

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ
З КУРСУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

За редакцією В.Г. Данька

Харків 2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ
З КУРСУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»
для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей

За редакцією **В.Г. Данька**

2-ге видання, стереотипне

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 08.12.2006 р.

Харків НТУ «ХПІ» 2008

Розрахунок електротехнічних кіл: метод. вказ. до розрах.-граф. робіт з курсу «Електротехніка» для студ. усіх неелектротехних спеціальностей / Уклад. В.Г. Данько, І.В. Поляков, А.К. Черкасов; [за ред. В.Г. Данька]. – [2-ге вид., стер.]. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – 55 с.

Укладачі: В.Г. Данько
І.В. Поляков
А.К. Черкасов

За редакцією В.Г. Данька

Рецензент В.С. Лупіков

Кафедра загальної електротехніки

ВСТУП

Це видання присвячено розрахунково-графічним роботам (РГР) з дисципліни "Електротехніка". Воно містить РГР № 1 за темою "**Розрахунок електричних кіл постійного струму**" та РГР № 2 за темою "**Розрахунок електричних кіл синусоїдного струму**" і спрямовано на закріплення теоретичних знань за цими темами і на відпрацювання практичних навичок розрахунку відповідних електричних кіл.

У РГР № 1 сформульовані чотири контрольні задачі. У першій задачі (пряма та зворотна) розраховуються електричні кола з одним джерелом ЕРС і змішаним з'єднанням споживачів. У другій задачі проводиться розрахунок електричного кола з також одним джерелом ЕРС при використанні еквівалентного перетворення схеми споживачів, що з'єднані "трикутником", у "зірку", або навпаки. В третій задачі проводиться розрахунок електричного кола з двома джерелами ЕРС за допомогою контурних струмів. В четвертій задачі проводиться розрахунок струму в одній вітці за допомогою метода еквівалентного генератора.

У РГР № 2 сформульовані шість контрольних задач. Спочатку проводяться розрахунки електричних кіл однофазного синусоїдного струму з одним джерелом ЕРС при послідовному та паралельному з'єднанні споживачів. Далі розраховується електричне коло при змішаному з'єднанні споживачів з одним джерелом ЕРС за допомогою символічного метода. Останні три задачі присвячені розрахункам трифазних кіл з симетричним та несиметричним навантаженням при з'єднанні споживачів "зіркою" і "трикутником".

Для індивідуальної роботи студентів подано варіанти вхідних даних, а також наведено приклади розв'язання типових задач. Конкретний обсяг робіт уточнює викладач, який веде курс лекцій з вказаної дисципліни.

Звіт про розрахунково-графічну роботу треба виконувати згідно з встановленою формою. Він починається з титульного листа, зразок якого наведено на рис. 1. При оформленні звіту необхідно наводити повністю постановку задач і відповідні вхідні дані за своїм варіантом, супутні схеми, порядок розрахунків і їх результати, графіки та векторні діаграми.

Схеми та векторні діаграми креслять за допомогою інструментів згідно з ДСТУ. Графіки залежностей виконують з зазначенням на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань.

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Кафедра загальної електротехніки

Розрахунково-графічна робота № ____
за темою

Варіанти завдання _____

Роботу виконав студент _____; група _____; _____
(прізвище, ініціали) (індекс) (дата виконання)

Звіт прийняв керівник _____ з оцінкою _____; _____
(посада, прізвище, ініціали) (дата прийому)

Харків (рік)

Рисунок 1

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ – РГР № 1

1.1. Формулювання задач

Для розрахунку РГР № 1 студенту задається номер варіанта для усіх задач.

Задача 1. Розрахунок електричного кола з одним джерелом ЕРС при змішаному з'єднанні споживачів.

За заданим варіантом, який наведено в табл. 1.1:

а) розв'язати пряму задачу: намалювати задану електричну схему і визначити струми в усіх вітках кола методом еквівалентних перетворень, а також скласти і перевірити рівняння балансу потужностей;

б) розв'язати зворотну задачу: намалювати задану електричну схему і за заданим струмом I_1 у вітці з опором R_1 визначити струми в усіх інших вітках, а також необхідну величину ЕРС джерела E для отримання таких струмів.

Задача 2. Розрахунок електричного кола з одним джерелом енергії методом еквівалентного перетворення «трикутник» - «зірка».

За заданим варіантом, який наведено в табл. 1.2, намалювати задану електричну схему з джерелом ЕРС у вітці, яка вказана в таблиці (напрямок ЕРС можна обрати довільно) і визначити струми в усіх вітках методом еквівалентних перетворень з використанням заміни «трикутника» опорів «зіркою», або навпаки, а також скласти і перевірити рівняння балансу потужностей.

Задача 3. Розрахунок складного електричного кола методом контурних струмів.

За заданим варіантом, який наведено в табл. 1.3, намалювати задану електричну схему і визначити струми в усіх вітках методом контурних струмів, а також скласти і перевірити рівняння балансу потужностей.

Задача 4. Розрахунок складного електричного кола методом еквівалентного генератора.

За заданим варіантом, який наведено в табл. 1.3, намалювати схему кола і визначити струм у вітці з опором R_1 методом еквівалентного генератора.

Таблиця 1.1 – Вхідні дані до задачі 1

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.1 | Опори, Ом | | | | | | Пряма задача, E, В | Зворотна задача, I ₁ , А |
|---------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|---|
| | | R ₀ | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | | |
| 1 | 1 | 1 | 5 | 10 | 20 | 15 | 4 | 120 | 12 |
| 2 | 2 | 2 | 40 | 20 | 10 | 40 | 20 | 130 | 10 |
| 3 | 3 | 1 | 10 | 15 | 14 | 7 | 30 | 200 | 1,8 |
| 4 | 4 | 0,5 | 15 | 30 | 15 | 17 | 25 | 180 | 1,5 |
| 5 | 5 | 0,5 | 20 | 20 | 10 | 36 | 10 | 90 | 1,6 |
| 6 | 6 | 1 | 4 | 30 | 70 | 9 | 30 | 100 | 10 |
| 7 | 7 | 2 | 20 | 10 | 10 | 45 | 20 | 240 | 1,8 |
| 8 | 8 | 1 | 6 | 45 | 30 | 24 | 12 | 140 | 2,5 |
| 9 | 9 | 1 | 4 | 60 | 15 | 60 | 40 | 130 | 10 |
| 10 | 10 | 1 | 6 | 20 | 10 | 15 | 16 | 120 | 6 |
| 11 | 11 | 2,5 | 10 | 30 | 12 | 60 | 5 | 270 | 4 |
| 12 | 12 | 2,5 | 4 | 50 | 30 | 20 | 15 | 150 | 3 |
| 13 | 13 | 2,5 | 15 | 8 | 13 | 10 | 9 | 90 | 2 |
| 14 | 14 | 1 | 25 | 15 | 8 | 5 | 8 | 135 | 6 |
| 15 | 15 | 2 | 7 | 18 | 5 | 10 | 15 | 90 | 12 |
| 16 | 16 | 1,5 | 7 | 4 | 3 | 6 | 5 | 220 | 3 |
| 17 | 17 | 2,5 | 20 | 35 | 25 | 5 | 60 | 140 | 9 |
| 18 | 18 | 1 | 10 | 6 | 4 | 12 | 8 | 100 | 6 |
| 19 | 19 | 2,5 | 24 | 15 | 10 | 30 | 6 | 210 | 3 |
| 20 | 20 | 1,2 | 15 | 9 | 4 | 21 | 6 | 135 | 8 |
| 21 | 21 | 1 | 20 | 10 | 20 | 8 | 12 | 110 | 10 |
| 22 | 22 | 2,5 | 20 | 20 | 24 | 10 | 25 | 240 | 1,5 |
| 23 | 23 | 1 | 20 | 15 | 60 | 20 | 7 | 100 | 6 |
| 24 | 24 | 2 | 12 | 30 | 20 | 30 | 120 | 200 | 2,5 |
| 25 | 25 | 2 | 15 | 10 | 17 | 15 | 7 | 180 | 5 |

Продовження таблиці 1.1

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.1 | Опори, Ом | | | | | | Пряма задача, $E, В$ | Зворотна задача, $I_1, А$ |
|---------|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|---------------------------------|
| | | R_0 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | | |
| 26 | 26 | 1 | 15 | 10 | 40 | 10 | 50 | 80 | 9 |
| 27 | 27 | 2,5 | 20 | 20 | 20 | 5 | 5 | 150 | 4 |
| 28 | 28 | 2 | 11 | 5 | 9 | 8 | 24 | 150 | 2 |
| 29 | 29 | 1 | 40 | 15 | 20 | 10 | 60 | 220 | 1 |
| 30 | 30 | 1 | 22 | 10 | 45 | 40 | 18 | 200 | 3 |
| 31 | 1 | 0,9 | 6 | 3 | 4 | 3 | 7 | 160 | 5 |
| 32 | 2 | 2 | 6 | 10 | 5 | 20 | 90 | 240 | 2,5 |
| 33 | 3 | 1 | 5 | 20 | 14 | 3 | 12 | 140 | 8 |
| 34 | 4 | 2,5 | 10 | 30 | 60 | 5 | 50 | 165 | 8 |
| 35 | 5 | 2 | 20 | 30 | 25 | 200 | 50 | 210 | 1 |
| 36 | 6 | 0,5 | 4 | 10 | 30 | 5 | 30 | 240 | 6 |
| 37 | 7 | 2 | 40 | 20 | 20 | 100 | 5 | 110 | 9 |
| 38 | 8 | 2 | 9 | 24 | 24 | 70 | 30 | 100 | 8 |
| 39 | 9 | 0,5 | 7 | 30 | 60 | 30 | 70 | 190 | 6 |
| 40 | 10 | 2 | 16 | 12 | 20 | 5 | 18 | 70 | 9 |
| 41 | 11 | 1 | 5 | 6 | 30 | 6 | 7 | 180 | 3 |
| 42 | 12 | 1 | 8 | 10 | 14 | 12 | 48 | 130 | 15 |
| 43 | 13 | 2 | 60 | 10 | 7 | 15 | 7 | 150 | 4 |
| 44 | 14 | 2,5 | 50 | 90 | 21 | 60 | 21 | 125 | 1,8 |
| 45 | 15 | 2 | 12 | 60 | 13 | 80 | 80 | 220 | 4 |
| 46 | 16 | 0,5 | 30 | 10 | 20 | 30 | 5 | 250 | 4,8 |
| 47 | 17 | 1 | 10 | 5 | 10 | 6 | 4 | 80 | 6 |
| 48 | 18 | 1 | 3 | 4 | 5 | 10 | 10 | 130 | 10 |
| 49 | 19 | 1 | 5 | 19 | 70 | 30 | 5 | 90 | 4 |
| 50 | 20 | 0,5 | 20 | 40 | 10 | 10 | 20 | 100 | 6 |

Продовження таблиці 1.1

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.1 | Опори, Ом | | | | | | Пряма задача, $E, В$ | Зворотна задача, $I_1, А$ |
|---------|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|---------------------------------|
| | | R_0 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | | |
| 51 | 21 | 1 | 12 | 3 | 4 | 5 | 7 | 90 | 4 |
| 52 | 22 | 2,5 | 30 | 40 | 30 | 19 | 40 | 45 | 1,2 |
| 53 | 23 | 1 | 30 | 6 | 30 | 120 | 4 | 200 | 2,5 |
| 54 | 24 | 1 | 6 | 15 | 10 | 15 | 60 | 100 | 10 |
| 55 | 25 | 2,5 | 20 | 40 | 6 | 10 | 6 | 75 | 6 |
| 56 | 26 | 2 | 40 | 40 | 30 | 60 | 30 | 240 | 1,5 |
| 57 | 27 | 1 | 40 | 30 | 70 | 14 | 5 | 210 | 2,5 |
| 58 | 28 | 2 | 30 | 40 | 30 | 16 | 40 | 220 | 1 |
| 59 | 29 | 2,5 | 5 | 12 | 40 | 8 | 15 | 200 | 4 |
| 60 | 30 | 1 | 8 | 20 | 100 | 30 | 25 | 110 | 10 |
| 61 | 1 | 1 | 4 | 5 | 7 | 12 | 4 | 90 | 3 |
| 62 | 2 | 0,5 | 7 | 10 | 5 | 6 | 15 | 100 | 10 |
| 63 | 3 | 1,5 | 48 | 16 | 3 | 6 | 15 | 120 | 2 |
| 64 | 4 | 1 | 10 | 100 | 25 | 7 | 20 | 150 | 4 |
| 65 | 5 | 1 | 40 | 80 | 52 | 25 | 80 | 105 | 0,8 |
| 66 | 6 | 1 | 4 | 3 | 6 | 8 | 10 | 120 | 6 |
| 67 | 7 | 2,5 | 12 | 16 | 20 | 15 | 6 | 200 | 9 |
| 68 | 8 | 1 | 10 | 15 | 10 | 20 | 80 | 180 | 5 |
| 69 | 9 | 1 | 10 | 10 | 15 | 80 | 20 | 90 | 10 |
| 70 | 10 | 2,5 | 5 | 10 | 30 | 30 | 10 | 150 | 8 |
| 71 | 11 | 2 | 20 | 45 | 30 | 90 | 10 | 85 | 2,4 |
| 72 | 12 | 4 | 50 | 45 | 15 | 60 | 20 | 120 | 3 |
| 73 | 13 | 3 | 10 | 10 | 7 | 40 | 7 | 60 | 1,6 |
| 74 | 14 | 2,5 | 50 | 90 | 21 | 60 | 21 | 125 | 1,8 |
| 75 | 15 | 1 | 14 | 25 | 16 | 40 | 40 | 230 | 3 |

Продовження таблиці 1.1

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.1 | Опори, Ом | | | | | | Пряма задача, $E, В$ | Зворотна задача, $I_1, А$ |
|---------|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|---------------------------------|
| | | R_0 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | | |
| 76 | 16 | 0,5 | 20 | 60 | 30 | 20 | 5 | 130 | 4,8 |
| 77 | 17 | 1 | 15 | 20 | 10 | 4 | 14 | 160 | 2 |
| 78 | 18 | 2,5 | 4 | 10 | 6 | 20 | 12 | 220 | 4 |
| 79 | 19 | 2 | 10 | 38 | 140 | 60 | 10 | 180 | 4 |
| 80 | 20 | 1 | 5 | 10 | 10 | 15 | 10 | 110 | 16 |
| 81 | 21 | 2 | 24 | 6 | 8 | 10 | 14 | 180 | 2 |
| 82 | 22 | 1 | 30 | 10 | 10 | 10 | 18 | 100 | 2,5 |
| 83 | 23 | 2 | 60 | 14 | 20 | 80 | 18 | 300 | 2 |
| 84 | 24 | 2,5 | 20 | 30 | 30 | 15 | 15 | 100 | 1,5 |
| 85 | 25 | 2,5 | 20 | 40 | 6 | 10 | 6 | 75 | 6 |
| 86 | 26 | 1 | 20 | 20 | 15 | 30 | 15 | 150 | 3 |
| 87 | 27 | 2,5 | 35 | 30 | 70 | 5 | 9 | 160 | 2 |
| 88 | 28 | 1 | 10 | 30 | 10 | 8 | 20 | 110 | 6 |
| 89 | 29 | 2,5 | 20 | 10 | 20 | 50 | 10 | 75 | 4 |
| 90 | 30 | 2 | 16 | 40 | 200 | 60 | 50 | 220 | 2,5 |
| 91 | 1 | 1 | 3 | 40 | 50 | 10 | 6 | 190 | 5 |
| 92 | 2 | 2 | 5 | 12 | 3 | 36 | 6 | 220 | 7,5 |
| 93 | 3 | 2 | 15 | 35 | 4,5 | 4 | 60 | 225 | 14 |
| 94 | 4 | 2 | 8 | 30 | 20 | 7 | 80 | 150 | 6 |
| 95 | 5 | 2,5 | 10 | 8 | 4 | 30 | 9 | 120 | 2,5 |
| 96 | 6 | 1,5 | 6 | 20 | 5 | 16 | 60 | 180 | 4 |
| 97 | 7 | 1 | 4 | 5 | 7 | 30 | 17 | 260 | 4,5 |
| 98 | 8 | 1 | 2 | 20 | 80 | 90 | 10 | 120 | 10 |
| 99 | 9 | 2 | 6 | 45 | 30 | 10 | 15 | 170 | 7,5 |
| 100 | 10 | 2 | 11,5 | 15 | 10 | 40 | 24 | 270 | 6 |

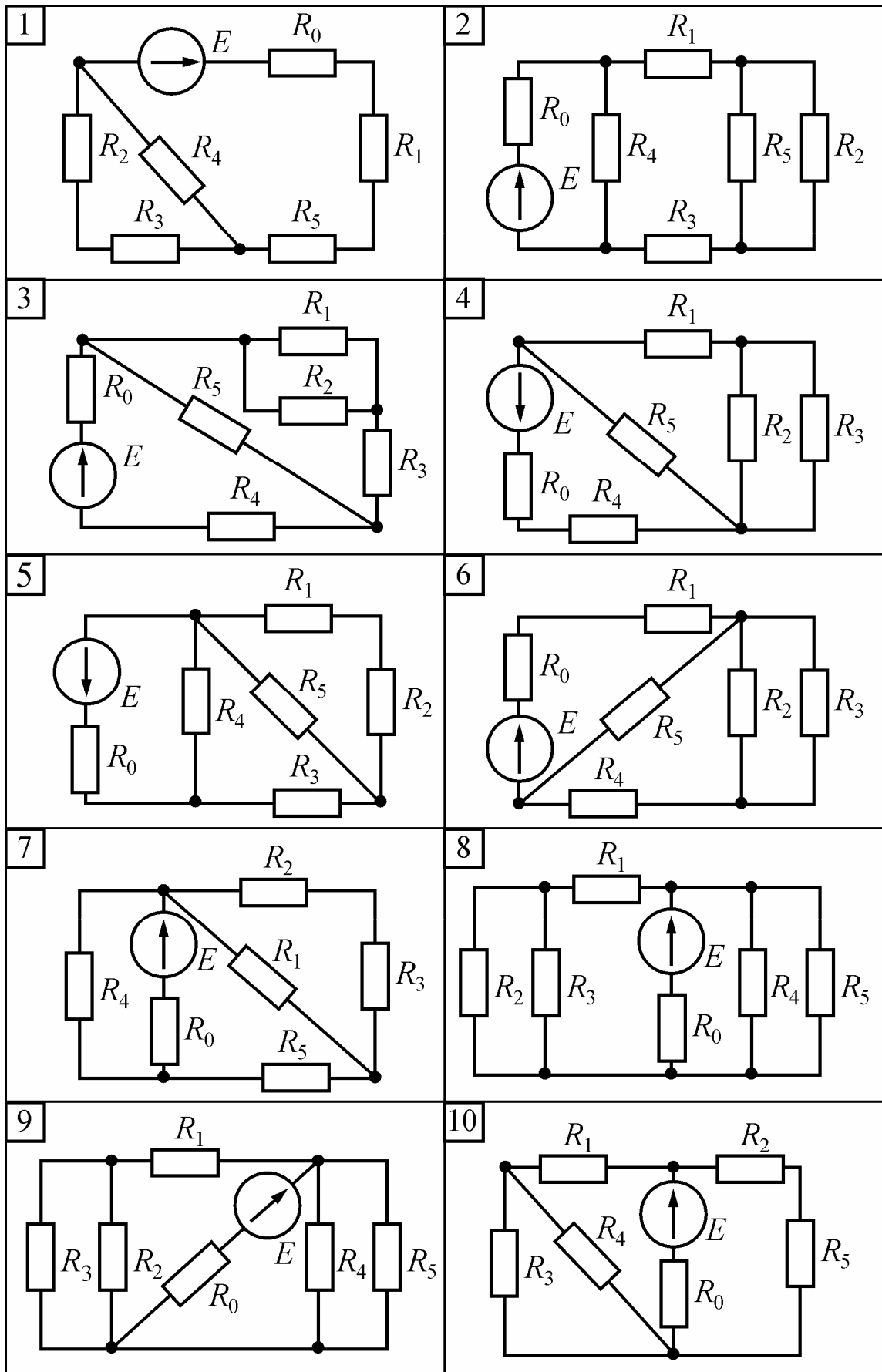


Рисунок 1.1

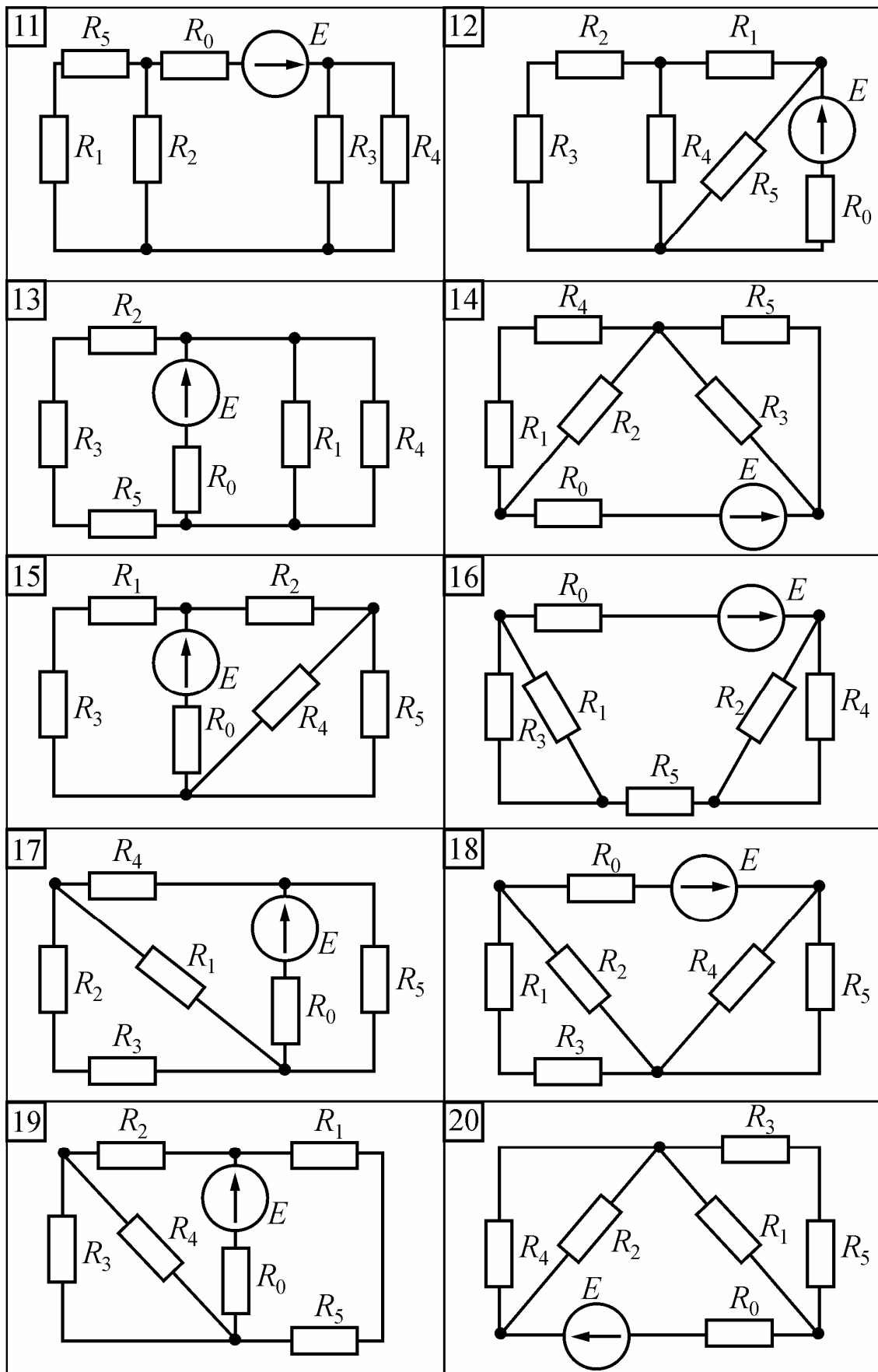


Рисунок 1.1 (продовження)

