

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА
АКАДЕМІЯ

Методичні вказівки
до контрольних робіт з дисципліни
“Електротехніка, електроніка
та мікропроцесорна техніка”
(для студентів неелектротехнічних
спеціальностей)
Частина 1

Укладачі: Анатолій Олексійович Знаменський,
 Олександр Михайлович Наливайко

Редактор: Ірина Іванівна Дьякова

Методичні вказівки
до контрольних робіт з дисципліни
“Електротехніка, електроніка та
мікропроцесорна техніка”
(для студентів неелектротехнічних
спеціальностей)

Частина 1

Затверджено на засіданні
кафедри ЕТ та ЕО
Протокол №7 від 03.12.2002 р.

Підписано до друку. _____ Формат 60x84/16
Офсетний друк. Ум.друк.арк. _____ Обл.вид.арк. _____
Тираж _____ прим. Зам.№ _____
ДДМА. 84313, м.Краматорськ, вул.Шкадінова, 72

Краматорськ 2003

Зміст

УДК 621

Методичні вказівки до контрольних робіт з дисципліни
“Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка”
(для студентів неелектричних спеціальностей)

/Укл. Знаменський А.О., Наливайко О.М. – Краматорськ:
ДДМА, 2003. - 38 с.

Приведені завдання та стислі теоретичні вказівки до вико-
нання контрольних робіт з розділу “Електричні кола”.

Дані контрольні завдання у повному обсязі відповідають
вимогам з дисципліни “Електротехніка, електроніка та мікро-
процесорна техніка”.

Для груп механічних спеціальностей необхідно додатково
виконати контрольну роботу з розділу “Електричні машини”,
тобто звернутися до другої частини вказівок.

Укладачі:

Знаменський А.О., доц.,
Наливайко О.М., доц.
Наливайко О.М., доц.

Відповідальний за випуск:

Редактор:

Дьякова І.І.

1. Загальні вказівки.....3
2. Розрахунок кіл постійного струму.....3
3. Розрахунок кіл змінного струму.....18
4. Розрахунок трифазного кола при з’єднанні
приймачів за схемою “чотирихпровідна зірка”.....30
5. Розрахунок трифазного кола при з’єднанні
приймачів за схемою “трикутник”.....34
6. Список рекомендованої літератури.....38

Потужності розраховуємо для кожної фази окремо за рекомендаціями, викладеними в попередніх розділах, а потім складаємо їх. Реактивні потужності складаємо алгебраїчно, вважаючи потужність ємності негативною.

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca},$$

$$Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca},$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Список рекомендованої літератури.

1. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. – Львів, “Афіша”, 2001. – 423 с.
2. Борисов Ю.М. и др. Электротехника. – М.: Энергоиздат, 1985. – 552 с.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоиздат, 1983. – 440 с.

Загальні вказівки

Студентам-заочникам лекції читаються тільки за окремими розділами курсу. Більша частина матеріалу вивчається ними самостійно. Для закріплення знань, одержаних самостійно, та набуття практичних навиків з розрахунку та аналізу електричних кіл та пристроїв, студенти виконують контрольні завдання та лабораторні роботи.

Завдання для контрольних робіт, вказівки до їх виконання та список рекомендованої літератури приводяться нижче.

Контрольні завдання охоплюють розділи:

- Коло постійного струму з одним джерелом живлення;
- Складні кола постійного струму;
- Однофазне коло змінного, синусоїдального струму з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням елементів навантаження;
- Трифазне коло змінного струму, схема “зірка”;
- Трифазне коло змінного струму, схема “трикутник”.

Варіант контрольних робіт задається викладачем або за номером залікової книжки, або за обліковим номером студента в журналі групи.

1 Розрахунок кіл постійного струму

Головним завданням розрахунку електричних кіл є визначення струмів в гілках кіл за заданими E P S і опорами (за величиною струмів визначаються перерізи проводів, апаратура комутації та захисту). Можуть зустрітися зворотні задачі, де за заданими опорами та струмом визначається напруга або E P S .

Електричні кола можна розділити на дві групи: прості та складні.

1.1 Кола постійного струму з одним джерелом живлення

Простим колом вважають таке, в якому послідовно та паралельно з'єднані групи споживачів енергії можуть бути приведені шляхом послідовного перетворення до одного еквівалентного опору.

Перед тим, як приступати до розрахунків, потрібно позначити струми.

При "згортанні" кіл використовуються відомі вирази:

$$R_{\text{Пос}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{R_{\text{Парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_m}. \quad (1.2)$$

Отримані проміжні загальні опори зручно позначити індексами всіх опорів, що піддалися перетворенню, наприклад R_{123} або R_{1234} .

По закінченні перетворення одержуємо коло з одним еквівалентним опором, струм в якому дорівнює шуканому струму в нерозгалуженому колі:

$$I = \frac{U_{ab}}{R_{\text{Екв}}}.$$

Після цього розгортаємо коло і, використовуючи закони Ома та Кірхгофа, послідовно знаходимо інші струми.

Е.Р.С. джерела живлення знаходиться у виразі:

$$E = I R_9 + I R_0 = U_{ab} + I R_0. \quad (1.3)$$

Зустрічаються задачі, коли для визначення еквівалентного опору звертаються до перетворення "зірки" на "трикутник" або навпаки.

Нижче подані вирази про такий випадок та пояснюючі рисунки. На рисунку 1.1 приведені базові схеми для перетворення

Лінійні струми визначаються по векторній діаграмі.

$$\begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca}, \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab}, \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Будову векторної діаграми починають із "зірки" лінійних напруг:

$$\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{BC}, \bar{U}_{CA}.$$

Потім, згідно з фазовими зсувами, будують фазні струми:

$$\bar{I}_{ab}, \bar{I}_{bc}, \bar{I}_{ca}.$$

Лінійні струми визначають графічно згідно з формулами (2.4).

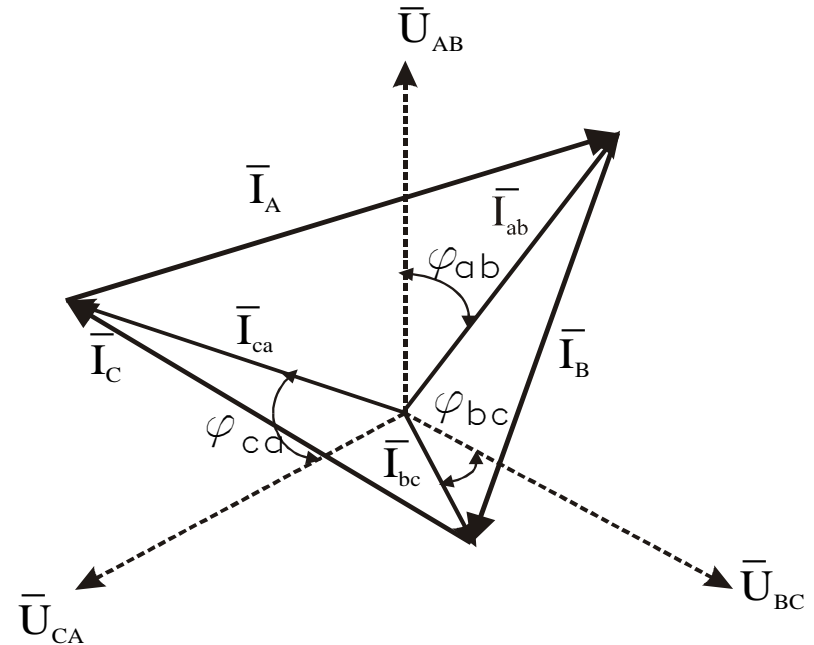


Рисунок 2.9 – Векторна діаграма трифазного кола з'єднаного трикутником

Таблиця 2.5 – Параметри 3-фазного кола, схема
“ трикутник”

| Вари- ант | U _{л.} В | Опори споживачів, Ом | | | | | | | | |
|--------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | | R _{ab.} | X _{Саб.} | X _{Lab.} | R _{bc.} | X _{Сbc.} | X _{Lbc.} | R _{ca.} | X _{Сca.} | X _{Lca.} |
| 1 | 380 | 100 | - | 40 | 80 | - | 20 | 100 | - | 15 |
| 2 | 220 | 20 | 10 | - | 40 | 20 | - | 50 | 30 | - |
| 3 | 380 | 30 | - | 70 | 30 | - | 50 | 70 | - | 40 |
| 4 | 220 | 40 | 20 | - | 20 | 25 | - | 40 | 100 | - |
| 5 | 380 | 80 | - | 50 | 90 | - | 70 | 30 | - | 90 |
| 6 | 220 | 50 | 90 | - | 50 | 50 | - | 45 | 70 | - |
| 7 | 380 | 70 | - | 30 | 70 | - | 20 | 50 | - | 50 |
| 8 | 220 | 20 | 80 | - | 40 | 40 | - | 80 | 30 | - |
| 9 | 380 | 30 | - | 30 | 30 | - | 40 | 90 | - | 70 |
| 10 | 220 | 40 | 50 | - | 45 | 20 | - | 70 | 100 | - |
| 11 | 220 | 70 | - | 60 | 40 | - | 70 | 100 | - | 40 |
| 12 | 220 | 50 | 55 | - | 50 | 40 | - | 45 | 90 | - |
| 13 | 380 | 90 | - | 20 | 90 | - | 50 | 60 | - | 40 |
| 14 | 220 | 45 | 20 | - | 80 | 45 | - | 80 | 90 | - |
| 15 | 380 | 100 | - | - | 55 | - | - | 30 | - | - |
| 16 | 220 | 20 | 70 | - | 60 | 50 | - | 70 | 20 | - |
| 17 | 380 | 50 | - | 50 | 70 | - | 40 | 65 | - | 70 |
| 18 | 220 | 40 | - | - | 95 | - | - | 100 | - | - |
| 19 | 380 | 70 | - | 55 | 45 | - | 60 | 30 | - | 70 |
| 20 | 220 | 60 | 10 | - | 60 | 30 | - | 70 | 100 | - |
| 21 | 380 | 55 | - | 40 | 80 | - | 90 | 40 | - | 55 |
| 22 | 220 | 40 | 40 | - | 90 | 70 | - | 30 | 20 | - |
| 23 | 380 | 90 | - | 15 | 70 | - | 35 | 90 | - | 40 |
| 24 | 220 | 55 | 40 | - | 65 | 90 | - | 55 | 10 | - |
| 25 | 380 | 80 | - | 15 | 90 | - | 70 | 100 | - | 30 |
| 26 | 220 | 120 | 80 | - | 75 | 50 | - | 200 | 60 | 20 |
| 27 | 380 | 160 | - | 60 | 45 | - | 60 | 220 | 20 | 40 |
| 28 | 660 | 200 | 90 | 20 | 90 | 80 | - | 250 | 80 | 60 |
| 29 | 220 | 110 | 65 | 48 | 75 | 28 | 30 | 125 | - | 90 |
| 30 | 380 | 145 | 84 | - | 56 | 24 | 36 | 115 | 20 | - |
| 31 | 660 | 250 | 98 | 40 | 30 | - | 96 | 180 | 84 | 23 |
| 32 | 220 | 124 | 56 | 89 | 80 | 68 | - | 124 | 38 | 86 |

