ЗАТВЕРДЖЕНО
Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від __ _____ 20__ р.
№__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для проведення практичних занять
з навчальної дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА»

для студентів освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»
освітньо-професійні програми: «Високотехнологічний комп'ютерний інжиніринг».
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Рекомендовано на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій імені професора Б.Б. Самотокіна
«___»_____2021р.,
протокол № __

Розробники: к.т.н., доцент кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна» ШАВУРСЬКИЙ Юрій, асистент кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна» ГРИНЕВИЧ Марія

Житомир
2021

ЗМІСТ

Загальні положення…….3

Вимоги до оформлення практичних робіт……3

Тема №1 «Розрахунок лінійних електричних ланцюгів постійного струму»...……4

Практична робота № 1 «Змішане з’єднання»…….……6

Практична робота № 2 «Метод контурних струмів»…..……10

Тема №2 «Розрахунок лінійних ланцюгів однофазного змінного струму»…..…….11

Практична робота № 3 «Послідовне з’єднання RLC і резонанс напруги»……...….13

Практична робота № 4 «Паралельне з’єднання і резонанс струму»…….….15

Практична робота № 5 «Змішане RLC з’єднання»…….……17

Тема №3 «Перехідні процеси в ланцюгах R,L,C»……19

Практична робота № 6 «Перехідні процеси в RC ланцюзі»……...…….21

Практична робота № 7 «Перехідний процес у ланцюзі з індуктивністю»...……..27

Тема №4 «Асинхронний двигун»……...……24

Практична робота № 8 «Асинхронний двигун»……...…….26

Тема №5 «Двигун постійного струму»……..……27

Практична робота № 9 «Двигун постійного струму»……..……28

Рекомендована література……...29

Додатки…….30

Загальні положення

Вирішення практичних робіт є важливим етапом у навчальній роботі студента щодо засвоєння знань з дисципліни. Успішне виконання практичних завдань дозволяє сформувати певне коло умінь і свідчить про достатній ступінь засвоєння матеріалу студентом.

Завдання на практичні заняття складаються з практичних робіт різних розділів дисципліни. Кожна з практичних робіт має варіанти завдань, що відрізняються вихідними даними. Для кожної практичної роботи варіанти вихідних даних зведені в таблицю і пронумеровані.

Студент визначає свій варіант практичної роботи з таблиці: номер його варіанту дорівнює сумі двох останніх цифр особистого шифру (номеру залікової книжки).

Робота, яка виконана не за своїм варіантом або виконана не повністю може бути повернута викладачем без перевірки.

Позитивна оцінка за практичні завдання є необхідною умовою допуску студента до іспиту або враховується як залікова оцінка.

До виконання практичних робіт рекомендується приступати після вивчення відповідних розділів програми.

Вимоги до оформлення практичних робіт

Практичні роботи виконуються на аркушах паперу формату А-4 і подається на перевірку у зброшурованому вигляді. На обкладинці практичної роботи потрібно вказати назву дисципліни, курс, прізвище, ім’я та по батькові студента та його особистий шифр.

Кожну практичну роботу треба починати з нової сторінки. Практична робота повинна починатися з повного запису вихідних даних, у тому числі зображення схеми у тому вигляді, що відповідає варіанту. Чисельні вихідні дані наводяться у формі таблиці, подібної до тої, звідки студент ці дані бере.

Викладення розв'язку має бути послідовним і зрозумілим. Формули, що застосовуються, мають бути спочатку записані в аналітичному вигляді, і лише по тому до них підставляють чисельні значення і проводять обчислення. Хід розв'язання і застосування формул має супроводжуватися пояснювальним текстом, наприклад:

"*розрахуємо еквівалентний опір паралельного з’єднання елементів* R_1, R_2: $R_n = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_2} = \frac{5 \cdot 10}{5 + 10} = 3{,}33$ *Ом.*"

Обов’язково необхідно вказувати одиниці виміру отриманих величин.

Діаграми та схеми виконуються олівцем.

Отриманий результат формулюється в кінці практичної роботи в рекомендованій для кожної задачі табличній формі.

Тема №1
Розрахунок лінійних електричних ланцюгів постійного струму

Методичні вказівки *Для розв'язання практичних робіт даного підрозділу потрібно знати:*

- *Визначення електричного струму.*
- *Визначення е.р.с., напруги, падіння напруги на елементі ланцюга.*
- *Визначення електричного опору.*
- *Визначення структурних елементів ланцюга (вузол, вітка, контур)*
- *Закон Ома в усіх його формах запису.*
- *Способи визначення еквівалентного опору послідовного і паралельного з'єднання елементів ланцюга.*
- *Правила Кірхгофа.*
- *Метод контурних струмів.*
- *Поняття потужності електричного струму і способи обчислення потужності.*
- *Представлення реального джерела електричної енергії ідеальним джерелом е.р.с. з послідовним включенням внутрішнього опору.*

Матеріал викладено у розділі 1 електронного учбового посібника „ Курс електротехніки", Васютін В.Д., Фіалковський О.Т., КДАВТ, Київ, 2006, стор. 27 – 39 , а також у посібниках:

1. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Ленинград, Энергоиздат, 1981.
2. А.С. Касаткин, М.В.Немцов. Электротехника. Учебное пособие для вузов. 4-е изд. Москва, Энергоатомиздат, 1983.
3. И.И. Иванов, Равдоник В.С. Электротехника. Учебное пособие для вузов. Москва, Высшая школа, 1984.
4. М. Кауфман, А. Сидман. Практическое руководство по расчетам схем в электронике. Том 1. Справочник в двух томах. Москва, Энергоатомиздат, 1991.

1.1 Змішане з'єднання

Розрахункові формули і методика розрахунку

При розрахунку змішаного з'єднання використовуємо формулу закону Ома ($U = RI$), вираз, що визначає еквівалентний опір R_e послідовного з'єднання кількох елементів ($R_e = R_1 + R_2 + ... + R_m$), і вираз, що визначає еквівалентний опір паралельного з'єднання кількох елементів ($\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_m}$).

Методика розрахунку наступна: шляхом перетворення ділянок паралельного і послідовного з'єднань в еквівалентні опори спрощуємо схему до такої, що дозволяє скористатися формулою закону Ома і визначити величину струму джерела енергії $I_1 = U/R_e$ (див. рис. 1) або $I_1 = E/(R_e + r)$, якщо за умовами задачі задано джерело е.р.с. з певним внутрішнім опором, як це показано на рис.2.

Після цього визначаємо величину падіння напруги на паралельному з'єднанні $U_p = I_1 R_p$ і величини струмів у паралельних вітках схеми: $I_2 = U_p/R_2$; $I_3 = U_p/R_3$;..... і так далі. Швидкість розсіяння теплової енергії (потужність, $[Вт] = [Джоуль/секунду]$) електричного струму певного приймача обраховуємо за формулою $P_k = I_k{}^2 R_k\,(Вт)$, величина теплової енергії, що виділяється струмом за певний проміжок часу t на першому опорі, $Q_1 = P_1 \cdot t = I_1{}^2 R_1 \cdot t$ (Дж), на четвертому - $Q_4 = P_4 \cdot t = I_4{}^2 R_4 \cdot t$ (Дж) тощо. Електричну енергію, що віддається джерелом у навантаження за певний проміжок часу t, розраховуємо за формулу $W_E = P \cdot t = UI \cdot t$ (Дж), де U - напруга на клемах джерела, I – струм джерела, t - час.

