

Міністерство освіти і науки України

Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

Кафедра комп'ютерної інженерії

Методичні вказівки до вивчення дисципліни
«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ»
для студентів заочної форми навчання
за напрямом 6.050102 «Комп'ютерна інженерія»



Полтава 2009

Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Теорія електричних кіл» для студентів заочної форми навчання за напрямом 6.050102 «Комп'ютерна інженерія». – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 29 с.

Укладачі: О.І. Тиртишніков, в.о. завідувача кафедри комп'ютерної інженерії, кандидат технічних наук, доцент
Ю.М. Корж, ст. викладач кафедри комп'ютерної інженерії

Відповідальний за випуск: О.І. Тиртишніков

Рецензент: к.т.н., доцент М.Б. Нікулін

Затверджено науково-методичною
радою університету
Протокол №3 від 24.12 2009 р.

Коректор

Є.В. Найчук

ВСТУП

Мета й завдання дисципліни

Метою вивчення дисципліни «Теорія електричних кіл» є формування знань у студентів щодо найбільш важливих понять, що є фундаментальними для більшості професійно-орієнтованих дисциплін, як-то: методи розрахунку, аналізу і синтезу зосереджених та розподілених електричних кіл, частотні характеристики дво- і чотириполюсників.

Предметом дисципліни є аналіз та синтез електричних кіл. Дисципліна забезпечує формування початкових навичок аналізу та розрахунку електричних кіл для розв'язання завдань за спеціальністю.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

знати:

- загальні поняття, визначення, формулювання законів теорії електричних кіл;
- методи розрахунку електричних кіл середньої складності;
- аналіз проходження детермінованих сигналів через лінійні та нелінійні кола;
- загальні положення про синтез електричних кіл із відомими характеристиками;
- принципи дії окремих схем радіоелектронної апаратури;

уміти:

- виконувати розрахунки усталеного режиму в лінійному електричному колі, в якому діють джерела постійних, синусоїдальних чи несинусоїдальних сигналів;
- виконувати розрахунки перехідних процесів у лінійному електричному колі за нульових і ненульових початкових умов;
- виконувати розрахунки нелінійних електричних та магнітних кіл із використанням графічних або числових методів.

Попередні умови: дисципліна «Теорія електричних кіл» є нормативною в навчальному плані підготовки бакалаврів із базовою вищою освітою за напрямом підготовки «Комп'ютерна інженерія» – 6.050102 для всіх спеціальностей. «Теорія електричних кіл» вивчається в 2-му й 3-му семестрі для заочної форми навчання і базується на дисциплінах «Вища математика» та «Фізика».

Головним завданням дисципліни є формування у студентів знань, навичок і вмінь, що забезпечують розв'язання фахових завдань із застосуванням методів аналізу та синтезу електричних кіл.

Зміст матеріалу дозволяє: ознайомитись із законами електричних кіл, методами аналізу в часовій і частотній області, одержати практичні навички синтезу активних RC-фільтрів.

У другому семестрі студенти виконують контрольну роботу та складають залік. У третьому семестрі формою контролю є курсова робота й екзамен.

При вивченні окремих модулів і тем «Теорії електричних кіл» рекомендується:

1. Уважно прочитати методичні вказівки.
2. Отримати рекомендовану літературу.
3. Вивчити та законспектувати матеріал відповідної теми, запам'ятати й усвідомити нові поняття.
4. Відповісти для самоперевірки на відповідні питання до заліку чи екзамену.

1. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Блок змістових модулів №1. Теорія лінійних електричних кіл

Змістовий модуль №1. Теорія лінійних електричних кіл

Основні поняття про топологію електричних кіл, елементи, струми та напруги. Практичне використання законів Кірхгофа. Загальна методика розрахунку послідовно-паралельних кіл.

Змістовий модуль №2. Електричні кола постійного струму

Методи розрахунку складних лінійних електричних кіл. Основні теореми теорії електричних кіл, розрахунок електричних кіл із застосуванням основних теорем теорії електричних кіл.

Змістовий модуль №3. Електричні кола синусоїдального та несинусоїдального струму

Загальні поняття, параметри, характеристики лінійних електричних кіл при дії гармонічного коливання. Символічний метод аналізу електричного кола при гармонічній дії. Розрахунок лінійних електричних кіл при гармонічній дії.

Фізичні процеси у паралельному та послідовному коливальних контурах. Фізичні процеси у зв'язаних коливальних контурах. Розрахунок частотної характеристики поодиноких і зв'язаних коливальних контурів.

Вільні та перехідні процеси у колах з одним реактивним елементом. Вільні та перехідні процеси у коливальних контурах. Коливання в найпростіших електричних колах при імпульсних впливах. Розрахунок електричних кіл із застосуванням класичного методу аналізу. Перетворення Лапласа, L-зображення конкретних функцій та операцій. Застосування перетворення Лапласа для аналізу електричних кіл. Розрахунок електричних кіл операторним методом.

Спектральний метод аналізу. Розрахунок відгуку електричного кола частотним методом.

Аналіз проходження детермінованих сигналів через лінійні кола з використанням перехідних та імпульсних характеристик.

Блок змістових модулів №2. Синтез електричних кіл

Змістовий модуль №4. Лінійні електричні кола

Класифікація двополюсників. Реактивні двополюсники. Теорема Фостера. Класифікація чотиріполюсників. Власні параметри чотиріполюсників. Характеристичні і робочі параметри чотиріполюсників. Найпростіші та складні чотиріполюсники. Особливості розрахунку і синтезу чотиріполюсників.

Змістовий модуль №5. Синтез електричних кіл

Класифікація електричних фільтрів. Умови пропускання реактивного фільтра. LC-фільтри. Активні RC-фільтри. Особливості аналізу та синтезу фільтрів. Розрахунок LC і RC-фільтрів.

Рівняння передачі, параметри довгої лінії. Режими роботи довгих ліній, розрахунок основних параметрів довгих ліній.

Блок змістових модулів №3. Теорія нелінійних електричних кіл

Змістовий модуль №6. Теорія нелінійних електричних кіл

Нелінійні системи та їх характеристики. Апроксимація ВАХ нелінійних елементів. Методи розрахунку нелінійних електричних кіл.

Змістовий модуль №7. Усталені та перехідні процеси в нелінійних електричних колах

Нелінійні електричні кола в режимі без відсікання струму. Перехідні процеси в нелінійних електричних колах. Нелінійні кола при гармонічній дії. Проходження гармонічних коливань через нелінійне коло з відсічкою струму.

Змістовий модуль №8. Теорія коливань

Електричні кола зі зворотнім зв'язком. Поняття і класифікація видів зворотного зв'язку. Властивості лінійної системи зі зворотнім зв'язком. Генерування гармонічних коливань. Умови самозбудження.

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ «РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО, СИНУСОЇДАЛЬНОГО ТА НЕСИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ»

Метою контрольної роботи є перевірка ступеня засвоєння методів та навичок розрахунку найпростіших і складних ЕК у режимах постійного, синусоїдального та несинусоїдального струму.

Для виконання контрольної роботи студент повинен знати:

- методи розрахунку ЕК драбинної структури;
- методи розрахунку складних ЕК;
- символічний метод аналізу ЕК синусоїдального струму;
- операторний метод аналізу ЕК при перехідних процесах.

Номер варіанта завдання збігається з номером у списку студентів класного журналу.

Рекомендована література

1. Коваль Ю.О., Гринченко Л.В., Милютченко І.О., Рибін О.І.. Основи теорії кіл. Ч.1: Навч. підручник. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 492 с.
2. Коваль Ю.О., Гринченко Л.В., Милютченко І.О., Рибін О.І.. Основи теорії кіл. Ч.2: Навч. підручник. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2008. – 560 с.

Завдання №1

РОЗРАХУНОК СКЛАДНИХ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МЕТОДАМИ ВУЗЛОВИХ НАПРУГ ТА КОНТУРНИХ СТРУМІВ

Зміст і порядок виконання завдання

1. Зобразити схему електричного кола відповідно до заданого варіанта.
2. Вибрати та вказати додатні напрямки струмів у гілках і напруг на елементах схеми.
3. Перетворити схему заданого кола (якщо це необхідно) до простішої. В перетвореній схемі зберегти раніше вибрані напрямки струмів та їх умовну нумерацію.
4. Визначити струми в гілках еквівалентної схеми і падіння напруги на елементах.

Приклад 1. Задано електричне коло (рис. 1.1) з параметрами: $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, $R_4 = R_5 = 10 \text{ Ом}$, $E_1 = 100 \text{ В}$, $E_2 = 30 \text{ В}$.

Визначити струм у гілках та напруги на елементах схеми методом контурних струмів.

Розв'язання:

1. Задаємо додатній напрямок струмів у гілках, позначаємо напруги на елементах схеми. Приводимо схему до більш наглядної конфігурації.

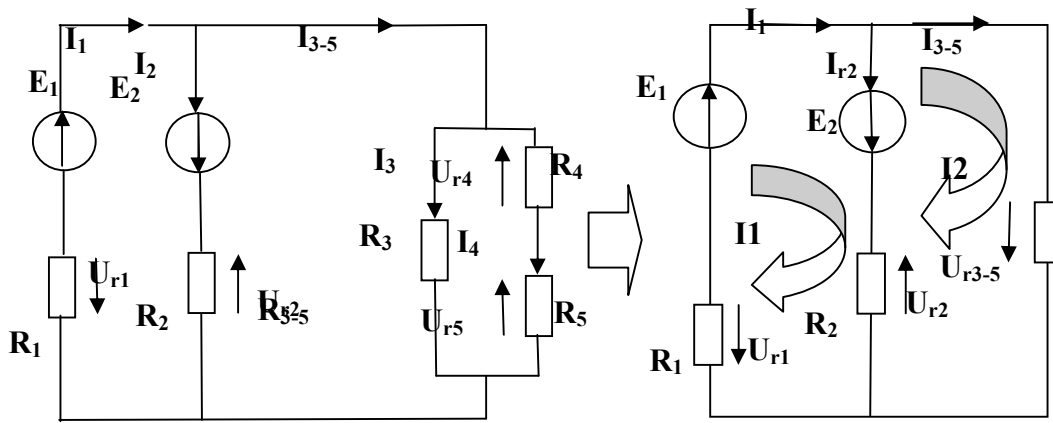


Рисунок 1.1

2. Вибираємо напрямок контурних струмів.

3. Визначаємо кількість незалежних рівнянь

$$N_{\text{мкс}} = N_e - N_B + 1 = 5 - 4 + 1 = 2,$$

де N_e – кількість елементів кола, N_B – кількість вузлів кола.

4. У лівій частині рівняння записуються:

а) зі знаком «плюс» добуток контурного струму на власний опір контура;

б) зі знаком «мінус» добуток контурного струму другого контуру на взаємний опір між цим контуром і контуром, який розглядається, якщо контурні струми протилежно направлені;

в) зі знаком «плюс» – коли мають один напрямок.