Перетворення “Y” на “Δ”

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3},$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1},$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}.$$

(1.4)

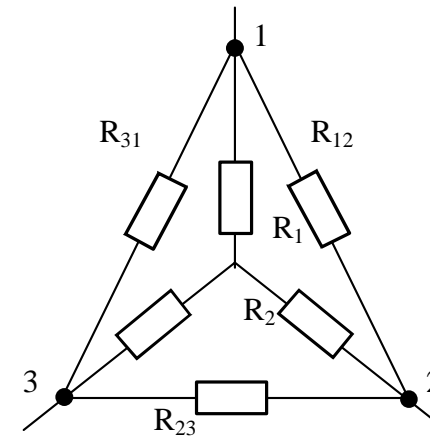


Рисунок 1.1 – Перетворення “Y” на “Δ” та навпаки

Перетворення “Δ” на “Y”

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}},$$

$$R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}},$$

(1.5)

$$R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Правильність розрахунків методом еквівалентного опору (методом трансфігурації) визначається балансом потужностей в колі. Для цього потужність, що віддається джерелом, дорівнюється сумарній потужності, що виділяється на резисторах, тобто

$$EI = \sum_1^n I_K^2 R_K$$

На рисунках 1.2...1.5 зображені схеми електричних кіл, для яких за заданими в таблиці 1.1 параметрами необхідно визначити:

- еквівалентний опір R_e з боку затискачів a, b;
- струми в усіх гілках кола;
- напруги на всіх резистивних елементах кола;
- потужність всіх резистивних елементів;
- потужність, що віддається джерелом електроенергії.

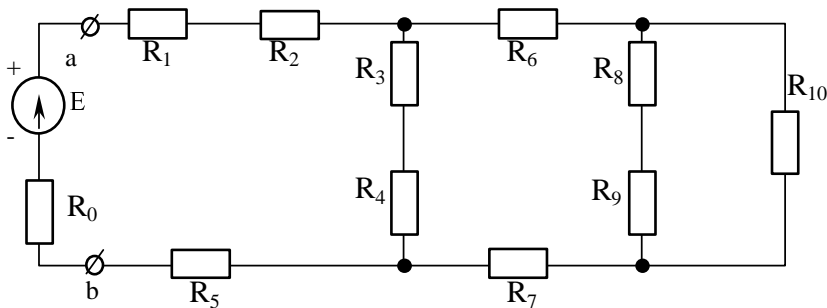


Рисунок 1.2

Струми в фазах знаходять за законом Ома за відомими фазним напругами і повними опорамі фаз:

$$I_{ab} = U_{\phi} / Z_{ab}, \quad I_{bc} = U_{\phi} / Z_{bc}, \quad I_{ca} = U_{\phi} / Z_{ca}$$

Для кожної фази визначається кут зсуву фаз φ :

$$\varphi_{ab} = \arccos R_{ab} / Z_{ab},$$

$$\varphi_{bc} = \arccos R_{bc} / Z_{bc},$$

$$\varphi_{ca} = \arccos R_{ca} / Z_{ca}.$$

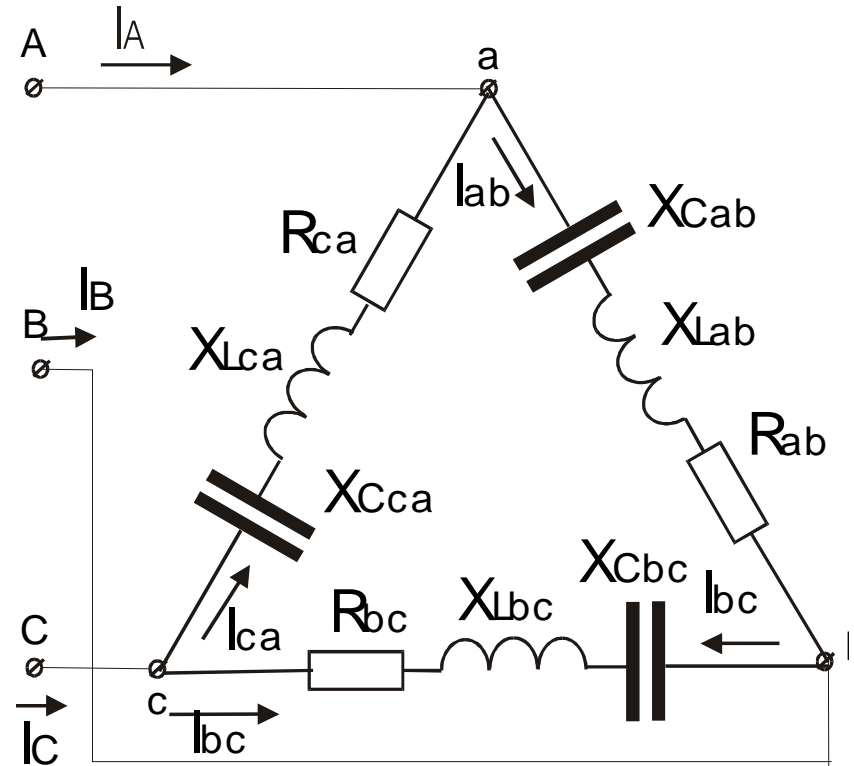


Рисунок 2.8 – Схема трифазного кола з'єднаного “трикутником”

$$\varphi_B = \arccos R_B / Z_B,$$

$$\varphi_C = \arccos R_C / Z_C.$$

Знаючи величини фазних струмів та кути, під якими вектори струмів знаходяться відносно векторів фазних напруг, будемо \overline{I}_A , \overline{I}_B та \overline{I}_C на діаграмі та геометрично складаємо їх, отримуючи струм в нейтральному дроті:

$$\overline{I}_{Nn} = \overline{I}_A + \overline{I}_B + \overline{I}_C.$$

Потужність змінного струму розраховуємо для кожної фази окремо за рекомендаціями, викладеними в попередніх розділах, а потім складаємо їх. Реактивні потужності складаємо алгебраїчно, вважаючи потужність ємності негативною.

$$P = P_A + P_B + P_C,$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C,$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

2.5 Розрахунок трифазного кола змінного струму при з'єднанні приймачів за схемою "трикутник"

На рисунку 2.8 зображені трифазні приймачі, з'єднані за схемою "трикутник". В таблиці 2.5 задані параметри кола за варіантами.

Необхідно виконати такі дії:

- визначити повний опір фази;
- визначити фазні I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} та лінійні струми I_A , I_B , I_C ;
- визначити активну, повну та реактивну потужність кожної фази та всього кола в цілому.

Фазні повні опори визначаються згідно з виразом (2.3).

Для "трикутника" $U_\Phi = U_L$.

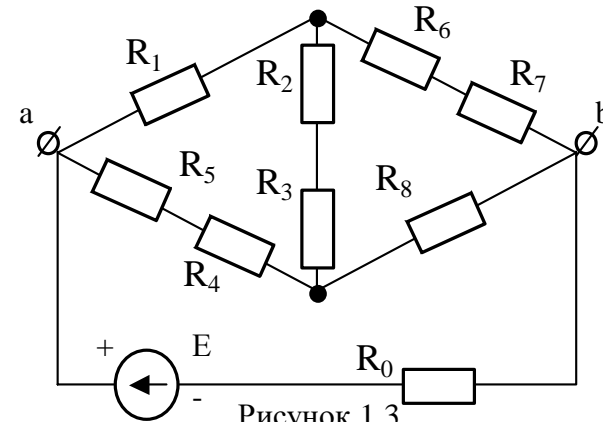


Рисунок 1.3

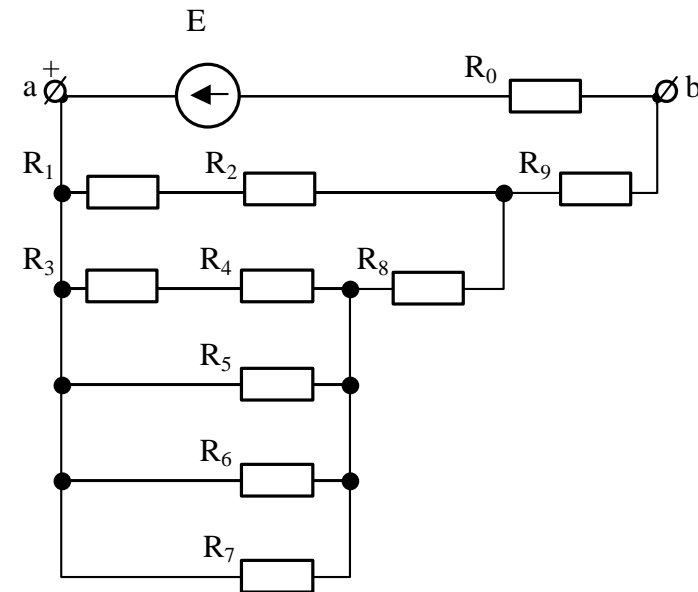


Рисунок 1.4

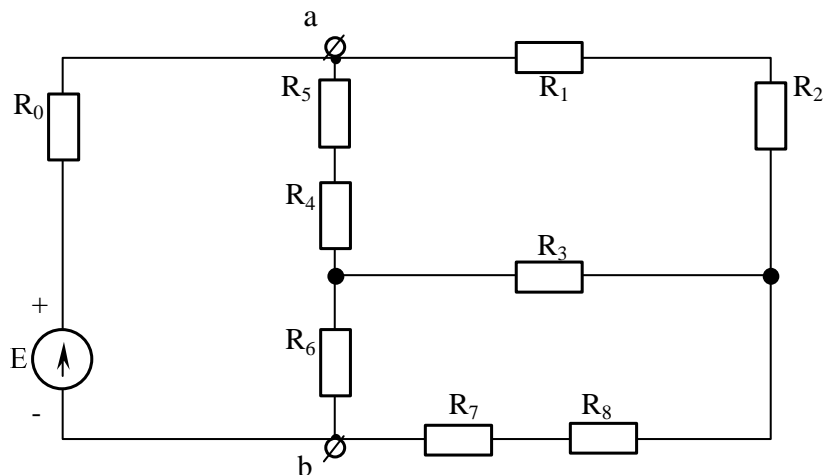


Рисунок 1.5

В таблиці 1.1 приведені параметри кола, потрібні для розрахунку. У відповідності до таблиці, кожному варіанту необхідно розрахувати два кола: для парного варіанта – схеми на рисунку 1.2 та 1.3, для непарного – на рисунку 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.1- Параметри простого електричного кола постійного струму

