

Одобрена предметной  
(цикловой) комиссией  
электротехнических  
дисциплин  
Председатель:  
Полковникова Т.П.

Составлена в соответствии с  
государственными  
требованиями к минимуму  
содержания и уровню  
подготовки выпускника  
Заместитель директора по УР  
Ромашкина В.М.

Согласовано:  
зам. Директора по  
учебно-производственной  
работе  
Шиганов В.М.

Автор: Павлова Л.И. – преподаватель ГОУ СПО «ЧГТ»  
Рецензент: Снеткова З.Н. – преподаватель ГОУ СПО «ЧГТ»

Т а б л и ц а 1. Номера вариантов и задач для контрольной работы

1

Номер вари- анта	Номер задач для контроль- ной работы		Номер вари- анта	Номер задач для контроль- ной работы	
	№1			№1	
01	1; 2; 4; 5	15;22;32	37	1; 2; 4; 11	19;28;38
02	1; 2; 4; 6	16;23;33	38	1; 2; 4; 12	20;29;39
03	1; 2; 4; 7	16;24;34	39	1; 2; 4; 13	20;30;40
04	1; 2; 4; 8	17;25;35	40	1; 2; 4; 14	21;31;41
05	1; 2; 4; 9	18;26;36	41	1; 2; 4; 5	15;22;32
06	1; 2; 4; 10	19;27;37	42	1; 2; 4; 6	16;23;33
07	1; 2; 4; 11	19;28;38	43	1; 2; 4; 7	16;24;34
08	1; 2; 4; 12	20;29;30	44	1; 2; 4; 8	17;25;35
09	1; 2; 4; 13	20;30;40	45	1; 2; 4; 9	18;26;36
10	1; 2; 4; 14	21;31;41	46	1; 2; 4; 10	19;27;37
11	1; 2; 4; 5	15;22;32	47	1; 2; 4; 11	19;28;38
12	1; 2; 4; 6	16;23;33	48	1; 2; 4; 12	20;29;39
13	1; 2; 4; 7	16;24;34	49	1; 2; 4; 13	20;30;40
14	1; 2; 4; 8	17;25;35	50	1; 2; 4; 14	21;31;41
15	1; 2; 4; 9	18;26;36	51	1; 3; 4; 5	15;22;32
16	1; 2; 4; 10	19;27;37	52	1; 3; 4; 6	16;23;33
17	1; 2; 4; 11	19;28;38	53	1; 3; 4; 7	16;24;34
18	1; 2; 4; 12	20;29;39	54	1; 3; 4; 8	17;25;35
19	1; 2; 4; 13	20;30;40	55	1; 3; 4; 9	18;26;36
20	1; 2; 4; 14	21;31;41	56	1; 3; 4; 10	19;27;37
21	1; 2; 4; 5	15;22;32	57	1; 3; 4; 11	19;28;38
22	1; 2; 4; 6	16;23;33	58	1; 3; 4; 12	20;29;39
23	1; 2; 4; 7	16;24;34	59	1; 3; 4; 13	20;30;40
24	1; 2; 4; 8	17;25;35	60	1; 3; 4; 14	21;31;41
25	1; 2; 4; 9	18;26;36	61	1; 3; 4; 5	15;22;32
26	1; 2; 4; 10	19;27;37	62	1; 3; 4; 6	16;23;33
27	1; 2; 4; 11	19;28;38	63	1; 3; 4; 7	16;24;34
28	1; 2; 4; 12	20;29;39	64	1; 3; 4; 8	17;25;35
29	1; 2; 4; 13	20;30;40	65	1; 3; 4; 9	18;26;36
30	1; 2; 4; 14	21;31;41	66	1; 3; 4; 10	19;27;37
31	1; 2; 4; 5	15;22;32	67	1; 3; 4; 11	19;28;38
32	1; 2; 4; 6	16;23;33	68	1; 3; 4; 12	20;29;39
33	1; 2; 4; 7	16;24;34	69	1; 3; 4; 13	20;30;40
34	1; 2; 4; 8	18;25;35	70	1; 3; 4; 14	21;31;41
35	1; 2; 4; 9	18;26;36	71	1; 3; 4; 5	15;22;32
36	1; 2; 4; 10	19;27;37	72	1; 3; 4; 6	16;23;33

Номер вари- анта	Номер задач для контроль- ной работы		Номер вари- анта	Номер задач для контроль- ной работы	
	№1			№1	
73	1; 3; 4; 7	16;24;34	87	1; 3; 4; 11	19;28;38
74	1; 3; 4; 8	17;25;35	88	1; 3; 4; 12	20;29;39
75	1; 3; 4; 9	18;26;36	89	1; 3; 4; 13	20;30;40
76	1; 3; 4; 10	19;27;37	90	1; 3; 4; 14	21;31;41
77	1; 3; 4; 11	19;28;38	91	1; 3; 4; 5	15;22;32
78	1; 3; 4; 12	20;29;39	92	1; 3; 4; 6	16;23;33
79	1; 3; 4; 13	20;30;40	93	1; 3; 4; 7	16;24;34
80	1; 3; 4; 14	21;31;41	94	1; 3; 4; 8	17;25;35
81	1; 3; 4; 5	15;22;32	95	1; 3; 4; 9	18;26;36
82	1; 3; 4; 6	16;23;33	96	1; 3; 4; 10	19;27;37
83	1; 3; 4; 7	16;24;34	97	1; 3; 4; 11	19;28;38
84	1; 3; 4; 8	17;25;35	98	1; 3; 4; 12	20;29;39
85	1; 3; 4; 9	18;26;36	99	1; 3; 4; 13	20;30;40
86	1; 3; 4; 10	19;27;37	00	1; 3; 4; 14	21;31;41

## Программа

**Введение.** Электрическая энергия, ее передача и распределение. Основные этапы развития отечественной электроэнергетики.

### Раздел I. Электротехника

#### *Тема 1.1 Электрическое поле*

Понятие об электрическом поле. Энергия электрического поля. Электрическое поле в диэлектрике и полупроводнике. Конденсатор, его заряд и электрическая емкость. Электрический пробой. Электроизоляционные материалы.

#### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Изобразите картину электрического поля положительного точечного заряда. В каком направлении станет перемещаться пробный отрицательный заряд, помещенный в такое поле?

2. Какое поле называют электростатическим?

3. Что такое напряженность электрического поля? Имеет ли эта величина направление?

4. В каких единицах выражают напряженность электрического поля?

5. Что называют напряжением между двумя точками поля? Приведите связь между напряженностью поля и напряжением.

6. Напряженность электрического поля у поверхности Земли  $E = 130$  В/м. Чему равно напряжение между головой человека, имеющего рост 1,7 м, и его ногами? **О т в е т:** 221 В.

7. Дайте определение потенциала. Вычислите потенциалы анода и сетки электронной лампы относительно катода, если известно, что для переноса электрона с зарядом  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл с катода на анод требуется



совершить работу  $4 \cdot 10^{-17}$  Дж, а с катода на сетку  $1,6 \cdot 10^{-18}$  Дж. О т в е т: 250 В, 10 В.

8. Можно ли считать водный раствор щелочи проводником второго рода? Для каких проводников характерна электронная электропроводность?

9. Каким зарядом обладает конденсатор емкостью 2 мкФ, если напряжение между его пластинами равно 100 В? О т в е т:  $2 \cdot 10^{-4}$  Кл.

10. Напишите формулу для емкости плоского конденсатора. Как изменится его емкость, если одновременно уменьшить площадь пластин в 2 раза, а расстояние между ними в 3 раза? О т в е т: увеличится в 1,5 раза.

11. Определите емкость плоского конденсатора, если площадь его пластин равна  $0,001 \text{ м}^2$ , расстояние между пластинами 0,1 мм, а относительная диэлектрическая проницаемость равна 7,0. О т в е т:  $0,62 \times 10^{-9}$  Ф.

12. Сколько пластин площадью  $0,01 \text{ м}^2$  надо собрать, чтобы получить конденсатор емкостью 1 мкФ, если в качестве диэлектрика использована лакоткань толщиной 0,05 мм с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 50? О т в е т: 11.

13. Определите энергию, запасенную в конденсаторе емкостью 10 мкФ при напряжении на пластинах 100 В. О т в е т: 0,05 Дж.

14. Три конденсатора емкостью 3, 6 и 2 мкФ соединили сначала параллельно, а затем последовательно. Во сколько раз изменилась их общая емкость? О т в е т: в 11 раз.

15. Поясните явление поляризации диэлектрика. Почему поляризованные атомы ослабляют внешнее поле?

16. Перечислите основные типы диэлектриков: газообразных, жидких и твердых. Какие из них используются в электрических аппаратах и электрических машинах?

17. При испытании в стандартном разряднике трансформаторного масла пробой наступил при напряжении 25 кВ. Принимая пробивную напряженность для масла  $1000 \text{ кВ/м}$ , определите расстояние между электродами разрядника. О т в е т: 2,5 см.

### *Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока*

Электрический ток в металлах, его направление. Источники питания. Электрическая цепь, ее основные элементы и условные обозначения, применяемые на схемах. Сила и плотность тока, единицы измерения. Электродвижущая сила источника и напряжение на его элементах. Энергия и мощность электрической цепи, баланс мощностей. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление и проводимость. Удельное сопротивление и удельная проводимость. Резистор. Зависимость сопротивления от температуры. Закон Ома для всей цепи. Режимы работы цепи: холостой ход, короткое замыкание, переменная нагрузка.

Преобразование электрической энергии в теплоту. Закон Джоуля — Ленца. Нагрев проводов. Предельно допустимый (номинальный) ток в проводе. Плавкие предохранители. Выбор сечения провода в зависимости от допускаемого тока. Основные проводниковые материалы.

Последовательное, параллельное и смешанное соединения резисторов. Потеря напряжения в проводах линий электропередачи и допустимые ее значения. Первый закон Кирхгофа. Второй закон Кирхгофа, его применение. Понятие о расчете сложных цепей. Работа источника в режиме генератора и потребителя.

*Лабораторная работа 1.* Виды соединений резисторов.

*Лабораторная работа 2.* Определение потери напряжения и мощности в проводах линии электропередачи.

### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Что называют электрическим током? Укажите его направление во внешней и внутренней цепях источника электрической энергии.

2. Приведите примеры источников электрического тока, в которых механическая и химическая энергия превращается в электрическую.

3. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, выключателя, предохранителей и двух ламп, включенных параллельно. Что произойдет в цепи при перегорании одной лампы?

4. Дайте определение электродвижущей силы источника, напряжения на зажимах и внутреннего падения напряжения. Чему равны эти величины, если в цепи проходит ток 2 А через внутреннее сопротивление 0,5 Ом и внешнее сопротивление 9,5 Ом? О т в е т: 20 В, 19 В, 1 В.

5. Имеются два источника тока с сопротивлениями 0,1 и 0,5 Ом. Какой из них нужно выбрать, чтобы изменение тока нагрузки в меньшей степени сказывалось на значении напряжения на его зажимах?

6. Напишите закон Ома для всей цепи и для одного ее участка: внешнего и внутреннего.

7. Можно ли считать, что напряжение на концах какого-либо резистора одновременно является падением напряжения в нем?

8. Напишите формулы для определения сопротивления проводника через его удельное сопротивление и электрическую проводимость. Как изменится сопротивление проводника при одновременном увеличении его длины в четыре раза, а диаметра в два раза? О т в е т: останется прежним.

9. Для определения длины медного провода катушки к ней приложили напряжение 4 В и измерили ток в цепи, который оказался равным 0,5 А, диаметр провода 0,8 мм. Найдите длину провода, если проводимость меди 53 м/(Ом·мм<sup>2</sup>). О т в е т: 213 м.

10. Напишите формулы для определения мощности, теряемой в ре-

зисторе сопротивлением  $R$ , через квадрат тока и сопротивление; квадрат напряжения и сопротивления; ток и напряжение.

11. Электрическая печь рассчитана на напряжение 220 В и ток 5 А. Какую энергию израсходует печь за 4 ч работы? Принимая стоимость 1 кВт·ч, равной 2 коп., определите стоимость израсходованной энергии. О т в е т: 4,4 кВт·ч; 8,8 коп.

12. Какое явление называют коротким замыканием цепи? Как защитить цепь от тока короткого замыкания?

13. Напишите формулу для определения потери напряжения в проводах. Чему равен к. п. д. линии электропередачи напряжением 220 В, если в ней теряется 10 Вт? О т в е т: 94,5%.

14. Выведите формулы для определения общего сопротивления цепи в двух случаях: а) последовательно включены резисторы  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ; б) параллельно включены резисторы  $R_1, R_2, R_3$ .

15. Последовательно включены три резистора:  $R_1=10$  Ом;  $R_2=15$  Ом;  $R_3=6$  Ом. Чему равно общее сопротивление цепи? Какое падение напряжения будет на третьем резисторе, если к цепи приложено напряжение, равное 62 В? О т в е т: 31 Ом, 12 В.

16. Резисторы, указанные в предыдущем вопросе, соединили параллельно и включили в цепь с напряжением 60 В. Чему равно общее сопротивление цепи и ток во втором резисторе. О т в е т: 3 Ом, 4 А.

17. Две лампы мощностью 200 и 25 Вт, рассчитанные на напряжение 127 В, соединили последовательно и включили в сеть с напряжением 220 В. Какой накал будет у каждой лампы? О т в е т: напряжение на лампах  $U_1=24$  В,  $U_2=196$  В. Свечение лампы мощностью 200 Вт практически отсутствует.

18. Напишите формулы для э.д.с. источника, работающего в режиме потребителя и в режиме генератора. Какие направления в этих случаях имеют э.д.с. и ток в линии?

19. Сформулируйте второй закон Кирхгофа для замкнутого контура с несколькими э.д.с. Как в этом случае определяется знак каждой э.д.с.?

20. Какую цепь называют сложной? Какие законы используют для ее расчета?

21. Сложная цепь содержит четыре узла и пять ветвей. Сколько уравнений для ее расчета нужно написать на основании первого и второго законов Кирхгофа? О т в е т: 3 по первому и 2 по второму законам Кирхгофа.

22. Определите напряжение на нагрузке при питании ее четырьмя последовательно соединенными источниками с э.д.с., равной 6 В, и внутренним сопротивлением 20 Ом каждый, если ток в цепи равен 0,1 А. О т в е т: 16 В.

23. Напишите формулы для определения э.д.с. батареи и ее внутреннего сопротивления при последовательном и параллельном соединениях источников.

### Тема 1.3. Электромагнетизм

Магнитное поле и его характеристики. Закон полного тока. Взаимодействие магнитного поля и проводника с током. Электромагнитная сила.

Ферромагнитные вещества и их намагничивание. Кривые намагничивания. Явление гистерезиса. Потери энергии при гистерезисе. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Материалы с прямолинейной петлей гистерезиса и их использование в измерительной и счетно-решающей технике.

Магнитная цепь. Электромагниты и их практическое применение. Упрощенный расчет электромагнита. Электромагнитная индукция. Э.д.с., индуцированная в контуре при изменении магнитного потока, сцепленного с контуром (формулировка Максвелла). Правило правой руки. Закон Ленца. Преобразование механической энергии в электрическую. Преобразование электрической энергии в механическую. Самоиндукция. Э.д.с. самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля. Взаимная индукция. Взаимная индуктивность. Вихревые токи и их практическое значение.

#### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Что называют магнитным полем? Начертите магнитное поле вокруг прямолинейного проводника с током, кольцевого тока и катушки с током.

2. Приведите определение основных магнитных величин и их единиц измерения: индукции, магнитного потока, напряженности, абсолютной магнитной проницаемости, магнитной проницаемости, намагничивающей силы.

3. Определите магнитный поток в магнитопроводе, поперечное сечение которого равно  $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , а магнитная индукция 0,8 Тл. О т в е т:  $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ .

4. При внесении в магнитное поле стального бруска магнитная индукция в нем оказалась в 500 раз больше магнитной индукции, создаваемой тем же полем в воздухе. Чему равна абсолютная магнитная проницаемость стального бруска? О т в е т:  $6,28 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/м}$ .

5. Выведите формулу для определения напряженности магнитного поля на осевой линии кольцевой катушки.

6. Напишите формулу, связывающую магнитную индукцию, напряженность и абсолютную магнитную проницаемость.



7. На расстоянии 20 м от проводника с током магнитная индукция в воздухе равна  $2 \cdot 10^{-7}$  Тл. Чему равен ток в проводнике? О т в е т: 20 А. См. формулу (3.9) на с. 78 учебника Попова.

8. Определите индукцию магнитного поля, если на помещенный в поле проводник длиной 1 м с сопротивлением 10 Ом, присоединенный к источнику с напряжением на зажимах 50 В, действует сила 0,5 Н. О т в е т: 0,1 Тл.

9. От каких величин зависит электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле? Как определить направление этой силы? В каких единицах выражают все величины входящие в формулу для электромагнитной силы?

10. Как формулируют и записывают математически закон полного тока?

11. Определите напряженность магнитного поля, создаваемого катушкой, имеющей 100 витков, если через нее проходит ток 15 А, а длина средней силовой линии магнитного поля 2 м. О т в е т: 750 А/м.

12. Какое разрывающее усилие действует на каждый метр алюминиевой оболочки двухжильного кабеля, если по его жилам, находящимся на расстоянии 10 мм друг от друга, проходит ток, равный 200 А? Магнитная проницаемость изоляции жил равна 1,0. О т в е т: 0,8 Н/м.

13. В чем сущность намагничивания ферромагнитных материалов? Начертите начальную кривую намагничивания стали. Почему ее последний участок называют участком магнитного насыщения?

14. Какой характер имеет петля гистерезиса для магнитомягких и магнитотвердых материалов? Как зависят потери на гистерезис от площади петли?

15. Опишите порядок расчета магнитной цепи, если заданы ее размеры и магнитный поток или индукция.

16. На стальном магнитопроводе помещена обмотка с числом витков, равным 800. Определите напряженность магнитного поля, если ток в обмотке равен 2 А, а длина средней магнитной линии составляет 0,2 м. О т в е т: 8000 А/м.

17. Сформулируйте принцип электромагнитной индукции. Почему при движении проводника в магнитном поле происходит разделение зарядов в проводнике?

18. Как определить значение и направление э.д.с., наведенной в проводнике, движущемся в магнитном поле?

19. Самолет с размахом крыльев 20 м летит горизонтально со скоростью 1800 км/ч. Определите индукцию магнитного поля Земли (ее вертикальную составляющую), если разность потенциалов между концами крыльев равна 0,5 В. О т в е т:  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл.

20. Сформулируйте закон Ленца.

21. Выведите формулу для определения э.д.с. в контуре при его перемещении в магнитном поле. О чем говорит знак минус в этой формуле?

22. Определите э.д.с. в катушке с числом витков 250, если пронизывающий ее магнитный поток растет со скоростью  $0,01 \text{ Вб/с}$ . О т в е т:  $-2,5 \text{ В}$ .

23. Поясните сущность явления самоиндукции. От каких факторов зависит э.д.с. самоиндукции? Какое направление имеет она при возрастании и убывании тока в цепи?

24. Найдите э.д.с. самоиндукции в обмотке с индуктивностью  $0,1 \text{ Гн}$ , если ток в обмотке равномерно возрастает со скоростью  $20 \text{ А/с}$ . О т в е т:  $-2 \text{ В}$ .

25. Поясните принцип возникновения вихревых токов в стальных магнитопроводах электрических машин и трансформаторов. Какое влияние оказывают эти токи на работу машин?

#### *Тема 1.4. Однофазные электрические цепи переменного тока*

Переменный ток, его определение. Период и частота переменного тока.

Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз. Действующие значения тока, напряжения и э.д.с. Получение синусоидальной э.д.с. Угловая скорость и угловая частота. Изображение синусоидальных величин кривыми — синусоидами и вращающимися векторами. Векторная диаграмма.

Особенности цепей переменного тока. Цепь переменного тока с активным сопротивлением. Векторная диаграмма, кривые тока, напряжения и мощности. Средняя (активная) мощность. Цепь переменного тока с индуктивностью. Векторная диаграмма; кривые тока, напряжения и мощности. Реактивное индуктивное сопротивление. Средняя и максимальная (реактивная) мощности. Цепь переменного тока с емкостью.

Общий случай последовательного соединения активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Векторная диаграмма. Разложение напряжений на активные и реактивные составляющие. Резонанс напряжений, условие резонанса напряжений.

Общий случай параллельного соединения активно-индуктивных и емкостного сопротивлений. Векторная диаграмма. Разложение токов на активные и реактивные составляющие. Резонанс токов, условие резонанса токов. Технико-экономическое значение реактивной мощности в электрических системах. Использование конденсаторов для компенсации реактивной мощности.

*Лабораторная работа 3.* Неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью.

*Лабораторная работа 4.* Параллельное соединение катушки, содержащей активное сопротивление и индуктивность, и конденсатора. Компенсация реактивной мощности.

## Задачи и вопросы для самопроверки

1. Каким образом можно получить э.д.с. синусоидальной формы и каких факторов зависит ее значение?
2. Что называют мгновенным, амплитудным и действующим значениями переменного тока и напряжения? К каким из этих значений относятся стандартные напряжения 127, 220, 380, 660 В?
3. Выведите зависимость частоты переменного тока от частоты вращения рамки и числа пар полюсов машины.
4. Определите период и частоту переменного тока, если угловая частота равна 314 рад/с. О т в е т: 0,02 с, 50 Гц.
5. Выражения для мгновенных значений тока и напряжения имеют вид:  $i = 14,2 \sin(\omega t + \pi/2)$ ;  $u = 169 \sin(\omega t + \pi/2)$ . Определите показания амперметра и вольтметра, включенных в эту цепь. О т в е т: 10 А, 120 В.
6. Что называют начальным фазовым углом и углом сдвига фаз? Как определить угол сдвига фаз между двумя э.д.с., пользуясь их волновыми диаграммами?
7. Как определить, какая из синусоидальных величин опережает по фазе другую?
8. Начертите графики тока, напряжения, мощности и векторную диаграмму для цепи с активным сопротивлением. Какой вид имеет закон Ома для такой цепи?
9. То же, для цепи с индуктивностью; то же, для цепи с емкостью.
10. То же, для неразветвленной цепи с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Начертите для такой цепи треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.
11. В чем заключается явление резонанса напряжений? Каковы его последствия? Почему при резонансе напряжения на катушке и конденсаторе могут превышать напряжение сети?
12. В цепь переменного тока включен резистор с сопротивлением  $R = 10$  Ом. Ток и напряжение в цепи изменяются по законам  $i = 28,2 \sin 314 \omega t$ ,  $u = 311 \sin 314 \omega t$ . Определите показания амперметра, вольтметра и ваттметра, включенных в эту цепь. О т в е т: 20 А, 220 В, 4100 Вт.
13. В цепь предыдущего примера включили катушку с индуктивностью  $L = 0,01$  Гн. Определите ее индуктивное сопротивление. О т в е т: 3,14 Ом.
14. Определите сопротивление конденсатора емкостью 5 мкФ при частоте переменного тока 50 Гц. При какой частоте его сопротивление уменьшится в 10 раз? О т в е т: 637 Ом, 500 Гц.
15. Конденсатор и электрическую лампу соединили последовательно и включили в сеть переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Какую емкость должен иметь конденсатор, чтобы лампа мощно-

стью 60 Вт и напряжением 127 В имела нормальный накал? Ответ: 8,3 мкФ.

16. Начертите векторную диаграмму цепи при параллельном соединении реальной катушки и конденсатора без потерь.

17. Как определить ток в неразветвленной части цепи при параллельном соединении сопротивлений?

18. Напишите условие наступления в цепи резонанса токов и начертите для такого случая векторную диаграмму. В цепи реальная катушка и конденсатор без потерь.

19. Почему повышение реактивной мощности потребителя приводит к необходимости увеличивать установленную мощность генераторов и трансформаторов?

20. Что называют коэффициентом реактивной мощности?

21. Какую реактивную мощность называют оптимальной?

22. Предприятие потребляет активную мощность  $P=1000$  кВт и реактивную  $Q=800$  квар. Энергосистема задает предприятию оптимальную реактивную мощность  $Q_{\text{э}}=300$  квар. Определите необходимую мощность конденсаторной батареи для выполнения предписания энергоси-

Вариант	$R, \text{ Ом}$	$x_L, \text{ Ом}$	$x_C, \text{ Ом}$	Задание	Определить	Ответы
1	3	6	2	$I = 10 \text{ А}$	$z; U; \cos \varphi; S; P; Q$	$z = 5 \text{ Ом}; U = 50 \text{ В}; \cos \varphi = 0,6; S = 500 \text{ В} \cdot \text{А}; P = 300 \text{ Вт}; Q = 400 \text{ вар}$
2	8	4	10	$S = 640 \text{ В} \cdot \text{А}$	$z; I; U; \text{tg } \varphi; P; Q$	$z = 10 \text{ Ом}; I = 8 \text{ А}; U = 80 \text{ В}; \text{tg } \varphi = -0,6; P = 512 \text{ Вт}; Q = -384 \text{ вар}$
3	12	20	4	$P = 192 \text{ Вт}$	$z; I; U; \sin \varphi; Q; S$	$z = 20 \text{ Ом}; I = 4 \text{ А}; U = 80 \text{ В}; \sin \varphi = 0,8; Q = 256 \text{ вар}; S = 320 \text{ В} \cdot \text{А}$
4	6	4	12	$U = 50 \text{ В}$	$z; I; \cos \varphi; S; Q; P$	$z = 10 \text{ Ом}; I = 5 \text{ А}; \cos \varphi = 0,6, S = 250 \text{ В} \cdot \text{А}; P = 150 \text{ Вт}; Q = -200 \text{ вар}$



системы. Чему равен коэффициент реактивной мощности до установки батареи конденсаторов и после ее установки? Ответ:  $Q_6=500$  квар;  $\lg \varphi=0,8$ ;  $\lg \varphi_3=0,3$ .

23. Для неразветвленной цепи переменного тока, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления, определите величины, указанные в таблице вариантов.

24. Для разветвленной цепи переменного тока, содержащей две параллельные ветви, определить величины, указанные в таблице вариантов.

Вариант	Первая ветвь			Вторая ветвь			Задано	Определить	Ответы
	$R_1, \text{ Ом}$	$x_{L1}, \text{ Ом}$	$x_{C1}, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$x_{L2}, \text{ Ом}$	$x_{C2}, \text{ Ом}$			
1	6	8	—	—	—	10	$U=100 \text{ В}$	$I_1; I_2;$ $P; Q;$ $S; I$	$I_1=I_2=10 \text{ А};$ $P=600 \text{ Вт};$ $Q=-200 \text{ вар};$ $S=633 \text{ В} \cdot \text{А};$ $I=6,33 \text{ А}$
2	6	—	—	—	—	8	$I_1=8 \text{ А}$	$U; I_2;$ $I; P;$ $Q; S$	$U=48 \text{ В};$ $I_2=6 \text{ А};$ $I=10 \text{ А};$ $P=384 \text{ Вт};$ $Q=-288 \text{ вар};$ $S=480 \text{ В} \cdot \text{А}$
3	—	5	—	3	—	4	$P=192 \text{ Вт}$	$I_1; U;$ $I_2; Q;$ $S; I$	$I_1=8 \text{ А};$ $U=40 \text{ В};$ $I_2=8 \text{ А};$ $Q=64 \text{ вар};$ $S=202 \text{ В} \cdot \text{А};$ $I=5,05 \text{ А}$

### Тема 1.5. Трехфазны цепи

Сравнение однофазной и трехфазной систем переменных токов. Генерирование трехфазной э.д.с. Четырехпроводная трехфазная система при соединении обмоток генератора и потребителей в звезду. Фазовые и линейные напряжения генератора и потребителя. Соотношение между фазовыми и линейными напряжениями. Равномерная и неравномерная нагрузки. Фазовые и линейные токи. Векторная диаграмма напряжений и токов. Нейтральный (нулевой) провод и его значение.

Соединение обмоток генератора в треугольник; недостатки этого соединения. Соединение потребителей в треугольник. Зависимость между фазовыми и линейными токами. Векторная диаграмма напряжений и токов. Мощность трехфазной цепи при соединении потребителей в звезду и треугольник.

*Лабораторная работа 5.* Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии (ламп накаливания) в звезду или треугольник.

### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Какими преимуществами обладает трехфазная система перед однофазной?

2. Как получить трехфазную систему э.д.с.? Какие стандартные напряжения используются для трехфазных цепей?

3. Начертите схемы несвязанной и связанной систем; для связанной системы — при соединении обмоток генератора и потребителя звездой и треугольником. Покажите на схеме фазные и линейные напряжения.

4. Приведите соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении звездой и треугольником.

5. Каждая фаза обмотки трехфазного электродвигателя рассчитана на напряжение 380 В. Как следует соединить обмотки при линейном напряжении сети 380 и 660 В?

6. Три одинаковых резистора соединили звездой и включили в сеть с линейным напряжением  $U_{\text{ном}}$ . Затем резисторы соединили треугольником и включили в ту же сеть. Во сколько раз изменились линейные токи при таком переключении резисторов? О т в е т: в 3 раза.

7. В каких случаях применяют четырехпроводную систему? Какова в ней роль нулевого провода?

8. К трехфазной сети с нулевым проводом присоединена несимметричная нагрузка: в фазу  $A$  включены активное сопротивление  $R_A = 6$  Ом и индуктивное  $x_{LA} = 8$  Ом, в фазу  $B$  — емкостное сопротивление  $x_{CB} = 5$  Ом, в фазу  $C$  — активное сопротивление  $R_C = 10$  Ом. Нагрузка соединена звездой. Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 380$  В. Определите линейные токи, начертите векторную диаграмму, из которой графически найдите ток в нулевом проводе. О т в е т:  $I_A = 38$  А;  $I_B = 44$  А;  $I_C = 38$  А;  $I_0 = 47$  А.

9. Начертите в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов потребителя при симметричной нагрузке и соединении треугольником. Из диаграммы графически определите линейные токи. Потребитель в каждой фазе содержит активное сопротивление  $R = 4$  Ом и индуктивное  $x_L = 3$  Ом. Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 220$  В. О т в е т:  $I_{\text{л}} = 76$  А.

10. Почему в нулевой провод не разрешается устанавливать предохранитель? Является ли аварийным режимом обрыв нулевого провода при соединении трехфазного генератора и потребителя: а) при симметричной нагрузке; б) при несимметричной нагрузке?

11. Как определить активную, реактивную и полную мощности в трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках?

12. Определите активную мощность трехфазного потребителя, соединенного звездой, имеющего в каждой фазе активное и индуктивное сопротивление. Полное сопротивление фазы равно 9 Ом, коэффициент мощности фазы  $\cos \varphi = 0,7$ . Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 380$  В.  
О т в е т: 11,25 кВт.

### *Тема 1.6. Электротехнические измерения и приборы*

Классификация измерительных приборов. Точность измерений. Измерение напряжений и токов. Устройство и принцип действия магнитоэлектрического и электромагнитного измерительных механизмов. Устройства для расширения пределов измерения напряжений и токов. Измерение сопротивлений. Измерение мощности. Электродинамический и ферродинамический ваттметры. Измерение электрической энергии. Индукционные счетчики.

Понятие об измерении неэлектрических параметров электротехническими методами,

*Лабораторная работа 6* (вариант а или б). а. Измерение сопротивлений омметром, измерительным мостом и мегаомметром; б. Проверка измерительного прибора.

### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Какую погрешность называют абсолютной? относительной?
2. Истинное значение тока в цепи 5,23 А. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А показал ток 5,3 А. Определите абсолютную и относительную погрешность измерения. О т в е т: 0,07 А; 1,34%.
3. В резисторе, истинное значение сопротивления которого 8 Ом, проходит ток 2,4 А. При измерении напряжения на этом резисторе вольтметр показал напряжение 19,3 В. Определите абсолютную и относительную погрешности измерения. О т в е т: 0,1 В; 0,52%.
4. Какими значками на шкале обозначают приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем?
5. Приборы каких систем — магнитоэлектрической, электромагнитной или электродинамической — можно использовать для измерений в цепях постоянного и переменного тока?
6. Составьте таблицу, поясняющую принцип действия, характер шкалы, род измеряемого тока, преимущества и недостатки основных систем электроизмерительных приборов.
7. Поясните работу воздушного и магнитного успокоителей подвижной системы.
8. Амперметр, имеющий внутреннее сопротивление 0,02 Ом и верхний предел измерения 10 А, необходимо использовать для измерения токов до 100 А. Определите сопротивление шунта прибора и падение напряжения на амперметре и шунте. О т в е т:  $2,2 \cdot 10^{-3}$  Ом; 0,2 В.
9. Начертите схему амперметра с многопредельным шунтом и вольтметра с многопредельным добавочным сопротивлением.
10. Номинальное напряжение вольтметра 10 В, внутреннее сопротивление его 5 кОм. Какое допустимое напряжение может быть в измеряемой цепи, если к вольтметру подключен добавочный резистор с сопротивлением 15 кОм? О т в е т: 40 В.
11. Почему показания омметра-логометра не зависят от напряжения источника?
12. Поясните порядок измерения сопротивления изоляции линии мегаомметром.
13. Надо измерить сопротивление изоляции проводов, проложенных в трубе. Начертите схему включения мегаомметра.

14. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра показания приборов были 11 мА, и 10 В. Определите сопротивление резистора, если внутреннее сопротивление вольтметра равно 10 кОм, а внутренним сопротивлением амперметра можно пренебречь. Потери в приборах принять равными нулю. Вольтметр включен параллельно измеряемому сопротивлению. О т в е т: 1000 Ом.

15. Начертите схемы включения электродинамического ваттметра для измерения мощности: а) в цепи однофазного тока; б) в трехпроводной трехфазной цепи при равномерной нагрузке фаз; в) в четырехпроводной трехфазной цепи при неравномерной нагрузке.

16. В цепи постоянного тока мощность измерялась по показаниям амперметра  $10 \text{ А} \pm 1\%$  и вольтметра  $100 \text{ В} \pm 2\%$ . Определите мощность и относительную погрешность ее измерения. О т в е т:  $1000 \text{ Вт} \pm 3\%$ .

17. Ваттметр со шкалой на 50 делений имеет переключатель токовой обмотки на 2,5 и 5 А. Определите цену деления и чувствительность при обоих положениях переключателя и напряжениях последовательной цепи ваттметра 500, 100 и 200 В. О т в е т: 25 Вт/дел; 5 Вт/дел; 10 Вт/дел; 50 Вт/дел; 10 Вт/дел; 20 Вт/дел.

18. Ваттметр включен через измерительные трансформаторы тока 150/5 и напряжения 800/100. Определите мощность, потребляемую нагрузкой, если ваттметр показывает 300 Вт. О т в е т: 72 кВт.

19. Расход энергии, показанный счетчиком, составил 800 кВт·ч. Счетчик имеет относительную погрешность 1,8% в сторону увеличения фактического расхода энергии. Найти действительный расход энергии. О т в е т: 785,9 кВт·ч.

20. Какая энергия будет регистрироваться счетчиком за 20 оборотов, если номинальная постоянная счетчика 1200 Вт·с/об? О т в е т: 24 кДж.

21. Начертите схему включения однофазного счетчика.

22. Укажите назначение датчика при измерении неэлектрических величин.

23. Поясните принцип работы уровнемера с использованием реостатного датчика.

24. Как измерить деформацию детали проволочным датчиком?

25. Поясните принцип действия электрического тахометра.

### *Тема 1.7. Трансформаторы*

Назначение трансформаторов и их применение. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Параметры, характеризующие работу трансформатора: э. д. с. обмоток, коэффициент трансформации, уравнение э. д. с., уравнение токов, зависимость токов в первой обмотке от токов во второй. Режим холостого хода и короткого замыкания, данные получаемые из них. Работа трансформаторов под



нагрузкой. Равновесие намагничивающих сил обмоток. Зависимость тока в первичной обмотке от тока во вторичной. Упрощенная векторная диаграмма трансформатора; внешняя характеристика. Понятие о процентном изменении напряжения; номинальные токи и напряжения трансформатора. Номинальная мощность трансформатора. Потери энергии и к. п. д. трансформаторов.

Понятие о трехфазных трансформаторах, измерительных трансформаторах, автотрансформаторах и сварочных трансформаторах. Их особенности.

*Лабораторная работа 7. Однофазный трансформатор.*

### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Поясните роль трансформатора в энергетической системе при передаче и распределении электрической энергии.

2. Укажите назначение и устройство основных элементов трансформатора.

3. Поясните принцип действия трансформатора. Почему магнитопровод должен быть изготовлен из ферромагнитного материала и по возможности иметь минимальный зазор?

4. По первичной обмотке проходят постоянные по направлению кратковременные импульсы тока. Будет ли при этом наводиться э. д. с. во вторичной обмотке?

5. Какие магнитные потоки имеют место в трансформаторе при нагрузке? Какие э. д. с. в обмотках они наводят? Приведите соответствующий рисунок.

6. Почему практически коэффициент трансформации можно определить отношением напряжений обмоток именно при холостом ходе трансформатора?

7. Выведите формулу для определения э. д. с., наводимых в обмотках трансформатора. Почему в формулу должна входить частота тока?

8. Определите число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в магнитопроводе  $\Phi_m = 0,001$  Вб и частоте тока в сети  $f = 50$  Гц в обмотке наводится э. д. с.  $E_2 = 220$  В. Как изменится масса трансформатора, если частоту тока увеличить вдвое, а э. д. с. обмоток оставить прежними? О т в е т: 990.

9. Определите коэффициент трансформации однофазного трансформатора, если амплитуда магнитной индукции в нем  $B_m = 0,8$  Тл; сечение магнитопровода  $Q = 11,5$  см<sup>2</sup>, число витков вторичной обмотки  $w_2 = 18$ . Трансформатор включен в сеть с напряжением  $U_1 = 220$  В и частотой тока  $f = 50$  Гц. О т в е т: 60.

10. Как объяснить постоянство основного магнитного потока при изменении нагрузки трансформатора?