5. У правій частині рівняння записується алгебраїчна сума ЕРС, які діють в даному контурі, причому зі знаком «плюс» входять ЕРС напрямком відліку, яких співпадає з напрямком контурного струму.

Отримана система рівнянь

$$I_1(R_1 + R_2) - I_2R_2 = E_1 + E_2$$

$$-I_1R_2 + I_2(R_2 + R_{3-5}) = -E_2.$$

Контурні струми визначаємо за методом Крамера

$$I_1 = \Delta_1/\Delta; I_2 = \Delta_2/\Delta,$$

де

$$\Delta = \begin{vmatrix} 15 & -5 \\ -5 & 15 \end{vmatrix} = 225 - 26 = 200;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 130 & -5 \\ -30 & 15 \end{vmatrix} = 1950 - 150 = 1800;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 15 & 130 \\ -5 & -30 \end{vmatrix} = -450 + 650 = 200.$$

Звідси

$$I_2 = \frac{200}{200} = 1\text{A};$$

$$I_1 = \frac{1800}{200} = 9\text{A}.$$

Дійсні струми в гілках:

$$I_1 = I_1 = 9 \text{ A}; I_2 = I_1 - I_2 = 8 \text{ A}; I_{3-5} = I_2 = 1 \text{ A}; I_3 = I_4 = I_{3-5}/2 = 0,5 \text{ A}.$$

Напруги на елементах:

$$U_{R1} = I_1 R_1 = 9 \cdot 10 = 90 \text{ В}; U_{R2} = I_2 R_2 = 8 \cdot 5 = 40 \text{ В}; U_{R3} = I_3 R_3 = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ В};$$

$$U_{R4} = I_4 R_4 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ В}; U_{R5} = I_4 R_5 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ В}.$$

Приклад 2: Задано електричне коло (рис. 1.2) з параметрами: $R_1 = 6 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_4 = R_8 = 100 \text{ Ом}$; $R_6 = R_7 = 5 \text{ Ом}$; $R_5 = 10 \text{ Ом}$; $I = 0,5 \text{ А}$; $E = 12 \text{ В}$.

Визначити струм у гілках та напруги на елементах схеми методом вузлових напруг.

Розв'язання:

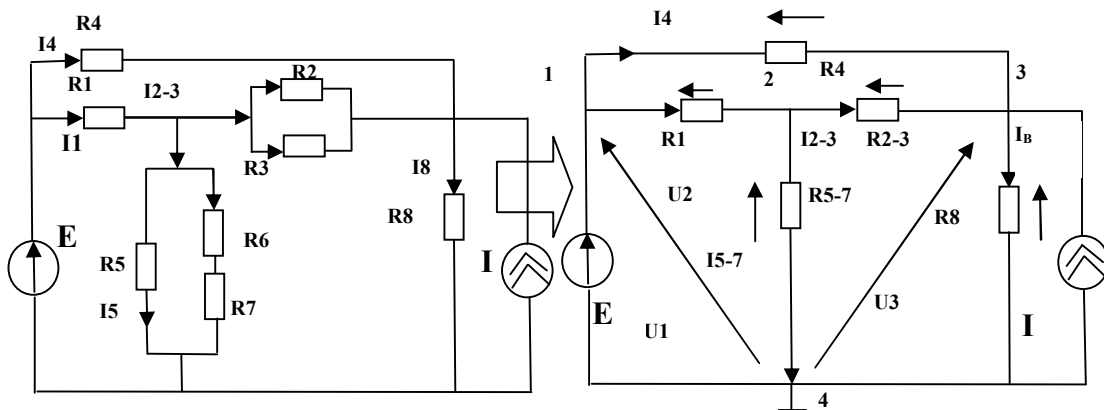


Рисунок 1.2

1. Визначаємо кількість незалежних рівнянь, які можна скласти,

$$N_{\text{МВН}} = N_{\text{В}} - 1,$$

де $N_{\text{В}}$ – кількість вузлів у колі.

Якщо в колі присутня $N_{\text{Н}}$ джерел ЕРС, підключених до базисного вузла, то кількість рівнянь, складених за МВН, може бути зменшена на $N_{\text{Н}}$, тобто $N_{\text{МВН}} = N_{\text{В}} - 1 - N_{\text{Н}}$.

2. Позначимо вузли цифрами, вибираємо базисний вузол, напруга базисного вузла дорівнює 0 (вузол 4).

3. Позначимо вузлові напруги U_1, U_2, U_3 .

4. Складаємо систему рівнянь:

а) у ліву частину рівнянь k -го вузла зі знаком «плюс» входить добуток k -ї вузлової напруги на власну провідність k -го вузла, всі інші складові мають знак «мінус» і є добутком напруги відповідного вузла на взаємну провідність між даним і k -м вузлом;

б) у праву частину рівняння k -го вузла входить алгебраїчна сума заданих струмів джерел, підключених до цього вузла, причому зі знаком «плюс» беруть струми, орієнтовані до вузла.

$$\begin{cases} -\frac{1}{R_1}U_1 + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{57}}\right)U_2 - \frac{1}{R_{23}}U_3 = 0 \\ -\frac{1}{R_4}U_1 - \frac{1}{R_{23}}U_2 + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_8}\right)U_3 = I \end{cases} \quad \begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{57}}\right)U_2 - \frac{1}{R_{23}}U_3 = \frac{1}{R_1}U_1 \\ -\frac{1}{R_{23}}U_2 + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_8}\right)U_3 = I + \frac{1}{R_4}U_1 \end{cases}$$

$U_1 = E = 12 \text{ В}$, тому рівняння можна записати у вигляді

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)U_2 - \frac{1}{5}U_3 = 2 \\ -\frac{1}{5}U_2 + \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10}\right)U_3 = 0,5 + 1,2 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{17}{30}U_2 - \frac{1}{5}U_3 = 2 \\ -\frac{1}{5}U_2 + \frac{2}{5}U_3 = 1,7 \end{cases}$$

Розв'яжемо систему рівнянь.

Вузлові напруги визначаємо за методом Крамера

$$U_2 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad U_3 = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

де

$$\Delta = \begin{vmatrix} 17 & -6 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = 34 - 6 = 28, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 60 & -6 \\ 8,5 & 2 \end{vmatrix} = 120 + 51 = 171, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 17 & 60 \\ -1 & 8,5 \end{vmatrix} = 144,5 + 60 = 204,5.$$

Звідси

$$U_2 = \frac{171}{28} = 6,1 \text{ В}; \quad U_3 = \frac{204,5}{28} = 7,3 \text{ В}.$$

Напруги на елементах:

$$U_{R_1} = U_1 - U_2 = 12 - 6,1 = 5,9 \text{ В}; \quad U_{R_{23}} = U_2 - U_3 = 6,1 - 7,3 = -1,2 \text{ В};$$

$$U_{R_2} = U_{R_3} = U_{R_{23}} = -1,2 \text{ В}; \quad U_{R_4} = U_1 - U_3 = 4,7 \text{ В};$$

$$U_{R_5} = U_{R_{67}} = U_{R_{547}} = 6,1 \text{ В}; \quad U_{R_{57}} = U_2 = 6,1 \text{ В};$$

$$U_{R_6} = U_{R_7} = \frac{U_{R_{67}}}{2} = 3,05 \text{ В}; \quad U_{R_8} = U_3 - U_4 = 7,3 \text{ В}.$$

Струми в гілках:

$$I_1 = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{5,9}{6} = 0,98 \text{ А}; \quad I_{23} = \frac{U_{R_{23}}}{R_{23}} = \frac{-1,2}{5} = -0,24 \text{ А}; \quad I_2 = I_3 = \frac{I_{23}}{2} = -0,12 \text{ А};$$

$$I_{37} = \frac{U_{R_{57}}}{R_{57}} = \frac{6,1}{5} = 1,22 \text{ А}; \quad I_4 = \frac{U_{R_4}}{R_4} = \frac{4,7}{10} = 0,47 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{R_5}}{R_5} = 0,61 \text{ А};$$

$$I_6 = I_7 = \frac{U_{R_{67}}}{R_{67}} = \frac{6,1}{10} = 0,61 \text{ А}; \quad I_8 = \frac{U_{R_8}}{R_8} = \frac{7,3}{10} = 0,73 \text{ А}.$$

Перевірка правильності розрахунків проводиться за першим законом Кірхгофа для розрахунків за МВН та другим законом Кірхгофа для розрахунків за МКС.

Вихідні дані.**МЕТОД КОНТУРНИХ СТРУМІВ**

Варіант	Рисунок	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом	E1, В	E2, В
1	1	10	5	15	10	10	60	100
2	2	10	20	30	20	20	40	20
3	3	20	30	40	20	20	30	40
4	4	5	20	30	30	10	80	120
5	5	10	20	40	40	30	20	60
6	6	20	10	20	10	20	50	100
7	7	10	5	30	30	5	70	110
8	8	20	10	50	50	5	90	30
9	9	40	20	30	60	60	100	40
10	10	10	20	8	8	6	10	20
11	11	40	20	60	80	10	140	60
12	12	5	7	3	6	6	20	40
13	13	5	10	12	12	4	30	60
14	14	10	20	20	5	15	50	20
15	15	20	10	40	25	15	80	40

МЕТОД ВУЗЛОВИХ НАПРУГ

Варіант	Рисунок	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом	R6, Ом	R7, Ом	R8, Ом	I1, А	I2, А	E, В
16	16	10	10	10	20	20	20	-	-	1	0,5	-
17	17	15	10	25	25	25	25	15	-	3	-	-
18	18	30	30	30	45	45	15	-	-	0,5	-	10
19	19	20	20	20	40	40	40	5	10	2	-	20
20	20	5	5	5	5	15	10	10	10	1	3	-
21	21	50	50	50	50	30	45	60	60	5	-	32
22	22	3	8	8	8	12	12	10	10	0,5	1	12
23	23	8	15	15	12	12	12	15	15	2	3	10
24	24	100	100	100	100	25	25	25	50	5	-	-
25	25	3	3	12	12	9	9	9	6	1,2	-	15
26	26	18	18	18	18	14	14	14	7	2	1	-
27	27	10	10	10	20	20	5	5	5	1	-	10
28	28	100	100	200	200	50	50	200	200	2	3	25
29	29	18	18	9	9	9	9	28	28	3	-	27
30	30	14	14	8	15	15	28	6	28	1	0,5	2