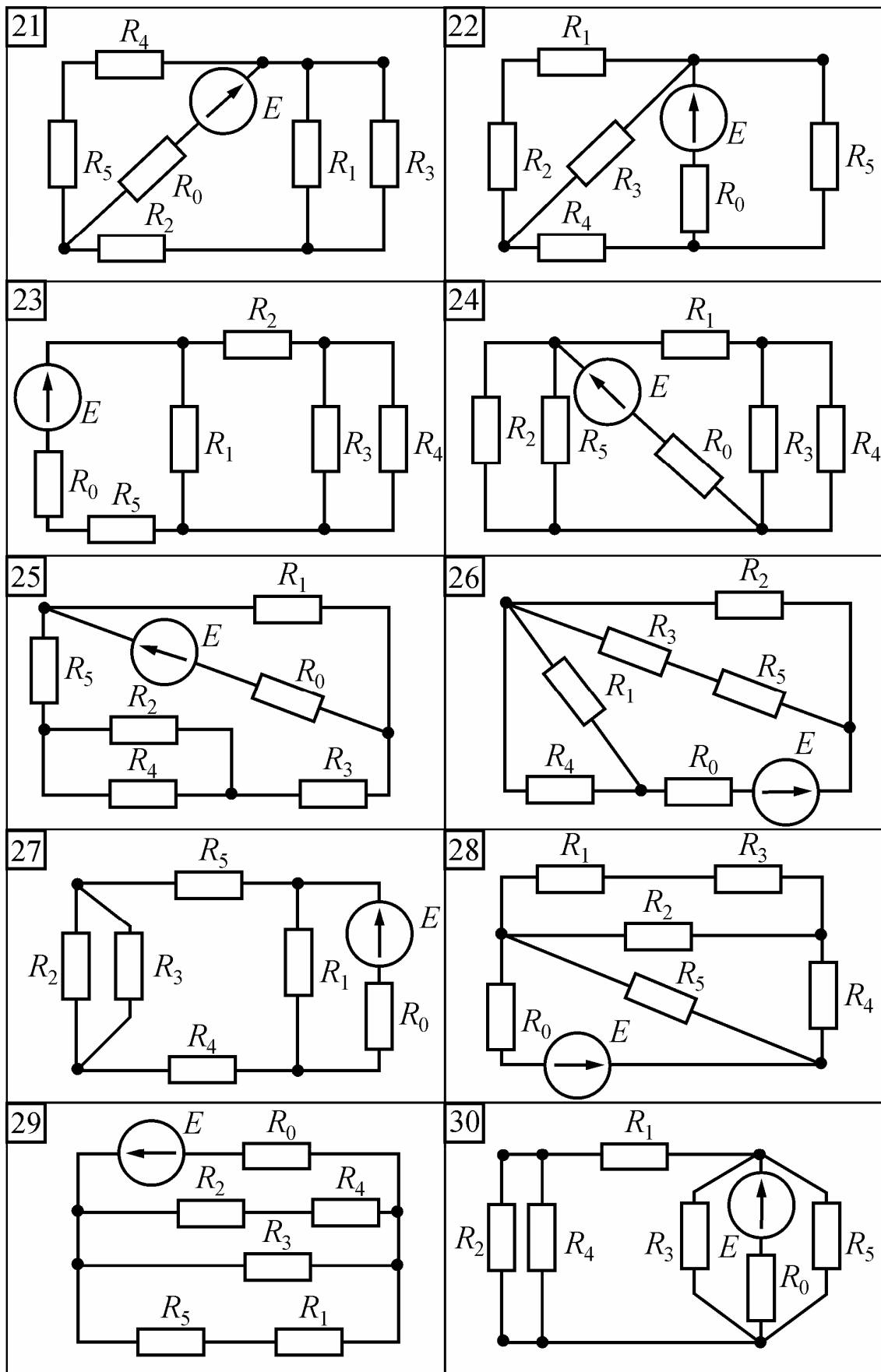


Рисунок 1.1 (продовження)

Таблиця 1.2 – Вхідні дані до задачі 2

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.2 | Опір, Ом | | | | | | ЕРС | |
|---------|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| | | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 | $E, В$ | Вітка |
| 1 | 1 | 10 | 40 | 20 | 8 | 20 | 20 | 200 | <i>bc</i> |
| 2 | 2 | 30 | 14 | 18 | 30 | 7 | 15 | 250 | <i>ac</i> |
| 3 | 3 | 30 | 30 | 14 | 30 | 70 | 10 | 160 | <i>bc</i> |
| 4 | 4 | 12 | 24 | 36 | 7 | 74 | 16 | 210 | <i>cd</i> |
| 5 | 5 | 8 | 10 | 30 | 30 | 30 | 20 | 180 | <i>bd</i> |
| 6 | 6 | 12 | 5 | 40 | 40 | 20 | 14 | 250 | <i>ad</i> |
| 7 | 7 | 20 | 5 | 30 | 30 | 30 | 5 | 150 | <i>cb</i> |
| 8 | 8 | 14 | 40 | 7 | 80 | 54 | 80 | 180 | <i>ac</i> |
| 9 | 9 | 10 | 20 | 30 | 65 | 8 | 50 | 150 | <i>bd</i> |
| 10 | 10 | 4 | 7 | 18 | 12 | 6 | 8 | 90 | <i>ac</i> |
| 11 | 11 | 20 | 10 | 10 | 6 | 85 | 5 | 175 | <i>cd</i> |
| 12 | 12 | 3 | 9 | 33 | 33 | 33 | 69 | 165 | <i>ad</i> |
| 13 | 13 | 8 | 36 | 24 | 11 | 12 | 24 | 270 | <i>vd</i> |
| 14 | 14 | 18 | 4 | 48 | 48 | 48 | 64 | 200 | <i>ab</i> |
| 15 | 15 | 25 | 5 | 13 | 20 | 5 | 15 | 300 | <i>vd</i> |
| 16 | 16 | 5 | 10 | 8 | 2 | 10 | 10 | 150 | <i>vc</i> |
| 17 | 17 | 8 | 20 | 10 | 20 | 12 | 5 | 170 | <i>vd</i> |
| 18 | 18 | 14 | 20 | 30 | 50 | 25 | 30 | 200 | <i>cd</i> |
| 19 | 19 | 3 | 9 | 6 | 17 | 4 | 4 | 285 | <i>ac</i> |
| 20 | 20 | 8 | 2 | 6 | 6 | 6 | 13 | 135 | <i>cd</i> |
| 21 | 21 | 10 | 4 | 6 | 5 | 3 | 10 | 90 | <i>ad</i> |
| 22 | 22 | 12 | 24 | 12 | 7 | 17 | 24 | 150 | <i>cd</i> |
| 23 | 23 | 19 | 9 | 33 | 33 | 33 | 4 | 135 | <i>ab</i> |
| 24 | 24 | 10 | 6 | 50 | 40 | 25 | 10 | 250 | <i>vd</i> |
| 25 | 25 | 4 | 28 | 60 | 14 | 60 | 60 | 270 | <i>vc</i> |
| 26 | 26 | 9 | 6 | 3 | 2,5 | 37 | 9 | 180 | <i>ad</i> |
| 27 | 27 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 90 | <i>ab</i> |
| 28 | 28 | 6 | 2 | 7 | 20 | 10 | 20 | 160 | <i>ad</i> |
| 29 | 29 | 2 | 24 | 24 | 22 | 24 | 7 | 180 | <i>ac</i> |
| 30 | 30 | 11 | 30 | 3 | 8 | 30 | 40 | 300 | <i>vc</i> |
| 31 | 1 | 4 | 5 | 20 | 30 | 50 | 9 | 150 | <i>ab</i> |
| 32 | 2 | 8 | 7 | 6 | 12 | 18 | 4 | 180 | <i>vc</i> |
| 33 | 3 | 4 | 40 | 30 | 60 | 90 | 15 | 210 | <i>ac</i> |
| 34 | 4 | 18 | 10 | 12 | 12 | 4,6 | 3 | 180 | <i>vd</i> |

Продовження таблиці 1.2

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.2 | Опір, Ом | | | | | | ЕРС | |
|---------|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| | | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 | $E, В$ | Вітка |
| 35 | 5 | 12 | 12 | 24 | 4,5 | 9 | 32 | 300 | <i>ac</i> |
| 36 | 6 | 75 | 5 | 75 | 4 | 45 | 75 | 200 | <i>bd</i> |
| 37 | 7 | 18 | 18 | 18 | 4 | 9 | 6 | 180 | <i>ad</i> |
| 38 | 8 | 14 | 5 | 28 | 3 | 8 | 14 | 145 | <i>bd</i> |
| 39 | 9 | 10 | 10 | 15 | 5 | 12 | 25 | 120 | <i>cd</i> |
| 40 | 10 | 14 | 6 | 12 | 36 | 24 | 8 | 240 | <i>ad</i> |
| 41 | 11 | 9 | 9 | 9 | 37 | 7 | 4 | 90 | <i>bd</i> |
| 42 | 12 | 8 | 18 | 36 | 36 | 36 | 12 | 240 | <i>cd</i> |
| 43 | 13 | 12 | 28 | 8 | 62 | 13 | 11 | 250 | <i>bc</i> |
| 44 | 14 | 10 | 20 | 30 | 30 | 30 | 3 | 300 | <i>ad</i> |
| 45 | 15 | 50 | 40 | 26 | 10 | 5 | 10 | 250 | <i>bc</i> |
| 46 | 16 | 51 | 51 | 13 | 51 | 43 | 13 | 225 | <i>ab</i> |
| 47 | 17 | 6 | 7 | 4 | 18 | 12 | 8 | 180 | <i>bc</i> |
| 48 | 18 | 14 | 20 | 8 | 50 | 15 | 30 | 210 | <i>ac</i> |
| 49 | 19 | 12 | 3 | 13 | 7 | 6 | 18 | 270 | <i>ab</i> |
| 50 | 20 | 1 | 9 | 6 | 6 | 24 | 6 | 120 | <i>ac</i> |
| 51 | 21 | 32 | 2 | 24 | 24 | 24 | 4 | 200 | <i>bc</i> |
| 52 | 22 | 12 | 3 | 12 | 4 | 7 | 24 | 140 | <i>ac</i> |
| 53 | 23 | 68 | 8 | 36 | 36 | 36 | 7 | 175 | <i>bc</i> |
| 54 | 24 | 5 | 15 | 10 | 9 | 15 | 15 | 300 | <i>ad</i> |
| 55 | 25 | 30 | 10 | 70 | 30 | 4 | 30 | 240 | <i>ab</i> |
| 56 | 26 | 11 | 27 | 5,5 | 17 | 18 | 9 | 240 | <i>bd</i> |
| 57 | 27 | 6 | 3 | 6 | 4 | 18 | 6 | 100 | <i>bc</i> |
| 58 | 28 | 10 | 20 | 8 | 10 | 2 | 5 | 210 | <i>bd</i> |
| 59 | 29 | 20 | 7 | 4 | 12 | 40 | 40 | 150 | <i>ab</i> |
| 60 | 30 | 9 | 13 | 27 | 9 | 9 | 5 | 300 | <i>ac</i> |
| 61 | 1 | 20 | 6 | 32 | 20 | 8 | 10 | 300 | <i>bd</i> |
| 62 | 2 | 25 | 15 | 10 | 5 | 15 | 15 | 90 | <i>cd</i> |
| 63 | 3 | 10 | 10 | 17,5 | 60 | 7,5 | 5 | 240 | <i>bd</i> |
| 64 | 4 | 2 | 5 | 10 | 20 | 10 | 35 | 200 | <i>ab</i> |
| 65 | 5 | 20 | 5 | 30 | 30 | 30 | 5 | 150 | <i>cb</i> |
| 66 | 6 | 12 | 5 | 40 | 40 | 20 | 14 | 250 | <i>ad</i> |
| 67 | 7 | 45 | 5 | 10 | 20 | 30 | 15 | 300 | <i>ac</i> |

Продовження таблиці 1.2

| Варіант | Номер схеми за рис. 1.2 | Опір, Ом | | | | | | ЕРС | |
|---------|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| | | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 | $E, В$ | Вітка |
| 68 | 8 | 15 | 30 | 75 | 6 | 4,5 | 60 | 240 | <i>ad</i> |
| 69 | 9 | 6 | 42 | 24 | 24 | 24 | 5 | 220 | <i>ac</i> |
| 70 | 10 | 3 | 6 | 4 | 18 | 6 | 6 | 150 | <i>vd</i> |
| 71 | 11 | 18 | 5 | 12 | 3 | 12 | 42 | 215 | <i>vc</i> |
| 72 | 12 | 5 | 9 | 45 | 45 | 45 | 65 | 200 | <i>vd</i> |
| 73 | 13 | 9 | 18 | 10 | 8 | 6 | 12 | 190 | <i>ad</i> |
| 74 | 14 | 6 | 24 | 3 | 4 | 36 | 12 | 240 | <i>vc</i> |
| 75 | 15 | 10 | 2 | 6 | 8 | 10 | 55 | 180 | <i>ab</i> |
| 76 | 16 | 2 | 13 | 10 | 2 | 8 | 2 | 140 | <i>cd</i> |
| 77 | 17 | 51 | 11 | 57 | 10 | 57 | 57 | 150 | <i>ac</i> |
| 78 | 18 | 35 | 5 | 15 | 30 | 15 | 7 | 200 | <i>vd</i> |
| 79 | 19 | 12 | 4 | 8 | 2 | 6 | 18 | 120 | <i>vc</i> |
| 80 | 20 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 5 | 270 | <i>vd</i> |
| 81 | 21 | 20 | 5 | 3 | 5 | 13 | 25 | 260 | <i>ab</i> |
| 82 | 22 | 4 | 60 | 9 | 30 | 22 | 10 | 200 | <i>vd</i> |
| 83 | 23 | 5 | 20 | 25 | 7 | 2 | 10 | 155 | <i>cd</i> |
| 84 | 24 | 34 | 12 | 4 | 8 | 18 | 6 | 180 | <i>ac</i> |
| 85 | 25 | 7 | 12 | 6 | 12 | 12 | 86 | 300 | <i>cd</i> |
| 86 | 26 | 12 | 12 | 12 | 20 | 3 | 2 | 295 | <i>ac</i> |
| 87 | 27 | 20 | 40 | 15 | 10 | 20 | 5 | 200 | <i>cd</i> |
| 88 | 28 | 4 | 6 | 36 | 20 | 20 | 10 | 300 | <i>ab</i> |
| 89 | 29 | 7 | 24 | 24 | 7 | 24 | 22 | 225 | <i>bc</i> |
| 90 | 30 | 5 | 18 | 84 | 4 | 18 | 18 | 300 | <i>bd</i> |
| 91 | 1 | 1 | 20 | 2 | 6 | 20 | 10 | 225 | <i>ac</i> |
| 92 | 2 | 15 | 2,5 | 15 | 30 | 5 | 45 | 240 | <i>ab</i> |
| 93 | 3 | 65 | 5 | 45 | 45 | 45 | 5 | 170 | <i>ad</i> |
| 94 | 4 | 12 | 9 | 3 | 6 | 24 | 12 | 180 | <i>bc</i> |
| 95 | 5 | 10 | 7 | 8 | 4 | 4 | 11 | 180 | <i>ab</i> |
| 96 | 6 | 2 | 16 | 5 | 10 | 10 | 3 | 120 | <i>ac</i> |
| 97 | 7 | 15 | 20 | 15 | 9 | 2 | 4 | 125 | <i>bd</i> |
| 98 | 8 | 5 | 25 | 15 | 15 | 15 | 2,5 | 90 | <i>bc</i> |
| 99 | 9 | 26 | 1 | 10 | 30 | 10 | 2 | 235 | <i>ab</i> |
| 100 | 10 | 20 | 30 | 60 | 9 | 30 | 30 | 120 | <i>bc</i> |

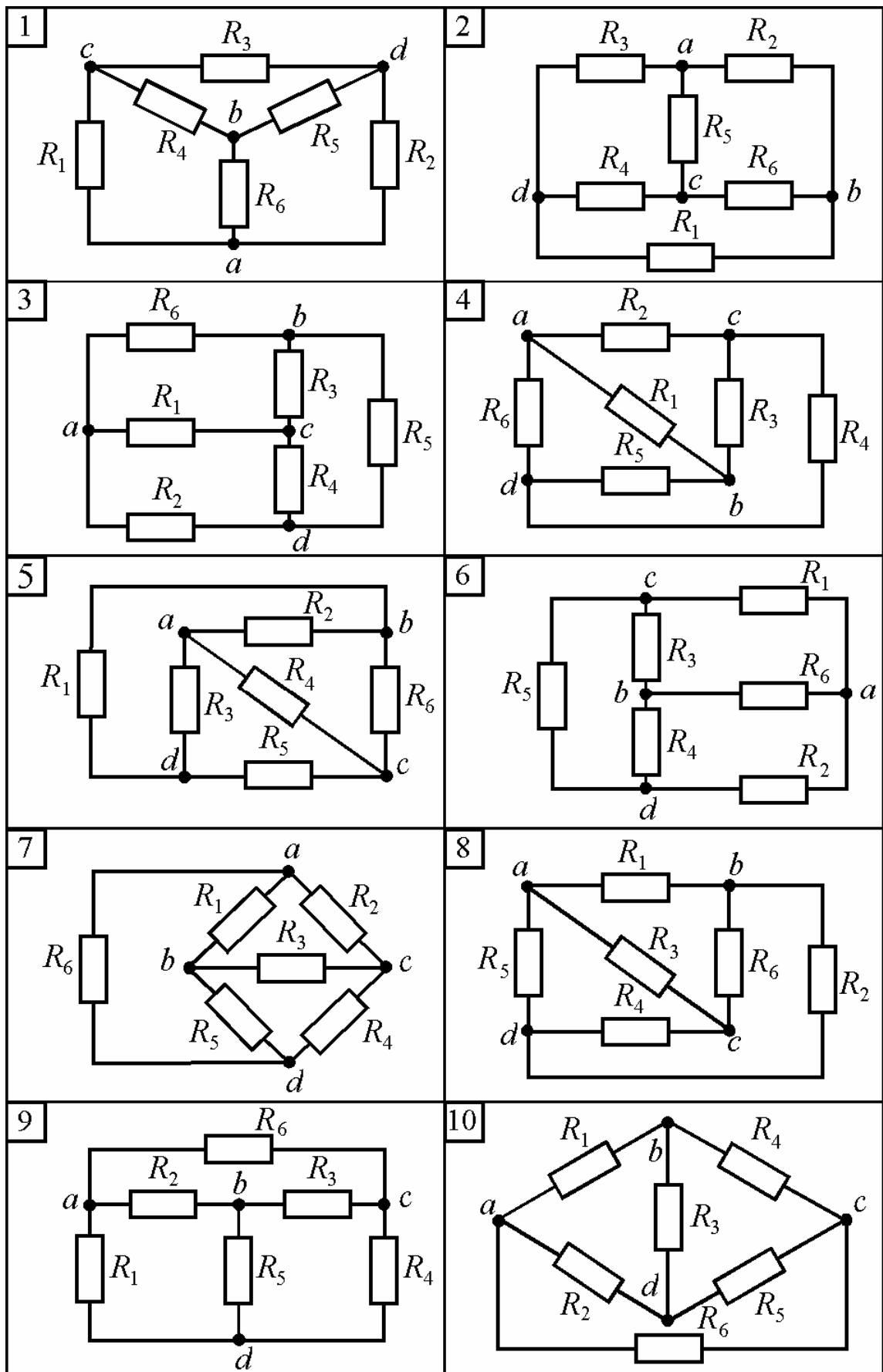


Рисунок 1.2

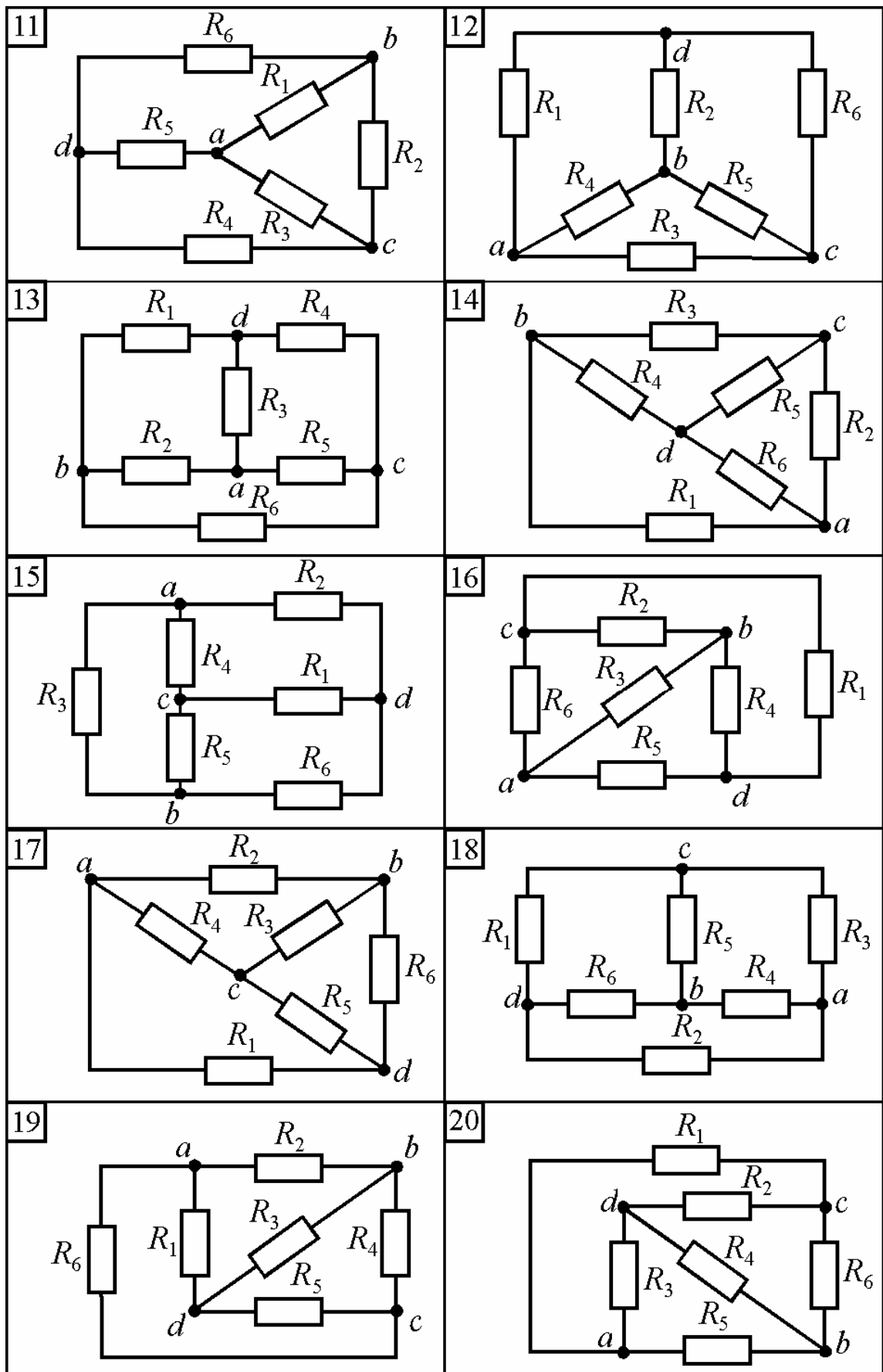


Рисунок 1.2 (продовження)