11. Поясните принцип саморегулируемости трансформатора. Почему при изменении нагрузки вторичной обмотки автоматически изменяется первичный ток? Какова здесь роль э. д. с.  $E_1$ ?

12. Приведите определение номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.

13. Номинальное напряжение вторичной обмотки (т. е. напряжение при холостом ходе) равно 400 В. Потери напряжения в трансформаторе при нагрузке составили 20 В. Чему равно напряжение на вторичной обмотке нагруженного трансформатора?

14. Трансформатор с номинальной мощностью  $S_{ном} = 10$  кВ·А имеет номинальное вторичное напряжение  $U_{ном 2} = 400$  В. Найдите полезную мощность и коэффициент нагрузки, если при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2 = 0,86$  вторичный ток  $I_2 = 24$  А. Потерями в трансформаторе пренебречь. О т в е т: 7,84 кВт; 0,91.

15. Число витков первичной обмотки  $w_1 = 100$ , вторичной  $w_2 = 500$ . Определите напряжение холостого хода вторичной обмотки, если трансформатор включен в сеть с напряжением 220 В. Найти вторичный ток, если при подключении ко вторичной обмотке активной нагрузки первичный ток  $I_1 = 10$  А. Потерями в трансформаторе пренебречь. О т в е т: 1100 В; 2 А.

16. Начертите и поясните векторные диаграммы трансформатора в режиме холостого хода и при нагрузке.

17. Какие неисправности могут вызвать понижение вторичного напряжения трансформатора?

18. Какие потери мощности имеют место в трансформаторе при нагрузке?

19. Напишите формулу для определения к. п. д. трансформатора при любой нагрузке. Как изменится к. п. д. при повреждении изоляции пластин магнитопровода?

20. Определите к. п. д. трехфазного трансформатора номинальной мощностью  $S_{ном} = 630$  кВ·А, работающего с номинальной нагрузкой при коэффициенте мощности потребителя  $\cos \varphi_2 = 0,85$ . Потери в стали  $P_{ст} = 1,56$  кВт, потери в обмотках  $P_{о. ном} = 12,2$  кВт. О т в е т: 97,5%.

21. Каково назначение масла в трансформаторе? Что произойдет с трансформатором, если в результате повреждения бака масло вытекло из него?

22. Поясните принцип действия и область применения автотрансформатора.

23. Почему недопустимо размыкание вторичной обмотки трансформатора тока при нагрузке? Почему у трансформатора напряжения или у обычного силового трансформатора такое размыкание безопасно?

24. Каковы особенности устройства сварочных трансформаторов?



## Тема 1.8. Электрические машины переменного тока

Назначение машин переменного тока. Асинхронные электродвигатели. Получение вращающегося магнитного поля в трехфазных асинхронных электродвигателях. Статор электродвигателя и его обмотки. Ротор электродвигателя и его обмотки. Принцип работы трехфазного асинхронного электродвигателя. Частота вращения магнитного поля статора и частота вращения ротора. Скольжение. Э. д. с., сопротивление и ток в обмотках статора и ротора. Вращающий момент асинхронного электродвигателя и зависимость его от скольжения и напряжения на зажимах электродвигателя. Механические характеристики. Пуск в ход трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым и фазным роторами. Регулирование частоты вращения трехфазных электродвигателей. Однофазный электродвигатель. Потери и к. п. д. асинхронного электродвигателя. Синхронный генератор. Синхронный электродвигатель. Их устройство, работа, свойства и область применения.

*Лабораторная работа 8. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.*

### Задачи и вопросы для самопроверки

1. Поясните получение вращающегося магнитного поля в асинхронном электродвигателе. От чего зависит его частота вращения?
2. Какое число пар полюсов должен иметь асинхронный двигатель, если частота тока в сети 50 Гц, а частота вращения магнитного поля статора равна 600 об/мин? О т в е т: 5.
3. Поясните принцип действия асинхронного двигателя. Почему такой двигатель называют асинхронным?
4. Что называют скольжением? Почему увеличение нагрузки на валу вызывает увеличение скольжения?
5. Номинальная частота вращения ротора 735 об/мин. Чему равно скольжение ротора, если частота тока в сети 50 Гц? О т в е т: 2%.
6. Напишите формулы для определения э. д. с. в фазе статора, неподвижного и вращающегося ротора.
7. Магнитный поток асинхронного двигателя равен 0,018 Вб. В фазе обмотки статора наводится э. д. с., равная 320 В. Обмотки статора соединены звездой. Обмоточный коэффициент равен 0,95. Определите число витков фазы статора, если частота тока сети 50 Гц. О т в е т: 100.
8. Число витков фазы обмотки статора 70; ротора 40, а обмоточные коэффициенты соответственно равны 0,95 и 0,965. Определите э. д. с., наводимые в обмотках статора, неподвижного и вращающегося ротора,

если магнитный поток равен  $0,015 \text{ Вб}$ , а скольжение ротора  $0,022$ . Частота тока в сети  $50 \text{ Гц}$ . О т в е т:  $220 \text{ В}$ ;  $128 \text{ В}$ ;  $2,8 \text{ В}$ .

9. Определите индуктивное сопротивление фазы обмотки неподвижного ротора, если известны следующие величины: активное сопротивление фазы ротора  $5 \text{ Ом}$ ; наводимая э. д. с.  $110 \text{ В}$ ; ток в роторе  $10 \text{ А}$ . О т в е т:  $9,8 \text{ Ом}$ .

10. Напишите формулы для определения тока в неподвижном и вращающемся роторе асинхронного двигателя.

11. Активное и индуктивное сопротивления фазы неподвижного ротора соответственно равны  $0,45$  и  $1,9 \text{ Ом}$ . Определите ток в фазе ротора при пуске и при работе со скольжением  $0,05$ , если в фазе ротора наводится э. д. с., равная  $10 \text{ В}$ , при работе с упомянутым скольжением. О т в е т:  $102 \text{ А}$ ;  $21,7 \text{ А}$ .

12. На графике зависимости вращающего момента от скольжения покажите устойчивую и неустойчивую области. Почему их так называют?

13. Что называют способностью двигателя к перегрузке и кратностью пускового момента?

14. С помощью зависимости вращающего момента от скольжения поясните причину увеличения тока двигателя при снижении напряжения в сети и постоянной нагрузке.

15. Ротор асинхронного двигателя вращается с частотой  $1440 \text{ об/мин}$ ; двигатель потребляет из сети мощность  $55 \text{ кВт}$ . Определите мощность на валу двигателя и развиваемый момент, если суммарные потери в двигателе равны  $5 \text{ кВт}$ . О т в е т:  $50 \text{ кВт}$ ;  $330 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

16. Определите мощность, подводимую к двигателю с фазным ротором, а также ток в обмотках статора при соединении их звездой и треугольником, если при номинальном режиме полезная мощность на валу равна  $6,3 \text{ кВт}$ , напряжение сети  $380/220 \text{ В}$ , к. п. д. двигателя  $0,88$ , а коэффициент мощности равен  $0,69$ . О т в е т:  $7,15 \text{ кВт}$ ;  $15,8 \text{ А}$ ;  $15,8 \text{ А}$ .

17. В цепь ротора асинхронного двигателя включили реостат. Изменится ли при этом скольжение, если момент на валу остался прежним?

18. Напряжение сети понизилось на  $10\%$ . Как изменится при этом вращающий момент асинхронного двигателя? О т в е т: уменьшится на  $19\%$ .

19. Какие схемы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором вам известны? их особенности?

20. Почему включение реостата в цепь ротора асинхронного двигателя увеличивает пусковой момент и снижает пусковой ток?

21. Какие способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя вам известны?

22. Какие потери имеют место в асинхронном двигателе при работе и в режиме холостого хода?

23. Поясните устройство и принцип действия синхронной машины. Может ли ротор такой машины вращаться асинхронно?

24. Определите число пар полюсов синхронного генератора, если частота вращения ротора равна 500 об/мин, а частота тока в сети 50 Г.  
О т в е т: 6.

25. Как производится пуск синхронных двигателей?

26. Как можно регулировать частоту вращения синхронного двигателя?

### *Тема 1.9. Электрические машины постоянного тока*

Общее устройство электрических машин постоянного тока, основные элементы конструкции и их назначение. Обратимость машин. Принцип работы машины постоянного тока.

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением, его схема и характеристики (холостого хода и внешняя). Самовозбуждение генераторов постоянного тока. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением, его схема и внешняя характеристика. Генератор постоянного тока со смешанным возбуждением при согласном и встречном соединениях обмоток возбуждения; внешние характеристики, потери, к. п. д.

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением; его схема. Пуск двигателя, роль пускового и регулировочного реостатов. Вращающий момент и зависимость его от тока якоря и магнитного потока. Связь между вращающим моментом, мощностью и частотой вращения. Механическая характеристика двигателя с параллельным возбуждением. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением. Реверсирование электродвигателей постоянного тока. Потери и к. п. д. двигателей постоянного тока. Краткие сведения о двигателях постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением.

Области применения машин постоянного тока.

*Лабораторная работа 9.* Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением.

*Лабораторная работа 10.* Двигатель постоянного тока с параллельным или последовательным возбуждением.

### *Задачи и вопросы для самопроверки*

1. Каково назначение основных частей машины постоянного тока: станины, полюсов, якоря, коллектора, обмоток?

2. Выведите формулу для определения э. д. с. генератора. Каким образом можно регулировать значение э. д. с.?

3. Определите э. д. с. четырехполюсного генератора, если частота вращения якоря равна 1500 об/мин, магнитный поток полюса составляет 0,01 Вб, а отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар параллельных ветвей равно 450. О т в е т: 225 В.

4. Выведите формулу для электромагнитного момента машины постоянного тока.

5. Определите сопротивление нагрузки генератора с независимым возбуждением, если ток якоря равен 40 А при э. д. с. 240 В и сопротивлении обмотки якоря 0,5 Ом. О т в е т: 5,5 Ом.

6. В чем заключается явление реакции якоря, каковы ее последствия для генератора и двигателя?

7. Поясните принцип самовозбуждения машины постоянного тока. В каких случаях машина может не возбудиться?

8. Начертите схемы генераторов постоянного тока с независимым, параллельным и смешанным возбуждением и поясните назначение каждого элемента схемы.

9. Какой вид имеют характеристики холостого хода и внешняя у генератора с независимым возбуждением? Какие причины снижают напряжение на выводах такого генератора при увеличении нагрузки?

10. Найдите ток якоря генератора с независимым возбуждением с сопротивлением цепи якоря 1,0 Ом и напряжением холостого хода 230 В, если сопротивление нагрузки составляет 10; 20; 50 Ом. Постройте в масштабе внешнюю характеристику. О т в е т: 21 А; 11 А; 4,5 А.

11. Укажите три причины снижения напряжения генератора с параллельным возбуждением при увеличении нагрузки.

12. Найдите полезную мощность генератора, если при напряжении на выводах 110 В ток нагрузки равен 50 А. О т в е т: 5,5 кВт.

13. При полезной мощности генератора 10 кВт его к. п. д. равен 90%. Определите суммарные потери мощности в генераторе. О т в е т: 1,1 кВт.

14. Поясните принцип действия электродвигателя постоянного тока. Каково назначение коллектора у двигателя?

15. Какова роль противо-э. д. с., наводимой в якоре электродвигателя? Почему в момент пуска велик пусковой ток?

16. Начертите схему электродвигателя с параллельным возбуждением. Каково назначение обоих реостатов?

17. Якорь двигателя постоянного тока вращается с частотой 1500 об/мин. Магнитный поток полюса равен 0,01 Вб. Противо-э. д. с. двигателя составляет 220 В. Определите число полюсов, если отношение числа активных проводников на якоре к числу пар параллельных ветвей обмотки равно 440. О т в е т: 8.

18. Начертите и поясните рабочие характеристики двигателя с параллельным возбуждением. Почему в области больших нагрузок график момента отклоняется от прямой?



19. Начертите зависимость частоты вращения и момента двигателя с последовательным возбуждением от полезной нагрузки на валу. Почему двигатель с такими характеристиками широко применяется в тяговых установках?

20. Перечислите способы регулирования частоты вращения двигателя с параллельным возбуждением. Какой способ применяется наиболее часто?

21. Какими способами чаще всего регулируют частоту вращения двигателя с последовательным возбуждением?

22. Какие виды потерь имеют место в машине постоянного тока?

23. По каким формулам определяют к. п. д. генератора и двигателя постоянного тока? При какой нагрузке к. п. д. достигает максимума?

24. К двигателю с параллельным возбуждением подведено напряжение 220 В. Чему равна подводимая мощность, если ток якоря равен 25 А, а сопротивление обмотки возбуждения 80 Ом? О т в е т: 6,1 кВт.

25. Ток в цепи якоря двигателя с последовательным возбуждением равен 20 А. Найдите противо-э. д. с., наводимую в якоре, электромагнитную мощность и подводимую к двигателю мощность, если сопротивление обмотки якоря 0,5 Ом, обмотки возбуждения 1,5 Ом, а напряжение на выводах двигателя 440 В. О т в е т: 400 В; 8 кВт; 8,8 кВт.

26. Найдите сопротивление обмотки якоря двигателя с параллельным возбуждением, если наибольшее сопротивление пускового реостата равно 5 Ом, а ток в момент пуска составил 20 А при напряжении сети 110 В. О т в е т: 0,5 Ом.

27. Постройте механическую характеристику двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением, если известны его номинальные данные:  $P_{\text{ном}}=70$  кВт;  $n_{\text{ном}}=950$  об/мин;  $U_{\text{ном}}=440$  В;  $I_{\text{а. ном}}=180$  А,  $R_{\text{а}}=0,135$  Ом.

### *Тема 1.10. Электропривод и аппаратура управления*

Понятие об электроприводе. Режимы работы электродвигателей. Выбор мощности электродвигателя при продолжительной работе с постоянной нагрузкой. Пускорегулирующая аппаратура управления электродвигателями и защитная аппаратура. Релейно-контакторное управление. Магнитный пускатель, его схема и работа. Разбор простейших схем релейно-контакторного управления различными электродвигателями.

*Лабораторная работа 11.* Сборка и проверка работы схем релейно-контакторного управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Какой режим работы двигателя называют продолжительным, кратковременным и повторно-кратковременным? Начертите диаграммы работы двигателя в этих режимах.
2. Как определить мощность двигателя при продолжительном режиме работы с постоянной и переменной нагрузками?
3. Перечислите пускорегулирующие аппараты для управления электродвигателями. Поясните их назначение и устройство.
4. Начертите схему включения пускового реостата в цепь ротора асинхронного двигателя.
5. Как устроены предохранители типов ПР-2, ПН-2 и НПН?
6. Каково назначение автоматов в сетях до 1000 В? Как устроены их максимальный и тепловой расцепители?
7. Поясните назначение, устройство и работу электромагнитного контактора. Для какой цели служит короткозамкнутый виток?
8. Начертите схему магнитного пускателя с кнопками управления. Каково назначение блокировочного контакта?
9. Как включить двигатель после срабатывания тепловой защиты?
10. Каково назначение реле защиты и реле управления? Что называют током срабатывания и током отпускания реле?
11. Поясните устройство реле электромагнитного типа с поворотным якорем и теплового реле.
12. Начертите схему управления конвейерной линией с тремя конвейерами. Схема должна осуществлять определенную последовательность пуска конвейера в направлении, обратном перемещению деталей.

### *Тема 1.11. Передача и распределение электрической энергии*

Современные схемы электроснабжения промышленных предприятий от энергетической системы. Назначение и устройство трансформаторных подстанций и распределительных пунктов. Электрические сети промышленных предприятий: воздушные, кабельные, внутренние электрические сети и распределительные пункты. Наиболее распространенные марки проводов и кабелей. Защитное заземление, назначение, устройство, контроль состояния. Примерный расчет распределительных сетей 380/220 В производственной электроустановки.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что называют энергетической системой? Каковы преимущества объединения отдельных электрических станций в общую систему?

2. Начертите схему передачи электрической энергии от электрической станции до потребителя.

3. Начертите схему распределения электрической энергии на вашем предприятии.

4. Почему в последнее время широкое распространение получили комплектные шинопроводы? Каковы их особенности?

5. Чем отличается трансформаторная подстанция от распределительного пункта?

6. Расскажите по чертежу, приведенному в учебнике на рис. 12.6, устройство цеховой трансформаторной подстанции.

7. Какие способы прокладки проводов и кабелей в цеховых сетях вам известны?

8. Расшифруйте условные обозначения проводов и кабелей: АПР-500; ПРД; ААБГ; АВВГ; ААБ.

9. Как выбирают сечение проводника по допускаемой токовой нагрузке и потере напряжения?

10. Как выполняют заземляющее устройство на предприятии? Поясните принцип его действия.

11. Как ведется осмотр заземляющего устройства и измерение его сопротивления? Чему должно быть равно сопротивление цехового заземления?

## Методические указания к выполнению контрольной работы 1

### *Методические указания к решению задачи 1*

Решение этой задачи требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого закона Кирхгофа и методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов. Содержание задачи и схемы цепей с соответствующими данными приведены в условии и табл. 3. Перед решением задачи рассмотрите типовой пример 1.

**Пример 1.** Для схемы, приведенной на рис. 1, определить эквивалентное сопротивление цепи  $R_{AB}$ , токи в каждом резисторе и напря-



жение  $U_{AB}$ , приложенное к цепи. Заданы сопротивления резисторов  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  и ток  $I_4$  в резисторе  $R_4$ . Как изменятся токи в резисторах при: а) замыкании рубильника  $P1$ , б) расплавлении вставки предохранителя  $\Pi p4$ . В обоих случаях напряжение  $U_{AB}$  остается неизменным.

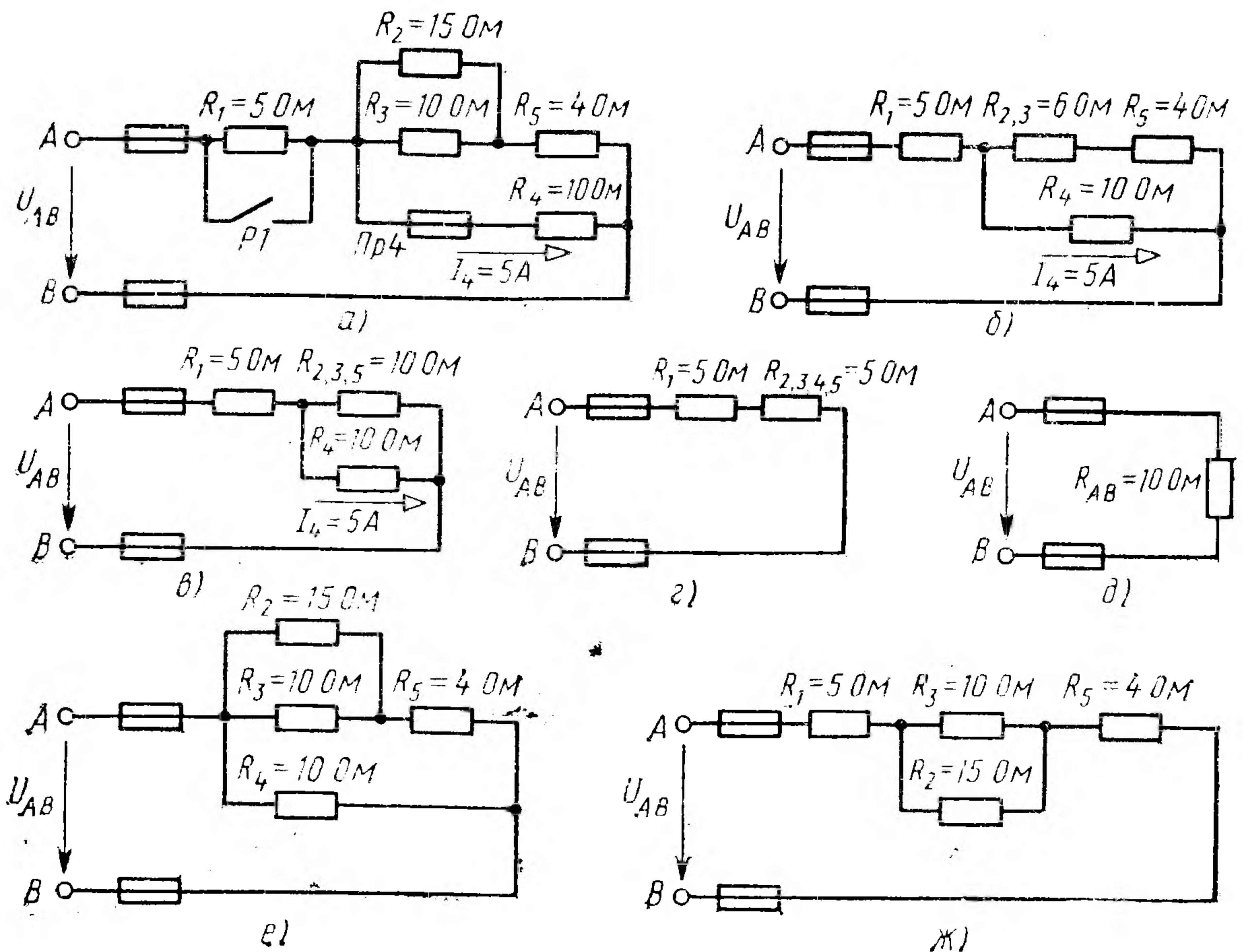


Рис. 1

**Решение.** Задача относится к теме «Электрические цепи постоянного тока». После усвоения условия задачи проводим поэтапное решение, предварительно обозначив стрелкой направление тока в каждом резисторе. Индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

1. Определяем общее сопротивление разветвления  $R_2, R_3$ . Резисторы соединены параллельно, поэтому

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = 6 \text{ Ом.}$$

Теперь схема цепи принимает вид, показанный на рис. 1, б.

2. Резисторы  $R_{2,3}$  и  $R_5$  соединены последовательно, их общее сопротивление

$$R_{2,3,5} = R_{2,3} + R_5 = 6 + 4 = 10 \text{ Ом.}$$

Соответствующая схема приведена на рис. 1, в.

3. Резисторы  $R_2, 3, 5$  и  $R_4$  соединены параллельно, их общее сопротивление

$$R_{2, 3, 4, 5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом.}$$

Теперь схема цепи имеет вид, приведенный на рис. 1, з.

4. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{AB} = R_1 + R_{2, 3, 4, 5} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом. (рис. 1, д).}$$

5. Зная силу тока  $I_4$ , находим напряжение на резисторе  $R_4$ :

$$U_4 = I_4 R_4 = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В.}$$

Это же напряжение приложено к резисторам  $R_2, 3 + R_5$  (рис. 1, б). Поэтому ток в резисторе  $R_5$

$$I_5 = \frac{U_4}{R_{2, 3} + R_5} = \frac{50}{6 + 4} = 5 \text{ А.}$$

6. Находим падение напряжения на резисторе  $R_5$ :

$$U_5 = I_5 R_5 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В.}$$

Поэтому напряжение на резисторах  $R_2, 3$ ,

$$U_{2, 3} = U_4 - U_5 = 50 - 20 = 30 \text{ В.}$$

7. Определяем токи в резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

$$I_2 = U_{2, 3} / R_2 = 30 / 15 = 2 \text{ А; } I_3 = U_{2, 3} / R_3 = 30 / 10 = 3 \text{ А.}$$

Применяя первый закон Кирхгофа, находим ток в резисторе  $R_1$ :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 2 + 3 + 5 = 10 \text{ А.}$$

8. Вычисляем падение напряжения на резисторе  $R_1$ :

$$U_1 = I_1 R_1 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ В.}$$

9. Находим напряжение  $U_{AB}$ , приложенное ко всей цепи:

$$U_{AB} = I_1 R_{AB} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ В или } U_{AB} = U_1 + U_4 = 50 + 50 = 100 \text{ В.}$$

10. При включении рубильника  $PI$  сопротивление  $R_1$  замыкается накоротко и схема цепи имеет вид, показанный на рис. 1, е. Эквивалентное сопротивление цепи в этом случае

$$R'_{AB} = R_{2, 3, 4, 5} = 5 \text{ Ом.}$$

Поскольку напряжение  $U_{AB}$  остается равным 100 В, можно найти токи в резисторах  $R_4$  и  $R_5$ :

$$I_4 = U_{AB} / R_4 = 100 / 10 = 10 \text{ А; } I_5 = U_{AB} / (R_{2, 3} + R_5) = 100 / (6 + 4) = 10 \text{ А.}$$

Определим падение напряжения на резисторе  $R_5$

$$U_5 = I_5 R_5 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В.}$$

Поэтому напряжение на резисторах  $R_2, R_3$

$$U_{2, 3} = U_{AB} - U_5 = 100 - 40 = 60 \text{ В.}$$

Теперь можно найти токи в резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

$$I_2 = U_{2, 3} / R_2 = 60 / 15 = 4 \text{ А; } I_3 = U_{2, 3} / R_3 = 60 / 10 = 6 \text{ А.}$$

Проверим правильность вычисления токов, используя первый закон Кирхгофа:

$$I = I_2 + I_3 + I_4 = 4 + 6 + 10 = 20 \text{ А.}$$

Однако

$$I = U_{AB}/R_{2,3,4,5} = 100/5 = 20 \text{ А.}$$

Таким образом, задача решена верно.

11. При расплавлении предохранителя *Пр4* резистор  $R_4$  выключается и схема принимает вид, показанный на рис. 1, ж.

Вычисляем эквивалентное сопротивление схемы:

$$R''_{AB} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_5 = 5 + \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} + 4 = 15 \text{ Ом.}$$

Поскольку напряжение  $U_{AB}$  остается неизменным, находим токи  $I_1$  и  $I_5$ :

$$I_1 = I_5 = U_{AB}/R_{AB} = 100/15 = 6,67 \text{ А.}$$

Напряжение на резисторах  $R_2, R_3$

$$U_{2,3} = I_1 R_{2,3} = 6,67 \cdot 6 = 40 \text{ В.}$$

Находим токи  $I_2, I_3$ :

$$I_2 = U_{2,3}/R_2 = 40/15 = 2,67 \text{ А; } I_3 = U_{2,3}/R_3 = 40/10 = 4 \text{ А.}$$

Сумма этих токов равна току  $I_1$ :

$$I_1 = I_2 + I_3 = 2,67 + 4 = 6,67 \text{ А.}$$

### Методические указания к решению задач 2, 3, 4

Эти задачи относятся к неразветвленным и разветвленным цепям переменного тока. Перед их решением изучите материал тем 1.4, 1.5, ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовые примеры 2, 3, 4.

**Пример 2.** Активное сопротивление катушки  $R_K = 6 \text{ Ом}$ , индуктивное  $x_L = 10 \text{ Ом}$ . Последовательно с катушкой включено активное сопротивление  $R = 2 \text{ Ом}$  и конденсатор сопротивлением  $x_C = 4 \text{ Ом}$  (рис. 2, а). К цепи приложено напряжение  $U = 50 \text{ В}$  (действующее значение). Определить: 1) полное сопротивление цепи; 2) ток; 3) коэффициент мощности; 4) активную, реактивную и полную мощности; 5) напряжения на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе векторную диаграмму цепи.

**Решение.** 1. Определяем полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_K + R)^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Определяем ток:

$$I = U/z = 50/10 = 5 \text{ А.}$$

3. Определяем коэффициент мощности цепи:

$$\sin \varphi = \frac{x_L - x_C}{z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6;$$

по таблицам Брадиса находим  $\varphi = 36^\circ 50'$ . Угол сдвига фаз  $\varphi$  находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией).

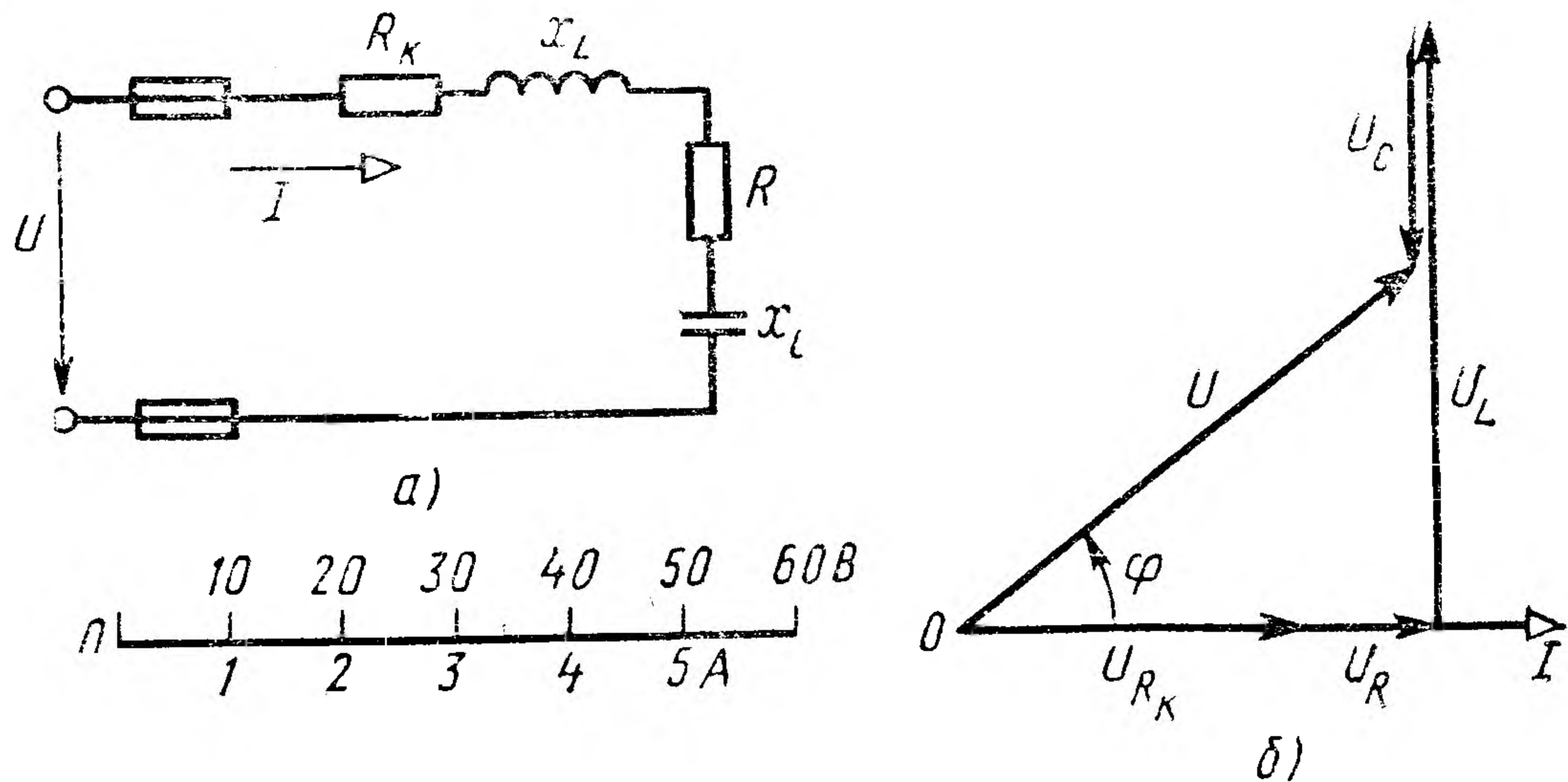


Рис. 2

4. Определяем активную мощность цепи:

$$P = I^2 (R_K + R) = 5^2 (6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

или

$$P = U I \cos \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,8 = 200 \text{ Вт.}$$

Здесь  $\cos \varphi = \frac{R_K + R}{z} = \frac{6 + 2}{10} = 0,8.$

5. Определяем реактивную мощность цепи:

$$Q = I^2 (x_L - x_C) = 5^2 (10 - 4) = 150 \text{ вар}$$

или

$$Q = U I \sin \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,6 = 150 \text{ вар.}$$

6. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ В} \cdot \text{А}$$

или

$$S = U I = 50 \cdot 5 = 250 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R_K} = I R_K = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В}; \quad U_L = I x_L = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В}; \quad U_R = I R = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В}; \quad U_C = I x_C = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В.}$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся масштабом по току: в 1 см — 1,0 А и масштабом по напряжению: в 1 см — 10 В. Построение векторной диаграммы (рис. 2, б) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе  $\frac{5 \text{ А}}{1 \text{ А/см}} = 5 \text{ см.}$



Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях  $U_{R_K}$  и  $U_R$ :

$$\frac{30 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 3 \text{ см}; \quad \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 1 \text{ см}.$$

Из конца вектора  $U_R$  откладываем в сторону опережения вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения  $U_L$  на индуктивном сопротивлении длиной  $\frac{50 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 5 \text{ см}$ . Из конца вектора  $U_L$  откладываем в сторону отставания от вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения на конденсаторе  $U_C$  длиной  $\frac{20 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 2 \text{ см}$ . Геометрическая сумма векторов  $U_{R_K}$ ,  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$  равна полному напряжению  $U$ , приложенному к цепи.

**Пример 3.** На рис. 3, а задана векторная диаграмма для неразветвленной цепи, ток  $I$  и падения напряжений на каждом сопротивлении

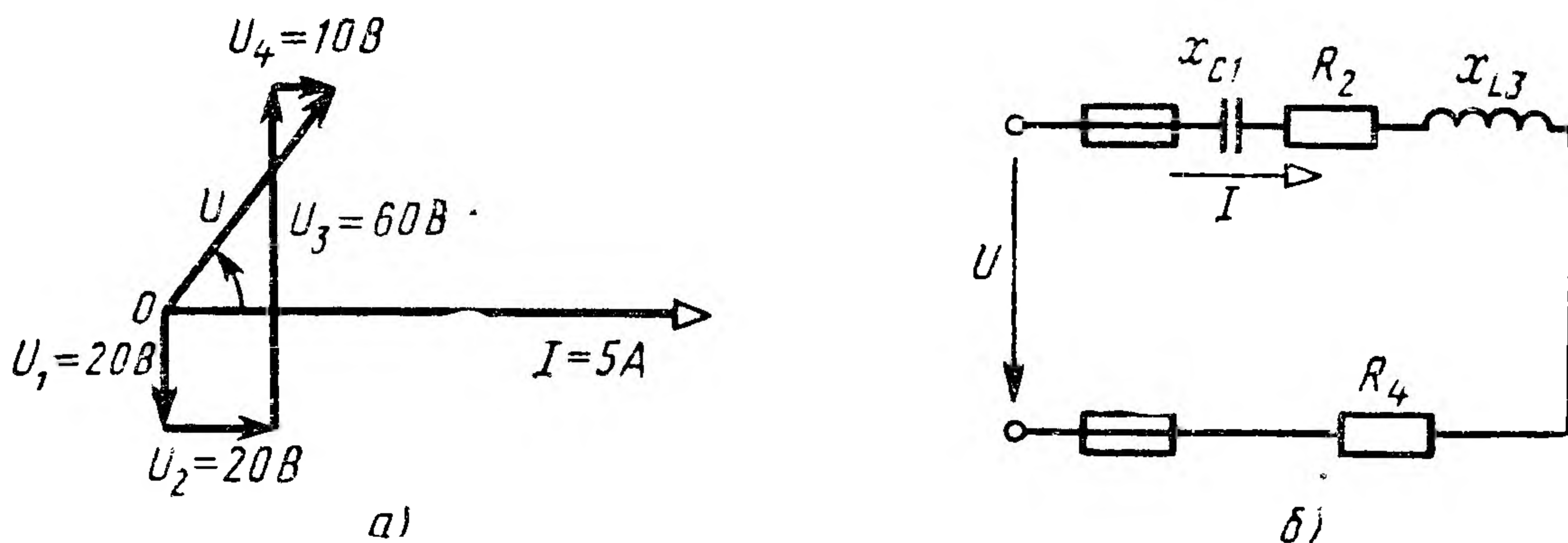


Рис. 3

( $U_1$ ,  $U_2$  и т. д.). Определить характер и величину каждого сопротивления, начертить эквивалентную схему цепи, вычислить приложенное напряжение и угол сдвига фаз  $\varphi$ .

**Решение.** 1. Из векторной диаграммы следует, что напряжение  $U_1$  отстает от тока на угол  $90^\circ$ . Следовательно, на первом участке включен конденсатор, сопротивление которого

$$x_{C1} = U_1/I = 20/5 = 4 \text{ Ом}.$$

Вектор напряжения на втором участке  $U_2$  направлен параллельно вектору тока, т. е. совпадает с ним по фазе. Значит, на втором участке включено активное сопротивление

$$R_2 = U_2/I = 20/5 = 4 \text{ Ом}.$$

Вектор напряжения на третьем участке  $U_3$  опережает вектор тока на угол  $90^\circ$ , что характерно для индуктивности, сопротивление которой

$$x_{L3} = U_3/I = 60/5 = 12 \text{ Ом}.$$

На четвертом участке включено активное сопротивление

$$R_4 = U_4/I = 10/5 = 2 \text{ Ом}.$$

Эквивалентная схема цепи приведена на рис. 3, б.

