

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Кафедра "Електропривод та автоматизація промислових установок"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни "Теоретичні основи електротехніки"
для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка" денної та заочної форм навчання
"Аналіз електричних кіл постійного та синусоїдного струму"

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Теоретичні основи електротехніки" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної та заочної форм навчання "Аналіз електричних кіл постійного та синусоїдного струму" / Укл.: В.В. Козлов, О.В. Набокова. - Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2023. – 46 с.

Укладачі:

В.В. Козлов, доцент, к.т.н.;
О.В. Набокова, доцент

Рецензент:

О.А. Шрам, зав. каф. ЕПП, к.т.н.

Відповідальний
за випуск:

В.В. Козлов, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри ТЗЕ
Протокол №1 від 08.09.22 р.

Затверджено
на засіданні
науково-методичної комісії
електротехнічного факультету
Протокол №2 від 22.09.22 р

ЗМІСТ

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	4
2. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ.....	5
2.1 Частина І. Аналіз електричних кіл постійного струму.....	5
2.2 Частина ІІ. Аналіз однофазного електричного кола синусоїдного струму.....	15
3 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ.....	23
4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	25
4.1 Приклад аналізу електричного кола постійного струму.....	25
4.2 Приклад аналізу однофазного електричного кола синусоїдного струму при відсутності індуктивно-зв'язаних елементів.....	36
4.3 Приклад аналізу однофазного електричного кола синусоїдного струму при наявності індуктивно-зв'язаних елементів.....	40
5. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	46

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Одним з найбільш важливих етапів самостійної роботи студентів при вивченні ТОЕ є виконання курсової роботи, яка допомагає засвоєнню матеріалу дисципліни.

Курсова робота на прикладах аналізу електричних кіл, які подібні до реально існуючих (електричні кола постійного та синусоїдного струму), передбачає практичне застосування наступних розділів курсу ТОЕ: електричні кола постійного струму (метод безпосереднього застосування законів Кірхгофа, метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів, метод еквівалентного генератора); однофазні електричні кола синусоїдного струму (за відсутності та наявності магніто-індукційних зв'язків між елементами).

Кваліфікована, грамотна експлуатація електричного обладнання, вміння розрахувати і раціонально спроектувати режим його роботи входить в завдання підготовки інженера-електрика.

Ця курсова робота покликана сприяти вирішенню цього завдання. Студенти мають можливість застосувати знання, отримані після вивчення курсу ТОЕ, для моделювання та розрахунку електричних кіл, подібних до реально існуючих.

У завданнях передбачається отримання математичних моделей електричних кіл постійного та синусоїдного струму, розрахунок і дослідження декількох режимів, їх аналіз різними методами.

2. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Курсова робота складається з двох части. Частина I – аналіз електричних кіл постійного струму, частина II – аналіз однофазних кіл синусоїдного струму. **Номер варіанту** кожному студенту задає викладач.

2.1 Частина I. Аналіз електричних кіл постійного струму

Вивчити теоретичний матеріал за рекомендованою літературою, конспектом та методичними вказівками.

На підставі узагальненої схеми електричного кола, яка наведена на рис. 2.1, намалювати схему відповідного варіанта, яка повинна містити у собі тільки елементи, що позначені цифрою 1 у табл. 2.1-2.2 (замість елементів, що позначені цифрою 0 потрібно залишити короткозамкнені ділянки).

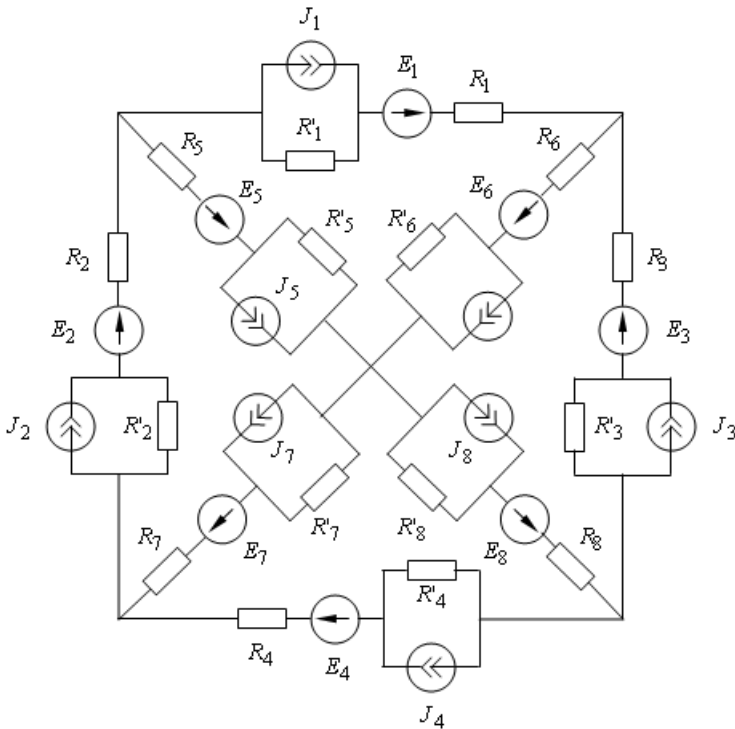


Рисунок 2.1 – Вихідна схема для аналізу кіл постійного струму

Параметри електричного кола потрібно обчислити згідно з номером групи

$$R_1 = (10 + q) \text{ Ом}; \quad R'_1 = (15 + m) \text{ Ом}; \quad E_1 = (10 + 2n) \text{ В}; \quad J_1 = 0,5m \text{ А};$$

$$R_2 = (15 + q) \text{ Ом}; \quad R'_2 = (20 + 4m) \text{ Ом}; \quad E_2 = (20 + 2n) \text{ В}; \quad J_2 = 0,4m \text{ А};$$

$$R_3 = (20 + q) \text{ Ом}; \quad R'_3 = (15 + 2m) \text{ Ом}; \quad E_3 = (30 + 2n) \text{ В}; \quad J_3 = 0,3m \text{ А};$$

$$R_4 = (25 + q) \text{ Ом}; \quad R'_4 = (20 + m) \text{ Ом}; \quad E_4 = (15 + 2n) \text{ В}; \quad J_4 = 0,8m \text{ А};$$

$$R_5 = (30 + q) \text{ Ом}; \quad R'_5 = (15 + 3m) \text{ Ом}; \quad E_5 = (25 + 2n) \text{ В}; \quad J_5 = 0,2m \text{ А};$$

$$R_6 = (35 + q) \text{ Ом}; \quad R'_6 = (20 + 2m) \text{ Ом}; \quad E_6 = (15 + 2n) \text{ В}; \quad J_6 = 0,4m \text{ А};$$

$$R_7 = (40 + q) \text{ Ом}; \quad R'_7 = (15 + 4m) \text{ Ом}; \quad E_7 = (30 + 2n) \text{ В}; \quad J_7 = 0,7m \text{ А};$$

$$R_8 = (45 + q) \text{ Ом}; \quad R'_8 = (20 + m) \text{ Ом}; \quad E_8 = (40 + 2n) \text{ В}; \quad J_8 = 0,9m \text{ А},$$

де q - перша цифра номера групи, m - друга цифра номера групи, n - третя цифра номера групи

Для вихідного електричного кола постійного струму потрібно розрахувати струми у всіх вітках електричного кола методом вузлових потенціалів.

Виконати перевірку розрахунку склавши рівняння за першим законом Кірхгофа для будь-яких трьох вузлів електричного кола.

Виконати перевірку розрахунку склавши рівняння балансу потужностей.

У схемі вихідного електричного кола замінити джерела струму джерелами ЕРС. Для схеми після перетворення потрібно:

- скласти рівняння згідно з методом безпосереднього застосування законів Кірхгофа;

- розрахувати струми у всіх вітках електричного кола методом контурних струмів;

- методом еквівалентного генератора розрахувати струм вітки, номер k якої зазначено в табл. 2.2;

- надаючи опору навантаження еквівалентного генератора різні значення побудувати графіки струму $I_k = f(R_k)$ й потужності навантаження $P_k = f(R_k)$.

Результати розрахунків методом вузлових потенціалів і методом контурних струмів звести в таблицю і порівняти між собою.

Побудувати потенційну діаграму для зовнішнього контуру електричного кола після перетворення.

Таблиця 2.1

№ варіанту	E_1 , В	R_1 , Ом	J_1 , А	R'_1 , Ом	E_2 , В	R_2 , Ом	J_2 , А	R'_2 , Ом	E_3 , В	R_3 , Ом	J_3 , А	R'_3 , Ом	E_4 , В	R_4 , Ом	J_4 , А	R'_4 , Ом
1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
3	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
4	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
7	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
11	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
12	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
13	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
14	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
15	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
16	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
17	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
18	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
19	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
21	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
22	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
23	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
24	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

№ варіанту	$E_1,$ Б	R_1 Ом	$J_1,$ А	$R'_1,$ Ом	$E_2,$ Б	R_2 Ом	$J_2,$ А	$R'_2,$ Ом	$E_3,$ Б	R_3 Ом	$J_3,$ А	$R'_3,$ Ом	$E_4,$ Б	R_4 Ом	$J_4,$ А	$R'_4,$ Ом
25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
26	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
27	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
28	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
29	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
30	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
31	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
32	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
33	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
34	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
35	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
36	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
37	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
38	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
39	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
40	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
41	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
42	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
43	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
44	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
45	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
46	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
47	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
48	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
49	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1

№ варіанту	$E_1,$ В	R_1 Ом	$J_1,$ А	$R'_1,$ Ом	$E_2,$ В	R_2 Ом	$J_2,$ А	$R'_2,$ Ом	$E_3,$ В	R_3 Ом	$J_3,$ А	$R'_3,$ Ом	$E_4,$ В	R_4 Ом	$J_4,$ А	$R'_4,$ Ом
50	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
51	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
52	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
53	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
54	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
55	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
56	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
57	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
58	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
59	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
60	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
61	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
62	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
63	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
64	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
65	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
66	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
67	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
68	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
69	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
70	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
71	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
72	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
73	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
74	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1

