	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни «Перехідні процеси в електричних системах» назва дисципліни	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05 – 01 – 2017
		Стор. __з__	

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

(назва інституту (факультету))

КАФЕДРА Автоматизації та енергоменеджменту

(повна назва кафедри)

ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

з дисципліни «Перехідні процеси в електричних системах»

Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"

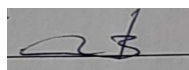
Спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Спеціалізація: Енергетичний менеджмент

(шифр та повна назва напрямку (спеціальності))

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації та енергоменеджменту
Протокол № 14 від « 28 » 08 2023 р.

Викладач



доц. Тихонов В.В.

ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ СТРУМІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ

Перехідні процеси в електричних колах.

В електричних колах, до складу яких входять реактивні елементи (катушки індуктивності та конденсатори), при переході від одного усталеного стану до іншого має місце перехідний процес. Процес зміни режиму роботи електричного кола називається комутацією.

Прийнято вважати, що комутація відбувається миттєво в час $t = 0$. Тому при розгляді перехідних процесів розрізняють два нульових моменти часу: $t = 0-$, коли комутація ще не відбулась, і $t = 0+$ після комутації.

Перехідні процеси підпорядковуються двом законам комутації [4].

Перший закон комутації: струм у вітці з катушкою індуктивності не може змінюватися стрибком. Тобто струм котушки індуктивності до комутації дорівнює струму в момент, який настає одразу після комутації $i_L(0-) = i_L(0+)$.

Другий закон комутації: напруга на конденсаторі не може змінюватися стрибком. Тобто $u_C(0-) = u_C(0+)$.

Для дослідження перехідних процесів необхідно скласти систему рівнянь електричної рівноваги в диференціальній формі для схеми заміщення електричного кола.

Як відомо з математики, розв'язок отриманої системи лінійних диференціальних неоднорідних рівнянь є сума двох доданків: частинного розв'язку неоднорідних рівнянь та загального розв'язку однорідних рівнянь.

В якості частинного розв'язку приймають примусовий режим, обумовлений зовнішніми джерелами енергії. Складові струму та напруг, які отримані в результаті частинного розв'язку неоднорідних рівнянь, називають примусовими $i_{пр}$, $u_{пр}$.

Загальний розв'язок однорідного рівняння характеризує процеси, які відбуваються в колі за відсутності зовнішніх джерел енергії. Складові струму

та напруг, які отримані в результаті загального розв'язку однорідних рівнянь, називають вільними i_v, u_v . Вільні складові прямують до нуля.

Класичний метод розрахунку перехідних процесів полягає у встановленні закону зміни будь-якого струму або напруги як суми примусових і вільних складових:

$$i = i_{\text{пр}} + i_v;$$

$$u = u_{\text{пр}} + u_v.$$

Коли вільні складові стануть рівними нулю, перехідний процес закінчиться. Тому примусовий режим – це новий усталений режим після перехідного процесу.

Теоретично перехідний процес триває нескінченно. Практично перехідний процес закінчується через $(3-5)\tau$.

Постійна часу τ – це час, протягом якого вільні складові зменшуються в e разів.

Завдання. Знайти закони зміни напруги на всіх елементах та струмів у всіх вітках схеми. Побудувати графіки зміни струмів і напруги в функції часу. Визначити тривалість перехідного процесу.

Схема вибирається за табл. 3.4, номер варіанту в якій відповідає останній цифрі номеру залікової книжки. Параметри схеми наведені в табл. 3.5, номер варіанта в якій відповідає передостанній цифрі номеру залікової книжки.