2. Из векторной диаграммы определяем значение приложенного напряжения и угол сдвига фаз:

$$U = \sqrt{(U_2 + U_4)^2 + (U_3 - U_1)^2} = \sqrt{(20 + 10)^2 + (60 - 20)^2} = 50 \text{ В};$$

$$\sin \varphi = \frac{U_3 - U_1}{U} = \frac{60 - 20}{50} = 0,8; \quad \varphi = 53^\circ 10'.$$

**Пример 4.** Катушка с активным сопротивлением  $R_1 = 6 \text{ Ом}$  и индуктивным  $x_{L1} = 8 \text{ Ом}$  соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого  $x_{C2} = 10 \text{ Ом}$  (рис. 4, а). Определить: 1) токи в ветвях и в неразветвленной части цепи; 2) активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи; 3) полную мощность цепи; 4) углы

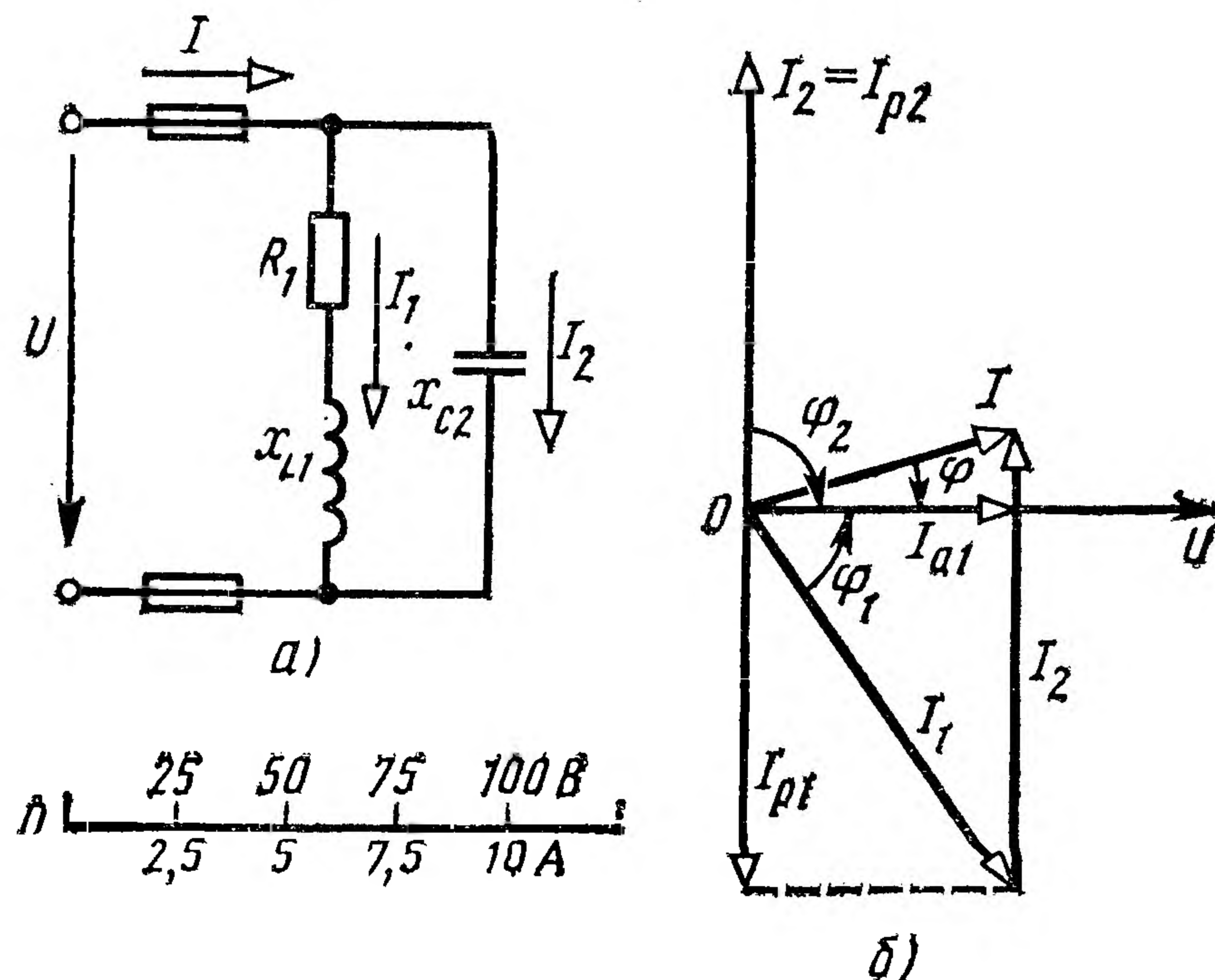


Рис. 4

сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. К цепи приложено напряжение  $U = 100 \text{ В}$ .

**Решение.** 1. Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + x_{L1}^2}} = \frac{100}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 10 \text{ А};$$

$$I_2 = U / x_{C2} = 100 / 10 = 10 \text{ А}.$$

2. Углы сдвига фаз в ветвях находим по синусам углов во избежание потери знака угла:

$$\sin \varphi_1 = \frac{x_{L1}}{z_1} = \frac{8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 0,8; \quad \varphi = 53^\circ 10'.$$

Так как  $\varphi_1 > 0$ , то напряжение опережает ток,  $\sin \varphi_2 = -x_{C2} / z_2 = -10 / 10 = -1,0$ ;  $\varphi_2 = -90^\circ$ , т. е. напряжение отстает от тока, так как  $\varphi_2 < 0$ . По таблицам Брадиса находим  $\cos \varphi_1 = \cos 53^\circ 10' = 0,6$ ;  $\cos \varphi_2 = 0$ .

3. Определяем активные и реактивные составляющие токов в ветвях:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= I_1 \cos \varphi_1 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ A}; & I_{p1} &= \\ &= I_1 \sin \varphi_1 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ A}; & I_{a2} &= 0; \\ I_{p2} &= 10 (-1,0) = -10 \text{ A}. \end{aligned}$$

4. Определяем ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2} = \sqrt{(6 + 0)^2 + (8 - 10)^2} = 6,33 \text{ A}.$$

5. Определяем коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} = \frac{6 + 0}{6,33} = 0,95.$$

6. Определяем активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи:

$$\begin{aligned} P_1 &= U I_1 \cos \varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ Вт}; \\ P_2 &= 0; & P &= P_1 + P_2 = 600 \text{ Вт}; \\ Q_1 &= U I_1 \sin \varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ вар}; \\ Q_2 &= U I_2 \sin \varphi_2 = 100 \cdot 10 (-1,0) = -1000 \text{ вар}; \\ Q &= Q_1 + Q_2 = 800 - 1000 = -200 \text{ вар}. \end{aligned}$$

**Внимание!** Реактивная мощность ветви с емкостью отрицательная, так как  $\varphi_2 < 0$ .

7. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 200^2} = 633 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Ток в неразветвленной части цепи можно определить значительно проще, без разложения токов на составляющие, зная полную мощность цепи и напряжение:

$$I = S/U = 633/100 = 6,33 \text{ A}.$$

8. Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току: в 1 см — 2,5 А и масштабом по напряжению: в 1 см — 25 В. Построение начинаем с вектора напряжения  $\mathbf{U}$  (рис. 4, б). Под углом  $\varphi_1$  к нему (в сторону отставания) откладываем в масштабе вектор тока  $\mathbf{I}_1$ , под углом  $\varphi_2$  (в сторону опережения) — вектор тока  $\mathbf{I}_2$ . Геометрическая сумма этих токов равна току в неразветвленной части цепи. На диаграмме показаны также проекции векторов токов на вектор напряжения (активная составляющая  $\mathbf{I}_{a1}$ ) и вектор, перпендикулярный ему (реактивные составляющие  $\mathbf{I}_{p1}$  и  $\mathbf{I}_{p2}$ ). При отсутствии конденсатора реактивная мощность первой ветви не компенсировалась бы и ток в цепи увеличился бы до  $I = I_1 = 10 \text{ A}$ .

#### *Методические указания к решению задач 5—14*

Решение задач этой группы требует знания учебного материала темы 1.6, отчетливого представления об особенностях соединения источников и потребителей в звезду и треугольник, соотношениях между

линейными и фазными величинами при таких соединениях, а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Содержание задач и схемы цепей приведены в условиях задач, а данные к ним — в соответствующих таблицах. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрены типовые примеры 5—10.

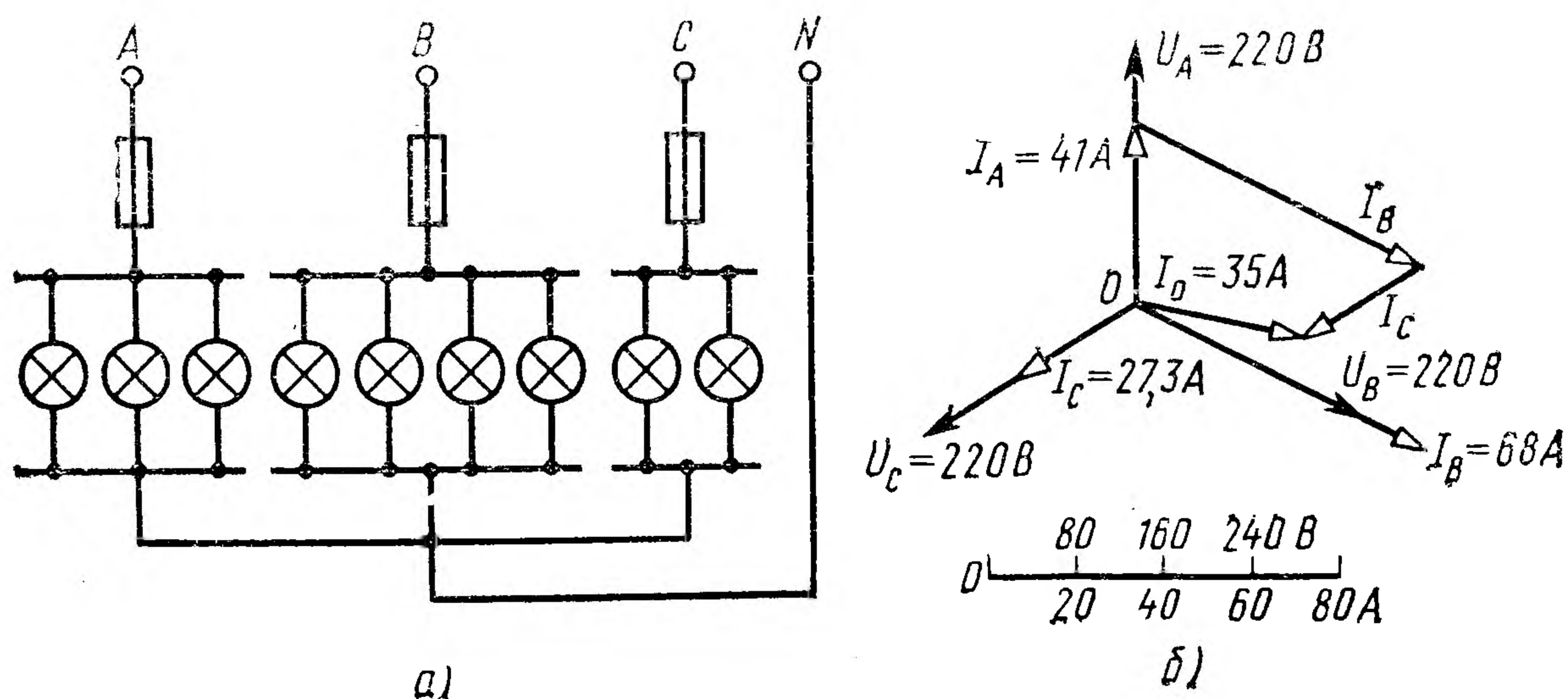


Рис. 5

**Пример 5.** В трехфазную четырехпроводную сеть включены звездой лампы накаливания мощностью  $P=300$  Вт каждая. В фазу  $A$  включили 30 ламп, в фазу  $B$  — 50 ламп и в фазу  $C$  — 20 ламп. Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}}=380$  В (рис. 5, а). Определить токи в фазах и начертить векторную диаграмму цепи, из которой найти числовое значение тока в нулевом проводе.

**Решение.** 1. Определяем фазные напряжения установки:

$$U_A = U_B = U_C = U_{\text{ном}} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В.}$$

2. Находим фазные токи:

$$I_A = P_{\text{ф}A} / U_A = \frac{300 \cdot 30}{220} = 41 \text{ А; } I_B = P_{\text{ф}B} / U_B = \frac{300 \cdot 50}{220} = 68 \text{ А;}$$

$$I_C = P_{\text{ф}C} / U_C = \frac{300 \cdot 20}{220} = 27,3 \text{ А.}$$

3. Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см — 20 А и по напряжению: 1 см — 80 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  (рис. 5, б), располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга. Чередование фаз обычное: за фазой  $A$  — фаза  $B$ , за фазой  $B$  — фаза  $C$ . Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе  $A$  ток  $I_A=41$  А, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна  $41/20=2,05$  см. Длина вектора фазного напряжения  $U_A$  составит  $220/80=2,75$  см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в



остальных фазах. Ток  $I_0$  в нулевом проводе является геометрической суммой всех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$  в нулевом проводе, получаем 1,75 см, поэтому  $I_0 = 1,75 \cdot 20 = 35$  А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

**Пример 6.** В трехфазную четырехпроводную сеть включили звездой несимметричную нагрузку: в фазу  $A$  — конденсатор с емкостным сопротивлением  $x_A = 10$  Ом; в фазу  $B$  — активное сопротивление  $R_B = 8$  Ом и индуктивное  $x_B = 6$  Ом, в фазу  $C$  — активное сопротивление

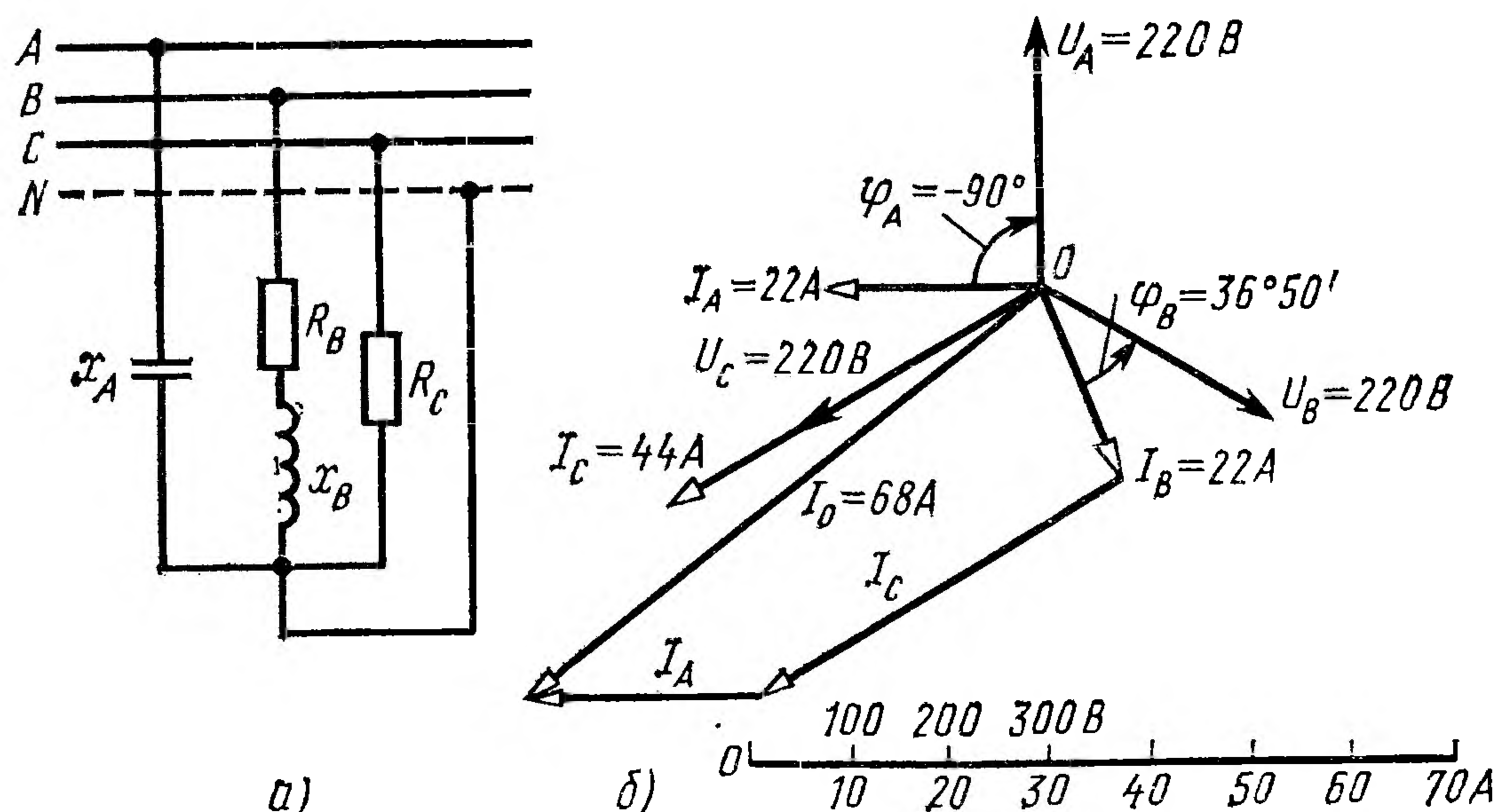


Рис. 6

$R_C = 5$  Ом. Линейное напряжение сети  $U_{ном} = 380$  В. Определить фазные токи, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и найти графически ток в нулевом проводе. Схема цепи дана на рис. 6, а.

**Решение.** 1. Определяем фазные напряжения установки

$$U_A = U_B = U_C = U_{ном} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В.}$$

2. Находим фазные токи

$$I_A = U_A / x_A = 220 / 10 = 22 \text{ А; } I_B = U_B / z_B = 220 / 10 = 22 \text{ А.}$$

$$\text{Здесь } z_B = \sqrt{R_B^2 + x_B^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом;}$$

$$I_C = U_C / R_C = 220 / 5 = 44 \text{ А.}$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см — 10 А и по напряжению: 1 см — 100 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$  и  $U_C$ , располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис. 6, б). Ток  $I_A$  опережает напряжение  $U_A$  на угол  $90^\circ$ ; ток  $I_B$  отстает от напряжения  $U_B$  на угол  $\varphi_B$ , который определяется из выражения

$$\cos \varphi_B = \frac{R_B}{z_B} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 0,8; \quad \varphi_B = 36^\circ 50'.$$

Ток  $I_C$  совпадает с напряжением  $U_C$ . Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$ , которая оказалась равной 6,8 см, находим ток  $I_0 = 68$  А.

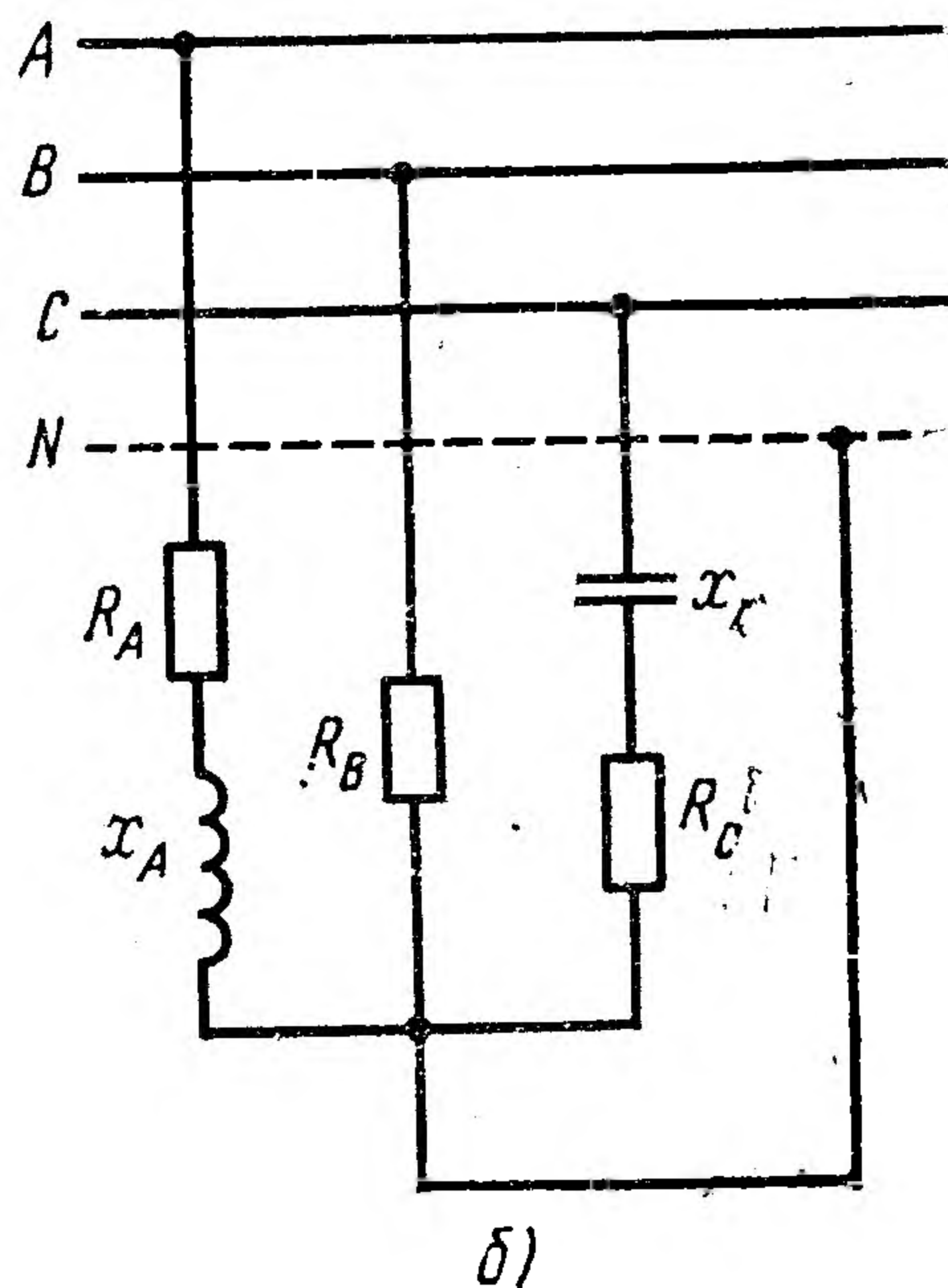
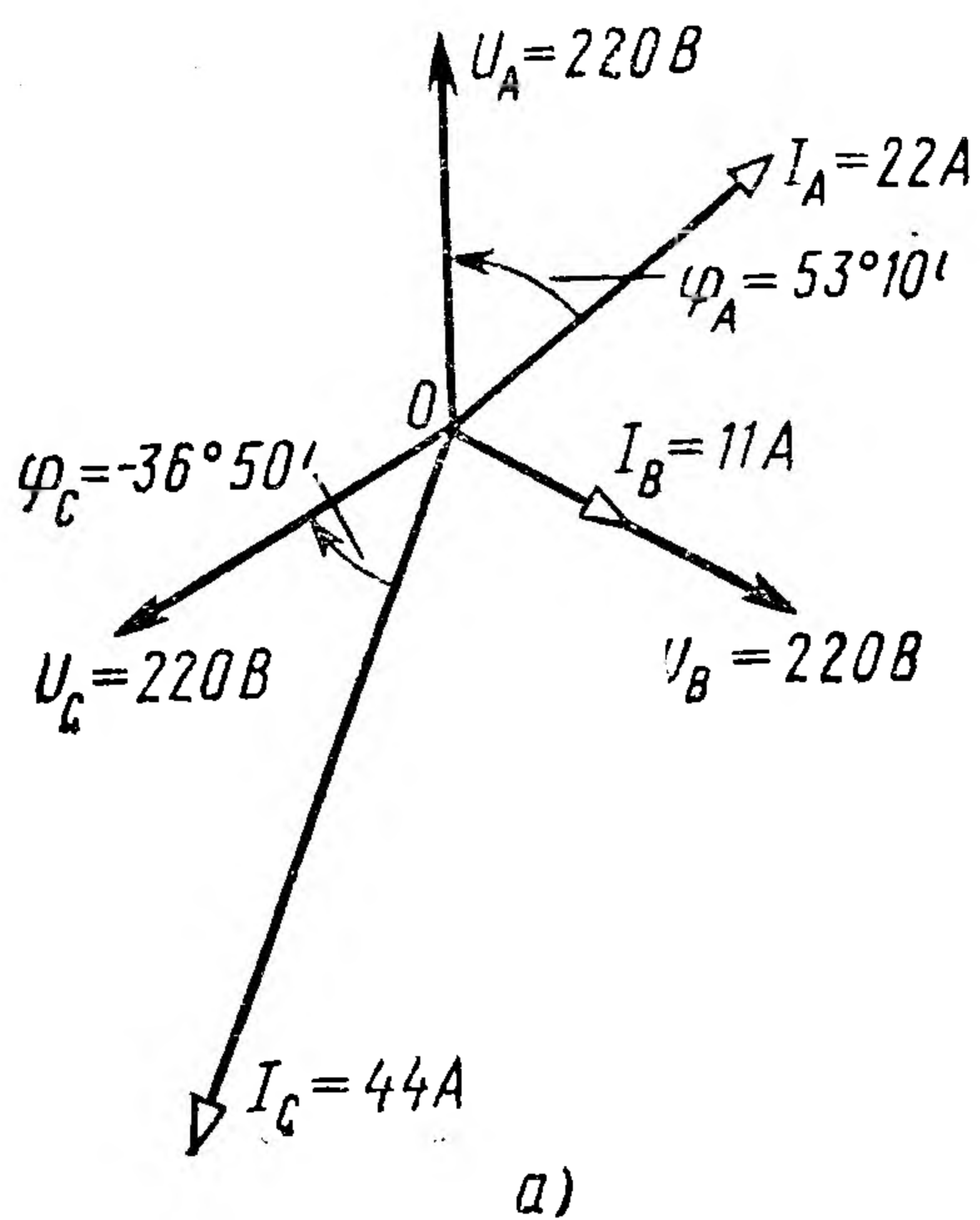


Рис. 7

**Пример 7.** По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис. 7, а) определить характер нагрузки каждой фазы и вычислить ее сопротивление. Начертить соответствующую схему цепи. Нагрузка включена в звезду. Определить активную и реактивную мощности, потребляемые цепью. Значения напряжений, токов и фазных углов приведены на диаграмме. Векторы линейных напряжений не показаны.

**Решение.** 1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заметить, что ток в фазе А отстает от фазного напряжения  $U_A$  на угол  $\varphi_A = 53^\circ 10'$ , значит в фазу А включена катушка с полным сопротивлением  $z_A = U_A / I_A = 220 / 22 = 10$  Ом. Ее активное и индуктивное сопротивления вычисляем по формулам

$$R_A = z_A \cos \varphi_A = 10 \cos 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ Ом};$$

$$x_A = z_A \sin \varphi_A = 10 \sin 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ Ом}.$$

В фазе В ток  $I_B$  совпадает с напряжением  $U_B$ , значит в фазу В включено активное сопротивление

$$R_B = U_B / I_B = 220 / 11 = 20 \text{ Ом}.$$

В фазе С ток  $I_C$  опережает напряжение  $U_C$  на угол  $\varphi_C = -36^\circ 50'$ , значит в фазу С включены конденсатор и активное сопротивление. Полное сопротивление фазы

$$z_C = U_C / I_C = 220 / 44 = 5 \text{ Ом}.$$

Определим активное и емкостное сопротивления:

$$R_C = z_C \cos \varphi_C = 5 \cos -36^\circ 50' = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом};$$

$$x_C = z_C \sin \varphi_C = 5 \sin -36^\circ 50' = -5 \cdot 0,6 = -3 \text{ Ом}.$$

Схема цепи приведена на рис. 7, б.

2. Определяем мощности, потребляемые цепью. Активная мощность

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C = \\ = 22^2 \cdot 6 + 11^2 \cdot 20 + 44^2 \cdot 4 = 13\,068 \text{ Вт} = 13,068 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность

$$Q = Q_A - Q_C = I_A^2 x_A - I_C^2 x_C = 22^2 \cdot 8 - 44^2 \cdot 3 = -9680 \text{ вар} = \\ = -9,68 \text{ квар.}$$

Знак минус показывает, что в цепи преобладает емкость.

**Пример 8.** В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис. 8, а): в фазу  $AB$  — конденсатор с емкостным сопротивлением  $x_{AB} = 10 \text{ Ом}$ ; в фазу  $BC$  — катушку с активным сопротивлением  $R_{BC} = 4 \text{ Ом}$  и индуктивным  $x_{BC} = 3 \text{ Ом}$ ; в фазу  $CA$  — активное

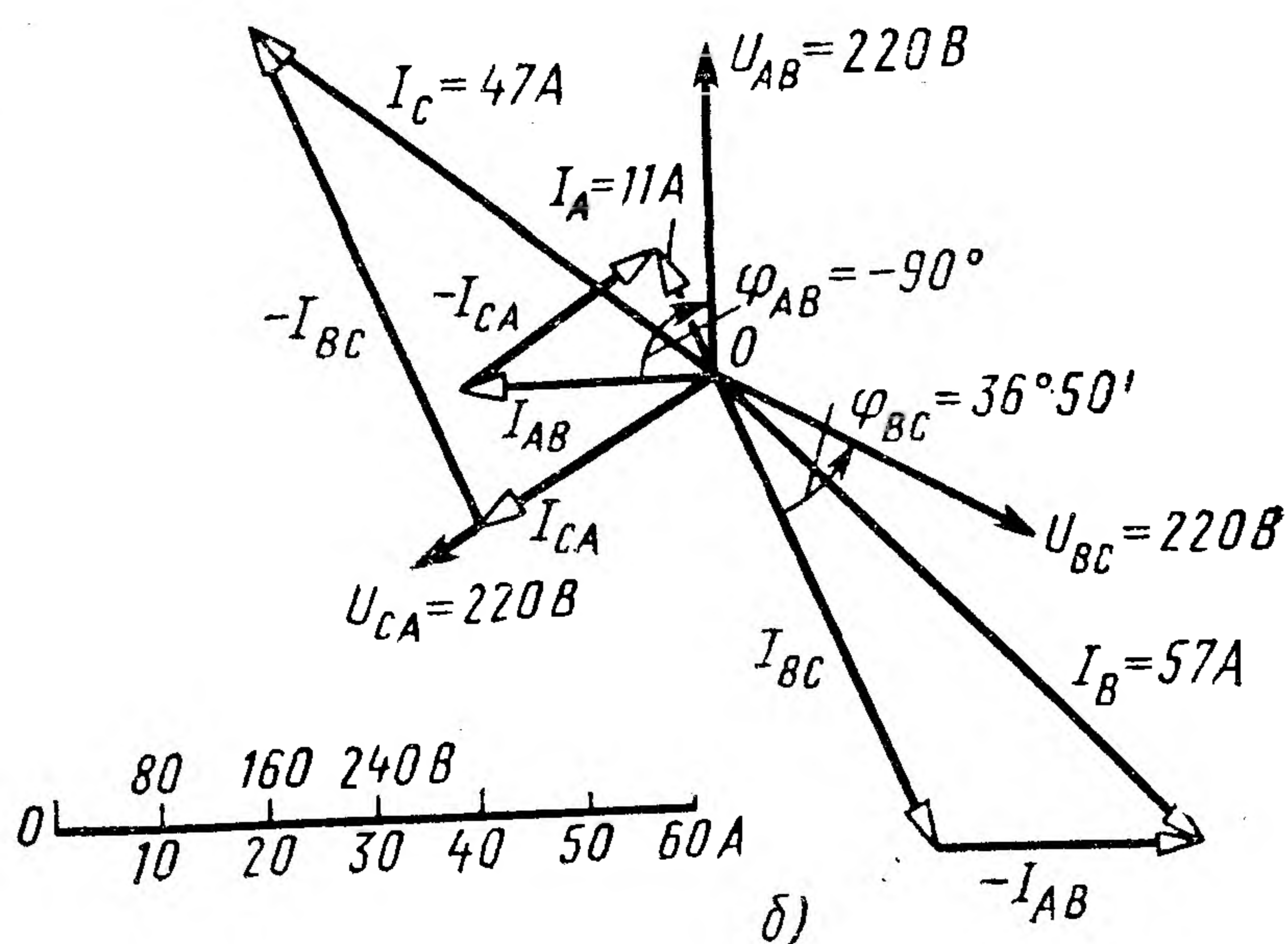
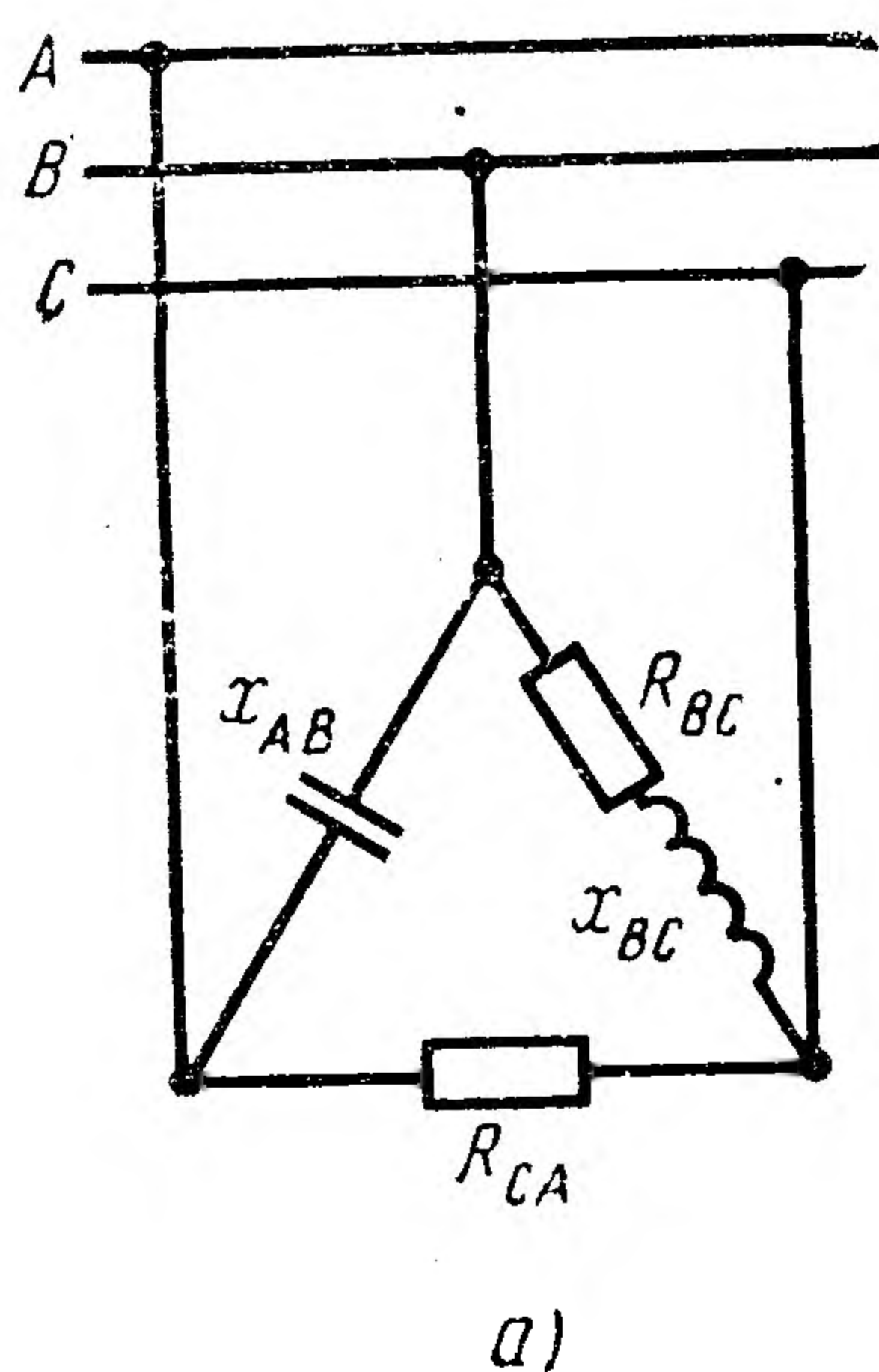


Рис. 8

сопротивление  $R_{CA} = 10 \text{ Ом}$ . Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ . Определить фазные токи, углы сдвига фаз и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовые значения линейных токов.