№ варіанту	$E_1,$ В	R_1 Ом	$J_1,$ А	$R'_1,$ Ом	$E_2,$ В	R_2 Ом	$J_2,$ А	$R'_2,$ Ом	$E_3,$ В	R_3 Ом	$J_3,$ А	$R'_3,$ Ом	$E_4,$ В	R_4 Ом	$J_4,$ А	$R'_4,$ Ом
75	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
76	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
77	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
78	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
79	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
80	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
81	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
82	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
83	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
84	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
85	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
86	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
87	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
88	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
89	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
90	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
91	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
92	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
93	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
94	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
95	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
96	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
97	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
98	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
99	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Таблиця 2.2

№ варіанту	$E_5,$ В	$R_5,$ Ом	$J_5,$ А	$R'_5,$ Ом	$E_6,$ В	$R_6,$ Ом	$J_6,$ А	$R'_6,$ Ом	$E_7,$ В	$R_7,$ Ом	$J_7,$ А	$R'_7,$ Ом	$E_8,$ В	$R_8,$ Ом	$J_8,$ А	$R'_8,$ Ом	№ вітки
1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2
2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
3	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2
4	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2
5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2
7	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2
8	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2
9	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	3
10	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	3
11	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
12	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	3
13	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	3
14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	3
15	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
16	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3
17	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4
18	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4
19	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4
20	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
21	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4
22	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	4
23	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	4
24	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4

№ варіанту	E_5 , В	R_5 , Ом	J_5 , А	R'_5 , Ом	E_6 , В	R_6 , Ом	J_6 , А	R'_6 , Ом	E_7 , В	R_7 , Ом	J_7 , А	R'_7 , Ом	E_8 , В	R_8 , Ом	J_8 , А	R'_8 , Ом	№ вітки
25	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
26	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
27	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
28	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
29	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
30	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
31	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5
32	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5
33	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
34	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
35	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
36	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
37	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
38	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
39	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
40	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6
41	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	7
42	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	7
43	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	7
44	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	7
45	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	7
46	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	7
47	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
48	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	7
49	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8

№ варіанту	E_5 , В	R_5 , Ом	J_5 , А	R'_5 , Ом	E_6 , В	R_6 , Ом	J_6 , А	R'_6 , Ом	E_7 , В	R_7 , Ом	J_7 , А	R'_7 , Ом	E_8 , В	R_8 , Ом	J_8 , А	R'_8 , Ом	№ вітки
50	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8
51	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8
52	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8
53	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8
54	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	8
55	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	8
56	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
57	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2
58	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
59	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2
60	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2
61	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2
62	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2
63	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
64	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
65	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3
66	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3
67	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
68	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3
69	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3
70	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	3
71	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3
72	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3
73	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
74	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4

№ варіанту	E_5 , В	R_5 , Ом	J_5 , А	R'_5 , Ом	E_6 , В	R_6 , Ом	J_6 , А	R'_6 , Ом	E_7 , В	R_7 , Ом	J_7 , А	R'_7 , Ом	E_8 , В	R_8 , Ом	J_8 , А	R'_8 , Ом	№ вітки
75	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
76	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
77	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
78	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
79	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
80	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
81	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	5
82	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	5
83	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	5
84	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	5
85	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
86	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	5
87	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	5
88	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5
89	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	6
90	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	6
91	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	6
92	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	6
93	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	6
94	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
95	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	6
96	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	6
97	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	7
98	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	7
99	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	7

2.2 Частина II. Аналіз однофазного електричного кола синусоїдного струму

Частина II, а. На підставі узагальненої схеми електричного кола, що зображена на рис.2.2, намалювати схему заданого варіанта, яка містить тільки ненульові елементи, зазначені в табл. 2.3, вважаючи, що між індуктивними елементами немає магнітного зв'язку.

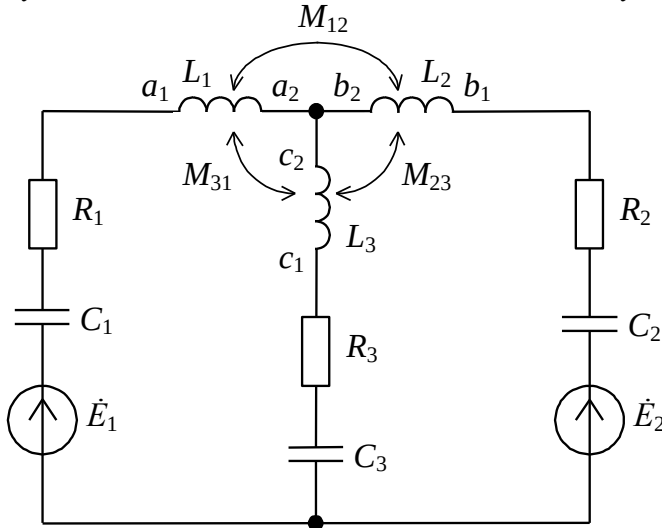


Рисунок 2.2– Вихідна схема для аналізу кіл синусоїдного струму

Для отриманого електричного кола синусоїдного струму із частотою 50 Гц і заданими в табл. 2.4 параметрами потрібно:

- розрахувати комплекси діючих значень струмів і спадів напруги у всіх вітках кола методом згортки кола;
- зробити перевірку розв'язання за законами Кірхгофа;
- скласти баланс потужностей;
- побудувати сполучену векторну діаграму струмів і напруг.

Частина II, б. На підставі узагальненої схеми електричного кола, що зображена на рис. 2.2, намалювати схему заданого варіанта з урахуванням наявності індуктивно-зв'язаних елементів, яка містить тільки ненульові елементи, зазначені в табл. 2.3, вважаючи, що між індуктивними елементами є магнітний зв'язок.

Для отриманого електричного кола синусоїдного струму із частотою 50 Гц і заданими в табл. 2.4 параметрами потрібно:

- розрахувати комплексні діючі струм і спади напруги у всіх вітках кола за вказівкою викладача;

- методом контурних струмів, без попередньої магнітної розв'язки кола;

- методом згортки, попередньо виконавши магнітну розв'язку кола;

- зробити перевірку розв'язання за законами Кірхгофа;

- скласти баланс потужностей, окремо розрахувавши потужність, споживану колом за рахунок явища взаємної індукції;

- побудувати сполучену векторну діаграму струмів і напруг, у якій спади напруги на елементах кола, за рахунок явища взаємної індукції, указати окремо.

Примітка. Останні три пункти необхідно виконати для кола до магнітної розв'язки.

Таблиця 2.3 - Елементи електричного кола

№ варіанту	E_1	C_1	R_1	L_1	E_2	C_2	R_2	L_2	C_3	R_3	L_3	M_{12}	M_{23}	M_{31}
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	c_1a_1
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	a_1b_1	0	0
3	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
4	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
5	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	c_1a_2
6	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	a_2b_1	0	0
7	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	b_2c_1	0
8	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	c_1a_1
9	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	a_1b_2	0	0
10	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	b_1c_2	0
11	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	c_2a_1
12	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
13	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
14	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	c_1a_1
15	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	b_1c_1	0
16	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	c_1a_2
17	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_2b_1	0	0
18	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
19	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	b_2c_1	0
20	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	a_1b_2	0	0
21	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	b_2c_1	0
22	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	c_2a_1
23	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
24	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	b_1c_2	0

№ варіанту	E_1	C_1	R_1	L_1	E_2	C_2	R_2	L_2	C_3	R_3	L_3	M_{12}	M_{23}	M_{31}
25	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	b_1c_1	0
26	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	a_1b_1	0	0
27	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	b_1c_1	0
28	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	b_1c_1	0
29	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	c_1a_2
30	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	a_2b_1	0	0
31	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	b_2c_1	0
32	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	c_1a_1
33	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	a_1b_2	0	0
34	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	c_2a_1
35	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
36	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	b_1c_2	0
37	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	c_1a_1
38	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
39	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
40	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
41	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	c_1a_2
42	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	a_2b_1	0	0
43	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	b_2c_1	0
44	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	c_1a_1
45	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	a_1b_2	0	0
46	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	c_2a_1
47	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
48	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	b_1c_2	0
49	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	b_1c_1	0
50	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	c_1a_1
51	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
52	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
53	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_2b_1	0	0
54	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	b_1c_1	0
55	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	b_2c_1	0
56	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	c_1a_1
57	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	a_1b_2	0	0
58	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_2	0
59	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	c_2a_1
60	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	b_1c_2	0
61	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
62	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	c_1a_1

№ варіанту	E_1	C_1	R_1	L_1	E_2	C_2	R_2	L_2	C_3	R_3	L_3	M_{12}	M_{23}	M_{31}
63	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
64	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	b_1c_1	0
65	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	c_1a_2
66	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	a_2b_1	0	0
67	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
68	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	c_1a_1
69	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
70	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
71	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	c_1a_2
72	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	b_1c_1	0
73	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	c_1a_1
74	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	a_1b_2	0	0
75	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	b_2c_1	0
76	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	c_2a_1
77	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
78	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	b_1c_2	0
79	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	c_1a_1
80	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
81	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0_1	b_1c_1	0
82	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	c_1a_2
83	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	a_2b_1	0	0
84	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	b_1c_1	0
85	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	c_1a_1
86	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	a_1b_2	0	0
87	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	a_1b_2	0	0
88	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	c_2a_1
89	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	a_1b_1	0	0
90	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
91	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
92	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	c_1a_1
93	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	a_1b_1	0	0
94	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	b_1c_1	0
95	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	c_1a_2
96	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	a_2b_1	0	0
97	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
98	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	b_1c_1	0
99	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	a_2b_1	0	0

