідних процесів проводять на підставі законів Кірхгофа, записаних у вигляді диференціальних рівнянь. Такий метод розрахунків називають *класичним*.

*Алгоритм розрахунку перехідних процесів у колах 1-го порядку.*

1. Знайти незалежні початкові умови  $u_C(0)$ ,  $i_L(0)$  (коло до комутації, сталий режим).
2. Записати рівняння змінних стану для кола після комутації за законами Кірхгофа.
3. Знайти вимушену складову (коло після комутації, сталий режим).
4. Знайти вільну складову:
  - записати характеристичне рівняння  $Z(p) = 0$  або  $Y(p) = 0$  (для пасивного кола);
  - знайти постійну інтегрування із загального рішення рівняння при  $t = 0$ :

$$u_C(0) = u_{\text{вим}}(0) + A$$

**Приклад 1.** Заряд ємності. Коло (рис. 1, а) містить джерело постійної напруги  $E$ , комутатор  $K$  (працює на замикання), два резистори  $R_1$ ,  $R_2$ , ємність  $C$ . Дослідити процеси в колі після замикання ключа, розрахувати напруги й струми. За результатами розрахунків побудувати часові діаграми.

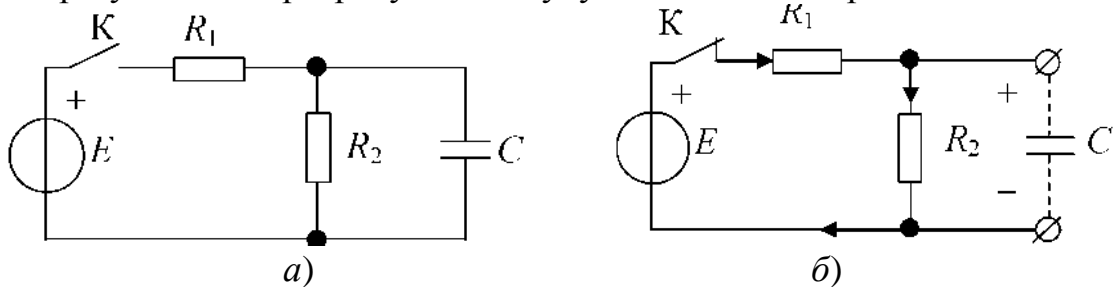


Рисунок 1 - Вихідна схема (а) та схема після комутації (б)

### Розв'язання

1. Згідно з алгоритмом розрахунків перехідних процесів, знаходимо параметри кола до комутації у старому стаціонарному режимі (ССР) при  $t < 0$ .

Коло знеструмлене, мають місце нульові початкові умови  $u_C(0) = 0$  і всі інші величини струмів і напруг дорівнюють нулю.

2. Коло після комутації має вигляд наведений на рис 1, б.

За законами Кірхгофа:

$$-E + u_{R1} + u_{R2} = 0, \quad (1)$$

$$-u_{R2} + u_C = 0, \quad (2)$$

$$-i + i_{R2} + i_C = 0. \quad (3)$$

За законом Ома запишемо перше рівняння:

$$-E + iR_1 + u_C = 0.$$

З рівняння (2) маємо:  $u_{R2} = u_C$ , звідки  $i_{R2} = \frac{u_C}{R_2}$ , що підставимо в рівняння

(3)

$$-i + \frac{u_C}{R_2} + i_C = 0.$$

$$\text{Звідки: } i = \frac{u_C}{R_2} + i_C = \frac{u_C}{R_2} + C \frac{du_C}{dt}.$$

Підставимо вираз у рівняння (1) з урахуванням того, що  $i_C = C \frac{du_C}{dt}$ :

$$-E + R_1 \left( \frac{u_C}{R_2} + C \frac{du_C}{dt} \right) + u_C = 0.$$

У канонічній формі запису:

$$\frac{du_C}{dt} = -u_C \frac{1}{CR_1} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + \frac{1}{CR_1} E.$$