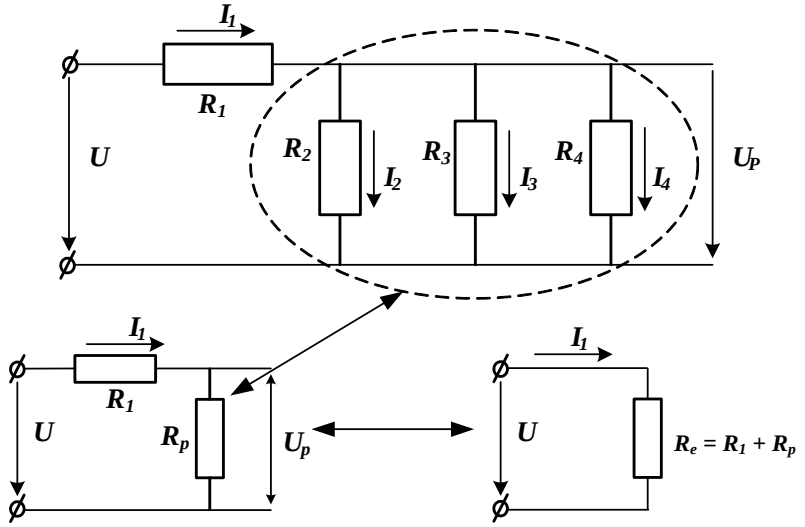

Рис. 1. Перетворення змішаного з'єднання

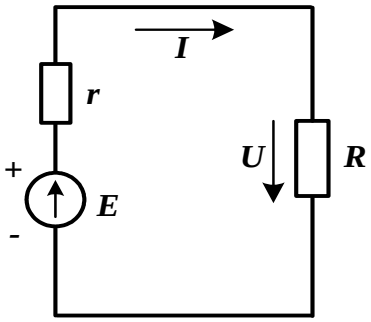

Рис 2. Схема ланцюга з опором навантаження R і джерелом е.р.с., що має внутрішній опір r.

Практична робота №1

Топологія схеми змішаного з'єднання для всіх варіантів практичної роботи однакова і приведена на рис 3. Змішане з'єднання вміщає одне джерело електричної енергії, яке має відповідні ЕРС і внутрішній опір, величини котрих указані в таблиці 1.

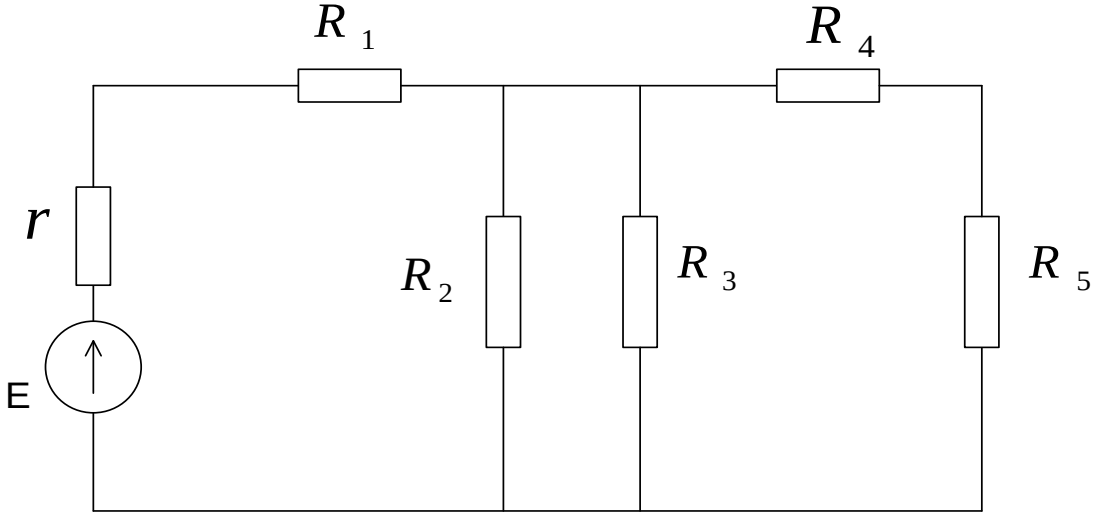

Рис.3. Схема змішаного з'єднання

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку змішаного з'єднання

№/№	E (В)	r (Ом)	R_1 (Ом)	R_2 (Ом)	R_3 (Ом)	R_4 (Ом)	R_5 (Ом)
0	100	0	30	20	20	4	6
1	100	20	30	20	20	4	6

2	100	10	20	30	30	4	6
3	80	20	20	10	10	0	5
4	80	20	30	10	10	0	5
5	80	40	0	10	10	20	15
6	60	40	10	20	20	0	10
7	60	20	0	30	30	5	10
8	60	20	10	20	20	5	5
9	60	0	5	20	20	10	10
10	120	0	30	20	20	4	6
11	120	20	30	20	20	4	6
12	120	10	20	30	30	4	6
13	120	20	20	10	10	0	5
14	120	20	30	10	10	0	5
15	120	40	0	10	10	20	15
16	120	40	10	20	20	0	10
17	120	20	0	30	30	5	10
18	120	20	10	20	20	5	5

Розрахувати:

1. Величину струму, що протікає джерелом енергії.
2. Електричну енергію, що віддається джерелом енергії в зовнішні елементи ланцюга в секунду (W_E).
3. Теплову енергію, що виділяється струмом у секунду на опорах R_1 - R_5 (Q_1 - Q_5).
4. Сумарну теплову енергію, що виділяється струмом у секунду на зовнішніх опорах.

Практичну роботу завершити таблицею отриманих результатів наступної форми:

Результати розрахунку змішаного з’єднання.

Номер варіанта	*I (A)*	W_E *(Дж)*	Q_1 *(Дж)*	Q_2 *(Дж)*	Q_3 *(Дж)*	Q_4 *(Дж)*	Q_5 *(Дж)*	Q_Σ *(Дж)*

1.2 Метод контурних струмів

Розрахункові формули і методика розрахунку

Метод контурних струмів використовують для розрахунку електричного режиму ланцюгів, топологія яких не належить до змішаного з'єднання і не може бути спрощена до схеми з одним опором навантаження.

Основою методу контурних струмів є закон Ома і два правила Кірхгофа:

1) Алгебраїчна сума струмів, що стікаються у вузлі дорівнює нулю - $\sum_k I_k = 0$.

2) Алгебраїчна сума е.р.с., що діють у контурі дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруги у контурі - $\sum_m E_m = \sum_n U_n$.

Особливістю метода є те, що за невідомі величини приймаються умовні контурні струми, які не розгалужуються у вузлах, тобто замикаються лише в своєму контурі. Кількість таких струмів, необхідна для розв'язання задачі, дорівнює кількості незалежних контурів схеми. Дійсний струм у певній вітці схеми визначають як алгебраїчну суму всіх контурних струмів, що протікають у даній вітці.