Таблиця 2.4 - Параметри електричного кола

№ варіанту	$E_1,$ <i>В</i>	$\Psi_1,$ <i>град</i>	$C_1,$ <i>мкФ</i>	$R_1,$ <i>Ом</i>	$L_1,$ <i>мГн</i>	$E_2,$ <i>В</i>	$\Psi_2,$ <i>град</i>	$C_2,$ <i>мкФ</i>	$R_2,$ <i>Ом</i>	$L_2,$ <i>мГн</i>	$C_3,$ <i>мкФ</i>	$R_3,$ <i>Ом</i>	$L_3,$ <i>мГн</i>	$k_{12},$ —	$k_{23},$ —	$k_{31},$ —
1	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
2	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
3	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
4	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
5	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
6	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
7	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
8	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
9	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
10	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
11	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
12	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
13	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
14	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
15	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
16	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
17	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
18	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
19	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
20	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
21	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
22	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
23	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
24	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5

№ варіанту	$E_1,$ B	$\Psi_1,$ $град$	$C_1,$ $мкФ$	$R_1,$ $Ом$	$L_1,$ $мГн$	$E_2,$ B	$\Psi_2,$ $град$	$C_2,$ $мкФ$	$R_2,$ $Ом$	$L_2,$ $мГн$	$C_3,$ $мкФ$	$R_3,$ $Ом$	$L_3,$ $мГн$	$k_{12},$ –	$k_{23},$ –	$k_{31},$ –
25	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
26	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
27	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
28	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
29	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
30	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
31	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
32	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
33	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
34	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
35	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
36	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
37	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
38	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
39	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
40	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
41	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
42	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
43	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
44	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
45	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
46	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
47	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
48	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
49	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6

№ варіанту	$E_1,$ B	$\Psi_1,$ $град$	$C_1,$ $мкФ$	$R_1,$ $Ом$	$L_1,$ $мГн$	$E_2,$ B	$\Psi_2,$ $град$	$C_2,$ $мкФ$	$R_2,$ $Ом$	$L_2,$ $мГн$	$C_3,$ $мкФ$	$R_3,$ $Ом$	$L_3,$ $мГн$	$k_{12},$ —	$k_{23},$ —	$k_{31},$ —
50	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
51	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
52	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
53	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
54	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
55	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
56	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
57	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
58	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
59	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
60	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
61	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
62	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
63	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
64	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
65	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
66	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
67	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
68	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
69	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
70	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
71	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
72	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
73	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
74	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7

№ варіанту	$E_1,$ B	$\Psi_1,$ $град$	$C_1,$ $мкФ$	$R_1,$ $Ом$	$L_1,$ $мГн$	$E_2,$ B	$\Psi_2,$ $град$	$C_2,$ $мкФ$	$R_2,$ $Ом$	$L_2,$ $мГн$	$C_3,$ $мкФ$	$R_3,$ $Ом$	$L_3,$ $мГн$	$k_{12},$ —	$k_{23},$ —	$k_{31},$ —
75	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
76	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
77	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
78	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
79	36	30	220	15	40	36	90	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
80	36	45	220	15	40	36	60	240	16	50	270	16	50	0.5	0.6	0.7
81	36	60	220	15	40	36	45	240	16	50	270	16	50	0.7	0.5	0.6
82	36	90	220	15	40	36	30	240	16	50	270	16	50	0.6	0.7	0.5
83	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
84	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
85	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
86	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
87	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
88	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
89	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
90	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
91	48	30	150	20	60	24	90	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
92	48	45	150	20	60	24	60	330	11	30	270	16	50	0.5	0.6	0.7
93	48	60	150	20	60	24	45	330	11	30	270	16	50	0.7	0.5	0.6
94	48	90	150	20	60	24	30	330	11	30	270	16	50	0.6	0.7	0.5
95	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
96	24	45	300	10	20	48	60	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6
97	24	60	300	10	20	48	45	160	22	70	270	16	50	0.6	0.7	0.5
98	24	90	300	10	20	48	30	160	22	70	270	16	50	0.5	0.6	0.7
99	24	30	300	10	20	48	90	160	22	70	270	16	50	0.7	0.5	0.6

3 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ

Перш ніж приступити до виконання курсової роботи, необхідно твердо засвоїти основні визначення електричних величин, а також поняття й закони, якими встановлюється зв'язок між ними. Варто повторити необхідні розділи теорії за конспектом лекцій і рекомендованою літературою та пригадати з курсу вищої математики прийоми виконання дій з комплексними числами та методи розв'язання систем лінійних інтегро-диференціальних рівнянь.

При виконанні й оформленні курсової роботи необхідно дотримуватися наступних основних вимог:

- роботу оформляють на стандартних аркушах паперу формату А4, що скріплені між собою;

- обкладинкою служить титульний лист (рис. 3.1), на якому вказують навчальний заклад і кафедра, назву й варіант курсової роботи, номер групи, прізвище студента й прізвище викладача;

- на перших сторінках викреслюють схеми електричних кіл заданого варіанта, наводять вихідні параметри й перераховують вимоги до розрахунку;

- кожен етап розрахунку повинен мати свій заголовок, обчислення й алгебраїчні перетворення супроводжують короткими поясненнями, біля остаточного результату проставляють розмірність згідно міжнародної системи одиниць. Всі розрахункові формули записуються спочатку в загальному (буквеному) вигляді, а потім підставляються числові значення відповідних величин. Похибка розрахунків за результатами перевірки не повинна перевищувати 1,0%;

- у тексті розрахунково-графічної роботи не допускається скорочення слів, крім загальноприйнятих скорочень;

- графіки виконують з дотриманням загальноприйнятих інженерних вимог. По осях наносять рівномірні масштабні шкали. Наприкінці шкали вказується позначення змінної і її розмірність. Координатні системи для різних функцій, що побудовані від одної змінної, повинні розташовуватися на одній сторінці й бути сполучені по осях абсцис;

- векторні діаграми виконуються на окремих аркушах розміром, який забезпечує зручність їх побудови і перевірки, із зазначенням відповідних масштабів для напруг і струмів. Масштаби струмів і напруг для всіх векторних діаграм повинні бути однаковими.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА

Кафедра ТЗЕ

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни "Теоретичні основи електротехніки"
на тему "Аналіз електричних кіл постійного та синусоїдного струму"

Студента II курсу групи Е - 310 спеціальності
141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка", освітня програма
"Електропривод та автоматизація
промислових установок"
Корогода О.В.

Керівник доцент, к.т.н. Козлов В.В.

Кількість балів: _____

Члени комісії

_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

2022 рік

Рисунок 3.1 – Приклад оформлення титульного листу

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ

В цьому розділі наведено приклади виконання та оформлення кожного з розділів курсової роботи.

4.1 Приклад аналізу електричного кола постійного струму

Частина I. *Вихідні дані.* Задана схема електричного кола постійного струму (рис. 4.1), параметри якого

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 + q = 10 + 1 = 11 \text{ Ом}; & E_1 &= 10 + 2n = 10 + 2 \cdot 2 = 14 \text{ В}; \\ R_2 &= 15 + q = 15 + 1 = 16 \text{ Ом}; & E_2 &= 20 + 2n = 20 + 2 \cdot 2 = 24 \text{ В}; \\ R'_3 &= 15 + 2m = 15 + 2 \cdot 1 = 17 \text{ Ом}; & J_3 &= 0,3m = 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ А}; \\ R'_5 &= 15 + 3m = 15 + 3 \cdot 1 = 18 \text{ Ом}; & J_5 &= 0,2m = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ А}; \\ R_6 &= 35 + q = 35 + 1 = 36 \text{ Ом}; & E_6 &= 15 + 2n = 15 + 2 \cdot 2 = 19 \text{ В}; \\ R_7 &= 40 + q = 40 + 1 = 41 \text{ Ом}; & E_7 &= 30 + 2n = 30 + 2 \cdot 2 = 34 \text{ В}; \\ R'_8 &= 20 + m = 20 + 1 = 21 \text{ Ом}; & J_8 &= 0,9m = 0,9 \cdot 1 = 0,9 \text{ А}. \end{aligned}$$

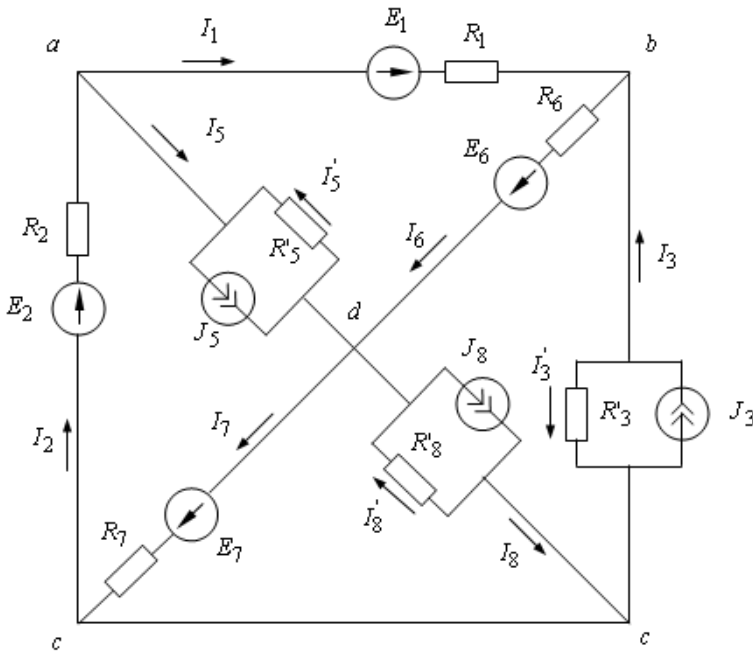


Рисунок 4.1 - Вихідна схема електричного кола постійного струму

Розв'язання. Розрахуємо струми у вітках методом вузлових потенціалів.

На схемі електричного кола виконаємо розмітку і вкажемо умовні додатні напрямки струмів у вітках.