**Решение 1.** Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_{AB} = U_{\text{ном}} / x_{AB} = 220 / 10 = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{AB} = -90^\circ;$$

$$I_{BC} = \frac{U_{\text{ном}}}{z_{BC}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{BC}^2 + x_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 44 \text{ А};$$

$$\cos \varphi_{BC} = R_{BC} / z_{BC} = 4 / 5 = 0,8, \text{ где } z_{BC} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом.}$$

Отсюда угол  $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ .

$$I_{CA} = U_{\text{ном}} / R_{CA} = 220 / 10 = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{CA} = 0.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1 см — 10 А, по напряжению: 1 см — 80 В. Затем в принятом масштабе



откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис. 8, б). Под углом  $\varphi_{AB} = -90^\circ$  к вектору напряжения  $U_{AB}$  откладываем вектор тока  $I_{AB}$ ; в фазе BC вектор тока  $I_{BC}$  должен отставать от вектора напряжения  $U_{BC}$  на угол  $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ , а в фазе CA вектор тока  $I_{CA}$  совпадает с вектором напряжения  $U_{CA}$ . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = I_{AB} + (-I_{CA}); I_B = I_{BC} + (-I_{AB}); I_C = I_{CA} + (-I_{BC}).$$

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь принятым масштабом, находим значения линейных токов:

$$I_A = 11 \text{ A}; I_B = 57 \text{ A}; I_C = 47 \text{ A}.$$

**Пример 9.** По векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис. 9, а) определить характер нагрузки в каждой фазе, вычислить ее сопротивление

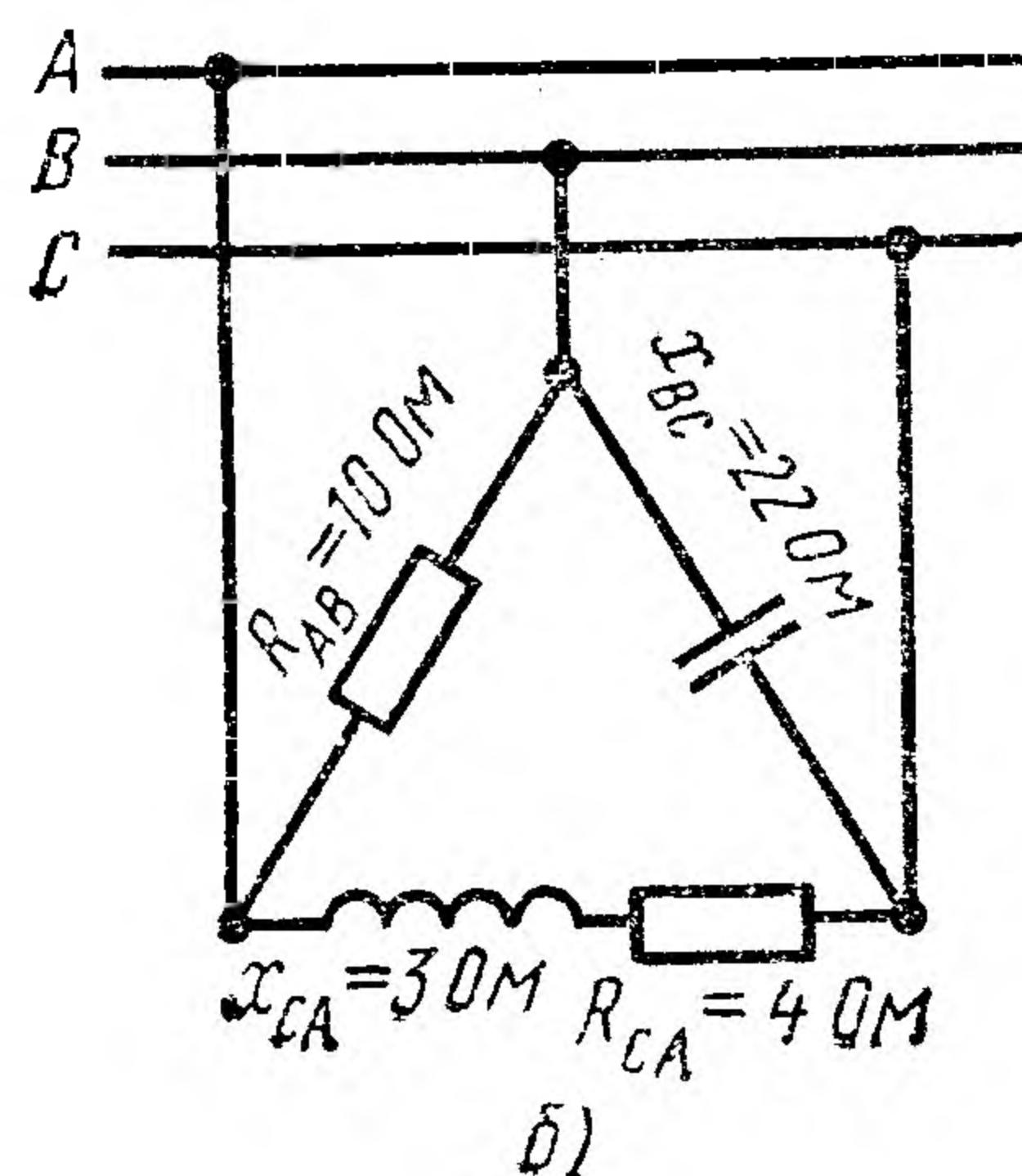
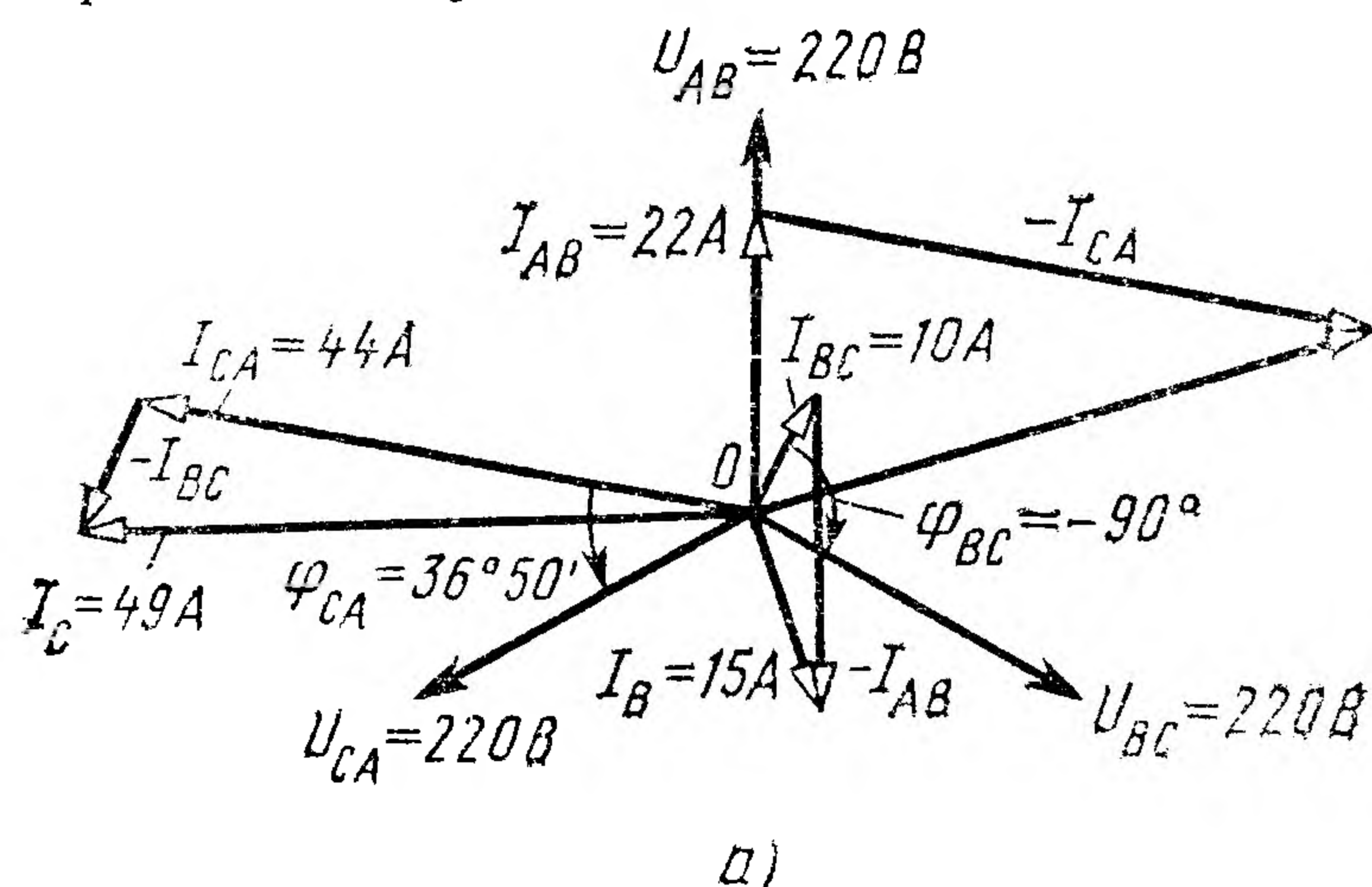


Рис. 9

ние и начертить схему включения. Нагрузка несимметричная, соединена в треугольник. Значения напряжений, фазных токов и углов сдвига фаз указаны на диаграмме.

**Решение.** 1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заключить, что ток  $I_{AB}$  в фазе AB совпадает с напряжением  $U_{AB}$ , значит в фазу AB включено активное сопротивление

$$R_{AB} = U_{AB} / I_{AB} = 220 / 22 = 10 \text{ Ом}.$$

В фазе BC ток  $I_{BC}$  опережает напряжение на угол  $\varphi_{BC} = -90^\circ$ , значит в фазу BC включено емкостное сопротивление

$$X_{BC} = U_{BC} / I_{BC} = 220 / 10 = 22 \text{ Ом}.$$

В фазе CA ток  $I_{CA}$  отстает от напряжения  $U_{CA}$  на угол  $\varphi_{CA} = 36^\circ 50'$ , значит в фазу CA включено активно-индуктивное сопротивление

$$Z_{CA} = U_{CA} / I_{CA} = 220 / 44 = 5 \text{ Ом}.$$

Очевидно,

$$R_{CA} = Z_{CA} \cos \varphi_{CA} = 5 \cos 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{CA} = Z_{CA} \sin \varphi_{CA} = 5 \sin 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ Ом}.$$

2. На основании вычислений чертим схему цепи (рис. 9, б).

**Пример 10.** В трехфазную четырехпроводную сеть включены печь сопротивления, представляющая собой симметричную нагрузку, соединенную треугольником, и несимметричная осветительная нагрузка в виде ламп накаливания, соединенных звездой (рис. 10, а). Мощность каждой фазы печи  $P_{\text{п}} = 10$  кВт. Мощность каждой лампы  $P_{\text{л}} = 200$  Вт

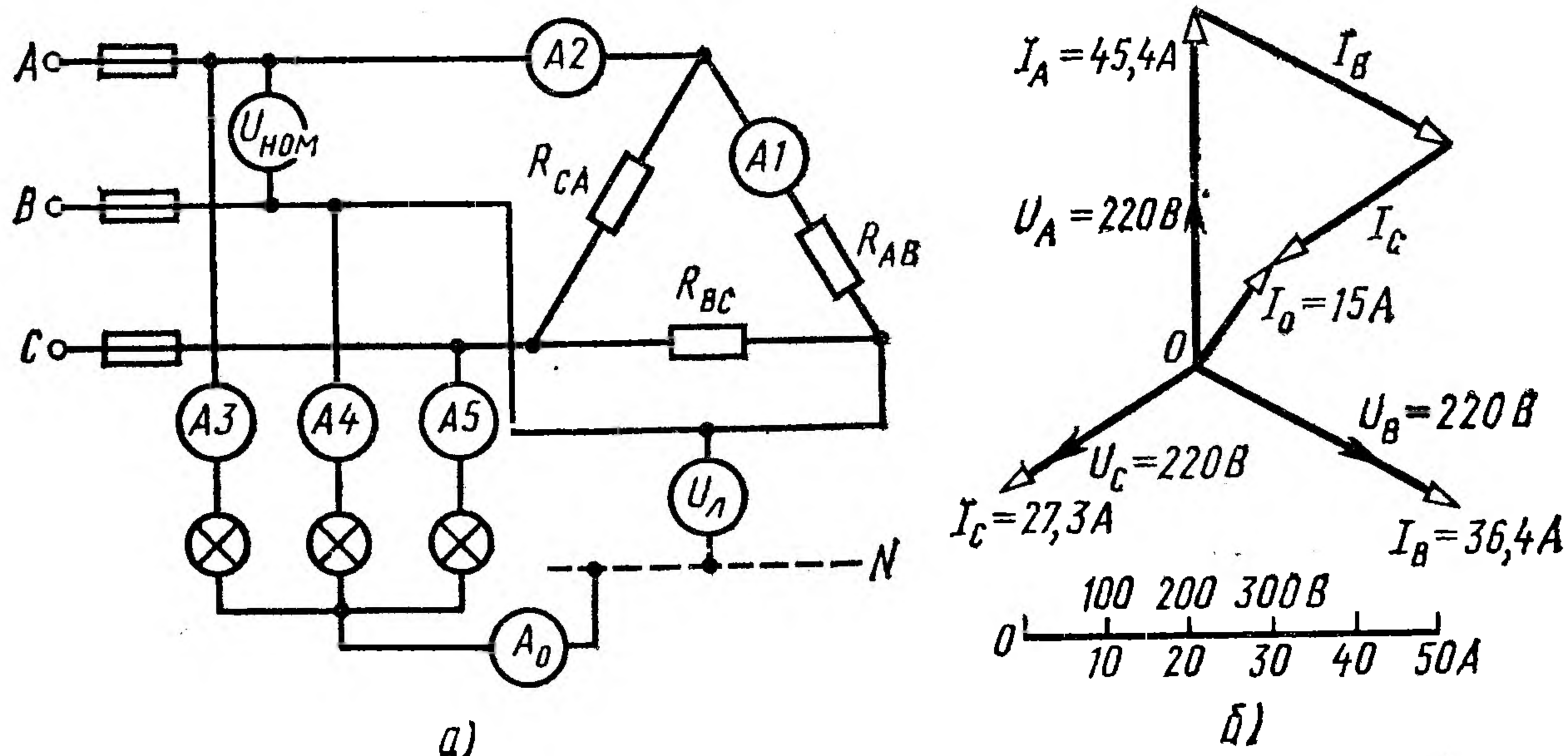


Рис. 10

число ламп в фазах  $n_A = 50$ ;  $n_B = 40$ ;  $n_C = 30$ . Номинальное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 380$  В. Определить показания всех приборов, включенных в схему.

**Решение.** 1. Находим фазные токи, потребляемые печью:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = P_{\text{п}} / U_{\text{ном}} = 10 \cdot 1000 / 380 = 26,3 \text{ А.}$$

Таким образом, амперметр  $A1$  покажет силу тока 26,3 А.

2. Линейные токи, потребляемые симметричной нагрузкой, превышают фазные в  $\sqrt{3}$  раза, т. е.  $I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 26,3 = 45,5$  А. Это значение покажет амперметр  $A2$ .

3. Определяем фазные токи, потребляемые лампами. Лампы соединены звездой и включены на фазные напряжения  $U_A = U_B = U_C = U_{\text{ном}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$  В. Это напряжение покажет вольтметр  $V_{\text{л}}$ . Поэтому фазные токи

$$I_A = \frac{P_{\text{л}} n_A}{U_A} = \frac{200 \cdot 50}{220} = 45,4 \text{ А}; \quad I_B = \frac{P_{\text{л}} n_B}{U_B} = \frac{200 \cdot 40}{220} = 36,4 \text{ А};$$

$$I_C = \frac{P_{\text{л}} n_C}{U_C} = \frac{200 \cdot 30}{220} = 27,3 \text{ А.}$$

Амперметры  $A3$ ,  $A4$ ,  $A5$ , включенные в линейные провода, соответственно покажут эти токи.

4. Для определения тока в нулевом проводе  $I_0$  начертим в масштабе векторную диаграмму цепи, где включены лампы. Выбираем масштаб

для напряжений и токов: 1 см — 100 В; 1 см — 10 А. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$  и  $U_C$ , располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис. 10, б). Чередование фаз обычное: за фазой  $A$  — фаза  $B$ , за фазой  $B$  — фаза  $C$ . Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе  $A$  ток  $I_A = 45,4$  А, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна  $45,4 : 10 = 4,54$  см; длина вектора фазного напряжения  $U_A$  составит:  $220 : 100 = 2,2$  см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток  $I_0$  в нулевом проводе определяется геометрической суммой всех трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$ , которая оказалась равной 1,5 см, получим значение тока в нулевом проводе  $I_0 = 15$  А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.



Перед решением задач этой группы особое внимание уделите § 9.3—9.6, 9.11, 9.12 учебника [2]. Для их решения необходимо знать устройство, принцип действия и зависимости между электрическими величинами однофазных и трехфазных трансформаторов, уметь определять по их паспортным данным технические характеристики. Основными параметрами трансформаторов являются:

1. Номинальная мощность  $S_{ном}$ . Это полная мощность (в кВ·А), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (20—25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температурах окружающего воздуха, равных соответственно 40 и 5°C. Если указанные температуры отличаются от номинальных, то и номинальная мощность будет отличаться от указанной в паспорте.

2. Номинальное первичное напряжение  $U_{ном1}$ . Это напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.

3. Номинальное вторичное напряжение  $U_{ном2}$ . Это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение  $U_2$  снижается из-за потерь в трансформаторе. Например, если  $U_{ном2}=400$  В, то при полной нагрузке трансформатора вторичное напряжение  $U_2=380$  В, так как 20 В теряется в трансформаторе.

4. Номинальный первичный и вторичный токи  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ . Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжениям. Для однофазного трансформатора

$$I_{ном1} = S_{ном} / (U_{ном1} \eta); \quad I_{ном2} = S_{ном} / U_{ном2}.$$

Для трехфазного трансформатора

$$I_{ном1} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{ном1} \eta); \quad I_{ном2} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{ном2}).$$

Здесь  $\eta$  — к. п. д. трансформатора. Эта величина близка к 1,0 из-за малых потерь в трансформаторе. На практике при определении токов принимают  $\eta=1,0$ .

Трансформаторы чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной. Поэтому вводят понятие о коэффициенте нагрузки  $k_H$ . Если трансформатор с  $S_{ном}=1000$  кВ·А отдает потребителю мощность  $S_2=950$  кВ·А, то  $k_H=950/1000=0,95$ . Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя  $\cos \varphi_2$ . Например, при  $S_{ном}=1000$  кВ·А,  $k_H=1,0$  и  $\cos \varphi_2=0,9$  отдаваемая активная мощность  $P_2=S_{ном} \cos \varphi_2=1000 \cdot 0,9=900$  кВт, а реактивная  $Q_2=S_{ном} \sin \varphi_2=1000 \cdot 0,436=436$  квар. Если потребитель увеличит  $\cos \varphi_2$  до 1,0, то  $P_2=1000 \cdot 1,0=1000$  кВт;  $Q_2=1000 \cdot 0=0$ , т. е. вся отдаваемая мощность будет активной. В обоих

Таблица 18. Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}},$ кВ·А	Напряжения обмоток, кВ		Потери мощности, кВт		%, $U_k$	%, $I_{1х}$
		$U_{\text{ном 1}}$	$U_{\text{ном 2}}$	$P_{\text{ст}}$	$P_{\text{о. ном}}$		
ТМ-25/6; 10	25		0,23; 0,4	0,13	0,69	4,7	3,2
ТМ-40/6; 10	40		0,23; 0,4	0,175	1,0	4,7	3,0
ТМ-63/6; 10	63		0,23; 0,4	0,24	1,47	4,7	2,8
ТМ-100/6; 10	100		0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
ТМ-160/6; 10	160	6, 10	0,23; 0,4; 0,69	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/6; 10	250		0,23; 0,4; 0,69	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/6; 10	400		0,23; 0,4; 0,69	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ-630/6; 10	630		0,23; 0,4; 0,69	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ-1000/6; 10	1000		0,23; 0,4; 0,69	2,45	12,2	5,5	2,8
ТМ-1600/6; 10	1600		0,23; 0,4; 0,69	3,3	18,0	5,5	2,6
ТМ-2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	5,5	1,0

Примечания: Трансформатор ТМ-630/10 — с масляным охлаждением, трехфазный, номинальная мощность 630 кВ·А, номинальное первичное напряжение 10 кВ, вторичные напряжения 0,23; 0,4 и 0,69 кВ; 2.  $P_{\text{ст}}$  — потери в стали;  $P_{\text{о. ном}}$  — потери в обмотках;  $U_k$ , % — напряжение короткого замыкания;  $I_{1х}$ , % — ток холостого хода.

случаях по обмоткам проходят одни и те же номинальные токи. В табл. 18 приведены технические данные наиболее распространенных трансформаторов.

Отношение линейных напряжений в трехфазных трансформаторах называют линейным коэффициентом трансформации, который равен отношению чисел витков обмоток, если они имеют одинаковые схемы соединения (Y/Y и Δ/Δ). При других схемах коэффициент трансформации находят по формулам

$$K = U_{\text{ном 1}} / U_{\text{ном 2}} = \sqrt{3} w_1 / w_2 \text{ (Y/Δ);}$$

$$K = U_{\text{ном 1}} / U_{\text{ном 2}} = w_1 / (\sqrt{3} w_2) \text{ при Δ/Y.}$$

Для уменьшения установленной мощности трансформаторов и снижения потерь энергии в сетях производят компенсацию части реактивной мощности, потребляемой предприятием, что достигается установкой на подстанциях конденсаторов. В настоящее время энергосистема разрешает потребление предприятием определенной реактивной мощности  $Q_э$ , называемой оптимальной и обеспечивающей наименьшие эксплуатационные расходы в энергосистеме. Если фактическая реактивная мощность предприятия немного отличается от заданной (точно ее выдер-

**Т а б л и ц а 19. Технические данные комплектных конденсаторных установок напряжением 380 В**

Тип установки	$Q_6$ , квар	Тип установки	$Q_6$ , квар	Тип установки	$Q_6$ , квар
УК-0,38-75	75	УК-0,38-220Н	220	УК-0,38-330Н	330
УК-0,38-78	78	УК-0,38-225	225	УК-0,38-430Н	430
УК-0,38-110Н	110	УК-0,38-300Н	300	УК-0,38-450Н	450
УК-0,38-150Н	150	УК-0,38-320Н	320	УК-0,38-540Н	540

жать нельзя), то предприятие получает скидку с тарифа на электроэнергию; при значительной разнице между  $Q_a$  и  $Q_6$  предприятие платит надбавку к тарифу, исчисляемую по специальной шкале.

Пусть реактивная мощность предприятия  $Q=5000$  квар, а заданная системой мощность  $Q_a=1000$  квар. Тогда предприятие должно скомпенсировать с помощью конденсаторов реактивную мощность  $Q_6=Q-Q_a=5000-1000=4000$  квар. Выбираем по табл. 19 девять комплектных установок УК-0,38-450Н мощностью по 450 квар. Суммарная реактивная мощность батареи  $9 \cdot 450=4050$  квар, что близко к необходимому значению 4000 квар.

**Пример 11.** Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные характеристики:  $S_{ном}=1000$  кВ·А,  $U_{ном1}=10$  кВ,  $U_{ном2}=400$  В. Потери в стали  $P_{ст}=2,45$  кВт, потери в обмотках  $P_{о. ном}=12,2$  кВт. Первичные обмотки соединены в треугольник, вторичные — в звезду. Сечение магнитопровода  $Q=450$  см<sup>2</sup>, амплитуда магнитной индукции в нем  $B_m=1,5$  Тл. Частота тока в сети  $f=50$  Гц. От трансформатора потребляется активная мощность  $P_2=810$  кВт при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2=0,9$ . Определить: 1) номинальные токи в обмотках и токи при фактической нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) к. п. д. трансформатора при номинальной и фактической нагрузках.

**Р е ш е н и е.** 1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{ном1}} = \frac{1000 \cdot 1000}{1,73 \cdot 10\,000} = 58 \text{ А};$$

$$I_{ном2} = \frac{S_{ном} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{ном2}} = \frac{1000 \cdot 1000}{1,73 \cdot 400} = 1445 \text{ А}.$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$k_H = P_2 / (S_{ном} \cos \varphi_2) = 810 / (1000 \cdot 0,9) = 0,9.$$

3. Токи в обмотках при фактической нагрузке

$$I_1 = k_H I_{ном1} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ А}; \quad I_2 = k_H I_{ном2} = 0,9 \cdot 1445 = 1300 \text{ А}.$$

4. Фазные э. д. с., наводимые в обмотках. Первичные обмотки соединены в треугольник, а вторичные — в звезду, поэтому, пренебре-



гая падением напряжения в первичной обмотке, считаем

$$E_{1\phi} \approx U_{ном1} = 10\,000 \text{ В}; E_{2\phi} = U_{ном2}/\sqrt{3} = 400/\sqrt{3} = 230 \text{ В}.$$

5. Числа витков обеих обмоток находим из формулы

$$E_{1\phi} = 4,44f\omega_1\Phi_m = 4,44f\omega_1 B_m Q, \text{ откуда} \\ \omega_1 = E_{1\phi}/(4,44f B_m Q) = 10\,000/(4,44 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,045) = 667.$$

Здесь  $Q = 450 \text{ см}^2 = 0,045 \text{ м}^2$

$$\omega_2 = \omega_1 E_{2\phi}/E_{1\phi} = 667 \cdot 230/10\,000 = 15,3.$$

6. К. п. д. трансформатора при номинальной нагрузке

$$\eta_{ном} = \frac{S_{ном} \cos \varphi_2 \cdot 100}{S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{о.ном}} = \frac{1000 \cdot 0,9 \cdot 100}{1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 12,2} = 98,4\%.$$

7. К. п. д. трансформатора при фактической нагрузке

$$\eta = \frac{k_H S_{ном} \cos \varphi_2}{k_H S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{ст} + k_H^2 P_{о.ном}} \cdot 100 = \\ = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9}{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 0,9^2 \cdot 12,2} \cdot 100 = 98,5\%.$$

**Пример 12.** Однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью  $S_{ном} = 500 \text{ В} \cdot \text{А}$  служит для питания ламп местного освещения металлорежущих станков. Номинальные напряжения обмоток  $U_{ном1} = 380 \text{ В}$ ;  $U_{ном2} = 24 \text{ В}$ . К трансформатору присоединены десять ламп накаливания мощностью 40 Вт каждая, их коэффициент мощности  $\cos \varphi_2 = 1,0$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m = 0,005 \text{ Вб}$ . Частота тока в сети  $f = 50 \text{ Гц}$ . Потерями в трансформаторе пренебречь. Определить: 1) номинальные токи в обмотках; 2) коэффициент нагрузки трансформатора; 3) токи в обмотках при действительной нагрузке; 4) числа витков обмоток; 5) коэффициент трансформации.

**Решение.** 1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = S_{ном}/U_{ном1} = 500/380 = 1,32 \text{ А}; \\ I_{ном2} = S_{ном}/U_{ном2} = 500/24 = 20,8 \text{ А}.$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$k_H = P_2/(S_{ном} \cos \varphi_2) = 10 \cdot 40/(500 \cdot 1,0) = 0,8.$$

3. Токи в обмотках при действительной нагрузке

$$I_1 = k_H I_{ном1} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 \text{ А}; I_2 = k_H I_{ном2} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 \text{ А}.$$

4. При холостом ходе  $E_1 \approx U_{ном1}$ ;  $E_2 = U_{ном2}$ . Числа витков обмоток находим из формулы

$$E = 4,44f\omega\Phi_m.$$

$$\text{Тогда } \omega_1 = E_1/(4,44f\Phi_m) = 380/(4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 340 \text{ витков}; \quad \omega_2 = \\ = E_2/(4,44f\Phi_m) = 24/(4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 22 \text{ витка}.$$

5. Коэффициент трансформации

$$K = E_1/E_2 = \omega_1/\omega_2 = 340/22 = 15,5.$$

**Пример 13.** Предприятие потребляет активную мощность  $P_2 = 1550$  кВт при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2 = 0,72$ . Энергосистема предписала уменьшить потребляемую реактивную мощность до 450 квар. Определить: 1) необходимую мощность конденсаторной батареи и выбрать ее тип; 2) необходимую трансформаторную мощность и коэффициент нагрузки в двух случаях: а) до установки батареи; б) после установки батареи. Выбрать тип трансформатора. Номинальное напряжение сети 10 кВ.

**Решение.** 1. Необходимая трансформаторная мощность до установки конденсаторов

$$S_{\text{тр}} = P_2 / \cos \varphi_2 = 1550 / 0,72 = 2153 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

По табл. 18 выбираем трансформатор типа ТМ-2500/10 с номинальной мощностью 2500 кВ·А. Коэффициент нагрузки

$$k_{\text{н}} = 2153 / 2500 = 0,86.$$

2. Необходимая предприятию реактивная мощность

$$Q = S_{\text{тр}} \sin \varphi_2 = 2153 \cdot 0,693 = 1492 \text{ квар}.$$

Здесь  $\sin \varphi_2 = 0,693$  находим по таблицам Брадиса, зная  $\cos \varphi_2$ .

3. Необходимая мощность конденсаторной батареи

$$Q_6 = Q - Q_3 = 1492 - 450 = 1042 \text{ квар}.$$

По табл. 19 выбираем комплектные конденсаторные установки типа УК-0,38—540Н мощностью 540 квар в количестве 2 шт. Общая реактивная мощность составит  $Q'_6 = 2 \cdot 540 = 1080$  квар, что близко к необходимой мощности 1042 квар.

4. Нескомпенсированная реактивная мощность

$$Q_{\text{нск}} = Q - Q'_6 = 1492 - 1080 = 412 \text{ квар}.$$

5. Необходимая трансформаторная мощность

$$S'_{\text{тр}} = \sqrt{P_2^2 + Q_{\text{нск}}^2} = \sqrt{1550^2 + 412^2} = 1604 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Принимаем к установке один трансформатор ТМ-1600/10 мощностью 1600 кВ·А. Его коэффициент нагрузки составит:  $k_{\text{н}} = 1604 / 1600 \approx 1,0$ .

Таким образом, компенсация реактивной мощности позволила значительно уменьшить установленную трансформаторную мощность.

### *Методические указания к решению задач*

Задачи данной группы относятся к теме «Электрические машины переменного тока». Для их решения необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Ряд возможных синхронных частот вращения магнитного поля статора при частоте 50 Гц: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т. д. При частоте вращения ротора, например, 950 об/мин из этого ряда выбираем



Таблица 20. Технические данные некоторых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А

Тип двигателя	$P_{\text{ном 2, кВТ}}$	$n_2, \text{об/мин}$	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$
4А100S2У3	4	2880	0,89	7,5	2,0	2,2	0,86
4А100L2У3	5,5	2880	0,91	7,5	2,0	2,2	0,87
4А112М2СУ3	7,5	2900	0,88	7,5	2,0	2,2	0,87
4А132М2СУ3	11	2900	0,9	7,5	1,6	2,2	0,88
4А80А4У3	1,1	1400	0,81	5,0	2,0	2,2	0,75
4А90L4У3	2,2	1400	0,83	6,0	2,0	2,2	0,8
4А100S4У3	3,0	1425	0,83	6,5	2,0	2,2	0,82
4А100L4У3	4,0	1425	0,84	6,5	2,2	2,2	0,84
4А112М4СУ1	5,5	1450	0,85	7,0	2,0	2,2	0,85
4А132М4СУ1	11	1450	0,87	7,5	2,0	2,2	0,87
4АP160S4У3	15	1465	0,83	7,5	2,0	2,2	0,865
4АP160М4У3	18,5	1465	0,87	7,5	2,0	2,2	0,885
4АP180S4У3	22	1460	0,87	7,5	2,0	2,2	0,89
4АP180М4У3	30	1460	0,87	7,5	2,0	2,2	0,9
4А250S4У3	75	1480	0,9	7,5	1,2	2,2	0,93
4А250М4У3	90	1480	0,91	7,5	1,2	2,2	0,93
4АH250М4У3	90	1475	0,89	6,5	1,2	2,2	0,935
4А100L6У3	2,2	950	0,73	5,5	2,0	2,0	0,81
4АP160S6У3	11	975	0,83	7,0	2,0	2,2	0,855
4АP160М6У3	15	975	0,83	7,0	2,0	2,2	0,875
4АP180М6У3	18,5	970	0,8	6,5	2,0	2,2	0,87
4А250S6У3	45	985	0,89	6,5	1,2	2,0	0,92
4А250М6У3	55	985	0,89	7,0	1,2	2,0	0,92
4АH250М6У3	75	985	0,87	7,5	1,2	2,5	0,93
4А100L8У3	1,5	725	0,65	6,5	1,6	1,7	0,74
4АP160S8У3	7,5	730	0,75	6,5	1,8	2,2	0,86
4А250S8У3	37	740	0,83	6,0	1,2	1,7	0,9
4А250М8У3	45	740	0,84	6,0	1,2	1,7	0,91
4АH250М8У3	55	740	0,82	6,0	1,2	2,0	0,92
4А160S4/2У3	11	1460	0,85	7,5	1,5	2,1	0,85
	14,5	2940	0,95	7,5	1,2	2,0	0,83
4А180S4/2У3	18,5	1470	0,9	6,5	1,3	1,8	0,883
	21	2920	0,92	6,5	1,1	1,8	0,85
4А160М8/4У3	9	732	0,69	5,5	1,5	2,0	0,79
	13	1460	0,92	7,0	1,2	2,0	0,865
4А160S8/4У3	6	745	0,69	5,0	1,5	2,0	0,765
	9	1460	0,92	7,0	1,2	2,0	0,84

ближайшую к ней частоту вращения поля  $n_1 = 1000$  об/мин. Тогда можно определить скольжение ротора, даже не зная числа пар полюсов двигателя:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05.$$

Из формулы для скольжения можно определить частоту вращения ротора

$$n_2 = n_1 (1 - s).$$

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4 А мощностью от 0,06 до 400 кВт (табл. 20). Обозначение типа электродвигателя расшифровывается так: 4 — порядковый номер серии; А — асинхронный; Х — алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы Х означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В — двигатель встроен в оборудование; Н — исполнение защищенное IP23, для закрытых двигателей исполнения IP44 обозначение защиты не приводится; Р — двигатель с повышенным пусковым моментом; С — сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм (100, 112 и т. д.); буквы S, M, L — после цифр — установочные размеры по длине корпуса (S — станина самая короткая; M — промежуточная; L — самая длинная); цифра после установочного размера — число полюсов; буква У — климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра — категория размещения: 1 — для работы на открытом воздухе, 3 — для закрытых неотапливаемых помещений.

В обозначениях типов двухскоростных двигателей после установочного размера указывают черз дробь оба числа полюсов, например 4A160S4/2У3. Здесь цифры 4 и 2 означают, что обмотки статора могут переключаться так, что в двигателе образуются 4 или 2 полюса.

**Пример 14.** Расшифровать условное обозначение двигателя 4A250S4У3.

Это двигатель четвертой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы Х), высота оси вращения 250 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), четырехполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

**Пример 15.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4AP160S6У3 имеет номинальные данные: мощность  $P_{ном} = 11$  кВт; напряжение  $U_{ном} = 380$  В; частота вращения ротора  $n_2 = 975$  об/мин; к. п. д.  $\eta_{ном} = 0,855$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{ном} = 0,83$ ; кратность пускового тока  $I_{п}/I_{ном} = 7$ ; кратность пускового момента  $M_{п}/M_{ном} = 2,0$ ; способность к перегрузке  $M_{max}/M_{ном} = 2,2$ . Частота тока в сети  $f_1 = 50$  Гц.

Определить: 1) потребляемую мощность; 2) номинальный, пусковой и максимальный моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение; 5) частоту тока в роторе; 6) суммарные потери в двигателе. Расшифровать его условное обозначение.

Можно ли осуществить пуск двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

Р е ш е н и е. 1. Мощность, потребляемая из сети

$$P_1 = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 11 / 0,855 = 12,86 \text{ кВт.}$$

2. Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M = 9,55 P_{\text{ном}} / n_2 = 9,55 \cdot 11 \cdot 1000 / 975 = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3. Максимальный и пусковой моменты:

$$M_{\text{max}} = 2,2 M_{\text{ном}} = 2,2 \cdot 107,7 = 237 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$M_{\text{п}} = 2 M_{\text{ном}} = 2 \cdot 107,7 = 215,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Номинальный и пусковой токи:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{11 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,855 \cdot 0,83} = 23,6 \text{ А;}$$

$$I_{\text{п}} = 7,0 I_{\text{ном}} = 7,0 \cdot 23,6 = 165 \text{ А.}$$

5. Номинальное скольжение

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025 = 2,5\%.$$

6. Частота тока в роторе

$$f_2 = f_1 s = 50 \cdot 0,025 = 1,25 \text{ Гц.}$$

7. Условное обозначение двигателя расшифровываем так: двигатель четвертой серии, асинхронный, с повышенным скольжением (буква Р), высота оси вращения 160 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), шестиполосный, для умеренного климата, третья категория размещения.

8. При снижении напряжения в сети на 20% на выводах двигателя остается напряжение  $0,8 U_{\text{ном}}$ . Так как момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, то

$$\frac{M'_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} = \frac{(0,8 U_{\text{ном}})^2}{U_{\text{ном}}^2} = 0,64.$$

Отсюда

$$M'_{\text{п}} = 0,64 M_{\text{п}} = 0,64 \cdot 215,4 = 138 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

что больше  $M_{\text{ном}} = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Таким образом, пуск двигателя возможен.

**Пример 16.** Каждая фаза обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором имеет число витков  $w_1 = 150$  и обмоточный коэффициент  $k_{01} = 0,97$ . Амплитуда вращающегося магнитного потока  $\Phi_m = 0,006 \text{ Вб}$ . Частота тока в сети  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ . Активное сопротивление фазы ротора  $R_2 = 0,4 \text{ Ом}$ , индуктивное сопротивление фазы неподвиж-

ного ротора  $x_2 = 4,2$  Ом. При вращении ротора с частотой  $n_2 = 980$  об/мин в фазе ротора наводится э. д. с.  $E_{2s} = 10$  В. Определить: 1) э. д. с.  $E_1$  в фазе обмотки статора; 2) э. д. с.  $E_2$  в фазе неподвижного ротора; 3) ток в фазе ротора при нормальной работе  $I_2$  и при пуске  $I_{2п}$ .

Р е ш е н и е. 1. Э. д. с. в фазе статора

$$E_1 = 4,44k_{01}\omega_1 f_1 \Phi_m = 4,44 \cdot 0,97 \cdot 150 \cdot 50 \cdot 0,006 = 194 \text{ В.}$$

2. При  $n_2 = 980$  об/мин частота вращения поля  $n_1$  может быть только 1000 об/мин и скольжение ротора

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02.$$

3. Э. д. с. в фазе неподвижного ротора определяем из формулы  $E_{2s} = E_2 s$ , откуда  $E_2 = E_{2s} / s = 10 / 0,02 = 500$  В.