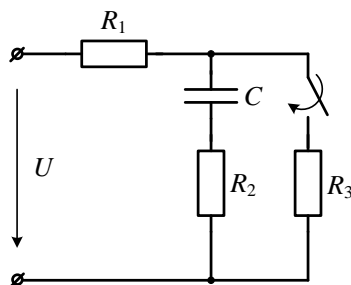


Рис. 3.5

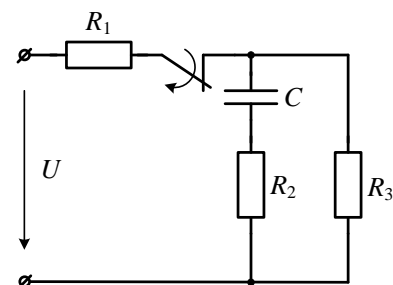


Рис. 3.6

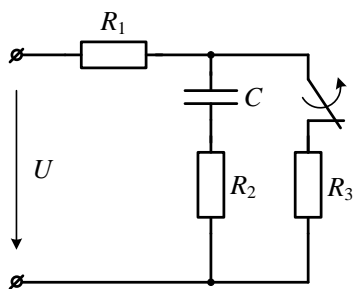


Рис. 3.7

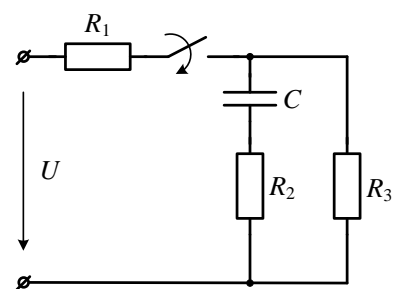


Рис. 3.8

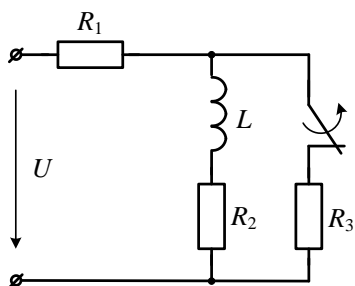


Рис. 3.9

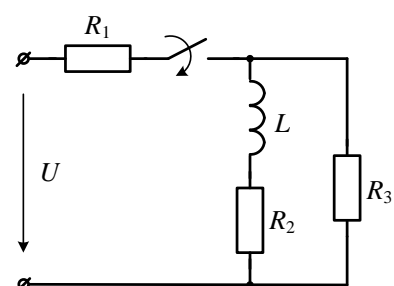


Рис. 3.10

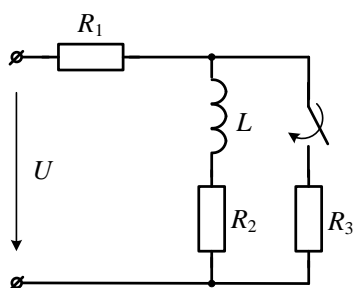


Рис. 3.11

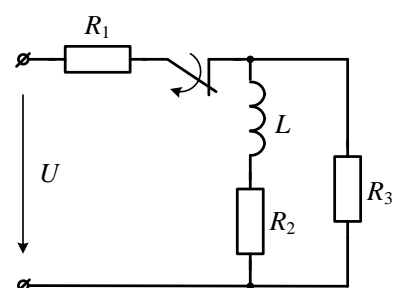


Рис. 3.12

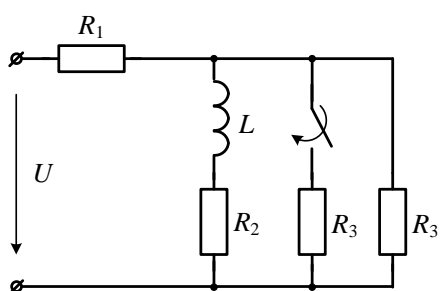


Рис. 3.13

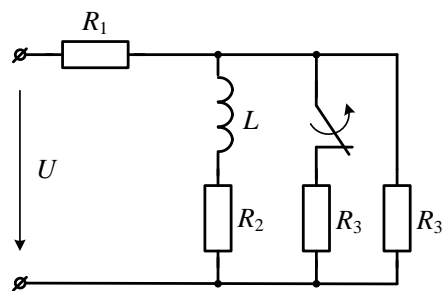


Рис. 3.14

Таблиця 3.4

Вибір номеру схеми

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер рисунок	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14
C , мкФ	1	2	4	4	—	—	—	—	—	—
L , мГн	—	—	—	—	20	30	40	20	30	30

Таблиця 3.5

Параметри електричного кола

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U , В	100	130	150	180	200	220	250	275	300	320
R_1 , Ом	10	15	10	20	20	15	25	20	25	30
R_2 , Ом	10	10	15	15	20	15	25	25	30	25
R_3 , Ом	15	15	20	20	20	17	20	25	20	30

Приклад розрахунку перехідних струмів.

Приклад 1.

Знайти закони зміни напруги на конденсаторі u_C і струму i в схемі на рис. 3.19 та побудувати графіки перехідних струму і напруги, якщо $U = 100$ В; $R = 1000$ Ом; $C = 1$ мкФ.

1. Складемо систему рівнянь електричної рівноваги.

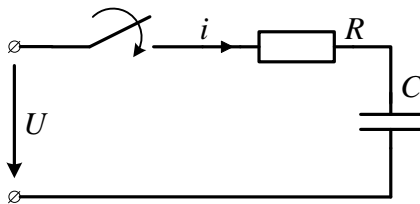


Рис. 3.19

Так як схема одноконтурна, то запишемо одне рівняння за другим законом Кірхгофа:

$$Ri + u_C = U.$$

Під час перехідного процесу відбувається зміна двох величин струму i та напруги на конденсаторі u_C . Напруга u_C підпорядковується другому закону комутації, тому доцільно виразити струм за законом Ома $i = i_C = C \frac{du_C}{dt}$. Тоді рівняння

прийме вигляд:

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

2. Розв'язок рівняння представимо як суму двох складових:

$$u_C = u_{C\text{ пр}} + u_{C\text{ в}}.$$

3. Знайдемо примусову складову $u_{C\text{ пр}}$.

