

## 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: накреслити 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: накреслити 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, накреслити задану електричну схему з джерелом ЕРС у вітці, яка вказана в таблиці (напряв 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, накреслити 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, накреслити 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 <sub>1</sub> , А
		R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>		
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

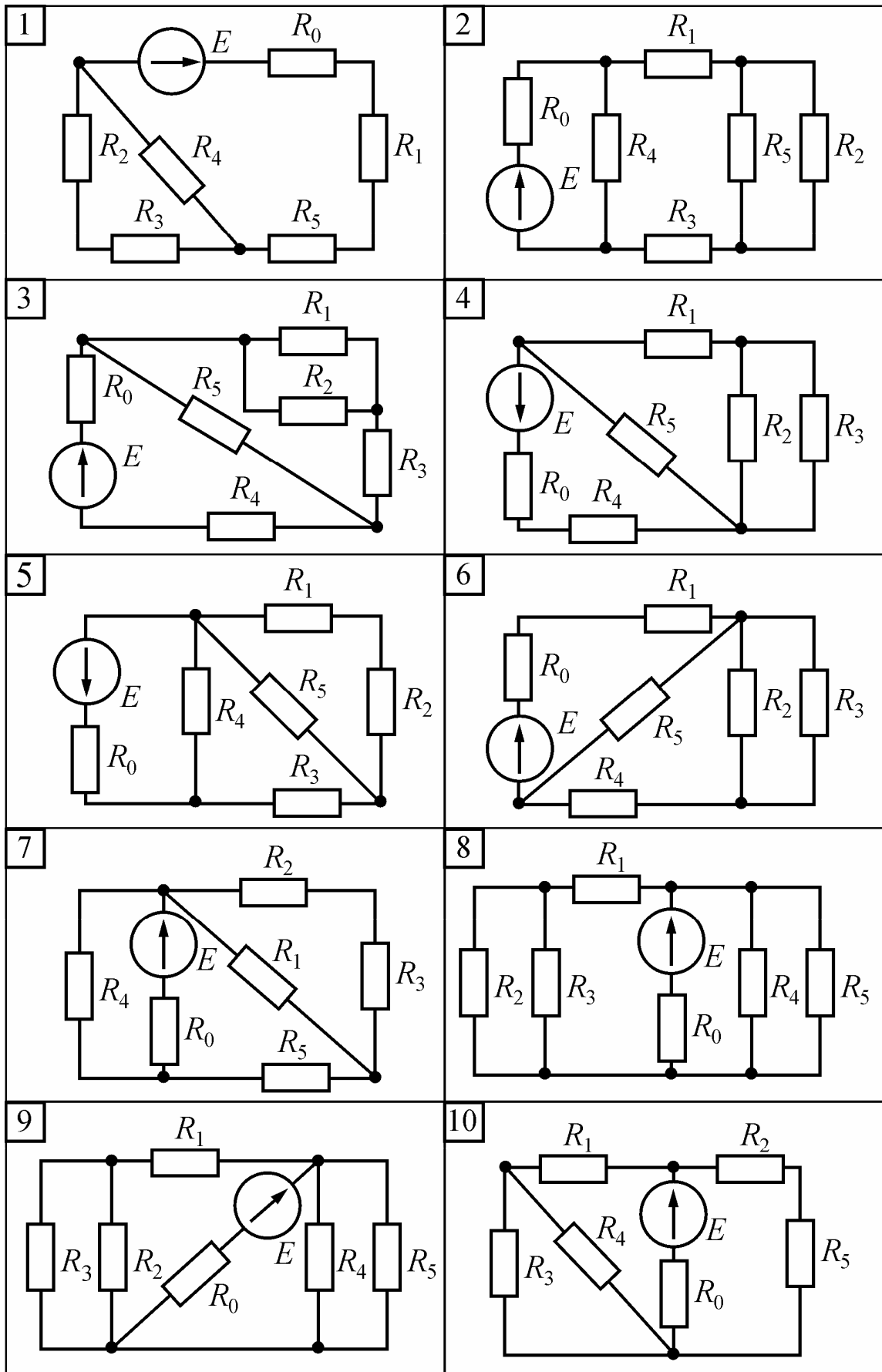


Рисунок 1.1



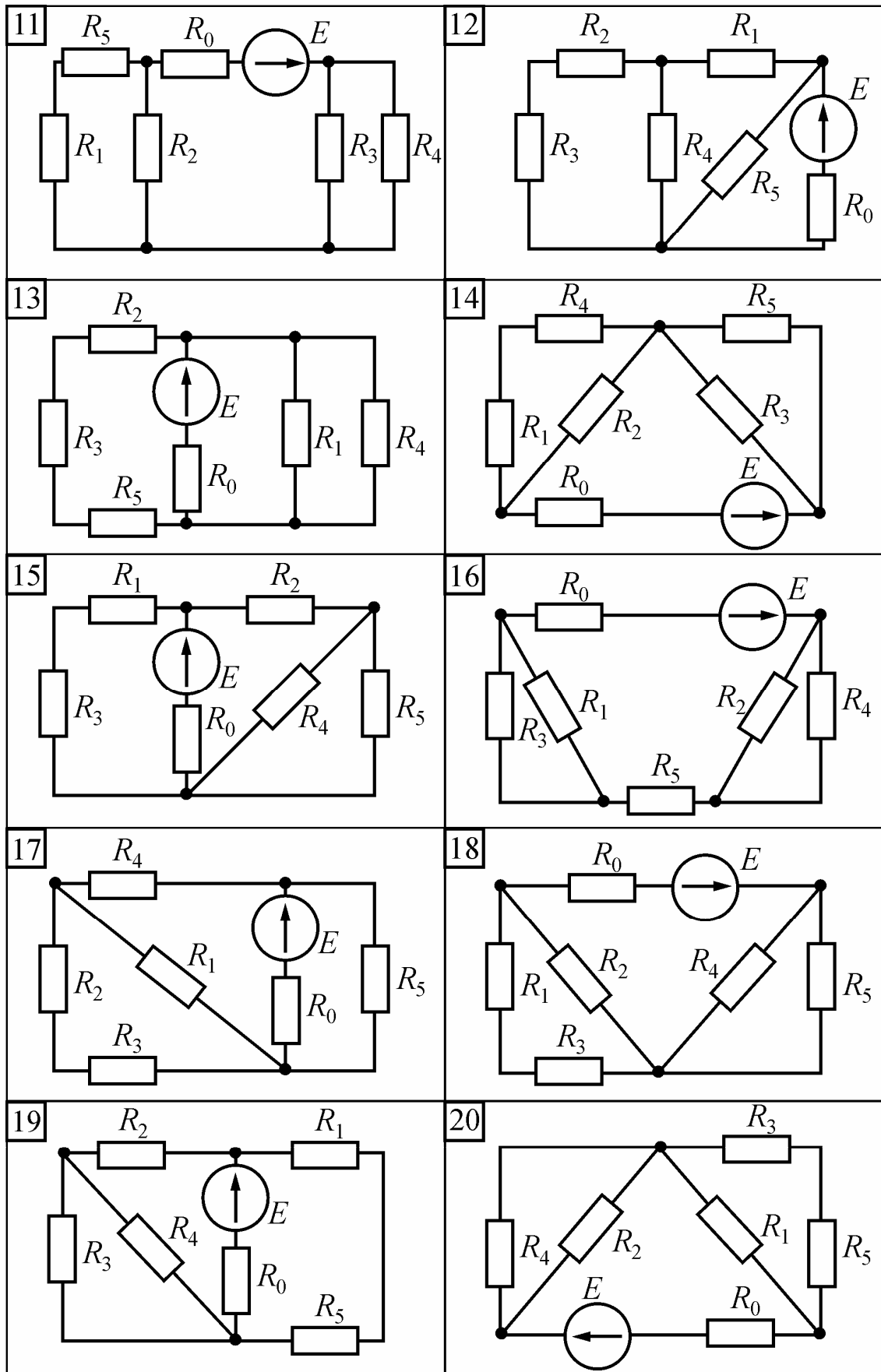


Рисунок 1.1 (продовження)

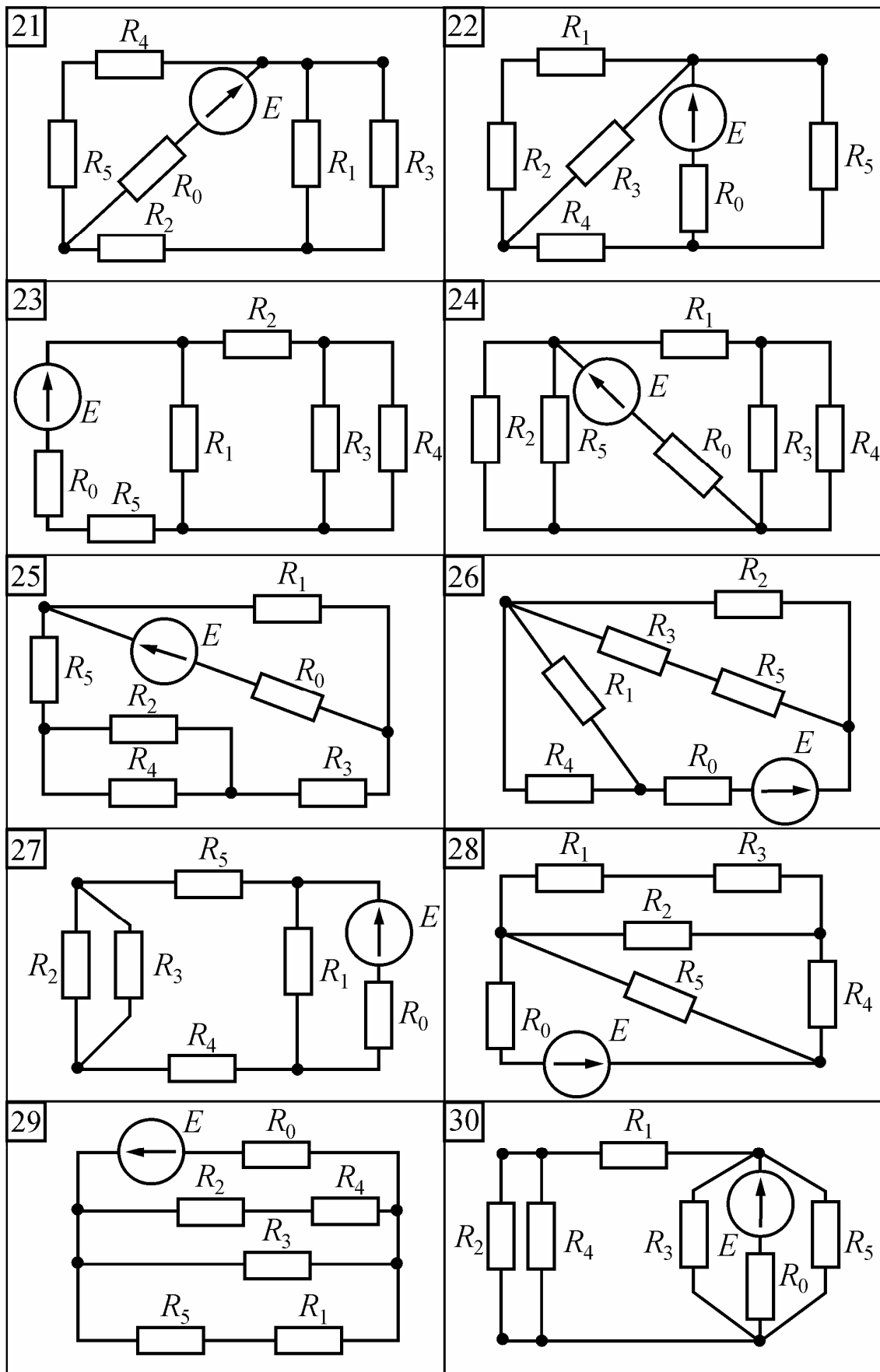


Рисунок 1.1 (продовження)