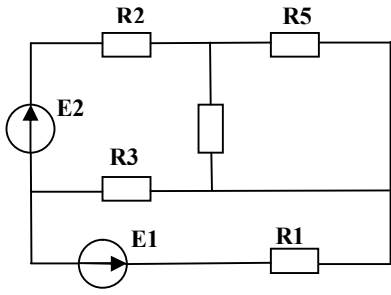


Рисунок 1

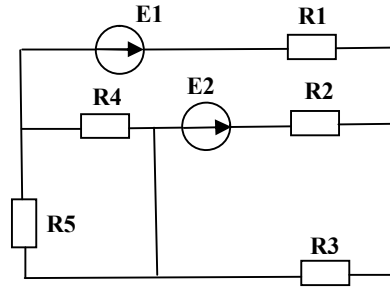


Рисунок 2

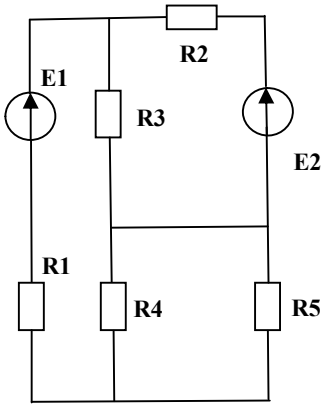


Рисунок 3

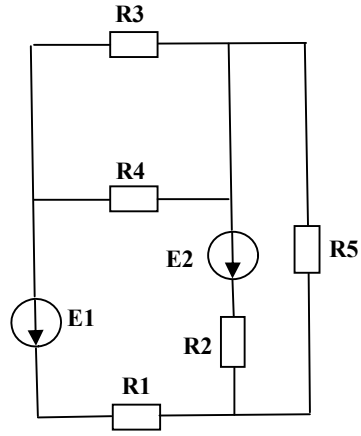


Рисунок 4

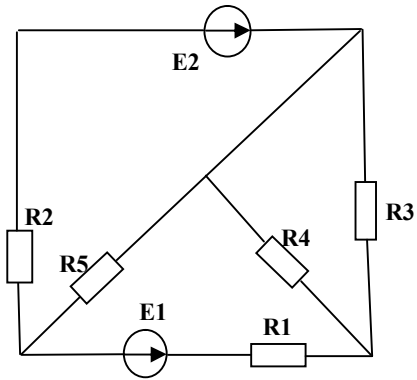


Рисунок 5

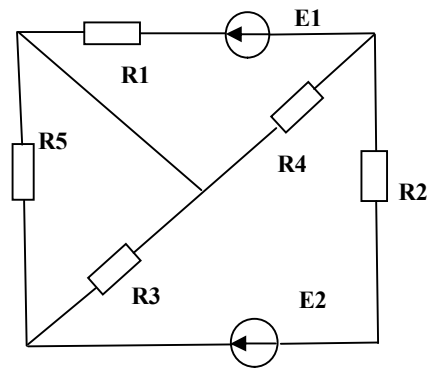


Рисунок 6

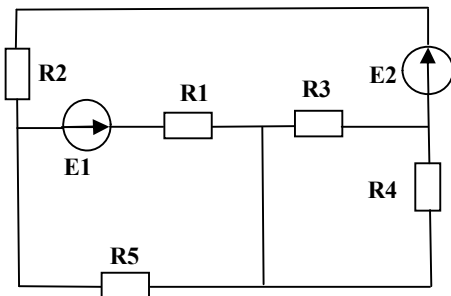


Рисунок 7

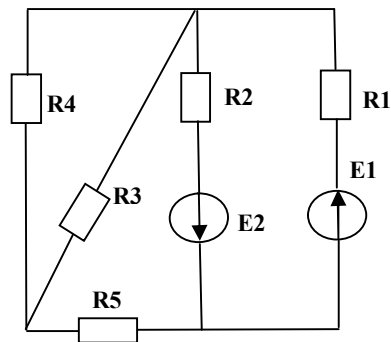


Рисунок 8

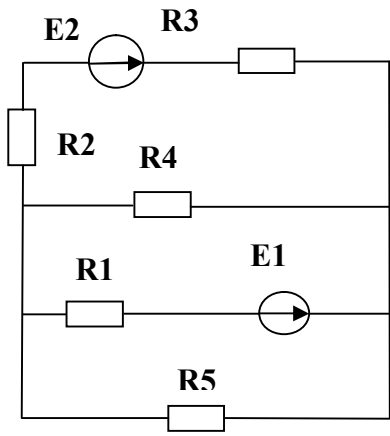


Рисунок 9

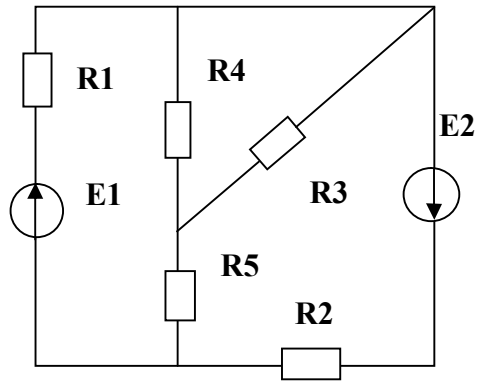


Рисунок 10

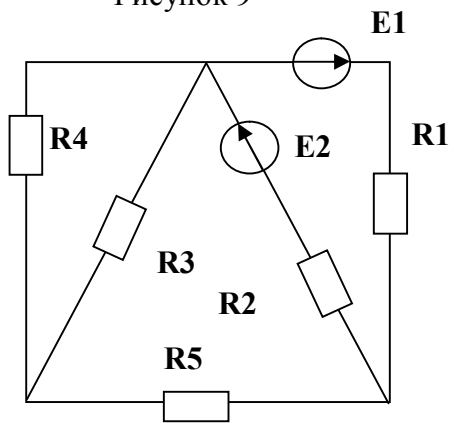


Рисунок 11

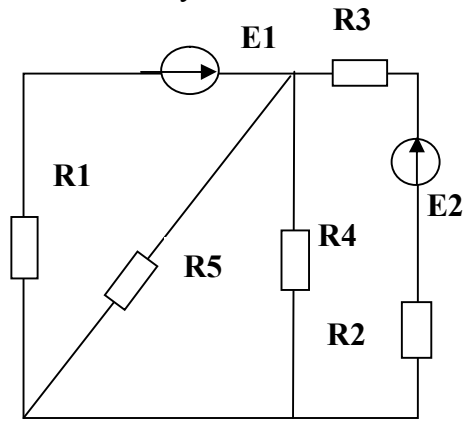


Рисунок 12

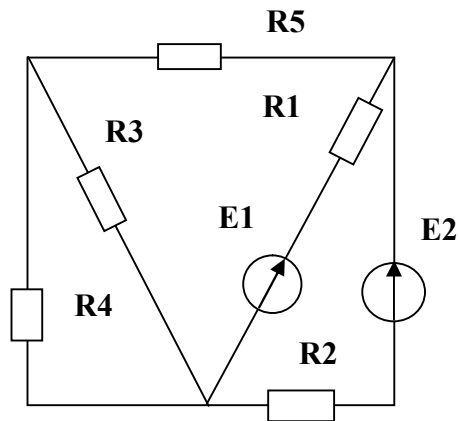


Рисунок 13

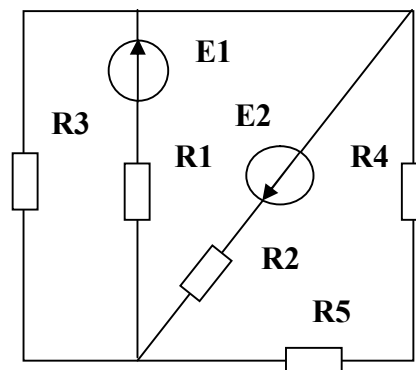


Рисунок 14

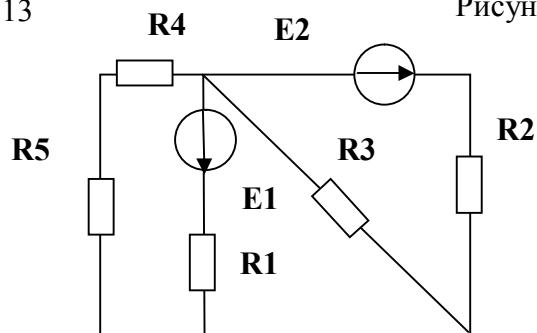


Рисунок 15

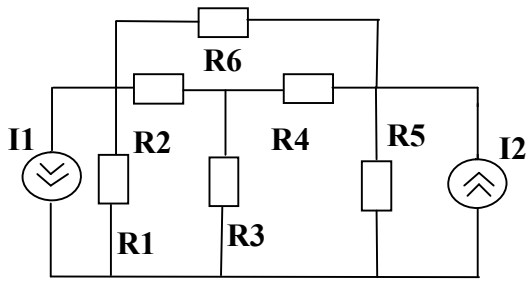


Рисунок 16

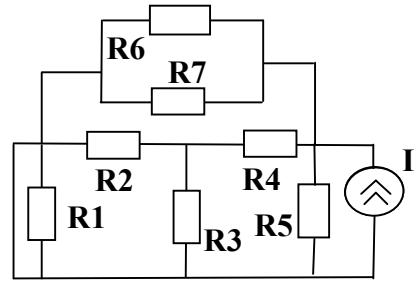


Рисунок 17

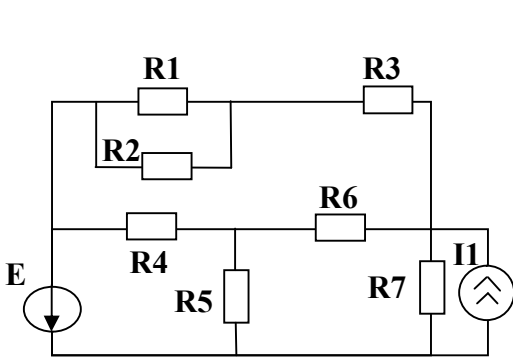


Рисунок 18

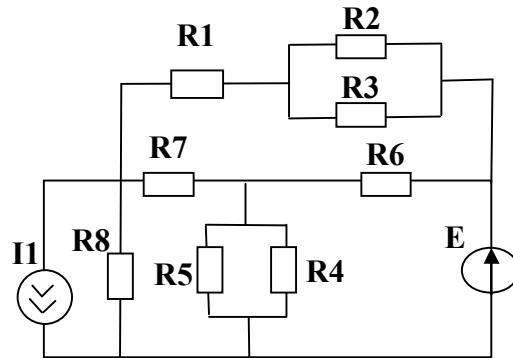


Рисунок 19

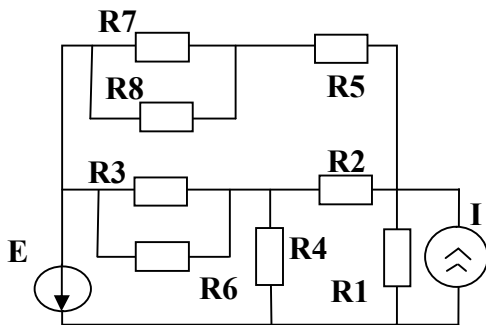


Рисунок 20

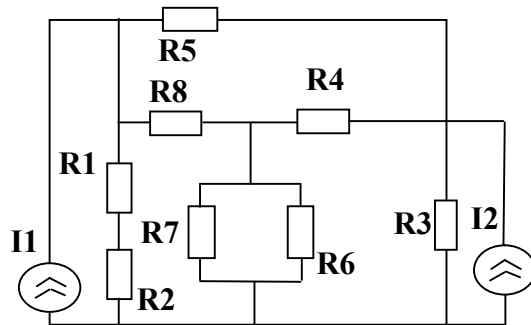


Рисунок 21

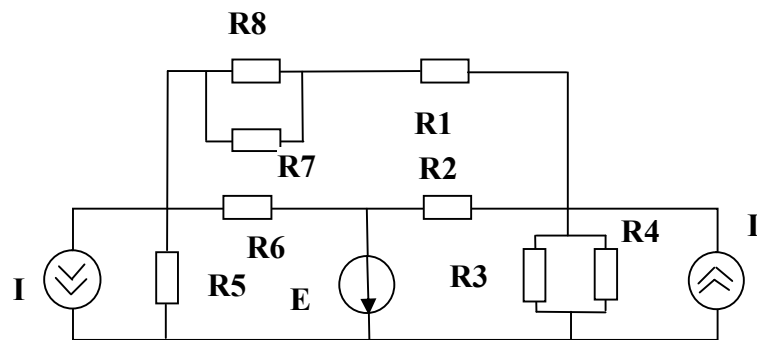


Рисунок 22

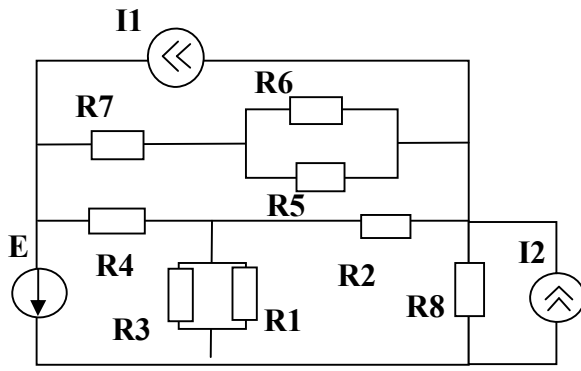


Рисунок 23

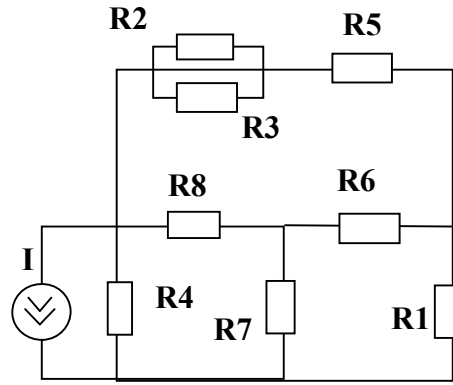


Рисунок 24

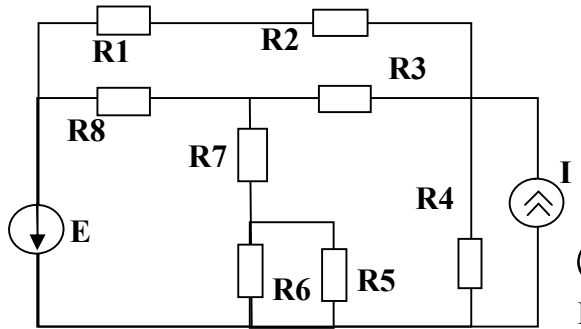


Рисунок 25

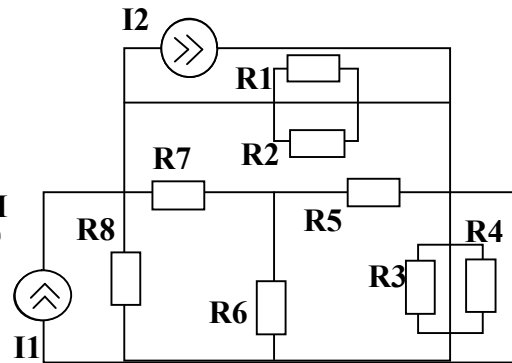


Рисунок 26

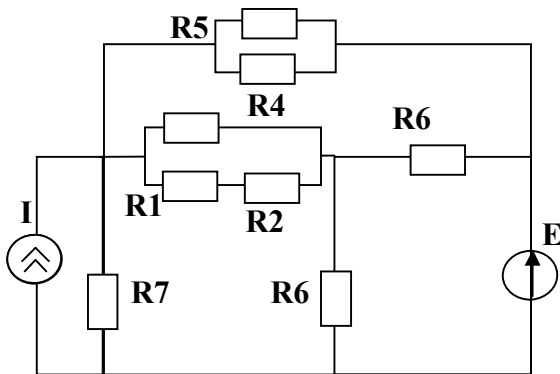


Рисунок 27

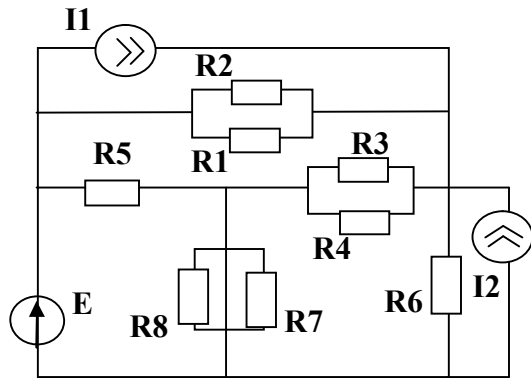


Рисунок 28

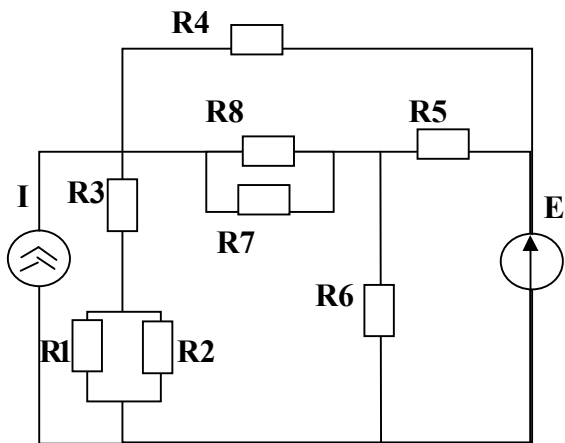


Рисунок 29

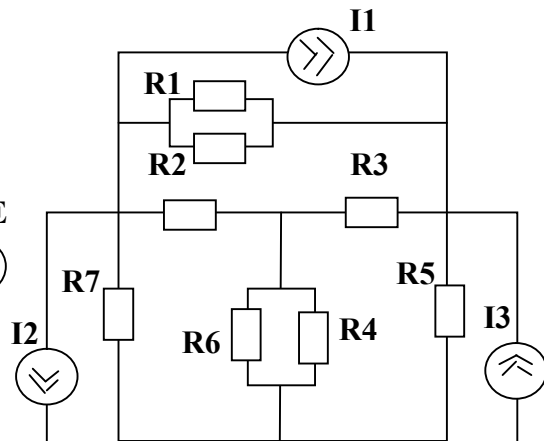


Рисунок 30

Завдання № 2

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ КЛАСИЧНИМ І ОПЕРАТОРНИМ МЕТОДАМИ

Зміст і порядок виконання завдання

1. Зобразити схему ЕК відповідно до заданого варіанта.
2. Розрахувати напруги і струми ЕК у перехідному режимі, використовуючи наведені в таблиці 2.1 значення елементів схеми. Розрахунки провести класичним і операторним методами.
3. Намалювати графік часової залежності визначених напруг (струмів). За одиницю виміру часу прийняти постійну часу ЕК.