| № варіанта | Параметри кола | | | | | | | | | | | |
|------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | E, В | Опири резисторів, Ом | | | | | | | | | | |
| | | R ₀ | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | R ₇ | R ₈ | R ₉ | R ₁₀ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 14 | 0,2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 8 | 6 | 7 | 3 | 5 | 7 |
| 2 | 40 | 0,15 | 5 | 7 | 9 | 14 | 11 | 10 | 12 | 6 | 11 | 8 |
| 3 | 120 | 1,5 | 20 | 26 | 21 | 27 | 28 | 23 | 22 | 29 | 25 | 30 |
| 4 | 240 | 2 | 40 | 44 | 42 | 46 | 45 | 48 | 43 | 47 | 45 | 41 |

А, В, С (рисунок 2.7).

Фазні напруги системи знаходяться з відомих співвідношень між фазними та лінійними величинами для схеми “зірка”.

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} \sqrt{3}, \quad I_{\phi} = I_{\text{л}}.$$

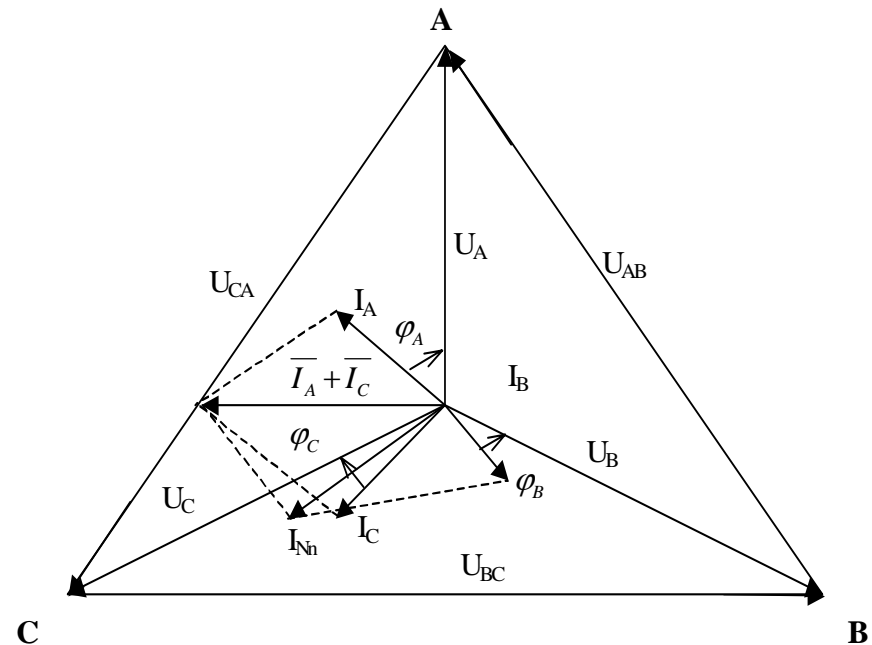


Рисунок 2.7 – Примірна векторна діаграма 4-провідного 3-фазного кола при з’єднанні за схемою “зірка”

Струми в фазах знаходять за законом Ома за відомими фазними напругами і повними опороми фаз:

$$I_A = U_{\phi} / Z_A, \quad I_B = U_{\phi} / Z_B, \quad I_C = U_{\phi} / Z_C.$$

Для кожної фази визначається кут зсуву фаз φ :

$$\varphi_A = \arccos R_A / Z_A,$$

Продовження таблиці 2.4

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 19 | 380 | 70 | - | 55 | 45 | - | 60 | 30 | - | 70 |
| 20 | 220 | 60 | 10 | - | 60 | 30 | - | 70 | 100 | - |
| 21 | 380 | 55 | - | 40 | 80 | - | 90 | 40 | - | 55 |
| 22 | 220 | 40 | 40 | - | 90 | 70 | - | 30 | 20 | - |
| 23 | 380 | 90 | - | 15 | 70 | - | 35 | 90 | - | 40 |
| 24 | 220 | 55 | 40 | - | 65 | 90 | - | 55 | 10 | - |
| 25 | 380 | 80 | - | 15 | 90 | - | 70 | 100 | - | 30 |
| 26 | 220 | 120 | 80 | - | 75 | 50 | - | 200 | 60 | 20 |
| 27 | 380 | 160 | - | 60 | 45 | - | 60 | 220 | 20 | 40 |
| 28 | 660 | 200 | 90 | 20 | 90 | 80 | - | 250 | 80 | 60 |
| 29 | 220 | 110 | 65 | 48 | 75 | 28 | 30 | 125 | - | 90 |
| 30 | 380 | 145 | 84 | - | 56 | 24 | 36 | 115 | 20 | - |
| 31 | 660 | 250 | 98 | 40 | 30 | - | 96 | 180 | 84 | 23 |
| 32 | 220 | 124 | 56 | 89 | 80 | 68 | - | 124 | 38 | 86 |

Розрахунок 3-фазного кола зводиться до розрахунку кожної фази окремо і утворюється відповідно до розрахунку однофазного кола.

Для визначення повних фазних опорів використовується вираз:

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + (X_{LA} - X_{CA})^2}.$$

Відповідні розрахунки виконуються для фаз А, В, С.

Характерна риса 4-провідникової “зірки” є незмінність потенціалів початків фаз А, В, С та нейтральної точки n при будь-якій зміні величини і характеру опорів у фазах. Тобто, навіть коли не знаємо струморозподілу у колі, яке розглядається, можна завжди побудувати діаграму лінійних та фазних напружень, використовуючи перераховані потенціали. Вона є рівнобічний трикутник векторів лінійних напруг, вектори фазних напруг починаються у точці схрещення медіан (нейтральна точка n) і продовжуються до вершин трикутника

Продовження таблиці 1.1

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 5 | 120 | 1,5 | 25 | 28 | 30 | 32 | 27 | 33 | 35 | 29 | 31 | 26 |
| 6 | 240 | 2 | 40 | 42 | 48 | 44 | 46 | 43 | 41 | 40 | 47 | 45 |
| 7 | 40 | 0,1 | 8 | 6 | 11 | 5 | 10 | 7 | 12 | 14 | 9 | 13 |
| 8 | 14 | 0,2 | 7 | 5 | 3 | 5 | 6 | 8 | 4 | 3 | 2 | 5 |
| 9 | 60 | 1,7 | 30 | 27 | 26 | 28 | 32 | 35 | 29 | 34 | 31 | 25 |
| 10 | 240 | 2 | 45 | 48 | 53 | 47 | 49 | 52 | 50 | 55 | 51 | 46 |
| 11 | 14 | 0,1 | 6 | 3 | 5 | 2 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 3 |
| 12 | 60 | 1,7 | 25 | 27 | 28 | 30 | 29 | 31 | 28 | 32 | 26 | 35 |
| 13 | 120 | 1,5 | 30 | 27 | 26 | 32 | 28 | 34 | 29 | 35 | 31 | 25 |
| 14 | 40 | 1,3 | 6 | 8 | 10 | 7 | 3 | 5 | 4 | 7 | 9 | 5 |
| 15 | 240 | 2 | 43 | 40 | 42 | 44 | 38 | 45 | 48 | 71 | 46 | 39 |
| 16 | 14 | 0,2 | 2 | 5 | 4 | 6 | 5 | 7 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| 17 | 60 | 0,2 | 15 | 12 | 11 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 13 | 10 |
| 18 | 40 | 0,3 | 4 | 7 | 6 | 9 | 8 | 5 | 12 | 15 | 14 | 10 |
| 19 | 120 | 1,5 | 22 | 24 | 20 | 25 | 23 | 27 | 21 | 26 | 28 | 25 |
| 20 | 240 | 2 | 42 | 37 | 40 | 38 | 41 | 39 | 43 | 36 | 45 | 35 |
| 21 | 14 | 0,2 | 3 | 9 | 7 | 6 | 8 | 2 | 4 | 5 | 3 | 6 |
| 22 | 60 | 1,5 | 20 | 16 | 18 | 21 | 17 | 19 | 22 | 25 | 23 | 15 |
| 23 | 120 | 1,7 | 28 | 26 | 29 | 32 | 31 | 35 | 25 | 33 | 30 | 27 |
| 24 | 240 | 2 | 45 | 47 | 46 | 38 | 35 | 41 | 37 | 42 | 39 | 43 |
| 25 | 40 | 0,1 | 7 | 5 | 6 | 4 | 8 | 5 | 3 | 4 | 6 | 2 |
| 26 | 100 | 0,2 | 4 | 8 | 5 | 12 | 6 | 4 | 7 | 25 | 2 | 14 |
| 27 | 160 | 0,1 | 3 | 10 | 8 | 9 | 15 | 12 | 6 | 4 | 8 | 11 |
| 28 | 80 | 0,4 | 12 | 6 | 4 | 7 | 16 | 10 | 8 | 2 | 7 | 6 |
| 29 | 75 | 0,5 | 10 | 8 | 6 | 9 | 11 | 8 | 3 | 12 | 5 | 10 |
| 30 | 90 | 0,2 | 9 | 7 | 2 | 4 | 10 | 12 | 8 | 6 | 9 | 8 |
| 31 | 110 | 0,6 | 8 | 6 | 2 | 10 | 9 | 4 | 2 | 12 | 6 | 10 |
| 32 | 120 | 0,3 | 10 | 8 | 8 | 12 | 6 | 2 | 4 | 8 | 4 | 6 |

1.2 Складні кола постійного струму

Електричне коло постійного струму, що вміщує дві чи більше гілок з джерелами електричної енергії, називають складним колом. Аналіз складного кола при відомій конфігурації та параметрах її елементів полягає у визначенні струмів, напруг та потужностей для всіх елементів кола. Класичним методом розрахунку таких кіл є безпосереднє використання законів Кірхгофа (рівняння електричного стану кола). При великій кількості гілок доцільно використовувати метод контурних струмів (метод допоміжних невідомих), що дозволяє значно скоротити число рівнянь, які розв'язуються.