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>

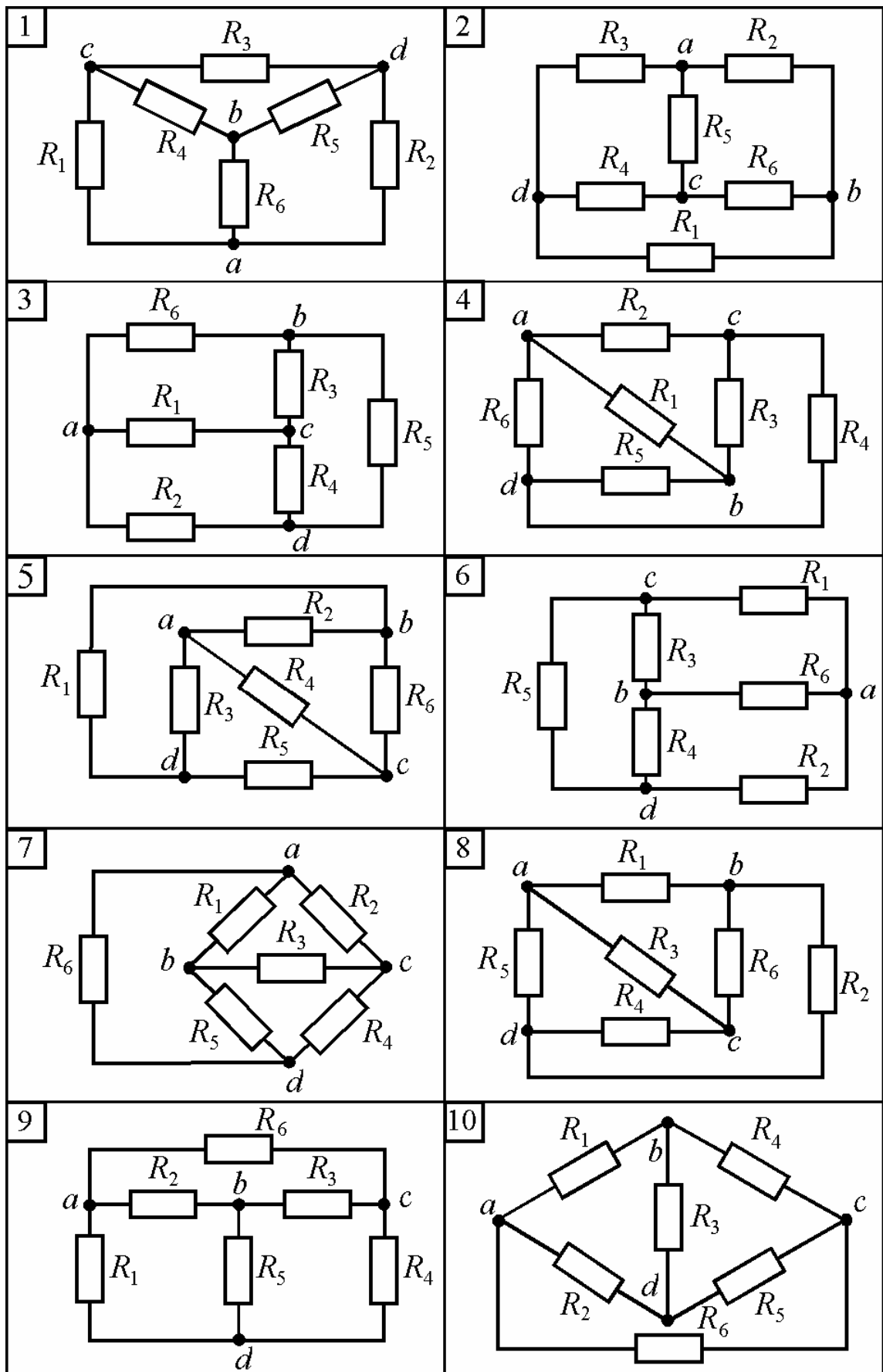