Розв'язок рівняння має дві складові:

$$u_C(t) = u_{C\text{вим}}(t) + u_{C\text{віль}}(t),$$

$$u_C(t) = u_{C\text{вим}}(t) + Ae^{pt}.$$

3. З моменту комутації  $t(0+)$  починається перехідний процес – ємність починає заряджатися, цей процес триває доки  $u_C$  не стане рівним  $u$ . Теоретично цей процес триває нескінченно ( $t \rightarrow \infty$ ), практично його обмежують до певної величини. Після закінчення заряду ємності коло переходить у новий стаціонарний режим (НСР). У цьому режимі ємність заряджена і  $i_C = 0$ . Напруга на ємності:

$$u_{C\text{вим}} = u_{R2} = i \cdot R_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2$$

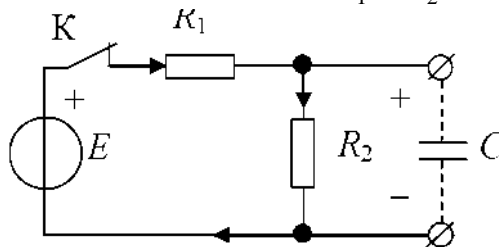


Рисунок 2 – Режим кола: коло у НСР

4. Запишемо вільну складову:  $u_{C\text{віль}} = Ae^{pt}$ .

Характеристичне рівняння для пасивного кола (джерело напруги – замкнене):

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{1}{pC} = 0,$$

$$p = -\frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} = -\frac{1}{CR_E}.$$

Для знаходження коефіцієнта  $A$  застосуємо правило комутації  $u_C(0_-) = u_C(0_+)$ . Для нашого завдання (нульові початкові умови)  $u_C(0_-) = 0$ , отже при  $t = 0$  рівняння набуде вигляду:

$$u(0) = u_{C\text{вим}}(0) + Ae^{p \cdot 0},$$

$$0 = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 + A,$$

$$A = -\frac{E}{R_1 + R_2} R_2.$$

Запишемо розв'язок:

$$u_C(t) = u_{C\text{вим}}(t) + Ae^{pt},$$

$$u_C(t) = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 - \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 e^{-\frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} t}.$$

Або:

$$u_C(t) = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 \left( 1 - e^{-\frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} t} \right).$$

Знаючи величини елементів кола можна розрахувати  $u_C(t)$  для будь-якого значення часу  $t$ .

Досліджуємо струм  $i_C(t)$  у колі після комутації. Миттєве значення струму ємності  $i_C(t) = \frac{du_C}{dt}$ , тоді:

$$i_C(t) = C \frac{d \left( -\frac{ER_2}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \right)}{dt} = C \left( -\frac{ER_2}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \left( -\frac{1}{CR_E} \right) = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \left( -\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right) = \frac{E}{R_1} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Розглянемо схему рис. 1.1 при  $E = 1$  В;  $R_1 = R_2 = 1$  Ом;  $C = 1$  мкФ, тоді:

$$u_{C\text{вим}} = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{1}{1+1} 1 = \frac{1}{2} \text{ В.}$$

$$p = -\frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} = -\frac{1+1}{10^{-6}} = -2 \cdot 10^6 \text{ 1/с.}$$

Часові діаграми  $u_C(t)$  і  $i_C(t)$  для елементів зображені на рис. 3.