На рисунках 1.6 – 1.29 відображені схеми електричних кіл, а в таблиці 1.2 – параметри елементів кіл. Відібравши дані у відповідності з варіантом, студент повинен:

- вибрати позитивні напрями струму у всіх гілках, показавши їх стрілками на схемі;
- скласти незалежні рівняння за 1 законом Кірхгофа для вузлів схеми;
- скласти незалежні рівняння за 2 законом Кірхгофа для незалежних контурів схеми;
- розв'язати одержану систему рівнянь, знайти струми в гілках;
- скласти баланс потужностей в колі;
- скласти рівняння для контурних струмів та розв'язати систему рівнянь, знайти контурні струми а за ними – дійсні струми (струми в гілках);
- скласти рівняння за 2 законом Кірхгофа для відповідного контуру, знайти напругу на вольтметрі. Місце включання вольтметрів показано на схемі.

Необхідно виконати такі дії:

- визначити повний опір фаз;
- знайти фазну напругу U_{ϕ} ;
- визначити фазні (лінійні) струми кола I_A, I_B, I_C ;
- визначити активну, повну та реактивну потужність кожної фази та всього кола в цілому;
- побудувати векторну діаграму кола;
- використовуючи векторну діаграму, визначити (графічно) струм у нейтральному проводі I_{Nn} .

Таблиця 2.4 – Параметри 3-фазного кола, схема “4-провідна зірка”

| Варі-ант | $U_{\text{л}}$ В | R_A Ом | X_{LA} Ом | X_{CA} Ом | R_B Ом | X_{LB} Ом | X_{CB} Ом | R_C Ом | X_{LC} Ом | X_{CC} Ом |
|----------|---------------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 380 | 100 | - | 40 | 80 | - | 20 | 100 | - | 15 |
| 2 | 220 | 20 | 10 | - | 40 | 20 | - | 50 | 30 | - |
| 3 | 380 | 30 | - | 70 | 30 | - | 50 | 70 | - | 40 |
| 4 | 220 | 40 | 20 | - | 20 | 25 | - | 40 | 100 | - |
| 5 | 380 | 80 | - | 50 | 90 | - | 70 | 30 | - | 90 |
| 6 | 220 | 50 | 90 | - | 50 | 50 | - | 45 | 70 | - |
| 7 | 380 | 70 | - | 30 | 70 | - | 20 | 50 | - | 50 |
| 8 | 220 | 20 | 80 | - | 40 | 40 | - | 80 | 30 | - |
| 9 | 380 | 30 | - | 30 | 30 | - | 40 | 90 | - | 70 |
| 10 | 220 | 40 | 50 | - | 45 | 20 | - | 70 | 100 | - |
| 11 | 220 | 70 | - | 60 | 40 | - | 70 | 100 | - | 40 |
| 12 | 220 | 50 | 55 | - | 50 | 40 | - | 45 | 90 | - |
| 13 | 380 | 90 | - | 20 | 90 | - | 50 | 60 | - | 40 |
| 14 | 220 | 45 | 20 | - | 80 | 45 | - | 80 | 90 | - |
| 15 | 380 | 100 | - | | 55 | - | | 30 | - | |
| 16 | 220 | 20 | 70 | - | 60 | 50 | - | 70 | 20 | - |
| 17 | 380 | 50 | - | 50 | 70 | - | 40 | 65 | - | 70 |
| 18 | 220 | 40 | | - | 95 | | - | 100 | | - |

Тобто до вектора \bar{U}_{12} добудуємо по черзі відомі за величиною вектори \bar{U}_{R3} , \bar{U}_{L3} , \bar{U}_{C3} , дотримуючись відповідних кутів зсуву фаз між цими напруженнями та вектором загального струму $\bar{I}_3 = \bar{I}$.

Коли виміряти довжину одержаного вектора \bar{U}_{ab} та помножити її на m_U , отримаємо величину U_{ab} .

Зрівнюємо її з умовами завдання та робимо висновок про точність виконаного розрахунку.

2.4 Розрахунок трифазного кола змінного струму при з'єднанні приймачів за схемою “чотирьох-провідна зірка”

На рисунку 2.6 зображені трифазні приймачі, з'єднані за схемою “зірка” з нейтральним дротом. В таблиці 2.4 задані параметри кола за варіантами.