Рисунок 1.2

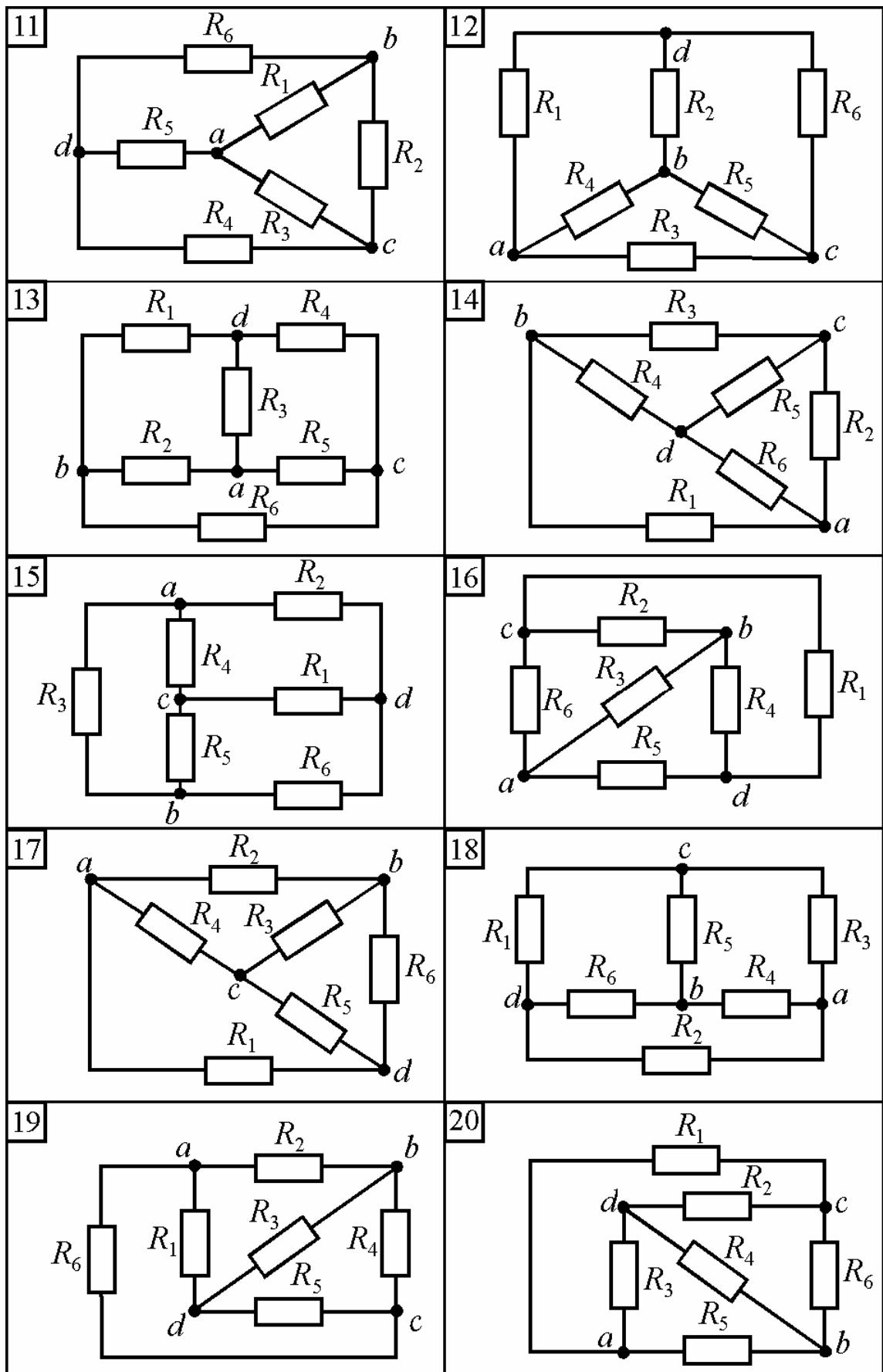


Рисунок 1.2 (продовження)