Як базовий вузол приймаємо вузол *d*. Для незалежних вузлів складемо систему рівнянь щодо невідомих вузлових потенціалів:

$$\begin{cases} G_{aa}\varphi_a - G_{ab}\varphi_b - G_{ac}\varphi_c = J_{aa}; \\ -G_{ba}\varphi_a + G_{bb}\varphi_b - G_{bc}\varphi_c = J_{bb}; \\ -G_{ca}\varphi_a - G_{cb}\varphi_b + G_{cc}\varphi_c = J_{cc}. \end{cases}$$

Визначаємо власні провідності вузлів

$$G_{aa} = \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_5} = \frac{1}{11} + \frac{1}{16} + \frac{1}{18} = 0,2090 \text{ Сум};$$

$$G_{bb} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_3} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{11} + \frac{1}{17} + \frac{1}{36} = 0,1775 \text{ Сум};$$

$$G_{cc} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_3} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R'_8} = \frac{1}{16} + \frac{1}{17} + \frac{1}{41} + \frac{1}{21} = 0,1933 \text{ Сум}.$$

Визначаємо взаємні провідності вузлів

$$G_{ab} = G_{ba} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{11} = 0,0909 \text{ Сум};$$

$$G_{bc} = G_{cb} = \frac{1}{R'_3} = \frac{1}{17} = 0,0588 \text{ Сум};$$

$$G_{ca} = G_{ac} = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{16} = 0,0625 \text{ Сум};$$

Визначаємо вузлові струми

$$J_{aa} = -\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} - J_5 = -\frac{14}{11} + \frac{24}{16} - 0,2 = 0,0273 \text{ А};$$

$$J_{bb} = \frac{E_1}{R_1} + J_3 - \frac{E_6}{R_6} = \frac{14}{11} + 0,3 - \frac{19}{36} = 1,0449 \text{ А};$$

$$J_{cc} = -\frac{E_2}{R_2} - J_3 + \frac{E_7}{R_7} + J_8 = -\frac{24}{16} - 0,3 + \frac{34}{41} + 0,9 = -0,0707 \text{ А}.$$

Підставимо коефіцієнти при невідомі й вільні члени в систему рівнянь

$$\begin{cases} 0,2090 \varphi_a - 0,0909 \varphi_b - 0,0625 \varphi_c = 0,0273; \\ -0,0909 \varphi_a + 0,1775 \varphi_b - 0,0588 \varphi_c = 1,0449; \\ -0,0625 \varphi_a - 0,0588 \varphi_b + 0,1933 \varphi_c = -0,0707. \end{cases}$$

Розв'яжемо її щодо вузлових потенціалів у матричній формі за допомогою математичного забезпечення MathCAD

$$\begin{cases} \varphi_a = 6,270 \text{ В}; \\ \varphi_b = 10,729 \text{ В}; \\ \varphi_c = 4,925 \text{ В}. \end{cases}$$

Обчислимо струми в вітках використовуючи закон Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_1}{R_1} = \frac{6,270 - 10,729 + 14}{11} = 0,867 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{\varphi_c - \varphi_a + E_2}{R_2} = \frac{4,925 - 6,270 + 24}{16} = 1,416 \text{ А};$$

$$I'_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_3} = \frac{10,729 - 4,925}{17} = 0,341 \text{ А};$$

$$I_3 = J_3 - I'_3 = 0,3 - 0,341 = -0,041 \text{ А};$$

$$I'_5 = \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_5} = \frac{0,0 - 6,270}{18} = -0,348 \text{ А};$$

$$I_5 = J_5 - I'_5 = 0,2 + 0,348 = 0,548 \text{ А};$$

$$I_6 = \frac{\varphi_b - \varphi_d + E_6}{R_6} = \frac{10,729 - 0,0 + 19}{36} = 0,826 \text{ А};$$

$$I_7 = \frac{\varphi_d - \varphi_c + E_7}{R_7} = \frac{0,0 - 4,925 + 34}{41} = 0,709 \text{ А};$$

$$I'_8 = \frac{\varphi_c - \varphi_d}{R_8} = \frac{4,925 - 0,0}{21} = 0,235 \text{ А};$$

$$I_8 = J_8 - I'_8 = 0,9 - 0,235 = 0,665 \text{ А}.$$

Виконаємо перевірку розрахунку склавши рівняння за першим законом Кірхгофа для трьох вузлів електричного кола

У вузол a :

$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - J_5 + I'_5 &= 0; \\ -0,867 + 1,416 - 0,2 - 0,348 &= 0,001 \approx 0; \end{aligned}$$

У вузол b :

$$\begin{aligned} I_1 - I'_3 + J_3 - I_6 &= 0; \\ 0,867 - 0,341 + 0,3 - 0,826 &= 0; \end{aligned}$$

У вузол c :

$$\begin{aligned} -I_2 + I'_3 - J_3 + I_7 - I'_8 + J_8 &= 0; \\ -1,416 + 0,341 - 0,3 + 0,709 - 0,235 + 0,9 &= -0,001 \approx 0. \end{aligned}$$

Виконаємо перевірку розрахунку склавши рівняння балансу потужностей:

- потужність джерел:

$$\begin{aligned} P_{дж} &= E_1 I_1 + E_2 I_2 + J_3 I'_3 R'_3 + J_5 I'_5 R'_5 + E_6 I_6 + E_7 I_7 + J_8 I'_8 R'_8 = \\ &= 14 \cdot 0,867 + 24 \cdot 1,416 + 0,3 \cdot 0,341 \cdot 17 - 0,2 \cdot 0,348 \cdot 18 + \\ &+ 19 \cdot 0,826 + 34 \cdot 0,709 + 0,9 \cdot 0,225 \cdot 21 = 90,85 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

- потужність джерел:

$$\begin{aligned} P_{сп} &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3'^2 R'_3 + I_5'^2 R'_5 + I_6^2 R_6 + I_7^2 R_7 + I_8'^2 R'_8 = \\ &= 0,867^2 \cdot 11 + 1,416^2 \cdot 16 + 0,341^2 \cdot 17 + 0,348^2 \cdot 18 + \\ &+ 0,826^2 \cdot 36 + 0,709^2 \cdot 41 + 0,235^2 \cdot 21 = 90,84 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

- баланс потужностей:

$$\begin{aligned} P_{дж} &= P_{сп}; \\ 90,85 &\approx 90,84 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

У схемі вихідного електричного кола виконуємо заміну джерел струму джерелами ЕРС.

$$\begin{aligned} E'_3 &= J_3 R'_3 = 0,3 \cdot 17 = 5,1 \text{ В}; \\ E'_5 &= J_5 R'_5 = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ В}; \\ E'_8 &= J_8 R'_8 = 0,9 \cdot 21 = 18,9 \text{ В}. \end{aligned}$$

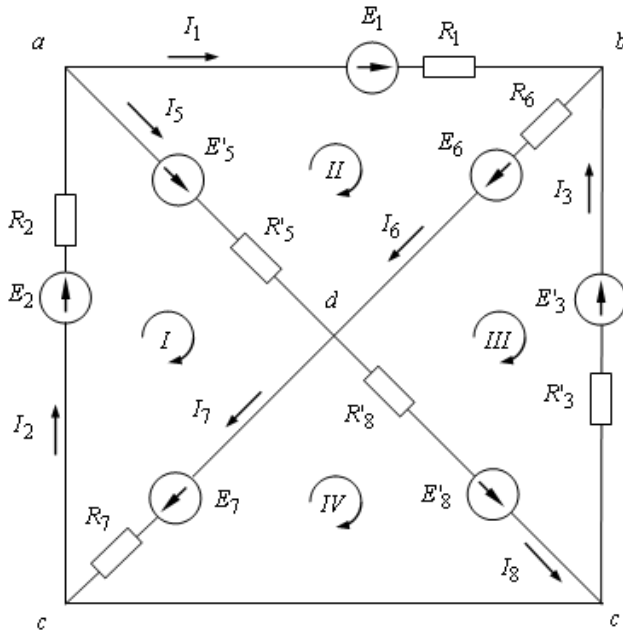


Рисунок. 4.2 - Схема заміщення після перетворення

Складаємо рівняння згідно з методом безпосереднього застосування законів Кірхгофа (3 рівняння за першим законом Кірхгофа і ще 4 рівняння за другим законом Кірхгофа).

Напрямки обходу незалежних контурів обираємо за годинниковою стрілкою

$$\begin{cases} I_1 - I_2 + I_5 = 0; \\ -I_1 - I_3 + I_6 = 0; \\ I_2 + I_3 - I_7 - I_8 = 0; \\ R_2 I_2 + R'_5 I_5 + R_7 I_7 = E_2 + E'_5 + E_7; \\ R_1 I_1 - R'_5 I_5 + R_6 I_6 = E_1 - E'_5 + E_6; \\ -R'_3 I_3 - R_6 I_6 - R'_8 I_8 = -E'_3 - E_6 - E'_8; \\ -R_7 I_7 + R'_8 I_8 = -E_7 + E'_8. \end{cases}$$

Складаємо рівняння згідно з методом контурних струмів. Обираємо напрямки контурних струмів у незалежних контурах за годинниковою стрілкою. Нумерація контурних струмів співпадає з

нумерацією незалежних контурів у методі безпосереднього застосування законів Кірхгофа.

$$\begin{cases} (R_2 + R'_5 + R_7)I_{11} - R'_5 I_{22} - 0 \cdot I_{33} - R_7 I_{44} = E_2 + E'_5 + E_7; \\ -R'_5 I_{11} + (R_1 + R'_5 + R_6)I_{22} - R_6 I_{33} - 0 \cdot I_{44} = E_1 - E'_5 + E_6; \\ -0 \cdot I_{11} - R_6 I_{22} + (R'_3 + R_6 + R'_8)I_{33} - R'_8 I_{44} = -E'_3 - E_6 - E'_8; \\ -R_7 I_{11} - 0 \cdot I_{22} - R'_8 I_{33} + (R_7 + R'_8)I_{44} = -E_7 + E'_8. \end{cases}$$