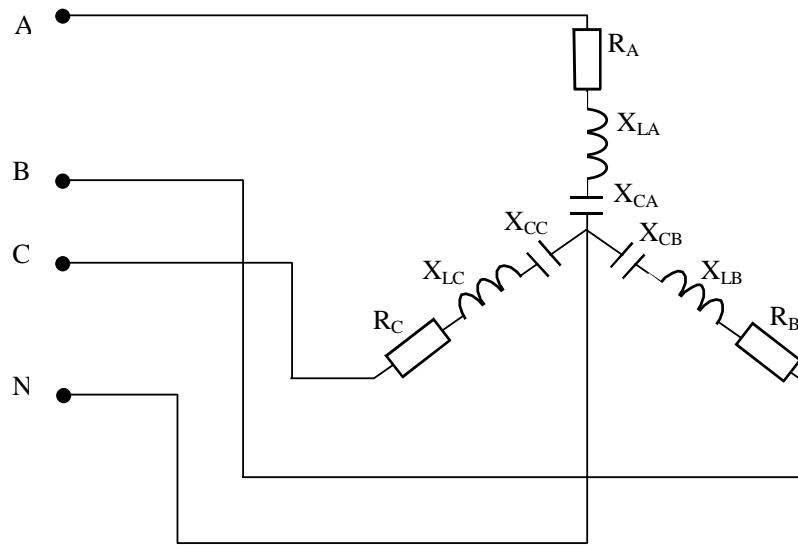


Рисунок 2.6 – Схема трифазного кола

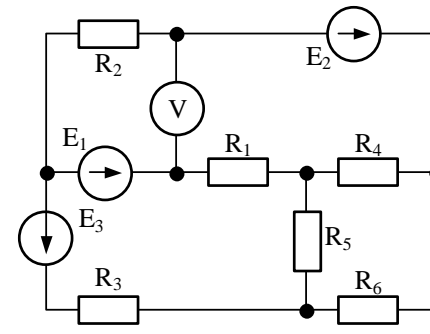


Рисунок 1.6

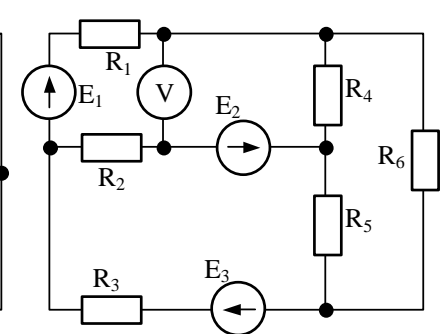


Рисунок 1.7

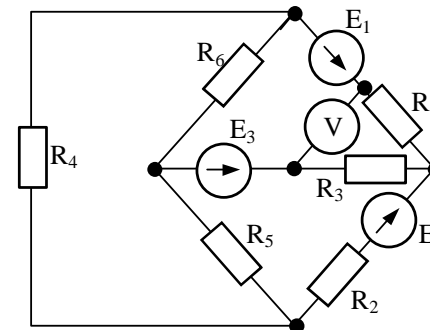


Рисунок 1.8

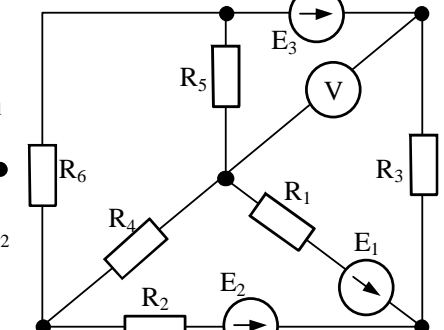


Рисунок 1.9

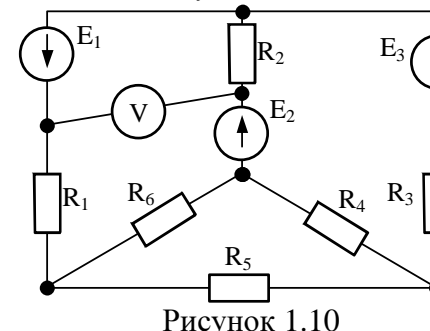


Рисунок 1.10

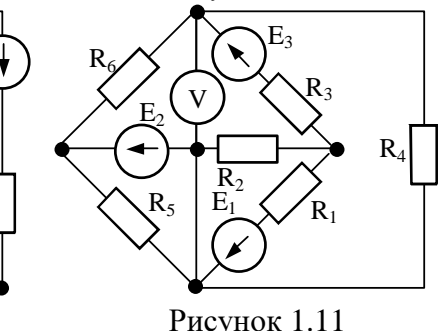


Рисунок 1.11

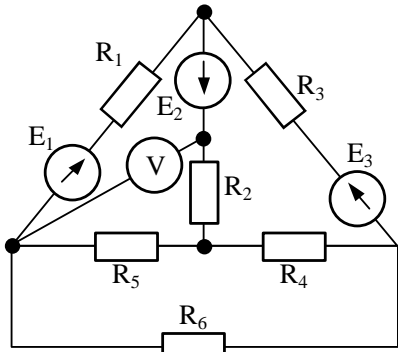


Рисунок 1.12

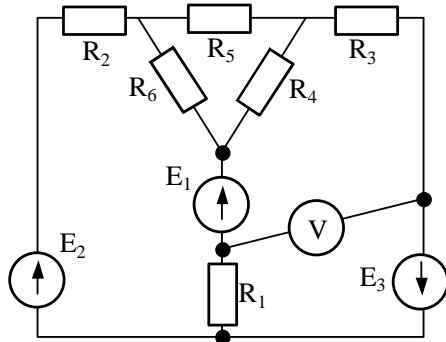


Рисунок 1.13

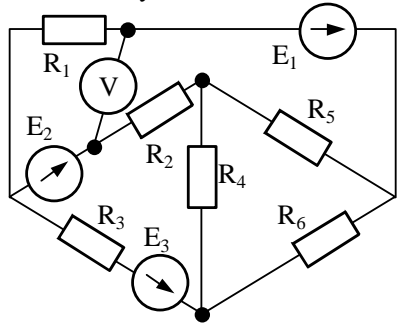


Рисунок 1.14

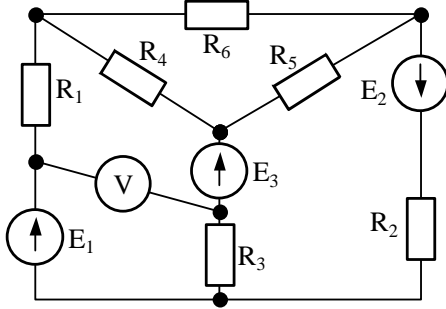


Рисунок 1.15

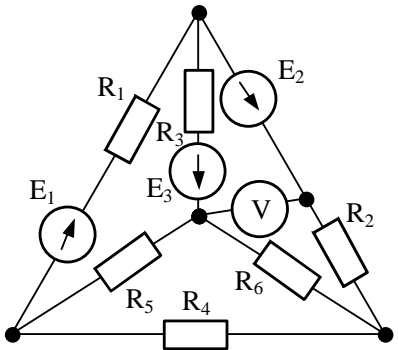


Рисунок 1.16

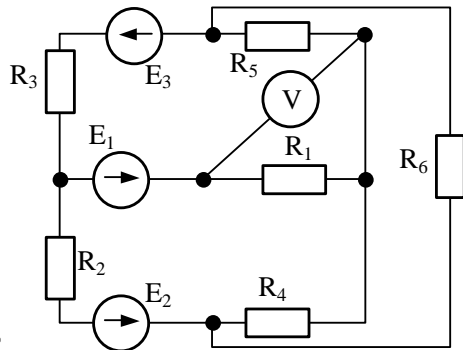


Рисунок 1.17

$$m_I = 1 \frac{A}{cm}, \quad m_U = 20 \frac{B}{cm}$$

Починають діаграму з будови вектора \overline{U}_{12} паралельної ділянки.

За відомими кутами φ_1 та φ_2 і струмами I_1, I_2 (див. п. 1, 2, б) будують вектори \overline{I}_1 та \overline{I}_2 . При цьому вектори \overline{I}_1 та \overline{I}_2 можуть знаходитися як проти, так і за годинниковою стрілкою відповідно \overline{U}_{12} (у залежності від характеру реактивного опору гілок).

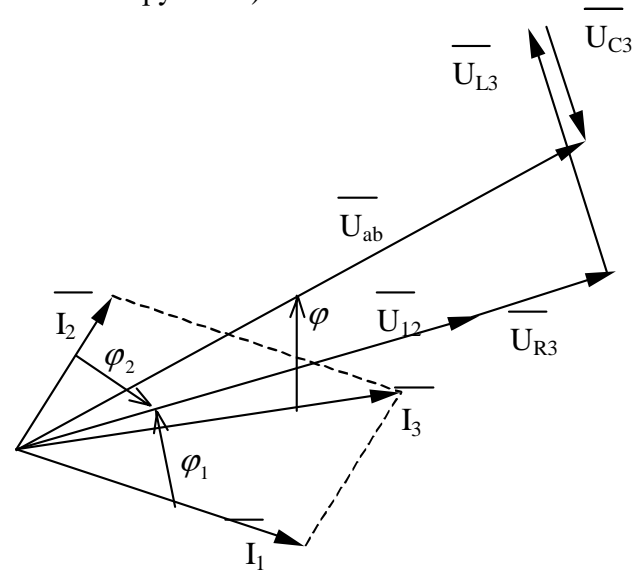


Рисунок 2.5 -Векторна діаграма при змішаному з'єднанні приймачів

Далі будемо вектор $\overline{I}_3 = \overline{I}$ як векторну суму:

$$\overline{I}_3 = \overline{I}_1 + \overline{I}_2$$

Реалізуємо векторне рівняння:

$$\overline{U}_{ab} = \overline{U}_{12} + \overline{U}_{R3} + \overline{U}_{L3} + \overline{U}_{C3}$$

маємо:

$$R = gZ^2 \text{ та } X = bZ^2.$$

Для розглянутого кола:

$$R_{12} = g_{12} Z_{12}^2; \quad X_{12} = b_{12} Z_{12}^2.$$

5 Знайшовши R_{12} і X_{12} , маємо замість змішаного послідовне з'єднання. При цьому:

$$Z_e = \sqrt{(R_{12} + R_3)^2 + (X_{12} + X_{L3} - X_{C3})^2},$$

$$I = I_3, \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{Z_e}.$$

6 Щоб знайти струми в гілках, знайдемо спочатку напругу на розгалуженні:

$$U_{12} = I_3 Z_{12},$$

тоді:

$$I_1 = \frac{U_{12}}{Z_1};$$

$$I_2 = \frac{U_{12}}{Z_2}.$$

7 Напругення на окремих елементах ділянок 2...3:

$$U_{R3} = I_3 R_3;$$

$$U_{L3} = I_3 X_{L3};$$

$$U_{C3} = I_3 X_{C3}.$$

8 Для того, щоб знайти потужності, використовують вираз

$$S = U_{ab} I_3,$$

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3,$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

9 Для того, щоб побудувати векторну діаграму, вибирають зручний масштаб струму та напругення (наприклад,

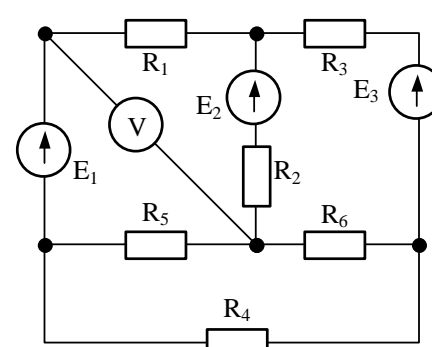


Рисунок 1.18

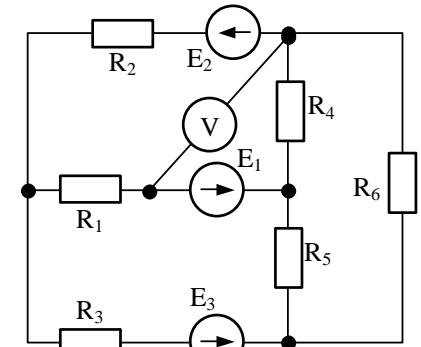


Рисунок 1.19

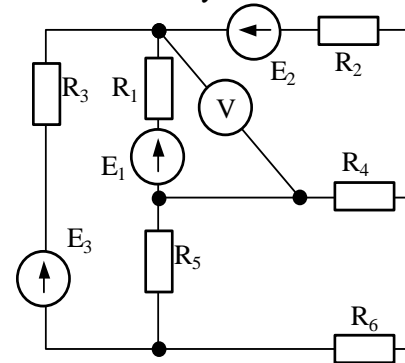


Рисунок 1.20

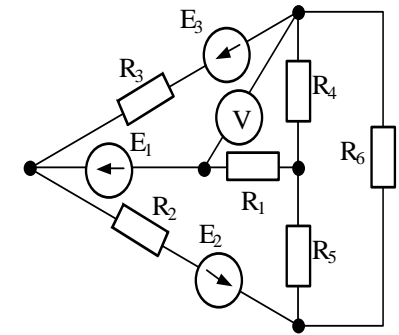


Рисунок 1.21

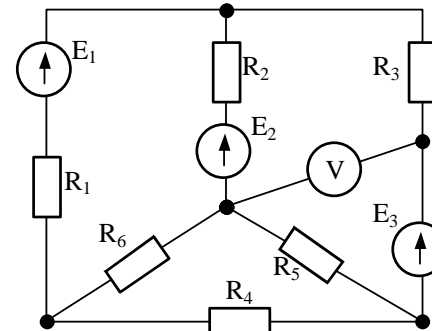


Рисунок 1.22

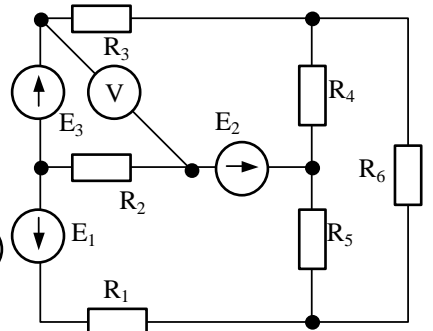


Рисунок 1.23

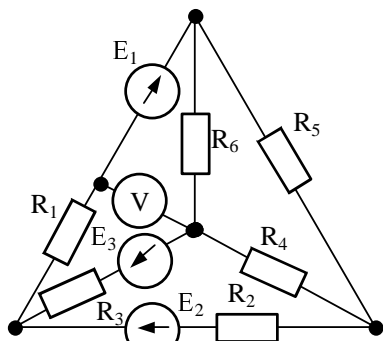


Рисунок 1.24

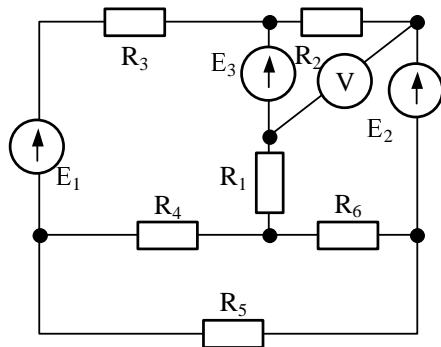


Рисунок 1.25

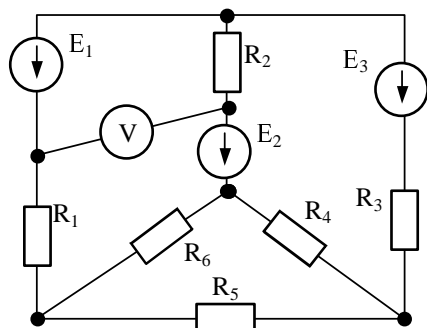


Рисунок 1.26

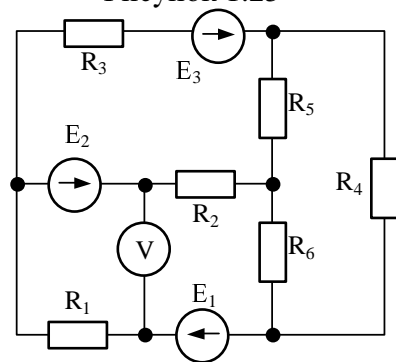


Рисунок 1.27

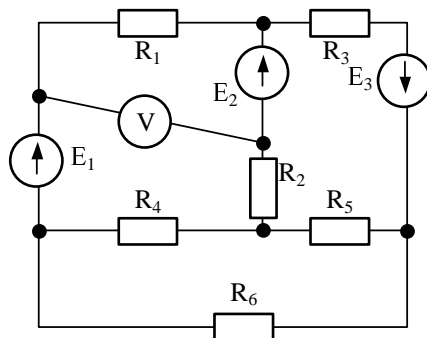


Рисунок 1.28

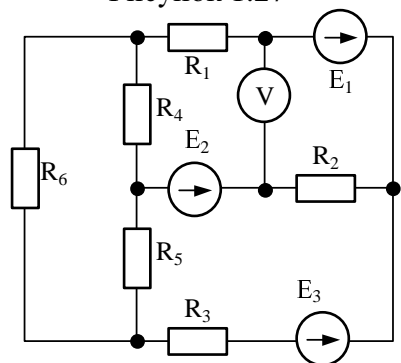


Рисунок 1.29

2 Теж саме роблять для другої гілки ділянки 1...2:

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (X_{L2} - X_{C2})^2};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2}; \quad \varphi_2 = \arccos \frac{R_2}{Z_2}.$$

3 Знаходять активні та реактивні провідності гілок паралельної ділянки:

$$g_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}; \quad g_2 = \frac{R_2}{Z_2^2};$$

$$b_1 = \frac{X_{L1} - X_{C1}}{Z_1^2}; \quad b_2 = \frac{X_{L2} - X_{C2}}{Z_2^2}.$$

Активна провідність розподілу за гілками

$$g_{12} = g_1 + g_2.$$

Реактивна провідність розподілу за гілками

$$b_{12} = b_1 + b_2.$$

Зазначимо, що в останньому випадку складання алгебраїчне і b_{12} може мати як позитивний, так і негативний знак (в залежності від знаків b_1 та b_2).

Повна провідність розподілу за гілками

$$y_{12} = \sqrt{g_{12}^2 + b_{12}^2}.$$

Повний опір розподілу за гілками

$$Z_{12} = \frac{1}{y_{12}}.$$

4 На основі отриманих провідностей можна від паралельного з'єднання перейти до послідовного.

Із загальних виразів:

$$g = \frac{R}{Z^2}; \quad b = \frac{X}{Z^2}.$$

Таблиця 2.3 – Параметри кола змінного струму при змішаному з'єднанні приймачів

| Варіант | $U_{ab},$ В | $X_{L1},$ Ом | $X_{C1},$ Ом | $R_1,$ Ом | $X_{L2},$ Ом | $X_{C2},$ Ом | $R_2,$ Ом | $X_{L3},$ Ом | $X_{C3},$ Ом | $R_3,$ Ом |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 1 | 12 | 15 | 25 | 5 | - | 10 | 8 | 15 | 10 | 10 |
| 2 | 24 | 10 | 30 | 8 | 5 | - | 12 | 40 | 15 | 12 |
| 3 | 36 | 40 | 25 | 6 | - | 12 | 10 | 20 | 30 | 14 |
| 4 | 48 | 35 | 20 | 10 | 30 | - | 14 | 30 | 10 | 16 |
| 5 | 60 | 30 | 25 | 12 | - | 15 | 15 | 20 | 10 | 18 |
| 6 | 110 | 50 | 80 | 50 | 30 | - | 60 | 70 | 115 | 25 |
| 7 | 127 | 120 | 80 | 50 | - | 60 | 55 | 60 | 90 | 30 |
| 8 | 220 | 50 | 100 | 60 | 40 | - | 45 | 50 | 100 | 35 |
| 9 | 110 | 60 | 80 | 40 | - | 30 | 42 | 45 | 90 | 25 |
| 10 | 60 | 30 | 45 | 30 | 20 | - | 35 | 20 | 10 | 20 |
| 11 | 36 | 16 | 30 | 10 | - | 25 | 12 | 10 | 5 | 12 |
| 12 | 48 | 20 | 40 | 10 | 25 | - | 14 | 20 | 35 | 14 |
| 13 | 110 | 80 | 10 | 35 | - | 15 | 15 | 100 | 150 | 30 |
| 14 | 220 | 30 | 100 | 25 | - | 20 | 20 | 90 | 140 | 60 |
| 15 | 127 | 70 | 20 | 20 | 10 | - | 20 | 50 | 40 | 15 |
| 16 | 60 | 50 | 25 | 10 | - | 20 | 15 | 55 | 25 | 12 |
| 17 | 48 | 40 | 20 | 15 | 20 | - | 10 | 10 | 30 | 10 |
| 18 | 36 | 36 | 20 | 12 | - | 15 | 10 | 40 | 50 | 8 |
| 19 | 24 | 20 | 10 | 8 | 10 | - | 12 | 30 | 40 | 6 |
| 20 | 12 | 10 | 16 | 6 | - | 10 | 4 | 20 | 10 | 4 |
| 21 | 220 | 110 | 60 | 40 | 40 | - | 20 | 80 | 120 | 80 |
| 22 | 110 | 50 | 80 | 40 | - | 12 | 30 | 40 | 60 | 40 |
| 23 | 127 | 40 | 90 | 40 | 45 | - | 25 | 45 | 65 | 50 |
| 24 | 48 | 20 | 12 | 20 | - | 30 | 15 | 10 | 20 | 15 |
| 25 | 60 | 12 | 20 | 25 | - | 10 | 40 | 15 | 20 | 30 |
| 26 | 380 | 25 | 80 | 18 | 20 | - | 10 | 40 | 50 | 80 |
| 27 | 220 | 45 | 60 | 16 | - | 40 | 30 | 20 | 70 | 0 |
| 28 | 24 | - | 15 | 20 | 24 | 10 | - | 16 | - | 20 |
| 29 | 48 | 20 | - | 30 | 12 | 18 | 26 | - | 10 | 18 |
| 30 | 100 | 32 | 16 | - | 22 | 15 | - | 10 | 15 | 8 |
| 31 | 127 | 10 | 20 | 10 | 14 | 18 | 20 | 8 | 10 | - |
| 32 | 150 | 24 | 15 | 20 | - | 16 | 10 | 12 | 18 | 10 |

Таблиця 1.2 – Параметри складного електричного кола постійного струму

| № ва рі анта | № рис. | E_1 В | E_2 В | E_3 В | R_1 Ом | R_2 Ом | R_3 Ом | R_4 Ом | R_5 Ом | R_6 Ом |
|--------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 1.6 | 14 | 40 | 30 | 4 | 8 | 3 | 2 | 5 | 10 |
| 2 | 1.7 | 4 | 16 | 48 | 2 | 4 | 10 | 6 | 2 | 4 |
| 3 | 1.8 | 12 | 20 | 72 | 3 | 5 | 8 | 9 | 15 | 8 |
| 4 | 1.9 | 54 | 36 | 20 | 20 | 40 | 15 | 25 | 30 | 40 |
| 5 | 1.10 | 10 | 8 | 24 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 6 |
| 6 | 1.11 | 8 | 6 | 14 | 6 | 10 | 12 | 8 | 10 | 4 |
| 7 | 1.12 | 36 | 40 | 24 | 12 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 8 | 1.13 | 10 | 28 | 36 | 12 | 22 | 30 | 26 | 14 | 20 |
| 9 | 1.14 | 120 | 240 | 72 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 25 |
| 10 | 1.15 | 24 | 30 | 36 | 12 | 18 | 16 | 22 | 30 | 16 |
| 11 | 1.16 | 40 | 18 | 30 | 36 | 20 | 16 | 26 | 30 | 18 |
| 12 | 1.17 | 50 | 40 | 20 | 15 | 20 | 25 | 22 | 40 | 20 |
| 13 | 1.18 | 4 | 12 | 8 | 4 | 6 | 2 | 5 | 3 | 8 |
| 14 | 1.19 | 10 | 28 | 24 | 12 | 10 | 5 | 10 | 12 | 10 |
| 15 | 1.20 | 10 | 10 | 40 | 12 | 14 | 16 | 18 | 12 | 14 |
| 16 | 1.21 | 24 | 40 | 36 | 17 | 20 | 15 | 23 | 10 | 12 |
| 17 | 1.22 | 54 | 36 | 20 | 30 | 25 | 12 | 18 | 16 | 8 |
| 18 | 1.23 | 10 | 40 | 36 | 22 | 10 | 16 | 14 | 25 | 6 |
| 19 | 1.24 | 72 | 54 | 36 | 30 | 40 | 20 | 50 | 30 | 25 |
| 20 | 1.25 | 16 | 48 | 12 | 10 | 16 | 14 | 5 | 8 | 10 |
| 21 | 1.26 | 24 | 30 | 16 | 5 | 10 | 5 | 15 | 23 | 10 |
| 22 | 1.27 | 36 | 40 | 10 | 16 | 14 | 18 | 10 | 8 | 6 |
| 23 | 1.28 | 18 | 24 | 24 | 4 | 6 | 8 | 6 | 12 | 10 |
| 24 | 1.29 | 54 | 20 | 36 | 20 | 50 | 40 | 32 | 20 | 18 |
| 25 | 1.13 | 100 | 60 | 30 | 10 | 8 | 20 | 18 | 10 | 8 |
| 26 | 1.15 | 120 | 40 | 40 | 20 | 12 | 15 | 16 | 30 | 18 |
| 27 | 1.20 | 80 | 10 | 18 | 6 | 24 | 10 | 30 | 12 | 5 |
| 28 | 1.23 | 90 | 20 | 6 | 34 | 20 | 15 | 8 | 22 | 10 |
| 29 | 1.25 | 100 | 42 | 20 | 5 | 22 | 10 | 16 | 8 | 20 |
| 30 | 1.27 | 30 | 10 | 8 | 24 | 12 | 6 | 22 | 10 | 9 |
| 31 | 1.28 | 24 | 18 | 10 | 12 | 8 | 20 | 6 | 20 | 12 |
| 32 | 1.7 | 24 | 20 | 8 | 22 | 12 | 6 | 25 | 10 | 7 |

1.3 Рекомендації до рішення задачі

1.3.1 Метод безпосереднього використання законів Кірхгофа

Нехай коло, яке необхідно розрахувати, має n гілок та m вузлів. Оскільки кожною гілкою проходить свій струм, то число невідомих струмів дорівнює числу гілок, і для їх визначення необхідно скласти n рівнянь. Як показує теорія, за 1 законом Кірхгофа можна скласти тільки $(m - 1)$ рівнянь. Для задачі, яка вирішується, $n = 6$, $m = 4$, тобто, як показує теорія, за 1 законом можна скласти тільки $m - 1 = 3$ незалежних рівнянь.