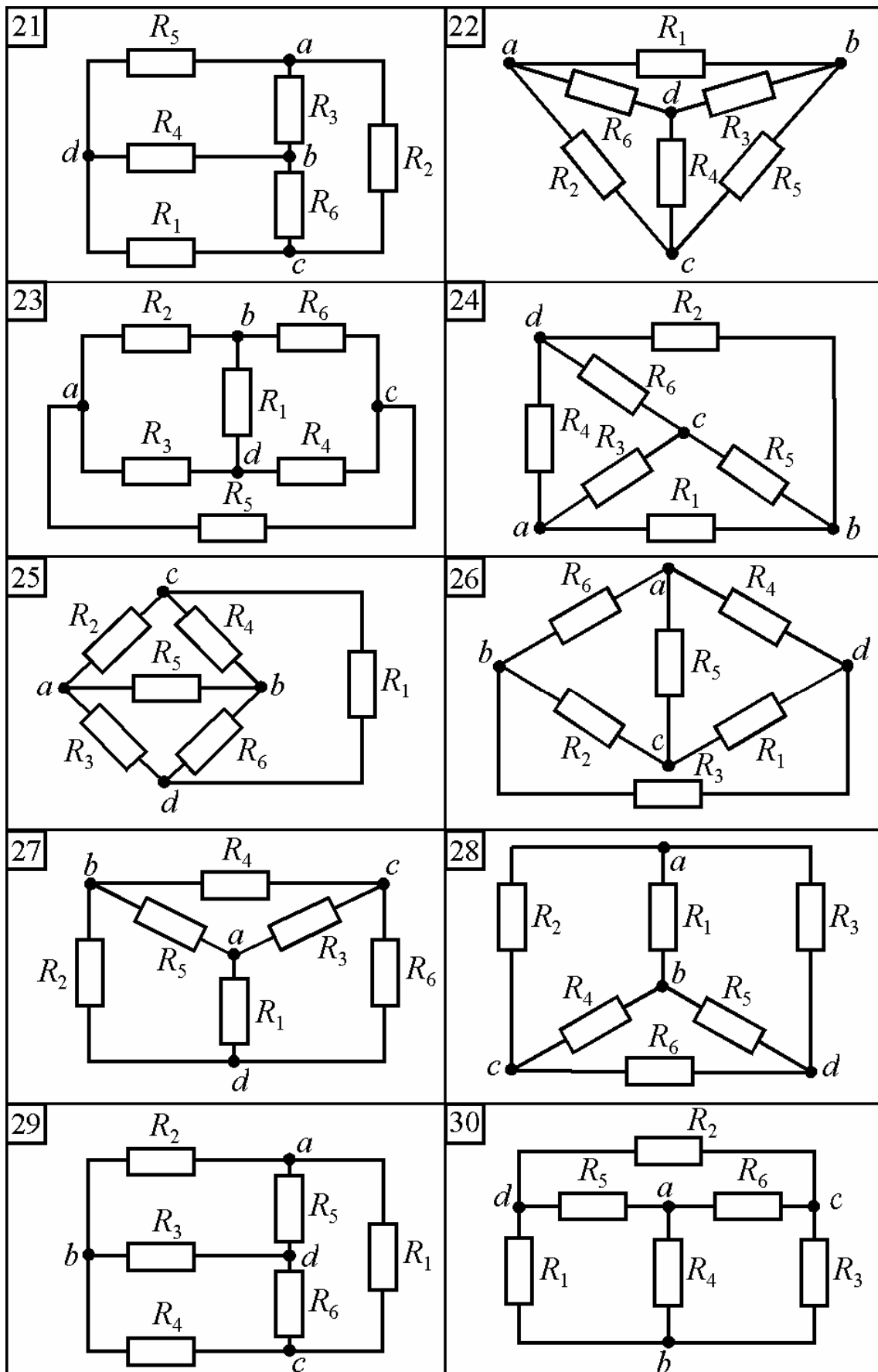


Рисунок 1.2 (продовження)



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

Вари- ант	Номер схеми за рис. 1.3	ЕРС, В		Опір, Ом					
		$E_1$	$E_2$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
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