4. Ток в фазе ротора при пуске

$$I_{2п} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + x_2^2}} = \frac{500}{\sqrt{0,4^2 + 4,2^2}} = 119 \text{ А.}$$

5. Индуктивное сопротивление фазы ротора при скольжении  $s = 0,02$ :

$$x_{2s} = x_2 s = 4,2 \cdot 0,02 = 0,084 \text{ Ом.}$$

6. Ток в фазе вращающегося ротора

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + x_{2s}^2}} = \frac{10}{\sqrt{0,4^2 + 0,084^2}} = 24,4 \text{ А.}$$

Т а б л и ц а 21. Допускаемые токовые нагрузки (А)  
на алюминиевые провода и кабели

Сечение, мм <sup>2</sup>	Провода		Кабели четырехжильные до 1000 В	
	открыто	в трубе	открыто	в земле
2,5	24	19	—	—
4	32	28	27	38
6	39	32	35	46
10	55	47	45	65
16	80	60	60	90
25	105	80	75	115
35	130	95	95	135
50	165	130	110	165
70	210	165	140	200
95	255	200	165	240
120	295	220	200	270
150	340	255	230	305
185	390	—	260	345



**Т а б л и ц а 22. Технические данные некоторых типов машин  
постоянного тока**

Тип машины	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$2p$	$R_a + R_{\text{доб}}, \text{Ом}$	$R_{\text{пс}}, \text{Ом}$	$R_{\text{ш}}, \text{Ом}$
<i>Генераторы</i>								
П-41	115	2,7	1450	23,4	4	0,558	0,136	68,8
	230	2,7	1450	11,7	4	2,23	0,488	214
П-51	115	5	1450	43,4	4	0,191	0,03	32
	230	5	1450	21,7	4	0,78	0,112	120
П-61	230	9	1450	39,1	4	0,35	0,04	120
П-62	230	11,5	1450	50,0	4	0,222	0,023	80
П-71	230	16	1450	69,5	4	0,3	0,0115	43
П-72	230	21	1450	91	4	0,1745	0,00725	50
П-81	230	27	1450	117	4	0,1445	0,00475	69,5
П-82	230	35	1450	152	4	0,0863	0,00308	27,2
П-91	230	50	1450	217	4	0,0504	0,00304	35,8
<i>Электродвигатели</i>								
П-41	110	1,5	1000	18,2	4	0,657	0,024	62
	110	1,0	740	13	4	1,21	0,033	92
	220	6,0	3000	33	4	0,36	0,007	280
	220	3,2	1500	18,4	4	1,032	0,0328	198
П-42	110	4,5	1500	51	4	0,209	0,0064	73,2
	220	7,4	3000	43,5	4	0,197	0,0085	136
	220	3,8	1500	25,4	4	0,78	0,0392	228
	220	2,2	1000	13,3	4	1,75	0,039	243
П-51	110	3,2	1000	37,4	4	0,242	0,0073	45,2
	110	2,2	750	27	4	0,472	0,0073	45,2
	220	11,0	3000	59	4	0,135	0,0044	168
	220	6,0	1500	33,2	4	0,472	0,0073	132
	220	3,2	1000	18,3	4	1,051	0,0044	168
П-71	220	32,0	3000	168	4	0,045	0,00125	60,5
	220	19,0	1500	103	4	0,124	0,0046	76,8
	220	10,0	1000	63	4	0,3	0,0105	85
П-81	220	32,0	1500	166	4	0,074	0,0026	95,5
	220	14,0	750	79	4	0,244	0,01	92



Задачи этой группы относятся к теме «Электрические машины постоянного тока». Для их решения необходимо изучить материал, приведенный в указателе литературы к теме, решить рекомендуемые задачи и ознакомиться с типовыми примерами 17—21. Сведения о некоторых типах машин постоянного тока даны в табл. 22.

Необходимо иметь представление о связи между напряжением на выводах  $U$ , э. д. с.  $E$  и падением напряжения  $I_a R_a$  в обмотке якоря для генератора и двигателя: для генератора  $E = U + I_a R_a$ ; для двигателя  $U = E + I_a R_a$ . Для определения электромагнитного или полного момента, развиваемого двигателем, можно пользоваться формулой, приведенной в учебнике:

$$M_{эм} = \frac{p}{2\pi a} N \Phi I_a.$$

Здесь магнитный поток выражен в веберах (Вб), ток якоря в амперах (А), момент получаем в ньютон-метрах (Н·м). Если магнитный поток машины неизвестен, то электромагнитный момент можно найти, определив из формулы для противо-э. д. с. магнитный поток и подставив его в формулу для  $M_{эм}$ :

$$E = \frac{pn}{60a} N \Phi, \text{ откуда } \Phi = \frac{60a}{pnN} E. \text{ Тогда } M_{эм} = \frac{60E I_a}{2\pi n} = \frac{E I_a}{\pi n/30} = \frac{E I_a}{\omega} = \frac{P_{эм}}{\omega}.$$

Здесь  $P_{эм} = E I_a$  — электромагнитная мощность, Вт;  $\omega$  — угловая скорость вращения, рад/с.

Аналогично можно вывести формулу для определения полезного номинального момента (на валу):

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{P_{ном}}{2\pi n_{ном}/60} = \frac{60 P_{ном}}{2\pi n_{ном}} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}}.$$

Здесь  $P_{ном}$  выражаем в Вт;  $M_{ном}$  получаем в Н·м.

**Пример 17.** Генератор с независимым возбуждением (рис. 88) работает в номинальном режиме при напряжении на выводах  $U_{ном} = 220$  В. Сопротивление обмотки якоря  $R_a = 0,2$  Ом; сопротивление нагрузки  $R_H = 2,2$  Ом; сопротивление обмотки возбуждения  $R_B = 55$  Ом. Напряжение для питания обмотки возбуждения  $U_B = 110$  В. Номинальная частота вращения якоря  $n_{ном} = 1200$  об/мин. Определить: 1) э. д. с.

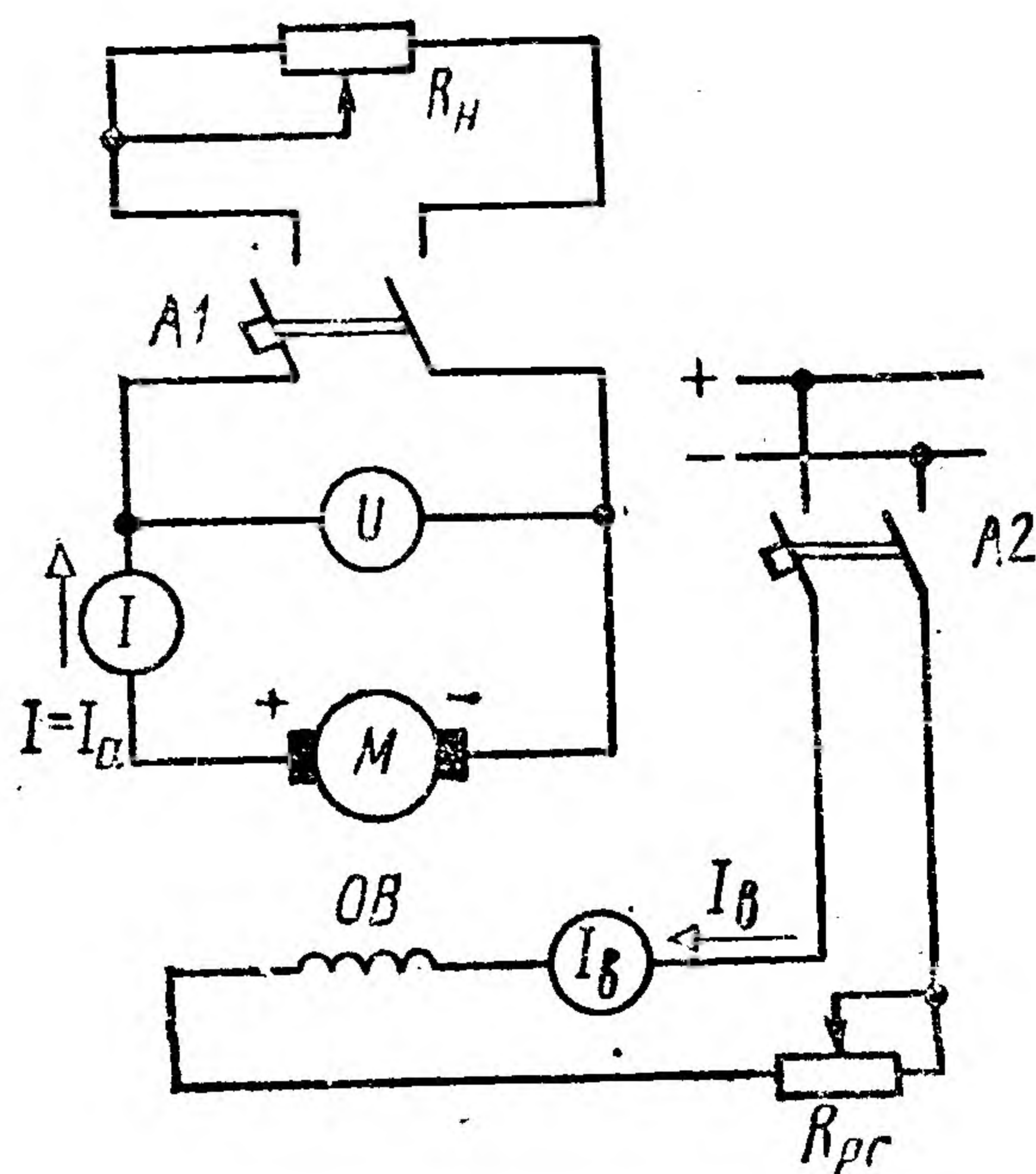


Рис. 88

генератора; 2) силу тока, отдаваемого потребителю; 3) силу тока в обмотке возбуждения; 4) полезную мощность, отдаваемую генератором; 5) электромагнитный тормозной момент, преодолеваемый приводным двигателем.

**Решение.** 1. Ток, отдаваемый в нагрузку:

$$I_H = U_{\text{ном}} / R_H = 220 / 2,2 = 100 \text{ А.}$$

2. Ток в обмотке возбуждения

$$I_B = U_B / R_B = 110 / 55 = 2 \text{ А.}$$

3. Ток в обмотке якоря

$$I_a = I_H + I_B = 100 + 2 = 102 \text{ А.}$$

4. Э. д. с. генератора

$$E = U_{\text{ном}} + I_a R_a = 220 + 102 \cdot 0,2 = 240,4 \text{ В.}$$

5. Полезная мощность, отдаваемая генератором:

$$P_2 = U_{\text{ном}} I_H = 220 \cdot 100 = 22\,000 \text{ Вт} = 22 \text{ кВт.}$$

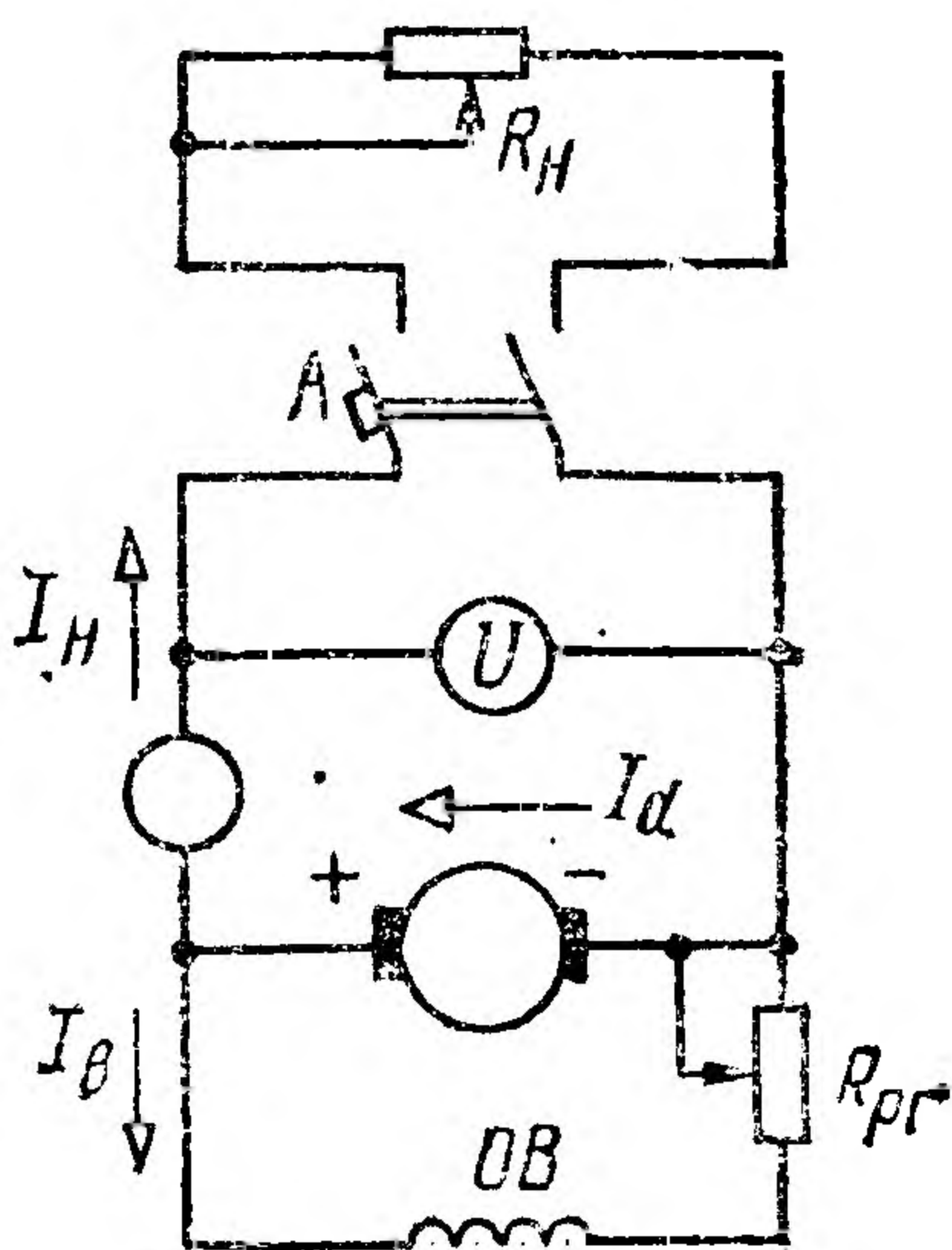


Рис. 89

6. Электромагнитная мощность и электромагнитный тормозной момент:

$$P_{\text{эм}} = E I_a = 240,4 \cdot 102 = 24\,600 \text{ Вт} = 24,6 \text{ кВт;}$$

$$M_{\text{эм}} = P_{\text{эм}} / \omega_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{эм}}}{2\pi n_{\text{ном}} / 60} = \frac{24\,600}{3,14 \cdot 1200 / 60} = 392 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

**Пример 18.** Генератор с параллельным возбуждением (рис. 89) рассчитан на напряжение  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$  и имеет сопротивление обмотки якоря  $R_a = 0,08 \text{ Ом}$ , сопротивление обмотки возбуждения  $R_B = 55 \text{ Ом}$ . Генератор нагружен на сопротивление  $R_H = 1,1 \text{ Ом}$ . К. п. д. генератора  $\eta_r = 0,85$ . Определить: 1) токи в обмотке возбуждения  $I_B$ , в обмотке якоря  $I_a$  и в нагрузке  $I_H$ ; 2) э. д. с. генератора  $E$ ; 3) полезную мощность  $P_2$ ; 4) мощность двигателя для вращения генератора  $P_1$ ; 5) электрические потери в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_B$ ; 6) суммарные потери в генераторе; 7) электромагнитную мощность  $P_{\text{эм}}$ .

**Решение.** 1. Токи в обмотке возбуждения, нагрузке и якоре:

$$I_B = U_{\text{ном}} / R_B = 220 / 55 = 4 \text{ А; } I_H = U_{\text{ном}} / R_H = 220 / 1,1 = 200 \text{ А; } I_a = I_B + I_H = 4 + 200 = 204 \text{ А.}$$

2. Э. д. с. генератора

$$E = U_{\text{ном}} + I_a R_a = 220 + 204 \cdot 0,08 = 236,3 \text{ В.}$$

3. Полезная мощность

$$P_2 = U_{\text{ном}} I_H = 220 \cdot 200 = 44\,000 \text{ Вт} = 44 \text{ кВт.}$$

4. Мощность приводного двигателя для вращения генератора

$$P_1 = P_2 / \eta_{\Gamma} = 44 / 0,85 = 52 \text{ кВт.}$$

5. Электрические потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 204^2 \cdot 0,08 = 3320 \text{ Вт} = 3,32 \text{ кВт};$$

$$P_B = I_B^2 R_B = 4^2 \cdot 55 = 880 \text{ Вт} = 0,88 \text{ кВт.}$$

6. Суммарные потери мощности в генераторе

$$\sum P = P_1 - P_2 = 52 - 44 = 8 \text{ кВт.}$$

7. Электромагнитная мощность, развиваемая генератором:

$$P_{эм} = E I_a = 236,3 \cdot 204 = 48\,300 \text{ Вт} = 48,3 \text{ кВт.}$$

**Пример 19.** Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 90) рассчитан на номинальную мощность  $P_{ном} = 10 \text{ кВт}$  и номинальное напряжение  $U_{ном} = 220 \text{ В}$ . Частота вращения якоря  $n = 3000 \text{ об/мин}$ . Двигатель потребляет из сети ток  $I = 63 \text{ А}$ . Сопротивление обмотки возбуждения  $R_B = 85 \text{ Ом}$ , сопротивление обмотки якоря  $R_a = 0,3 \text{ Ом}$ . Определить: 1) потребляемую из сети мощность  $P_1$ ; 2) к. п. д. двигателя  $\eta_{дв}$ ; 3) полезный вращающий момент  $M$ ; 4) ток якоря  $I_a$ ; 5) противо-э. д. с. в обмотке якоря  $E$ ; 6) суммарные потери в двигателе  $\sum P$ ; 7) потери в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_B$ .

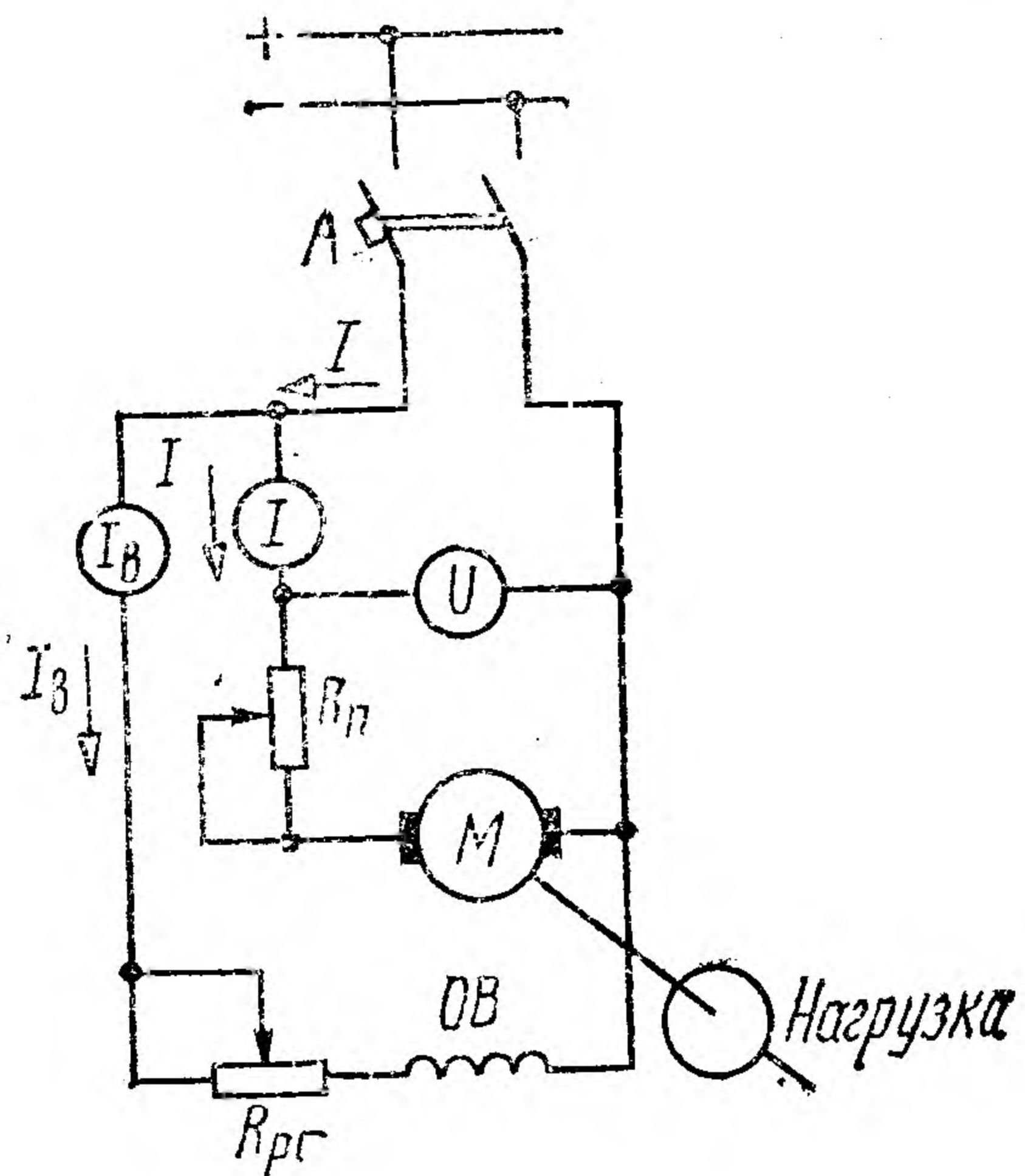


Рис. 90

**Решение.** 1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = U_{ном} I = 220 \cdot 63 = 13\,900 \text{ Вт} = 13,9 \text{ кВт.}$$

2. К. п. д. двигателя

$$\eta_{дв} = P_{ном} / P_1 = 10 / 13,9 = 0,72.$$

3. Полезный вращающий момент (на валу)

$$M = 9,55 P_{ном} / n = 9,55 \cdot 10 \cdot 1000 / 3000 = 31,9 \text{ Н·м.}$$

4. Для определения тока якоря предварительно находим ток возбуждения

$$I_B = U_{ном} / R_B = 220 / 85 = 2,6 \text{ А.}$$

Ток якоря  $I_a = I - I_B = 63 - 2,6 = 60,4 \text{ А.}$

5. Противо-э. д. с. в обмотке якоря

$$E = U_{ном} - I_a R_a = 220 - 60,4 \cdot 0,3 = 202 \text{ В.}$$

6. Суммарные потери в двигателе

$$\sum P = P_1 - P_2 = 13,9 - 10 = 3,9 \text{ кВт.}$$



7. Потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 60,4^2 \cdot 0,3 = 1190 \text{ Вт}; P_v = U_{\text{ном}} I_v = 220 \cdot 2,6 = 572 \text{ Вт}.$$

**Пример 20.** Четырехполюсный двигатель с параллельным возбуждением (рис. 90) присоединен к сети с  $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$  и потребляет ток

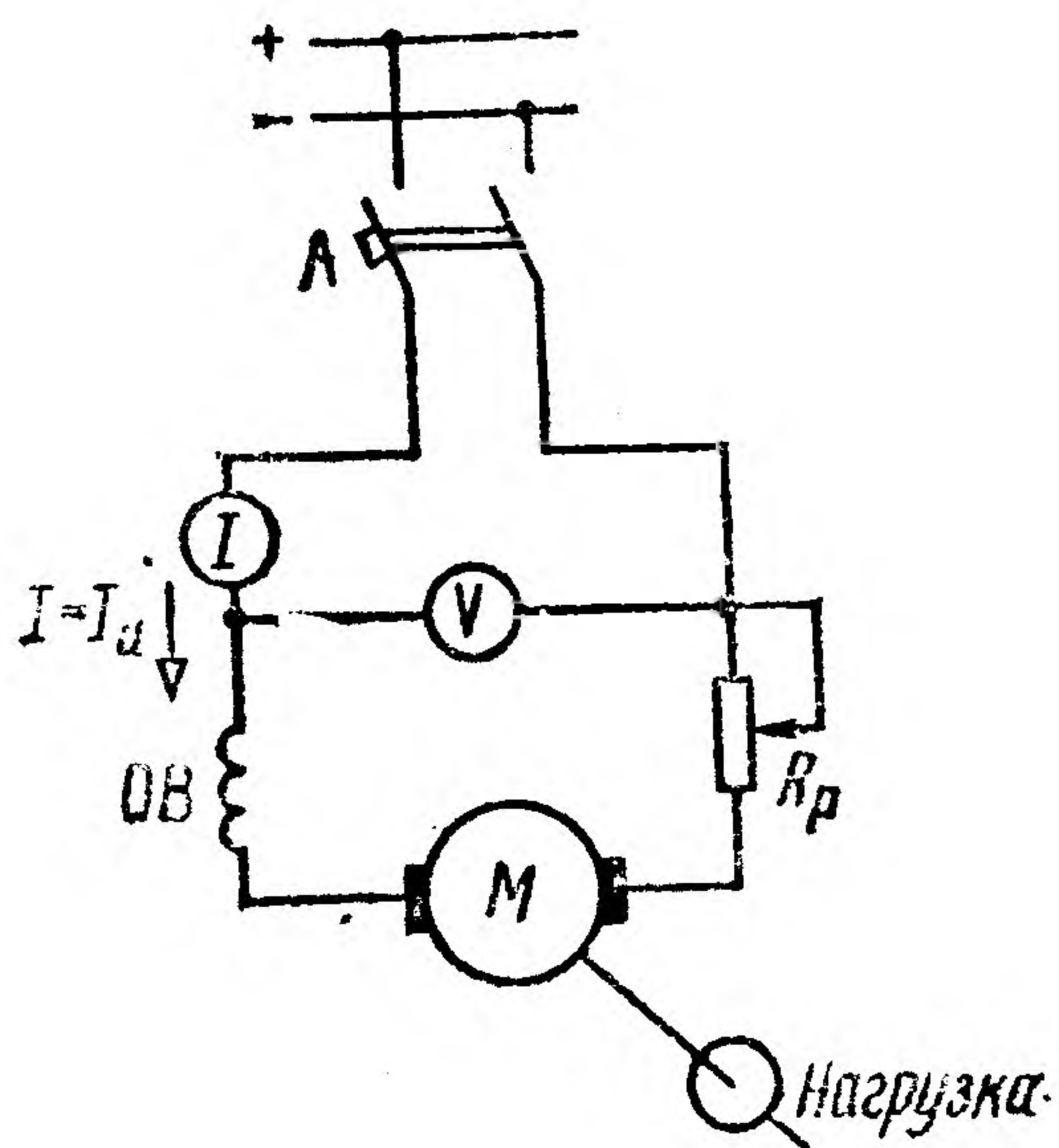


Рис. 91

$I = 157 \text{ А}$ . На якоре находится обмотка с сопротивлением  $R_a = 0,0427 \text{ Ом}$  и числом проводников  $N = 360$ , образующих четыре параллельных ветви ( $a = 2$ ). Сопротивление обмотки возбуждения  $R_v = 21,8 \text{ Ом}$ . Магнитный поток полюса  $\Phi = 0,008 \text{ Вб}$ . Определить: 1) токи в обмотках возбуждения  $I_v$  и якоря  $I_a$ ; 2) противо-э. д. с.  $E$ ; 3) электромагнитный момент  $M_{\text{эм}}$ ; 4) электромагнитную мощность  $P_{\text{эм}}$ ; 5) частоту вращения якоря  $n$ ; 6) потери мощности в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_v$ .

**Решение.** 1. Токи в обмотках возбуждения и якоря

$$I_v = U_{\text{ном}} / R_v = 110 / 21,8 = 5,05 \text{ А}; I_a = I - I_v = 157 - 5,05 = 151,95 \text{ А}.$$

2. Противо-э. д. с. в обмотке якоря

$$E = U_{\text{ном}} - I_a R_a = 110 - 151,95 \cdot 0,0427 = 103,5 \text{ В}.$$

3. Электромагнитный момент

$$M_{\text{эм}} = \frac{p}{2\pi a} \Phi N I_a = \frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} 0,008 \cdot 360 \cdot 151,95 = 69,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Электромагнитная мощность

$$P_{\text{эм}} = E I_a = 103,5 \cdot 151,95 = 15\,727 \text{ Вт} = 15,727 \text{ кВт}.$$

Зная  $P_{\text{эм}}$ , можно найти электромагнитный момент по формуле

$$M_{\text{эм}} = P_{\text{эм}} / \omega = P_{\text{эм}} / \left( \frac{2\pi n}{60} \right) = 60 \cdot 15\,727 / (2 \cdot 3,14 \cdot 2156) = 69,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что и было получено выше.

Здесь частота вращения якоря

$$n = \frac{60 a E}{p N \Phi} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 103,5}{2 \cdot 360 \cdot 0,008} = 2156 \text{ об/мин}.$$

5. Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 151,95^2 \cdot 0,0427 = 986 \text{ Вт};$$

$$P_v = U_{\text{ном}} I_v = 110 \cdot 5,05 = 555,5 \text{ Вт}.$$

**Пример 21.** Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 91) присоединен к сети с напряжением  $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$  и вращается с частотой  $n = 1500 \text{ об/мин}$ . Двигатель развивает

полезный момент (на валу)  $M=120$  Н·м. К. п. д. двигателя  $\eta_{\text{дв}}=0,84$ .  
 Суммарное сопротивление обмоток якоря и возбуждения  $R_a + R_{\text{пс}} = 0,02$  Ом. Определить: 1) полезную мощность  $P_2$ ; 2) потребляемую мощность  $P_1$ ; 3) потребляемый из сети ток  $I$ ; 4) сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток ограничивается до  $2,5I$ ; 5) противо-э. д. с. в обмотке якоря.

**Решение.** 1. Полезную мощность двигателя определяем из формулы полезного момента

$$P_2 = Mn/9,55 = 120 \cdot 1500/9,55 = 18\,848 \text{ Вт} = 18,85 \text{ кВт.}$$

2. Мощность, потребляемая из сети:

$$P_1 = P_2/\eta_{\text{дв}} = 18,85/0,84 = 22,44 \text{ кВт.}$$

3. Ток, потребляемый из сети:

$$I = P_1/U_{\text{ном}} = 22,44 \cdot 1\,000/110 = 204 \text{ А.}$$

4. Необходимое сопротивление пускового реостата

$$R_p = U_{\text{ном}}/(2,5 I) - (R_a + R_{\text{пс}}) = 110/(2,5 \cdot 204) - 0,02 = 0,196 \text{ Ом.}$$

5. Противо-э. д. с. в обмотке якоря

$$E = U_{\text{ном}} - I (R_a + R_{\text{пс}}) = 110 - 204 \cdot 0,02 = 105,9 \text{ В.}$$



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

**Задача 1 (варианты 01—00).** Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи с указанием сопротивлений резисторов приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения одного из напряжений или токов и величина, подлежащая определению, приведены в табл. 3. Всюду индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на котором действует это напряжение. Например, через резистор  $R_3$  проходит ток  $I_3$  и на нем действует напряжение  $U_3$ . Определить также мощность, потребляемую всей цепью, и расход электрической энергии цепью за 8 ч работы.

Пояснить с помощью логических рассуждений характер изменения электрической величины, заданной в таблице вариантов (увеличится, уменьшится, останется без изменения), если один из резисторов замкнуть накоротко или выключить из схемы. Характер действия с резистором и его номер указаны в табл. 3. При этом считать напряжение  $U_{AB}$  неизменным. При трудностях логических пояснений ответа можно выполнить расчет требуемой величины в измененной схеме и на основании сравнения ее в двух схемах дать ответ на вопрос.

*Указание.* См. решение типового примера 1.

**Задача 2 (варианты 01—50).** Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значения сопротивлений всех элементов, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 4.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, относящиеся к данной цепи, если они не заданы в табл. 4: 1) полное сопротивление  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) ток  $I$ ; 4) угол сдви-