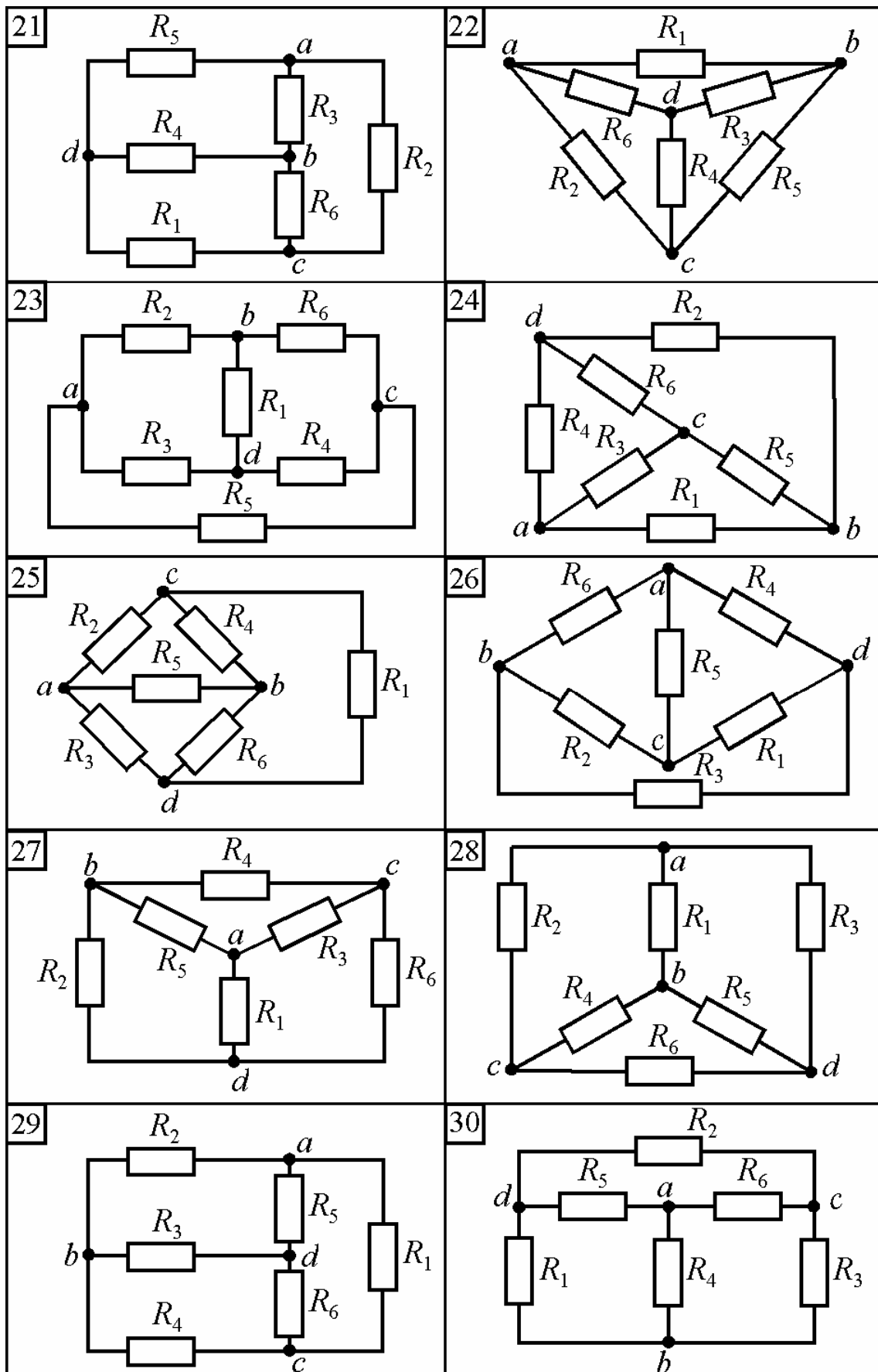


Рисунок 1.2 (продовження)

Таблиця 1.3 – Вхідні дані до задач 3 і 4

| Варі- ант | Номер схеми рис. 1.3 | ЕРС, В | | Опір, Ом | | | | | |
|--------------|----------------------------|--------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | E_1 | E_2 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 |
| 1 | 1 | 90 | 70 | 6 | 15 | 6 | 8 | 5 | 12 |
| 2 | 2 | 100 | 30 | 6 | 1 | 8 | 6 | 7 | 20 |
| 3 | 3 | 170 | 95 | 4 | 5 | 18 | 6 | 10 | 6 |
| 4 | 4 | 130 | 220 | 10 | 17 | 14 | 8 | 7 | 20 |
| 5 | 5 | 150 | 85 | 13 | 6 | 9 | 2 | 10 | 7 |
| 6 | 6 | 90 | 100 | 6 | 3 | 7 | 12 | 4 | 8 |
| 7 | 7 | 125 | 155 | 4 | 2 | 21 | 3 | 4 | 11 |
| 8 | 8 | 150 | 50 | 5 | 4 | 6 | 14 | 9 | 16 |
| 9 | 9 | 120 | 40 | 8 | 10 | 12 | 13 | 6 | 30 |
| 10 | 10 | 90 | 80 | 2 | 4 | 4 | 7 | 10 | 5 |
| 11 | 11 | 130 | 160 | 4 | 2 | 10 | 4 | 20 | 18 |
| 12 | 12 | 65 | 30 | 33 | 4 | 12 | 5 | 1 | 5 |
| 13 | 13 | 145 | 160 | 10 | 5 | 15 | 10 | 25 | 10 |
| 14 | 14 | 100 | 60 | 5 | 21 | 10 | 6 | 9 | 2 |
| 15 | 15 | 110 | 75 | 12 | 7 | 15 | 4 | 3 | 10 |
| 16 | 16 | 270 | 120 | 9 | 9 | 7 | 9 | 2 | 17 |
| 17 | 17 | 240 | 100 | 1,5 | 5 | 14 | 8 | 10 | 12 |
| 18 | 18 | 110 | 55 | 10 | 10 | 15 | 20 | 15 | 15 |
| 19 | 19 | 195 | 480 | 5 | 35 | 15 | 20 | 15 | 15 |
| 20 | 20 | 100 | 100 | 7,5 | 15 | 15 | 4 | 45 | 15 |
| 21 | 21 | 90 | 75 | 12 | 6 | 3 | 15 | 4 | 3 |
| 22 | 22 | 35 | 40 | 7 | 10 | 4 | 2 | 3,5 | 8 |
| 23 | 23 | 70 | 55 | 60 | 10 | 10 | 5 | 4 | 15 |
| 24 | 24 | 100 | 80 | 7 | 5 | 8 | 8 | 12 | 7 |
| 25 | 25 | 70 | 110 | 20 | 14 | 8 | 2 | 25 | 6 |
| 26 | 26 | 150 | 55 | 4 | 5 | 4,5 | 7 | 2 | 16 |
| 27 | 27 | 190 | 135 | 26 | 6 | 10 | 24 | 5 | 15 |
| 28 | 28 | 75 | 70 | 5 | 3 | 10 | 15 | 10 | 2 |
| 29 | 29 | 135 | 90 | 2 | 11 | 10 | 0,5 | 5 | 0,5 |
| 30 | 30 | 120 | 50 | 11 | 4 | 2 | 4 | 7 | 6 |
| 31 | 1 | 270 | 210 | 12 | 30 | 12 | 16 | 10 | 24 |
| 32 | 2 | 150 | 135 | 10 | 12 | 10 | 30 | 11 | 56 |
| 33 | 3 | 80 | 25 | 1 | 3 | 5,5 | 34 | 3 | 1,5 |
| 34 | 4 | 195 | 330 | 20 | 34 | 28 | 16 | 14 | 40 |

Продовження таблиці 1.3

| Варі- ант | Номер схеми за рис. 1.3 | ЕРС, В | | Опір, Ом | | | | | |
|--------------|-------------------------------|--------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | E_1 | E_2 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 |
| 35 | 5 | 130 | 110 | 9 | 4 | 20 | 35 | 4 | 2 |
| 36 | 6 | 140 | 105 | 12 | 4 | 5 | 4 | 15 | 17 |
| 37 | 7 | 55 | 150 | 4 | 3 | 10 | 5 | 15 | 4 |
| 38 | 8 | 110 | 70 | 5 | 6 | 40 | 2 | 1 | 6 |
| 39 | 9 | 140 | 160 | 10 | 3 | 6 | 8 | 16 | 8 |
| 40 | 10 | 40 | 35 | 1 | 6 | 5 | 2,5 | 1 | 12 |
| 41 | 11 | 120 | 40 | 1 | 6 | 4 | 11 | 2 | 1,5 |
| 42 | 12 | 40 | 110 | 14 | 4 | 15 | 6 | 3 | 2 |
| 43 | 13 | 125 | 35 | 12 | 2 | 25 | 4 | 3 | 7 |
| 44 | 14 | 185 | 210 | 6 | 11 | 5 | 10 | 9 | 30 |
| 45 | 15 | 90 | 90 | 6 | 6 | 6 | 1 | 4 | 16 |
| 46 | 16 | 125 | 145 | 6 | 9 | 5 | 15 | 2 | 3 |
| 47 | 17 | 110 | 30 | 5 | 24 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| 48 | 18 | 150 | 75 | 1 | 14 | 5 | 5 | 1 | 9 |
| 49 | 19 | 130 | 20 | 8 | 10 | 6 | 5 | 15 | 3 |
| 50 | 20 | 70 | 130 | 10 | 15 | 16 | 10 | 17 | 6 |
| 51 | 21 | 120 | 50 | 10 | 2 | 4 | 4 | 6 | 3 |
| 52 | 22 | 105 | 195 | 15 | 5 | 5 | 10 | 20 | 28 |
| 53 | 23 | 90 | 70 | 60 | 10 | 10 | 5 | 9 | 20 |
| 54 | 24 | 100 | 120 | 3 | 9 | 8 | 8 | 12 | 12 |
| 55 | 25 | 80 | 220 | 15 | 14 | 8 | 2 | 25 | 6 |
| 56 | 26 | 300 | 110 | 8 | 10 | 9 | 14 | 4 | 32 |
| 57 | 27 | 200 | 135 | 20 | 7 | 10 | 30 | 5 | 15 |
| 58 | 28 | 150 | 140 | 10 | 6 | 20 | 30 | 20 | 4 |
| 59 | 29 | 270 | 180 | 4 | 22 | 20 | 1 | 10 | 1 |
| 60 | 30 | 240 | 100 | 22 | 8 | 4 | 8 | 14 | 12 |
| 61 | 1 | 180 | 140 | 3 | 7,5 | 3 | 4 | 2,5 | 6 |
| 62 | 2 | 50 | 45 | 5 | 6 | 5 | 15 | 5,5 | 28 |
| 63 | 3 | 240 | 75 | 2 | 6 | 11 | 68 | 6 | 3 |
| 64 | 4 | 130 | 220 | 5 | 8,5 | 7 | 4 | 3,5 | 10 |
| 65 | 5 | 80 | 80 | 3 | 21 | 2 | 6 | 5 | 11 |
| 66 | 6 | 120 | 150 | 4 | 4 | 8 | 10 | 3 | 5 |
| 67 | 7 | 360 | 300 | 16 | 8 | 26 | 14 | 30 | 27 |

Продовження таблиці 1.3

| Вариант | Номер схеми за рис. 1.3 | ЕРС, В | | Опір, Ом | | | | | |
|---------|-------------------------------|--------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | E_1 | E_2 | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | R_5 | R_6 |
| 68 | 8 | 110 | 70 | 10 | 4 | 5 | 7 | 3 | 7 |
| 69 | 9 | 90 | 95 | 15 | 5 | 10 | 5 | 20 | 30 |
| 70 | 10 | 160 | 140 | 2 | 12 | 10 | 5 | 2 | 24 |
| 71 | 11 | 240 | 80 | 2 | 12 | 8 | 22 | 4 | 3 |
| 72 | 12 | 40 | 40 | 3 | 8 | 18 | 4 | 5 | 14 |
| 73 | 13 | 60 | 120 | 4 | 2 | 10 | 2 | 5 | 2 |
| 74 | 14 | 120 | 150 | 7 | 5 | 2 | 9 | 3 | 15 |
| 75 | 15 | 210 | 170 | 6 | 4 | 3 | 5 | 4 | 10 |
| 76 | 16 | 55 | 65 | 2 | 3 | 10 | 30 | 4 | 16 |
| 77 | 17 | 100 | 200 | 4 | 5 | 6 | 11 | 12 | 8 |
| 78 | 18 | 120 | 60 | 1 | 12 | 6 | 10 | 20 | 10 |
| 79 | 19 | 240 | 90 | 1 | 6 | 12 | 16 | 12 | 12 |
| 80 | 20 | 100 | 50 | 20 | 24 | 2 | 8 | 21 | 10 |
| 81 | 21 | 50 | 20 | 10 | 2 | 5 | 6 | 2,5 | 20 |
| 82 | 22 | 140 | 160 | 14 | 20 | 8 | 4 | 7 | 16 |
| 83 | 23 | 140 | 110 | 30 | 5 | 5 | 2,5 | 2 | 7,5 |
| 84 | 24 | 230 | 160 | 11 | 6 | 8 | 8 | 15 | 7 |
| 85 | 25 | 40 | 155 | 15 | 14 | 8 | 7 | 25 | 6 |
| 86 | 26 | 130 | 85 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 15 |
| 87 | 27 | 150 | 80 | 9 | 10 | 5 | 14 | 8 | 8 |
| 88 | 28 | 90 | 75 | 6 | 9 | 10 | 9 | 3 | 5 |
| 89 | 29 | 155 | 170 | 15 | 5 | 10 | 27 | 20 | 18 |
| 90 | 30 | 65 | 25 | 5,5 | 2 | 1 | 2 | 3,5 | 3 |
| 91 | 1 | 110 | 230 | 30 | 4 | 20 | 12 | 6 | 16 |
| 92 | 2 | 40 | 90 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 4 |
| 93 | 3 | 130 | 220 | 9 | 10 | 3 | 9 | 8 | 3 |
| 94 | 4 | 145 | 70 | 2 | 10 | 10 | 2 | 3 | 6 |
| 95 | 5 | 105 | 15 | 11 | 10 | 16 | 1 | 5 | 12 |
| 96 | 6 | 160 | 100 | 10 | 4 | 8 | 7 | 2 | 30 |
| 97 | 7 | 120 | 100 | 8 | 4 | 13 | 7 | 15 | 13,5 |
| 98 | 8 | 95 | 130 | 5 | 9 | 8 | 2 | 10 | 18 |
| 99 | 9 | 180 | 210 | 15 | 5 | 20 | 5 | 20 | 40 |
| 100 | 10 | 50 | 95 | 2 | 4 | 5 | 5 | 25 | 2 |

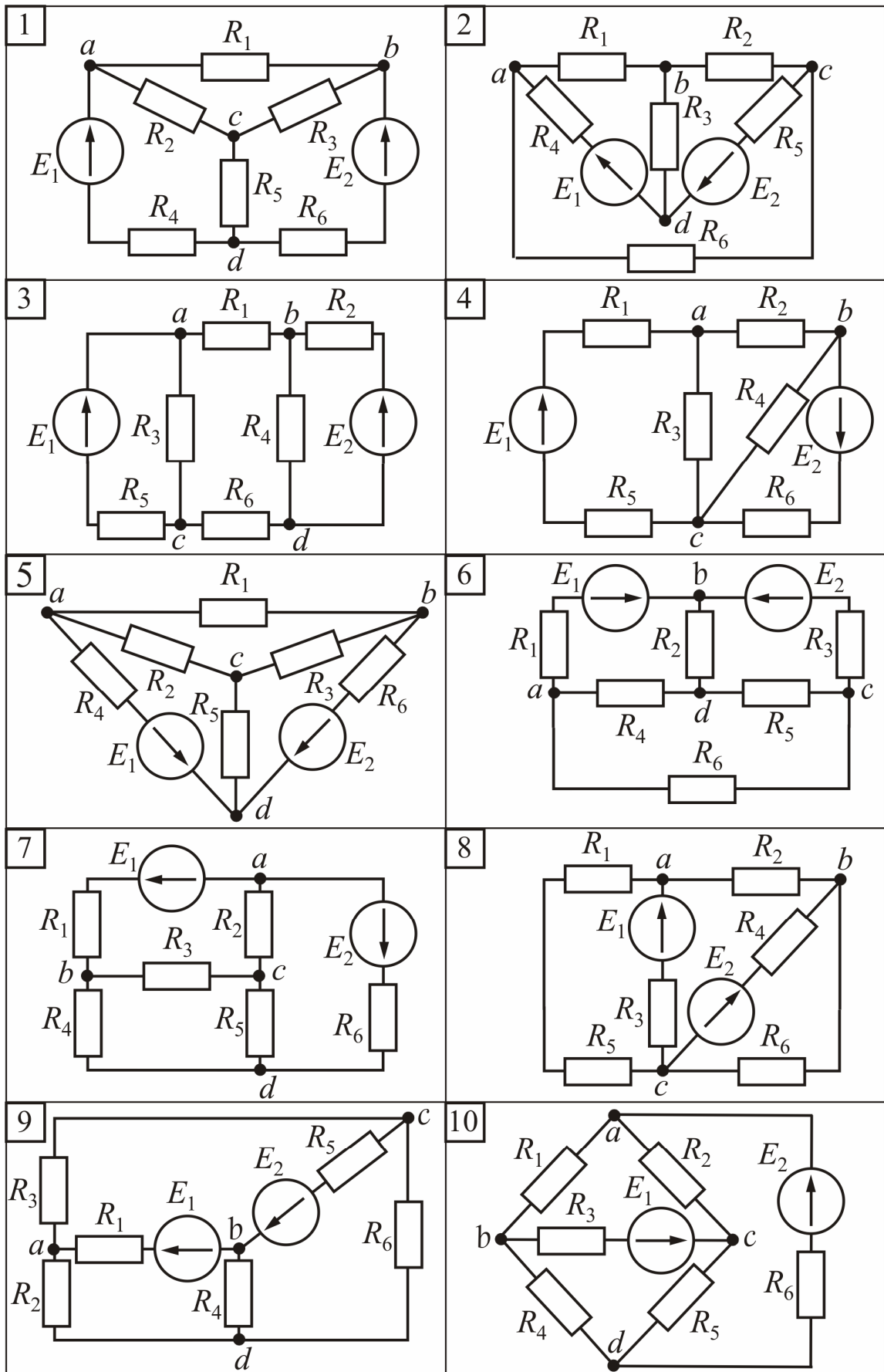


Рисунок 1.3

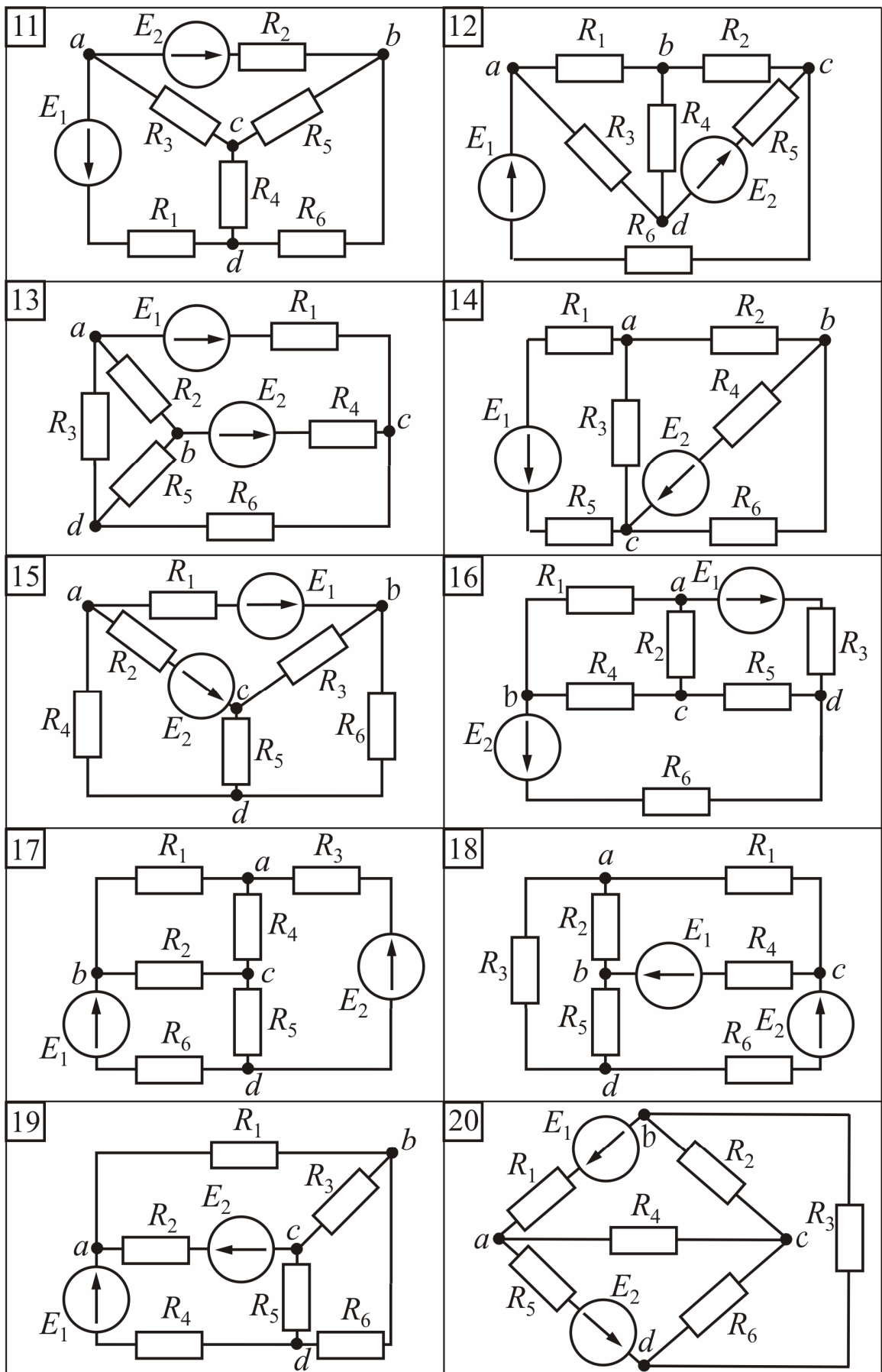


Рисунок 1.3 (продовження)