Підставивши числові значення параметрів електричного кола

$$\begin{cases} (16 + 18 + 41)I_{11} - 18I_{22} - 0I_{33} - 41I_{44} = 24 + 3,6 + 34; \\ -18I_{11} + (11 + 18 + 36)I_{22} - 36I_{33} - 0I_{44} = 14 - 3,6 + 19; \\ -0I_{11} - 36I_{22} + (17 + 36 + 21)I_{33} - 21I_{44} = -5,1 - 19 - 18,9; \\ -41I_{11} - 0I_{22} - 21I_{33} + (41 + 21)I_{44} = -34 + 18,9, \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} 75I_{11} - 18I_{22} - 0I_{33} - 41I_{44} = 61,6; \\ -18I_{11} + 65I_{22} - 36I_{33} - 0I_{44} = 29,4; \\ -0I_{11} - 36I_{22} + 74I_{33} - 21I_{44} = -43,0; \\ -41I_{11} - 0I_{22} - 21I_{33} + 62I_{44} = -15,1. \end{cases}$$

Розв'яжемо її щодо контурних струмів у матричній формі за допомогою математичного забезпечення MathCAD

$$\begin{cases} I_{11} = 1,416 \text{ A}; \\ I_{22} = 0,867 \text{ A}; \\ I_{33} = 0,041 \text{ A}; \\ I_{44} = 0,707 \text{ A}; \end{cases}$$

Обчислимо струми в вітках електричного кола

$$I_1 = I_{22} = 0,867 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{11} = 1,416 \text{ A};$$

$$I_3 = -I_{33} = -0,041 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{11} - I_{22} = 1,416 - 0,867 = 0,549 \text{ A};$$

$$I_6 = I_{22} - I_{33} = 0,867 - 0,041 = 0,826 \text{ A};$$

$$I_7 = I_{11} - I_{44} = 1,416 - 0,707 = 0,709 \text{ A};$$

$$I_8 = I_{44} - I_{33} = 0,707 - 0,041 = 0,666 \text{ A}.$$

Результати розрахунків методом вузлових потенціалів і методом контурних струмів зводимо в таблицю і порівнюємо між собою

Таблиця 4.1

Струм	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_5, A	I_6, A	I_7, A	I_8, A
Метод вузлових потенціалів	0,867	1,416	-0,041	0,548	0,826	0,709	0,665
Метод контурних струмів	0,867	1,416	-0,041	0,549	0,826	0,709	0,666

Порівняння результатів показує, що значення струмів, що розраховані двома методами, відрізняються не більше ніж на 0,2%.

У відповідності з завданням потрібно обчислити струм у вітці №7 методом еквівалентного генератора.

Розрахуємо напругу холостого ходу еквівалентного генератора. Для цього подумки вилючаємо вітку, в який потрібно визначити струм. Напруга холостого ходу дорівнює різниці потенціалів вузлів a і b .

Розрахунок виконуємо методом вузлових потенціалів. На відміну від розрахунку, який був виконаний раніше, власна провідність вузла c змінилася за рахунок вилучення $G_7 = 1/R_7$ і дорівнює

$$G_{cc} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_3} + \frac{1}{R'_8} = \frac{1}{16} + \frac{1}{17} + \frac{1}{21} = 0,1689 \text{ Сим.}$$

Одночасно змінилося значення відповідного вузлового струму

$$J_{cc} = -\frac{E_2}{R_2} - J_3 + J_8 = -\frac{24}{16} - 0,3 + 0,9 = -0,9 A.$$

Усі інші коефіцієнти системи рівнянь залишилися незмінними

$$\begin{cases} 0,2090 \varphi_a - 0,0909 \varphi_b - 0,0625 \varphi_c = 0,0273; \\ -0,0909 \varphi_a + 0,1775 \varphi_b - 0,0588 \varphi_c = 1,0449; \\ -0,0625 \varphi_a - 0,0588 \varphi_b + 0,1689 \varphi_c = -0,9. \end{cases}$$

Розв'яжемо її щодо вузлових потенціалів у матричній формі за допомогою математичного забезпечення MathCAD

$$\begin{cases} \varphi_a = 2,086 B; \\ \varphi_b = 6,155 B; \\ \varphi_c = -2,414 B. \end{cases}$$

Напруга холостого ходу (ЕРС еквівалентного генератора)

$$U_o = E_{eq} = \varphi_d - \varphi_c = 0 - (-2,414) = 2,414 B.$$

Вилучимо зі схеми джерела енергії й щодо затискачів cd знайдемо вхідний опір кола, що дорівнює внутрішньому опору еквівалентного генератора

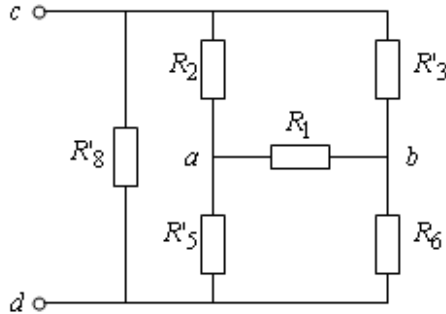


Рисунок 4.3 - Схема електричного кола без джерел енергії

Для обчислення вхідного опору кола доцільно попередньо виконати перетворення трикутника опорів R_1, R_2, R'_3 (рис. 4.3) у зірку опорів R_a, R_b, R_c (рис.4.4).

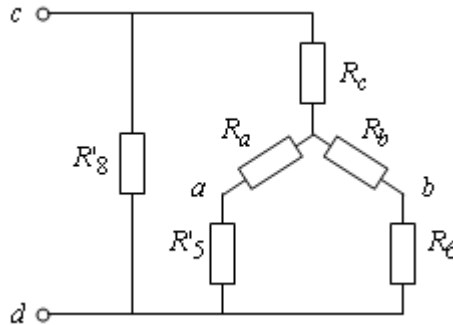


Рисунок 4.4 - Схема електричного кола без джерел енергії після перетворення трикутника опорів у зірку опорів

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R'_3} = \frac{11 \cdot 16}{11 + 16 + 17} = 4,0 \text{ Ом};$$

$$R_b = \frac{R_1 R'_3}{R_1 + R_2 + R'_3} = \frac{11 \cdot 17}{11 + 16 + 17} = 4,25 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_2 R'_3}{R_1 + R_2 + R'_3} = \frac{16 \cdot 17}{11 + 16 + 17} = 6,18 \text{ Ом};$$

$$R_{cd} = R_c + \frac{(R_a + R'_5)(R_b + R_6)}{R_a + R'_5 + R_b + R_6} =$$

$$= 6,18 + \frac{(4 + 18)(4,25 + 36)}{4 + 18 + 4,25 + 36} = 20,40 \text{ Ом};$$

$$R_{in} = \frac{R_8 R_{cd}}{R_8 + R_{cd}} = \frac{21 \cdot 20,40}{21 + 20,40} = 10,35 \text{ Ом}.$$

Схема еквівалентного генератора до якого підімкнено навантаження представлено на рис. 4.5.

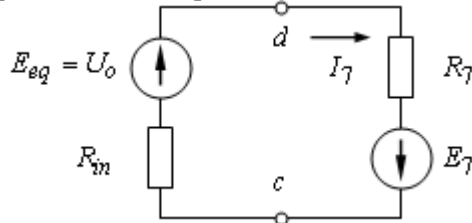


Рисунок. 4.5 - Схема еквівалентного генератора з навантаженням

Обчислимо шуканий струм у сьомій вітці

$$I_7 = \frac{E_{eq} + E_7}{R_{in} + R_7} = \frac{2,414 + 34}{10,35 + 41} = 0,709 \text{ А}.$$

Порівнявши результати розрахунку з результатами, які отримані іншими методами, бачимо що вони повністю збігаються.

Надаючи опору навантаження еквівалентного генератора різні значення побудуємо графіки залежностей струму та потужності навантаження еквівалентного генератора від опору навантаження використовуючи співвідношення

$$I_7(R) = \frac{E_{eq} + E_7}{R_{in} + R} = \frac{2,414 + 34}{10,35 + R};$$

$$P_7(R) = \left(\frac{E_{eq} + E_7}{R_{in} + R} \right)^2 R = \left(\frac{2,414 + 34}{10,35 + R} \right)^2 R.$$

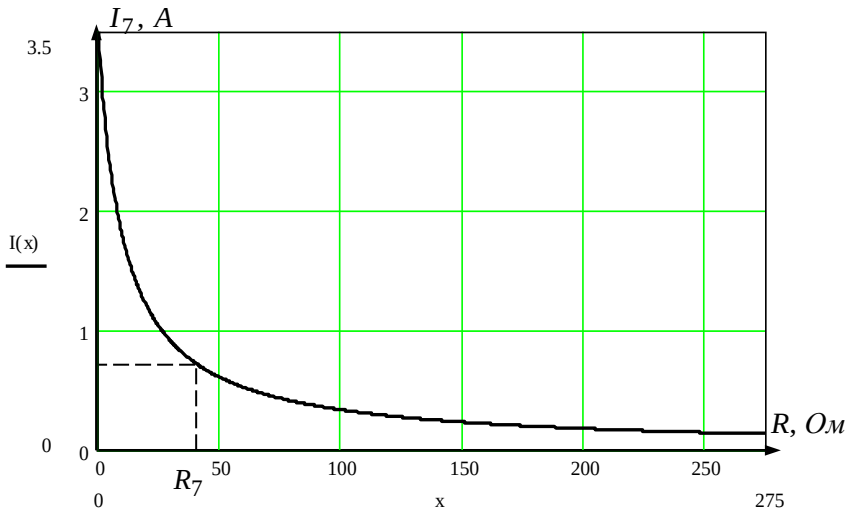


Рисунок 4.6 - Графік залежності струму навантаження еквівалентного генератора від опору навантаження