На підставі 2 закону Кірхгофа складаємо недостатні до числа n незалежні рівняння, тобто повинно бути складено $n - (m - 1) = 6$ рівнянь.

Для складення незалежної системи рівнянь необхідно вибрати незалежні контури так, щоб кожен наступний контур вміщував хоч одну гілку, що не ввійшла в контури, для яких рівняння за 2 законом Кірхгофа уже складені.

Гілка з вольтметром при складанні рівнянь не враховується, тобто $R_V \approx \infty$.

Після сумісного рішення системи незалежних рівнянь, знаходимо струми в гілках. Якщо для якого-небудь струму одержане негативне значення, то дійсний напрямок струму протилежний вибраному раніше.

Рішення рекомендується одержати на ЕОМ з використанням стандартної програми рішення систем лінійних рівнянь.

Рішення зручно перевірити складанням рівнянь балансу потужностей, які відображують рівність потужностей, що віддаються джерелами та використовуються приймачами:

$$\sum EI = \sum EI + \sum I^2 R,$$

2.3 Розрахунок однофазного кола змінного струму із змішаним з'єднанням приймачів

Схема заміщення для випадку змішаного з'єднання елементів кола при однофазній синусоїдальній напрузі приведена на рисунку 2.4. В таблиці 2.3 дані параметри кола за варіантами.

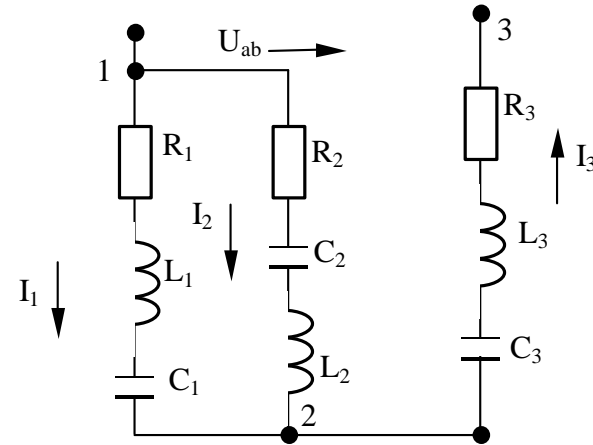


Рисунок 2.4 -Схема змішаного з'єднання приймачів

Частота струму для всіх варіантів однакова $f = 50$ Гц. Потрібно знайти струми в гілках, напругу на окремих елементах кола, активну, реактивну і повну потужність усього кола, побудувати в масштабі векторну діаграму струмів та напруг.

Послідовність розрахунку змішаного з'єднання приведена нижче.

1 Розрахунок починається з паралельної ділянки кола 1...2. Знаходимо повний опір Z_1 :

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (X_{l1} - X_{c1})^2};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1}; \quad \varphi_1 = \arccos \frac{R_1}{Z_1}.$$

Загальний струм I можна знайти двома засобами:

1-й – графічний, використовує векторну діаграму. Побудував вектор U за відомими кутами $\varphi = \arccos \frac{R_1}{Z_z}$, $\varphi_2 = \arccos \frac{R_2}{Z_2}$ та величинами струмів I_1 та I_2 , будують вектори цих струмів, складають їх векторно і отримують \bar{I} .

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2;$$

2-й метод – аналітичний, більш точний. З діаграми видно, що активна складова частина загального струму

$$I_a = I_{a1} + I_{a2}.$$

У свою чергу,

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1,$$

$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2.$$

Відповідно :

$$I_p = \pm I_{p1} \pm I_{p2}.$$

В останньому виразі беремо знак “+”, якщо реактивна складова I_p відстає від вектора напруги на 90^0 . Якщо вона випереджає на 90^0 вектор \bar{U} , ставимо знак “-”.

Величини складових I_p знаходимо із виразів:

$$I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1,$$

$$I_{p2} = I_2 \sin \varphi_2.$$

Тепер можна знайти величину загального струму:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}.$$

В цій задачі передбачається знайдення загального струму обома методами.

Результати порівняти і зробити висновки про точність 1-го методу.

Джерело ЕРС віддає потужність в ланцюг, якщо напрямок струму та ЕРС в ньому співпадають. Якщо струм та ЕРС спрямовані протилежно, то джерело є використовувачем електроенергії та його потужність записується в правій частині рівняння балансу. Резистивні елементи є споживачами, а потужність, що перетворюється ними в тепло, дорівнює I^2R .

1.3.2 Метод контурних струмів дозволяє скоротити число рівнянь, які вирішуються сумісно з n до $(n - m + 1)$, тобто для нашого випадку з 6 до 3.

Цей метод передбачає, що в кожному i -контурі ланцюга протікає свій контурний струм. Напрямок контурних струмів вибирають, як завжди, за годинниковою стрілкою.

Складаючи рівняння за 2 законом Кірхгофа для незалежних контурів, запропонованих для розрахунку кола, приходять до такої системи рівнянь:

$$+ R_{11} I_{11} - R_{12} I_{22} - R_{13} I_{33} = E_{11},$$

$$- R_{21} I_{11} + R_{22} I_{22} - R_{23} I_{33} = E_{22},$$

$$- R_{31} I_{11} - R_{32} I_{22} + R_{33} I_{33} = E_{33},$$

де $R_{11}; R_{22}; R_{33}, \dots, R_{ii}$ – власні опори контуру, що дорівнюють сумі опорів, які входять в i -контур;

$R_{12} = R_{21}; R_{13} = R_{31}; R_{23} = R_{32}, \dots, R_{ik} = R_{ki}$ – взаємні опори i та k контурів, дорівнюють сумі опорів, що входять в суміжну (загальну) для всіх контурів гілку, взяту зі знаком “мінус”;

$E_{11}; E_{22}; E_{33}; \dots; E_{ii}$ – власні ЕРС контуру, що дорівнюють алгебраїчній сумі ЕРС, які входять в даний контур.

Вирішивши систему, одержимо значення контурних струмів I_{11}, I_{22}, I_{33} .

Якщо одержаний струм з негативним знаком, необхідно змінити його напрямок.

Для знаходження струмів в гілках за заданими контурами використовують правило: в гілках, що не є загальними для суміжних контурів, знайдений контурний струм буде дорівнювати дійсному струму гілки;

В загальних же для суміжних контурів гілках дійсний струм дорівнює алгебраїчній сумі контурних струмів.

Напругу на вольтметрі легко отримати, одержавши рівняння за 2 законом Кірхгофа для контуру, включаючи тепер відомі струми в гілках. Залишається розв'язати отримане рівняння відносно напруги на затискачах вольтметра.

2 Розрахунок кіл змінного струму

2.1 Обчислення послідовного кола змінного струму

Схема заміщення для обчислення кола приведена на рисунку 2.1, а в таблиці 2.1 подані параметри кола для кожного варіанта завдання.

Необхідно знайти струм I в колі, напруги на всіх ділянках, потужності, збудувати векторну діаграму як для заданих параметрів, так і в разі резонансу напруг.

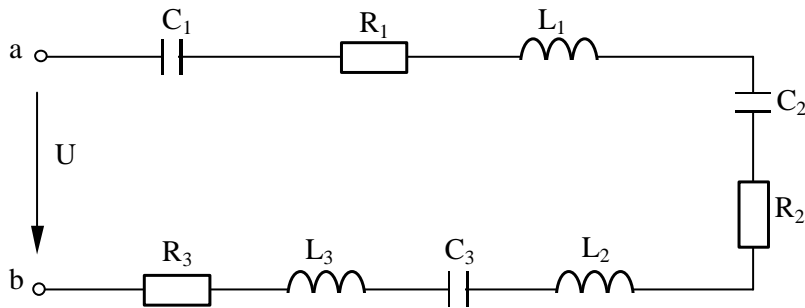


Рисунок 2.1 – Схема послідовного сполучення приймачів

На першому ступені розв'язання необхідно на основі параметрів, взятих із таблиці 2.1 для даного варіанта, намалювати схему, яку належить обчислити. При цьому елементи з $L = 0$, $C = \infty$ на схемі не показують, оскільки їх опори згідно з формулами (2.1 та 2.2) дорівнюють нулю:

Продовження таблиці 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 18 | 12 | 6 | 4 | 4 | 2 | 0 | 8 |
| 19 | 110 | 15 | 20 | 0 | 25 | 5 | 40 |
| 20 | 127 | 17 | 20 | 15 | 25 | 0 | 40 |
| 21 | 220 | 40 | 30 | 0 | 35 | 50 | 50 |
| 22 | 110 | 20 | 25 | 15 | 50 | 0 | 35 |
| 23 | 48 | 5 | 10 | 0 | 10 | 12 | 17 |
| 24 | 110 | 15 | 20 | 15 | 25 | 0 | 10 |
| 25 | 127 | 15 | 30 | 0 | 12 | 30 | 25 |
| 26 | 380 | 10 | 20 | 30 | 0 | 20 | 10 |
| 27 | 200 | 20 | 10 | 20 | 15 | 0 | 25 |
| 28 | 36 | 5 | 4 | 6 | 8 | 2 | 0 |
| 29 | 24 | 2 | 6 | 2 | 5 | 4 | 8 |
| 30 | 150 | 20 | 30 | 52 | 15 | 32 | 10 |
| 31 | 100 | 10 | 15 | 20 | 24 | 18 | 20 |
| 32 | 127 | 25 | 20 | 10 | 0 | 24 | 12 |

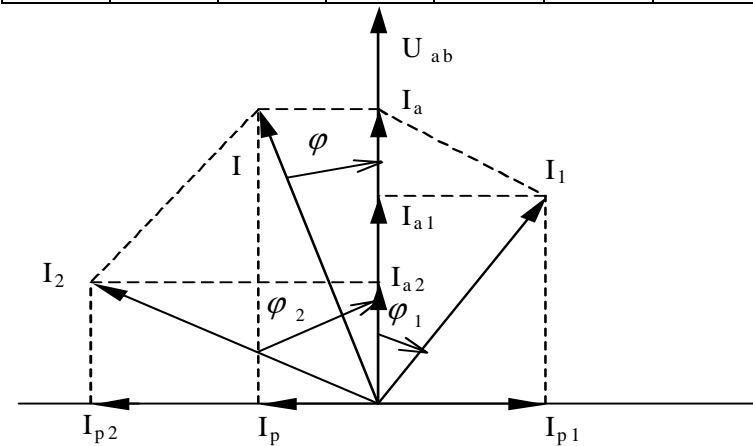


Рисунок 2.3 – Векторна діаграма при паралельному з'єднанні приймачів

Необхідно знайти загальний струм I , струми в паралельних гілках I_1 і I_2 , побудувати векторну діаграму струмів і напруги.