Методика розв'язання задач знаходження реакцій лінійних ЕК класичним методом при перехідних процесах базується на використанні принципу суперпозиції (накладання), який завжди справедливий для лінійних ЕК. Згідно із цим принципом реакція ЕК (струм у будь-якій гілці, напруга на затискачах будь-якого елемента) представляється у вигляді двох складових – вільної та вимушеної.

Вільна складова визначається як загальне розв'язання однорідного інтегро-диференціального рівняння (вільні коливання), яке складається для даного ЕК після комутації з використанням першого й другого законів Кірхгофа.

Вимушена складова знаходиться за умови, що всі перехідні процеси закінчилися і ЕК знаходиться у новому (після комутації) стаціонарному стані. Причому враховується, що в стаціонарному стані опори елементів ємності дорівнюють нескінченності, а опори елементів індуктивності дорівнюють нулю.

Після визначення двох складових реакції розв'язання записується як сума цих складових і з початкових умов знаходяться постійні інтегрування. Для знаходження початкових значень напруг та струмів використовуються перший і другий закони комутації.

При розв'язанні задачі аналізу перехідних процесів операторним методом переходять, застосовуючи перетворення Лапласа, від інтегро-диференціального рівняння, складеного для ЕК, до рівняння алгебраїчного. При цьому оригінали струмів і напруг замінюються на їхні зображення, похідні та інтеграли від оригіналів відповідно перетворюються за формулами:

$$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = pf(\bar{p}) - f(0); \quad L\left[\int f(t)dt\right] = \frac{f(\bar{c})}{p},$$

де $L[]$ – символ перетворення Лапласа;

$f(p)$ – зображення функцій f , p -оператор Лапласа;

$f(0)$ – значення функцій f у момент комутації.

Після розв'язання алгебраїчного рівняння знаходять відповідний розв'язку оригінал, застосовуючи або таблиці відповідності, або метод розкладання.

Розглянемо приклад розрахунку перехідних процесів в ЕК класичним методом.

На рисунку 2.1 показано послідовне ЕК, яке складається з елементів $R1 = 0,5 \text{ Ом}$, $R2 = 1 \text{ Ом}$, $L = 1,5 \text{ мГн}$ і перемикача S . На ЕК діє джерело постійної напруги $E = 6 \text{ В}$.

Необхідно визначити закономірність зміни у часі струму ЕК після комутації (після розмикання перемикача S) та намалювати відповідну графічну залежність.