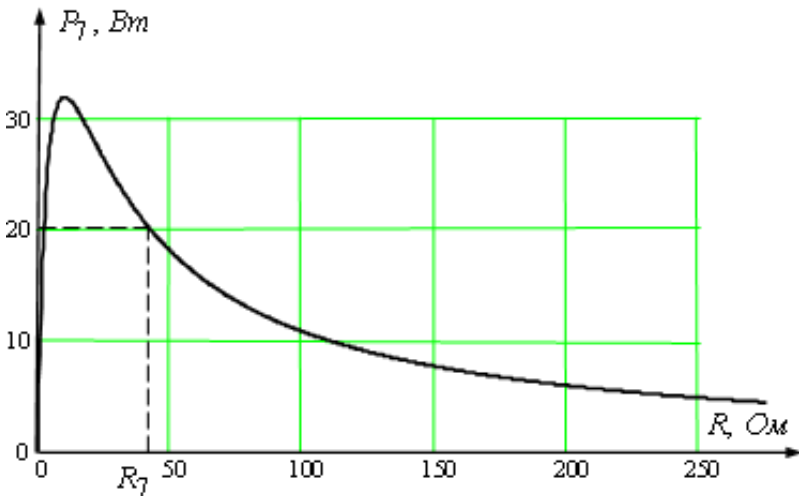


Рисунок 4.7 - Графік залежності потужності навантаження еквівалентного генератора від опору навантаження

Розрахуємо та побудуємо потенційну діаграму для зовнішнього контуру електричного кола після перетворення. На відміну від попередніх розрахунків вважаємо що потенціал вузла a дорівнює нулю $\varphi_a = 0 \text{ В}$. На рис. 4.8 представлено розрахунковий контур (на ньому додатково позначені прості вузли). Напрямок обходу контуру за годинною стрілкою.

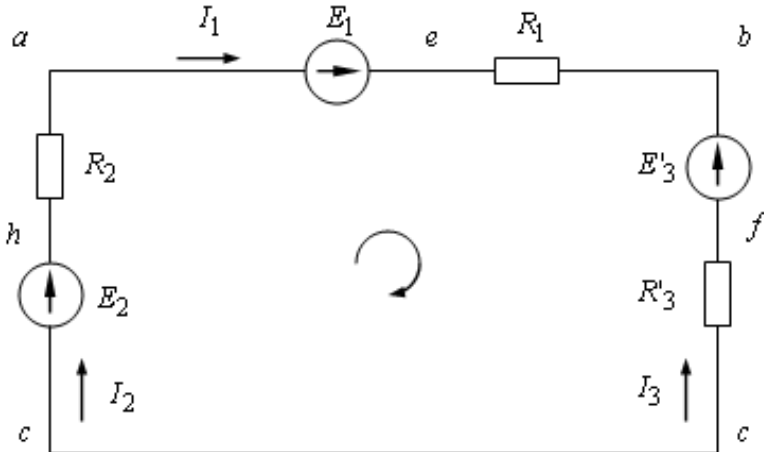


Рисунок 4.8 - Розрахунковий контур для розрахунку та побудови потенційної діаграми

$$\varphi_a = 0 \text{ В};$$

$$\varphi_e = \varphi_a + E_1 = 0 + 14 = 14 \text{ В};$$

$$\varphi_b = \varphi_e - R_1 I_1 = 14 - 11 \cdot 0,867 = 4,463 \text{ В};$$

$$\varphi_f = \varphi_b - E'_3 = 4,463 - 5,1 = -0,637 \text{ В};$$

$$\varphi_c = \varphi_f + R'_3 I_3 = -0,637 + 17 \cdot (-0,041) = -1,334 \text{ В};$$

$$\varphi_h = \varphi_c + E_2 = -1,334 + 24 = 22,666 \text{ В};$$

$$\varphi_a = \varphi_h - R_2 \cdot I_2 = 22,666 - 16 \cdot 1,416 = 0,01 \approx 0 \text{ В}.$$

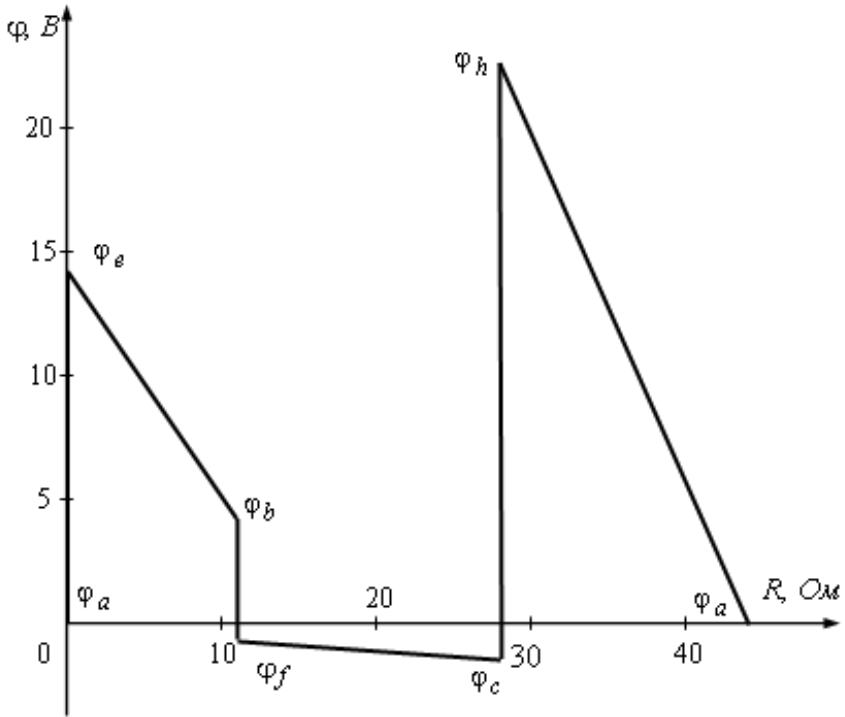


Рисунок 4.9 - Потенційна діаграма

4.2 Приклад аналізу однофазного електричного кола синусоїдного струму при відсутності індуктивно-зв'язаних елементів

Частина II, а. *Вихідні дані.* Задано електричне коло синусоїдного струму, схема заміщення якого представлена на рис. 4.9 і для якого задано: діюче значення ЕРС джерела живлення $E = 100 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$; опори резистивних елементів $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$; індуктивності і ємності реактивних елементів $L_1 = 15,9 \text{ мГн}$, $L_2 = 95,5 \text{ мГн}$, $C_1 = 212 \text{ мкФ}$, $C_3 = 79,6 \text{ мкФ}$.

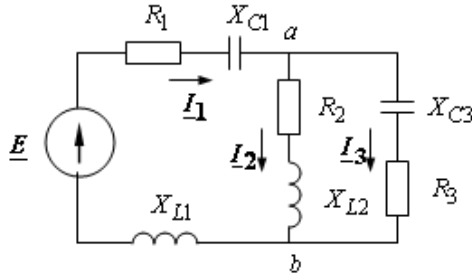


Рисунок 4.9 – Вихідна схема однофазного електричного кола синусоїдного струму при відсутності індуктивно-зв'язаних елементів

Розв'язання. Кутова частота джерела живлення

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ Гц.}$$

Опори реактивних елементів:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 15,9 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ Ом;}$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 95,5 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ Ом;}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{314 \cdot 212 \cdot 10^{-6}} = 15 \text{ Ом;}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{314 \cdot 79,6 \cdot 10^{-6}} = 40 \text{ Ом.}$$

Розрахунок виконуємо символічним методом. Всі комплексні числа, які використовуємо в розрахунку, записуємо як в алгебраїчній, так й у показовій формі.

Комплекси повних опорів віток

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 10 + j(5 - 15) = 10 - j10 = 14,1e^{-j45^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_{L2} = 40 + j30 = 50,0e^{j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_{C3} = 20 - j40 = 44,7e^{-j63^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплекс діючого значення ЕРС джерела живлення

$$\underline{E} = Ee^{j\varphi_e} = 100e^{j0^\circ} = (100 + j0) \text{ В.}$$

Від вихідної схеми заміщення кола перейдемо до схеми заміщення кола з комплексними повними опорами (рис. 4.10). Щоб підкреслити аналогію між розрахунками електричних кіл синусоїдного струму та електричних кіл постійного струму на схемі

заміщення комплексні повні опори позначені так само як резистивні елементи.

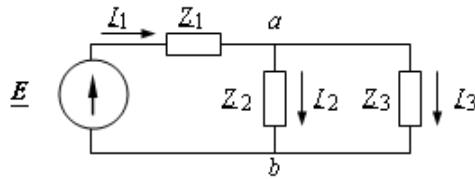


Рисунок 4.10 – Операторна схема заміщення

Для розрахунку отриманого кола використовуємо метод еквівалентних перетворень (метод згортки).