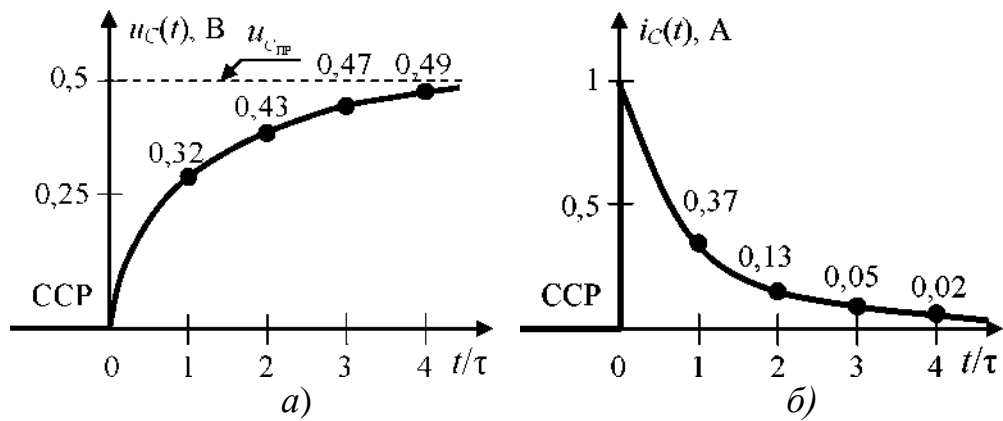


Рисунок 3 – Часові діаграми заряду ємності:  
а – напруга; б - струм

## 2. Класичний метод розрахунку перехідних процесів в колах другого порядку

Розглянемо випадок, коли в коло ввімкнено індуктивність і ємність.

Таблиця 1 – Алгоритм розрахунку класичним методом

| Порядок розрахунку   |  | Примітка   |
|--|--|--|
| Знайти незалежні початкові умови (НПУ) $i_L(0_-)$ , $u_C(0_-)$ , де $t = 0_-$ – момент часу безпосередньо до комутації   |  | коло до комутації в сталому режимі <sup>1</sup>    |
| Скласти систему диференціальних рівнянь змінних складових у канонічній формі запису $\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = a_{11}i_L + a_{12}u_C + y_1; \\ \frac{du_C}{dt} = a_{21}i_L + a_{22}u_C + y_2. \end{cases}$ |  | коло після комутації                               |
| Знайти вимушену складову $i_{L\text{ вим}}(t)$ , $u_{C\text{ вим}}(t)$   |  | коло після комутації в сталому режимі <sup>1</sup> |
| Знайти вільну складову   |  |  |
| 4.1  | Записати характеристичне рівняння $Z(p)=0$ , або $Y(p)=0$ , яке буде мати два корені: $p_1$ та $p_2$ . | для пасивного кола                                 |

<sup>1</sup> У сталому режимі, якщо коло приєднано до джерела постійного струму чи напруги, то зі схеми можна виключити реактивні елементи: індуктивність замінюється провідником, а гілку з ємністю можна взагалі вилучити.

|    |  |   |
|----|--|---|
| .2 | <p>Залежно від виду коренів записати вільну складову:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– корені реальні та різні <math>p_1</math> і <math>p_2</math>: <math display="block">i_{L_{\text{віль}}} (t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t};</math> </li> <li>– реальні та однакові <math>p = p_1 = p_2</math>: <math display="block">i_{L_{\text{віль}}} (t) = (A_1 + A_2 t) e^{p t};</math> </li> <li>– комплексно – спряжені <math>p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_c</math>: <math display="block">i_{L_{\text{віль}}} (t) = A t e^{-\alpha t} \sin(\omega_c t + \theta).</math> </li> </ul>  |   |
| .3 | <p>Знайти сталі інтегрування <math>A_1</math> та <math>A_2</math>, або <math>A</math> та <math>\theta</math>. Для цього складають систему з двох рівнянь:</p> $\begin{cases} i_L(t) = i_{L_{\text{вим}}}(t) + i_{L_{\text{віль}}}(t) \\ \frac{di_L(t)}{dt} = i'_{L_{\text{вим}}}(t) + i'_{L_{\text{віль}}}(t) \end{cases} \quad (4)$ $(5)$ <p>де (4) – розв’язання в загальному вигляді; (5) – береться похідна від (4).<br/>Систему розв’язують при <math>t = 0</math>. Значення <math>i_L(0) = i_L(0_-)</math> – з незалежних початкових умов, а <math>di_L(0)/dt</math> – знаходять з відповідного диференціального рівняння при підстановці <math>t = 0</math> та НПУ.</p> | Система для $u_c(t)$ буде мати аналогічний вигляд |
|    | Записати розв’язок: $i_L(t) = i_{L_{\text{вим}}}(t) + i_{L_{\text{віль}}}(t)$ .  |   |