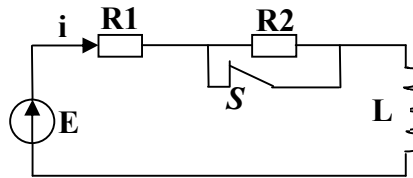


Рисунок 2.1

Згідно з вищевикладеною методикою визначаємо вільну і вимушену складову струму ЕК після комутації. Складова $i_{\text{вим}}$ легко знаходиться, враховуючи, що опір елемента індуктивності в режимі постійного струму дорівнює нулю.

$$i = \frac{E}{R1 + R2}.$$

Вільну складову знаходимо з розв'язку однорідного диференціального рівняння

$$(R1 + R2)i(t) + L \frac{di(t)}{dt} = 0.$$

Перетворюючи рівняння

$$\frac{di(t)}{i(t)} = \frac{(R1 + R2)}{L} dt$$

та інтегруючи ліву і праву частину, знаходимо

$$i(t) = C e^{-\frac{R1+R2}{L}t},$$

де C – постійна інтегрування.

Таким чином, загальний струм

$$i(t) = \frac{E}{R1 + R2} + C e^{-\frac{R1+R2}{L}t}.$$

Використовуючи початкову умову щодо моменту комутації, тобто при $t = 0$, $i(0) = E1/R1 = E1/(R1 + R2) + C$, знаходимо C

$$C = E \left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R1 + R2} \right) = E \frac{R2}{R1(R1 + R2)}.$$

Остаточне розв'язання записується у загальному вигляді як

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

Підставляючи значення елементів кола, отримаємо

$$i(t) = 4(1 + 2e^{-10^{-3}t}) \text{ А.}$$

Постійна часу ЕК $\tau = L/(R_1 + R_2) = 10^{-3}$ с.

Розглянемо розв'язок цього приклада операторним методом.

Складемо згідно з другим законом Кірхгофа рівняння після комутації.

$$U_{R_1} + U_{R_2} + U_L = E.$$

Перепишемо у вигляді

$$i(t)(R_1 + R_2) + L \frac{di(t)}{dt} = E.$$

Перейдемо від оригіналів до зображень

$$(R_1 + R_2)i(\bar{p}) + Li(p) - Li(0) = \frac{E}{p}.$$

Звідси зображення струму

$$i(\bar{p}) = \frac{\frac{E}{p} + Li(0)}{R_1 + R_2 + Lp}.$$

Враховуючи, що $i(0) = E/R_1$, використовуючи таблиці відповідності, знайдемо оригінал $i(t)$

$$i(t) = \frac{E}{R_1 + R_2} \left(1 - \ell^{-\frac{R_1 + R_2}{L} t} \right) + \frac{E}{R_1} \ell^{-\frac{R_1 + R_2}{L} t}.$$

Цей розв'язок збігається з розв'язком, отриманим класичним методом.

Графік отриманої залежності струму при перехідному процесі поданий на рисунку 2.2.

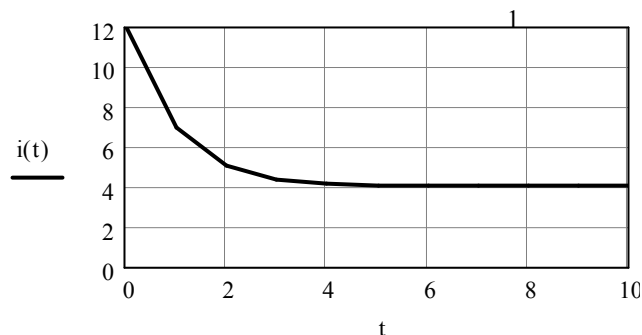


Рисунок 2.2

Таблиця 2.1

Варіант	E, В	L, Гн	C, мкФ	Шукана величина	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом
1	10	0,1		i_L, U_L	20	30	40
2	20		10	U_C, i_C	10	20	30
3	30	0,2		i_L, U_L	5	10	10
4	40		100	U_C, i_C	20	20	20
5	50	0,15		i_L, U_L	40	20	10
6	60	0,4		i_L, U_L	10	20	20
7	70		20	U_C, i_C	20	10	10
8	80		5	U_C, i_C	50	100	100
9	90		50	U_C, i_C	60	80	40
10	100		60	U_C, i_C	30	60	60
11	15	0,3		i_L, U_L	40	80	80
12	25	0,5		i_L, U_L	10	10	40
13	35	1		i_L, U_L	40	10	10
14	45		40	U_C, i_C	20	40	40
15	55	0,6		i_L, U_L	80	40	40
16	65	0,01		i_L, U_L	40	60	80
17	75		40	U_C, i_C	100	50	100
18	85		80	U_C, i_C	100	80	80
19	95	0,02		i_L, U_L	60	40	40
20	110	0,05		i_L, U_L	40	80	60
21	120	0,01		i_L, U_L	10	10	20
22	80	0,8		i_L, U_L	100	5	80
23	105	0,7		i_L, U_L	80	60	70
24	85	0,6		i_L, U_L	70	50	50
25	90	0,5		i_L, U_L	60	30	10
26	135	0,08		i_L, U_L	50	40	70
27	140	0,06		i_L, U_L	90	25	20
28	145	2		i_L, U_L	50	10	80
29	125		5	U_C, i_C	60	110	120
30	115		3	U_C, i_C	40	70	10