При застосуванні метода контурних струмів необхідно (див. рис. 4):

1. Задати умовно позитивні напрями контурних струмів. (На рис. 4 задано протікання струмів I_1, I_2 *за годинниковою стрілкою. Це не є принциповим, напрям протікання струмів можна вибрати проти годинникової стрілки або в різних напрямках у різних контурах).*

2. Позначити стрілками падіння напруги на всіх елементах схеми, виходячи з напряму протікання струмів (позначено: $U_1 ... U_6$*). Якщо через якийсь елемент протікають струми різних контурів (у нашому випадку – через* R_2*), необхідно біля цього елементу позначити стрілками падіння напруги від кожного струму окремо в своєму контурі. Наприклад, на схемі рис. 4 біля опору* R_2 *позначено два падіння напруги* $U_2 = I_1 R_2$ *і* $U_6 = I_2 R_2$*, які спрямовані назустріч одне одному, тому що контурні струми* I_1, I_2 *в опорі* R_2 *течуть назустріч один одному.*

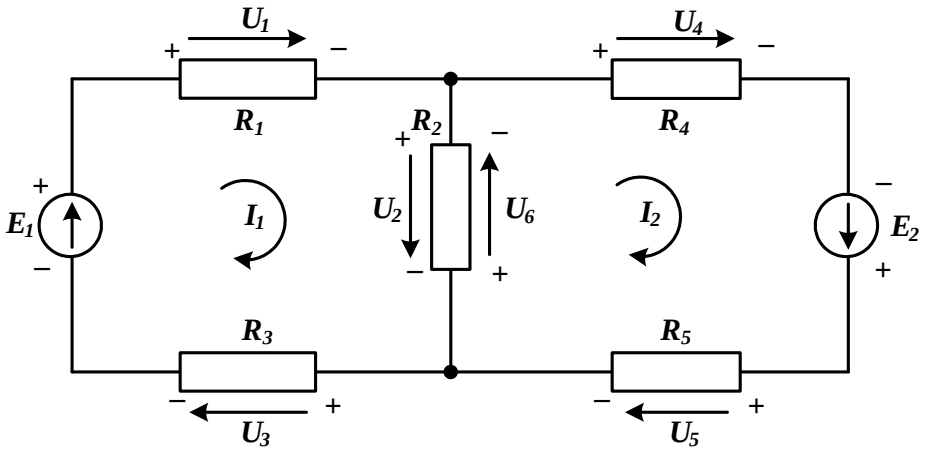

Рис. 4. Аналіз схеми методом контурних струмів

3. Записати рівняння за другим правилом Кірхгофа в кожному контурі. Напрям обходу контурів принципового значення не має, але зручніше йти за напрямом контурного струму - тоді контурний струм буде додатним, додатними будуть падіння напруги, обумовлені даним контурним струмом, і е.р.с., напрям дії яких співпадає з напрямом контурного струму.

Для першого контуру маємо:

$$E_1 = U_1 + U_2 + U_3 - U_6 \quad або \quad E_1 = I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 R_2 .$$

Для другого контуру маємо:

$$E_2 = U_5 + U_6 + U_4 - U_2 \quad або \quad E_2 = I_2(R_5 + R_2 + R_4) - I_1 R_2 .$$

4. Записати результати у вигляді системи рівнянь і розв'язати її.

Записуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} E_1 = I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 R_2, \\ E_2 = I_2(R_2 + R_4 + R_5) - I_1 R_2. \end{cases} \qquad (1)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь визначить величини контурних струмів I_1, I_2:

з другого рівняння системи визначимо контурний струм $I_2 = \dfrac{E_2 + I_1 R_2}{R_2 + R_4 + R_5}$,

підстановка контурного струму I_2 *до першого рівняння системи (1) і очевидні алгебраїчні перетворення дозволяють визначити контурний струм першого контуру:*

$$I_1 = \frac{E_1(R_2 + R_4 + R_5) + E_2 R_2}{(R_1 + R_2 + R_3)(R_2 + R_4 + R_5) + R_2^2} .$$

Силу струму, що тече опором R_2 *, визначимо наступним чином:*

$I_{R2} = |I_1 - I_2|$, *напрям струму визначається застосуванням першого правила Кірхгофа до одного з вузлів: алгебраїчна сума струмів у вузлі має дорівнювати*

нулю: $I_1 - I_2 + I_{R2} = 0$.

Потужність джерела енергії можна обрахувати за відомим струмом джерела, наприклад для схеми рис. 4: $P_1 = U_1 I_1 = E_1 I_1 - I_1^2 r_1$ *або* $P_1 = E_1 I_1$, *якщо внутрішній опір джерела* $r_1 = 0$. *Теплову енергію, що виділяється на опорах, потрібно розраховувати за дійсними струмами, а не за контурними струмами.*

Практична робота №2

Топологія схеми для всіх варіантів практичної роботи однакова, приведена на рис 5. Ланцюг вміщає два джерела електричної енергії, які мають відповідні ЕРС і внутрішні опори. Вихідні дані по варіантах приведені у таблиці 2

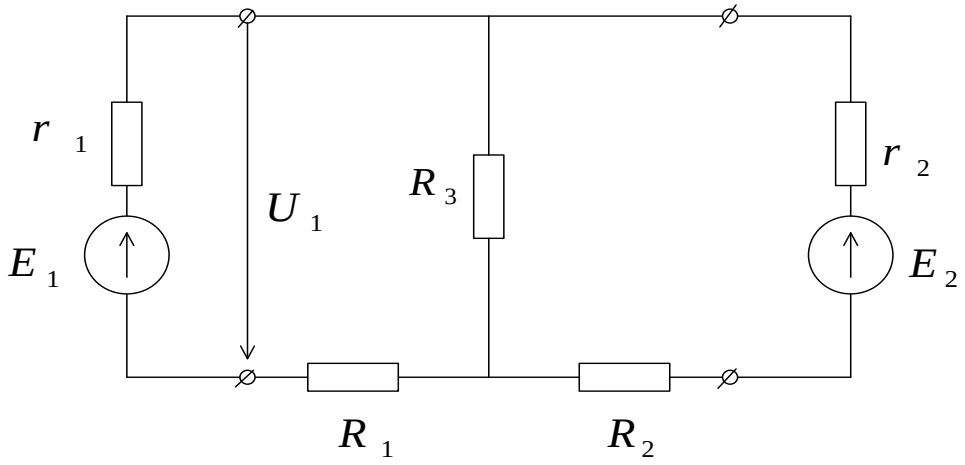

Рис. 5. Схема електричного ланцюга з двома джерелами електричної енергії

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку електричного ланцюга

№/№	E_1(В)	r_1(Ом)	E_2(В)	r_2(Ом)	R_1(Ом)	R_2(Ом)	R_3(Ом)
0	10	0	10	0	20	20	20
1	20	0	20	0	20	20	20
2	30	0	30	0	20	20	20
3	10	5	20	5	15	15	20
4	20	5	20	5	15	15	20
5	30	5	30	5	15	15	20
6	10	5	10	5	20	20	25
7	20	5	10	5	20	20	25
8	30	5	20	5	20	20	25
9	10	10	20	5	20	20	25
10	20	10	20	10	10	15	25

11	30	10	20	10	10	15	25
12	40	10	20	10	10	15	25
13	40	10	30	10	10	15	25
14	40	10	40	10	10	15	25
15	40	10	40	10	20	25	30
16	40	10	40	10	25	30	40
17	40	10	40	10	30	35	50
18	40	10	50	10	30	35	50

Розрахувати:

1. Падіння напруги на опорі R_3.
2. Потужність електричного струму, що протікає опором R_2 (P_2).
3. Потужність джерел енергії E_1 (P_{E1}) та E_2 (P_{E2}).

Задачу завершити таблицею отриманих результатів наступної форми:

Результати розрахунку методом контурних струмів

Номер варіанта	U_{R3} (В)	P_{R2} (Вт)	P_{E1} (Вт)	P_{E2} (Вт)

Тема № 2
Розрахунок лінійних ланцюгів однофазного змінного струму

Методичні вказівки *Для розв'язання практичних робіт даного підрозділу, крім зазначеного вище, потрібно знати:*

- Основні визначення щодо синусоїдального струму (частота, період, кругова частота, фаза, амплітуда).
- Поняття діючих значень напруги і струму.
- Закон електромагнітної індукції, визначення індуктивності та ємності системи.
- Як описується проходження змінного струму трьома типами елементів ланцюга (R, L, C) і з'єднаннями таких елементів.
- Поняття активного і реактивного опору.
- Поняття повного опору і повної провідності ланцюга.
- Поняття комплексного опору і комплексної провідності ланцюга.
- Поняття активної і реактивної складової струму, напруги.