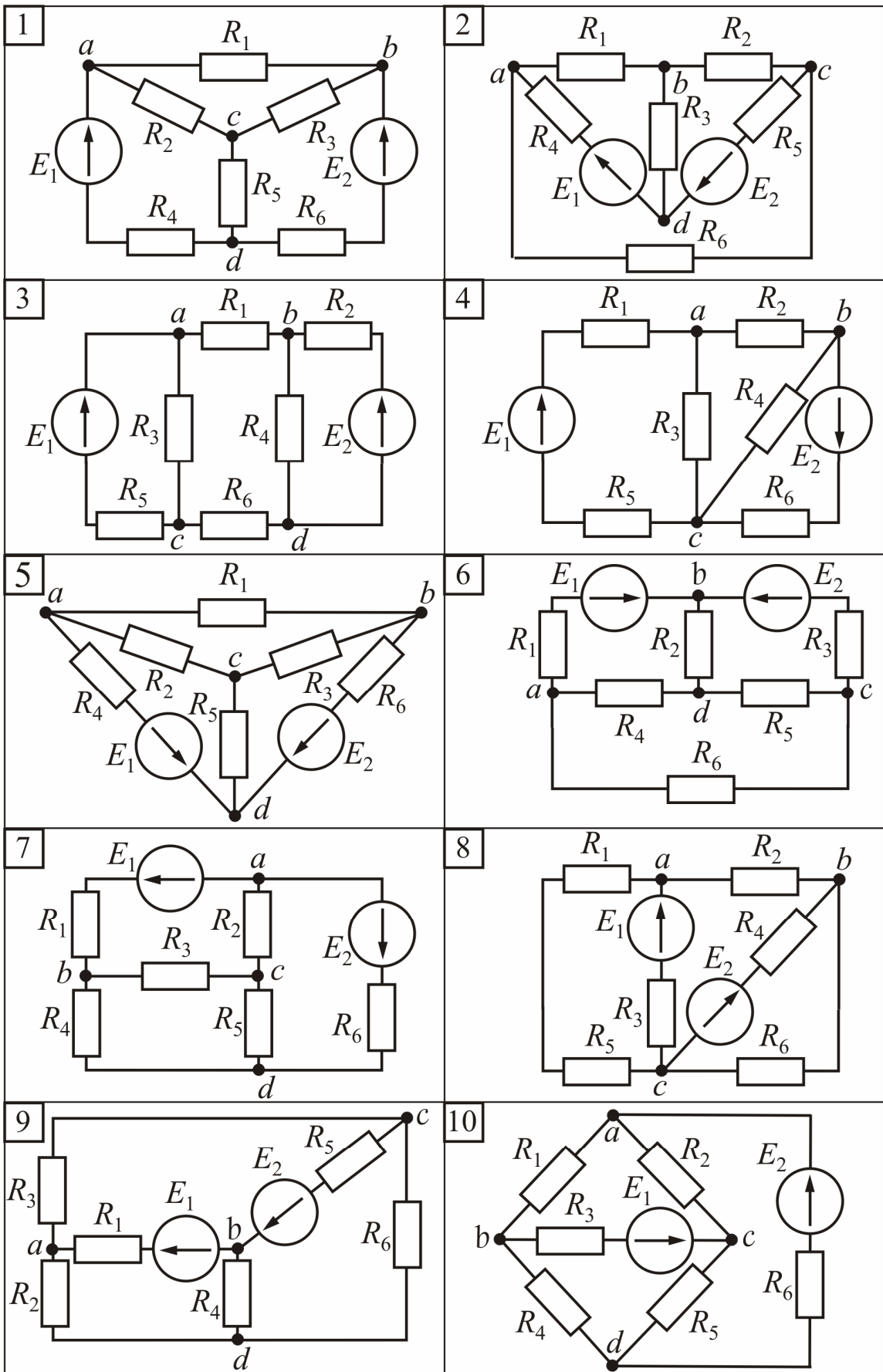


Рисунок 1.3

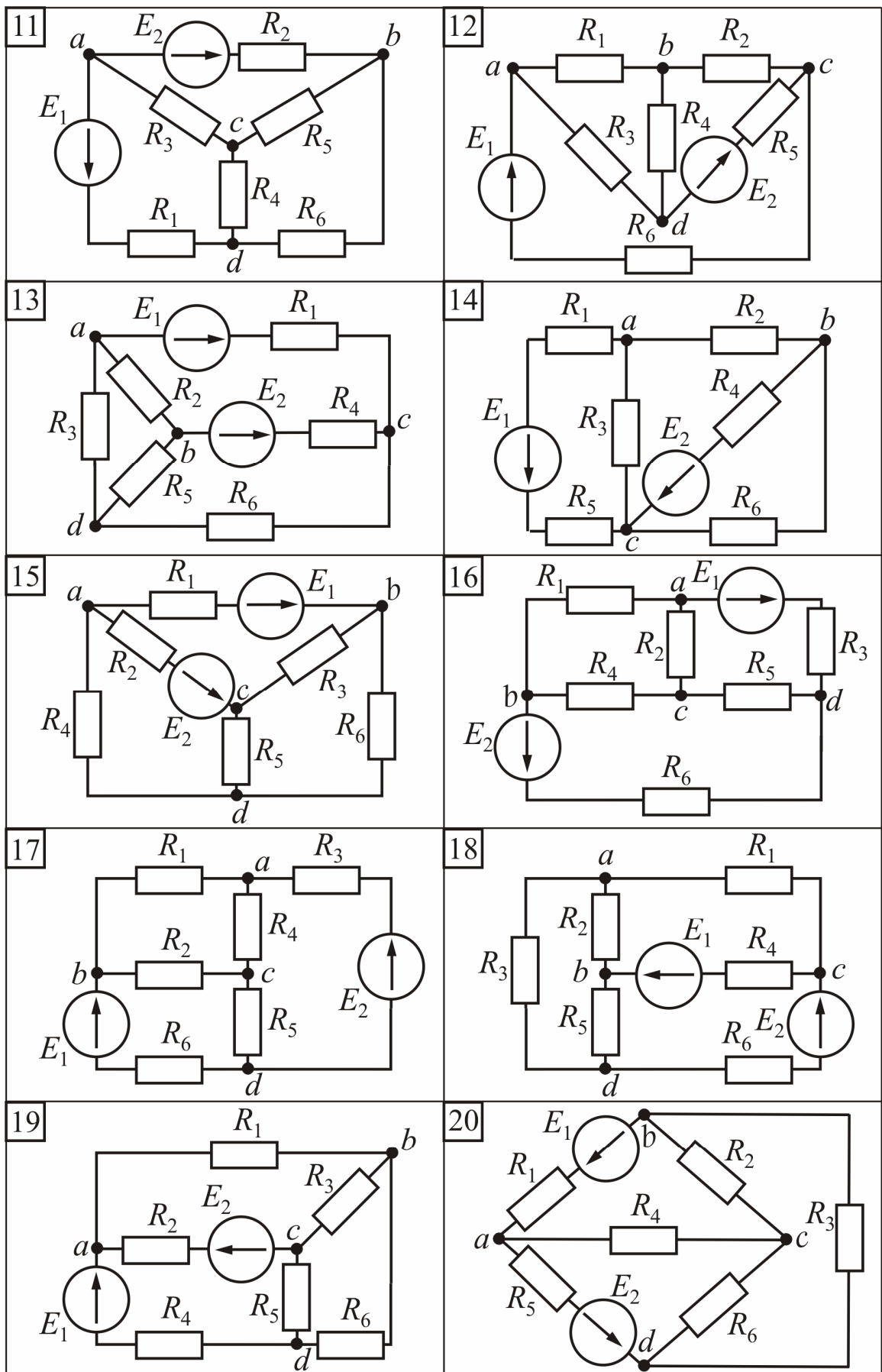


Рисунок 1.3 (продовження)