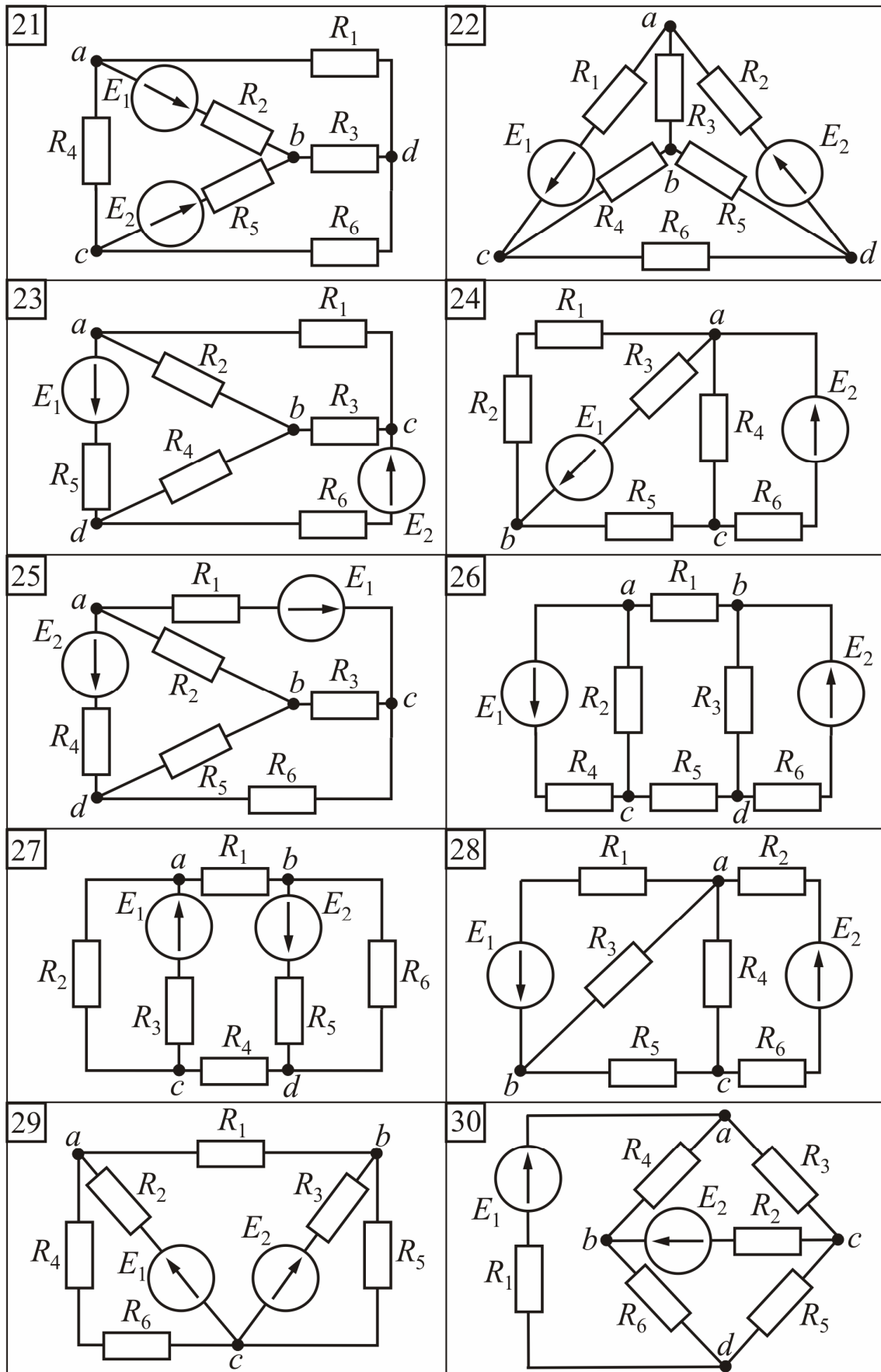


Рисунок 1.3 (продовження)

1.2. Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахунок електричного кола з одним джерелом ЕРС при змішаному з'єднанні споживачів.

а) визначити струми в вітках електричного кола, схема якого зображена на рис. 1.4, а, якщо ЕРС $E = 120$ В; опори елементів $R_0 = 2$ Ом; $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 25$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $R_4 = 20$ Ом; $R_5 = 30$ Ом.

Скласти рівняння балансу потужностей кола і перевірити його.

б) визначити ЕРС джерела енергії E і струми в вітках електричного кола, схема якого зображена на рис. 1.4, а, якщо струм $I_1 = 4$ А.

Розв'язання:

а) пряма задача

Вибираємо позитивні напрями струмів у вітках кола, відповідно до напрямку ЕРС, вказаному на схемі. Використаємо метод послідовного згортання початкової схеми в нерозгалужену за допомогою еквівалентної заміни одних ділянок схеми другими, як це зображено на рис. 1.4, б, в, г.

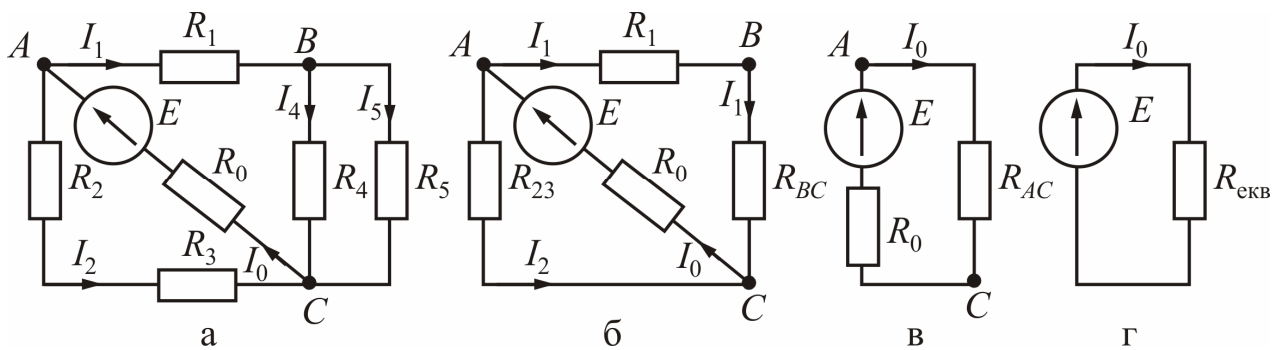


Рисунок 1.4

Визначаємо еквівалентні опори ділянок і усього кола після згортання:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 25 + 5 = 30 \text{ Ом}; \quad R_{BC} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \text{ Ом};$$

$$R_{AC} = \frac{(R_1 + R_{BC}) \cdot R_{23}}{R_1 + R_{BC} + R_{23}} = \frac{(3 + 12) \cdot 30}{3 + 12 + 30} = 10 \text{ Ом}; \quad R_{\text{екв}} = R_0 + R_{AC} = 2 + 10 = 12 \text{ Ом}.$$

Отримавши $R_{\text{екв}}$, визначаємо струм I_0 крізь джерело ЕРС (рис. 1.4, г)

$$I_0 = \frac{E}{R_{\text{екв}}} = \frac{120}{12} = 10 \text{ А}, \text{ а потім напругу на ділянці } AC \text{ (рис. 1.4, в)}$$

$U_{AC} = R_{AC} \cdot I_0 = 10 \cdot 10 = 100$ В і струми в паралельних вітках на цій ділянці (рис. 1.4, б):

$$I_1 = \frac{U_{AC}}{R_1 + R_{BC}} = \frac{100}{3 + 12} = 6,67 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U_{AC}}{R_{23}} = \frac{100}{30} = 3,33 \text{ А}.$$

Скориставшись струмом I_1 , визначаємо напругу на ділянці BC (рис. 1.4, б) $U_{BC} = R_{BC} \cdot I_1 = 12 \cdot 6,67 = 80$ В і струми в її паралельних вітках (рис. 1.4, а):

$$I_4 = \frac{U_{BC}}{R_4} = \frac{80}{20} = 4 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{BC}}{R_5} = \frac{80}{30} = 2,67 \text{ А}.$$

Рівняння балансу потужностей кола за рис. 1.4, а

$$P_{дж} = \sum_{k=1}^6 P_{пр,k},$$

де потужність джерела ЕРС $P_{дж} = E \cdot I_0 = 120 \cdot 10 = 1200$ Вт.

Арифметична сума потужностей споживачів:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^6 P_{пр,k} &= R_0 I_0^2 + R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_2^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 = \\ &= 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 6,67^2 + 25 \cdot 3,33^2 + 5 \cdot 3,33^2 + 20 \cdot 4^2 + 30 \cdot 2,67^2 = \\ &= 200 + 133,47 + 277,22 + 55,44 + 320 + 213,87 = 1200 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

б) зворотна задача

Напруга на ділянці BC (рис. 1.4, б)

$$U_{BC} = R_{BC} \cdot I_1 = 12 \cdot 4 = 48 \text{ В}.$$

Струми в паралельних вітках на цій ділянці (рис. 1.4, б):

$$I_4 = \frac{U_{BC}}{R_4} = \frac{48}{20} = 2,4 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{BC}}{R_5} = \frac{48}{30} = 1,6 \text{ А}.$$

Напруга на ділянці AC (рис. 1.4, б)

$$U_{AC} = I_1 \cdot R_1 + U_{BC} = 4 \cdot 3 + 48 = 60 \text{ В}.$$

Струм в вітці з опором R_{23} (рис. 1.4, б)

$$I_2 = \frac{U_{AC}}{R_{23}} = \frac{60}{30} = 2 \text{ А}.$$

За першим законом Кірхгофа для вузла A (рис. 1.4, б) визначаємо струм джерела

$$I_0 = I_1 + I_2 = 4 + 2 = 6 \text{ А}.$$

Визначаємо напругу джерела (рис. 1.4, в)

$$E = R_{екв} \cdot I_0 = 12 \cdot 6 = 72 \text{ В}.$$

Приклад 2. Розрахунок електричного кола з одним джерелом ЕРС методом перетворення “трикутник” – “зірка”.

В електричне коло за рис. 1.5 джерело ЕРС E увімкнено в вітку $D-A$. Напрямок ЕРС від вузла D до вузла A . Параметри елементів кола: $E = 60$ В; $R_1 = 8$ Ом; $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 20$ Ом; $R_4 = 15$ Ом; $R_5 = 7$ Ом; $R_6 = 9$ Ом.

Визначити струми в вітках електричного кола за допомогою метода перетворення опорів, з'єднаних “трикутником”, у еквівалентну “зірку” і навпаки. Скласти рівняння балансу потужностей кола і перевірити його.

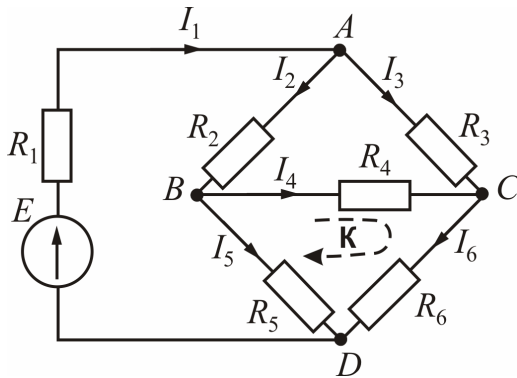


Рисунок 1.5

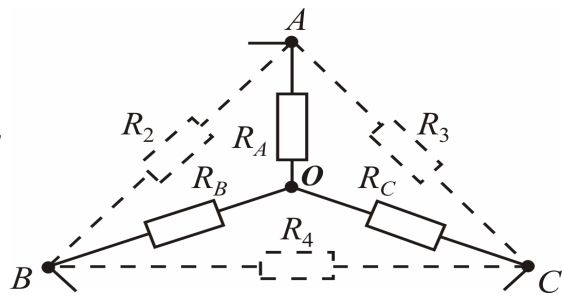


Рисунок 1.6

Розв’язання. Попередньо виберемо позитивні напрями струмів у вітках кола, як це показано на рис. 1.5 Якщо напрям струму буде іншим ніж той, що ми обрали, тоді при розв’язанні задачі виникне знак «-».

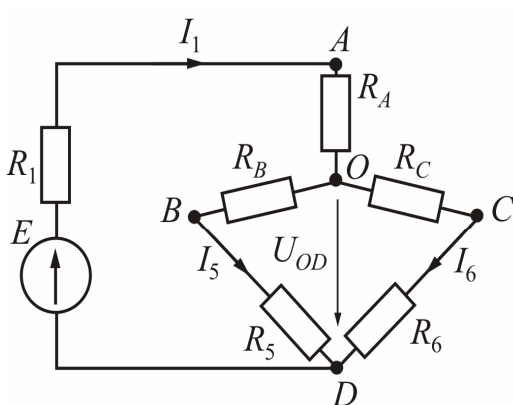
Для розв’язання задачі використовуємо перетворення, наприклад, трьох опорів R_2 , R_3 і R_4 , які з’єднані “трикутником” між вузлами A , B і C (рис. 1.5), в еквівалентну “зірку” з опорами R_A , R_B і R_C та центральним вузлом O (рис. 1.6).

Визначаємо еквівалентні опори “зірки”:

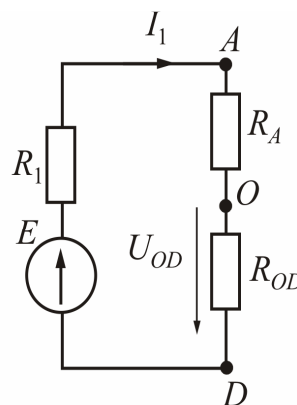
$$R_A = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20 + 15} = 4,44 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 20 + 15} = 3,33 \text{ Ом};$$

$$R_C = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{20 \cdot 15}{10 + 20 + 15} = 6,67 \text{ Ом}.$$



а



б

Рисунок 1.7

рис. 1.7, а в схему за рис. 1.7, б

З урахуванням проведеної вище заміни на рис. 1.7, а дана еквівалентна схема кола, у якій показано напрями струмів крізь опори, що не охоплені перетворенням.

Визначаємо еквівалентний опір між вузлами O і D та перетворюємо схему за

$$R_{OD} = \frac{(R_B + R_5) \cdot (R_C + R_6)}{R_B + R_5 + R_C + R_6} = \frac{(3,33 + 7) \cdot (6,67 + 9)}{3,33 + 7 + 6,67 + 9} = 6,23 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний опір усього кола (рис. 1.7, б)

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_A + R_{OD} = 8 + 4,44 + 6,23 = 18,67 \text{ Ом.}$$

Струм крізь джерело ЕРС $I_1 = \frac{E}{R_{\text{екв}}} = \frac{60}{18,67} = 3,21 \text{ А.}$

Напруга між вузлами OD (рис. 1.8, б)

$$U_{OD} = R_{OD} \cdot I_1 = 6,23 \cdot 3,21 = 20 \text{ В.}$$

Визначаємо струми I_5 і I_6 у паралельних вітках (рис. 1.7, а):

$$I_5 = \frac{U_{OD}}{R_B + R_5} = \frac{20}{3,33 + 7} = 1,94 \text{ А}; \quad I_6 = \frac{U_{OD}}{R_C + R_6} = \frac{20}{6,67 + 9} = 1,28 \text{ А.}$$

За другим законом Кірхгофа для контуру K (рис. 1.5) при його обході за рухом годинникової стрілки складаємо рівняння

$$R_4 \cdot I_4 + R_6 \cdot I_6 - R_5 \cdot I_5 = 0;$$

з цього рівняння визначаємо струм

$$I_4 = \frac{R_5 \cdot I_5 - R_6 \cdot I_6}{R_4} = \frac{7 \cdot 1,94 - 9 \cdot 1,28}{15} = 0,14 \text{ А.}$$

За першим законом Кірхгофа для струмів віток, які з'єднуються в вузлі B (рис. 1.5), маємо рівняння $I_2 - I_4 - I_5 = 0$;

з цього рівняння визначаємо струм $I_2 = I_4 + I_5 = 0,14 + 1,94 = 2,08 \text{ А.}$

За першим законом Кірхгофа для струмів віток, які з'єднуються в вузлі C , маємо рівняння $I_3 + I_4 - I_6 = 0$;

з цього рівняння визначаємо струм $I_3 = I_6 - I_4 = 1,28 - 0,14 = 1,14 \text{ А.}$

Рівняння балансу потужностей кола за рис. 1.5

$$P_{\text{дж}} = \sum_{k=1}^6 P_{\text{пр},k},$$

де потужність джерела ЕРС $P_{\text{дж}} = E \cdot I_1 = 60 \cdot 3,21 = 192,6 \text{ Вт}$;

арифметична сума потужностей споживачів:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^6 P_{\text{пр},k} &= R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 + R_4 \cdot I_4^2 + R_5 \cdot I_5^2 + R_6 \cdot I_6^2 = \\ &= 8 \cdot 3,21^2 + 10 \cdot 2,08^2 + 20 \cdot 1,14^2 + 15 \cdot 0,14^2 + 7 \cdot 1,94^2 + 9 \cdot 1,28^2 = \\ &= 82,43 + 43,26 + 25,99 + 0,29 + 26,34 + 14,75 = 193,06 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Похибку розрахунку потужностей у відсотках

$$\delta_p = \left| \frac{P_{дж} - \sum_{k=1}^6 P_{пр,k}}{P_{дж}} \cdot 100 \% \right| = \left| \frac{192,6 - 193,06}{192,6} \cdot 100 \% \right| = 0,24 \%$$

можна вважати допустимою.

Цю задачу можна також розв'язати, використовуючи еквівалентне перетворення «зірки» у «трикутник».

Для цього за допомогою перетворення трьох опорів R_2, R_4 і R_5 , які з'єднані «зіркою» з центральним вузлом B , в еквівалентний «трикутник» з опорами R_{AC}, R_{CD}, R_{AD} між вузлами A, C і D (рис. 1.8) визначаємо еквівалентні опори «трикутника»:

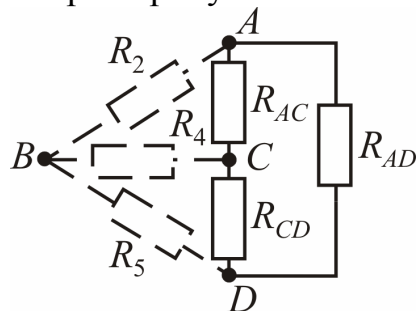


Рисунок 1.8

$$R_{AC} = R_2 + R_4 + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_5} = 10 + 15 + \frac{10 \cdot 15}{7} = 46,43 \text{ Ом};$$

$$R_{CD} = R_4 + R_5 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2} = 15 + 7 + \frac{15 \cdot 7}{10} = 32,5 \text{ Ом};$$

$$R_{AD} = R_2 + R_5 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_4} = 10 + 7 + \frac{10 \cdot 7}{15} = 21,67 \text{ Ом}.$$

З урахуванням заміни, що проведена вище, на рис. 1.9 дана еквівалентна схема кола, у якій показано напрями струмів у вітках.

Визначаємо еквівалентні опори ділянок і усього кола після перетворення:

$$R' = \frac{R_{AC} \cdot R_3}{R_{AC} + R_3} = \frac{46,43 \cdot 20}{46,43 + 20} = 13,98 \text{ Ом};$$

$$R'' = \frac{R_{CD} \cdot R_6}{R_{CD} + R_6} = \frac{32,5 \cdot 9}{32,5 + 9} = 7,05 \text{ Ом}.$$

$$R_{екв} = R_1 + \frac{(R' + R'') \cdot R_{AD}}{R' + R'' + R_{AD}} = 8 + \frac{(13,98 + 7,05) \cdot 21,67}{13,98 + 7,05 + 21,67} = 18,67 \text{ Ом}.$$

Визначаємо струм джерела ЕРС (рис. 1.9)

$$I_1 = \frac{E}{R_{екв}} = \frac{60}{18,67} = 3,21 \text{ А}.$$

Струм у вітці з послідовним з'єднанням опорів R' і R'' (рис. 1.10)

$$I_{ACD} = I_1 \cdot \frac{R_{AD}}{R_{AD} + R' + R''} = 3,21 \cdot \frac{21,67}{21,67 + 13,98 + 7,05} = 1,63 \text{ А}.$$

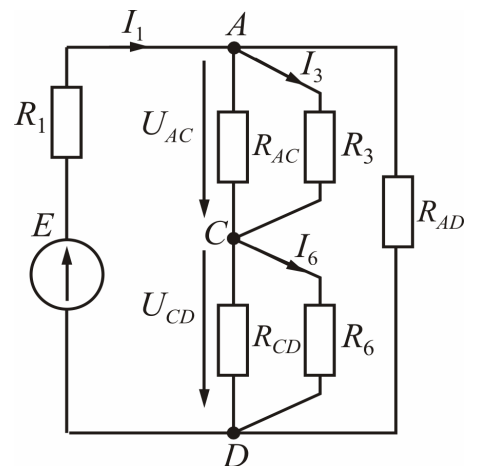


Рисунок 1.9

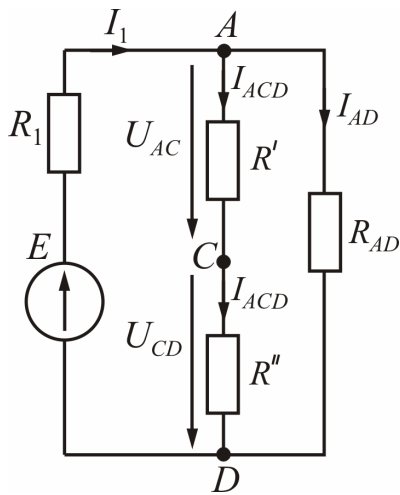


Рисунок 1.10

Напруги між вузлами $A-C$ і $C-D$ (рис. 1.10):

$$U_{AC} = I_{ACD} \cdot R' = 1,63 \cdot 13,98 = 22,79 \text{ В};$$

$$U_{CD} = I_{ACD} \cdot R'' = 1,63 \cdot 7,05 = 11,49 \text{ В}.$$

Струми в вітках з опорами R_3 і R_6 (рис. 1.9):

$$I_3 = \frac{U_{AC}}{R_3} = \frac{22,79}{20} = 1,14 \text{ А}; \quad I_6 = \frac{U_{CD}}{R_6} = \frac{11,49}{9} = 1,28 \text{ А}.$$

За першим законом Кірхгофа для вузлів C , A і B схеми за рис.1.5 визначаємо струми I_4 , I_2 та I_5 :

$$I_4 = I_6 - I_3 = 1,28 - 1,14 = 0,14 \text{ А};$$

$$I_2 = I_1 - I_3 = 3,21 - 1,14 = 2,07 \text{ А};$$

$$I_5 = I_2 - I_4 = 2,07 - 0,14 = 1,93 \text{ А}.$$

Приклад 3. Розрахунок складного електричного кола методом контурних струмів.