Після закінчення процесу комутації в схемі повинен протікати постійний струм, але конденсатор не пропускає постійний струм, тому $i_{\text{пр}} = 0$ і $Ri_{\text{пр}} = 0$. Звідси $u_{C\text{ пр}} = U = 100$ В.

4. Визначимо вільну складову $u_{C\text{ в}}$. З курсу математики відомо, що вільні складові змінюються за експоненціальним законом:

$$u_{C\text{ в}} = Ae^{pt}.$$

Визначимо показник степені p , який є коренем характеристичного рівняння.

Для отримання характеристичного рівняння в рівнянні електричної рівноваги праву частину необхідно прирівняти нулю, перемінну величину

замінити одиницею, а її похідну оператором p , другу похідну p^2 і т. д. Отримаємо рівняння $RCp + 1 = 0$.

Розв'язання характеристичного рівняння дозволяє визначити

$$p = -\frac{1}{RC} = \frac{1}{1000 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = -10^3 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Постійна часу } \tau = \frac{1}{|p|} = RC = 0,001 \text{ с}.$$

Визначаємо постійну інтегрування A виходячи з початкових умов з використанням законів комутації.

Рівняння, за яким проводимо розв'язання справедливо для будь-якого моменту часу, в тому числі і для початкового:

$$u_C(0+) = u_{C_{\text{пр}}}(0+) + u_{C_{\text{в}}}(0+).$$

За другим законом комутації $u_C(0+) = u_C(0-)$. До початку комутації схема не була підключена до джерела енергії, тому $u_C(0-) = 0$. Примусова складова в даному випадку є постійною величиною, тому $u_C(0+) = U = 100 \text{ В}$.

Вільна складова $u_{C_{\text{в}}} = Ae^{pt}$ при $t = 0+$ дорівнює A .

Після підстановки отримаємо $0 = U + A$. Звідси $A = -U = -100 \text{ В}$.

Закон зміни напруги:

$$u_C = U - Ue^{-\frac{1}{RC}t} = 100 - 100e^{-10^3 t} \text{ В}.$$

Закон зміни струму можна отримати як за другим законом Кірхгофа, так і за законом Ома.

Із рівняння за другим законом Кірхгофа:

$$i = \frac{U - u_C}{R} = \frac{U - U + Ue^{-\frac{1}{RC}t}}{R} = \frac{U}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} = 0,1e^{-10^3 t} \text{ А},$$

або за законом Ома

$$i = C \frac{du_C}{dt} = C \frac{U}{RC} e^{-\frac{1}{RC}t} = \frac{U}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} = 0,1e^{-10^3 t} \text{ А}.$$

За отриманими рівняннями побудуємо графіки зміни струму (рис. 3.20) і напруги на конденсаторі (рис. 3.21) в функції часу.

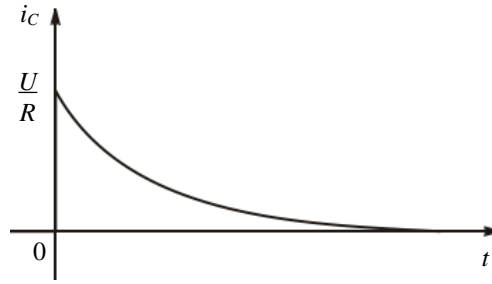


Рис. 3.20

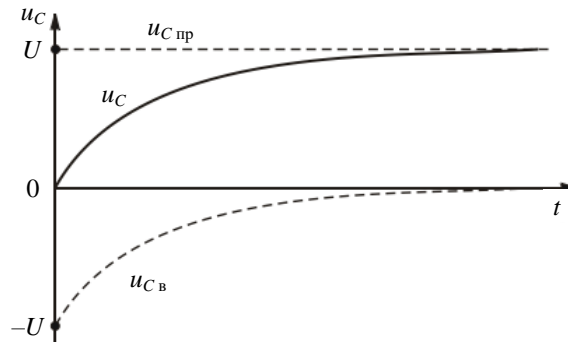


Рис. 3.21

Приклад 2.

Знайти закони зміни напруги на котушці індуктивності u_L і струму i в схемі на рис. 3.22 та побудувати графіки перхідних струму і напруги, якщо $U = 100$ В; $R = 10$ Ом; $L = 1$ Гн.