- Закон Ома для ланцюгів змінного струму у формі миттєвих значень струму і напруги, в комплексній формі і у формі діючих значень струму і напруги.
- Правила Кірхгофа для ланцюгів змінного струму у формі миттєвих значень струму і напруги, в комплексній формі і у формі діючих значень струму і напруги.
- Методику обчислення еквівалентного повного опору (провідності) ланцюга.
- Методику обчислення еквівалентного комплексного опору (провідності) ланцюга.
- Методику побудови векторної діаграми ланцюга.
- Як обчислити потужність змінного струму: повну, активну, реактивну.
- Поняття резонансу напруги і резонансу струму
- Як розрахувати резонансну частоту, характеристичний опір і добротність контуру.

Матеріал викладено у розділі 2 електронного учбового посібника „Курс електротехніки", Васютін В.Д., Фіалковський О.Т., КДАВТ, Київ, 2006, стор. 49 – 71, а також у вказаних вище посібниках.

2.1 Послідовне з'єднання RLC і резонанс напруги.

Розрахункові формули і методика розрахунку послідовного ланцюга

Діюче і амплітудне значення напруги (струму) в ланцюгах синусоїдального струму зв'язані співвідношенням: $U = U_m / \sqrt{2}$; $(I = I_m / \sqrt{2})$

Комплексні напруга $\dot{U} = Ue^{j\psi_u} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u}$ *і струм* $\dot{I} = Ie^{j\psi_i} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_i}$ *у послідовному ланцюгу змінного струму частоти* f *зв'язані співвідношеннями*

$$\dot{U} = \dot{I}\dot{Z}\,,\ \dot{I} = \dot{U}/\dot{Z} \qquad (2)$$

де $\dot{Z} = [r + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})] = [r + j(x_L - x_C)] = r + jx = Ze^{j\varphi}$; $\varphi = arctg\frac{x}{r}$, $\omega = 2\pi f$.

Співвідношення (2) називають законом Ома для ланцюгів синусоїдального струму.

Потужність у ланцюгу розраховують за формулами:

Комплексна потужність $\dot{S} = Se^{j\varphi} = \dot{U}\dot{I}^* = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ$,

де: $\dot{I}^*$ *- комплексно спряжений струм,*

$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$ *- модуль повної потужності,*

$P = S\cos\varphi$ *- активна потужність,*

$Q = P\,tg\varphi$; $Q = S\sin\varphi$ *- реактивна потужність.*

Резонансна частота контуру $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, *характеристичний опір* $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$; $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \rho$, *добротність* $Q_0 = \frac{\rho}{r}$, *де* L, C, r *індуктивність, ємність і активний опір елементів контуру.*

Методика розв'язання задачі наступна:

1. Визначаємо комплексний опір ланцюга $\dot{Z} = [r + j(x_L - x_C)] = r + jx$, *визначаємо модуль і аргумент комплексного опору* $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$, $\varphi = arctg\frac{x}{r}$, *записуємо комплексний опір в експоненціальній формі* $\dot{Z} = Ze^{j\varphi}$, *визначаємо коефіцієнт потужності* $\cos\varphi$

2. Визначаємо струм в ланцюгу $\dot{I} = \dot{U}/\dot{Z} = Ie^{-j\varphi}$

3. Визначаємо потужності $S = UI$; $P = S\cos\varphi$; $Q = S\sin\varphi$

4. Визначаємо резонансну частоту, характеристичний опір і добротність ланцюга при резонансі.

5. Визначаємо напругу на конденсаторі при резонансі як добуток вхідної напруги на добротність $U_C = UQ_0$

6. Побудову векторної діаграми ланцюга починаємо з побудови горизонтального вектора струму

Практична робота №3

Топологія схеми для всіх варіантів практичної роботи однакова і приведена на рис 6. Ланцюг складається з включених послідовно активного опору, індуктивності і ємності, параметри яких на частоті 50 Гц приведені у таблиці 3 по варіантах. На вхід ланцюга подано синусоїдальну напругу частотою 50 Гц з діючим значенням напруги 220 В.

Таблиця 3.

Вихідні дані для розрахунку послідовного з'єднання R,L,C.

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
r (Ом)	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15	15	15	15
x_L (Ом)	30	25	20	5	1	30	30	30	30	30	50	50	50	50	50	35	30	20	10
x_C (Ом)	30	30	30	30	30	25	20	15	10	5	25	30	35	40	45	50	50	50	50

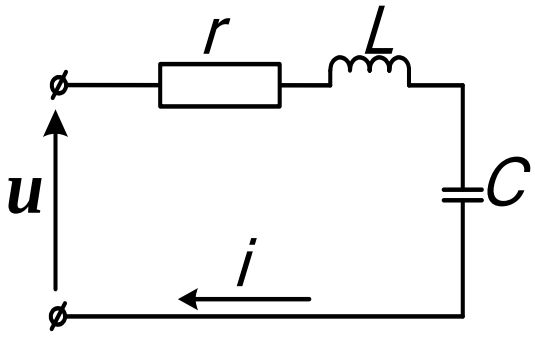

Рис. 6 Схема послідовного з'єднання *rLC*

Розрахувати:

1. Струм в ланцюгу (*I*).
2. Коефіцієнт потужності (*cos φ*).
3. Повну, активну і реактивну потужність (*S*,*P*,*Q*) джерела.
4. Резонансну частоту ланцюга ω_0
5. Характеристичний опір ланцюга ρ
6. Добротність ланцюга Q_0
7. Амплітуду напруги на конденсаторі при резонансі U_C
8. Побудувати векторну діаграму ланцюга для частоти 50 Гц

Задачу завершити таблицею отриманих результатів наступної форми:

Результати розрахунку послідовного з'єднання R,L,C

I (A)	S (ВА)	P (Вт)	Q (ВАР)	cos φ	ω_0	ρ	Q_0	U_C

2.2 Паралельне з'єднання *rLC* і резонанс струму.

Розрахункові формули і методика розрахунку паралельного ланцюга

Комплексні напруга $\dot{U} = Ue^{j\psi_u} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}e^{j\psi_u}$ *і струм* $\dot{I} = Ie^{j\psi_i} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}e^{j\psi_i}$ *у паралельному ланцюгу зв'язані співвідношенням*

$\dot{I} = \dot{U}\dot{Y}$, $\dot{U} = \dot{I}/\dot{Y}$

де $\dot{Y} = \frac{1}{r} - j(\frac{1}{\omega L} - \omega C) = g - jb = Ye^{-j\varphi}$, $Y = \sqrt{g^2 + b^2}$, $\varphi = arctg\frac{b}{g}$.

Резонансна частота паралельного ланцюга $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, *характеристичний опір* $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$; $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \rho$, *добротність* $Q_0 = \frac{\rho}{r}$, *де* L, C, r *індуктивність, ємність і активний опір елементів контуру.*

Методика розв'язання:

1. Визначаємо комплексну провідність ланцюга, модуль і аргумент провідності за відповідними формулами.

2. Визначаємо коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$*).*

3. Визначаємо струм у спільній вітці $\dot{I} = \dot{U}\dot{Y} = UYe^{-j\varphi}$.

4. Визначаємо повну, активну і реактивну потужності $S = UI$; $P = S\cos\varphi$; $Q = S\sin\varphi$.