Очевидно, що струми в паралельних гілках легко знаходяться за законом Ома для кожної гілки:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}; \quad I_2 = \frac{U}{Z_2},$$

де Z_1 і Z_2 – повні опори гілок. Вони знаходяться за виразом (2.3).

Таблиця 2.2 – Параметри кола змінного струму при паралельному з'єднанні приймачів.

| Варіант | $U_{ab},$ В | $R_1,$ Ом | $R_2,$ Ом | $X_{L1},$ Ом | $X_{L2},$ Ом | $X_{C1},$ Ом | $X_{C2},$ Ом |
|---------|----------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 127 | 15 | 20 | 0 | 10 | 10 | 30 |
| 2 | 220 | 20 | 15 | 30 | 40 | 0 | 20 |
| 3 | 110 | 14 | 20 | 0 | 20 | 15 | 10 |
| 4 | 48 | 5 | 8 | 6 | 12 | 0 | 6 |
| 5 | 220 | 30 | 40 | 0 | 60 | 45 | 20 |
| 6 | 110 | 20 | 18 | 30 | 40 | 0 | 60 |
| 7 | 36 | 8 | 4 | 0 | 10 | 5 | 5 |
| 8 | 12 | 2 | 6 | 4 | 2 | 0 | 4 |
| 9 | 110 | 25 | 20 | 0 | 15 | 15 | 25 |
| 10 | 220 | 30 | 40 | 50 | 20 | 0 | 15 |
| 11 | 36 | 8 | 6 | 0 | 10 | 12 | 6 |
| 13 | 127 | 5 | 20 | 0 | 10 | 10 | 20 |
| 14 | 110 | 12 | 18 | 20 | 10 | 0 | 20 |
| 15 | 220 | 40 | 30 | 0 | 28 | 35 | 50 |
| 16 | 48 | 10 | 8 | 8 | 14 | 0 | 6 |
| 17 | 36 | 12 | 10 | 0 | 5 | 10 | 10 |

$$x_l = \omega L = 2\pi fL, \quad (2.1)$$

$$x_c = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (2.2)$$

де

f – частота напруги джерела, Гц;

L – індуктивність котушки, Гн;

C – електроємність конденсатора, Ф.

Далі, користуючись формулами див.(2.1) і див.(2.2), необхідно привести параметри до вигляду, зручного для обчислення, тобто за заданими значеннями L і C обчислити X_L і X_C . В обчисленні прийняти $f = 50$ Гц для всіх варіантів.

Струм I у колі знаходимо за законом Ома:

$$I = \frac{U_{ab}}{Z},$$

де $Z = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X_L - \sum X_C)^2}$ – повний опір кола (2.3)

Напругу на ділянках знаходимо як добуток струму на відповідний опір:

$$U_{C1} = IX_{C1},$$

$$U_{R1} = IR_1,$$

$$U_{L1} = IX_{L1} \quad \text{і т.д.}$$

Для визначення потужності використовують формули:

активна потужність, ват, $P = I^2 \sum R$,

реактивна потужність, вольт-ампер реактивний,

$$Q = I^2 (\sum X_L - \sum X_C),$$

повна (удавана) потужність, вольт-ампер, $S = I^2 Z$.

Таблиця 2.1 - Параметри кола при послідовному сполученні

| Варіант | U_{ab}, B | $R_1, Ом$ | $L_1, мГн$ | $C_1, мкФ$ | $R_2, Ом$ | $L_2, мГн$ | $C_2, мкФ$ | $R_3, Ом$ | $L_3, мГн$ | $C_3, мкФ$ |
|---------|-------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 1 | 127 | 30 | 100 | ∞ | 40 | 70 | 50 | 0 | 200 | 60 |
| 2 | 220 | 0 | 150 | 20 | 80 | 60 | ∞ | 100 | 80 | 70 |
| 3 | 36 | 5 | 20 | 200 | 10 | 30 | ∞ | 15 | 10 | ∞ |
| 4 | 48 | 7 | 25 | 150 | 15 | 0 | 150 | 0 | 20 | 200 |
| 5 | 110 | 25 | 70 | 30 | 0 | 65 | 0 | 40 | 60 | 35 |
| 6 | 220 | 40 | 120 | 15 | 20 | 100 | 20 | 0 | 0 | 17 |
| 7 | 100 | 20 | 60 | ∞ | 15 | 50 | 35 | 0 | 20 | 30 |
| 8 | 150 | 0 | 75 | 20 | 25 | 70 | 15 | 30 | 80 | ∞ |
| 9 | 80 | 20 | 60 | 30 | 25 | 0 | 35 | 25 | 70 | 25 |
| 10 | 150 | 30 | 70 | 40 | 0 | 75 | 35 | 35 | 0 | 60 |
| 11 | 127 | 25 | 80 | ∞ | 20 | 85 | 25 | 0 | 70 | 25 |
| 12 | 220 | 0 | 200 | 40 | 35 | 150 | ∞ | 45 | 85 | 45 |
| 13 | 48 | 10 | 20 | 300 | 8 | 15 | 250 | 15 | 10 | ∞ |
| 14 | 36 | 8 | 0 | 250 | 0 | 10 | 200 | 6 | 5 | 180 |
| 15 | 48 | 6 | 20 | 240 | 10 | 0 | 180 | 0 | 25 | 150 |
| 16 | 127 | 0 | 50 | 30 | 18 | 40 | 40 | 20 | 0 | 35 |
| 17 | 220 | 40 | 150 | 25 | 0 | 160 | ∞ | 50 | 155 | 20 |
| 18 | 127 | 25 | 120 | 35 | 20 | 100 | 30 | 0 | 80 | ∞ |
| 19 | 100 | 0 | 80 | ∞ | 15 | 80 | 30 | 30 | 70 | 35 |
| 20 | 80 | 15 | 70 | 150 | 0 | 0 | 65 | 10 | 60 | 100 |
| 21 | 48 | 7 | 0 | 160 | 5 | 20 | 100 | 0 | 25 | 120 |
| 22 | 36 | 0 | 20 | 200 | 5 | 15 | 150 | 10 | 17 | ∞ |
| 23 | 220 | 50 | 100 | 20 | 0 | 120 | 20 | 80 | 110 | ∞ |
| 24 | 36 | 5 | 25 | ∞ | 8 | 17 | 200 | 0 | 15 | 180 |
| 25 | 100 | 0 | 70 | 40 | 20 | 0 | 30 | 50 | 80 | 35 |
| 26 | 120 | 10 | 0 | 200 | 0 | 100 | 200 | 20 | 0 | 100 |
| 27 | 140 | 0 | 25 | 160 | 4 | 80 | 100 | 10 | 50 | 200 |
| 28 | 50 | 5 | 12 | 150 | 8 | 40 | 180 | 20 | 60 | 300 |
| 29 | 60 | 12 | 40 | 240 | 10 | 0 | 100 | 0 | 52 | 50 |
| 30 | 110 | 0 | 25 | 300 | 5 | 20 | ∞ | 20 | 0 | 150 |
| 31 | 380 | 50 | 15 | 50 | 48 | 0 | 20 | 0 | 12 | 20 |
| 32 | 127 | 40 | 25 | 40 | 0 | 10 | 50 | 20 | 10 | 50 |

Згідно з вибраним масштабом струму і напруг (m_I і m_U) бу-

дуємо векторну діаграму. Побудову починають із струму I , як загального для цілого кола.

Потім будують вектори напруг на ділянках (використовуючи відповідні кути зсуву фаз). При цьому доцільно одночасно з побудовою векторів напруг додавати їх, тобто реалізувати рівняння:

$$\overline{U_{C1}} + \overline{U_{R1}} + \overline{U_{L1}} + \overline{U_{C2}} + \dots + \overline{U_{R3}} = \overline{U_{ab}}.$$

Через побудований сумарний вектор перевіряють правильність обчислення – його величина (з урахуванням масштабу) має дорівнювати заданому U_{ab} .

Після цього, рахуючи $\sum X_L = \sum X_C$, необхідно знайти резонансну частоту f_p . Повторити обчислення для даної частоти. Побудувати векторну діаграму і порівняти її з попередньою, звернути особливу увагу на підвищену напругу на окремих ділянках кола при резонансі напруг.

2.2 Розрахунок паралельного кола змінного струму

Схема заміщення для розрахунку кола, який складається з двох паралельних гілок приведена на рисунку 2.2. В таблиці 2.2 подані параметри кола за варіантами.

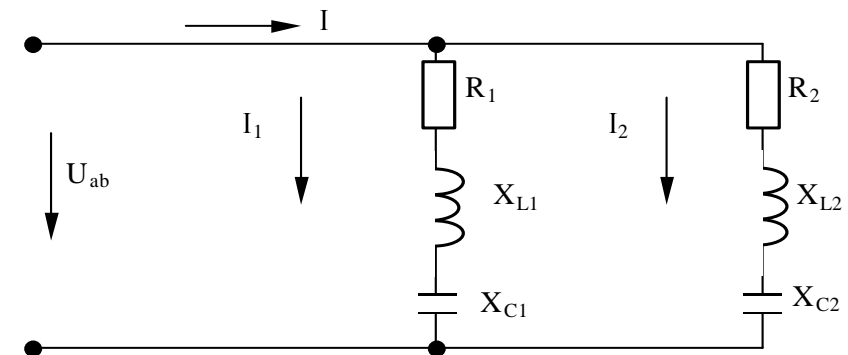


Рисунок 2.2 -Схема паралельного з'єднання приймачів