Для електричного кола, схему якого зображено на рис. 1.11 визначити струми в усіх вітках, користуючись методом контурних струмів, якщо $E_1 = 100 \text{ В}$; $E_2 = 50 \text{ В}$; $R_1 = R_5 = 8 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 7 \text{ Ом}$; $R_4 = 9 \text{ Ом}$; $R_6 = 13 \text{ Ом}$.

Розв'язання. Вибір незалежних контурів I, II, III, позначення контурних струмів I_{11} , I_{22} , I_{33} і напрям обходу контурів показані на рис. 1.11.

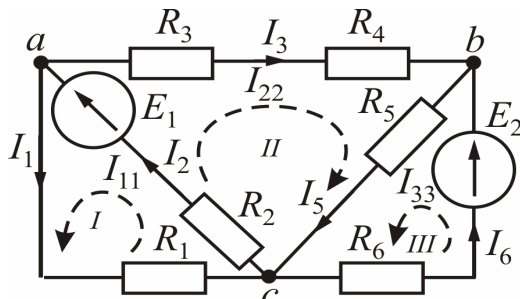


Рисунок 1.11

Система рівнянь для контурів I, II і III має такий вигляд:

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} + R_{13} \cdot I_{33} = E_{11}; \\ R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} + R_{23} \cdot I_{33} = E_{22}; \\ R_{31} \cdot I_{11} + R_{32} \cdot I_{22} + R_{33} \cdot I_{33} = E_{33}, \end{cases} \quad (1)$$

де контурні ЕРС: $E_{11} = E_1 = 100 \text{ В}$;

$E_{22} = E_1 = 100 \text{ В}$; $E_{33} = E_2 = 50 \text{ В}$,

повні (власні) опори контурів:

$$R_{11} = R_1 + R_2 = 8 + 10 = 18 \text{ Ом}; \quad R_{22} = R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 10 + 7 + 9 + 8 = 34 \text{ Ом};$$

$$R_{33} = R_5 + R_6 = 8 + 13 = 21 \text{ Ом},$$

взаємні опори контурів: $R_{12} = R_{21} = R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_{23} = R_{32} = R_5 = 8 \text{ Ом}$;

$R_{13} = R_{31} = 0$ (контури I і III не мають зв'язку). Опори $R_{12} = R_{21}$ і $R_{23} = R_{32}$

записані зі знаком «+» тому, що контурні струми в них збігаються.

Після підстановки чисельних значень система рівнянь (1) має вигляд:

$$\begin{cases} 18 \cdot I_{11} + 10 \cdot I_{22} + 0 \cdot I_{33} = 100; \\ 10 \cdot I_{11} + 34 \cdot I_{22} + 8 \cdot I_{33} = 100; \\ 0 \cdot I_{11} + 8 \cdot I_{22} + 21 \cdot I_{33} = 50, \end{cases} \quad (2)$$

загальний визначник якої: $\Delta = \begin{vmatrix} 18 & 10 & 0 \\ 10 & 34 & 8 \\ 0 & 8 & 21 \end{vmatrix}$.

Розкриваючи його за елементами першої строки, знаходимо

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 18 & 10 & 0 \\ 10 & 34 & 8 \\ 0 & 8 & 21 \end{vmatrix} = (-1)^{1+1} \cdot 18 \cdot \begin{vmatrix} 34 & 8 \\ 8 & 21 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} \cdot 10 \cdot \begin{vmatrix} 10 & 8 \\ 0 & 21 \end{vmatrix} + (-1)^{1+3} \cdot 0 \cdot \begin{vmatrix} 10 & 34 \\ 0 & 8 \end{vmatrix} = \\ &= 18 \cdot (34 \cdot 21 - 8 \cdot 8) - 10 \cdot (10 \cdot 21 - 0 \cdot 8) + 0 = 11700 - 2100 = 9600. \end{aligned}$$

Допоміжні визначники системи одержуємо з загального визначника за допомогою заміни 1, 2 та 3-його стовпців на стовпець ЕРС системи рівнянь (2), а саме:

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= \begin{vmatrix} 100 & 10 & 0 \\ 100 & 34 & 8 \\ 50 & 8 & 21 \end{vmatrix} = (-1)^{1+1} \cdot 100 \cdot \begin{vmatrix} 34 & 8 \\ 8 & 21 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} \cdot 10 \cdot \begin{vmatrix} 100 & 8 \\ 50 & 21 \end{vmatrix} = \\ &= 100 \cdot (34 \cdot 21 - 8 \cdot 8) - 10 \cdot (100 \cdot 21 - 50 \cdot 8) = 65000 - 17000 = 48000. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{22} &= \begin{vmatrix} 18 & 100 & 0 \\ 10 & 100 & 8 \\ 0 & 50 & 21 \end{vmatrix} = (-1)^{1+1} \cdot 18 \cdot \begin{vmatrix} 100 & 8 \\ 50 & 21 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} \cdot 100 \cdot \begin{vmatrix} 10 & 8 \\ 0 & 21 \end{vmatrix} = \\ &= 18 \cdot (100 \cdot 21 - 50 \cdot 8) - 100 \cdot (10 \cdot 21 - 0 \cdot 8) = 30600 - 21000 = 9600. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{33} &= \begin{vmatrix} 18 & 10 & 100 \\ 10 & 34 & 100 \\ 0 & 8 & 50 \end{vmatrix} = (-1)^{1+1} \cdot 18 \cdot \begin{vmatrix} 34 & 100 \\ 8 & 50 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} \cdot 10 \cdot \begin{vmatrix} 10 & 100 \\ 0 & 50 \end{vmatrix} + \\ &+ (-1)^{1+3} \cdot 100 \cdot \begin{vmatrix} 10 & 34 \\ 0 & 8 \end{vmatrix} = 18 \cdot (34 \cdot 50 - 100 \cdot 8) - 10 \cdot (10 \cdot 50 - 0 \cdot 100) + \\ &+ 100 \cdot (10 \cdot 8 - 0 \cdot 34) = 16200 - 5000 + 8000 = 19200. \end{aligned}$$

Контурні струми будуть дорівнювати:

$$I_{11} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = \frac{48000}{9600} = 5 \text{ А}; \quad I_{22} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta} = \frac{9600}{9600} = 1 \text{ А}; \quad I_{33} = \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = \frac{19200}{9600} = 2 \text{ А}.$$

Складаючись, вони дадуть такі струми у вітках:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{11} = 5 \text{ А}; & I_2 &= I_{11} + I_{22} = 5 + 1 = 6 \text{ А}; \\ I_3 &= I_{22} = 1 \text{ А}; & I_5 &= I_{22} + I_{33} = 1 + 2 = 3 \text{ А}; & I_6 &= I_{33} = 2 \text{ А}. \end{aligned}$$

Рівняння балансу потужностей

$$E_1 \cdot I_2 + E_2 \cdot I_6 = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 + R_4 \cdot I_3^2 + R_5 \cdot I_5^2 + R_6 \cdot I_6^2 ;$$

$$100 \cdot 6 + 50 \cdot 2 = 8 \cdot 5^2 + 10 \cdot 6^2 + 7 \cdot 1^2 + 9 \cdot 1^2 + 8 \cdot 3^2 + 13 \cdot 2^2 ;$$

$$700 \text{ Вт} = 700 \text{ Вт}.$$

Приклад 4. Розрахунок складного електричного кола методом еквівалентного генератора.

Визначити струм I_1 у вітці з опором R_1 в електричному колі, яке зображено на рис. 1.12, якщо $E_1 = 120 \text{ В}$; $E_2 = 60 \text{ В}$; $R_1 = 8 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 6 \text{ Ом}$; $R_5 = 10 \text{ Ом}$; $R_6 = 15 \text{ Ом}$.

Розв'язання. Електричне коло без ділянки кола з опором R_1 замінюємо еквівалентним генератором (на рис. 1.12 обведений штриховою лінією). Еквівалентний генератор (рис. 1.13) характеризується величиною ЕРС (ЕРС еквівалентного генератора $E_{ер}$) і внутрішнім (еквівалентним опором) $R_{ер}$.

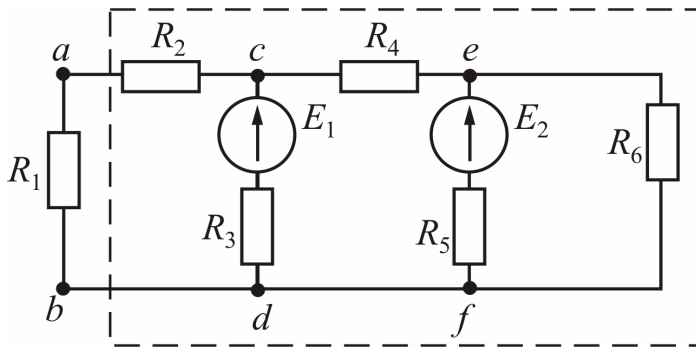


Рисунок 1.12

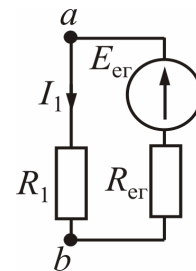


Рисунок 1.13

ЕРС $E_{ер}$ дорівнює напрузі холостого ходу U_{abxx} на розімкнутих затискачах $a-b$ кола (рис. 1.14), тобто $E_{ер} = U_{abxx}$. Еквівалентний опір $R_{ер}$ дорівнює вхідному опору частини кола за рис. 1.14 між затискачами $a-b$, коли коло стає пасивним (рис. 1.15), тобто усі ЕРС дорівнюють нулю, а у вітках замість реальних ЕРС зберігаються їх внутрішні опори.

Струм I_1 у заданому колі визначається за формулою

$$I_1 = \frac{E_{ер}}{R_1 + R_{ер}} = \frac{U_{abxx}}{R_1 + R_{ер}}. \quad (1)$$

Для кола, зображеного на рис. 1.14, визначаємо напругу U_{abxx} за другим законом Кірхгофа для контуру $a-c-d-b-a$ (контур III) при його обході проти руху годинникової стрілки $E_1 = I_{3xx} \cdot R_3 + U_{abxx}$, звідки

$$U_{abxx} = E_1 - I_{3xx} \cdot R_3. \quad (2)$$

Для визначення струму I_{3xx} користуємося методом контурних струмів.

Для двох незалежних контурів I і II при їх обході за годинниковою стрілкою запишемо рівняння за другим законом Кірхгофа в загальному вигляді

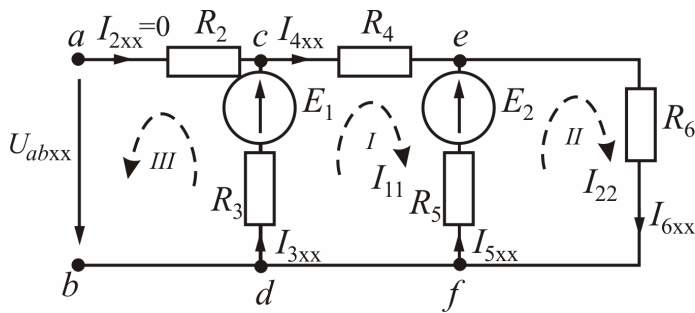


Рисунок 1.14

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} = E_{11}; \\ R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} = E_{22}, \end{cases} \quad (3)$$

де контурні ЕРС:

$$E_{11} = E_1 - E_2 = 120 - 60 = 60 \text{ В};$$

$$E_{22} = E_2 = 60 \text{ В},$$

повні (власні) опори контурів: $R_{11} = R_3 + R_4 + R_5 = 4 + 6 + 10 = 20 \text{ Ом};$

$$R_{22} = R_5 + R_6 = 10 + 15 = 25 \text{ Ом},$$

взаємні опори контурів: $R_{12} = R_{21} = -R_5 = -10 \text{ Ом}.$

Після підстановки чисельних значень система рівнянь (3) має вигляд:

$$\begin{cases} 20 \cdot I_{11} - 10 \cdot I_{22} = 60; \\ -10 \cdot I_{11} + 25 \cdot I_{22} = 60. \end{cases}$$

Загальний визначник системи $\Delta = \begin{vmatrix} 20 & -10 \\ -10 & 25 \end{vmatrix} = 20 \cdot 25 - (-10) \cdot (-10) = 400.$

Визначник системи, що потрібний для знаходження струму $I_{11} = I_{3xx}$:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 60 & -10 \\ 60 & 25 \end{vmatrix} = 60 \cdot 25 - 60 \cdot (-10) = 2100.$$

Тоді $I_{11} = I_{3xx} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{2100}{400} = 5,25 \text{ А}.$

Після підстановки чисельних значень у рівняння (2)

$$U_{abxx} = E_1 - I_{3xx} \cdot R_3 = 120 - 5,25 \cdot 4 = 99 \text{ В}.$$

Визначаємо еквівалентний опір R_{er} за

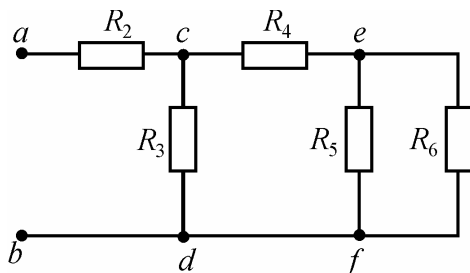


рис. 1.15

$$R_{56} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ом};$$

$$R_{456} = R_4 + R_{56} = 6 + 6 = 12 \text{ Ом};$$

$$R_{er} = R_2 + \frac{R_3 \cdot R_{456}}{R_3 + R_{456}} = 5 + \frac{4 \cdot 12}{4 + 12} = 8 \text{ Ом}.$$

Визначаємо струм $I_1 = \frac{U_{abxx}}{R_1 + R_{er}} = \frac{99}{10 + 8} = 5,5 \text{ А}.$

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ – РГР № 2

2.1. Формулювання задач

РГР № 2 складається з шістьох задач. Зміст завдання, тобто загальне число задач та їх конкретні номери, викладач може змінювати залежно від обсягу навчального курсу.

Кожному студенту задається варіант вхідних даних по трьом споживачам (Z_α , Z_β , Z_γ), що використовуються у всіх задачах (табл. 2.1).

Задача 1. Розрахунок електричного кола однофазного синусоїдного струму з одним джерелом електричної енергії при послідовному з'єднанні споживачів.

Провести розрахунок електричного кола за рис. 2.1 при послідовному з'єднанні споживачів Z_α , Z_β , Z_γ , параметри яких треба взяти з табл. 2.1. Напряга джерела енергії $U = 220$ В при частоті $f = 50$ Гц.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему електричного кола за рис. 2.1 з ідеальними елементами заміщення кожного споживача; б) визначити струм в колі, напруги на кожному споживачеві, активні та реактивні потужності джерела та споживачів; в) побудувати векторну діаграму струму і напруг джерела та всіх споживачів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу активних і реактивних потужностей; д) записати синусоїдні часові функції струму і напруги джерела енергії та побудувати графіки цих функцій.

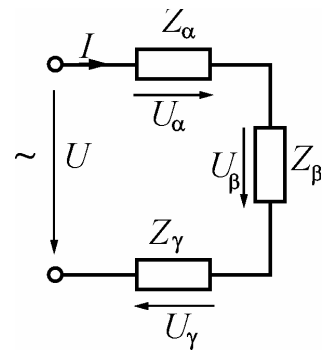


Рисунок 2.1

Задача 2. Розрахунок електричного кола однофазного синусоїдного струму з одним джерелом електричної енергії при паралельному з'єднанні споживачів.

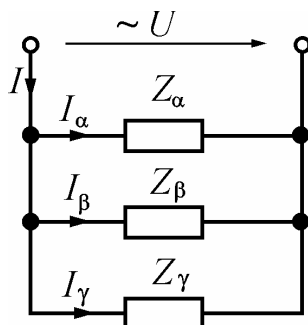


Рисунок 2.2

Провести розрахунок електричного кола за рис. 2.2 при паралельному з'єднанні споживачів Z_α , Z_β , Z_γ , параметри яких визначені в задачі 1. Напряга джерела $U = 127$ В при частоті $f = 50$ Гц.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему електричного кола за рис. 2.2 з ідеальними елементами заміщення кожного споживача; б) визначити струми в колі, активні та реактивні потужності джерела та споживачів; в) побудувати векторну діаграму напруги і струмів усіх споживачів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу активних і реактивних потужностей.

Задача 3. Розрахунок електричного кола однофазного синусоїдного струму з одним джерелом енергії за допомогою символічного метода.

Провести розрахунок електричного кола за рис. 2.3 при змішаному з'єднанні споживачів $Z_\alpha, Z_\beta, Z_\gamma$, параметри яких визначені в задачі 1. Напряга джерела енергії $U = 220$ В при частоті $f = 50$ Гц.

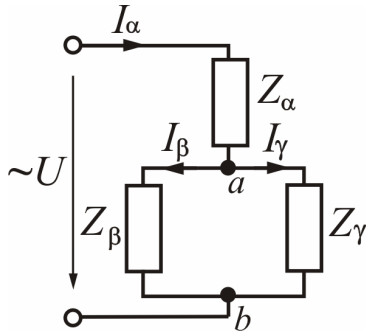


Рисунок 2.3

Обсяг розрахунку: а) зобразити електричну схему заміщення за рис. 2.3 з ідеальними елементами замість кожного споживача; б) визначити струми в колі, активні та реактивні потужності джерела енергії та споживачів; в) побудувати векторну діаграму напруг і струмів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу

активних і реактивних потужностей.

Задача 4. Розрахунок трифазного електричного кола при симетричному навантаженні і з'єднанні споживачів "зіркою".

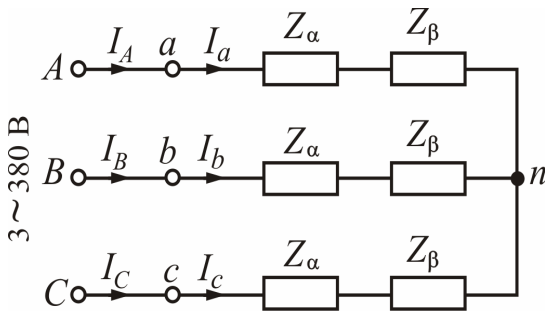


Рисунок 2.4

У трифазну мережу з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380$ В увімкнено симетричне навантаження при з'єднанні послідовно споживачів Z_α, Z_β в кожній фазі (рис. 2.4). Параметри споживачів Z_α і Z_β взяти з задачі 1.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему заміщення трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б) визначити

фазні і лінійні струми, а також споживані активну та реактивну потужності; в) побудувати векторну діаграму.

Задача 5. Розрахунок трифазного електричного кола при симетричному навантаженні і з'єднанні споживачів "трикутником".

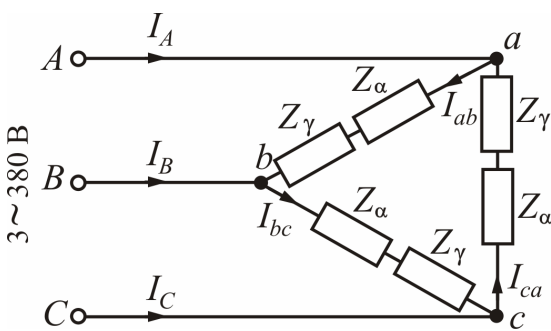


Рисунок 2.5

В трифазну мережу з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380$ В увімкнено симетричне навантаження при з'єднанні послідовно споживачів Z_α, Z_γ в кожній фазі (рис. 2.5). Параметри споживачів Z_α і Z_γ взяти з задачі 1.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему заміщення трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б)

визначити фазні і лінійні струми, а також споживані активну та реактивну потужності; в) побудувати векторну діаграму.

Задача 6. Розрахунок трифазного електричного кола при несиметричному навантаженні і з'єднанні споживачів «зіркою» з нейтральним проводом.

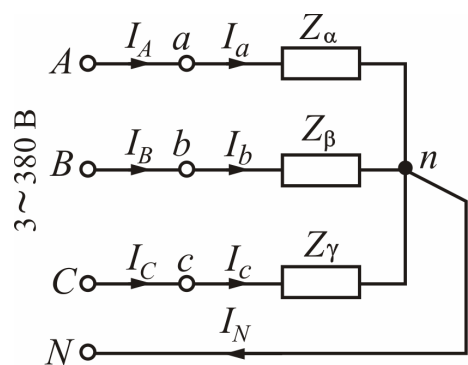


Рисунок 2.6

В трифазну мережу з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ при частоті $f = 50 \text{ Гц}$ увімкнуті пофазно споживачі Z_{α} , Z_{β} і Z_{γ} (рис. 2.6), що в силу їхньої неоднаковості призводить до несиметричного навантаження. Параметри споживачів Z_{α} , Z_{β} і Z_{γ} взяти з задачі 1.

Обсяг розрахунку: а) зобразити електричну схему трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б) визначити фазні і лінійні струми, а також струм у нейтральному проводі; в) визначити споживані активну та реактивну потужності; г) побудувати векторну діаграму.

2.2. Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахувати електричне коло з послідовним з'єднанням споживачів Z_{α} , Z_{β} і Z_{γ} , схему якого зображено на рис. 2.1. Діюче значення напруги $U = 200 \text{ В}$, її частота $f = 50 \text{ Гц}$. Параметри ідеальних елементів споживачів: $R_{\alpha} = 20 \text{ Ом}$; $L_{\alpha} = 47,77 \text{ мГн}$; $R_{\beta} = 23,3 \text{ Ом}$; $C_{\gamma} = 79,62 \text{ мкФ}$.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему електричного кола за рис. 2.1 з ідеальними елементами заміщення кожного споживача; б) визначити струм в колі, напруги на кожному споживачеві, активні та реактивні потужності джерела та споживачів; в) побудувати векторну діаграму струму і напруг джерела та всіх споживачів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу активних і реактивних потужностей; д) записати синусоїдні часові функції струму і напруги джерела енергії та побудувати графіки цих функцій.