5. Визначаємо резонансну частоту, характеристичний опір і добротність ланцюга при резонансі.

6. Визначаємо струм індуктивності при резонансі як добуток струму загальної віти на добротність $I_L = IQ_0$

7. Побудову векторної діаграми ланцюга починаємо з побудови горизонтального вектора вхідної напруги

Практична робота № 4

Топологія схеми для всіх варіантів практичної роботи однакова і приведена на рис 7. Ланцюг складається з включених паралельно активного опору, індуктивності і ємності, параметри яких приведені у таблиці 4 по варіантах. На вхід ланцюга подано синусоїдальну напругу частотою 50 Гц з діючим значенням напруги 220 В.

Розрахувати:

1. Струм у спільній вітці *(I).*
2. Коефіцієнт потужності (*cosφ*).
3. Повну, активну і реактивну потужність (*S,P,Q)* джерела.
4. Резонансну частоту ланцюга ω_0.
5. Характеристичний опір ланцюга ρ.
6. Добротність ланцюга Q_0.
7. Визначити струм індуктивності при резонансі.
8. Побудувати векторну діаграму ланцюга.

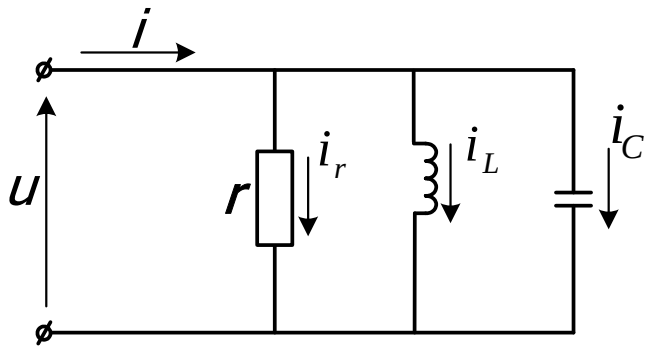

Рис. 7 Схема паралельного з’єднання R,L,C

Таблиця 4

Вихідні дані для розрахунку паралельного з’єднання R,L,C.

№ варіанту	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
R(Ом)	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5
L (Гн)	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1
C (мкФ)	1	5	10	50	100	10	10	10	10	10

10	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
5	5	5	5	5	5	5	5	5
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20	30	40	50	60	70	80	90	100

Практичну роботу завершити таблицею отриманих результатів наступної форми:

Таблиця 5

Результати розрахунку паралельного з’єднання R,L,C

I (A)	S (ВА)	P (Вт)	Q (ВАр)	cos φ	ω_0	ρ	Q_0	I_L

2.3 Змішане з’єднання

Методика розрахунку.

Розрахунок змішаного з'єднання на змінному струмі проводиться за тою самою методикою, що і розрахунок ланцюгів постійного струму, а саме –

спочатку з'єднання спрощується до схеми з еквівалентним опором або провідністю і далі розраховуються всі необхідні величини (див. п.1.1). Проводити розрахунок змішаного з'єднання можна користуючись поняттями повного опору і повної провідності або поняттями комплексних опору й провідності. Результат розрахунків буде однаковим.

Запропоновану нижче задачу №5 вигідно розв'язувати користуючись символічним методом, так вона має коротший шлях розв'язання:

1. Записуємо в алгебраїчній формі комплексні опори заданих за варіантом віток схеми, наприклад: $\dot{Z}_1 = r_1 + jx_{L1}$, $\dot{Z}_5 = r_5 - jx_{C5}$ *тощо.*

2. Визначаємо комплексні струми віток в алгебраїчній формі: $\dot{I}_1 = \dfrac{\dot{U}_2}{r_1 + jx_{L1}} = \dfrac{U_2(r_1 - jx_{L1})}{r_1^2 + x_{L1}^2}$, $\dot{I}_5 = \dfrac{U_2(r_5 + jx_{C5})}{r_5^2 + x_{C5}^2}$ *тощо.*

3. Визначаємо суму комплексних струмів, тобто струм спільної вітки, наприклад $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_5 = A + jB$ *- це і є струм на початку лінії. Представляємо струм в експоненціальній формі* $\dot{I} = Ie^{j\varphi}$, *де* $I = \sqrt{A^2 + B^2}$, $\varphi = arctg(B/A)$ *(для побудови векторної діаграми) і визначаємо* $\cos\varphi$.

4. Визначаємо напругу на початку лінії, підставляючи струм в алгебраїчній формі : $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + 2r_0\dot{I} = (U_2 + 2r_0A) + j2r_0B)$.

5. Визначаємо комплексну потужність віток, підставляючи струми в алгебраїчній формі : $\dot{S}_1 = \dot{U}_2\dot{I}^*_1 = \dot{U}_2(A_1 + jB_1)$ ..... $\dot{S}_5 = \dot{U}_2\dot{I}^*_5 = \dot{U}_2(A_5 - jB_5)$.

6. Визначаємо активну і реактивну потужність віток:

$P_1 = \mathrm{Re}\{\dot{S}_1\}$; ..... $P_5 = \mathrm{Re}\{\dot{S}_5\}$, $Q_1 = \mathrm{Im}\{\dot{S}_1\}$ ..... $Q_5 = \mathrm{Im}\{\dot{S}_5\}$; *визначаємо модуль комплексної потужності* k *– ої вітки* $S_k = \sqrt{P_k^{\,2} + Q_k^{\,2}}$.

7. Комплексну потужність джерела розрахуємо так: $\dot{S} = \dot{U}_1\dot{I}^* = U_1Ie^{j(\varphi_U - \varphi_I)}$.

8. Векторну діаграму починаємо будувати з вектора $\dot{U}_2$, *який розмістимо горизонтально.*

Практична робота № 5

В схемі (рис. 8) кожний провід лінії передачі має опір r_0 = 5,0 Ом. Напруга на кінці лінії U_2. При ввімкненні рубильників до лінії можуть бути приєднані: гілка 1 з індуктивним опором x_{L1} = 18 Ом і активним r_1 = 24 Ом; гілка 2 з активним опором r_2 = 60 Ом; гілка 3 з ємнісним опором x_{C3} = 75 Ом; гілка 4 з активним опором r_4 = 36 Ом і індуктивним x_{L4} = 48 Ом; гілка 5 з активним опором r_5 = 18 Ом і ємнісним x_{C5} = 24 Ом.

Таблиця 5

Вихідні дані для розрахунку змішаного з’єднання

Варіант	Замкнені рубильники	U_2, В	Варіант	Замкнені рубильники	U_2, В
0	S_1, S_2	127	**10**	S_1, S_2, S_3, S_4	380
1	S_2, S_3	220	**11**	S_1, S_2, S_3, S_5	500
2	S_3, S_4, S_5	380	**12**	S_1, S_3, S_4, S_5	127
3	S_1, S_4, S_5	500	**13**	S_1, S_2, S_4, S_5	220
4	S_1, S_2, S_5	127	**14**	S_2, S_3, S_4, S_5	380
5	S_1, S_2, S_4	220	**15**	S_1, S_2, S_3	500
6	S_2, S_3, S_5	380	**16**	S_2, S_3, S_4	127
7	S_1, S_3, S_5	500	**17**	S_3, S_4	220
8	S_2, S_4, S_5	127	**18**	S_4, S_5	380
9	S_1, S_3, S_4	220			

Визначити*:*

1. Струм і напругу на початку лінії;
2. Коефіцієнт потужності всього ланцюга;
3. Активні і повні потужності для кожної гілки і для всього ланцюга.

Побудувати векторну діаграму.