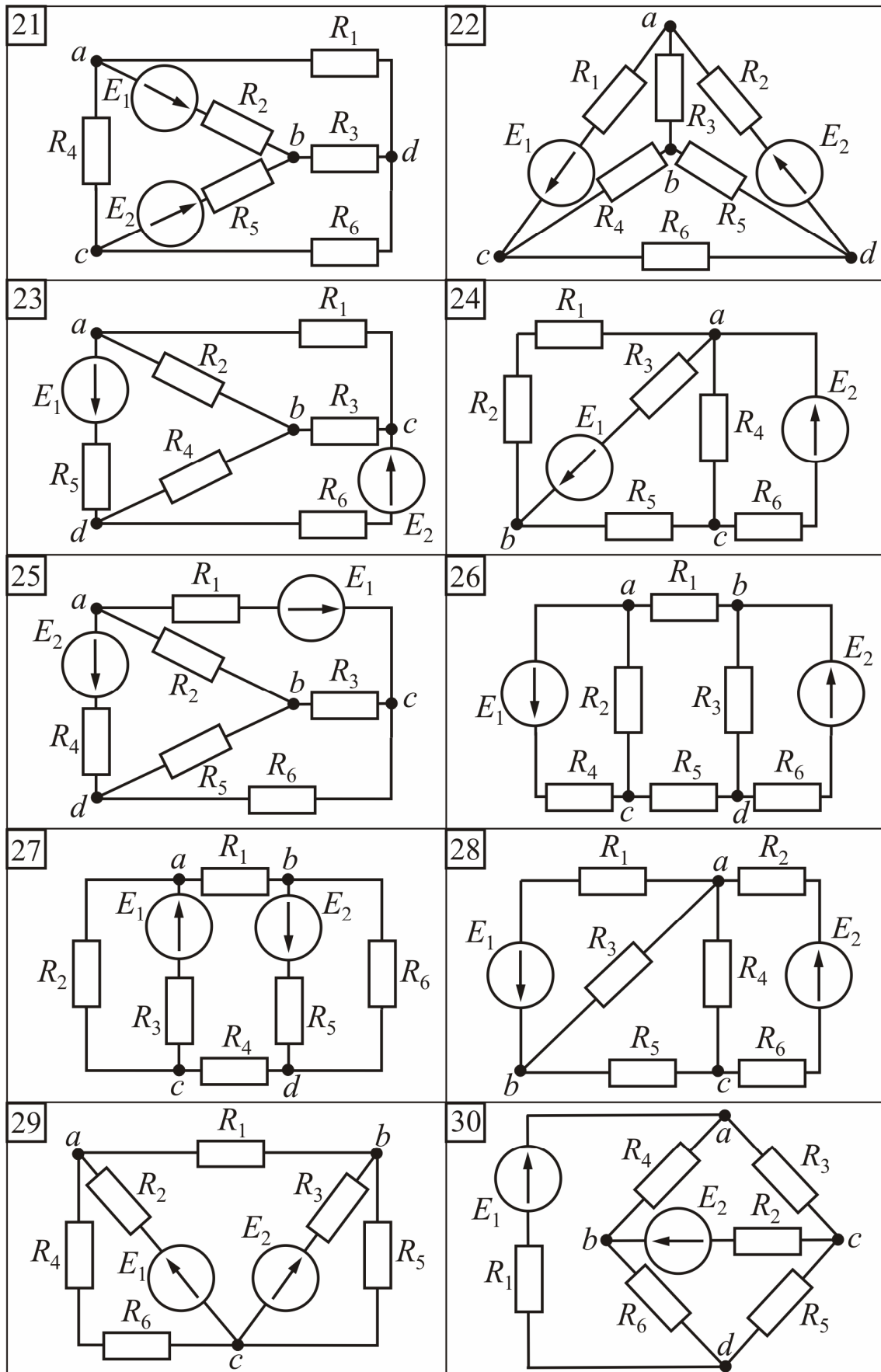


Рисунок 1.3 (продовження)

## 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.

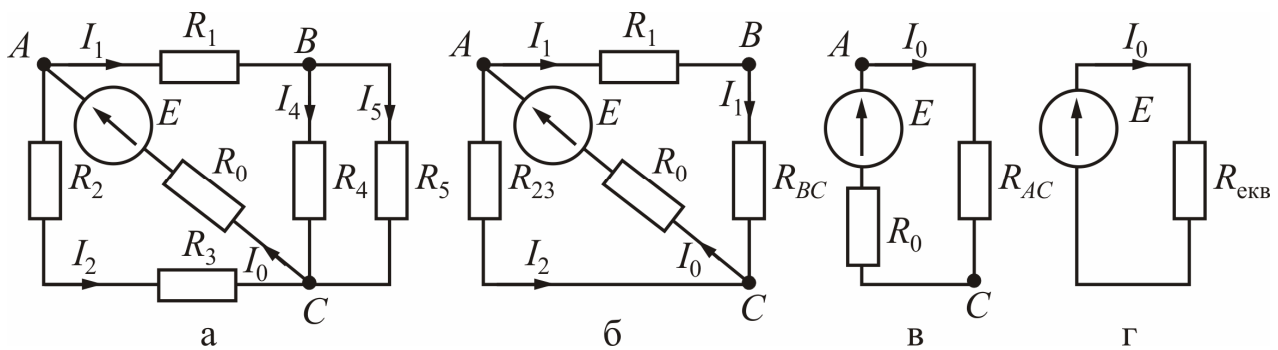


Рисунок 1.4

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.

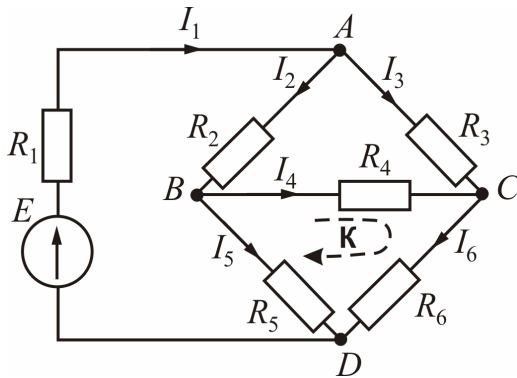


Рисунок 1.5

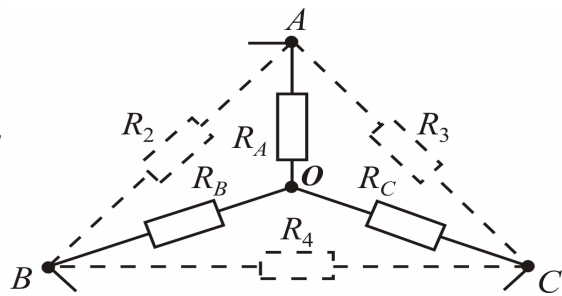


Рисунок 1.6

**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 «-».

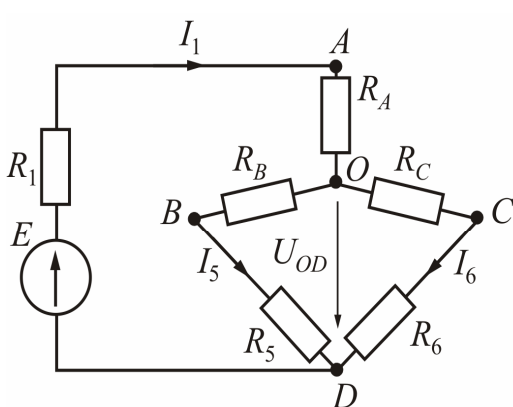
Для розв’язання задачі використовуємо перетворення, наприклад, трьох опорів  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_4$ , які з’єднані “трикутником” між вузлами  $A$ ,  $B$  і  $C$  (рис. 1.5), в еквівалентну “зірку” з опорами  $R_A$ ,  $R_B$  і  $R_C$  та центральним вузлом  $O$  (рис. 1.6).

