

Перехідні процеси

1. Основні положення

Перехідними називаю процеси, що проходять при змінах режиму роботи в електричних колах. Ці процеси проходять в електричних колах при вмиканні на напругу джерела живлення, змінні параметри елементів, що вміщує коло. У електротехніці перехідні процеси маю велике значення.

Для розрахунку особливостей перехідних процесів використовують два закони комутації. За допомогою законів комутації виявляють початкові умови перехідних процесів.

Комутація – це зміна параметрів елементів (наприклад, зміна величини опору резистора) або зміна топології кола, яку на електричній схемі відображають за допомогою ідеальних ключів. Розрізняють такі типи ідеальних ключів: замикаючий (рис.1, а, а'), розмикаючий (рис.1, б, б'), перемикаючий (рис.1, в, в').

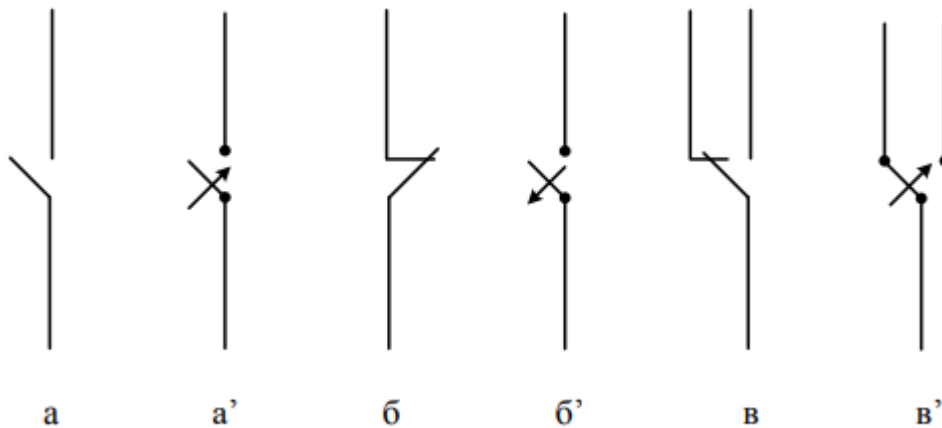


Рис. 1 Типи ідеальних ключів

Літерами без штрихів позначені різновиди ключів згідно ДСТУ, літерами зі штрихами – позначення ключів, що використовуються в навчальній літературі. Стрілочка відображає послідовність переходу ключа з попереднього стану (до комутації) в подальший стан (після комутації)

Ідеальні ключі мають такі властивості:

- 1) в замкненому стані опір ключа дорівнює нулю;
- 2) в розімкненому стані провідність ключа дорівнює нулю;
- 3) час перемикання ключа дорівнює нулю.

Перший закон комутації – сила струму у колі з індуктивністю не може змінитися стрибком. Якщо припустити стрибкову зміну струму, то це вимагатиме нескінченної величини ЕРС самоіндукції, оскільки:

$$e_L = -\frac{d}{dt}(Li)$$

За **другим законом комутації**, напруга на обкладках конденсатора та заряд ємності не можуть змінюватися стрибком. В іншому разі струм у колі буде нескінченно великим:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$

q – заряд ємності;

u_C – напруга на обкладках конденсатора.

Для прикладу, наведемо дві схеми де буде відбуватися перехідний процес або навпаки.

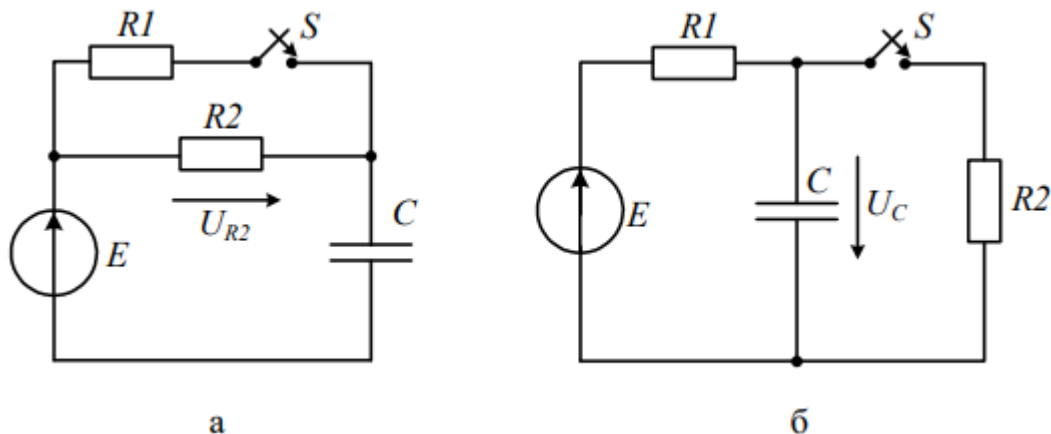


Рис. 2 Приклад наявності перехідних процесів в електричних колах

а) перехідний процес не відбувається; б) перехідний процес відбувається

В схемі ЕК на рис. 2, а перехідного процесу не відбувається, оскільки в усталеному режимі в колі до комутації $I_{R2} = I_C = 0$; $U_{R2} = 0$; і напруга на ключі, що замикається, також дорівнює нулю. Напруга на ключі після комутації також дорівнює нулю за властивістю ідеального ключа, тому струми та напруги в такому колі в процесі комутації не змінюються.