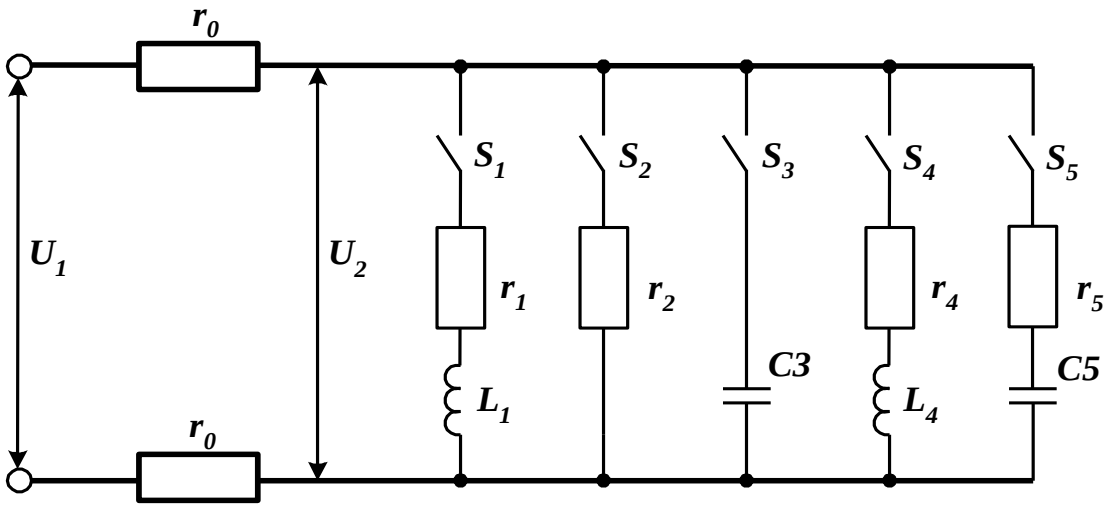

Рис. 8.

Результати розрахунку звести у таблицю, приведену нижче.

Таблиця результатів практичної роботи № 5

$U_1(B)$	$I(A)$	$S(BA)$	$S_1(BA)$	$S_2(BA)$	$S_3(BA)$	$S_4(BA)$	$S_5(BA)$

$P(Bm)$	$P_1(Bm)$	$P_2(Bm)$	$P_3(Bm)$	$P_4(Bm)$	$P_5(Bm)$

Тема № 3
Перехідні процеси в ланцюгах R,L,C

Методичні вказівки *Для розв'язання практичних робіт даного підрозділу, крім зазначеного вище, потрібно знати:*

- *Два закони комутації.*
- *Визначення перехідного і стаціонарного режимів у електричному ланцюзі.*
- *Поняття нормальної реакції (вимушеного стану) ланцюга.*
- *Поняття вільного процесу в ланцюзі.*
- *Методику рішення неоднорідного диференційного рівняння ланцюга з постійними коефіцієнтами першого і другого порядку.*
- *Методику складання диференційного рівняння ланцюга шляхом застосування закону електромагнітної індукції, визначення величини напруги на ємності через її струм і закону Ома.*
- *Поняття сталої часу і вміти оцінити тривалість перехідного процесу за величиною сталої часу.*
- *Поняття експоненціальної функції (експоненти) і вміти цю функцію диференціювати (інтегрувати).*

Матеріал у достатньому обсязі викладено у розділі В1.4 стор. 14-15 і розділі 4 стор. 85 – 93 електронного учбового посібника „ Курс електротехніки ”, Васютін В.Д., Фіалковський О.Т., КДАВТ, Київ, 2006, а також у вказаних вище посібниках.

3.1 Перехідний процес у RC ланцюзі

Розрахункові формули і методика розв'язання

Стан нерозгалуженого електричного ланцюга в будь – який момент часу може бути описаний рівнянням, складеним на основі другого правила Кірхгофа:

$e = u_R + u_L + u_C$ або, якщо скористатися законами Ома ($u_R = iR$), Фарадея ($u_L = L\,di/dt$), визначенням ємності ($q = Cu$) і струму ($i = dq/dt$), рівняння прийме вигляд: $e = iR + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$. Це рівняння справедливо для будь якого моменту часу – воно справедливо і для перехідного і для стаціонарного процесів.

У залежності від складу досліджуваного ланцюга рівняння електричного стану приймає той чи інший вигляд, наприклад для послідовного RC ланцюга: $e = iR + \frac{1}{C}\int idt$ і після певних перетворень $RC\frac{du_C}{dt} + u_C = U$ (1); для послідовного RL ланцюга: $L\frac{di}{dt} + R \cdot i = U$ (2). Розв'язок цих диференціальних рівнянь шукають у вигляді суми вільної напруги (струму), що відповідають загальному розв'язку однорідного рівняння, й вимушеної напруги (струму), що відповідають частковому рішенню неоднорідного рівняння, а фізично – напрузі (струму) стаціонарного режиму, що встановлюється в ланцюзі через достатньо довгий час після комутації. Цю останню напругу (струм) дуже просто встановити за законом Ома і правилами Кірхгофа.

Рішення рівняння (1) для заряду конденсатора від нуля до напруги U має форму $u_C = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$, де $\tau = RC$, при розряді конденсатора від напруги U до нуля, права частина (1) дорівнює нулю і рівняння має форму: $\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC}u_C = 0$. Рішення такого рівняння має вигляд : $u_C = Ue^{-\frac{t}{\tau}}$, де $\tau = RC$.

Рівняння ланцюга з індуктивністю (2) має рішення: $i_L = \frac{U}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$, $\tau = \frac{L}{R}$ при наявності ненульової правої частини (при підключенні до джерела); або $i_L = \frac{U}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$, якщо в правій частині нуль (при відключенні від джерела).

У випадку більш складних ланцюгів вигляд рівняння електричного стану змінюється, наприклад для випадку схеми, що приведена в задачі № 6 рівняння електричного стану має вигляд: $U_C(1 + \frac{R_1}{R_2}) + R_1C\frac{dU_C}{dt} = U$

Якщо в правій частині рівняння буде нуль, приведене рівняння перепишеться у вигляді:

$\frac{dU_C}{dt} + \frac{(1+R_1/R_2)}{R_1C}U_C = 0$, *звідки можна визначити величину* $\tau = \frac{R_1C}{1+R_1/R_2}$

Практична робота № 6

У момент часу $t = 0$ замикається вимикач В і до джерела постійної напруги U підключається RC ланцюг, схема якого приведена на рис. 6. Топологія схеми для всіх варіантів практичних робіт однакова. Вихідні дані для розрахунку перехідного процесу по варіантах приведені у таблиці 6.

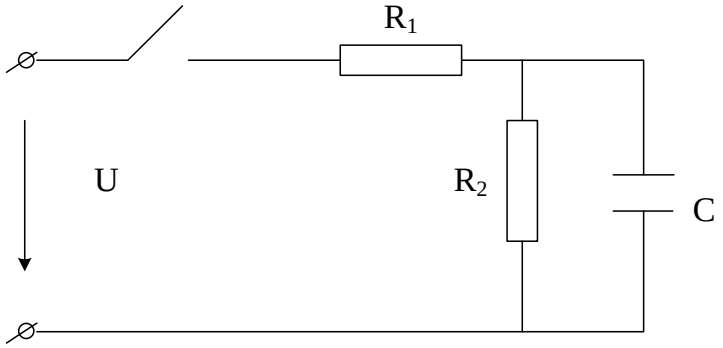

Рис. 6. Схема RC з'єднання, що підключається до джерела напруги.