За допомогою *класичного методу* будемо знаходити тільки струм, що тече через індуктивність  $i_L(t)$ , або напругу на ємності  $u_C(t)$ . Якщо, наприклад, необхідно знайти напругу на опорі  $u_R(t)$ , то її необхідно виразити через задані  $i_L(t)$  та  $u_C(t)$ .

### 3. Операторний метод розрахунку перехідних процесів

Алгоритм розрахунку.

1. Знаходження незалежних початкових умов (НПУ)  $i_L(0_-)$ ,  $u_C(0_-)$  – за аналогією з класичним методом.
2. Складання операторної схеми заміщення (схема після комутації).  
Змін зазнають реактивні елементи; залежно від конфігурації кола використовують послідовну чи паралельну схеми заміщення.
3. Вираження невідомої величини як  $L$  – зображення  $F(p)$ .
4. Відтворення оригіналу, як функції часу:  $F(p) \stackrel{\bullet}{\rightleftharpoons} f(p)$ .



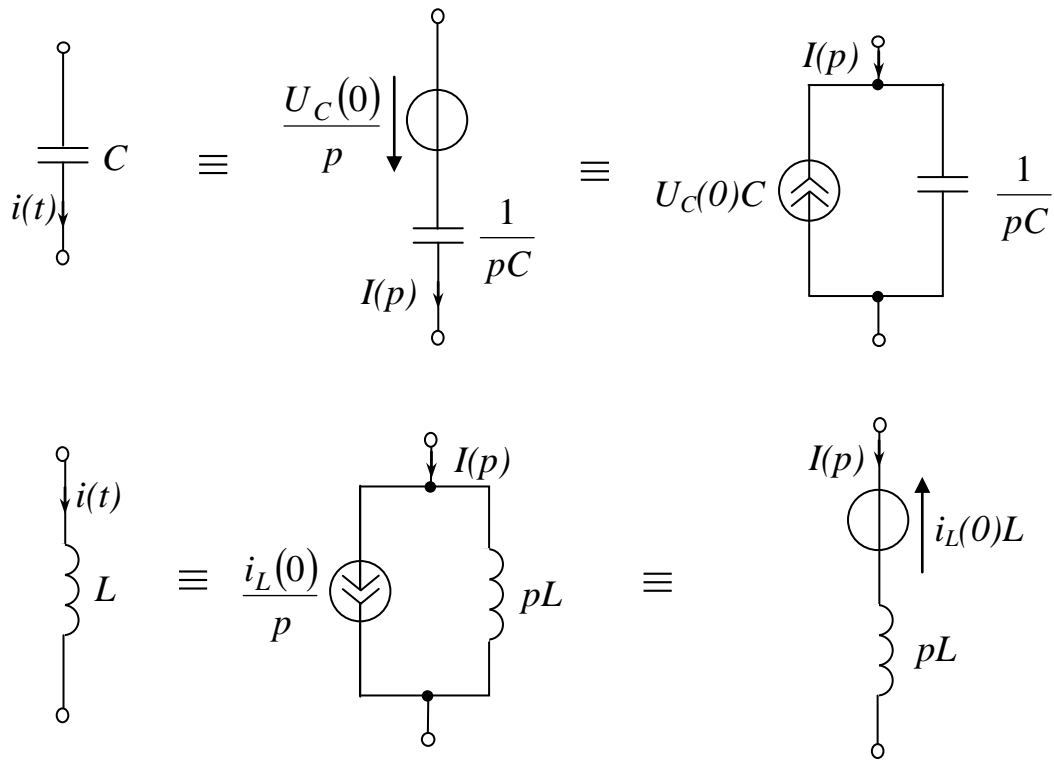


Рисунок 4 – Операторні схеми заміщення реактивних елементів

Найчастіше ця величина має вигляд дробу  $F(p) = \frac{M(p)}{N(p)}$ , де  $M(p)$  та  $N(p)$  – поліноми, причому степінь чисельника повинен бути більший за степінь знаменника.

Якщо  $F(p)$  задовольняє вищезгадані вимоги, то для відтворення функції часу можна користуватись таким алгоритмом.

1. Знайти корені знаменника дробу з рівняння  $N(p) = 0$  (вони повинні співпадати з коренями характеристичного рівняння класичного методу):  $p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_n$ .

2. Залежно від виду коренів записують оригінал за допомогою теореми розкладання. Наведемо окремі випадки:

– корені дійсні та різні:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n \frac{M(p_k)}{N'(p_k)} e^{p_k t},$$

– є один нульовий корінь  $p = 0$  і  $n$  ненульових  $p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_n$ , тоді дріб можна зобразити у вигляді:  $F(p) = \frac{M(p)}{p \cdot N(p)}$ :