Розв'язання. На рис. 2.7 зображено схему заміщення електричного кола за рис. 2.1 з ідеальними елементами споживачів Z_{α} , Z_{β} , Z_{γ} .

Кутова частота струму і напруг

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Індуктивний опір споживача Z_{α}

$$X_{L\alpha} = \omega \cdot L_{\alpha} = 314 \cdot 47,77 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ Ом}.$$

Ємнісний опір споживача Z_{γ}

$$X_{C\gamma} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\gamma}} = \frac{1}{314 \cdot 79,62 \cdot 10^{-6}} = 40 \text{ Ом}.$$

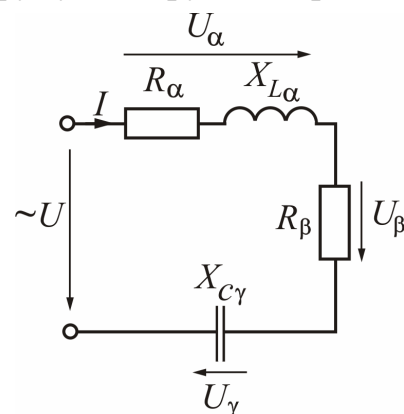


Рисунок 2.7

Таблиця 2.1 – Параметри споживачів змінного струму

| Ва- рі- ант | Z_{α} | | | Z_{β} | | | Z_{γ} | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | R_{α} , Ом | L_{α} , мГн | C_{α} , мкФ | R_{β} , Ом | L_{β} , мГн | C_{β} , мкФ | R_{γ} , Ом | L_{γ} , мГн | C_{γ} , мкФ |
| 1 | 12 | 50,96 | - | 12 | - | 199,04 | - | 76,43 | - |
| 2 | 7 | 76,43 | - | 5 | - | 265,39 | 20 | - | - |
| 3 | 20 | - | 212,31 | 10 | 95,54 | - | - | - | 127,39 |
| 4 | 25 | - | - | 12 | 50,96 | - | 10 | - | 90,99 |
| 5 | 8 | 19,11 | - | - | - | 176,93 | 10 | 63,69 | - |
| 6 | - | 79,62 | - | 20 | 47,77 | - | - | - | 127,4 |
| 7 | 12 | 50,96 | - | 12 | - | 79,62 | - | 152,87 | - |
| 8 | 5 | - | 265,39 | 15 | 63,69 | - | 25 | - | - |
| 9 | 16 | 38,22 | - | 7 | 76,43 | - | - | - | 63,69 |
| 10 | 12 | 50,96 | - | 12 | - | 199,04 | - | - | 133 |
| 11 | - | - | 144,76 | 24 | 101,91 | - | 12 | 15,92 | - |
| 12 | 7 | 76,43 | - | 12 | - | 636,94 | - | - | 83,81 |
| 13 | - | 63,69 | - | 24 | 22,29 | - | 16 | - | 265,39 |
| 14 | 10 | - | - | 12 | - | 199,04 | 7 | 76,43 | - |
| 15 | 12 | 50,96 | - | 8 | - | 530,79 | - | - | 106,16 |
| 16 | 24 | - | 176,93 | 6 | 25,48 | - | - | 101,91 | - |
| 17 | 20 | - | - | 15 | 63,69 | - | 5 | - | 265,39 |
| 18 | - | 63,69 | - | 10 | - | 318,47 | 10 | 31,85 | - |
| 19 | 18 | 76,43 | - | - | - | 79,62 | 12 | - | 199,04 |
| 20 | 17 | 25,48 | - | 5 | 38,22 | - | - | - | 199,52 |
| 21 | - | - | 96,51 | 30 | 41,4 | - | 15 | 63,69 | - |
| 22 | 15 | 25,48 | - | 5 | 38,22 | - | - | - | 159,24 |
| 23 | 27 | 114,65 | - | - | - | 63,69 | 13 | 44,59 | - |
| 24 | 9 | 41,4 | - | 13 | 28,66 | - | - | - | 106,16 |
| 25 | 7 | - | 132,7 | 7 | 76,43 | - | 25 | - | - |
| 26 | - | 105,1 | - | 20 | - | 212,31 | 24 | - | 454,96 |
| 27 | 12 | - | 199,04 | 12 | 50,96 | - | 20 | - | - |
| 28 | - | - | 90,99 | 20 | 47,77 | - | 20 | - | 212,31 |
| 29 | 16 | 38,22 | - | 12 | 50,96 | - | - | - | 199,04 |
| 30 | - | - | 79,62 | 20 | 63,69 | - | 20 | 63,69 | - |
| 31 | 20 | - | - | 7 | - | 132,7 | 5 | 38,22 | - |
| 32 | 12 | - | 199,04 | 12 | 50,96 | - | 22 | - | - |
| 33 | 15 | 63,69 | - | 20 | 47,77 | - | - | - | 144,76 |
| 34 | 30 | - | 79,62 | 30 | 127,39 | - | - | 159,24 | - |

Продовження таблиці 2.1

| Варіант | Z_{α} | | | Z_{β} | | | Z_{γ} | | |
|---------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | R_{α} , Ом | L_{α} , мГн | C_{α} , мкФ | R_{β} , Ом | L_{β} , мГн | C_{β} , мкФ | R_{γ} , Ом | L_{γ} , мГн | C_{γ} , мкФ |
| 35 | - | 79,62 | - | 10 | - | 212,31 | 15 | - | 318,47 |
| 36 | 6 | 25,48 | - | 16 | 38,22 | - | - | - | 72,38 |
| 37 | - | - | 95,51 | 15 | 41,4 | - | 15 | 63,69 | - |
| 38 | 24 | 57,32 | - | 15 | 31,85 | - | - | - | 113,74 |
| 39 | 18 | - | 132,7 | 10 | - | 212,31 | - | 124,2 | - |
| 40 | 11 | - | 167,17 | 11 | 60,67 | - | - | 121,34 | - |
| 41 | 24 | 57,32 | - | 24 | - | 176,93 | - | - | 114,65 |
| 42 | 18 | - | 132,7 | 18 | 76,43 | - | 14 | - | - |
| 43 | - | 127,39 | - | 30 | - | 79,62 | 15 | - | 159,24 |
| 44 | 5 | - | 265,39 | 15 | 63,69 | - | 10 | - | - |
| 45 | 12 | 50,96 | - | 8 | - | 530,78 | - | - | 106,16 |
| 46 | 6 | 25,48 | - | 16 | 38,22 | - | - | - | 159,24 |
| 47 | 7 | 76,43 | - | - | - | 66,35 | 12 | - | 636,94 |
| 48 | - | - | 106,16 | 20 | 47,77 | - | 10 | 143,31 | - |
| 49 | 8 | 19,11 | - | 12 | 50,96 | - | - | - | 144,76 |
| 50 | 14 | - | 66,35 | 14 | 152,87 | - | 50 | - | - |
| 51 | 20 | 95,54 | - | 10 | 31,85 | - | - | - | 159,24 |
| 52 | - | - | 127,39 | 20 | - | 212,31 | 20 | 127,39 | - |
| 53 | 24 | - | 99,52 | 24 | 101,92 | - | 40 | - | - |
| 54 | - | 105,1 | - | 30 | - | 244,98 | 20 | - | 159,24 |
| 55 | 30 | - | 212,31 | 10 | 47,77 | - | - | 79,62 | - |
| 56 | - | 63,69 | - | 20 | 63,69 | - | 20 | - | 212,31 |
| 57 | 16 | - | 132,7 | - | - | 132,7 | 24 | 76,43 | - |
| 58 | 18 | 82,8 | - | 26 | 57,32 | - | - | - | 53,08 |
| 59 | 20 | - | - | 18 | - | 132,7 | 18 | 76,43 | - |
| 60 | - | - | 117,96 | 10 | 117,83 | - | 12 | - | 318,47 |
| 61 | 40 | 95,54 | - | 7 | 76,43 | - | - | - | 318,47 |
| 62 | 20 | - | - | 12 | - | 199,04 | 12 | 50,96 | - |
| 63 | 25 | 111,46 | - | 20 | - | 212,31 | 22 | - | - |
| 64 | 22 | - | - | 5 | 38,22 | - | 5 | - | 265,39 |
| 65 | - | 159,42 | - | 40 | 95,54 | - | 14 | - | 66,35 |
| 66 | 18 | 76,43 | - | 18 | - | - | 9 | - | 79,62 |
| 67 | - | - | 159,24 | 30 | 111,46 | - | 20 | - | 212,31 |

Продовження таблиці 2.1

| Варіант | Z_{α} | | | Z_{β} | | | Z_{γ} | | |
|---------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | R_{α} , Ом | L_{α} , мГн | C_{α} , мкФ | R_{β} , Ом | L_{β} , мГн | C_{β} , мкФ | R_{γ} , Ом | L_{γ} , мГн | C_{γ} , мкФ |
| 68 | 18 | - | 132,7 | 18 | - | - | 9 | 127,39 | - |
| 69 | 20 | - | 212,31 | 30 | 111,46 | - | - | - | 159,24 |
| 70 | 40 | - | 106,16 | 7 | - | 132,7 | - | 31,85 | - |
| 71 | 20 | - | - | 12 | 50,96 | - | 12 | - | 199,04 |
| 72 | - | 127,39 | - | 20 | - | 159,24 | 20 | 63,69 | - |
| 73 | 15 | - | 66,35 | 15 | 146,5 | - | 50 | - | - |
| 74 | - | 114,65 | - | 20 | - | 212,31 | 20 | - | 88,46 |
| 75 | 20 | 63,69 | - | 25 | - | 159,24 | - | 114,65 | - |
| 76 | 8 | 19,11 | - | 8 | - | 530,79 | 20 | - | - |
| 77 | - | - | 127,39 | 25 | 15,92 | - | 25 | - | 636,94 |
| 78 | 40 | - | 79,62 | - | 127,39 | - | 20 | 63,69 | - |
| 79 | 17 | 31,85 | - | 12 | 15,92 | - | - | - | 127,39 |
| 80 | - | - | 117,95 | 27 | 104,14 | - | 15 | 63,69 | - |
| 81 | - | 159,24 | - | 24 | - | 132,7 | 20 | - | 79,62 |
| 82 | - | - | 95,64 | 20 | 58,28 | - | 20 | - | 174,03 |
| 83 | 10 | - | 183,87 | 10 | 55,16 | - | 30 | - | - |
| 84 | 12 | 38,6 | - | 18 | - | - | 30 | - | 79,62 |
| 85 | - | - | 83,81 | 19 | 60,51 | - | 11 | 63,69 | - |
| 86 | 12 | - | 199,04 | 25 | - | - | 12 | 50,96 | - |
| 87 | 25 | - | - | 12 | 50,96 | - | 9 | - | 79,62 |
| 88 | 22 | - | - | 22 | - | 83,59 | 22 | 121,34 | - |
| 89 | - | 89,17 | - | 28 | - | 113,74 | 12 | 50,96 | - |
| 90 | 35 | - | 90,99 | 30 | - | - | 10 | 31,85 | - |
| 91 | 12 | 50,96 | - | 20 | - | 212,31 | - | - | 144,76 |
| 92 | 18 | - | 132,7 | - | 63,69 | - | 20 | 47,77 | - |
| 93 | - | 70,06 | - | 24 | - | 454,96 | 25 | - | 127,39 |
| 94 | - | - | 144,76 | 27 | 88,46 | - | 15 | - | 398,09 |
| 95 | 16 | 28,66 | - | - | - | 144,76 | 12 | - | 636,94 |
| 96 | - | - | 127,39 | 20 | 47,77 | - | 15 | - | 159,24 |
| 97 | - | 79,62 | - | 15 | - | 159,24 | 7 | 76,43 | - |
| 98 | - | - | 144,76 | 18 | 76,43 | - | 12 | 50,96 | - |
| 99 | 20 | - | 212,31 | - | 70,06 | - | 18 | - | 132,76 |
| 100 | 15 | 63,69 | - | 22 | - | 83,59 | 25 | - | - |

Активний, реактивний та повний опори кола:

$$R = R_{\alpha} + R_{\beta} = 20 + 23,3 = 43,3 \text{ Ом}; \quad X = X_{L\alpha} - X_{C\gamma} = 15 - 40 = -25 \text{ Ом};$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{43,3^2 + (-25)^2} = 50 \text{ Ом}.$$

Струм у колі $I = \frac{U}{Z} = \frac{200}{50} = 4 \text{ А}.$

Кут зсуву фаз між векторами струму та напругою джерела

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{-25}{43,3} = -30^\circ.$$

Повні опори споживачів:

$$Z_{\alpha} = \sqrt{R_{\alpha}^2 + X_{L\alpha}^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25 \text{ Ом}; \quad Z_{\beta} = R_{\beta} = 23,3 \text{ Ом}; \quad Z_{\gamma} = X_{C\gamma} = 40 \text{ Ом}.$$

Напруги на споживачах:

$$U_{\alpha} = I Z_{\alpha} = 4 \cdot 25 = 100 \text{ В}; \quad U_{\beta} = I Z_{\beta} = 4 \cdot 23,3 = 93,2 \text{ В}; \quad U_{\gamma} = I Z_{\gamma} = 4 \cdot 40 = 160 \text{ В}.$$

Кути зсуву фаз між векторами струму I і напругами \underline{U}_{α} , \underline{U}_{β} , \underline{U}_{γ}

споживачів:

$$\varphi_{\alpha} = \arctg \frac{X_{L\alpha}}{R_{\alpha}} = \arctg \frac{15}{20} = 36,87^\circ;$$

$$\varphi_{\beta} = \arctg \frac{0}{R_{\beta}} = \arctg \frac{0}{23,3} = 0^\circ;$$

$$\varphi_{\gamma} = \arctg \frac{-X_{C\gamma}}{0} = \arctg \frac{-40}{0} = -90^\circ.$$

На рис. 2.8 побудовано векторну діаграму. Пояснимо порядок будування.

Для схеми за рис. 2.7 загальним є струм, для якого приймаємо початкову фазу $\psi_i = 0^\circ$. Вибираємо масштаб струму і проводимо вектор I по горизонтальній осі. Далі вибираємо масштаб напруг і проводимо вектор напруги джерела під кутом φ за рухом годинникової стрілки відносно вектора

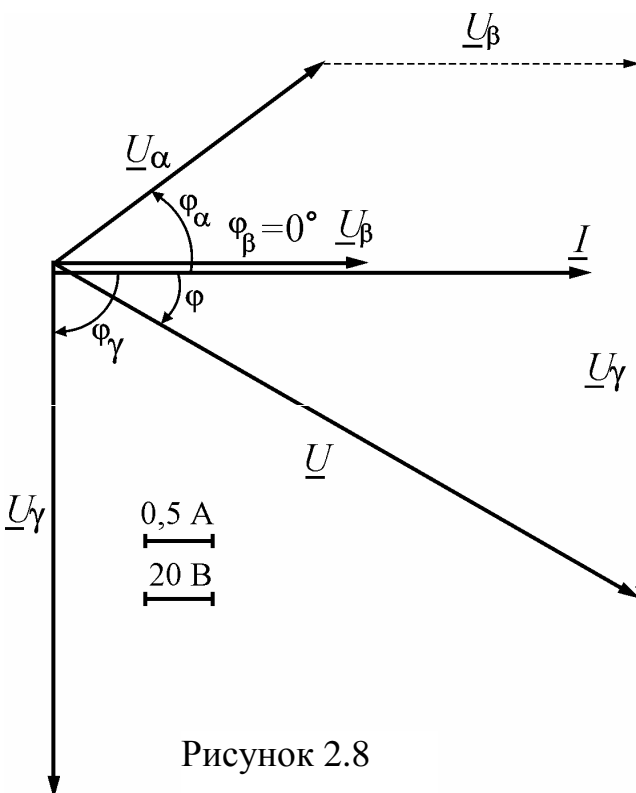


Рисунок 2.8

струму I , а також вектори напруг на споживачах \underline{U}_{α} , \underline{U}_{β} , \underline{U}_{γ} під відповідними кутами зсуву фаз φ_{α} , φ_{β} , φ_{γ} відносно вектора I .

Користуючись векторною діаграмою, зробимо перевірку рішення на основі другого закону Кірхгофа для кола за рис. 2.7. Векторна сума напруг споживачів дає вектор напруги джерела енергії, тобто $\underline{U} = \underline{U}_{\alpha} + \underline{U}_{\beta} + \underline{U}_{\gamma}$ (рис. 2.8), який за прийнятим масштабом повинен дорівнювати 200 В.

Повна, активна та реактивна потужності джерела енергії:

$$S = U \cdot I = 200 \cdot 4 = 800 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 200 \cdot 4 \cdot \cos(-30^\circ) = 692,8 \text{ Вт};$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 200 \cdot 4 \cdot \sin(-30^\circ) = -400 \text{ вар.}$$

Співвідношення цих потужностей зображено на рис. 2.9 за допомогою їх трикутника.

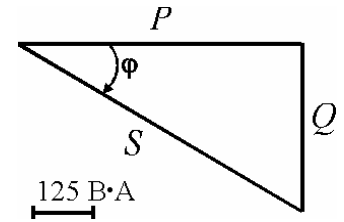


Рисунок 2.9

Відповідно до балансу активних потужностей

$$P = R_\alpha \cdot I^2 + R_\beta \cdot I^2 = 20 \cdot 4^2 + 23,3 \cdot 4^2 = 692,8 \text{ Вт},$$

що співпадає з активною потужністю джерела.

Відповідно до балансу реактивних потужностей

$$Q = X_{L\alpha} \cdot I^2 - X_{C\gamma} \cdot I^2 = 15 \cdot 4^2 - 40 \cdot 4^2 = -400 \text{ вар.},$$

що співпадає з реактивною потужністю джерела.

Амплітудні значення струму і напруги джерела енергії:

$$I_m = \sqrt{2} \cdot I = \sqrt{2} \cdot 4 = 5,66 \text{ А}; \quad U_m = \sqrt{2} \cdot U = \sqrt{2} \cdot 200 = 282 \text{ В.}$$

Синусоїдні часові функції струму і напруги джерела енергії:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i) = 5,66 \cdot \sin 314 t \text{ А};$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) = 282,8 \cdot \sin(314t - 30^\circ) \text{ В},$$

де початкова фаза струму вже обрана ($\psi_i = 0^\circ$), а початкову фазу ψ_u знаходимо, пам'ятаючи, що кут $\varphi = \psi_u - \psi_i$: $\psi_u = \varphi + \psi_i = -30^\circ + 0^\circ = -30^\circ$.

Графіки синусоїд струму і напруги зображаються при використанні не масштабу часу t , а кратного йому масштабу ωt , що більш зручно при побудові цих графіків. У табл. 2.2 наведені розрахунки струму і напруги для різних значень ωt , а на рис. 2.10 зображено графіки функцій $i(t)$ та $u(t)$.

Таблиця 2.2 – Значення струму і напруги джерела енергії залежно від часу

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|
| ωt , рад | 0 | $\frac{\pi}{6}$ | $\frac{\pi}{3}$ | $\frac{\pi}{2}$ | $\frac{2\pi}{3}$ | $\frac{5\pi}{6}$ | π | $\frac{7\pi}{6}$ | $\frac{4\pi}{3}$ | $\frac{3\pi}{2}$ | $\frac{5\pi}{3}$ | $\frac{11\pi}{6}$ | 2π |
| ωt , град | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| i , А | 0 | 2,83 | 4,9 | 5,66 | 4,9 | 2,83 | 0 | -2,83 | -4,9 | -5,66 | -4,9 | -2,83 | 0 |
| u , В | -141 | 0 | 141 | 245 | 283 | 245 | 141 | 0 | -141 | -245 | -283 | -245 | -141 |

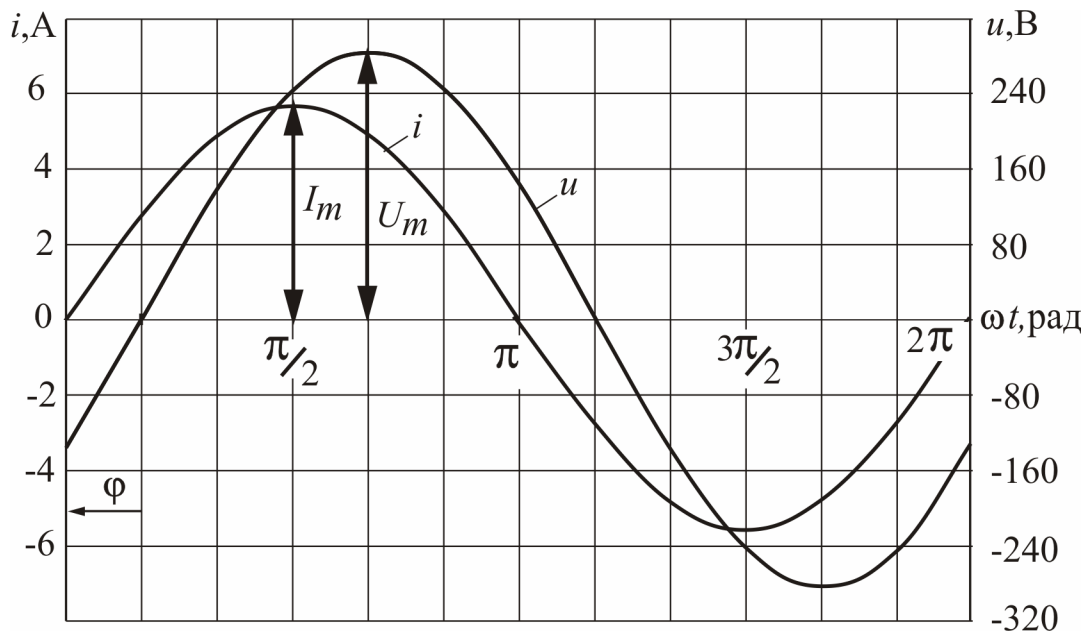


Рисунок 2.10

Приклад 2. Розрахувати електричне коло при паралельному з'єднанні споживачів Z_α , Z_β і Z_γ , схему якого зображено на рис. 2.2. Діюче значення напруги $U = 220$ В. Параметри ідеальних елементів споживачів: $R_\alpha = 24$ Ом; $X_{C\alpha} = 32$ Ом; $R_\beta = 20$ Ом; $X_{L\beta} = 20$ Ом; $X_{L\gamma} = 80$ Ом.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему електричного кола за рис. 2.2 з ідеальними елементами заміщення кожного споживача; б) визначити струми в колі, активні та реактивні потужності джерела та споживачів; в) побудувати векторну діаграму напруги і струмів усіх споживачів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу активних і реактивних потужностей.

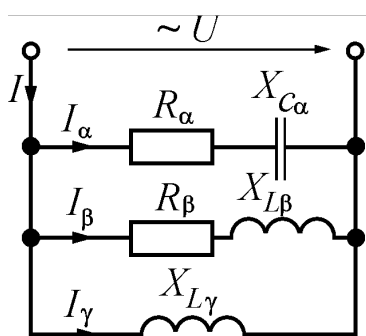


Рисунок 2.11

Розв'язання. На рис. 2.11 зображено схему заміщення кола за рис. 2.2 з ідеальними елементами замість Z_α , Z_β , Z_γ .