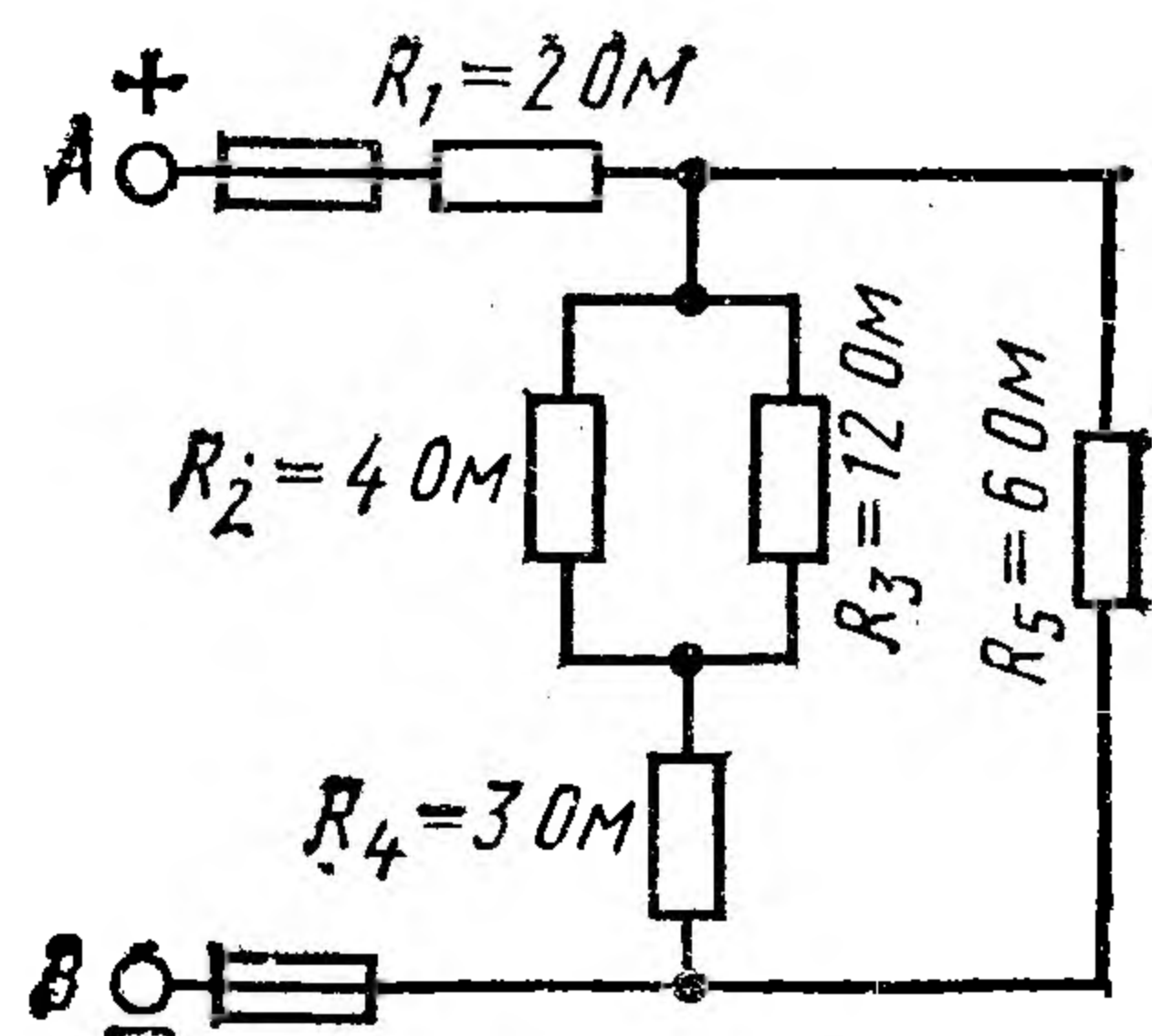


Рис. 11

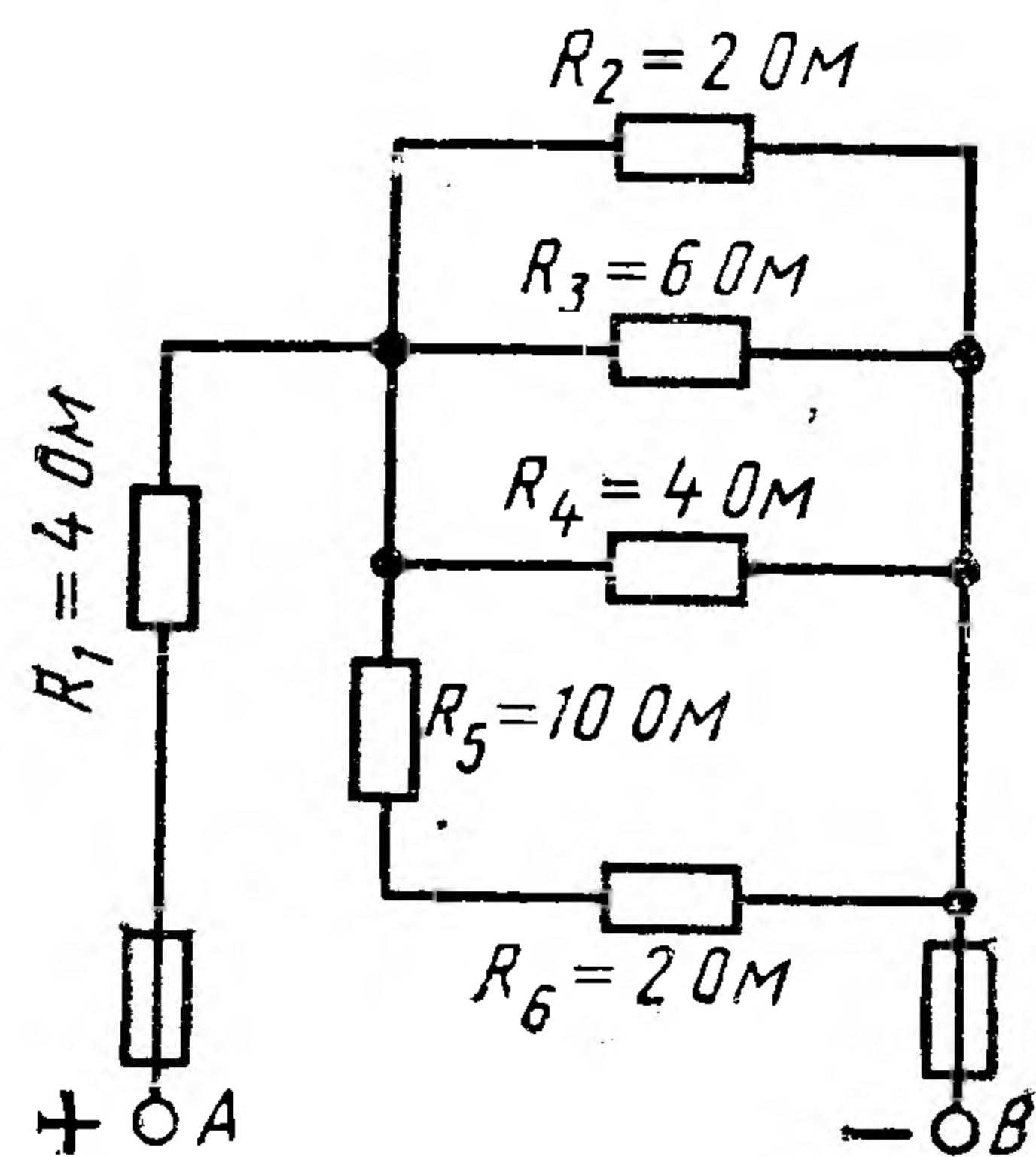


Рис. 13

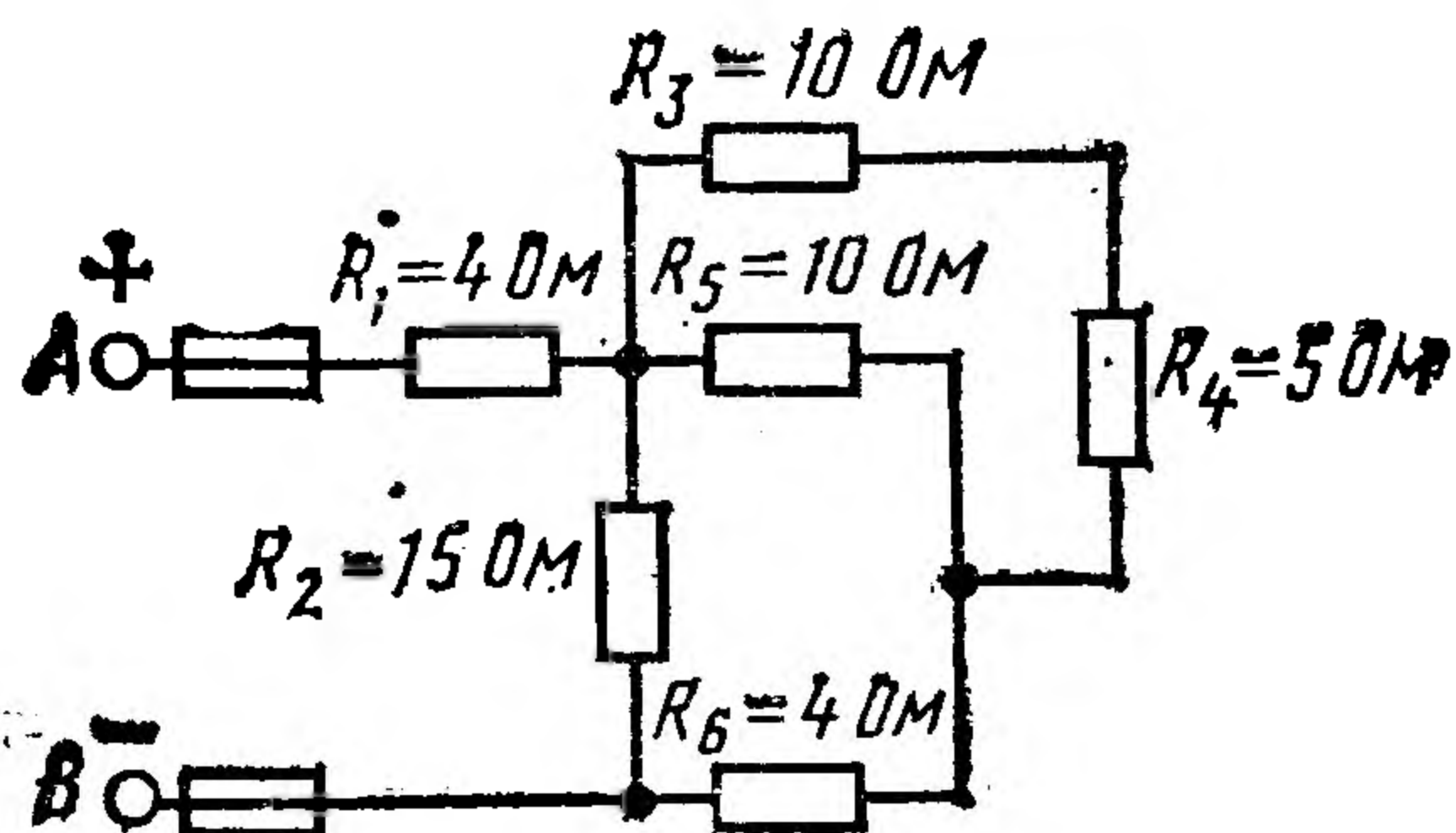


Рис. 12

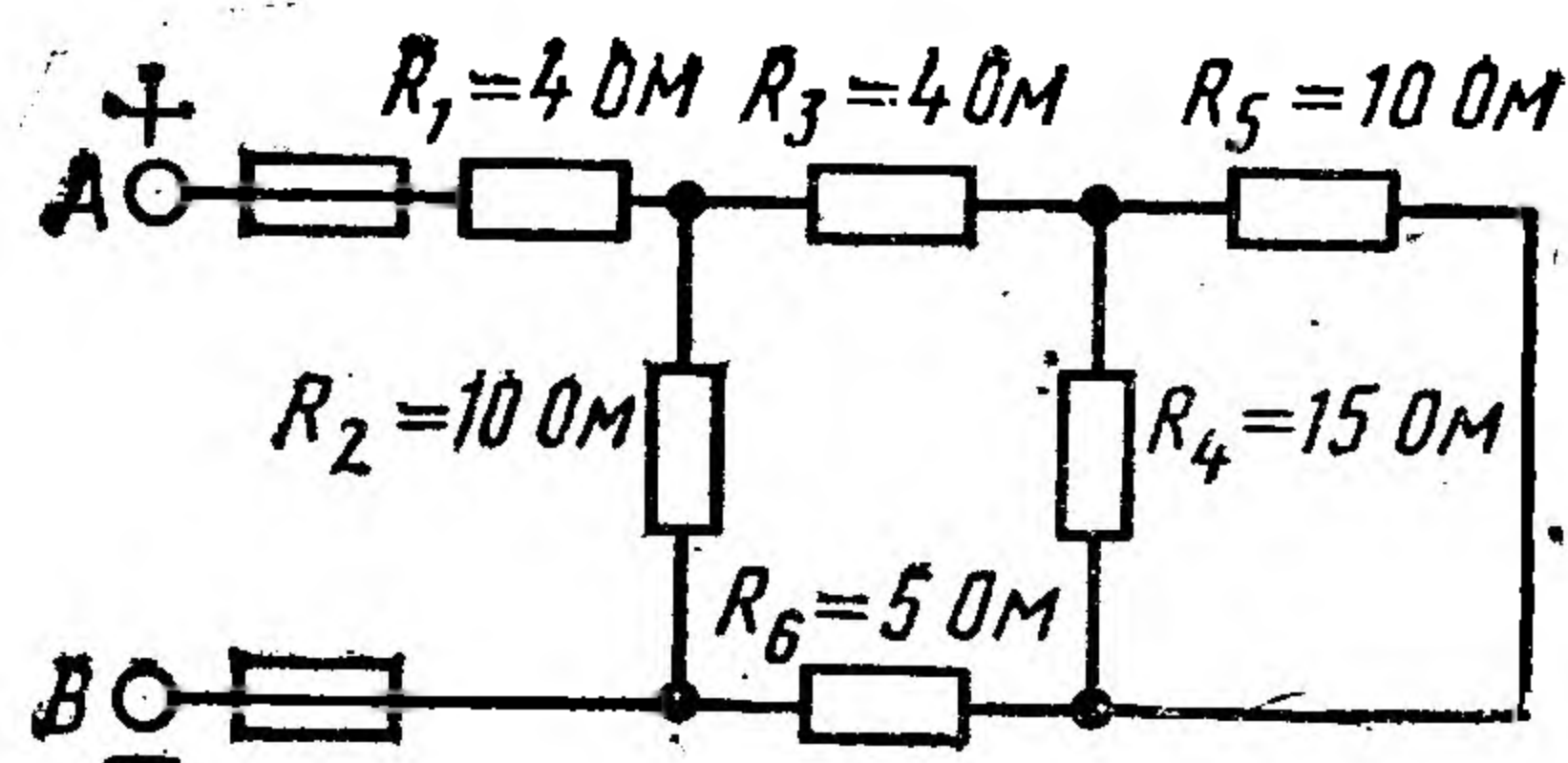


Рис. 14

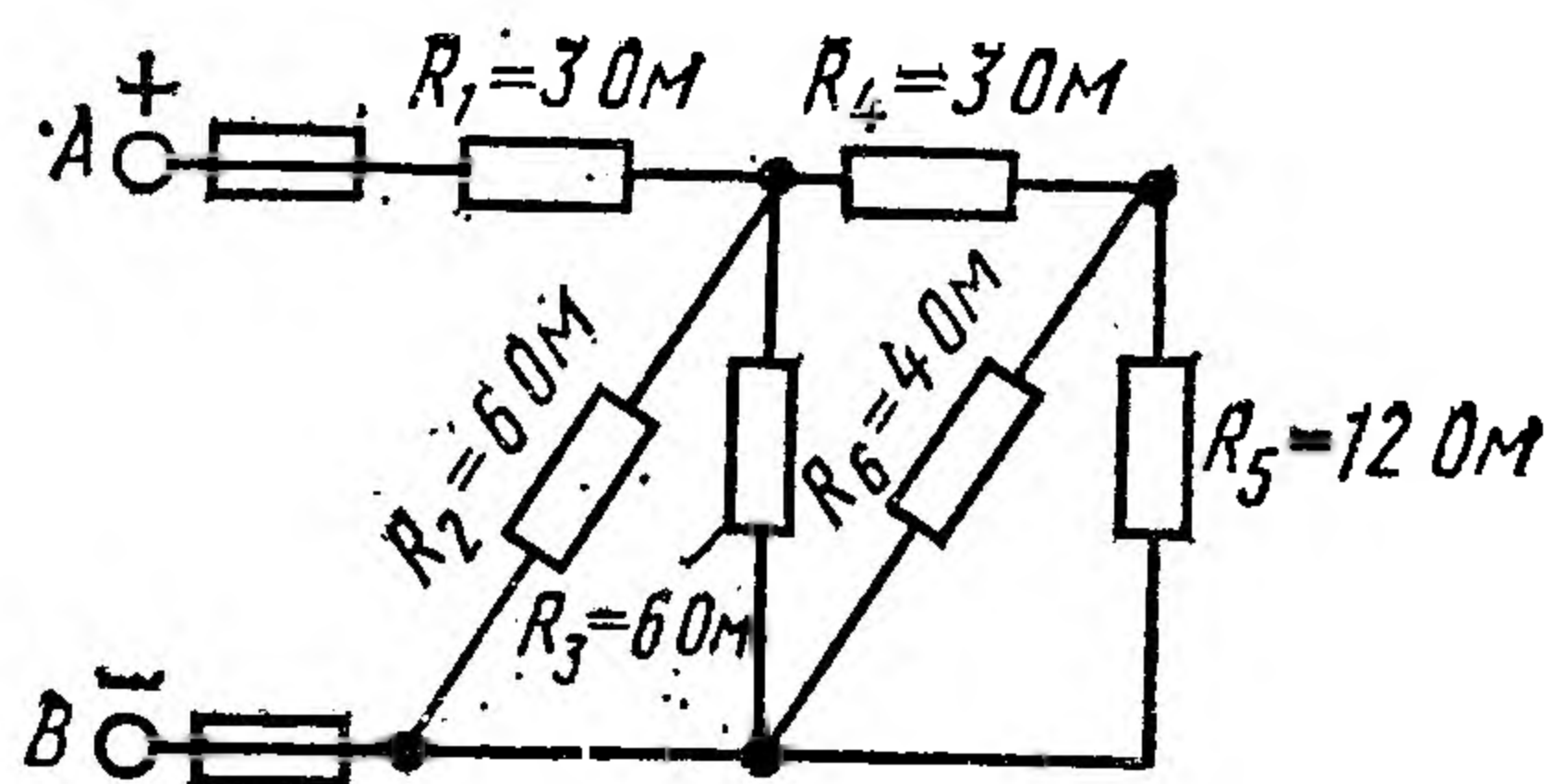


Рис. 15

Таблица 3

Номер вари- анта	Номер рисун- ка	Задаваемая величина	Опреде- лить	Действие с резисто- ром		Изменение какой величины рассмот- реть
				замыкается накоротко	выключа- ется из схемы	
01	11	$U_{AB} = 100 \text{ В}$	$I_3$	$R_1$	—	$I_5$
02	11	$I_1 = 20 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_4$	$U_5$
03	11	$U_2 = 30 \text{ В}$	$I_6$	$R_5$	—	$I_1$
04	11	$I_5 = 10 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$I_5$
05	11	$U_{AB} = 50 \text{ В}$	$I_1$	$R_2$	—	$U_3$
06	11	$I_2 = 3,75 \text{ А}$	$I_5$	—	$R_5$	$U_1$
07	11	$I_4 = 5 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_4$	—	$I_3$
08	11	$U_5 = 30 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_4$
09	11	$I_3 = 1,25 \text{ А}$	$U_1$	$R_3$	—	$I_2$
10	11	$U_{AB} = 80 \text{ В}$	$U_4$	—	$R_4$	$I_5$
11	11	$I_3 = 1 \text{ А}$	$U_5$	$R_2$	—	$U_1$
12	11	$U_1 = 20 \text{ В}$	$I_4$	—	$R_5$	$I_4$
13	11	$I_5 = 5 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
14	11	$I_1 = 12 \text{ А}$	$I_3$	—	$R_2$	$U_4$
15	11	$U_5 = 60 \text{ В}$	$I_1$	$R_1$	—	$U_5$
16	11	$U_{AB} = 5 \text{ В}$	$U_4$	—	$R_5$	$I_3$
17	11	$I_2 = 3 \text{ А}$	$I_5$	$R_4$	—	$U_1$
18	11	$U_2 = 12 \text{ В}$	$U_1$	—	$R_4$	$I_5$
19	11	$U_4 = 36 \text{ В}$	$I_1$	$R_4$	—	$U_5$
20	11	$I_4 = 12 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$U_5$
21	12	$U_{AB} = 50 \text{ В}$	$I_3$	$R_1$	—	$I_6$
22	12	$I_2 = 2 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$U_1$
23	12	$I_1 = 5 \text{ А}$	$U_4$	$R_3$	—	$I_1$
24	12	$U_5 = 18 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_6$	$I_2$
25	12	$I_3 = 1,2 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
26	12	$I_5 = 6 \text{ А}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_2$
27	12	$U_{AB} = 80 \text{ В}$	$I_6$	$R_1$	—	$U_5$
28	12	$I_6 = 3 \text{ А}$	$U_1$	—	$R_5$	$U_1$
29	12	$U_4 = 10 \text{ В}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_6$
30	12	$U_1 = 20 \text{ В}$	$I_4$	—	$R_2$	$I_5$
31	12	$I_4 = 2 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$I_1$
32	12	$U_2 = 30 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_5$
33	12	$I_2 = 4 \text{ А}$	$U_1$	$R_5$	—	$U_3$
34	12	$U_3 = 20 \text{ В}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$U_1$
35	12	$U_{AB} = 60 \text{ В}$	$I_5$	$R_4$	—	$I_4$
36	12	$I_1 = 20 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_3$	$U_5$

Номер вари- анта	Номер рису- нка	Задаваемая величина	Опреде- лить	Действие с резисто- ром		Изменение какой величины рассмот- реть
				замыкается накоротко	выключа- ется из схемы	
37	12	$U_6 = 24 \text{ В}$	$U_1$	$R_6$	—	$I_2$
38	12	$U_1 = 40 \text{ В}$	$I_6$	—	$R_5$	$I_4$
39	12	$I_6 = 6 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_4$	—	$U_1$
40	12	$U_{AB} = 120 \text{ В}$	$I_5$	—	$R_2$	$U_6$
41	13	$I_1 = 12 \text{ А}$	$U_6$	$R_1$	—	$U_3$
42	13	$I_4 = 3 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$U_1$
43	13	$U_{AB} = 120 \text{ В}$	$I_6$	$R_2$	—	$I_1$
44	13	$U_3 = 24 \text{ В}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$I_3$
45	13	$I_6 = 4 \text{ А}$	$U_1$	$R_6$	—	$U_2$
46	13	$I_1 = 24 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_3$	$I_2$
47	13	$U_{AB} = 30 \text{ В}$	$U_5$	$R_1$	—	$I_4$
48	13	$U_1 = 96 \text{ В}$	$I_2$	—	$R_4$	$I_1$
49	13	$I_5 = 2 \text{ А}$	$I_1$	$R_3$	—	$U_1$
50	13	$U_{AB} = 60 \text{ В}$	$I_3$	—	$R_2$	$I_3$
51	13	$U_2 = 12 \text{ В}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$I_3$
52	13	$I_1 = 3 \text{ А}$	$U_6$	—	$R_5$	$U_1$
53	13	$I_2 = 6 \text{ А}$	$I_1$	$R_1$	—	$I_6$
54	13	$I_4 = 3 \text{ А}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_5$
55	13	$U_{AB} = 60 \text{ В}$	$I_2$	$R_3$	—	$I_2$
56	13	$I_5 = 4 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$I_3$
57	13	$U_4 = 36 \text{ В}$	$I_1$	$R_4$	—	$U_1$
58	13	$I_3 = 2 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_5$	$I_1$
59	13	$U_5 = 120 \text{ В}$	$U_1$	$R_6$	—	$U_5$
60	13	$I_1 = 24 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$U_6$
61	14	$I_1 = 50 \text{ А}$	$I_3$	$R_3$	—	$U_4$
62	14	$I_2 = 15 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$I_2$
63	14	$U_2 = 120 \text{ В}$	$I_4$	$R_1$	—	$U_3$
64	14	$U_{AB} = 250 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_2$
65	14	$I_6 = 8 \text{ А}$	$U_1$	$R_4$	—	$U_1$
66	14	$I_4 = 4 \text{ А}$	$I_2$	—	$R_2$	$I_1$
67	14	$I_5 = 4,8 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$I_2$
68	14	$U_1 = 200 \text{ В}$	$I_6$	—	$R_5$	$U_1$
69	14	$U_4 = 48 \text{ В}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_6$
70	14	$I_5 = 6 \text{ А}$	$U_2$	—	$R_6$	$I_2$
71	14	$I_3 = 2,4 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
72	14	$U_{AB} = 200 \text{ В}$	$I_5$	—	$R_3$	$I_1$



Номер вари- анта	Номер рисун- ка	Задаваемая величина	Опреде- лить	Действие с резисто- ром		Изменение какой величины рассмот- реть
				замыкается накоротко	выключа- ется из схемы	
73	14	$I_1 = 20 \text{ A}$	$I_4$	$R_1$	—	$U_6$
74	14	$I_3 = 20 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$I_4$
75	14	$U_4 = 120 \text{ B}$	$I_2$	$R_3$	—	$U_5$
76	14	$I_1 = 25 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$I_5$
77	14	$U_{AB} = 60 \text{ B}$	$I_4$	$R_5$	—	$I_2$
78	14	$U_5 = 120 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_5$	$U_4$
79	14	$I_6 = 10 \text{ A}$	$I_1$	$R_1$	—	$I_4$
80	14	$U_{AB} = 500 \text{ B}$	$U_4$	—	$R_6$	$U_1$
81	15	$I_5 = 1 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_1$
82	15	$U_4 = 12 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_2$	$U_6$
83	15	$I_3 = 6 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_4$
84	15	$U_{AB} = 60 \text{ B}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_3$
85	15	$I_1 = 24 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_1$	—	$U_6$
86	15	$U_1 = 54 \text{ B}$	$I_6$	—	$R_6$	$U_1$
87	15	$I_6 = 3 \text{ A}$	$U_1$	$R_4$	—	$I_2$
88	15	$U_5 = 12 \text{ B}$	$I_2$	—	$R_3$	$I_1$
89	15	$I_1 = 12 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$U_1$
90	15	$U_2 = 36 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_5$	$I_2$
91	15	$I_6 = 4,5 \text{ A}$	$I_1$	$R_5$	—	$I_3$
92	15	$U_5 = 24 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_2$	$U_4$
93	15	$U_3 = 24 \text{ B}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_4$
94	15	$I_2 = 8 \text{ A}$	$I_5$	—	$R_5$	$I_3$
95	15	$U_6 = 12 \text{ B}$	$I_1$	$R_2$	—	$I_6$
96	15	$I_4 = 6 \text{ A}$	$U_3$	—	$R_6$	$I_2$
97	15	$I_3 = 4 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_4$	—	$U_5$
98	15	$I_1 = 18 \text{ A}$	$U_5$	—	$R_4$	$I_1$
99	15	$U_{AB} = 90 \text{ B}$	$I_6$	$R_1$	—	$I_4$
00	15	$I_2 = 4 \text{ A}$	$U_5$	—	$R_3$	$U_6$

га фаз  $\varphi$  (по величине и знаку); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения) тока, активной, реактивной мощности в цепи при увеличении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным.