В схемі ЕК на рис. 2, б перехідний процес відбувається, оскільки в усталеному режимі в колі до комутації ключ знаходиться під ненульовою напругою: $U_S = U_C = E$. Напруга на ключі після комутації стає рівною нулю, тому струми та напруги в такому колі в перехідному процесі будуть змінюватися, забезпечуючи нове усталене значення напруги на конденсаторі.

2. Визначення початкових умов перехідних процесів

Початкові умови визначаються в усталеному режимі електричного поля до комутації. Зокрема, усталений режим в колі постійного струму характеризується сталістю величин струмів та напруг, в тому числі не змінюються у часі й змінні стану

$$i_{L_{уст}} = const, \quad u_{L_{уст}} = const.$$

При цьому похідні змінні стану є нульовими:

$$i_{\text{Суст}} = C \frac{du_{\text{Суст}}}{dt} = 0, \quad u_{L\text{уст}} = L \frac{di_{L\text{уст}}}{dt} = 0.$$

Нульовій напрузі відповідає режим електричного кола у вигляді короткого замикання, нульовому струмові – режим холостого ходу (тобто розриву ланцюга). Таким чином, початкові умови в колі постійного струму знаходяться в схемі до комутації при видалених реактивних елементах: котушки індуктивності видаляються шляхом закорочування витків $u_{L\text{уст}} = 0$; конденсатори шляхом розриву ланцюга $i_{\text{Суст}} = 0$ знаходять, як усталене значення напруги між точками вмикання конденсатора, як усталене значення струму в перемичці, що забезпечує режим закорочування котушки індуктивності.

Схематично процедуру перетворення схеми для знаходження початкових умов можна зобразити наступним чином (рис. 3):

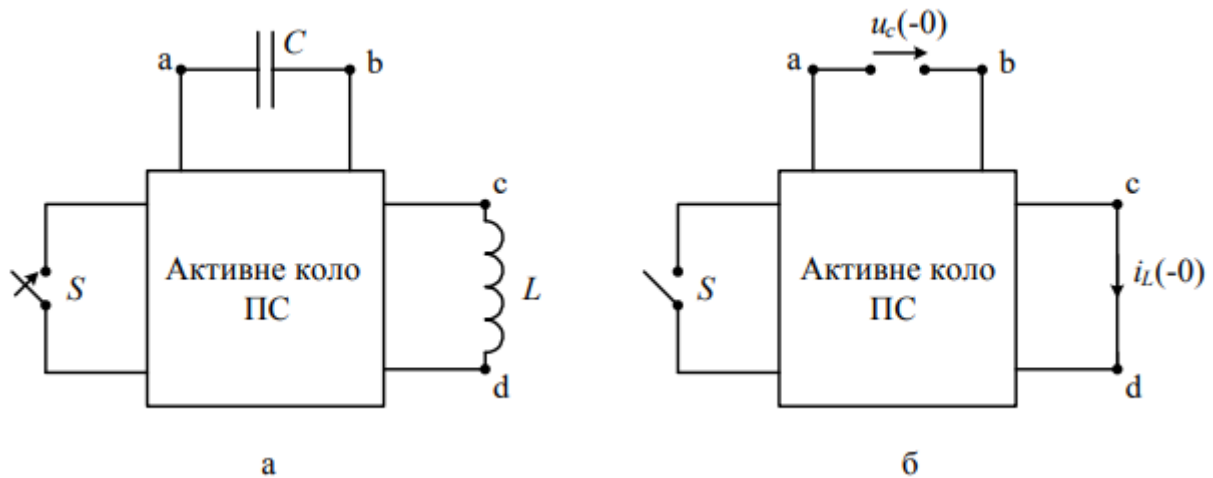


Рис. 3 Процедура перетворення схеми для знаходження початкових умов
а) початкова схема; б) еквівалентна схема з позначенням початкових умов

Приклад: Визначити початкові умови заданого кола з джерелом постійного струму
Рис.4.