$$f(t) = \frac{M(0)}{N(0)} + \sum_{k=1}^n \left( \frac{M(p_k)}{p_k N'(p_k)} e^{p_k t} \right),$$

– корені комплексно-спряжені  $p_{k1,2} = -\alpha \pm j\omega_c$ :

$$f(t) = 2 \operatorname{Re} \left[ \sum_{k=1}^n \frac{M(p_k)}{N'(p_k)} e^{p_k t} \right],$$

де  $p_k$  – один із пари комплексно-спряжених коренів, наприклад  $p_k = -\alpha + j\omega_c$ .

#### 4. Часовий метод розрахунку кіл

1. *Перехідна характеристика кола  $g(t)$  (ПХК)* – реакція кола на дію у формі одиничної функції  $1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases}$  ПХК можна знайти класичним, або операторним методами.

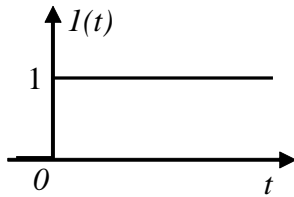


Рисунок 5 – Одинична функція  $1(t)$

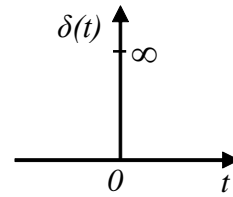


Рисунок 6 – Дельта функція  $\delta(t)$

2. *Імпульсна характеристика кола  $h(t)$  (ІХК)* – реакція кола на дію в одиничній імпульсній функції  $\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0, \\ 0, & t \neq 0. \end{cases}$

ІХК знаходять операторним методом, або за відомою ПХК за формулою:

$$h(t) = \frac{dg(t)}{dt} + g(0) \cdot \delta(t).$$

Деякі властивості дельта функції Дірака:

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

Площа

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - t_0) dt = f(t_0)$$

Фільтрувальна властивість

3. *Інтеграл Дюамеля* дозволяє отримати реакцію кола  $f_2(t)$  на дію  $f_1(t)$ , якщо відома ПХК кола  $g(t)$ . Наведемо одну з форм запису:

$$f_2(t) = f_1(0) \cdot g(t) + \int_0^t f_1'(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad (6)$$

– слід зауважити, що інтегрування ведеться за  $\tau$ , а  $t$  – фіксований момент часу.

У випадку, коли функція дії  $f_1(t)$  описується кількома виразами на різних інтервалах часу, то інтервал інтегрування розбивають на окремі ділянки і реакцію кола (12.4) знаходять окремо для кожного з них.