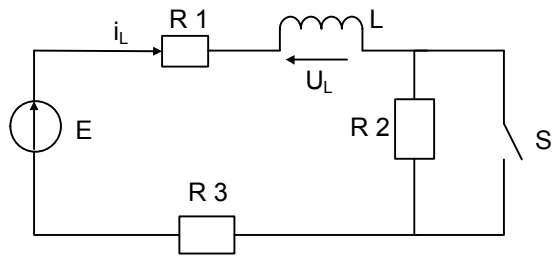


Рисунок 1

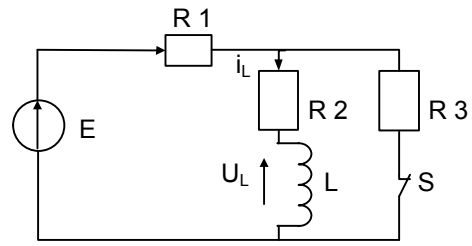


Рисунок 2

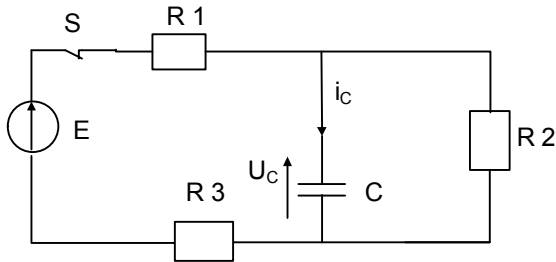


Рисунок 3

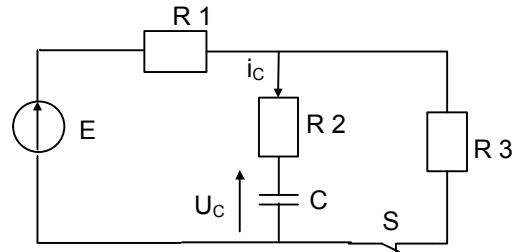


Рисунок 4

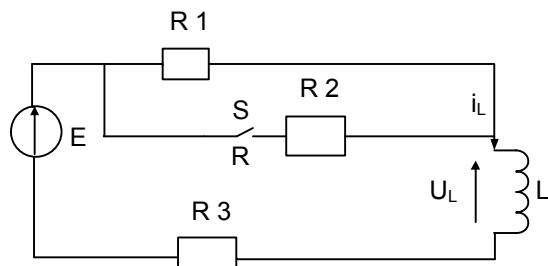


Рисунок 5

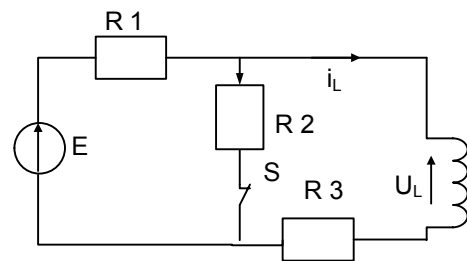


Рисунок 6

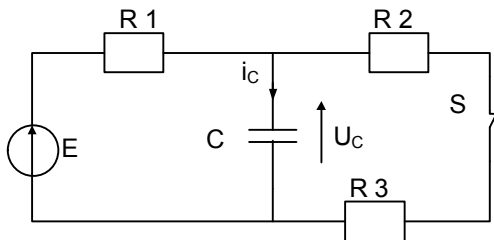


Рисунок 7

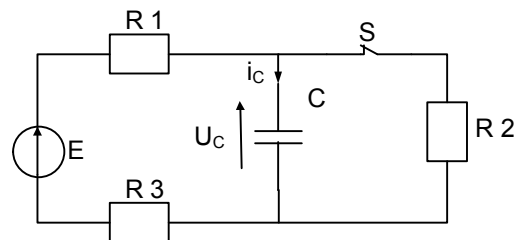


Рисунок 8

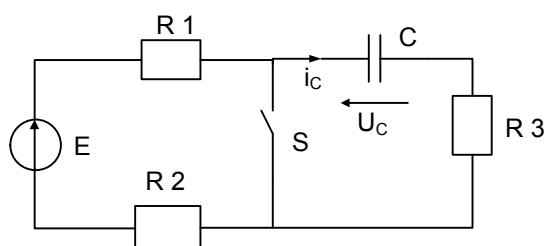


Рисунок 9

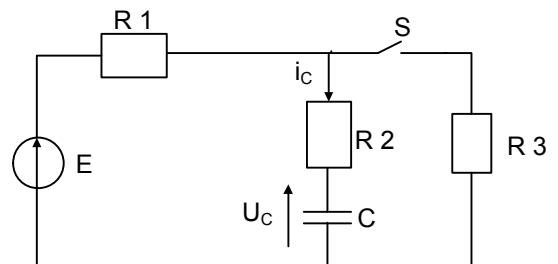


Рисунок 10

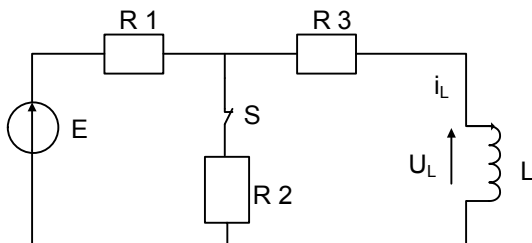


Рисунок 11

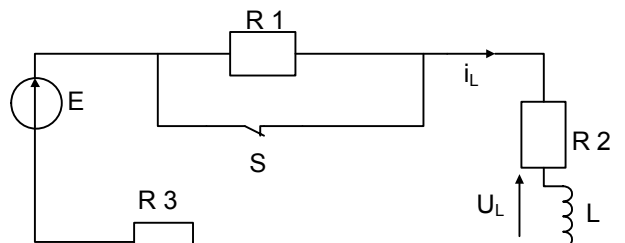


Рисунок 12

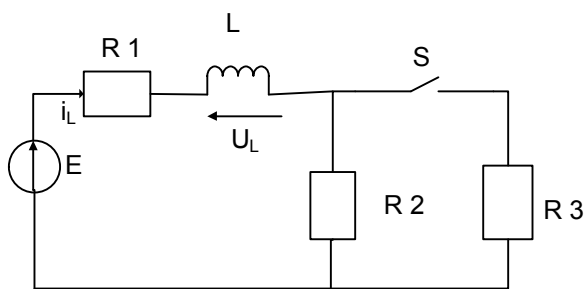


Рисунок 13

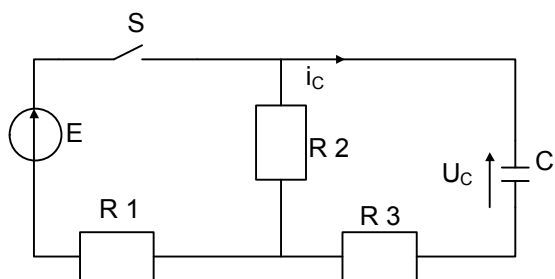


Рисунок 14

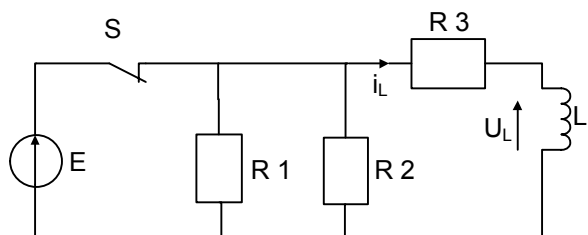


Рисунок 15

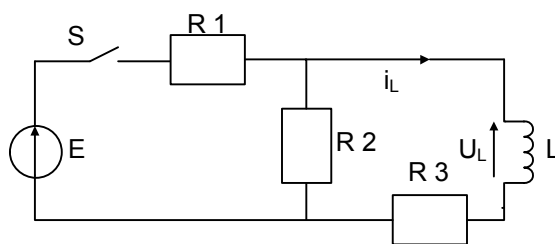


Рисунок 16

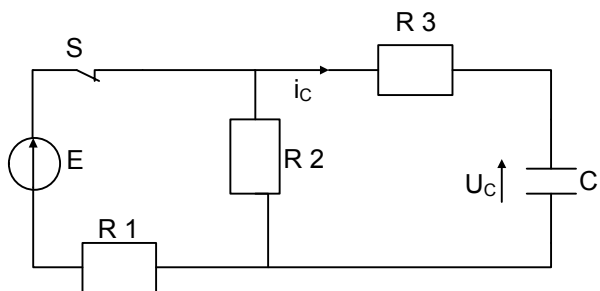


Рисунок 17

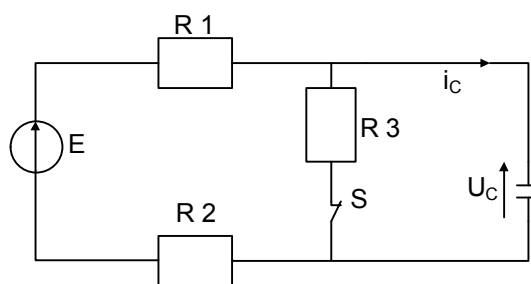


Рисунок 18

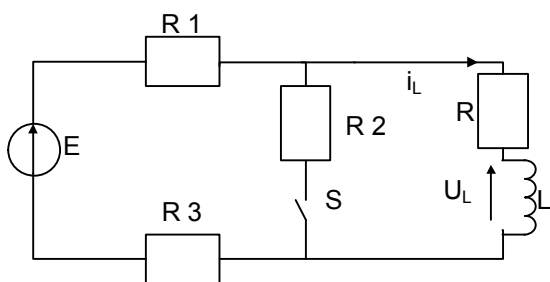


Рисунок 19

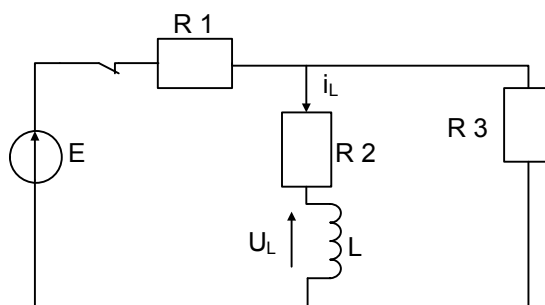


Рисунок 20

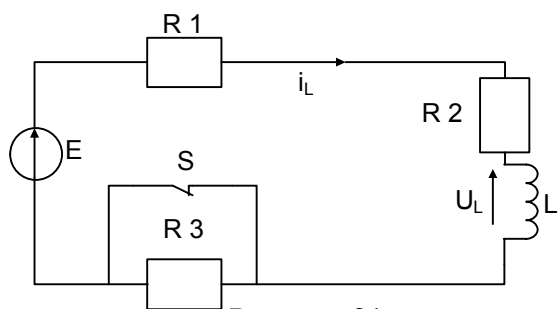


Рисунок 21

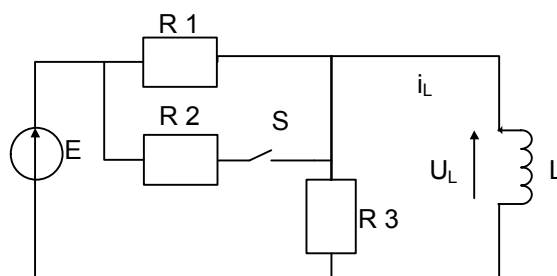


Рисунок 22

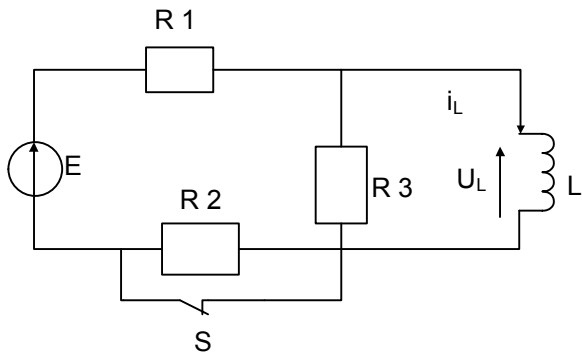


Рисунок 23

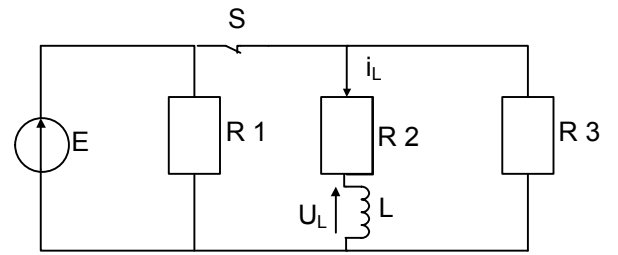


Рисунок 24

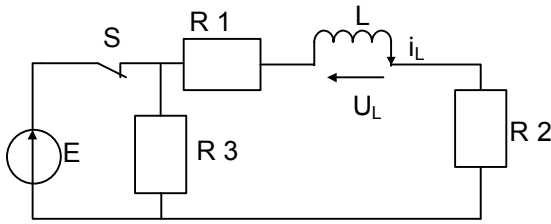


Рисунок 25

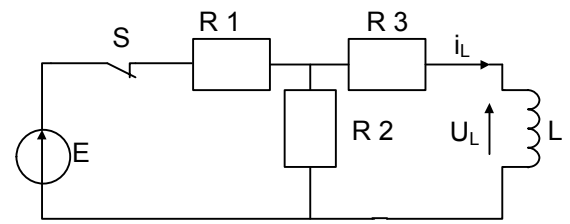


Рисунок 26

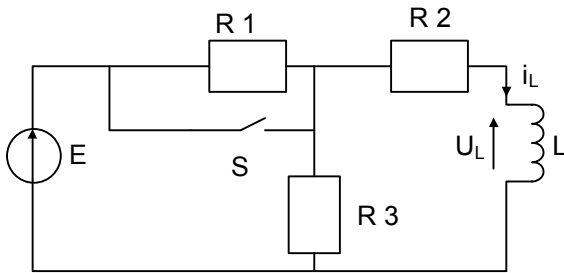


Рисунок 27

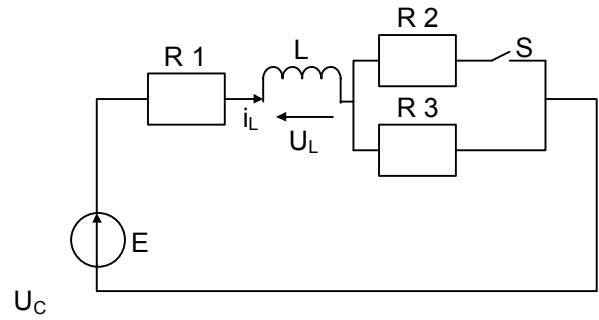


Рисунок 28

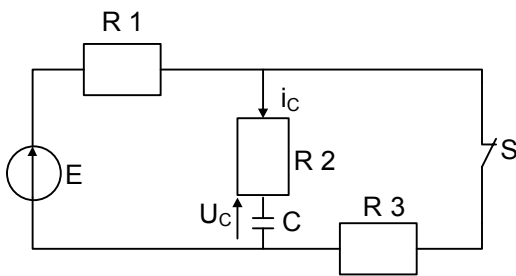


Рисунок 29

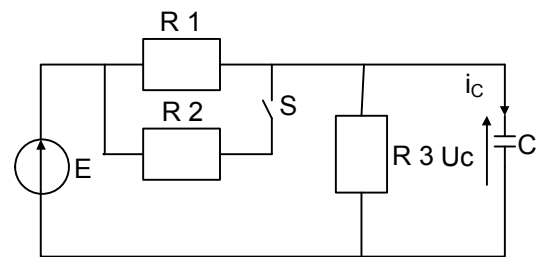


Рисунок 30

Завдання № 3

РОЗРАХУНОК ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА СИМВОЛІЧНИМ МЕТОДОМ У РЕЖИМІ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Зміст і порядок виконання завдання

1. Зобразити схему електричного кола відповідно до заданого варіанта.
2. Розрахувати напруги і струми ЕК у режимі синусоїдального струму на частотах f_1 та f_2 , використовуючи подані в таблиці 3.1 значення елементів схеми. Розрахунки здійснити символічним методом. Напруга, яка подається на ЕК, змінюється за законом

$$u(t) = 10 \cos(\omega t + 30^\circ).$$

3. Розрахувати повну потужність ЕК і коефіцієнт потужності. Намалювати трикутник потужностей.

Таблиця 3.1

f_1 , кГц	f_2 , кГц	Z_1 (R, кОм)	Z_2 (C, мкФ)	Z_3 (C, мкФ)	Z_4 (L, мГн)	Z_5 (L, мГн)
1	100	1	1	10	1	0,1

Наведемо **приклад** розрахунку ЕК синусоїдального струму методом комплексних амплітуд.