Ділянку ab з паралельним з'єднанням опорів $\underline{Z}_2$ і $\underline{Z}_3$ замінюємо еквівалентним комплексним повним опором

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{ab} &= \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{(40 + j30)(20 - j40)}{40 + j30 + 20 - j40} = \frac{(40 + j30)(20 - j40)}{60 - j10} = \\ &= 35,1 - j10,8 = 36,8e^{-j17^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Опори $\underline{Z}_1$ й $\underline{Z}_{ab}$, які з'єднані послідовно, замінюємо еквівалентним комплексним повним опором:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{екв} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{ab} = 10 - j10 + 35,1 - j10,8 = \\ &= 45,1 - j20,8 = 49,7e^{-j25^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Комплексний діючий струм у нерозгалуженій частині електричного кола за законом Ома:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{екв}} = \frac{100 + j0}{45,1 - j20,8} = 1,83 + j0,84 = 2,01e^{j25^\circ} \text{ А.}$$

Комплексні діючі спади напруг на ділянках кола:

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 = (10 - j10)(1,83 + j0,84) = 26,7 - j9,9 = 28,5e^{-j20^\circ} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{ab} = \underline{Z}_{ab} \underline{I}_1 = (35,1 - j10,8)(1,83 + j0,84) = 73,3 + j9,7 = 73,9e^{j8^\circ} \text{ В.}$$

Комплексні діючі струми в паралельних вітках за законом Ома:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_2} = \frac{73,3 + j9,7}{40 + j30} = 1,29 - j0,72 = 1,48e^{-j29^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_3} = \frac{73,3 + j9,7}{20 - j40} = 0,54 + j1,56 = 1,65e^{j71^\circ} \text{ A.}$$

Правильність розв'язання перевіряємо, використовуючи перший і другий закони Кірхгофа:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 1,29 - j0,72 + 0,54 + j1,56 = 1,83 + j0,84 = 2,01e^{j25^\circ} \text{ A;}$$

$$\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_{ab} = 26,7 - j9,9 + 73,3 + j9,7 = 100,0 - j0,2 = 100,2e^{j0^\circ} \text{ B.}$$

Відносна похибка не перевищує 1%, тобто отриманні при перевірці значення практично збігаються з вихідними.

Діючі струми і напруги дорівнюють модулям відповідних комплексних діючих значень цих величин

$$U_1 = 28,5 \text{ B; } U_{ab} = 73,9 \text{ A; } I_1 = 2,01 \text{ A; } I_2 = 1,48 \text{ A; } I_3 = 1,65 \text{ A.}$$

Початкові фази струмів і напруг дорівнюють аргументам відповідних комплексних діючих значень цих величин

$$\psi_{U_1} = -20^\circ; \psi_{U_{ab}} = 8^\circ; \psi_{I_1} = 25^\circ; \psi_{I_2} = -29^\circ; \psi_{I_3} = 71^\circ.$$

Перейдемо від комплексних діючих струмів і напруг до миттєвих значень цих величин:

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{2}U_1 \sin(\omega t + \psi_{U_1}) = \sqrt{2} \cdot 28,5 \sin(314t - 20^\circ) = \\ &= 40,3 \sin(314t - 20^\circ) \text{ B;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{ab} &= \sqrt{2}U_{ab} \sin(\omega t + \psi_{U_{ab}}) = \sqrt{2} \cdot 73,9 \sin(314t + 8^\circ) = \\ &= 104,5 \sin(314t + 8^\circ) \text{ B;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t + \psi_{I_1}) = \sqrt{2} \cdot 2,01 \sin(314t + 25^\circ) = \\ &= 2,84 \sin(314t + 25^\circ) \text{ A;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_2 &= \sqrt{2}I_2 \sin(\omega t + \psi_{I_2}) = \sqrt{2} \cdot 1,48 \sin(314t - 29^\circ) = \\ &= 2,09 \sin(314t - 29^\circ) \text{ A;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_3 &= \sqrt{2}I_3 \sin(\omega t + \psi_{I_3}) = \sqrt{2} \cdot 1,65 \sin(314t + 71^\circ) = \\ &= 2,33 \sin(314t + 71^\circ) \text{ A.} \end{aligned}$$

Використовуючи комплексні діючі напруги і струми, побудуємо у відповідно вибраних масштабах суміщену векторну діаграму струмів і напруг (рис. 4.11).

На діаграмі виконана перевірка за першим і другим законами Кірхгофа у векторній формі. Перевірка підтверджує, що розрахунки виконані правильно.

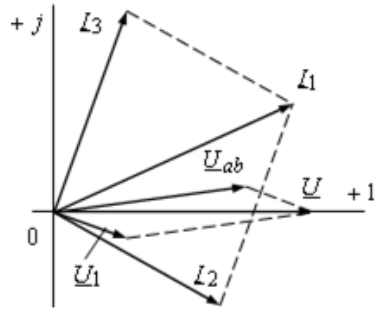


Рисунок 4.11 - Суміщена

Комплексна повна векторна діаграма струмів і напруг

$$\underline{S}_{дж} = \underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = 100 \cdot (1,83 - j0,84) = 183 - j84 = 201e^{-j25^\circ} \text{ ВА.}$$

Комплексна повна потужність споживачів:

$$\begin{aligned} S_{cn} &= \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = I_1^2 \underline{Z}_1 + I_2^2 \underline{Z}_2 + I_3^2 \underline{Z}_1 = 2,01^2 \cdot (10 - j10) + \\ &+ 1,48^2 \cdot (40 + j30) + 1,65^2 \cdot (20 - j40) = 40,4 - j40,4 + \\ &+ 87,6 + j65,7 + 54,5 - j108,9 = 182,5 - j83,6 = 200,7e^{-j25^\circ} \text{ ВА.} \end{aligned}$$

Відносна похибка між цими величинами модулем не перевищує 3%, а за кут 1° , тому вважаємо, що розрахунок виконано правильно.

4.3 Приклад аналізу однофазного електричного кола синусоїдного струму при наявності індуктивно-зв'язаних елементів

Частина II, 6. *Вихідні дані.* Задано електричне коло синусоїдного струму, схема заміщення якого представлена на рис. 4.2 і для якого задано: діюче значення ЕРС джерела живлення $E = 100 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$; опори резистивних елементів $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$; індуктивності і ємності реактивних елементів $L_1 = 15,9 \text{ мГн}$, $L_2 = 95,5 \text{ мГн}$, $C_1 = 212 \text{ мкФ}$, $C_3 = 79,6 \text{ мкФ}$, коефіцієнт магнітного зв'язку $k = 0,8$.

Розв'язання. Комплекс повних опорів віток и комплекс діючої ЕРС джерела живлення залишаються незмінними, як у частині II, 6

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 10 + j(5 - 15) = 10 - j10 = 14,1e^{-j45^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_{L2} = 40 + j30 = 50,0e^{j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_{C3} = 20 - j40 = 44,7e^{-j63^\circ} \text{ Ом.}$$

$$\underline{E} = Ee^{j\psi_e} = 100e^{j0^\circ} = (100 + j0) \text{ В.}$$

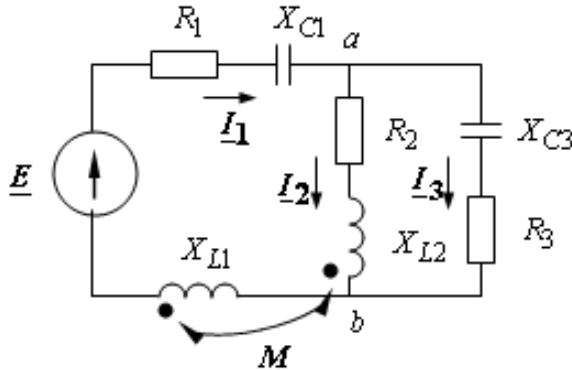


Рисунок 4.12 - Вихідна схема однофазного електричного кола синусоїдного струму за наявності індуктивно-зв'язаних елементів

Взаємна індуктивність

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} = 0,8\sqrt{15,9 \cdot 95,5} = 31,2 \text{ мГн.}$$

Опір взаємної індуктивності, який враховує наявність індуктивного зв'язку

$$X_M = \omega M = 314 \cdot 31,2 \cdot 10^{-3} = 9,8 \text{ Ом.}$$

Напрямки струмів у всіх вітках вибираємо так, як це показано на рис. 4.12. Розрахунок виконуємо символічним методом.

Обчислимо комплексні діючі струми у всіх вітках кола методом контурних струмів. Для цього складаємо систему рівнянь. Перший незалежний контур складається з першої та другої віток, а другий – з другої та третьої. Напрямок контурних струмів вибираємо за годинниковою стрілкою.

При обчисленні власних ($\underline{Z}_{11}$; $\underline{Z}_{22}$) і взаємних ($\underline{Z}_{12}$; $\underline{Z}_{21}$) опорів незалежних контурів електричного кола необхідно враховувати наявність індуктивних зв'язків між котушками.

При знаходженні власних опорів $\underline{Z}_{11}$; $\underline{Z}_{22}$ незалежних контурів кола враховуємо тільки ті індуктивні зв'язки, які є усередині даного незалежного контуру у вигляді подвоєних опорів взаємної індуктивності. Це необхідно робити тому, що контурний струм у кожній із двох індуктивно-зв'язаних котушок індуктивності наводить

у іншій котушці ЕРС взаємної індукції виду $\pm j\omega M$, які додаються один до одного (за аналогією з послідовним з'єднанням двох індуктивно-зв'язаних котушок).

У випадку, що розглядається, ЕРС взаємної індукції враховується зі знаком "+", оскільки власний контурний струм однаково орієнтований щодо однойменних затискачів котушок. Тоді комплекси власних опорів незалежних контурів кола мають вигляд

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{11} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + 2 \cdot jX_M = 10 - j10 + 40 + j30 + 2 \cdot j9,8 = 50 + j39,6 = \\ &= 63,8e^{j38^\circ} \text{ Ом};\end{aligned}$$

$$\underline{Z}_{22} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 = 40 + j30 + 20 - j40 = 60 - j10 = 60,8e^{-9^\circ} \text{ Ом}.$$

При знаходженні взаємних опорів $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21}$ необхідно враховувати опори, спільні для I й II контурів. До них належать:

- опір вітки, яка є спільною для цих контурів $\underline{Z}_2 = R_2 + jX_{L2}$;

- опір взаємної індуктивності між котушкою першої вітки, яка належить першому контуру і котушкою другої вітки, яка належить другому контуру.