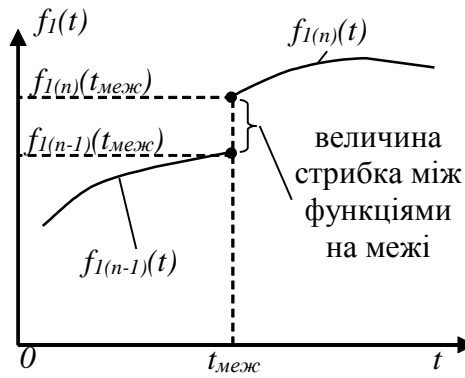


Рисунок 7 – До розрахунку за алгоритмом

*Алгоритм знаходження реакції кола*

1. Знайти ПХК відомими методами  $g(t)$ .
2. Визначити кількість ділянок інтегрування, де функція  $f_l(t)$  безперервна.
3. Визначити  $f_l'(\tau)$  на цих ділянках.
4. Для кожного інтервалу записати (6) з урахуванням реакції попередніх ділянок. Для  $n$ -го інтервалу наведемо алгоритм для запису реакції  $f_{2_n}(t)$ .

4.1 Урахувати реакцію кола на дію попереднього інтервалу  $f_{2_{n-1}}(t)$ . Для цього в останньому інтегралі верхню межу інтегрування  $t$  замінюють на значення  $t_{меж}$  – граничний момент часу на якому стикаються інтервали.

4.2 Визначити величину стрибка між функціями на межі інтервалів:  $f_n(t_{меж}) - f_{2_{n-1}}(t_{меж})$  та записати реакцію кола на цей стрибок:  $[f_n(t_{меж}) - f_{2_{n-1}}(t_{меж})] \cdot g(t - t_{меж})$ .

4.3 Записати реакцію кола на цьому інтервалі:  $\int_{t_{меж}}^t f_{1_n}'(\tau) g(t - \tau) d\tau$ .

У загальному вигляді реакція кола для  $n$ -го інтервалі має вигляд:

$$f_{2_n}(t) = f_{2_{n-1}}(t) \Big|_{t \rightarrow t_{меж}} + [f_n(t_{меж}) - f_{2_{n-1}}(t_{меж})] \cdot g(t - t_{меж}) + \int_{t_{меж}}^t f_{1_n}'(\tau) g(t - \tau) d\tau.$$

4. Інтеграл накладання також дозволяє отримати реакцію кола  $f_2(t)$  на дію  $f_1(t)$ , якщо відома ІХК кола  $h(t)$ . Наведемо одну з форм запису:

$$f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) h(t - \tau) d\tau.$$

Всі міркування, що наводились для інтеграла Дюамеля придатні для інтеграла накладання. Різниця полягає лише в тому, що стрибок між суміжними інтервалами вхідної функції не враховується (тобто п. 4.2 – відсутній).

**Приклад 2.** Для схеми зображеної на рис. 8 знайти передавальну функцію  $g(t)$ , якщо відгуком вважати напругу на резисторі  $R_2$ . Для розрахунків взяти:  $R = R_1 = R_2$ .

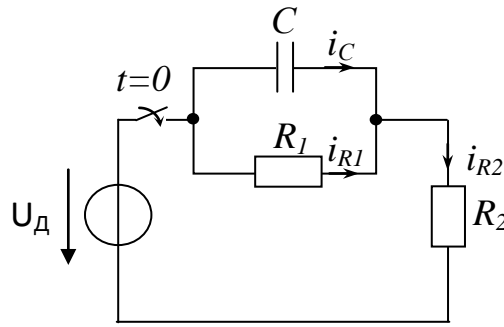


Рисунок 8 – Схема

*Розв'язання*

Передавальна функція за напругою – це відношення напруг:

$$g(t) = \frac{u_{R_2}(t)}{u_D} = u_{R_2}(t) \Big|_{u_D=1(t)}.$$

Функцію в  $I(t)$  реалізовує джерело постійної напруги в  $1\text{ В}$  з перемикачем. Задамо додатні напрями струмів у колі.