Схема ЕК подана на рисунку 3.1. Значення елементів схеми:

$$L_1 = 1 \text{ мГн}, L_2 = 10 \text{ мГн}, C = 1 \text{ мкФ}, R = 1 \text{ кОм}.$$

Розв'язання:

Позначимо на схемі напрямки протікання струмів, які підлягають розрахунку.

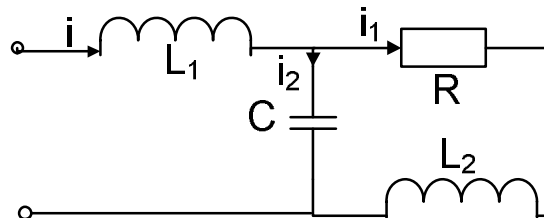


Рисунок 3.1

Оскільки ЕК драбинної структури, то шукані опори будемо розраховувати методом еквівалентних перетворень.

Відповідно $z_1 = R + j\omega L_2$ і еквівалентна схема подана на рисунку 3.2.

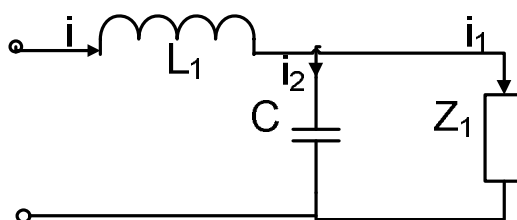


Рисунок 3.2

У свою чергу $z_2 = \frac{z_1}{z_1 + \frac{1}{j\omega C}}$ і еквівалентна схема подана на рисунку 3.3.

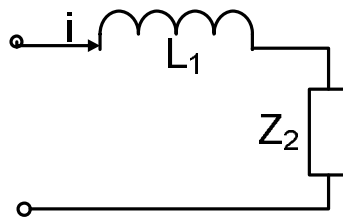


Рисунок 3.3

Вхідний опір кола дорівнює

$$z = z_2 + j\omega L_1.$$

Після підстановки значень еквівалентних опорів отримуємо

$$z = \frac{(1 - \omega^2 L_2 C)R + \omega^2 L_2 CR}{(1 - \omega^2 L_2 C)^2 + (\omega CR)^2} + j(\omega L_1 + \frac{(1 - \omega^2 L_2 C)\omega L_2 - \omega CR^2}{(1 - \omega^2 L_2 C)^2 + (\omega CR)^2}).$$

Перевіряємо правильність розрахунку $\lim_{\omega \rightarrow 0} z = R$, $\lim_{\omega \rightarrow \infty} z = j\omega L_1$, що відповідає аналізу реакції даної схеми з урахуванням частотної залежності реактивних опорів елементів.

Для подальших розрахунків приймаємо значення частоти гармонійної напруги f_1 .

Тоді вхідний комплексний опір на частоті f_1
 $z(f_1) = 52,14 - j20,93 = 56,18e^{-21,87^\circ}$ Ом.

Відповідно комплексна амплітуда струму

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{z} = \frac{10e^{j30^\circ}}{56,18e^{-j21,87^\circ}} = 0,18e^{j51,87^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна амплітуда напруги на індуктивності L_1

$$\dot{U}_{mL_1} = \dot{I}_m j\omega L_1 = 0,18e^{j51,87^\circ} \cdot 2\pi \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} e^{j90^\circ} = 1,12e^{j141,87^\circ} \text{ В.}$$

Падіння напруги на елементі ємності

$$\dot{U}_{mC} = \dot{U}_{mz_2} = \dot{U}_m - \dot{U}_{mL_1} = 7,97 + j4,12 = 8,97e^{j27,34^\circ} \text{ В.}$$

Тоді

$$\dot{I}_{mC} = \dot{I}_{m_2} = \frac{\dot{U}_{mz_2}}{1/j\omega C} = 0,056e^{j117,34^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна амплітуда струмів $\dot{I}_{m_1} = \dot{I}_{m_R} = \dot{I}_{m_{L_2}} = \dot{I}_m - \dot{I}_{m_2} = 0,13e^{j61,39^\circ} \text{ А.}$

Відповідно $\dot{U}_{m_R} = \dot{I}_{m_R} R = 130e^{j61,39^\circ} \text{ В; } \dot{U}_{m_{L_2}} = \dot{I}_{m_{L_2}} j\omega L_2 = 8,16e^{j151,39^\circ} \text{ В.}$

Таким чином, розраховані струми і напруги:

$$\dot{I}_{m_{L_1}} = 0,18e^{j51,87^\circ} \text{ А, } \dot{U}_{m_{L_1}} = 1,12e^{j141,87^\circ} \text{ В.}$$

$$\dot{I}_{m_C} = 0,056e^{j117,34^\circ} \text{ А, } \dot{U}_{m_C} = 8,97e^{j27,34^\circ} \text{ В.}$$

$$\dot{I}_{m_R} = 0,13e^{j61,39^\circ} \text{ A}, \dot{U}_{m_R} = 130e^{j61,39^\circ} \text{ В.}$$

$$\dot{I}_{m_{L_2}} = 0,13e^{j61,39^\circ} \text{ A}, \dot{U}_{m_{L_2}} = 8,16e^{j151,39^\circ} \text{ В.}$$

Векторні діаграми струмів представлені на рисунку 3.4.

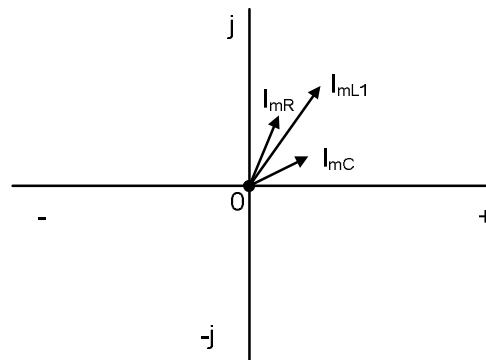


Рисунок 3.4

Повна потужність ЕК $S = \dot{U}_m \dot{I}_m^* = 1,8e^{-j21,87^\circ} \text{ ВА.}$

Активна потужність $P = \text{Re}(S) = |S| \cos(\arg(S)) = 1,67 \text{ Вт.}$

Реактивна потужність $Q = \text{Im}(S) = |S| \sin(\arg(S)) = -0,67 \text{ ВАР.}$

Тоді коефіцієнт потужності $\cos(\varphi) = \frac{P}{|S|} = 0,93 .$

Векторна діаграма потужностей зображена на рисунку 3.5.