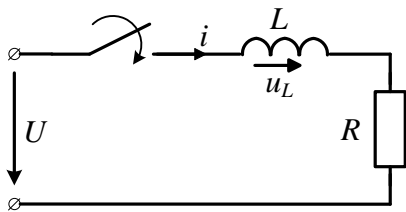


Рис. 3.22

1. Запишемо рівняння електричної рівноваги в диференціальній формі $u_L + u_R = U$, або

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L = U.$$

2. Представимо розв'язок даного рівняння як суму двох складових: $i_L = i_{L пр} + i_{L в}$.

3. Знайдемо $i_{L пр}$ в схемі після закінчення комутації. Індуктивний елемент не здійснює опору постійному струму, тому

$$i_{L пр} = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А.}$$

4. Визначимо вільну складову струму $i_{L в}$: $i_{L в} = Ae^{pt}$.

Складемо характеристичне рівняння: $Lp + R = 0$. Звідси

$$p = -\frac{R}{L} = -\frac{10}{1} = -10 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Постійна часу } \tau = \frac{1}{|p|} = \frac{L}{R} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ с}.$$

Визначимо постійну інтегрування A виходячи з початкових умов із використанням законів комутації.

$$\text{В початковий момент комутації } i_L(0+) = i_{L \text{ пр}}(0+) + i_{L \text{ в}}(0+).$$

За першим законом комутації $i_L(0+) = i_L(0-)$. До початку комутації схема не була підключена до джерела енергії, тому $i_L(0-) = 0$.

$$\text{Примусова складова } i_{L \text{ пр}} = 10 \text{ А} - \text{постійна величина.}$$

Вільна складова в початковий момент $i_{L \text{ в}}(0+) = A$. Тому $0 = 10 + A$. Звідси $A = -10 \text{ А}$.

$$\text{Закон зміни струму } i_L = 10 - 10e^{-10t} \text{ А.}$$

Закон зміни напруги на котушці індуктивності:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = 1 \cdot \frac{d(10 - 10e^{-10t})}{dt} = 1 \cdot (-10)(-10)e^{-10t} = 100e^{-10t} \text{ В.}$$

Графік струму i_L (рис. 3.23) отримаємо як суму графіків $i_{L \text{ пр}}$ і $i_{L \text{ в}}$.

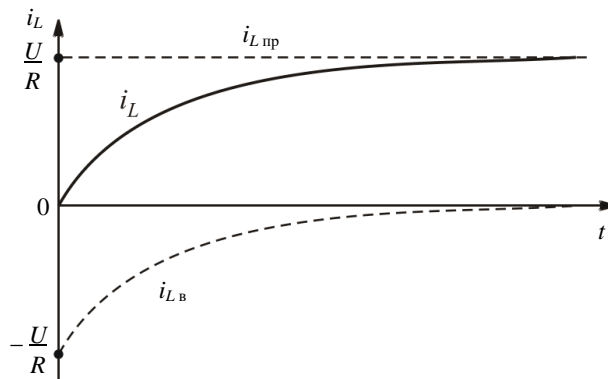


Рис. 3.23

Графік зміни напруги на котушці індуктивності u_L наведений на рис. 3.24.

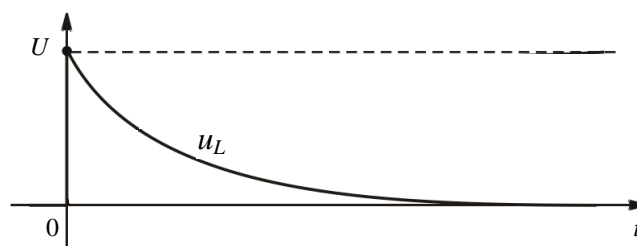


Рис. 3.24

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Зеленков О. А.* Лінійні електричні кола постійного і змінного струму: конспект лекцій /Зеленков О.А., Шахов В.П., Бунчук О.А. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
3. *Зеленков А.А.* Лінійні і нелінійні електричні кола: Конспект лекцій – К.: НАУ, 2003. – 24 с.
5. *Бойко В.С.* Теоретичні основи електротехніки: Підручник: у 3-х т. Т.1 /Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. і др. – Київ: Політехніка, 2004. – 272 с.
6. *Зеленков О.А.* Теоретичні основи електротехніки: Посібник. /Зеленков О.А., Бунчук О.О., Голік А.П.; Національний авіаційний університет; МОН. – Київ: НАУ, 2006. – 136 с.
7. *Шегедин О.І.* Теоретичні основи електротехніки: Навчальний посібник/ Шегедин О.І., Маляр В.С.; МОН. – Львів, 2004. – 168 с.