Повні опори паралельних віток:

$$Z_\alpha = \sqrt{R_\alpha^2 + (-X_{C\alpha})^2} = \sqrt{24^2 + (-32)^2} = 40 \text{ Ом};$$

$$Z_\beta = \sqrt{R_\beta^2 + X_{L\beta}^2} = \sqrt{20^2 + 20^2} = 28,28 \text{ Ом};$$

$$Z_\gamma = X_{L\gamma} = 80 \text{ Ом}.$$

Струми в паралельних вітках:

$$I_\alpha = \frac{U}{Z_\alpha} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ А}; \quad I_\beta = \frac{U}{Z_\beta} = \frac{220}{28,28} = 7,78 \text{ А}; \quad I_\gamma = \frac{U}{Z_\gamma} = \frac{220}{80} = 2,75 \text{ А}.$$

Кути зсуву фаз між векторами струмів I_α , I_β і I_γ та вектором напруги \underline{U} :

$$\varphi_{\alpha} = \arctg \frac{-X_{C\alpha}}{R_{\alpha}} = \arctg \frac{-32}{24} = -53,13^{\circ}; \quad \varphi_{\beta} = \arctg \frac{X_{L\beta}}{R_{\beta}} = \arctg \frac{20}{20} = 45^{\circ};$$

$$\varphi_{\gamma} = 90^{\circ} \text{ (індуктивний елемент).}$$

Для визначення струму джерела скористаємося векторною діаграмою (рис. 2.12), де вектори будуються в зазначених масштабах. Першим будемо вектор напруги \underline{U} . Його початкову фазу приймаємо довільно ($\psi_u = 0^{\circ}$). Вектори струмів \underline{I}_{α} , \underline{I}_{β} і \underline{I}_{γ} будемо користуватись початковими фазами. Тому що $\psi_u = 0^{\circ}$, початкові фази визначаємо за формулами:

$$\psi_{i_{\alpha}} = -\varphi_{\alpha} = 53,13^{\circ}; \quad \psi_{i_{\beta}} = -\varphi_{\beta} = -45^{\circ}; \quad \psi_{i_{\gamma}} = -\varphi_{\gamma} = -90^{\circ}.$$

За першим законом Кірхгофа (рис. 2.11) вектор струму джерела є векторна сума струмів паралельних віток, тобто $\underline{I} = \underline{I}_{\alpha} + \underline{I}_{\beta} + \underline{I}_{\gamma}$ (рис. 2.12). Геометричне складання цих векторів дає на основі вимірів значення струму джерела $I \approx 9,7 \text{ A}$ і кут зсуву фаз $\varphi \approx 24^{\circ}$.

Точніші результати можна одержати безпосереднє розрахунками, застосовуючи розкладання векторів струмів на активні й реактивні складові: перші – паралельні вектору \underline{U} , а другі – перпендикулярні до нього. Розклад векторів на складові подано на векторній діаграмі (рис. 2.12).

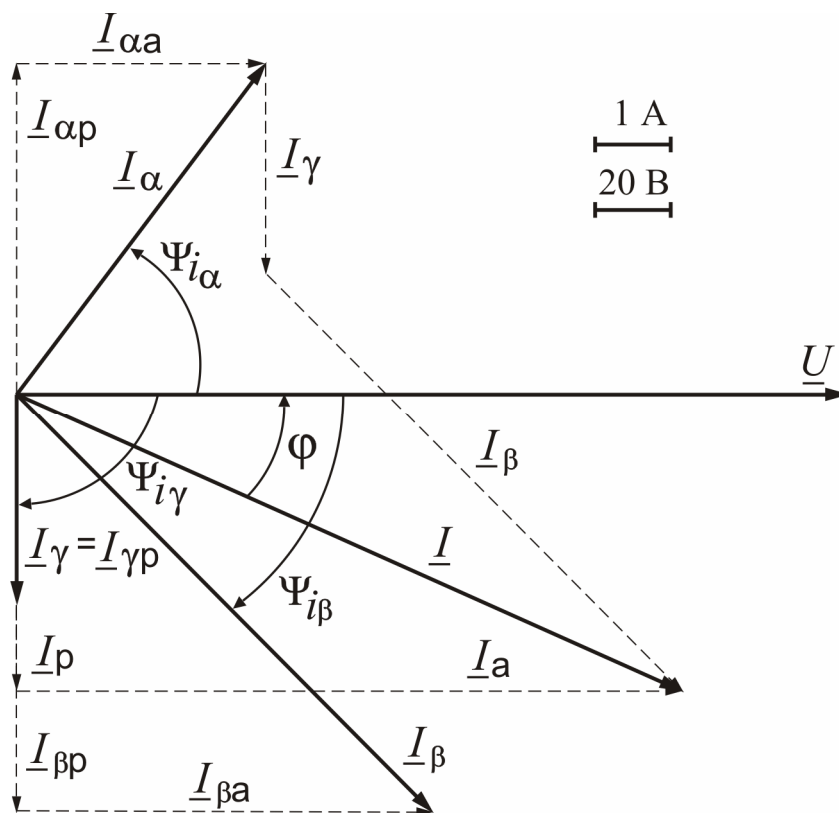


Рисунок 2.12

Активні та реактивні складові струмів споживачів:

$$I_{\alpha a} = I_{\alpha} \cos \psi_{i_{\alpha}} = 5,5 \cos 53,13^{\circ} = 3,3 \text{ A};$$

$$I_{\beta a} = I_{\beta} \cos \psi_{i_{\beta}} = 7,78 \cos(-45^{\circ}) = 5,5 \text{ A};$$

$$I_{\gamma a} = I_{\gamma} \cos \psi_{i_{\gamma}} = 2,75 \cos(-90^{\circ}) = 0 \text{ A};$$

$$I_{\alpha p} = I_{\alpha} \sin \psi_{i_{\alpha}} = 5,5 \sin 53,13^{\circ} = 4,4 \text{ A};$$

$$I_{\beta p} = I_{\beta} \sin \psi_{i_{\beta}} = 7,78 \sin(-45^{\circ}) = -5,5 \text{ A};$$

$$I_{\gamma p} = I_{\gamma} \sin \psi_{i_{\gamma}} = 2,75 \sin(-90^{\circ}) = -2,75 \text{ A}.$$

Активна та реактивна складові струму джерела та його діюче значення:

$$I_a = I_{\alpha a} + I_{\beta a} + I_{\gamma a} = 3,3 + 5,5 + 0 = 8,8 \text{ A};$$

$$I_p = I_{\alpha p} + I_{\beta p} + I_{\gamma p} = 4,4 - 5,5 - 2,75 = -3,85 \text{ A};$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{8,8^2 + (-3,85)^2} = 9,61 \text{ A}.$$

Кут фазового зсуву вектора струму I відносно вектора напруги U

$$\varphi = -\psi_i = -\arctg \frac{I_p}{I_a} = -\arctg \frac{-3,85}{8,8} = 23,63^{\circ}.$$

Повна, активна та реактивна потужності джерела:

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 9,61 = 2114,2 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P = S \cos \varphi = 2114,2 \cdot \cos 23,63^{\circ} = 1936,9 \text{ Вт};$$

$$Q = S \sin \varphi = 2114,2 \cdot \sin 23,63^{\circ} = 847,4 \text{ вар}.$$

Відповідно до балансу активних та реактивних потужностей:

$$P = R_{\alpha} \cdot I_{\alpha}^2 + R_{\beta} \cdot I_{\beta}^2 = 24 \cdot 5,5^2 + 20 \cdot 7,78^2 = 1936,6 \text{ Вт},$$

$$Q = -X_{C\alpha} \cdot I_{\alpha}^2 + X_{L\beta} \cdot I_{\beta}^2 + X_{L\gamma} \cdot I_{\gamma}^2 = -32 \cdot 5,5^2 + 20 \cdot 7,78^2 + 80 \cdot 2,75^2 = 847,6 \text{ вар}.$$

Приклад 3. Розрахувати електричне коло за рис. 2.3 при змішаному з'єднанні споживачів Z_{α}, Z_{β} і Z_{γ} символічним методом, тобто з використанням комплексних чисел. Напруга джерела енергії $U = 127 \text{ В}$, її частота $f = 50 \text{ Гц}$. Параметри ідеальних елементів споживачів: $R_{\alpha} = 8 \text{ Ом}$; $X_{L\alpha} = 15 \text{ Ом}$; $R_{\beta} = 16 \text{ Ом}$; $X_{C\beta} = 12 \text{ Ом}$; $X_{L\gamma} = 42 \text{ Ом}$.

Обсяг розрахунку: а) зобразити електричну схему заміщення за рис. 2.3 з ідеальними елементами замість кожного споживача; б) визначити струми в колі, активні та реактивні потужності джерела енергії та споживачів; в) побудувати векторну діаграму напруг і струмів; г) зробити перевірку розв'язання задачі за допомогою векторної діаграми та балансу активних і реактивних потужностей.

Розв'язання. Схему заміщення кола за рис. 2.3 з ідеальними елементами зображено на рис. 2.13. Струми і напруги, а також потужності будемо визначати символічним методом, тому ідеальні елементи, які з'єднані послідовно, об'єднуємо у повні комплексні опори. Від початкової схеми за рис. 2.13 переходимо до схеми з комплексними опорами віток (рис. 2.14, а), де струми і напруга також зображені у комплексній формі.

Значення комплексних опорів віток у алгебраїчній та показовій формах:

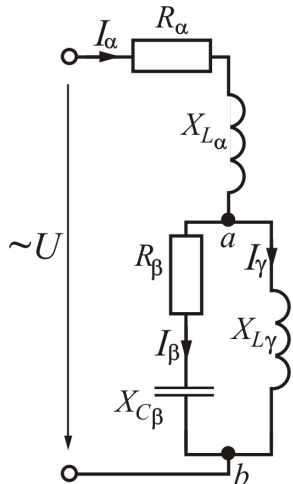


Рисунок 2.13

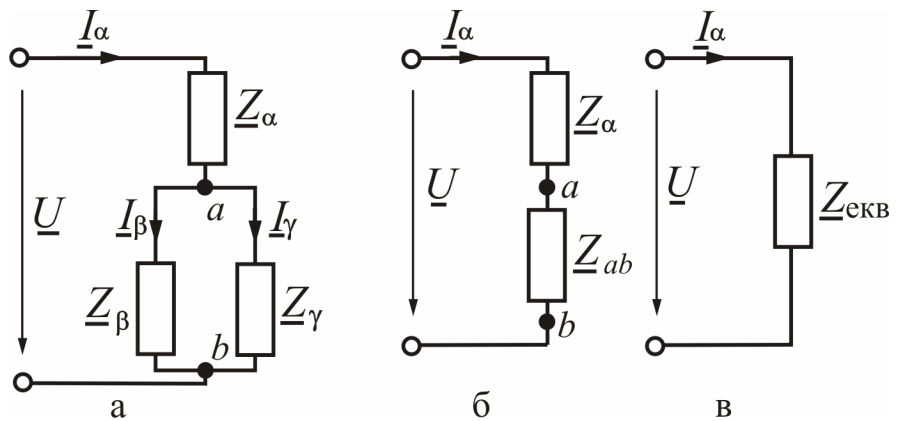


Рисунок 2.14

$$\underline{Z}_\alpha = R_\alpha + jX_{L\alpha} = 8 + j15 = \sqrt{8^2 + 15^2} \cdot e^{j \arctg \frac{15}{8}} = 17 \cdot e^{j61,93^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_\beta = R_\beta - jX_{C\beta} = 16 - j12 = \sqrt{16^2 + (-12)^2} \cdot e^{j \arctg \frac{-12}{16}} = 20 \cdot e^{-j36,87^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_\gamma = jX_{L\gamma} = j42 = 42 \cdot e^{j \arctg \frac{42}{0}} = 42 \cdot e^{j90^\circ} \text{ Ом}.$$

Ділянку кола з паралельним з'єднанням \underline{Z}_β і \underline{Z}_γ заміняємо еквівалентним комплексним опором

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{ab} &= \frac{\underline{Z}_\beta \cdot \underline{Z}_\gamma}{\underline{Z}_\beta + \underline{Z}_\gamma} = \frac{20 \cdot e^{-j36,87^\circ} \cdot 42 \cdot e^{j90^\circ}}{16 - j12 + j42} = \frac{840 \cdot e^{j53,13^\circ}}{16 + j30} = \frac{840 \cdot e^{j53,13^\circ}}{\sqrt{16^2 + 30^2} \cdot e^{j \arctg \frac{30}{16}}} = \\ &= \frac{840 \cdot e^{j53,13^\circ}}{34 \cdot e^{j61,93^\circ}} = 24,71 \cdot e^{-j8,8^\circ} = 24,71 [\cos(-8,8^\circ) + j \sin(-8,8^\circ)] = 24,42 - j3,78 \text{ Ом} \end{aligned}$$

і одержуємо більш просту схему за рис. 2.14, б.

Два послідовно з'єднаних опори \underline{Z}_α і \underline{Z}_{ab} за рис. 2.14, б заміняємо одним опором, який є еквівалентним опором усього кола (рис. 2.14, в).

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{\text{екв}} &= \underline{Z}_\alpha + \underline{Z}_{ab} = 8 + j15 + 24,42 - j3,78 = 32,42 + j11,22 = \\ &= \sqrt{32,42^2 + 11,22^2} \cdot e^{j \arctg \frac{11,22}{32,42}} = 34,3 \cdot e^{j19,09^\circ} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Комплексне значення напруги джерела $\underline{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = 127 \cdot e^{j0^\circ} = 127 \text{ В}$, якщо початкову фазу цієї напруги прийняти $\psi_u = 0^\circ$.

Струм джерела за законом Ома (рис. 2.14, в)

$$\underline{I}_\alpha = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{\text{екв}}} = \frac{127 \cdot e^{j0^\circ}}{34,3 \cdot e^{j19,09^\circ}} = 3,7 \cdot e^{-j19,09^\circ} = 3,5 - j1,21 \text{ А.}$$

Напруга на споживачеві \underline{Z}_α (рис. 2.14, б)

$$\underline{U}_\alpha = \underline{Z}_\alpha \cdot \underline{I}_\alpha = 17 \cdot e^{j61,93^\circ} \cdot 3,7 \cdot e^{-j19,09^\circ} = 62,9 \cdot e^{j42,84^\circ} = 46,1 + j42,8 \text{ В.}$$

Напруга на затискачах $a-b$ (рис. 2.14, б) і, відповідно, на споживачах \underline{Z}_β і \underline{Z}_γ (рис. 2.14, а)

$$\underline{U}_{ab} = \underline{Z}_{ab} \cdot \underline{I}_\alpha = 24,71 \cdot e^{-j8,8^\circ} \cdot 3,7 \cdot e^{-j19,09^\circ} = 91,4 \cdot e^{-j27,89^\circ} = 80,8 - j42,8 \text{ В.}$$

Струми у паралельних вітках (рис. 2.14, а):

$$\underline{I}_\beta = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_\beta} = \frac{91,4 \cdot e^{-j27,89^\circ}}{20 \cdot e^{-j36,87^\circ}} = 4,57 \cdot e^{j8,98^\circ} = 4,51 + j0,71 \text{ А;}$$

$$\underline{I}_\gamma = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_\gamma} = \frac{91,4 \cdot e^{-j27,89^\circ}}{42 \cdot e^{j90^\circ}} = 2,18 \cdot e^{-j117,89^\circ} = -1,02 - j1,93 \text{ А.}$$

Перевірка струмів за першим законом Кірхгофа (рис. 2.14, а): $\underline{I}_\beta + \underline{I}_\gamma = \underline{I}_\alpha$; $4,51 + j0,71 - 1,02 - j1,93 = 3,49 - j1,22 \text{ А}$ (знайдене раніше $\underline{I}_\alpha = 3,5 - j1,21 \text{ А}$).

Перевірка напруг за другим законом Кірхгофа (рис. 2.14, а): $\underline{U}_\alpha + \underline{U}_{ab} = \underline{U}$; $46,1 + j42,8 + 80,8 - j42,8 = 126,9 \text{ В}$ (прийняте $U = 127 \text{ В}$).

Невелика різниця в значеннях обумовлена округленням при розрахунках.

Співвідношення напруг $\underline{U} = \underline{U}_\alpha + \underline{U}_{ab}$ і струмів $\underline{I}_\alpha = \underline{I}_\beta + \underline{I}_\gamma$ зображено на рис. 2.15 за допомогою векторної діаграми в зазначених масштабах. Будова діаграми виконується за діючими значеннями струмів і напруг та їх початковими фазами. Діюче значення напруги і струму визначається як модуль, а початкова фаза є аргумент у показовій формі кожного комплексного числа, яке визначає струм або напругу.

Діючі значення струмів і напруг та їхні початкові фази: $I_\alpha = 3,7 \text{ А}$; $\psi_{i_\alpha} = -19,09^\circ$; $I_\beta = 4,57 \text{ А}$; $\psi_{i_\beta} = 8,98^\circ$; $I_\gamma = 2,18 \text{ А}$; $\psi_{i_\gamma} = -117,89^\circ$; $U_\alpha = 62,9 \text{ В}$; $\psi_{u_\alpha} = 42,84^\circ$; $U_{ab} = 91,4 \text{ В}$; $\psi_{U_{ab}} = -27,89^\circ$; $U = 127 \text{ В}$; $\psi_u = 0^\circ$.

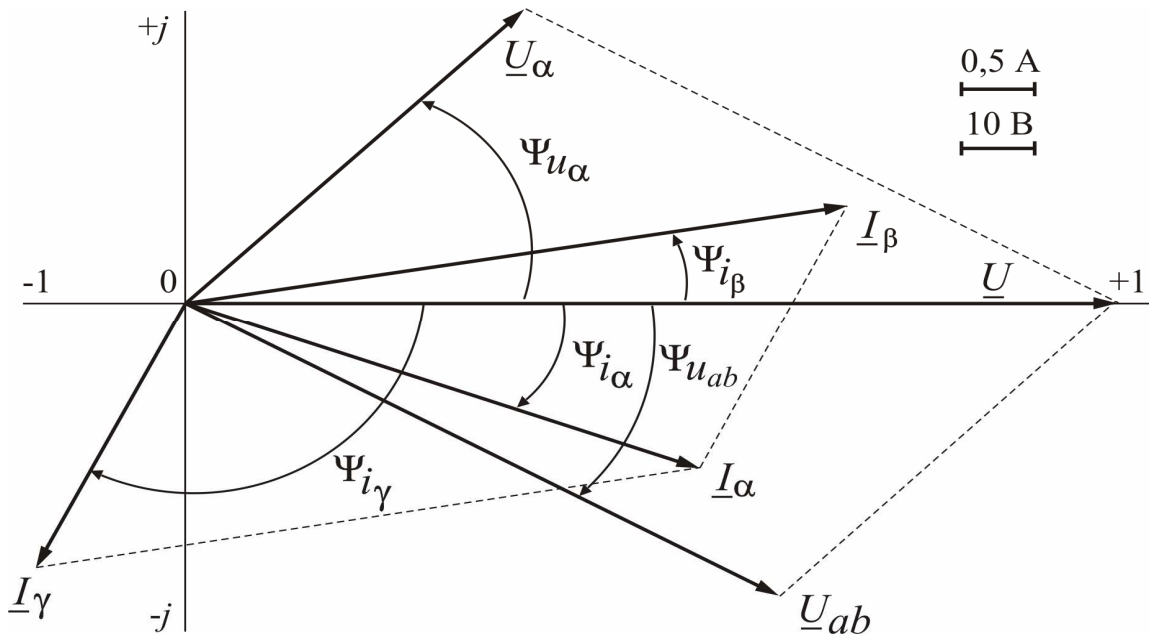


Рисунок 2.15

Векторна діаграма може також бути побудована за дійсними та уявними частинами комплексних діючих значень струмів та напруг:

$$\underline{I}_\alpha = 3,5 - j1,21 \text{ A}; \underline{I}_\beta = 4,51 + j0,71 \text{ A}; \underline{I}_\gamma = -1,02 - j1,93 \text{ A};$$

$$\underline{U}_\alpha = 46,1 + j42,8 \text{ B}; \underline{U}_{ab} = 80,8 - j42,8 \text{ B}; \underline{U} = 127 \text{ B},$$

де дійсні значення величин:

$$I'_\alpha = 3,5 \text{ A}; I'_\beta = 4,51 \text{ A}; I'_\gamma = -1,02 \text{ A}; U'_\alpha = 46,1 \text{ B}; U'_{ab} = 80,8 \text{ B}; U' = 127 \text{ B},$$

уявні значення величин:

$$I''_\alpha = -1,21 \text{ A}; I''_\beta = 0,71 \text{ A}; I''_\gamma = -1,93 \text{ A}; U''_\alpha = 42,8 \text{ B}; U''_{ab} = -42,8 \text{ B}; U'' = 0 \text{ B}.$$

Комплексна потужність джерела енергії $\underline{S}_{\text{дж}} = \underline{U} \cdot \underline{I}_\alpha^* = P_{\text{дж}} + jQ_{\text{дж}}$ визначається як добуток комплексів напруги і спряженого струму джерела енергії, які визначаються у показовій (або в алгебраїчній) формі.

Спряжений комплекс струму $\underline{I}_\alpha^* = \underline{I}_\alpha \cdot e^{-j\psi_{i_\alpha}}$ визначається з вихідного $\underline{I}_\alpha = \underline{I}_\alpha \cdot e^{j\psi_{i_\alpha}}$ зміною знака у показнику (або перед уявній частиною, якщо використовується алгебраїчна форма комплексного числа).

Підставимо комплекси напруги і спряженого комплексу струму джерела і проведемо перетворення:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{дж}} &= \underline{U} \cdot \underline{I}_\alpha^* = 127 \cdot 3,7 \cdot e^{j19,09^\circ} = 469,9 \cdot e^{j19,09^\circ} = \\ &= 469,9 \cdot (\cos 19,09^\circ + j \sin 19,09^\circ) = 444,1 + j153,7 \text{ B} \cdot \text{A}, \end{aligned}$$

де повна потужність $S_{\text{дж}} = 469,9 \text{ B} \cdot \text{A}$ є модуль у показовій формі комплексної потужності, а потужності: активна $P_{\text{дж}} = 444,1 \text{ Вт}$ і реактивна $Q_{\text{дж}} = 153,7 \text{ вар}$ — дійсна і уявна частини з алгебраїчної форми комплексного числа.