Таблиця 6

Вихідні дані для розрахунку перехідного процесу в R,C ланцюзі

№/№	U (В)	R_1(Ом)	R_2(Ом)	C(мкф)
0	200	100	20	0,01
1	200	1000	200	0,05
2	200	1000	200	10
3	200	1000	1000	10
4	200	500	1000	10
5	200	500	1000	20
6	200	500	500	50
7	200	500	1000	50
8	200	1000	1000	100
9	200	1000	1000	200
10	200	1000	1000	300
11	200	1000	1000	400
12	400	100	200	500
13	400	1000	500	500
14	400	1000	1000	600

15	400	1000	1500	600
16	400	800	1500	500
17	400	500	1500	500
18	400	500	2000	800

Визначити:

1. Записати диференційне рівняння ланцюга. *Підказка. При складанні цього рівняння скористайтеся двома законами Кірхгофа і законом Ома, а саме: прикладена до ланцюга напруга дорівнює сумі падіння напруги на опорі і напруги конденсатора* ($U = I_1 R_1 + U_c$)*; струм, що втікає у вузол А дорівнює сумі струмів, що з нього витікають* ($I_1 = I_2 + I_C$, *де* $I_2 = \frac{U_C}{R_2}$; $I_C = C\frac{dU_C}{dT}$).
2. Розрахувати напругу, до якої зарядиться ємність у стаціонарному режимі.
3. Розрахувати заряд, накопичений конденсатором у стаціонарному режимі.
4. Розрахувати сталу часу.
5. Накреслити графік заряду конденсатора у часі до моменту 5τ.

Відповідь подати у таблиці наступної форми:

$U(B)$	$Q(K)$	$\tau(c)$

3.2 Перехідний процес у ланцюзі з індуктивністю

Методичні вказівки

До моменту комутації (при замкнутому вимикачі) рівняння ланцюга має вигляд: $L\frac{di}{dt} + R \cdot i = U$. *В стаціонарному режимі* $\frac{di}{dt} \approx 0$ *і в ланцюгу встановлюється певний струм, величина якого визначається опором* R.

Після розмикання вимикача "В" (рис.7) струм індуктивності замикається через вольтметр. Рівняння ланцюга при цьому має вигляд: $L\frac{di}{dt} + R_V \cdot i = 0$,

рішення його має вигляд $i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$. *Величину А (початкову величину струму) визначаємо з початкової умови, сформульованої першим законом комутації, а саме: струм у ланцюзі з індуктивністю в момент комутації не змінюється:* $I(0+\delta) = I(0-\delta)$, *де* δ - *нескінченно малий інтервал часу. Величина* τ *визначається з вигляду рівняння наступним чином: рівняння приводять до канонічної форми, тоді:* $\frac{di}{dt} + \frac{R_V}{L} \cdot i = 0$, *звідки* $\tau = \frac{L}{R_V}$.

Практична робота № 7

До ланцюга прикладена постійна напруга. Після встановлення в ланцюзі стаціонарного режиму, в певний момент часу $t = 0$ розмикається вимикач В. Визначте:

1) Величину постійної часу τ для наступних значень опору вольтметра: $R_V = 30;50;100;200$ кОм, побудуйте залежність постійної часу від опору вольтметра.

2) Величину струму через вольтметр в моменти часу $t = 0, \tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau, 5\tau$, накресліть графік зміни струму через котушку в часі до $t = 5\tau$.

Вихідні дані для розрахунку приведені в таблиці 7

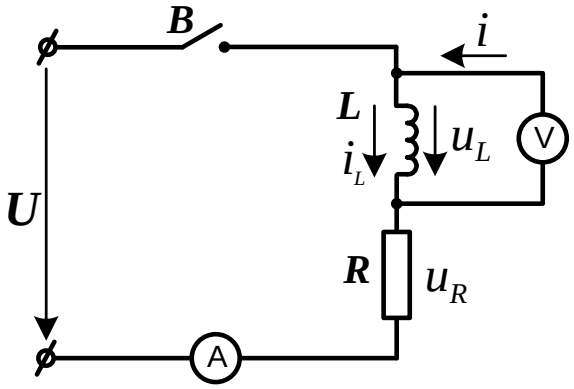

Рис. 7.

Таблиця 7

№ варіанту	$U(B)$	$R(Ом)$	$L(Гн)$
0	100	0,6	2
1	100	1	3
2	100	0,8	4
3	100	1,2	5
4	100	0,9	6

5	100	1,3	7
6	100	1,4	8
7	100	1,5	9
8	100	1,6	10
9	100	2	11
10	100	2,5	12
11	100	4	13
12	100	5	14
13	100	3	15
14	200	2	11
15	200	2,5	12
16	200	4	13
17	200	5	14
18	200	3	15

Відповідь подати у вигляді таблиць:

$R_V\,(кОм)$	30	50	100	200
$\tau(c)$				

t	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
$I(A)$						

Тема № 4
Асинхронний двигун

Для розв'язання практичних робіт щодо розрахунку асинхронних двигунів необхідно знати:

1) Принцип створення магнітного поля, що обертається; як визначити частоту обертання магнітного поля за заданою частотою струму; зв'язок синхронної частоти обертання ротора (n_0) з кількістю пар полюсів магнітного поля (p) і частотою напруги (f): $n_0 = 60\dfrac{\varphi'_{м.п.}}{2\pi} = 60\dfrac{f}{p}$ *[об/хв.].*

2) Визначення параметру "ковзання" : $s = \dfrac{\varphi'_{м.п.} - \varphi'_p}{\varphi'_{м.п.}} = \dfrac{n_0 - n_p}{n_0}$.

3) Як визначити кутову швидкість обертання ротора за відомою кутовою швидкістю обертання магнітного поля і величиною ковзання: $\varphi'_p = \varphi'_{м.п.}(1-s)$ *[рад/с], і як визначити частоту обертання ротора* $n_p = n_{м.п.}(1-s)$.

4) Зв'язок величини моменту на валу з потужністю на валу: $M = \dfrac{P}{0{,}105n} = \dfrac{9{,}52P}{n}$.

5) Вираз, що описує спрощену механічну характеристику асинхронного двигуна: $M = \dfrac{2M}{S/S_{кр} + S_{кр}/\mathrm{S}}$.

6) Як визначити критичне ковзання за заданими величинами $S_{ном}$ *і* $\lambda = \dfrac{M_{кр}}{M_{ном}}$*:*

$\mathrm{S}_{кр} = S_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$.

Методика розв'язання задачі:

1) Визначаємо синхронну кількість обертів за заданою частотою мережі і кількістю пар полюсів $\mathrm{n}_0 = 60\dfrac{f}{p}$ *[об/хв].*

2) Визначаємо номінальну кількість обертів ротора за відомою синхронною кількістю обертів і заданим номінальним параметром ковзання: $n_{ном} = \mathrm{n}_0(1 - s_{ном})$ *[об/хв].*

1) Визначаємо номінальний момент за заданими величинами номінальних потужності й обертів: $M_{ном} = \dfrac{P_{ном}}{0{,}105n_{ном}}\left[Н \cdot м\right]$.

2) Визначаємо критичний момент за визначеним номінальним моментом і величиною λ*, що задана в таблиці:* $M_{кр} = \lambda M_{ном}\left[Н \cdot м\right]$.

3) Визначаємо критичне ковзання за формулою: $\mathrm{S}_{кр} = S_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$.

4) Визначаємо момент на валу для різних величин ковзання S *за формулою:* $M = \dfrac{2M}{S/S_{кр} + S_{кр}/\mathrm{S}}\left[Н \cdot м\right]$*, для визначення пускового моменту підставляємо* $S = 1$.