Визначаємо еквівалентні опори “зірки”:

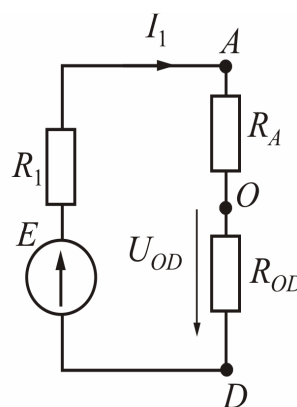
$$R_A = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20 + 15} = 4,44 \text{ Ом};$$

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

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



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»:

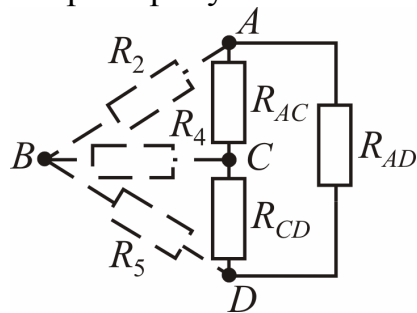


Рисунок 1.8

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

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

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

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)

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

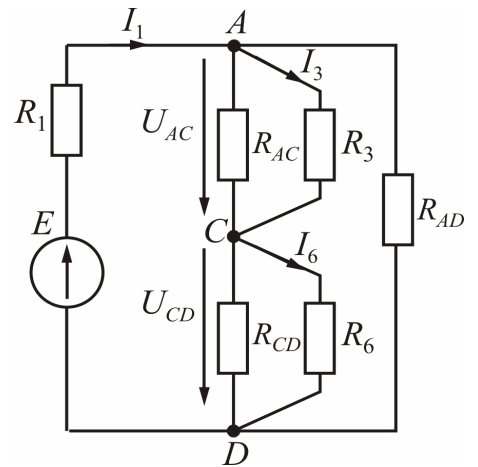


Рисунок 1.9

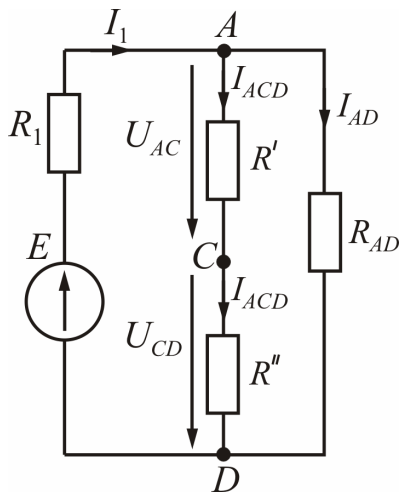


Рисунок 1.10

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.

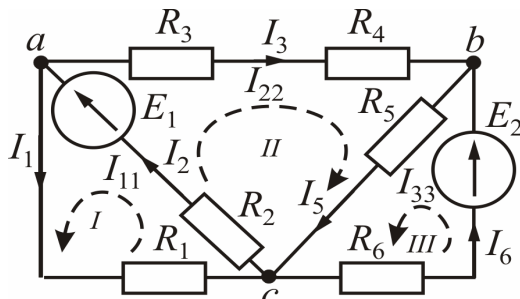


Рисунок 1.11

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  $E_{\text{ер}}$ ) і внутрішнім (еквівалентним опором)  $R_{\text{ер}}$ .

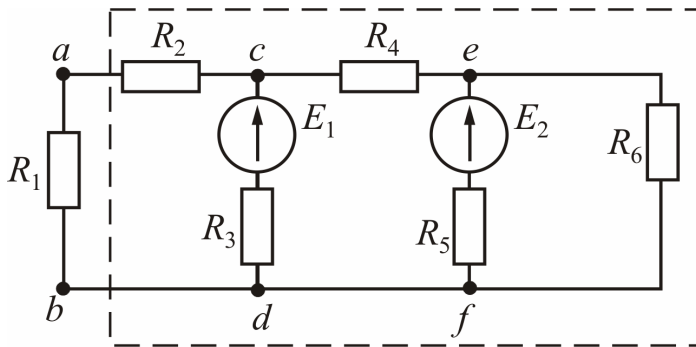


Рисунок 1.12

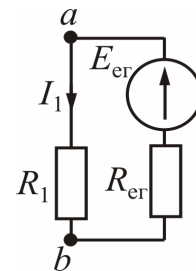


Рисунок 1.13

ЕРС  $E_{\text{ер}}$  дорівнює напрузі холостого ходу  $U_{ab\text{xx}}$  на розімкнутих затискачах  $a-b$  кола (рис. 1.14), тобто  $E_{\text{ер}} = U_{ab\text{xx}}$ . Еквівалентний опір  $R_{\text{ер}}$  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

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

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

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

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

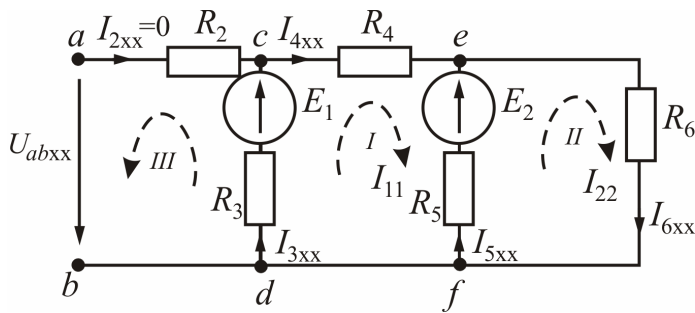


Рисунок 1.14

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

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

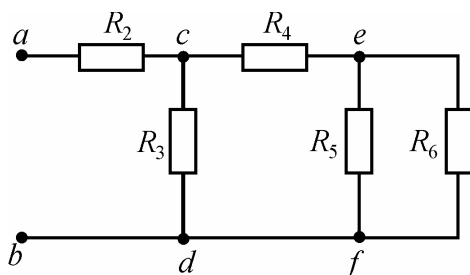


рис. 1.15

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

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

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

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