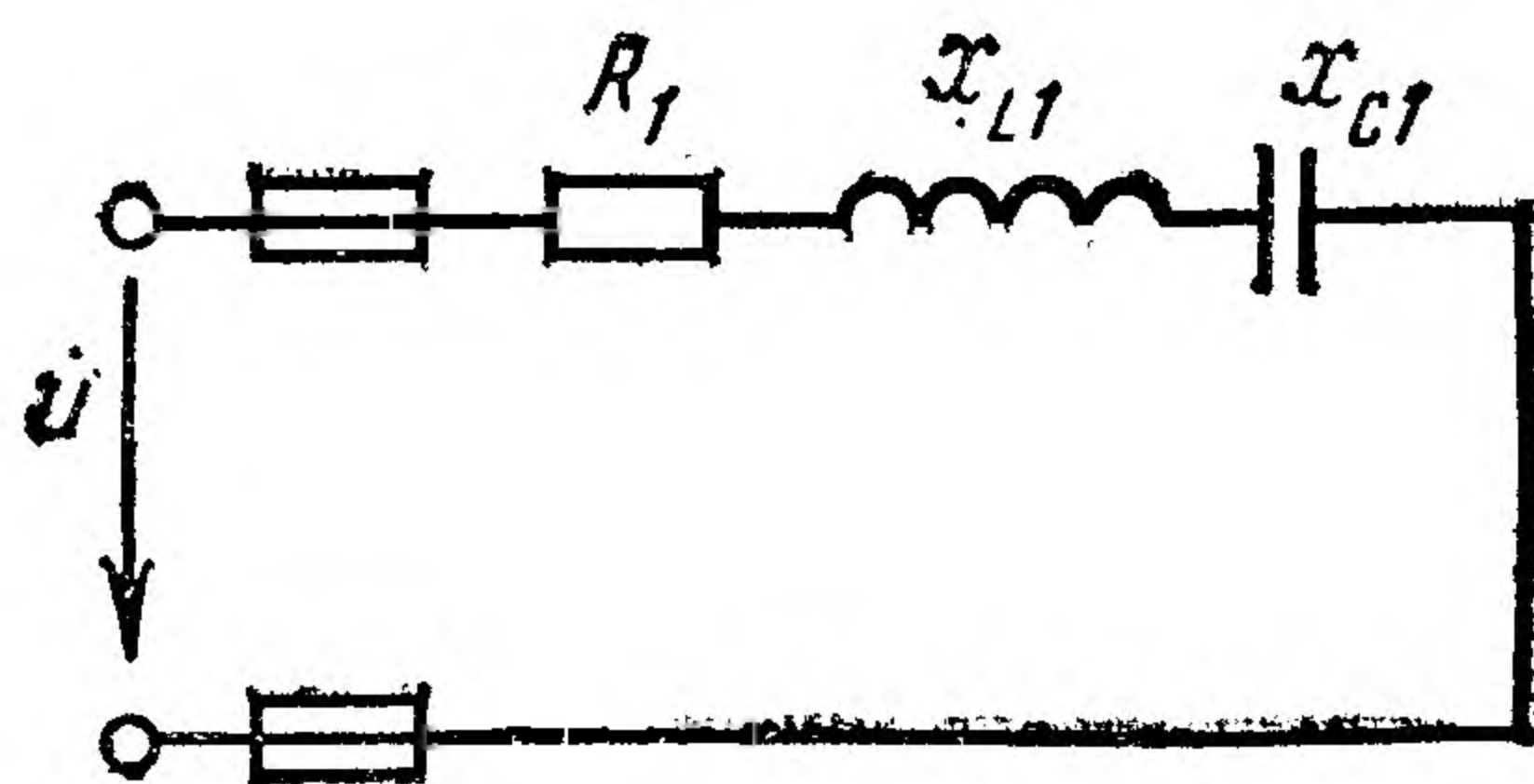


Рис. 16

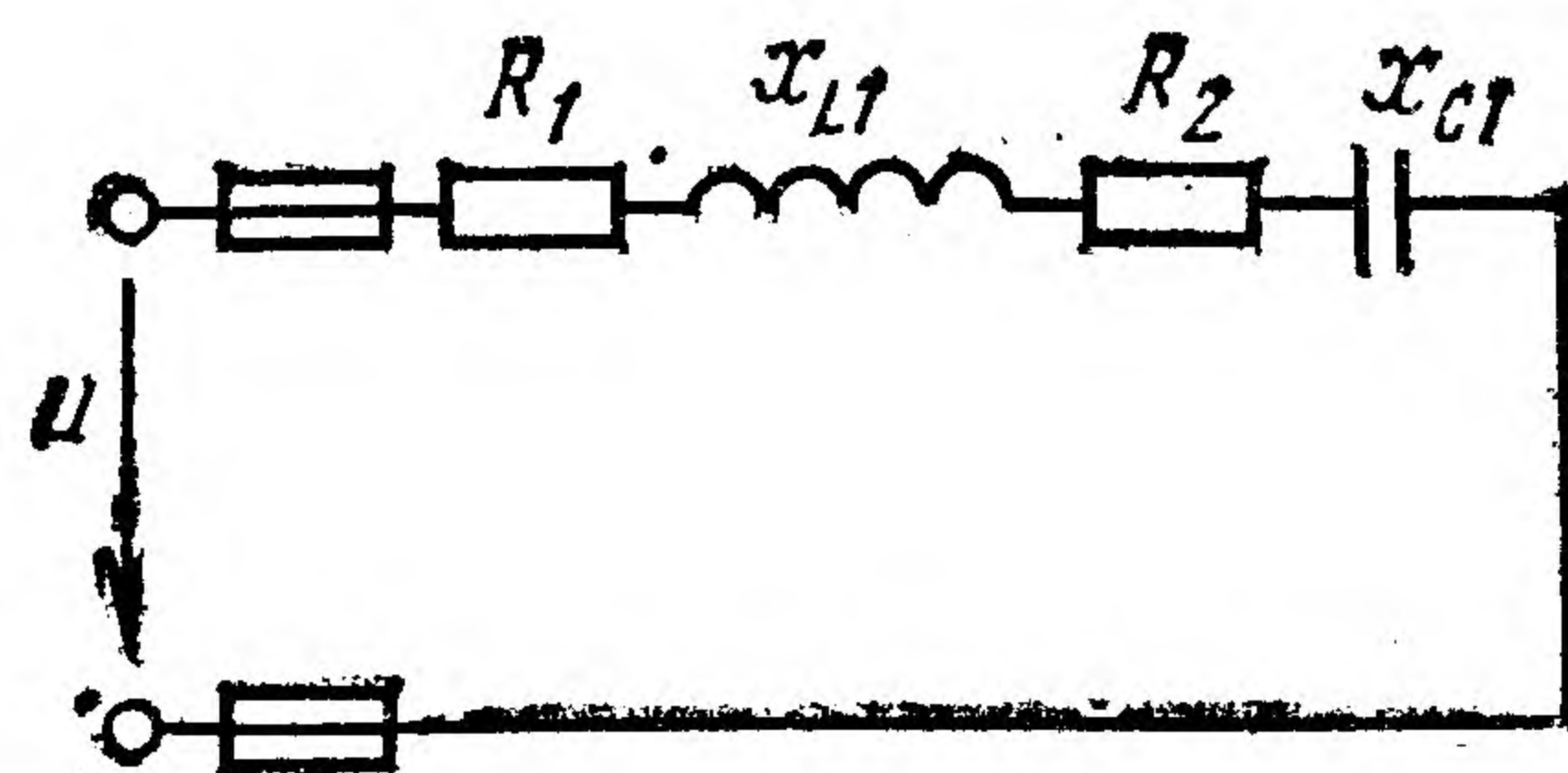


Рис. 17

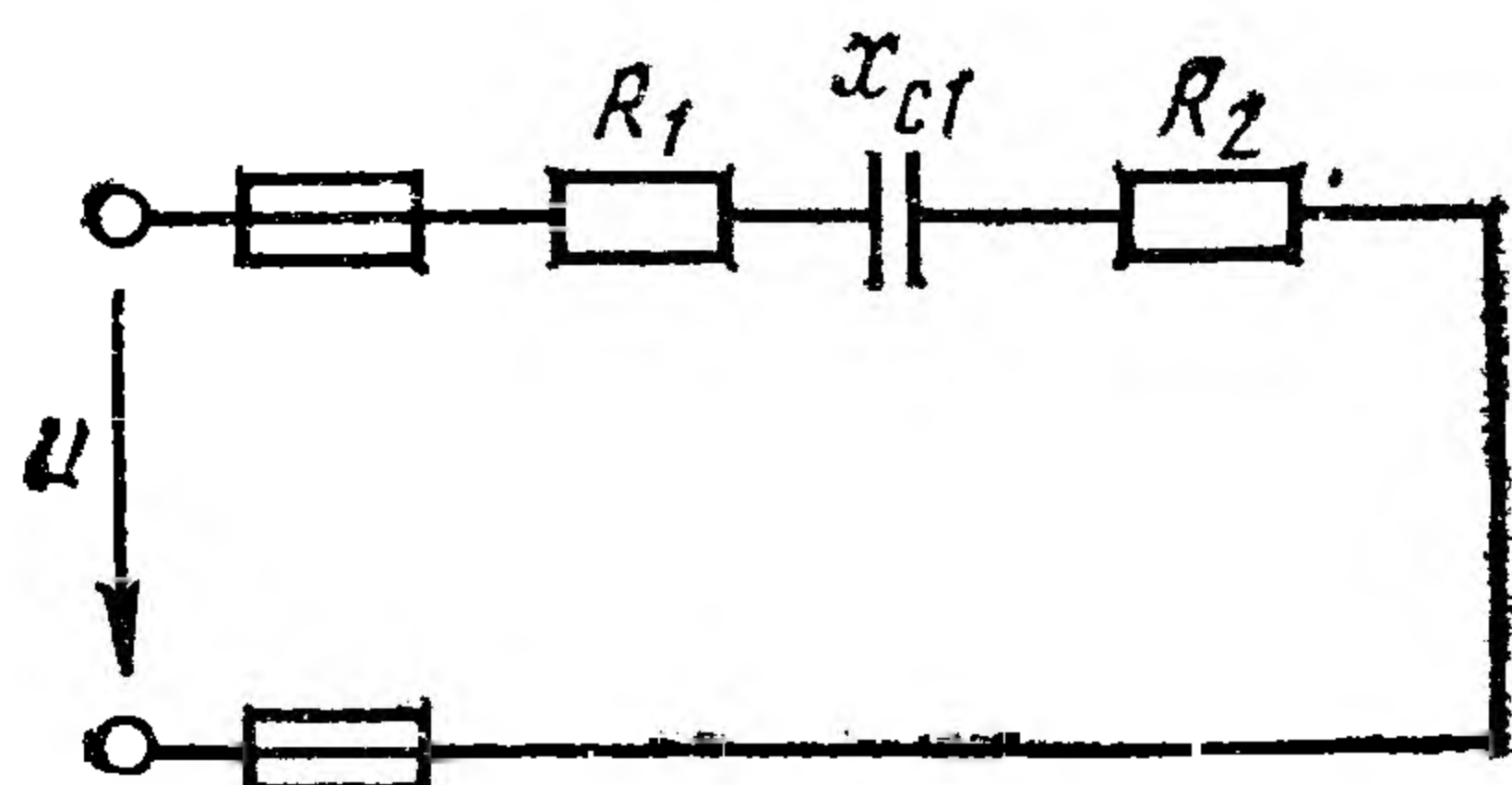


Рис. 18

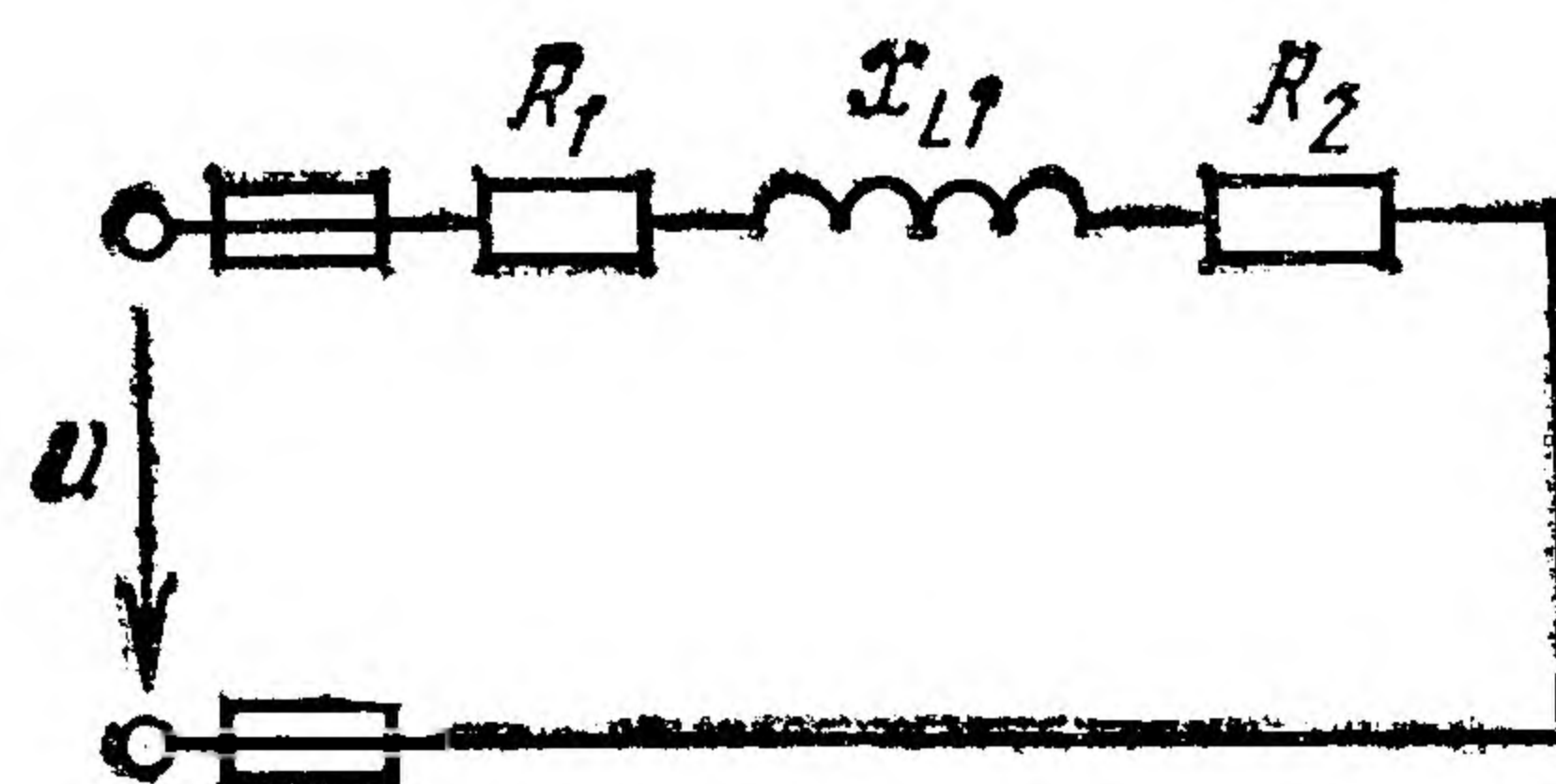


Рис. 19

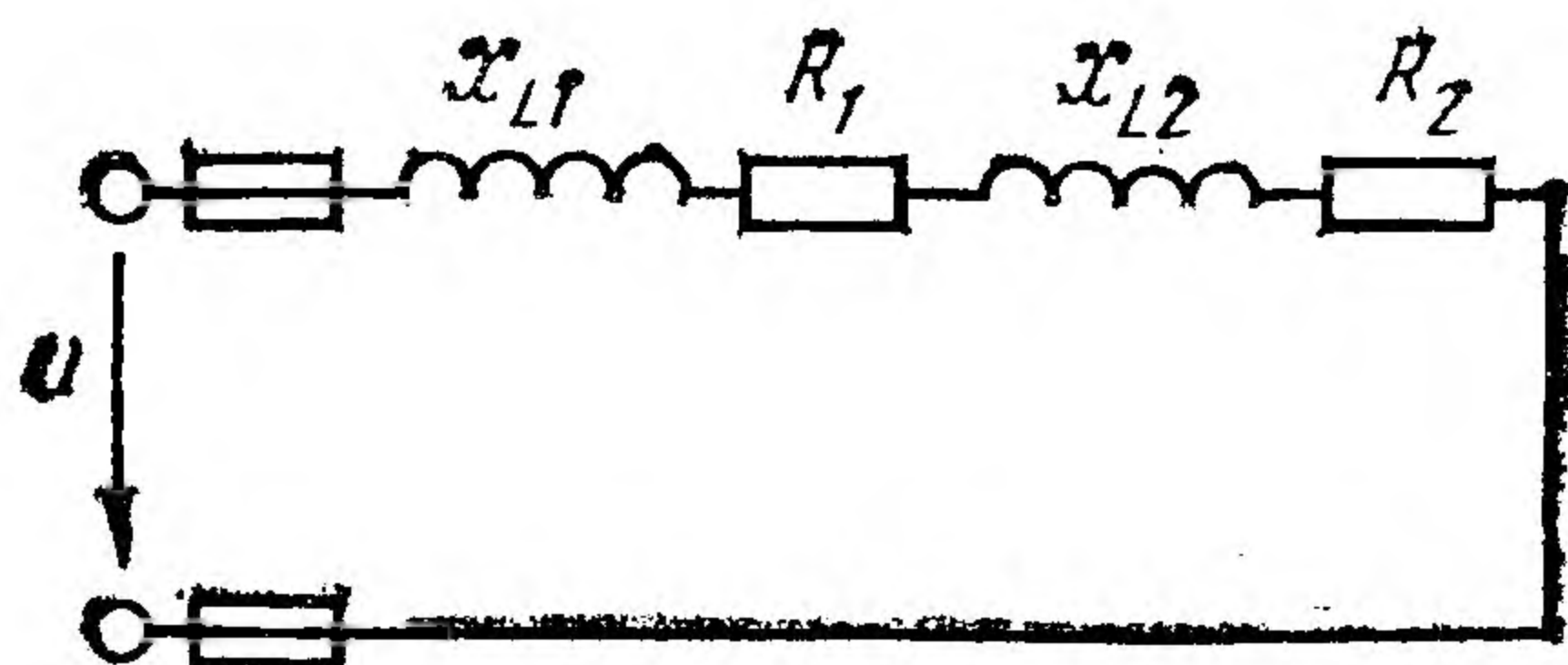


Рис. 20

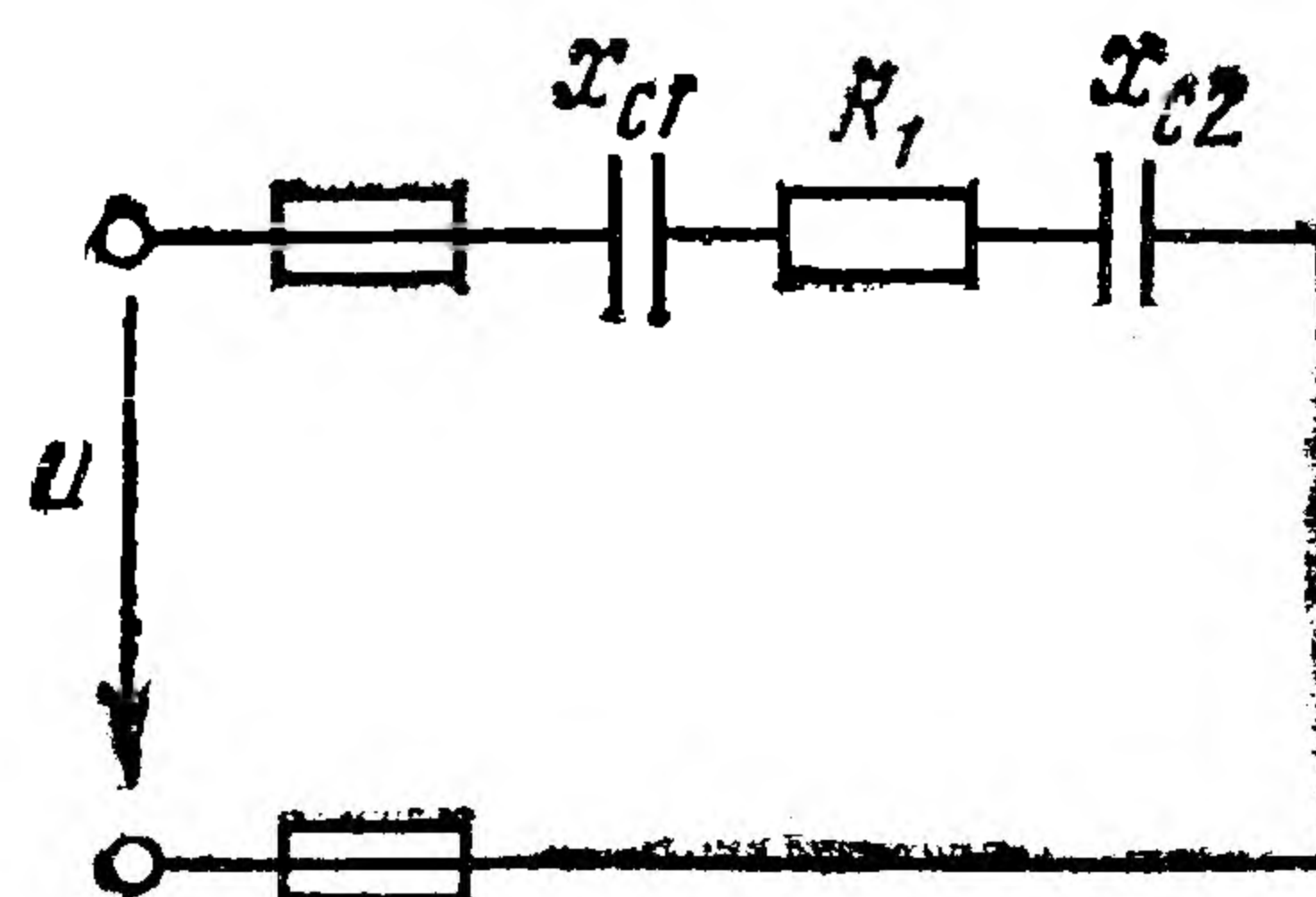


Рис. 21

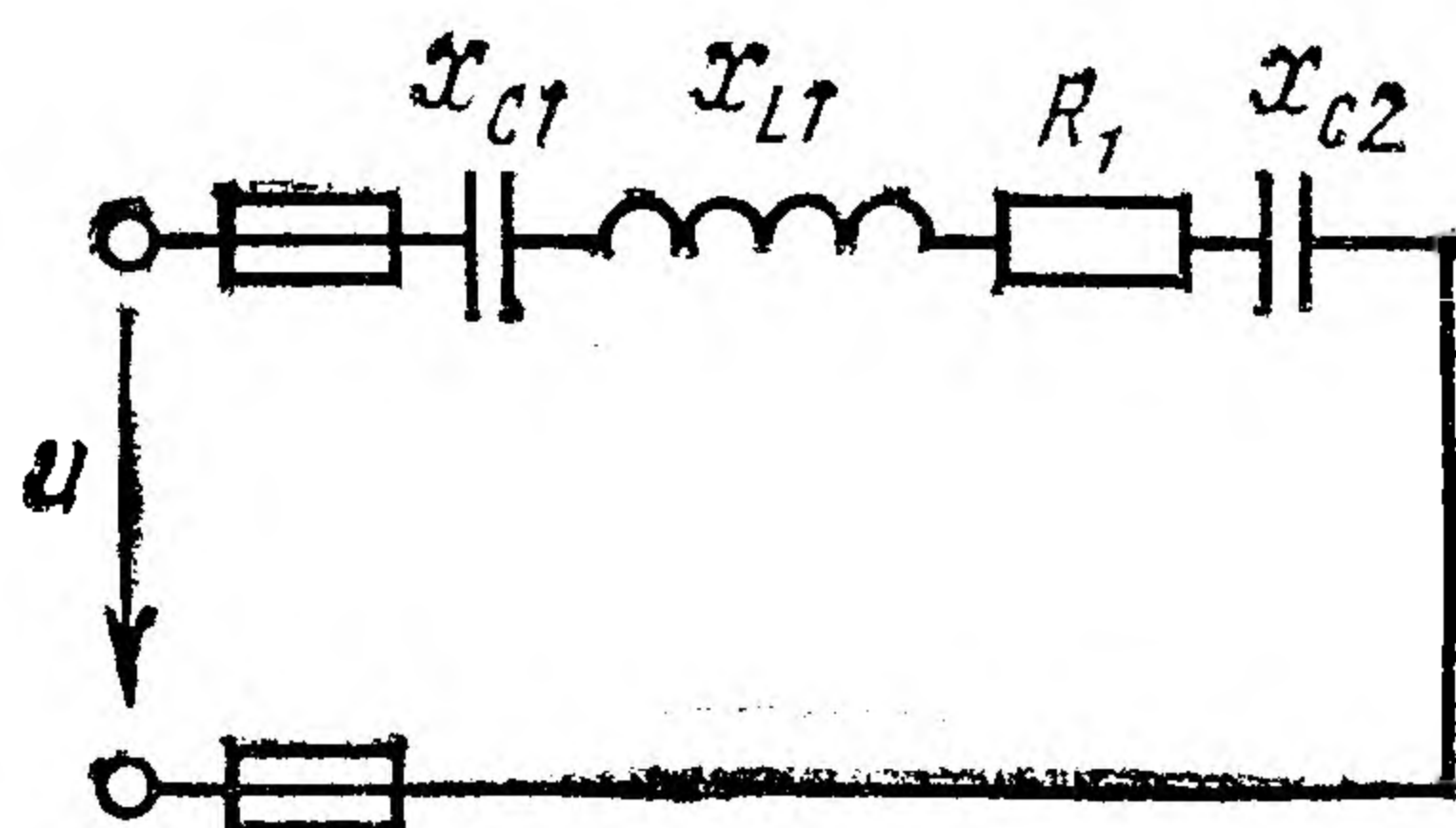


Рис. 22

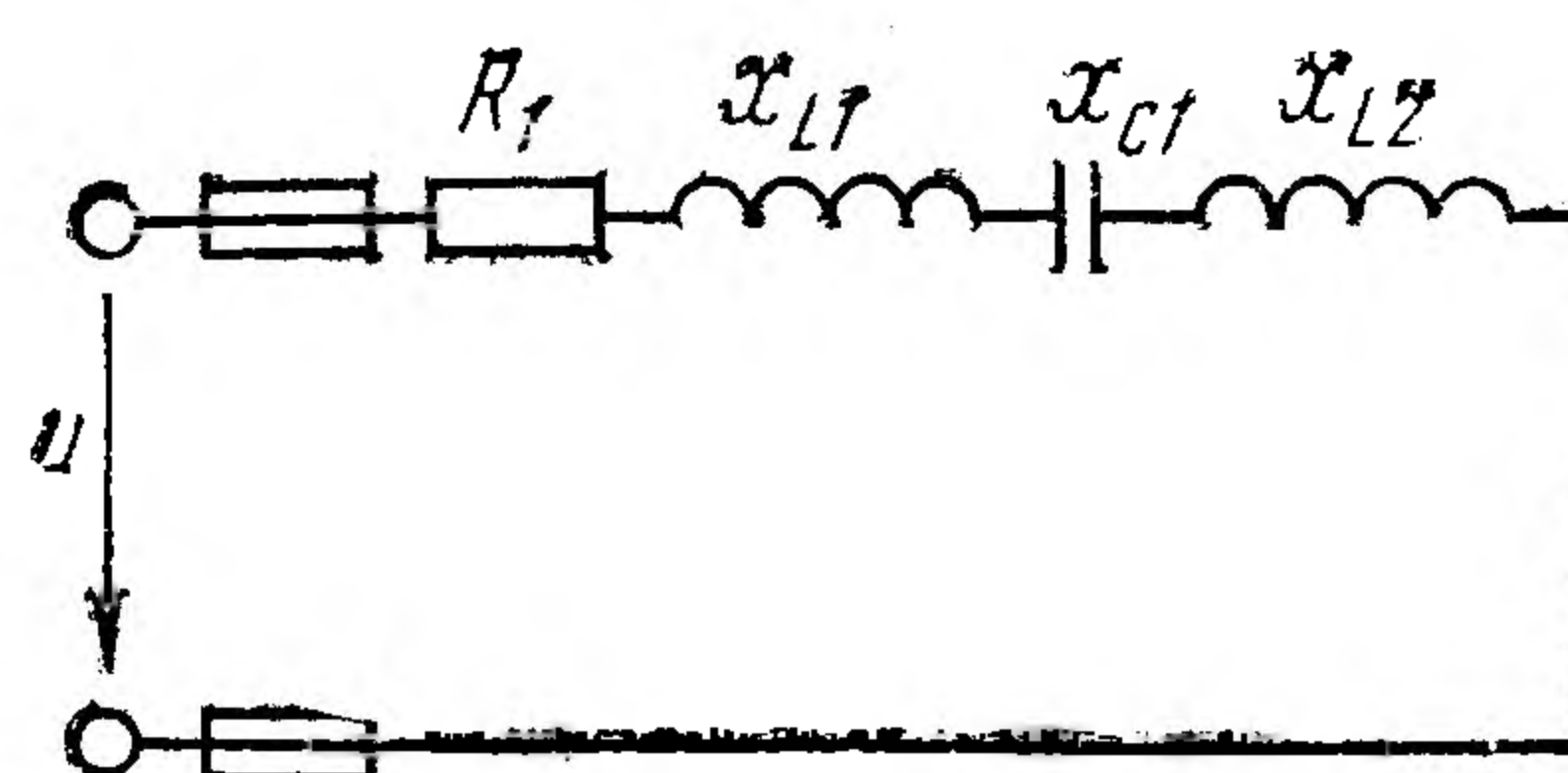


Рис. 23

Таблица 4

Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительный параметр
01	16	4	—	6	—	3	—	$Q_{L1} = 150$ вар
02	17	6	2	3	—	9	—	$U = 40$ В
03	18	10	6	—	—	12	—	$I = 5$ А
04	19	6	2	6	—	—	—	$P_{R1} = 150$ Вт
05	20	4	4	3	3	—	—	$S = 360$ В·А
06	21	3	—	—	—	2	2	$I = 4$ А
07	22	8	—	12	—	4	2	$P = 200$ Вт
08	23	16	—	10	8	6	—	$U = 80$ В
09	24	10	6	—	—	8	4	$I = 2$ А
10	25	2	2	5	—	6	2	$Q = -192$ вар
11	16	3	—	2	—	6	—	$U = 50$ В
12	17	4	4	4	—	10	—	$I = 4$ А
13	18	4	2	—	—	8	—	$U_{R1} = 20$ В
14	19	8	4	16	—	—	—	$S = 320$ В·А
15	20	6	10	8	4	—	—	$P = 400$ Вт
16	21	6	—	—	—	5	3	$S = 160$ В·А
17	22	12	—	4	—	12	8	$I = 4$ А
18	23	6	—	8	4	4	—	$P = 54$ Вт
19	24	8	4	—	—	6	10	$S = 180$ В·А
20	25	8	8	12	—	4	2	$P = 256$ Вт
21	16	6	—	10	—	2	—	$I = 5$ А
22	17	4	2	12	—	4	—	$P = 24$ Вт
23	18	5	3	—	—	6	—	$S = 250$ В·А
24	19	3	1	3	—	—	—	$Q_{L1} = 80$ вар
25	20	4	8	10	6	—	—	$Q = 64$ вар
26	21	8	—	—	—	4	2	$U = 40$ В
27	22	6	—	12	—	2	2	$U_{L1} = 60$ В
28	23	4	—	8	4	9	—	$Q = 75$ вар
29	24	2	6	—	—	4	2	$U_{R2} = 24$ В
30	25	4	2	4	—	8	4	$Q_{L1} = 16$ вар
31	16	8	—	4	—	10	—	$P = 800$ Вт
32	17	3	3	2	—	10	—	$Q_{C1} = -160$ вар
33	18	2	2	—	—	3	—	$P = 100$ Вт
34	19	4	4	6	—	—	—	$I = 2$ А
35	20	2	4	2	6	—	—	$U = 60$ В
36	21	16	—	—	—	4	8	$Q = -300$ вар
37	22	4	—	10	—	4	3	$U_{C2} = 15$ В
38	23	12	—	14	10	8	—	$U_{R1} = 60$ В

Номер вариан- та	Номер рисун- ка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительный параметр
39	24	4	2	—	—	4	4	$Q_{C2} = -256$ вар
40	25	1	2	6	—	8	2	$U_{C1} = 40$ В
41	16	12	—	18	—	2	—	$S = 500$ В·А
42	17	8	4	20	—	4	—	$Q_{L1} = 500$ вар
43	18	2	1	—	—	4	—	$Q_{C1} = -100$ вар
44	19	10	6	12	—	—	—	$U = 100$ В
45	20	6	2	4	2	—	—	$I = 4$ А
46	21	12	—	—	—	10	6	$P = 48$ Вт
47	22	3	—	8	—	2	10	$Q = -400$ вар
48	23	6	—	5	3	8	—	$U_{C1} = 16$ В
49	24	1	3	—	—	2	1	$Q = -48$ вар
50	25	10	6	18	—	4	2	$S = 80$ В·А

Указание. См. решение типового примера 2.

П р и м е ч а н и е. В табл. 4, 6 индексы буквенных обозначений следует понимать так:  $Q_{L1}$  — реактивная мощность в первом индуктивном сопротивлении;  $Q_{C1}$  — то же, но в емкостном сопротивлении;  $P_{R1}$  — активная мощность в первом активном сопротивлении;  $U_{R1}$ ,  $U_{L1}$ ,  $U_{C1}$  — падения напряжения соответственно в первом активном, индуктивном, первом емкостном сопротивлениях.

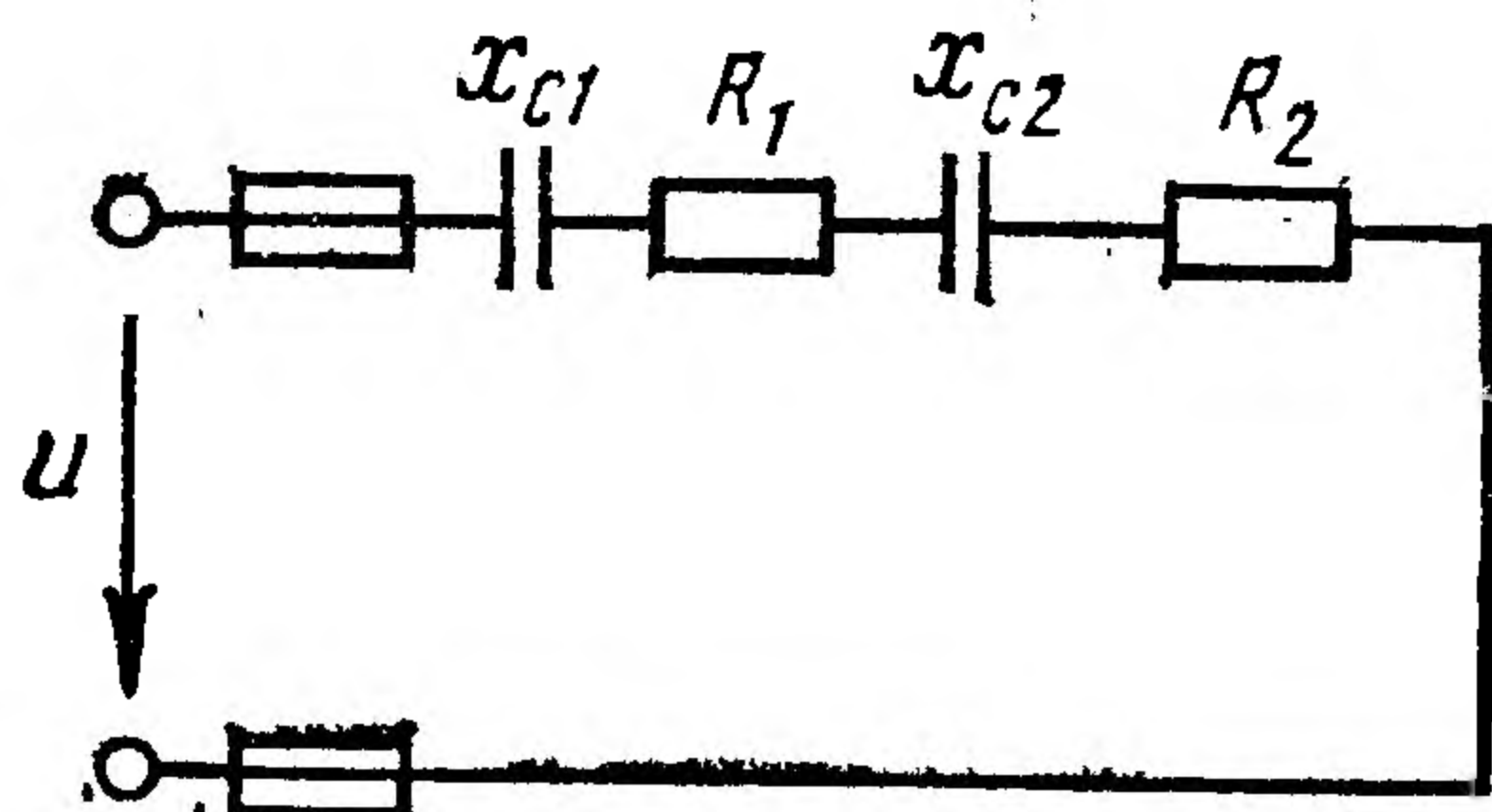


Рис. 24

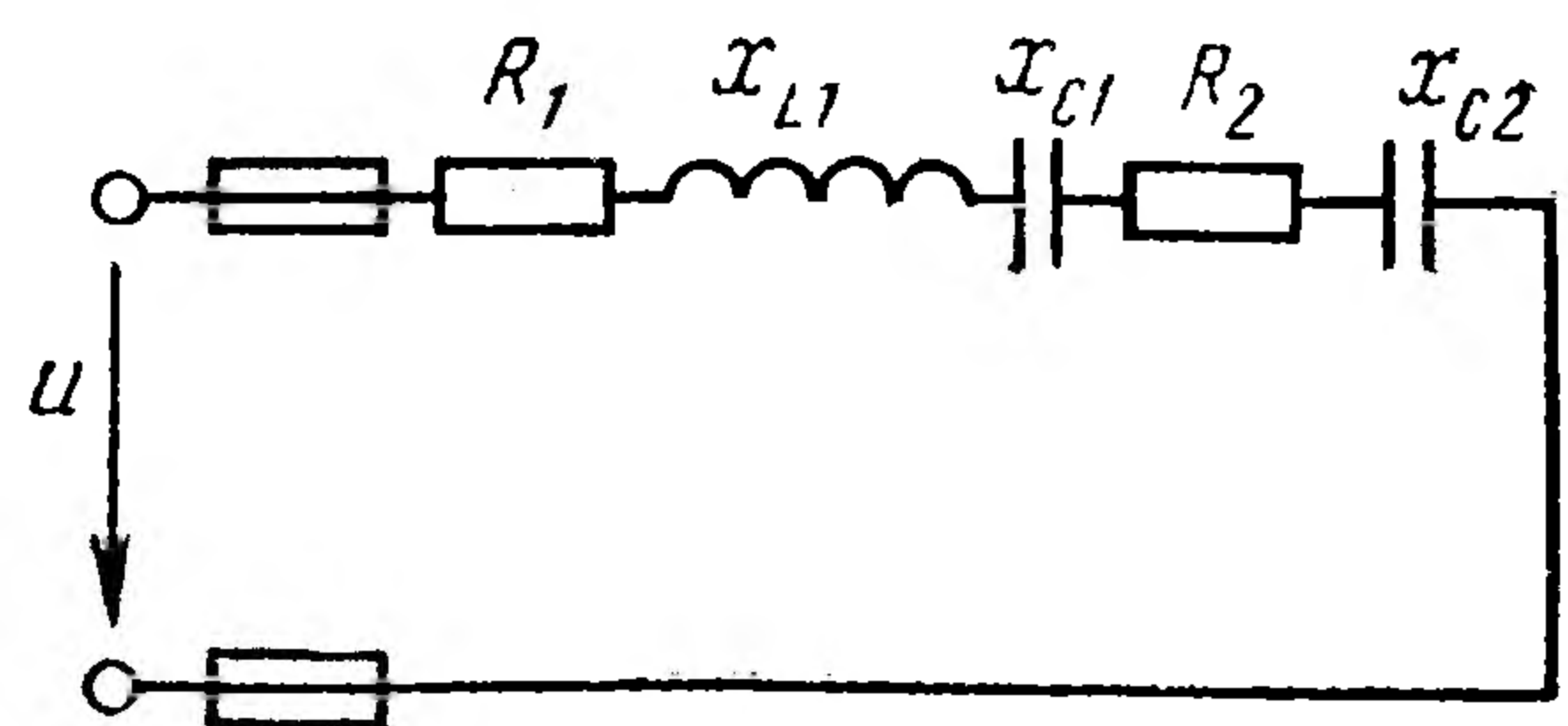


Рис. 25

**Задача 3 (варианты 51—00).** По заданной векторной диаграмме для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов (резисторов, индуктивностей и емкостей) начертить эквивалентную схему цепи и определить следующие величины: 1) сопротивление каждого элемента и полное сопротивление цепи  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку); 4) активную, реактивную и полную мощности ( $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ) цепи.