5) Визначаємо зміну моменту на валу при зміні напруги виходячи з того, що момент пропорційний квадрату напруги $M \approx U^2$.

6) Визначаємо активну потужність на затискачах електродвигуна P_1*:* $P_1 = P/\eta\left[Вт\right]$.

7) Визначаємо повну потужність на затискачах електродвигуна: $S = \frac{P_1}{\cos\varphi}\,[BAp]$*; номінальний струм:* $I_H = \frac{S}{U_\Phi}$*; пусковий струм:* $I_П = \beta I_H$

Матеріал викладено в електронному учбовому посібнику „Курс електротехніки”, Васютін В.Д., Фіалковський О.Т., КДАВТ, Київ, 2006, а також у: М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. Общий курс электропривода. М. Энергоиздат, 1981; М.М. Кацман. Справочник по электрическим машинам. М. Издательский центр "Академия" , 2005.

Практична робота № 8

Асинхронний трифазний електродвигун з короткозамкненим ротором при схемі ввімкнення фазних обмоток статора “зіркою” і лінійною напругою в мережі 380 В має наступні дані при номінальному режимі навантаження: P_H – потужність на валу; s_H – ковзання ротора; η_H – ККД; cos φ_H – коефіцієнт потужності у фазі статора. Крім того, відомі число полюсів $2p$ і відношення:

а) пускового струму до номінального $I_П / I_H = \beta$;

б) критичного обертаючого моменту до номінального $M_{кр} / M_{ном} = \lambda$

Визначити*:*

1) Обертаючі моменти електродвигуна: номінальний, пусковий і критичний;
2) Потужність на затисках електродвигуна і струми номінальний і пусковий;
3) Номінальну частоту обертання ротора n_H;
4) Критичне ковзання s_{KP} і момент на валу M при величинах ковзання s = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0.
5) Пусковий обертаючий момент і струм у випадку пуску при напрузі, знижений на 10% проти номінальної.

Побудувати залежність моменту на валу від величини ковзання *M = f(s).*

Варіанти до практичної роботи № 8

Варіант	P_H, кВт	s_H, %	η_H, %	cos φ_H	$I_П / I_H$	M_{KP} / M_H	$2p$
0	40	2,35	90	0,91	5,5	2,4	2
1	55	2,32	90,5	0,91	5	2,2	2
2	75	2,35	91	0,92	5,5	2,4	2
3	100	1,65	91,5	0,92	5,5	2,2	2
4	130	1,65	92	0,92	5,5	2,2	2

5	14	3	87	0,84	4,5	2	6
6	20	3	88	0,85	4,5	2	6
7	28	2,5	89	0,87	5	2,3	6
8	40	2,5	90	0,86	5,55	2,4	6
9	55	2	91	0,88	5	2	6
10	6	5	82	0,83	5,3	2,2	4
11	11	5,66	84	0,83	6,1	2,2	4
12	25	4,33	88	0,89	5,1	2,1	4
13	32	4	88	0,87	5,2	2,1	4
14	115	2,66	88,5	0,79	6	2,25	4
15	95	3,66	88	0,83	5,5	2	4
16	35	2	85	0,74	5,5	2	8
17	45	2	87	0,74	5,5	2,1	8
18	72	2	83	0,7	4,8	2,2	8

Тема № 5
Двигун постійного струму

Методика розв'язання практичної роботи:

1) Визначаємо величину $C_e\Phi = \frac{U\text{-}R_я(I_{ном}\text{-}I_0)}{n_{ном}}$, *де* I_0 *- струм холостого ходу.*

2) Визначаємо величину $C_м\Phi = \frac{60}{2\pi}C_e\Phi$.

3) Визначаємо момент на валу при різних силах струму за формулою $M = C_м\Phi(I\text{-}I_0)$.

4) Визначаємо кількість обертів при тих самих струмах: $n = \frac{U - R_я(I - I_0)}{C_e\Phi}$.

5) Визначаємо коефіцієнт корисної дії двигуна при певному моменті M на валу наступним чином: $\eta = (M - M_0)/M$, *де* M_0 *- момент холостого ходу.*

6) Потрібну величину пускового опору визначаємо з формули , що визначає струм якоря: $I = \frac{U - E_я}{R + R_n}$. *Оскільки в момент пуску якір ще не обертається, індукована в обмотках якоря е.р.с.* $E_я = 0$. *Тому* $R_n = \frac{U - I_nR}{I_n}$.

Практична робота № 9

Електродвигун постійного струму паралельного збудження має при напрузі в мережі 220 В номінальний струм I_H, номінальну частоту обертання n_H і струм холостого ходу I_0. Сумарний опір обмотки якоря і допоміжних полюсів $R_Я$, опір ланцюга збудження R_B.

Визначити:

1) ККД при струмах, що складають 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 і 1,25 від номінального;
2) Частоту обертання двигуна при тих самих струмах;
3) Обертаючий момент на валу двигуна в умовах пп. 1 і 2;
4) Опір пускового реостату, при якому початкове значення пускового струму дорівнює подвійному значенню номінального струму якоря.

Накреслити електричну схему ввімкнення двигуна і побудувати в одних осях координат характеристики: $n = f_1(I_Я)$; $M = f_2(I_Я)$; $\eta = f_3(I_Я)$.

Варіанти до практичної роботи № 9

Варіант	I_H, А	n_H, об/хв	I_0, А	$r_Я$, Ом	r_B, Ом
0	110	1550	6	0,09	74
1	73	1100	4	0,14	110
2	46	800	3	0,28	220
3	178	1580	9	0,06	44
4	113	980	6	0,09	74
5	83	770	4	0,12	88
6	238	1600	12	0,04	40
7	152	1000	8	0,07	55
8	103	770	5	0,09	74
9	346	1480	18	0,03	40
10	106	600	5	0,11	48
11	33,5	750	2	0,55	154
12	169	750	8	0,02	31,8
13	43	1000	3	0,33	136
14	219	1000	10	0,05	48
15	25,4	1500	2	0,78	228
16	73,5	1500	5	0,13	116
17	381	1500	20	0,01	32
18	33	3000	2	0,36	280

Рекомендована література

1) Електронний учбовий посібник „Курс електротехніки”, Васютін В.Д., Фіалковський О.Т., КДАВТ, Київ, 2006.
2) Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Ленинград, Энергоиздат, 1981.
3) А.С. Касаткин, М.В.Немцов. Электротехника. Учебное пособие для вузов. 4-е изд. Москва, Энергоатомиздат, 1983.
4) Иванов, Равдоник В.С. Электротехника. Учебное пособие для вузов. Москва, Высшая школа, 1984.
5) Кауфман, А. Сидман. Практическое руководство по расчетам схем в электронике. Том 1. Справочник в двух томах. Москва, Энергоатомиздат, 1991.
6) М.Г.Чиликин, А.С. Сандлер. Общий курс электропривода. М. Энергоиздат, 1981.
7) М.М. Кацман. Справочник по электрическим машинам. М. Издательский центр "Академия" , 2005.

Додаток. Приклад оформлення титульної сторінки

Міністерсво освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»

Кафедра АтаКІТ
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Гр. ПМ – 141

Практичні завдання
з дисципліни «Електротехніка та мікропроцнсорна техніка»
(Назва теми практичного завдання)

ВИКОНАВ: ____ *студент групи*
(п*ідпис студента)*

ПЕРЕВІРИВ: _____Шавурський Ю.О.__
(*оцінка, дата*, п*ідпис викладача,)*

Житомир
2021н.р.