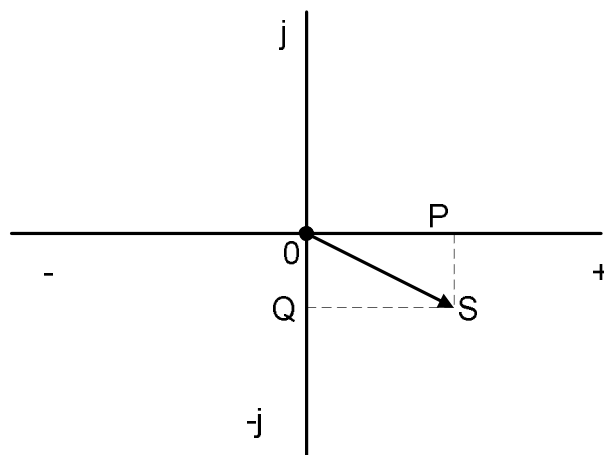


Рисунок 3.5

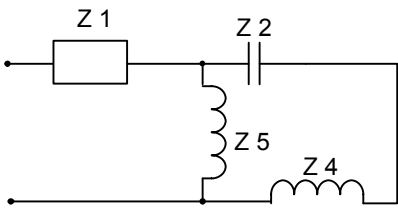


Рисунок 1

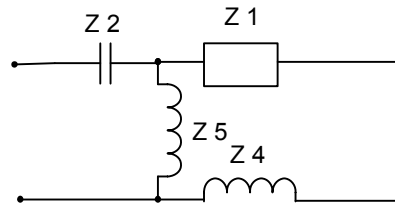


Рисунок 2

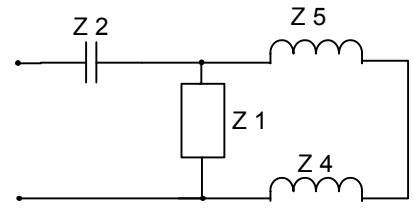


Рисунок 3

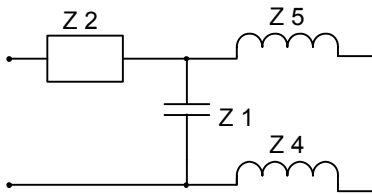


Рисунок 4

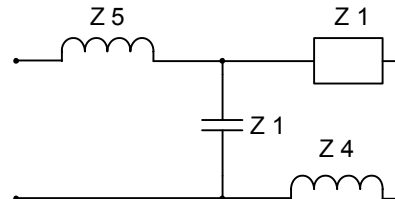


Рисунок 5

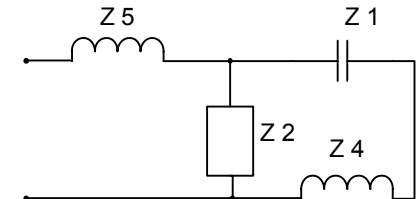


Рисунок 6

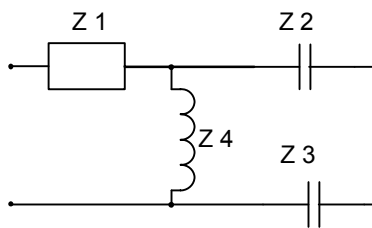


Рисунок 7

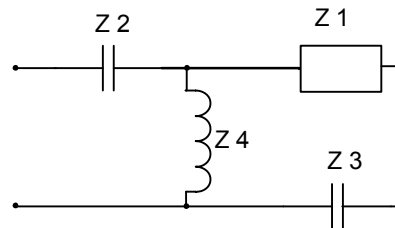


Рисунок 8

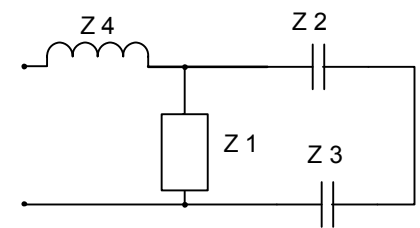


Рисунок 9

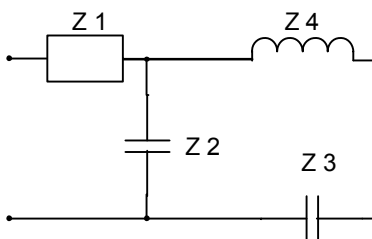


Рисунок 10

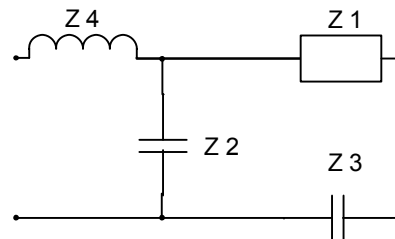


Рисунок 11

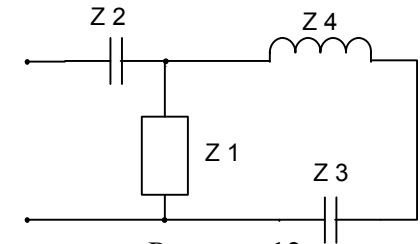


Рисунок 12

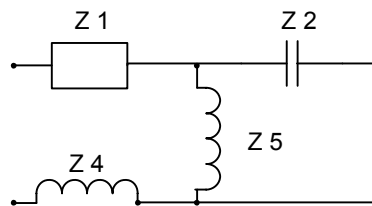


Рисунок 13

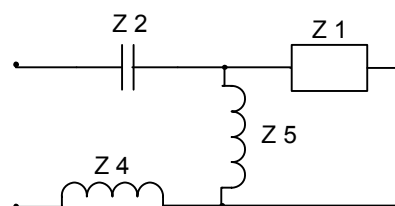


Рисунок 14

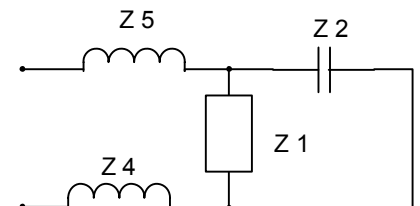


Рисунок 15

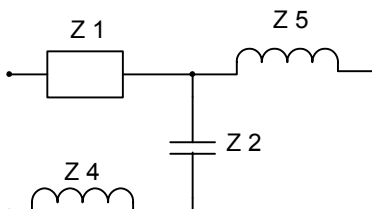


Рисунок 16

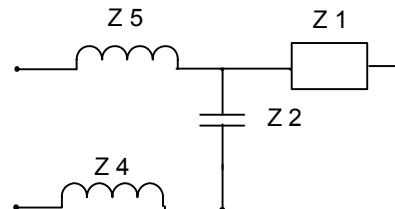


Рисунок 17

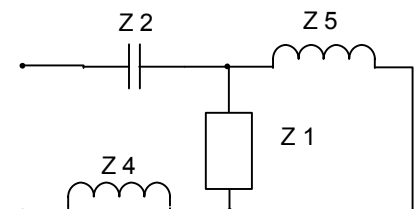


Рисунок 18

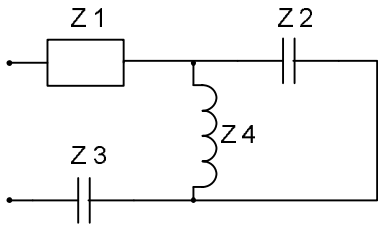


Рисунок 19

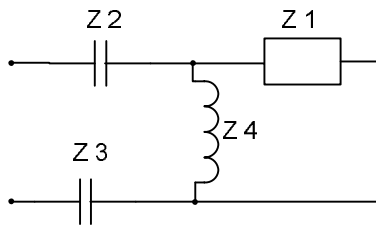


Рисунок 20

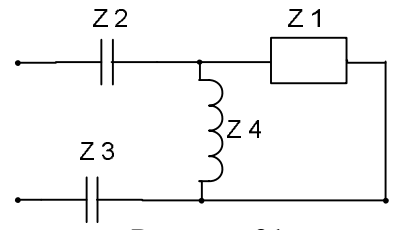


Рисунок 21

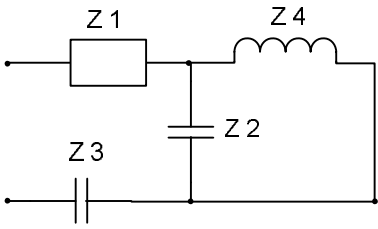


Рисунок 22

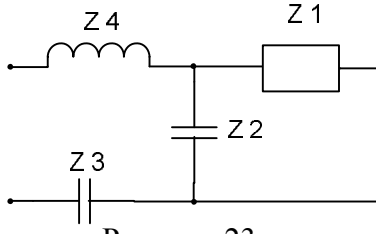


Рисунок 23

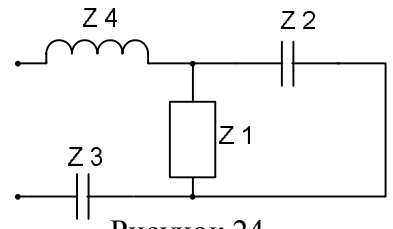


Рисунок 24

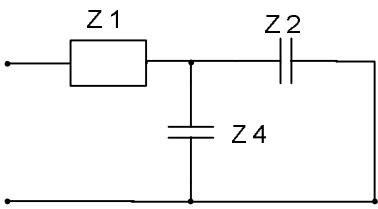


Рисунок 25

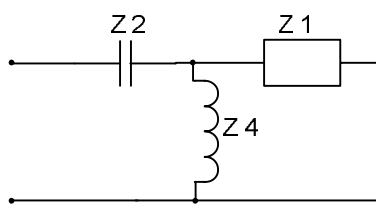


Рисунок 26

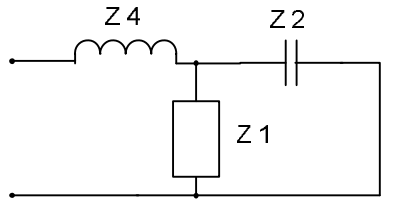


Рисунок 27

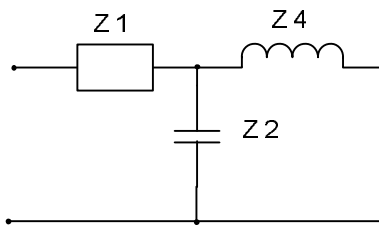


Рисунок 28

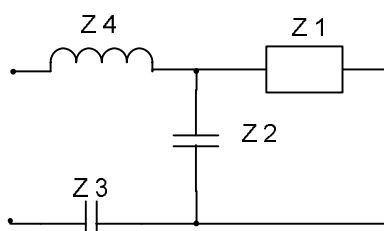


Рисунок 29

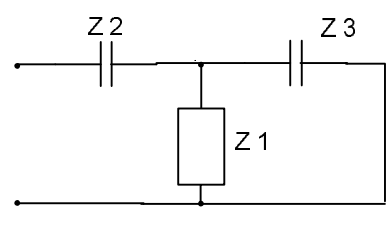


Рисунок 30

Додаток А
Приклад оформлення титульного аркуша контрольної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ЮРІЯ КОНДРАТЮКА
Кафедра комп'ютерної інженерії

КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з навчальної дисципліни
«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ»

Тема «Розрахунок електричних кіл постійного, синусоїдального та несинусоїдального струму»

Виконав студент _____ навчальної групи

(прізвище, ім'я, по батькові)

Полтава
2009

Додаток Б
Питання до заліку з ТЕК

ЗМ №1. Теорія лінійних електричних кіл

1. Ідеальне електричне коло.
2. Пасивні й активні елементи ЕК.
3. Поняття електричного струму, напруги, ЕРС, потужності, енергії.
4. Електричний опір, ємність та індуктивність.
5. Ідеальне джерело напруги.
6. Ідеальне джерело струму.
7. Схема ЕК і його топологічні поняття.
8. Перший закон Кірхгофа.
9. Другий закон Кірхгофа.
10. Закон Ома.

ЗМ №2. Електричні кола постійного струму

1. Метод еквівалентних перетворень.
2. Метод рівнянь Кірхгофа.
3. Метод контурних струмів.
4. Метод вузлових напруг.
5. Метод накладання.
6. Метод еквівалентного генератора.
7. Теорема про еквівалентне джерело напруги.
8. Теорема про еквівалентне джерело струму.
9. Принцип взаємності.
10. Теорема компенсації.
11. Енергетичні співвідношення в колах постійного струму.

ЗМ №3. Електричні кола синусоїдального та несинусоїдального струму

1. Параметри синусоїдальних струмів, напруг, ЕРС.
2. Діюче та середнє випрямлене значення синусоїдальних струмів, напруг, ЕРС.
3. Комплексні амплітуди та комплексні діючі значення синусоїдальних струмів, напруг, ЕРС.
4. Комплексний опір та комплексна провідність.
5. Властивості активного опору в колах синусоїдального струму.
6. Властивості індуктивності в колах синусоїдального струму.
7. Властивості ємності в колах синусоїдального струму.
8. Закон Ома для комплексних амплітуд.
9. Закони Кірхгофа в комплексній формі.
10. Векторні діаграми кіл синусоїдального струму.
11. Енергетичні співвідношення в колах синусоїдального струму.
12. Режим передачі максимальної активної потужності від джерела до навантаження в колах синусоїдального струму.

13. Кола синусоїдального струму із взаємними індуктивностями.
14. Фізичні процеси у послідовному коливальному контурі.
15. Вторинні параметри послідовного коливального контура.
16. Комплексна передаточна функція, АЧХ і ФЧХ послідовного коливального контура.
17. Фізичні процеси у паралельному коливальному контурі.
18. Вторинні параметри паралельного коливального контура.
19. Комплексна передаточна функція, АЧХ і ФЧХ послідовного коливального контура.
20. Властивості складних паралельних коливальних контурів.
21. Схеми зв'язаних коливальних контурів.
22. Комплексні передаточні функції та частотні характеристики зв'язаних коливальних контурів.
23. Види резонансів і способи налаштування зв'язаних коливальних контурів.
24. Закони комутації.
25. Вимушений та вільний режим коливань.
26. Вільний режим коливань у RC колі.
27. Перехідний режим коливань у RC колі при увімкненні джерела постійної напруги.
28. Перехідний режим коливань у RC колі при увімкненні джерела синусоїдальної напруги.
29. Вільний режим коливань у RL колі.
30. Перехідний режим коливань у RL колі при увімкненні джерела постійної напруги.
31. Перехідний режим коливань у RL колі при увімкненні джерела синусоїдальної напруги.
32. Вільний режим коливань у RLC колі.
33. Перехідний режим коливань у RLC колі при увімкненні джерела постійної напруги.
34. Перехідний режим коливань у RLC колі при увімкненні джерела синусоїдальної напруги.
35. Перехідна характеристика ЕК.
36. Імпульсна характеристика ЕК.
37. Визначення відгуку ЕК на довільну дію за допомогою перехідної характеристики.
38. Визначення відгуку ЕК на довільну дію за допомогою імпульсної характеристики.
39. Пряме перетворення Лапласа. Оригінали і зображення.
40. Операторна форма законів Ома та Кірхгофа.
41. Операторна передаточна функція ЕК.
42. Зв'язок операторної передаточної функції з комплексною передаточною функцією ЕК.