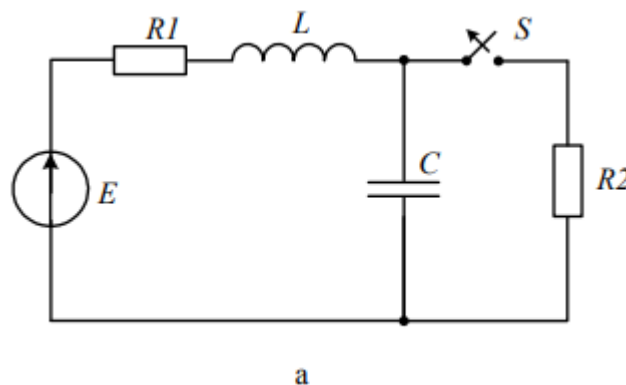
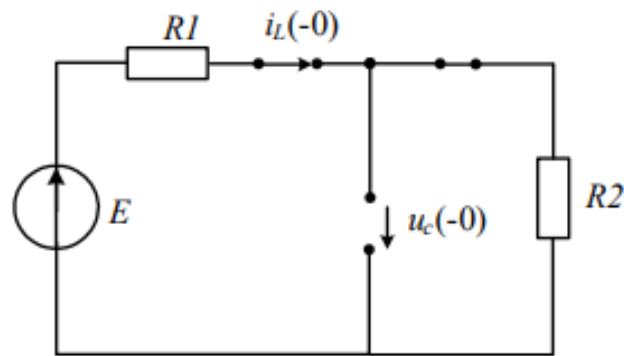


Рис. 4. Схема для знаходження початкових умов перехідного процесу
а) початкова схема;

1) Забезпечуємо стан схеми до комутації (ключ в замкненому стані). Видаляємо всі реактивні елементи: конденсатор – шляхом розриву ланцюга, котушку – шляхом закоротки. В результаті отримуємо схему постійного струму на рис. 4, б



б

Рис. Еквівалентна схема з позначенням початкових умов

Усталений режим кола синусоїдного струму розраховують символічним методом, знайшовши комплексні амплітуди змінних стану

$$\dot{I}_{Lm} = \dot{I}_m e^{j\varphi}, \quad \dot{U}_{Cm} = \dot{U}_m e^{j\varphi}$$

та відповідні їм миттєві значення

$$u_{Cycm}(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_U); \quad i_{Lycm}(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_I).$$

Початкові умови визначають, прирівнявши в отриманих виразах до нуля значення часу:

$$u_C(-0) = u_{Cycm}(t)|_{t=0} = U_{Cm} \cos \varphi_U = \operatorname{Re}(\dot{U}_{Cm});$$

$$i_L(-0) = i_{Lycm}(t)|_{t=0} = I_m \cos \varphi_I = \operatorname{Re}(\dot{I}_{Lm}).$$

3. Розрахунок перехідних процесів в колах першого порядку класичним методом

Даний метод полягає у складанні диференційного рівняння відносно шуканої змінної, що описує стан кола після комутації; розв'язанні цього рівняння відомим математичним методом з наданням нового фізичного змісту складовим розв'язку, які притаманні ТЕК. Алгоритм розрахунку перехідних процесів класичним методом прослідкуємо на прикладі увімкнення джерела постійної напруги до послідовного RC-кола

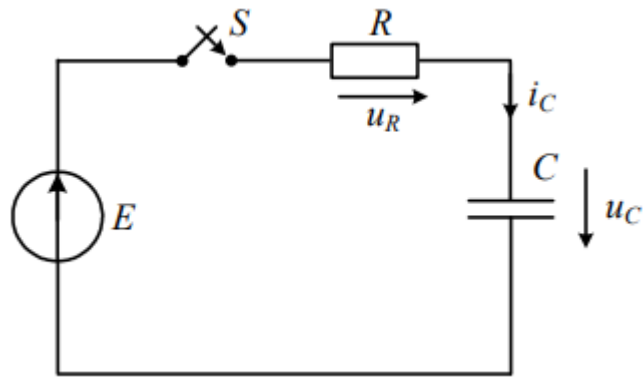


Рис. 5 Схема увімкнення джерела постійної напруги до послідовного RC кола

1) Визначення початкових умов:

$$u_C(-0) = 0,$$

оскільки до комутації конденсатор не був під'єднаний до будь-яких джерел енергії.

2) Визначення початкових значень відповідно до закону комутації:

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

3) Складання диференційного рівняння для шуканої змінної $u_C(t)$ в колі після комутації на основі законів Кірхгофа, Ома та компонентного рівняння для реактивного елемента.

За другим законом Кірхгофа для контуру, що утворюється після комутації,

$$E = u_R + u_C;$$

за законом Ома для резистора

$$u_R = Ri_C = RC \frac{du_C}{dt},$$

Підставивши в рівняння Кірхгофа наведені вирази, після перетворень отримаємо:

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E.$$