Розв'яжемо задачу за допомогою класичного методу. Для цього необхідно виразити  $u_{R_2}(t)$  через  $u_C(t)$ :

$$u_{R_2}(t) = i_{R_2} \cdot R_2 = (i_C + i_{R_1})R_2 = \left( C \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R_1} \right) \cdot R_2.$$

Отже, класичним методом знаходимо  $u_C(t)$ .

1. Знайдемо НПУ зі схеми до комутації в сталому режимі:

$u_C(0_-) = 0$  – джерело не приєднане до схеми.

2. Вимушену складову знайдемо зі схеми після комутації в сталому режимі (рис.9):

$$u_{C_{\text{вим}}} = u_C = u_{R_1} = \frac{U_D}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = \frac{U_D}{2}.$$

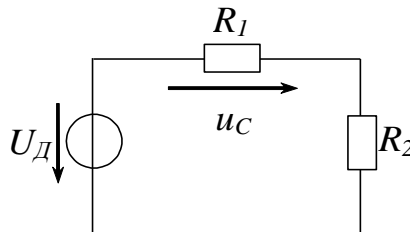


Рисунок 9 – Схема після комутації в сталому режимі

3. Вільна складова для кіл першого ступеня завжди буде мати вигляд:

$$u_{C_{\text{вл}}} (t) = A \cdot e^{pt}.$$

3.1 Значення  $p$  знайдемо з характеристичного рівняння  $Z(p) = 0$ . Для цього схему після комутації роблять пасивною і знаходять опір відносно розриву в довільно вибраній гілці кола. Для зручності розрахунків розрив зручно робити в гілці з реактивним елементом.

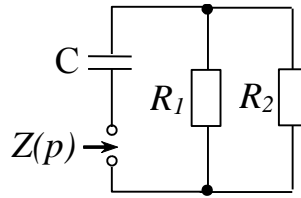


Рисунок 10 – Пасивна схема після комутації

У нашому випадку, після виключення джерела напруги, маємо три паралельних гілки. Опір  $Z(p)$  запишемо відносно розриву гілки з ємністю (рис. 10):

$$Z(p) = \frac{1}{pC} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 0;$$

Звідки  $p = -\frac{2}{RC}$ . Тоді стала кола дорівнює  $\tau_\kappa = \frac{1}{|p|} = \frac{RC}{2}$ .

3.2 Знайдемо постійну інтегрування, із загального розв'язку при  $t = 0$  з урахуванням НПУ.

$$u_C(0) = u_{C_{\text{вим}}}(0) + u_{C_{\text{віль}}}(0);$$

$$0 = \frac{U_D}{2} + A, \quad \text{звідки: } A = -\frac{U_D}{2}.$$

Отже, вільна складова:  $u_{C_{\text{віль}}}(t) = -\frac{U_D}{2} \cdot e^{-\frac{2}{RC}t}$ .

Тоді  $u_C(t) = u_{C_{\text{вим}}}(t) + u_{C_{\text{віль}}}(t) = \frac{U_D}{2} \left( 1 - e^{-\frac{2}{RC}t} \right)$ .

Напругу на резисторі знайдемо за формулою (12.7):

$$u_{R_2}(t) = \left( C \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R_1} \right) \cdot R_2 = \frac{U_D}{2} \left( 1 + e^{-\frac{2}{RC}t} \right).$$

Остаточню запишемо передавальну функцію:

$$g(t) = u_{R_2}(t) \Big|_{u_D=1(t)} = \frac{1}{2} \left( 1 + e^{-\frac{2}{RC}t} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + e^{-\frac{1}{\tau_\kappa}t} \right).$$