Аналогічно визначаються потужності споживачів:

$$\underline{S}_\alpha = \underline{U}_\alpha \cdot \underline{I}_\alpha^* = 62,9 \cdot e^{j42,84^\circ} \cdot 3,7 \cdot e^{j19,09^\circ} = 232,7 \cdot e^{j61,93^\circ} = 109,5 + j205,3 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$\underline{S}_\beta = \underline{U}_{ab} \cdot \underline{I}_\beta^* = 91,4 \cdot e^{-j27,89^\circ} \cdot 4,57 \cdot e^{-j8,98^\circ} = 417,7 \cdot e^{-j36,87^\circ} = 334,2 - j250,6 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$\underline{S}_\gamma = \underline{U}_{ab} \cdot \underline{I}_\gamma^* = 91,4 \cdot e^{-j27,89^\circ} \cdot 2,18 \cdot e^{j117,89^\circ} = 199,3 \cdot e^{j90^\circ} = j199,3 \text{ В} \cdot \text{А},$$

де $\underline{I}_\alpha^*, \underline{I}_\beta^*, \underline{I}_\gamma^*$ – спряжені струми споживачів;

активні потужності споживачів: $P_\alpha = 109,5$ Вт; $P_\beta = 334,2$ Вт; $P_\gamma = 0$,

реактивні потужності споживачів: $Q_\alpha = 205,3$ вар; $Q_\beta = -250,6$ вар;

$Q_\gamma = 199,3$ вар.

Рівняння балансу активних потужностей

$$P_{\text{дж}} = P_\alpha + P_\beta + P_\gamma; \quad 444,1 \text{ Вт} \approx 109,5 + 334,2 + 0 = 443,7 \text{ Вт}.$$

Рівняння балансу реактивних потужностей

$$Q_{\text{дж}} = Q_\alpha + Q_\beta + Q_\gamma; \quad 153,7 \text{ вар} \approx 205,3 - 250,6 + 199,3 = 154 \text{ вар}.$$

Приклад 4. В трифазну мережу з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380$ В увімкнено симетричне навантаження, яке з'єднується “зіркою”. Навантаження складається з двох послідовно з'єднаних споживачів Z_α, Z_β у кожній фазі з параметрами $R_\alpha = 16$ Ом; $X_{L\alpha} = 30$ Ом; $R_\beta = 22,1$ Ом; $X_{C\beta} = 8$ Ом.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему заміщення трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б) визначити фазні і лінійні струми, а також споживані активну та реактивну потужності; в) побудувати векторну діаграму.

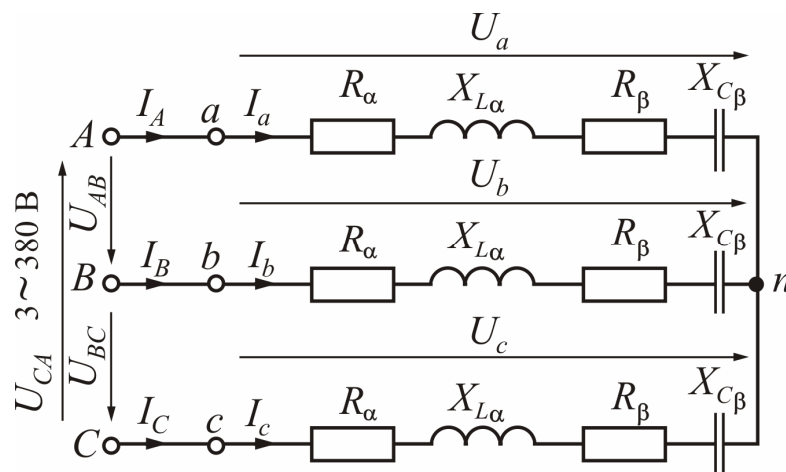


Рисунок 2.16

Розв'язання. На рис. 2.16 зображена схема заміщення трифазного кола при з'єднанні навантаження “зіркою”.

$$\text{Фазні напруги у мережі } U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

При симетричному навантаженні фазні напруги на споживачах дорівнюють фазним напругам мережі U_{ϕ} , тобто $U_a = U_b = U_c = U_{\phi} = 220 \text{ В}$.

Повний опір кожної фази

$$Z_{\phi} = \sqrt{(R_{\alpha} + R_{\beta})^2 + (X_{L\alpha} - X_{C\beta})^2} = \sqrt{(16 + 22,1)^2 + (30 - 8)^2} = 44 \text{ Ом.}$$

Фазовий зсув між фазними напругою і струмом у кожній фазі

$$\varphi = \arctg \frac{X_{L\alpha} - X_{C\beta}}{R_{\alpha} + R_{\beta}} = \arctg \frac{30 - 8}{16 + 22,1} = 30^{\circ}.$$

Фазні та лінійні струми:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{220}{44} = 5 \text{ А; } I_a = I_b = I_c = I_{\phi} = 5 \text{ А; } I_A = I_B = I_C = I_{\text{л}} = I_{\phi} = 5 \text{ А.}$$

Активна та реактивна потужності усього кола:

$$P_Y = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi}\cos\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 5 \cdot \cos 30^{\circ} = 2858 \text{ Вт;}$$

$$Q_Y = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi}\sin\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 5 \cdot \sin 30^{\circ} = 1650 \text{ вар.}$$

Векторна діаграма зображена на рис. 2.17. Вона будується таким чином. Вибираємо масштаби струмів та напруг і початкову фазу $\Psi_{U_A} = 0^{\circ}$ вектора напруги \underline{U}_A та по горизонтальній осі проводимо цей вектор. Вектори фазних напруг споживачів $\underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c$ при симетричному навантаженні дорівнюють векторам напруг мережі $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ і створюють трифазну симетричну систему, тобто мають однакові діючі значення і зсунуті за фазою одна відносно одної на кут 120° . Вектор напруги \underline{U}_B відстає від вектора \underline{U}_A на кут 120° , тому він повертається на цей кут за рухом годинникової стрілки, а вектор напруги \underline{U}_C випереджає вектор \underline{U}_A на кут 120° , тому він повертається на цей кут проти руху годинникової стрілки.

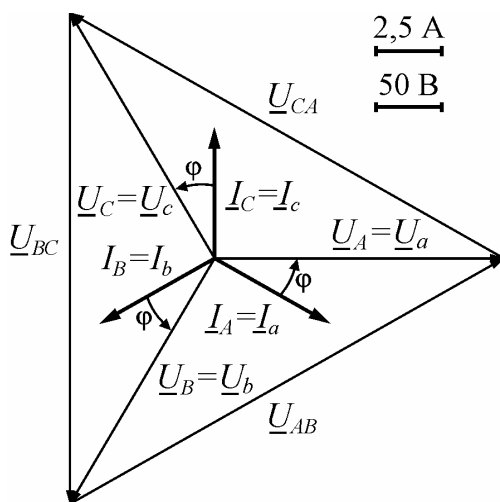


Рисунок 2.17

Вектори лінійних напруг $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ будемо з використанням другого закону Кірхгофа за формулами:

$$U_{AB} = U_A - U_B; \quad U_{BC} = U_B - U_C; \quad U_{CA} = U_C - U_A,$$

тобто з'єднаємо кінці векторів напруг U_A, U_B, U_C між собою і одержимо вектори лінійних напруг, як це зображено на рис. 2.17.

Кожний фазний струм відстає від своєї фазної напруги на кут $\varphi=30^\circ$, тому він повертається за рухом годинникової стрілки на цей кут відносно своєї фазної напруги.

Приклад 5. В трифазну мережу з лінійною напругою $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ увімкнено симетричне навантаження, яке з'єднується “трикутником”. Навантаження складається з двох послідовно з'єднаних споживачів Z_α, Z_γ у кожній фазі з параметрами $R_\alpha = 20 \text{ Ом}; R_\gamma = 10 \text{ Ом}; X_{C\gamma} = 30 \text{ Ом}$.

Обсяг розрахунку: а) зобразити схему заміщення трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б) визначити фазні і лінійні струми, а також споживані активну та реактивну потужності; в) побудувати векторну діаграму.

Розв'язання. На рис. 2.18 зображена схема заміщення трифазного кола при з'єднанні споживачів “трикутником”.

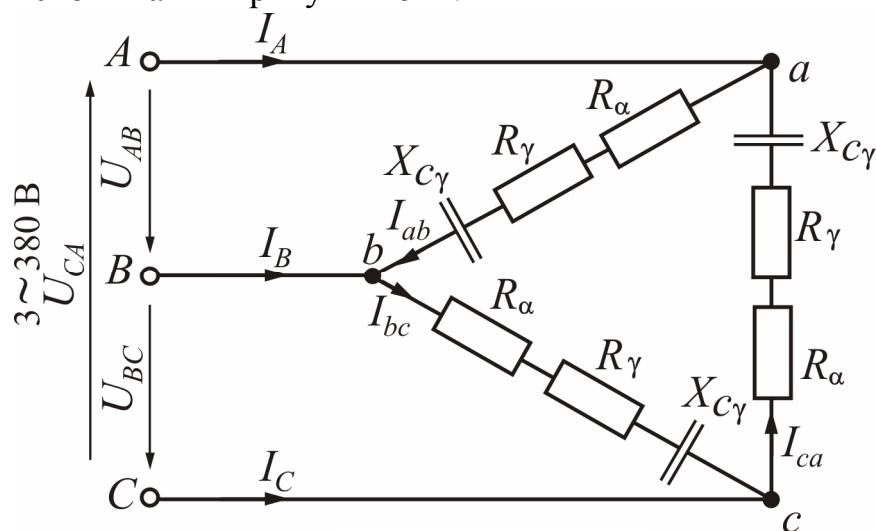


Рисунок 2.18

Повній опір кожної фази

$$Z_\phi = \sqrt{(R_\alpha + R_\gamma)^2 + (-X_{C\gamma})^2} = \sqrt{(20 + 10)^2 + (-30)^2} = 42,43 \text{ Ом.}$$

Фазовий зсув між фазними напругою і струмом у кожній фазі

$$\varphi = \arctg \frac{-X_{C\gamma}}{R_\alpha + R_\gamma} = \arctg \frac{-30}{20 + 10} = -45^\circ.$$

При з'єднанні споживачів у “трикутник” фазні напруги U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} співпадають з відповідними лінійними напругами мережі U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} ,

тому фазні напруги споживачів $U_\phi = U_\Delta = 380$ В.

$$\text{Фазні струми: } I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} = \frac{380}{42,43} = 8,96 \text{ А; } I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_\phi = 8,96 \text{ А.}$$

$$\text{Лінійні струми: } I_A = I_B = I_C = I_\Delta = \sqrt{3}I_\phi = \sqrt{3} \cdot 8,96 = 15,52 \text{ А.}$$

Активна та реактивна потужності усього кола:

$$P_\Delta = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos\varphi = 3 \cdot 380 \cdot 8,96 \cdot \cos(-45)^\circ = 7222 \text{ Вт;}$$

$$Q_\Delta = 3Q_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin\varphi = 3 \cdot 380 \cdot 8,96 \cdot \sin(-45)^\circ = -7222 \text{ вар.}$$

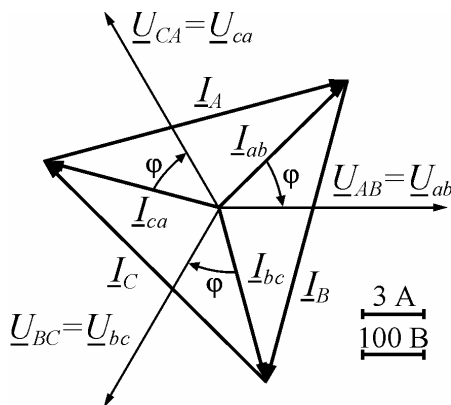


Рисунок 2.19

Векторна діаграма зображена на рис. 2.19. Діаграма будується таким чином. Визначаємо масштаби струмів та напруг і вибираємо початкову фазу $\Psi_{U_{AB}} = 0^\circ$ вектора напруги U_{AB} та по горизонтальній осі проводимо цей вектор. Вектори лінійних напруг мережі U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (які також є фазними напругами на споживачах U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) створюють трифазну симетричну систему, тобто вони мають однакові діючі значення і зсунуті за фазою одна відносно одної на кут 120° . Вектор напруги U_{BC} відстає

від вектора U_{AB} на кут 120° , тому він повертається на цей кут за рухом годинникової стрілки, а вектор напруги U_{CA} випереджає вектор U_{AB} на кут 120° , тому він повертається на цей кут проти руху годинникової стрілки.

Кожний вектор фазного струму I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} випереджає свій фазний вектор напруги на кут $\varphi = -45^\circ$, тому він повертається проти руху годинникової стрілки на цей кут відносно фазної напруги.

Вектори лінійних струмів I_A , I_B , I_C будують з використанням першого закону Кірхгофа за формулами:

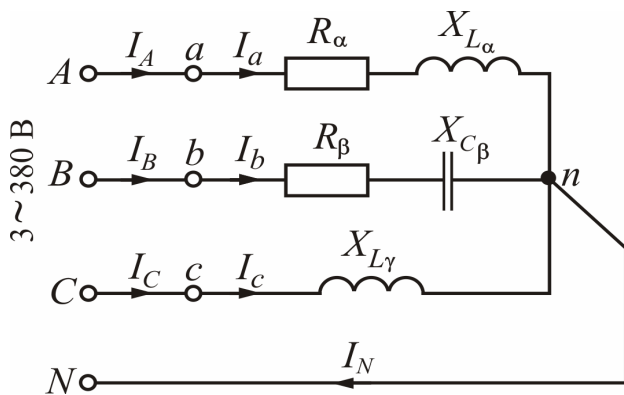
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc},$$

тобто з'єднаємо кінці векторів струмів I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} між собою і одержимо вектори лінійних струмів, як це зображено на рис. 2.19.

Приклад 6. В трифазну мережу з лінійною напругою $U_\Delta = 380$ В увімкнено несиметричне навантаження споживачів Z_α , Z_β і Z_γ зіркою з нейтраллю (по одному споживачу в кожен фазу). Параметри споживачів: $R_\alpha = 12$ Ом, $X_{L\alpha} = 16$ Ом, $R_\beta = 32$ Ом, $X_{C\beta} = 24$ Ом, $X_{L\gamma} = 20$ Ом.

Обсяг розрахунку: а) зобразити електричну схему трифазного кола з ідеальними елементами замість споживачів; б) визначити фазні і лінійні струми, а також струм у нейтральному проводі; в) визначити споживані активну та реактивну потужності; г) побудувати векторну діаграму.

Розв'язання. На рис. 2.20 зображена електрична схема трифазного кола.



Фазні напруги мережі

$$U_A = U_B = U_C = U_\phi = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

За наявності нейтрального проводу фазні напруги мережі дорівнюють фазним напругам на споживачах:

$$U_A = U_a; U_B = U_b; U_C = U_c.$$

$$U_a = U_b = U_c = U_\phi = 220 \text{ В.}$$

Рисунок 2.20

Повні опори й кути зсуву фаз навантаження:

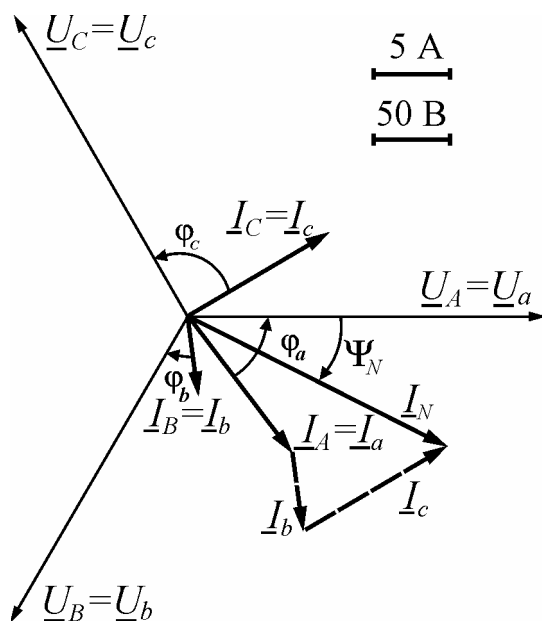
$$Z_\alpha = \sqrt{R_\alpha^2 + X_{L\alpha}^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ Ом}, Z_\beta = \sqrt{R_\beta^2 + (-X_{C\beta})^2} = \sqrt{32^2 + (-24)^2} = 40 \text{ Ом},$$

$$Z_\gamma = X_{L\gamma} = 20 \text{ Ом}, \varphi_\alpha = \arctg \frac{X_{L\alpha}}{R_\alpha} = \arctg \frac{16}{12} = 53,13^\circ;$$

$$\varphi_\beta = \arctg \frac{-X_{C\beta}}{R_\beta} = \arctg \frac{-24}{32} = -36,87^\circ; \varphi_\gamma = 90^\circ.$$

Діючі значення фазних струмів, які дорівнюють лінійним,

$$I_a = I_A = \frac{U_a}{Z_\alpha} = \frac{220}{20} = 11 \text{ А}, I_b = I_B = \frac{U_b}{Z_\beta} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ А}, I_c = I_C = \frac{U_c}{Z_\gamma} = \frac{220}{20} = 11 \text{ А.}$$



Побудуємо векторну діаграму (рис. 2.21). Приймаємо початкову фазу напруги для фази A $\psi_{U_A} = 0^\circ$ і будуємо векторну діаграму напруг і струмів, як у прикладі 4. Визначаємо діюче значення струму в нейтральному проводі ($I_N = I_a + I_b + I_c$) прямим вимірюванням довжини вектора I_N і множенням її на масштаб струму ($I_N = 19 \text{ А}$). Початкова фаза струму нейтрального проводу, яка визначена за допомогою транспортира, дорівнює $\psi_{i_N} = -27,5^\circ$.

Рисунок 2.21

Можна перевірити здобуті результати, звернувшись до символічного методу.

Фазні синусоїдні напруги утворюють трифазну симетричну систему:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_a = 220 \text{ В}; \quad \underline{U}_B = \underline{U}_b = 220 e^{-j120^\circ} \text{ В}; \quad \underline{U}_C = \underline{U}_c = 220 e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Комплексні повні опори фаз споживачів:

$$\underline{Z}_\alpha = Z_\alpha e^{j\varphi_\alpha} = 20 e^{j53,13^\circ} \text{ В}, \quad \underline{Z}_\beta = Z_\beta e^{j\varphi_\beta} = 40 e^{-j36,87^\circ} \text{ В},$$

$$\underline{Z}_\gamma = Z_\gamma e^{j\varphi_\gamma} = 20 e^{j90^\circ} \text{ В}.$$

Лінійні і фазні струми:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_\alpha} = \frac{220 e^{j0^\circ}}{20 e^{j53,13^\circ}} = 11 e^{-j53,13^\circ} = 6,6 - j8,8 \text{ А};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_\beta} = \frac{220 e^{-j120^\circ}}{40 e^{-j36,87^\circ}} = 5,5 e^{-j83,13^\circ} = 0,66 - j5,46 \text{ А};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_\gamma} = \frac{220 e^{j120^\circ}}{20 e^{j90^\circ}} = 11 e^{j30^\circ} = 9,53 + j5,5 \text{ А},$$

де діючі значення фазних струмів, які дорівнюють лінійним,

$$I_a = I_A = 11 \text{ А}; \quad I_b = I_B = 5,5 \text{ А}; \quad I_c = I_C = 11 \text{ А};$$

початкові фази струмів:

$$\psi_{i_a} = -53,13^\circ; \quad \psi_{i_b} = -83,13^\circ; \quad \psi_{i_c} = 30^\circ.$$

Струм в нейтральному проводі

$$\begin{aligned} \underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c &= 6,6 - j8,8 + 0,66 - j5,46 + 9,53 + j5,5 = 16,79 - j8,76 = \\ &= 18,94 e^{-j27,55^\circ} \text{ А}, \end{aligned}$$

де діюче значення струму в нейтральному проводу $I_N = 18,94 \text{ А}$, а його початкова фаза $\psi_{i_N} = -27,55^\circ$.

Як видно, розрахункові значення струму та його початкової фази практично збігаються зі значеннями, здобутими із векторної діаграми.

Активна та реактивна потужності усього кола:

$$\begin{aligned} P &= P_\alpha + P_\beta + P_\gamma = U_a \cdot I_a \cdot \cos \varphi_\alpha + U_b \cdot I_b \cdot \cos \varphi_\beta + U_c \cdot I_c \cdot \cos \varphi_\gamma = \\ &= 220 \cdot 11 \cdot \cos 53,13^\circ + 220 \cdot 5,5 \cdot \cos(-36,87^\circ) + 220 \cdot 11 \cdot \cos 90^\circ = 2420 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= Q_\alpha + Q_\beta + Q_\gamma = U_a \cdot I_a \cdot \sin \varphi_\alpha + U_b \cdot I_b \cdot \sin \varphi_\beta + U_c \cdot I_c \cdot \sin \varphi_\gamma = \\ &= 220 \cdot 11 \cdot \sin 53,13^\circ + 220 \cdot 5,5 \cdot \sin(-36,87^\circ) + 220 \cdot 11 \cdot \sin 90^\circ = 3630 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Данько В.Г., Милых В.И., Черкасов А.К. Расчет электрических цепей: Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1992. – 124 с.
2. Расчет линейных электрических цепей / Данько В.Г., Карпенко Ф.Т., Милых В.И., Черкасов А.К. – Харьков: ХПИ, 1992. – 88 с.
3. Електротехніка: Навчальний посібник / В.Г.Данько, В.І.Мілих, А.К.Черкасов, В.Ф.Болух. – К.:НМК ВО, 1990. – 264 с.
4. Электротехника: Программир. учеб. пособие для неэлектротехнич. спец.вузов / Герасимов В.Г., Зайдель Х.Э., Коген-Далин В.В. и др. Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш.шк., 1983. – 480 с.
5. Трегуб А.П. Электротехника / Под ред. Е.В. Кузнецова. – К.: Вища шк., 1987. – 600 с.
6. Касаткин А.С., Немцов В.М. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 440 с.
7. В.Г.Данько, В.І.Мілих, Ф.Т.Карпенко, В.С.Марков. Збірник задач з електротехніки: Навчальний посібник / За ред. В.Г.Данька. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – 119 с.

ЗМІСТ

| | |
|--------------------------------------|----|
| ВТУП | 3 |
| 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ | |
| ПОСТІЙНОГО СТРУМУ – РГР № 1..... | 5 |
| 1.1. Формулювання задач | 5 |
| 1.2. Приклади розв’язання задач..... | 25 |
| 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ | |
| СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ – РГР № 2..... | 34 |
| 2.1. Формулювання задач | 34 |
| 2.2. Приклади розв’язання задач..... | 36 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ | 54 |

Навчальне видання

**РОЗРАХУНОК
ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ
З КУРСУ “ЕЛЕКТРОТЕХНІКА”
для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей

2-ге видання, сереотипне

Укладачі: ДАНЬКО Володимир Григорович
ПОЛЯКОВ Ігор Володимирович
ЧЕРКАСОВ Анатолій Кузьмич

Відповідальний за випуск В.Ф. Болюх

Роботу рекомендував до видання В.Т. Долбня

В авторській редакції

План 2007 р., п. 2 / 202-06

Підп. до друку 13.02.2008 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Riso-друк.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 2,9. Обл.-вид. арк. 3,1.
Наклад 300 прим. Зам. № 45. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХПІ», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