Тоді взаємні опори контурів кола мають вигляд

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21} &= -\underline{Z}_2 - jX_M = -40 - j30 - j9,8 = \\ &= -40 - j39,8 = 56,4e^{-j135^\circ} \text{ Ом}\end{aligned}$$

В цьому виразі знак "-" перед комплексним опором $\underline{Z}_2$ другої вітки прийнято за загальним правилом для взаємних опорів контурів, тому що в даній вітці контурні струми спрямовані назустріч один одному; знак "-" перед опором jX_M узятий тому, що контурний струм $\underline{I}_{11}$ у котушці індуктивності L_1 й контурний струм $\underline{I}_{22}$ у котушці індуктивності L_2 орієнтовані щодо однойменних затисків котушок у протилежні боки.

Тоді система рівнянь для визначення контурних струмів має вигляд

$$\begin{cases} (50 + j39,6)\underline{I}_{11} + (-40 - j39,8)\underline{I}_{22} = 100 + j0; \\ (-40 - j39,8)\underline{I}_{11} + (60 - j10)\underline{I}_{22} = 0 + j0. \end{cases}$$

Отриману систему розв'язуємо методом Крамера.

Головний визначник системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 50 + j39,6 & -40 - j39,8 \\ -40 - j39,8 & 60 - j10 \end{vmatrix} = 3364 - j1292 \text{ Ом}^2.$$

Допоміжні визначники

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} 100 + j0 & -40 - j39,8 \\ 0 + j0 & 60 - j10 \end{vmatrix} = 6000 - j1000 \text{ В} \cdot \text{Ом};$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 50 + j39,6 & 100 + j0 \\ -40 - j39,8 & 0 + j0 \end{vmatrix} = -4000 - j3980 \text{ В} \cdot \text{Ом}.$$

Розв'язавши дану систему, визначимо контурні струми у незалежних контурах електричного кола

$$\underline{I}_{11} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = \frac{6000 - j1000}{3364 - j1292} = 1,65 + j0,34 = 1,69e^{j12^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{I}_{22} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta} = \frac{-4000 - j3980}{3364 - j1292} = 0,64 + j1,42 = 1,56e^{j66^\circ} \text{ А}.$$

Струми у вітках електричного кола

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} = 1,65 + j0,34 = 1,69e^{j12^\circ} \text{ А};$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_2 &= \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22} = 1,65 + j0,34 - 0,64 - j1,42 = 1,01 - j1,08 = 1,48e^{-j47^\circ} \text{ А}; \\ &= 1,01 - j1,08 = 1,48e^{-j47^\circ} \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{22} = 0,64 + j1,42 = 1,56e^{j66^\circ} \text{ А}.$$

Обчислимо комплексні діючі струми у всіх вітках кола методом магнітної розв'язки. Для цього перейдемо до еквівалентної схеми заміщення без магнітного зв'язку (рис. 4.13).

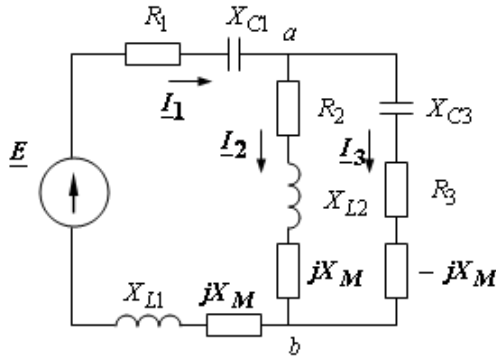


Рисунок. 4.13 - Вихідна схема однофазного електричного кола синусоїдного струму з використанням методу магнітної розв'язки

Для розрахунку отриманого кола використовуємо метод еквівалентних перетворень (метод згортки).

Ділянку ab з паралельним з'єднанням віток замінюємо еквівалентним комплексним повним опором

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{ab} &= \frac{(\underline{Z}_2 + jX_M)(\underline{Z}_3 - jX_M)}{\underline{Z}_2 + jX_M + \underline{Z}_3 - jX_M} = \frac{(40 + j30 + j9,8)(20 - j40 - j9,8)}{40 + j30 + j9,8 + 20 - j40 - j9,8} = \\ &= 48,3 - j11,9 = 49,8e^{-j14^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Еквівалентний комплексний повний опір всього кола

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{екв} &= \underline{Z}_1 + jX_M + \underline{Z}_{ab} = 10 - j10 + j9,8 + 48,3 - j11,9 = \\ &= 58,3 - j12,1 = 59,6e^{-j12^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Комплексний діючий струм у нерозгалуженій частині електричного кола за законом Ома:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{екв}} = \frac{100 + j0}{58,3 - j12,1} = 1,64 + j0,34 = 1,68e^{j12^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна діюча напруга на ділянці паралельних віток

$$\underline{U}_{ab} = \underline{Z}_{ab} \underline{I}_1 = (48,3 - j11,9)(1,64 + j0,34) = 83,5 - j3,1 = 83,6e^{-j2^\circ} \text{ В.}$$

Комплексні діючі струми в паралельних вітках за законом Ома:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_2 + jX_M} = \frac{83,5 - j3,1}{40 + j30 + j9,8} = 1,01 - j1,08 = 1,48e^{-j47^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_3 - jX_M} = \frac{83,5 - j3,1}{20 - j40 - j9,8} = 0,63 + j1,42 = 1,56e^{j66^\circ} \text{ A.}$$

Відносна похибка між токами обчисленими двома методами не перевищує 1%, тобто розрахунки виконані правильно.

Складаємо баланс потужностей.

Потужність джерела

$$\underline{S}_{дж} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = (100 + j0)(1,64 - j0,34) = 164 - j34 = 168e^{-j12^\circ} \text{ ВА.}$$

При розрахунку потужності споживача потужність за рахунок магнітного зв'язку обчислюємо окремо:

$$\underline{S}_e = I_1^2 \underline{Z} + I_2^2 \underline{Z} + I_3^2 \underline{Z} = 1,68^2(10 - j10) + 1,48^2(40 + j30) + 1,56^2(20 - j40) = 164,5 - j59,9 = 175,1e^{-j20^\circ} \text{ ВА.}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_m &= jX_M \underline{I}_1 \cdot \underline{I}_2^* + jX_M \underline{I}_2 \cdot \underline{I}_1^* = j9,8 \cdot (1,64 + j0,34)(1,01 + j1,08) + \\ &+ j9,8 \cdot (1,01 - j1,08)(1,64 - j0,34) = -20,8 + j12,7 + 20,8 + j12,7 = \\ &= j25,7 = 25,4e^{j90^\circ} \text{ ВА.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{cn} &= \underline{S}_e + \underline{S}_m = 164,5 - j59,9 + j25,7 = \\ &= 164,5 - j34,2 = 168,0e^{-j12^\circ} \text{ ВА.} \end{aligned}$$

Таким чином комплексні повні потужності джерела та споживача збігаються.

Визначимо спади напруг на окремих ділянках кола. Спади напруг за рахунок магнітного зв'язку обчислюємо окремо:

$$\underline{U}_{1m} = jX_M \underline{I}_2 = j9,8 \cdot (1,01 - j1,08) = 10,6 + j9,9 = 14,5e^{j43^\circ} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{2m} = jX_M \underline{I}_1 = j9,8 \cdot (1,64 + j0,34) = -3,3 + j16,1 = 16,4e^{j102^\circ} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{1e} = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 = (10 - j10)(1,64 + j0,34) = 19,8 - j13,0 = 23,7e^{-j33^\circ} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{2e} = \underline{Z}_2 \underline{I}_2 = (40 + j30)(1,01 - j1,08) = 72,8 - j12,9 = 73,9e^{-j10^\circ} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{3e} = \underline{Z}_3 \underline{I}_3 = (20 - j40)(0,63 + j1,42) = 69,4 + j3,2 = 69,5e^{j3^\circ} \text{ В;}$$

$$U_1 = U_{1e} + U_{1m} = 10,6 + j9,9 + 19,8 - j13,0 = 30,5 - j3,1 = 30,7e^{-j6^\circ} \text{ В;}$$

$$U_2 = U_{2e} + U_{2m} = 72,8 - j12,9 - 3,3 + j16,1 = 69,5 + j3,2 = 69,6e^{j3^\circ} \text{ В.}$$

Побудуємо суміщену векторну діаграму струмів і напруг (рис. 4.14).

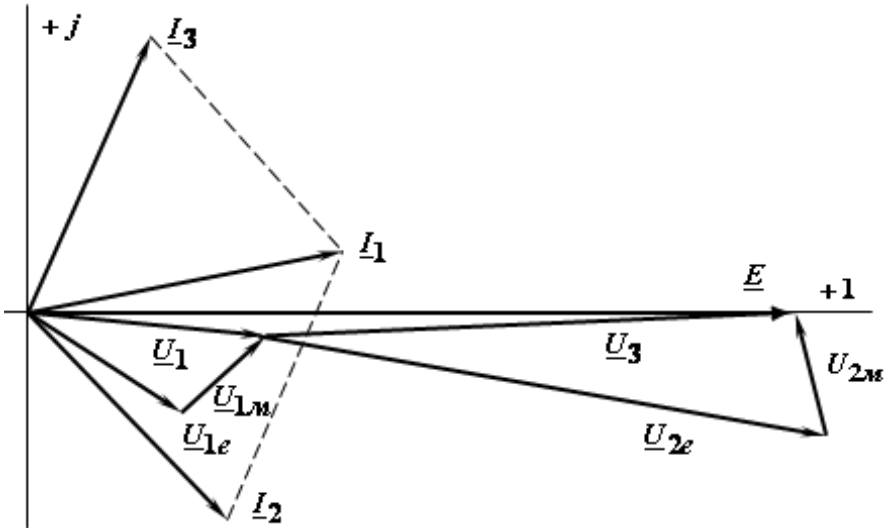


Рисунок 4.14 - Суміщена векторна діаграма струмів і напруг за наявності індуктивно-зв'язаних елементів

5. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Качан Ю.Г. Лінійна електротехніка (теоретичні основи).
2. Паначевський Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: Теорія і практикум.
3. Міліх В.І. Електротехніка та електромеханіка.
4. Козлов В.В., Набокова О.В. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими у лінійних електричних колах.