С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения), ток и угол сдвига



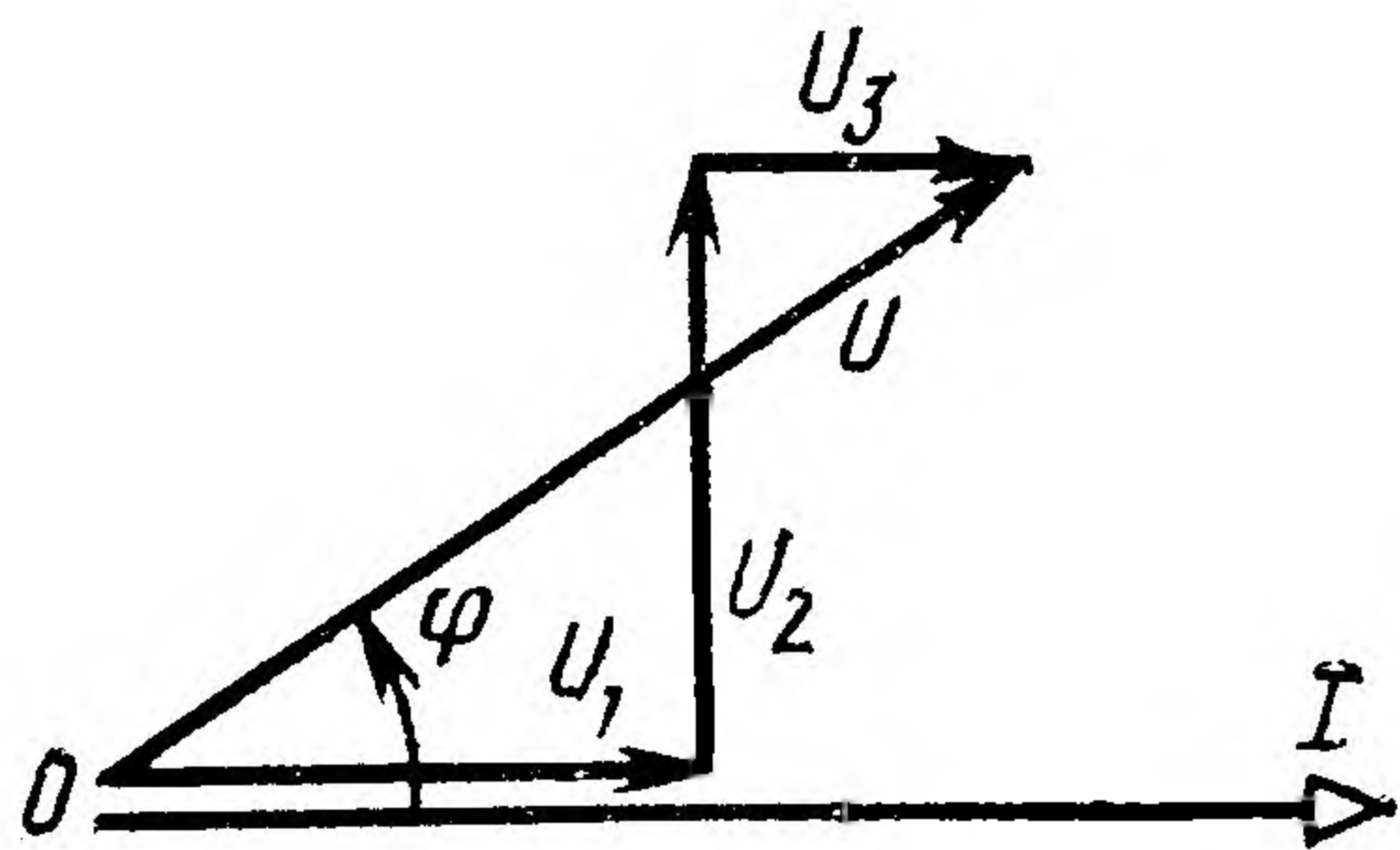


Рис. 26

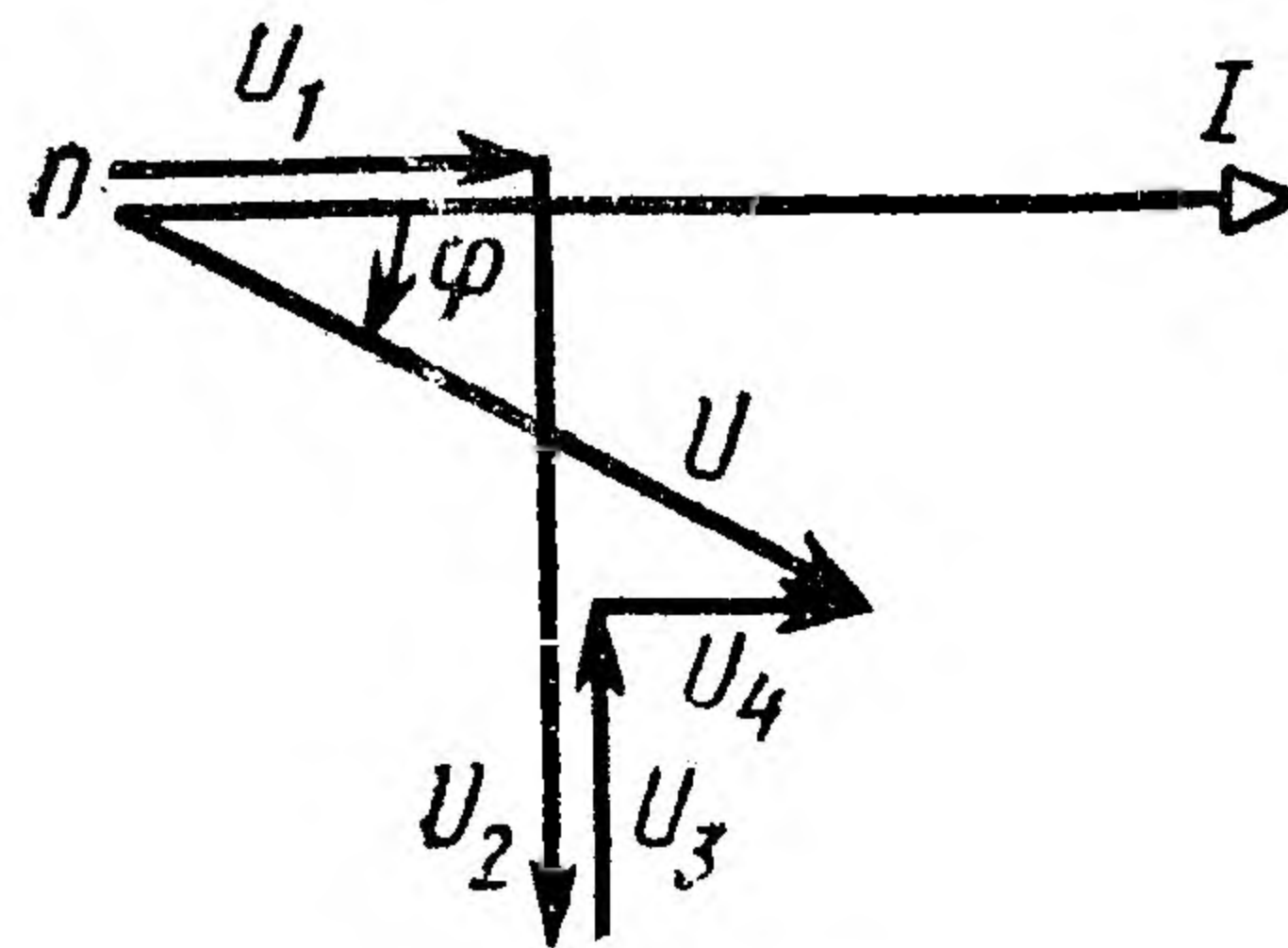


Рис. 27

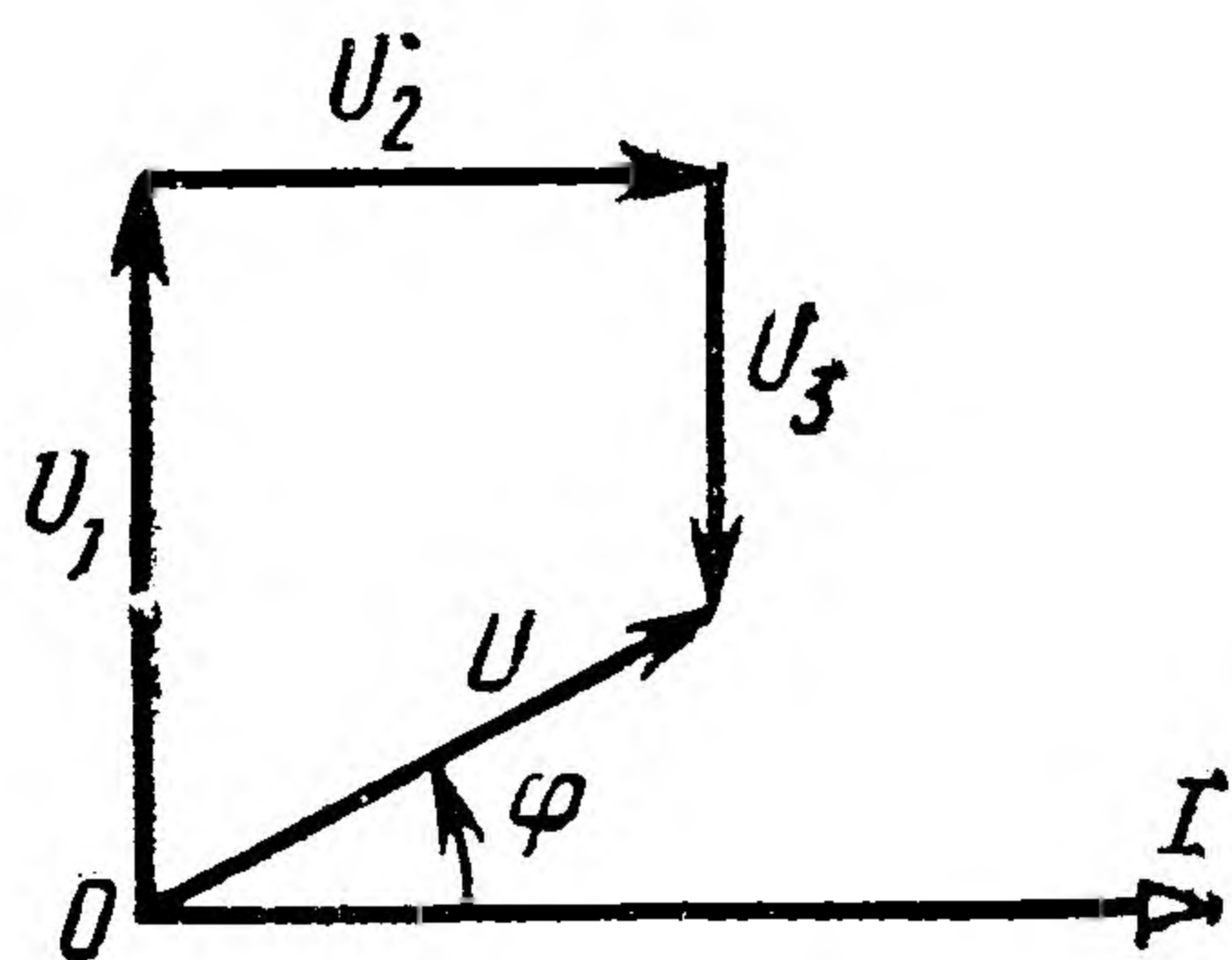


Рис. 28

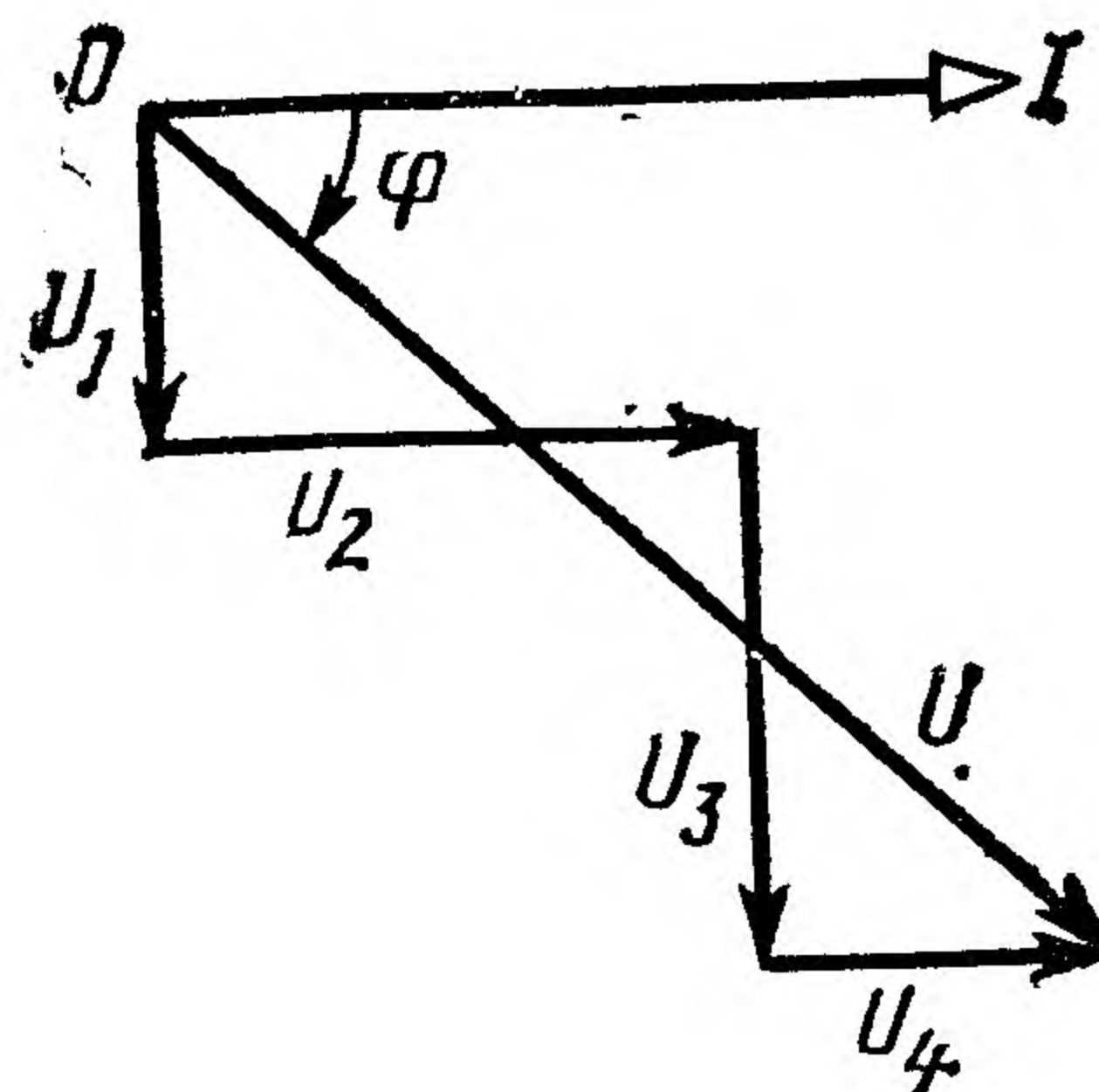


Рис. 29

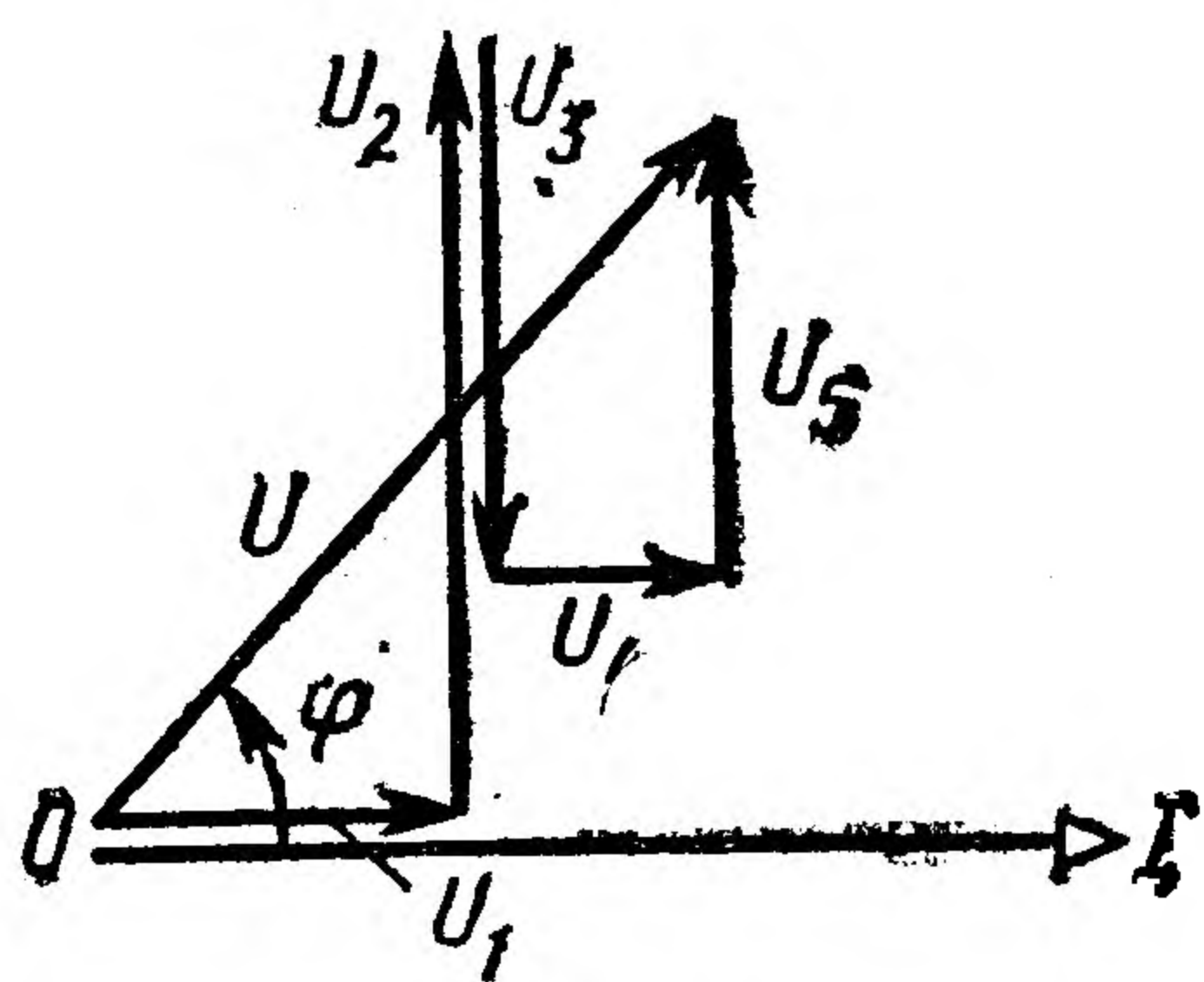


Рис. 30

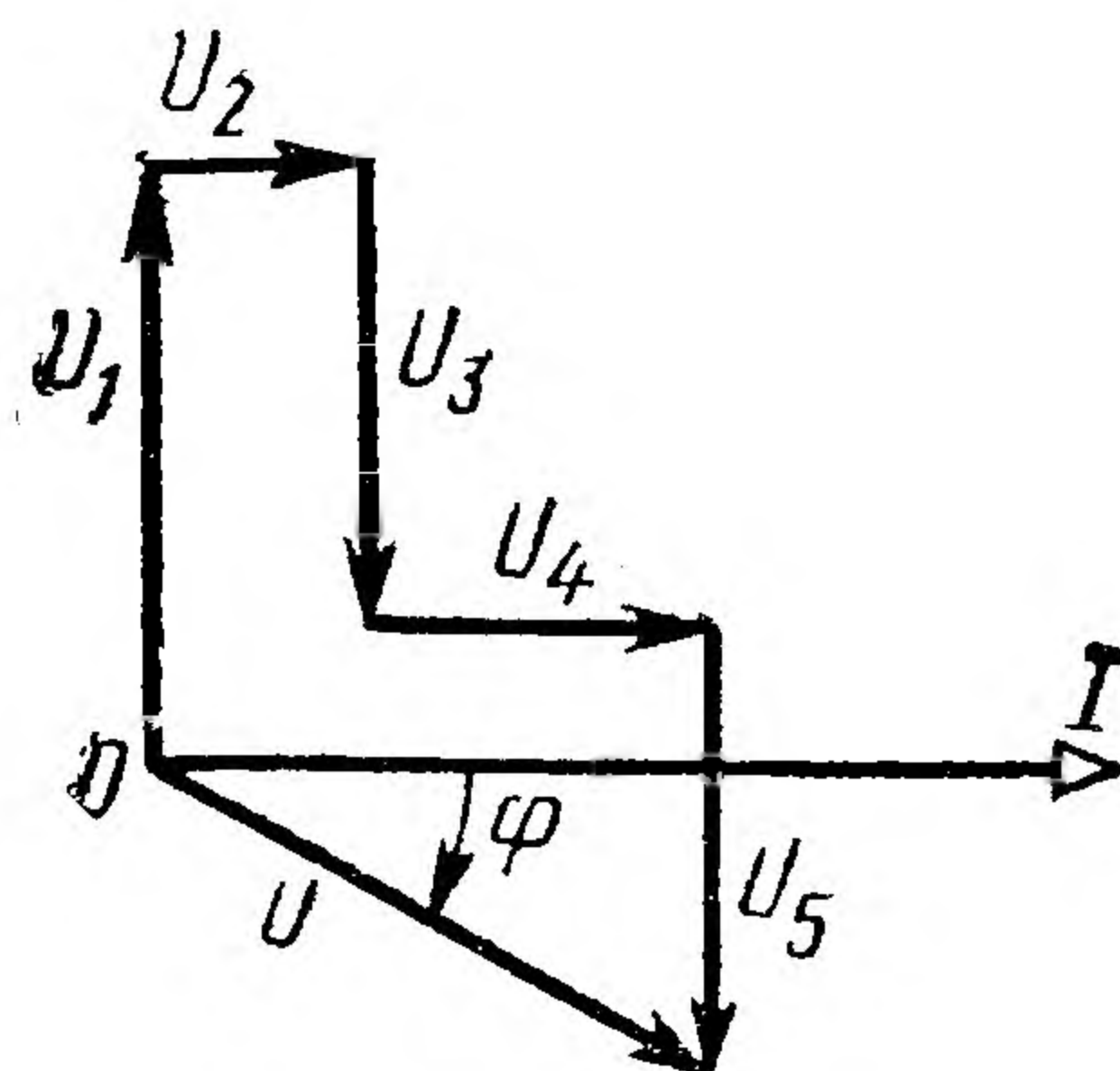


Рис. 31

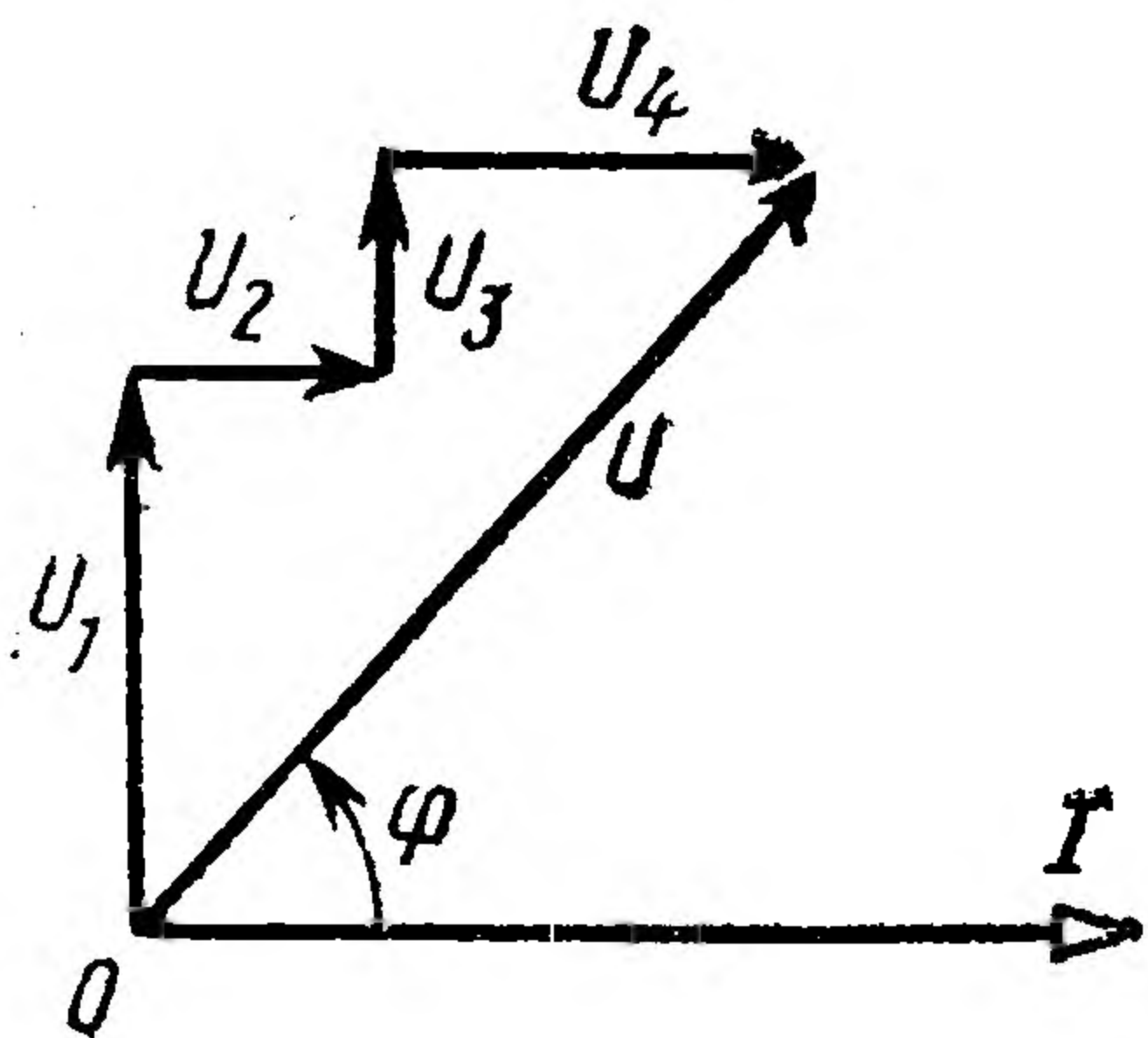


Рис. 32

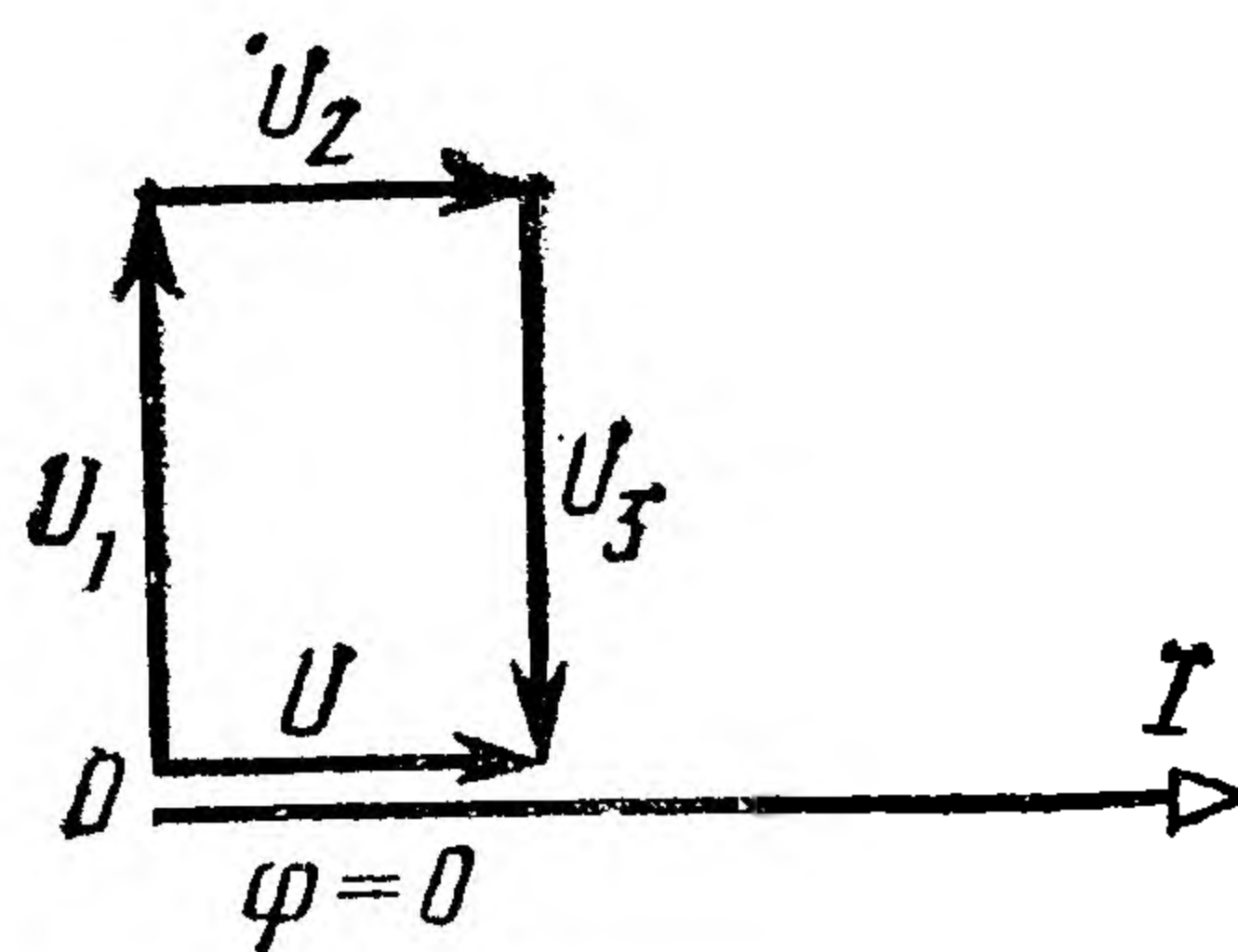


Рис. 33



Номер варианта	Номер рисунка	$I,$ А	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$U_3,$ В	$U_4,$ В	$U_5,$ В
51	26	5	15	15	5	—	—
52	27	4	32	80	16	16	—
53	28	3	60	48	24	—	—
54	29	2	4	8	12	4	—
55	30	4	12	20	16	4	8
56	31	2	16	2	12	6	10
57	32	3	9	3	3	6	—
58	33	5	50	25	50	—	—
59	34	4	32	56	12	8	—
60	35	10	20	40	30	20	40
61	26	2	10	12	6	—	—
62	27	10	30	50	20	10	—
63	28	4	40	12	24	—	—
64	29	5	50	40	30	20	—
65	30	2	12	20	12	4	4
66	31	3	18	6	12	12	30
67	32	4	20	16	12	8	—
68	33	6	18	12	18	—	—
69	34	5	20	80	30	20	—
70	35	8	48	64	32	16	80
71	26	10	10	40	20	—	—
72	27	5	20	30	20	10	—
73	28	2	20	16	8	—	—
74	29	4	4	8	12	4	—
75	30	3	36	36	24	18	24
76	31	4	16	24	20	40	44
77	32	5	50	40	30	20	—
78	33	7	56	70	56	—	—
79	34	2	4	40	32	12	—
80	35	6	12	30	24	6	30
81	26	3	36	36	12	—	—
82	27	2	16	40	8	8	—
83	28	5	50	30	10	—	—
84	29	10	60	20	20	40	—
85	30	5	10	50	40	20	30
86	31	6	30	6	18	12	36
87	32	2	8	20	16	12	—
88	33	4	60	40	60	—	—

Номер варианта	Номер рисунка	$I,$ А	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$U_3,$ В	$U_4,$ В	$U_5,$ В
89	34	3	6	36	24	12	—
90	35	5	30	40	30	50	70
91	26	4	24	24	8	—	—
92	27	1	10	20	8	6	—
93	28	3	60	48	24	—	—
94	29	8	24	8	8	16	—
95	30	6	48	84	24	24	36
96	31	5	20	20	10	20	40
97	32	6	12	36	24	12	—
98	33	2	36	30	36	—	—
99	34	5	20	50	20	15	—
00	35	10	50	100	60	30	100

фаз (по величине и знаку) при уменьшении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным. Данные для своего варианта принять из табл. 5.

*Указание.* См. решение типового примера 3, а также примечания к задаче 2.

**Задача 4 (варианты 01—00).** Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), образующие две параллельные ветви. Схема цепи приведена на соответствующем

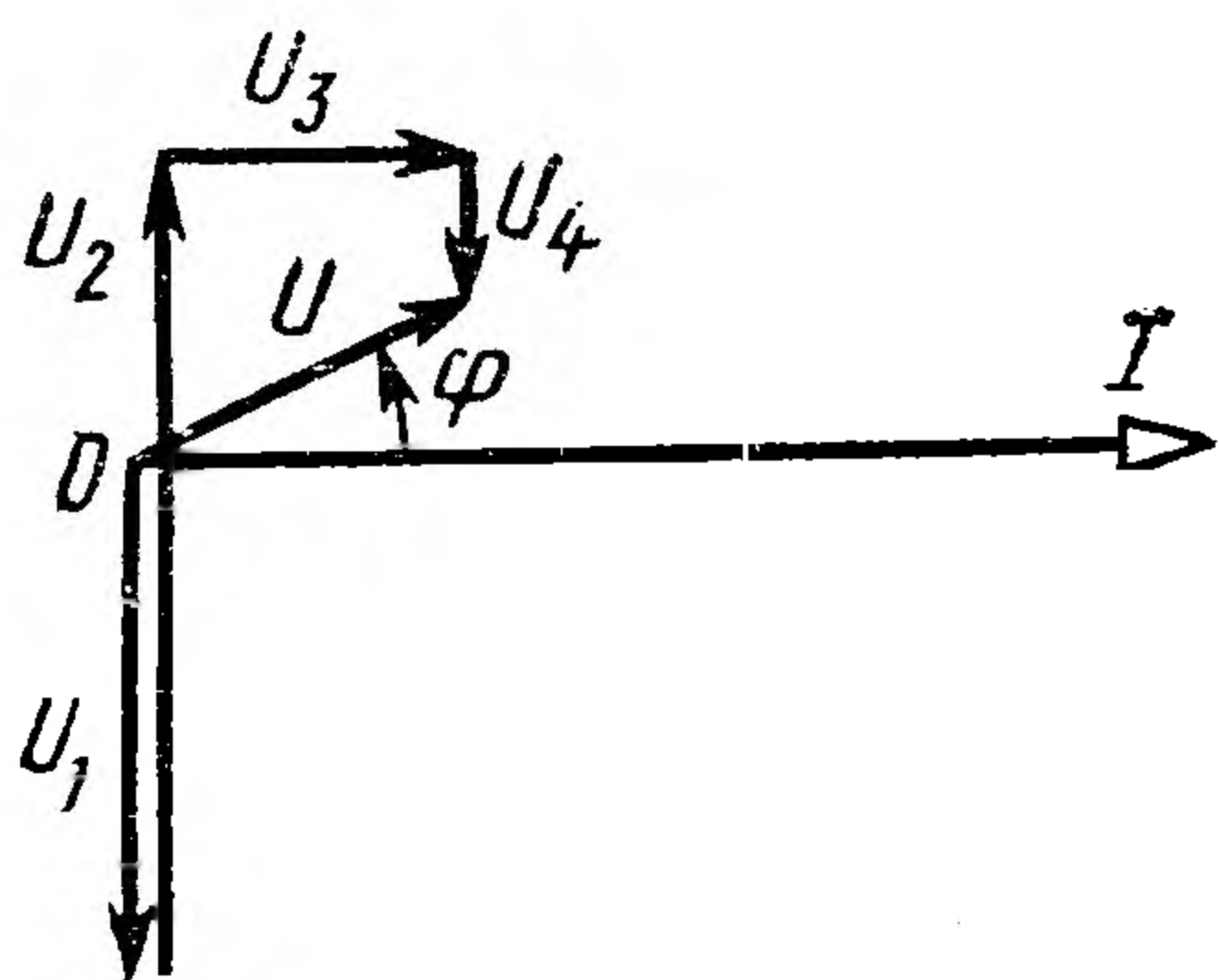


Рис. 34

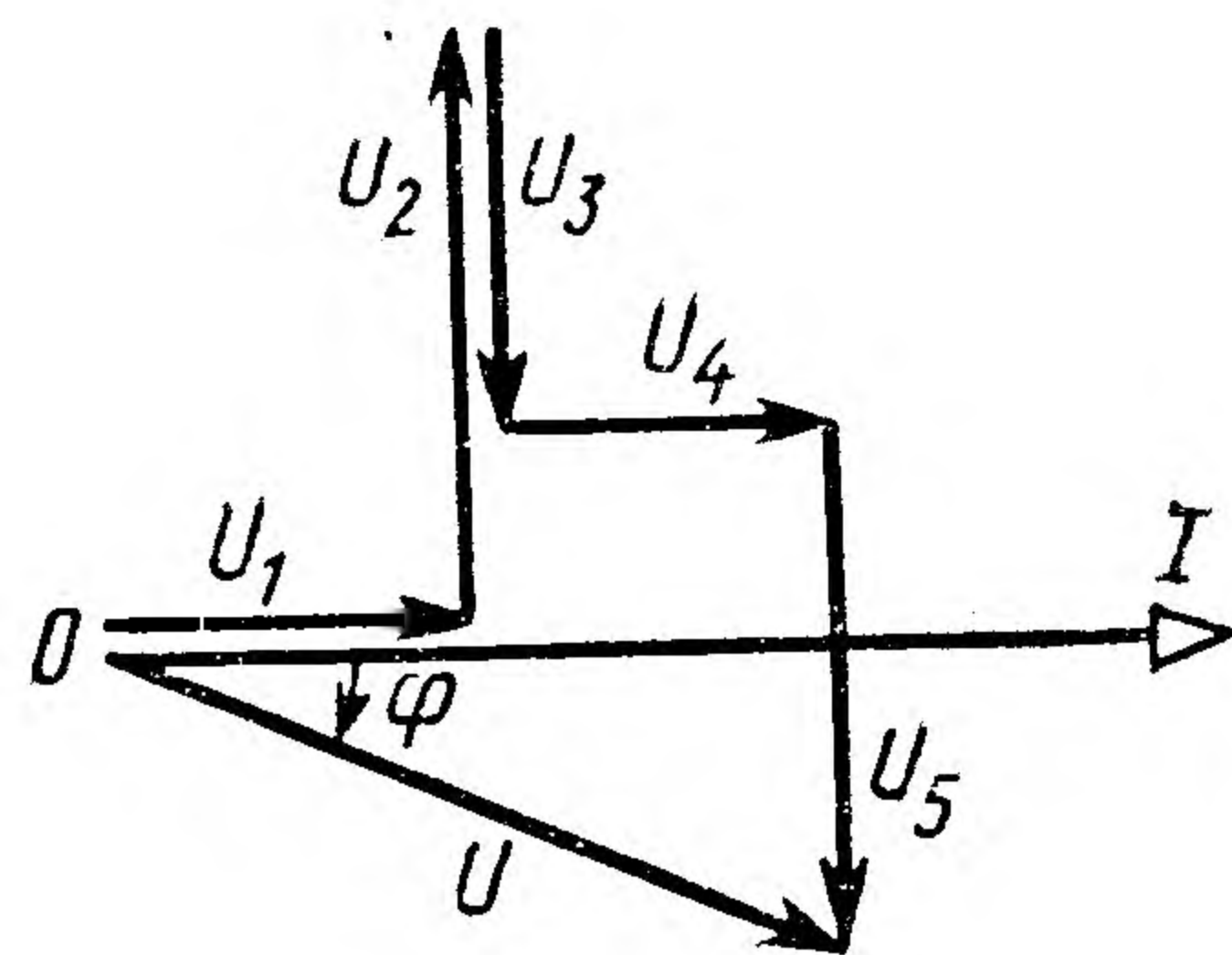


Рис. 35

рисунке. Номер рисунка, значения всех сопротивлений, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 6. Индекс «1» у дополнительного параметра означает, что он относится к первой ветви; индекс «2» — ко второй.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в табл. 6: 1) токи  $I_1$  и  $I_2$  в обеих ветвях; 2) ток  $I$  в неразветвленной части цепи; 3) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 4) активную

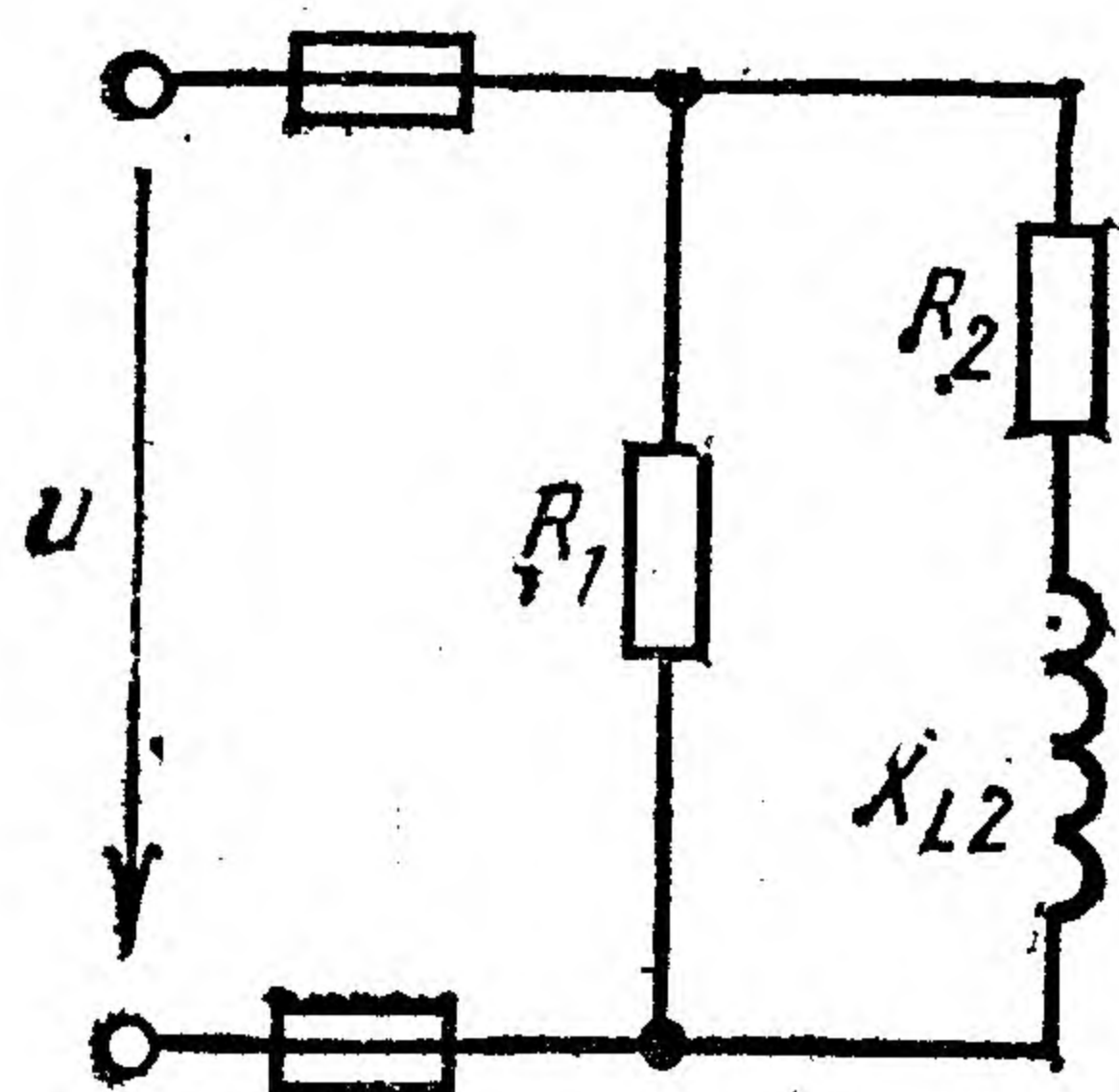


Рис. 36

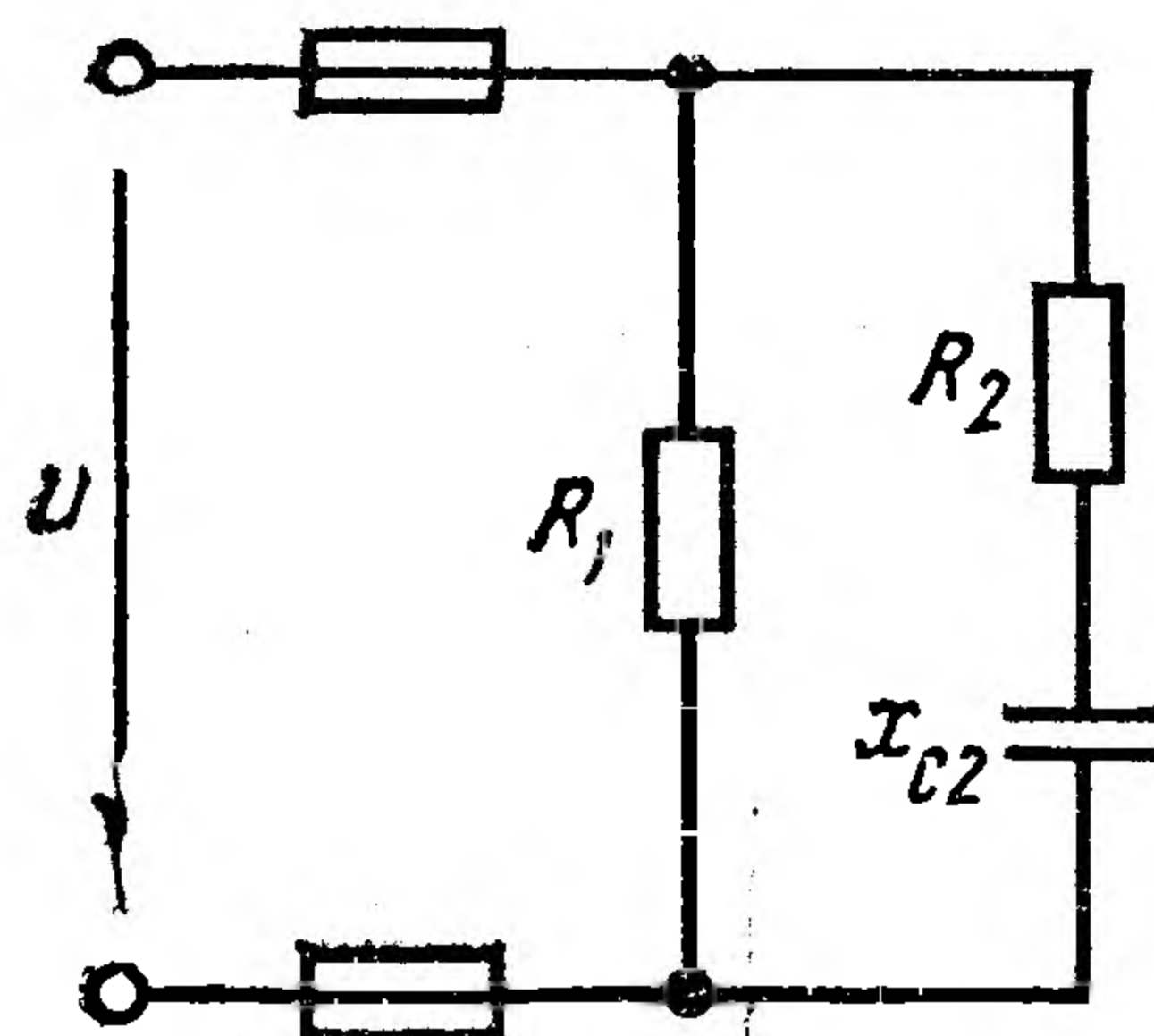


Рис. 37

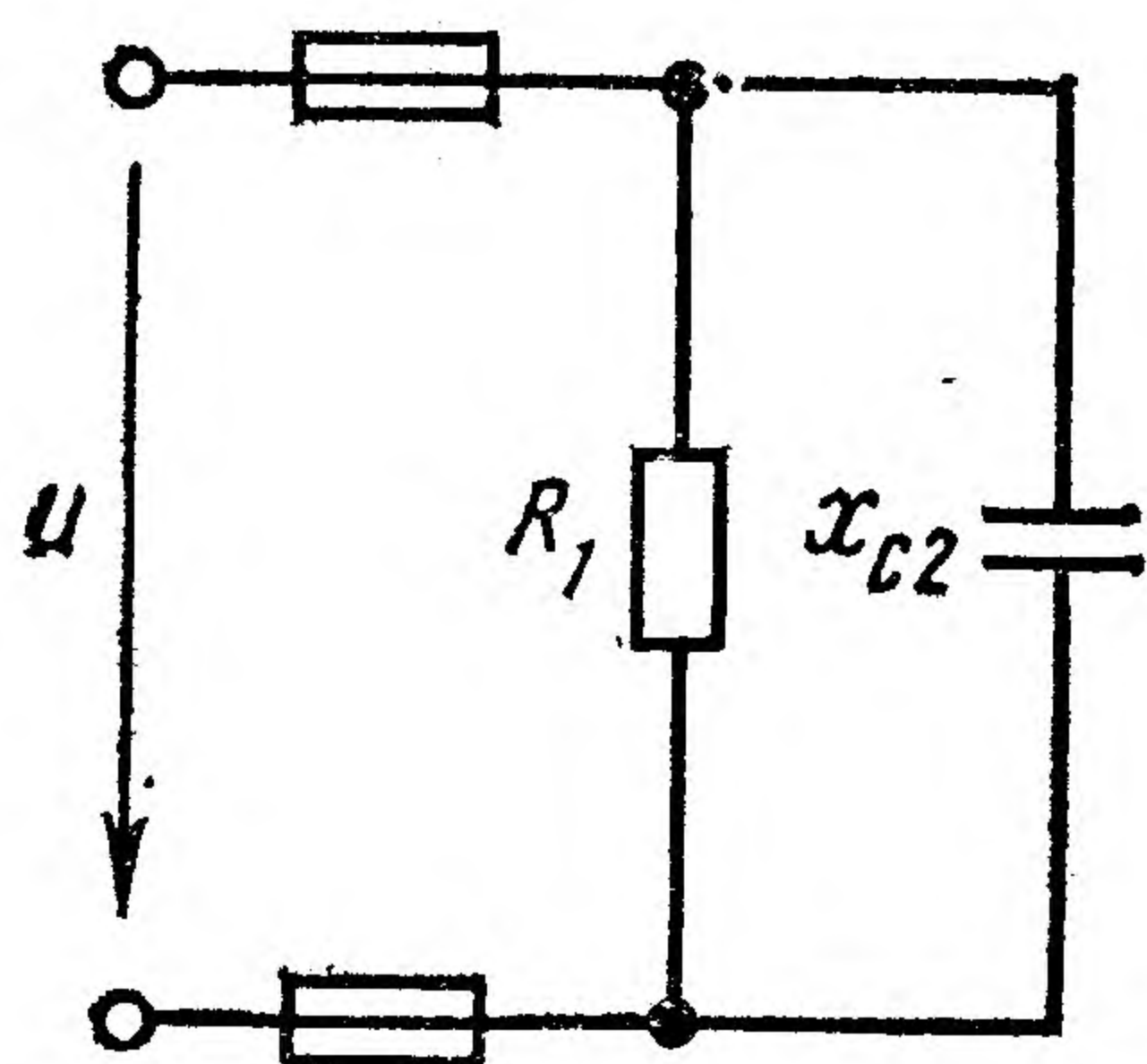


Рис. 38

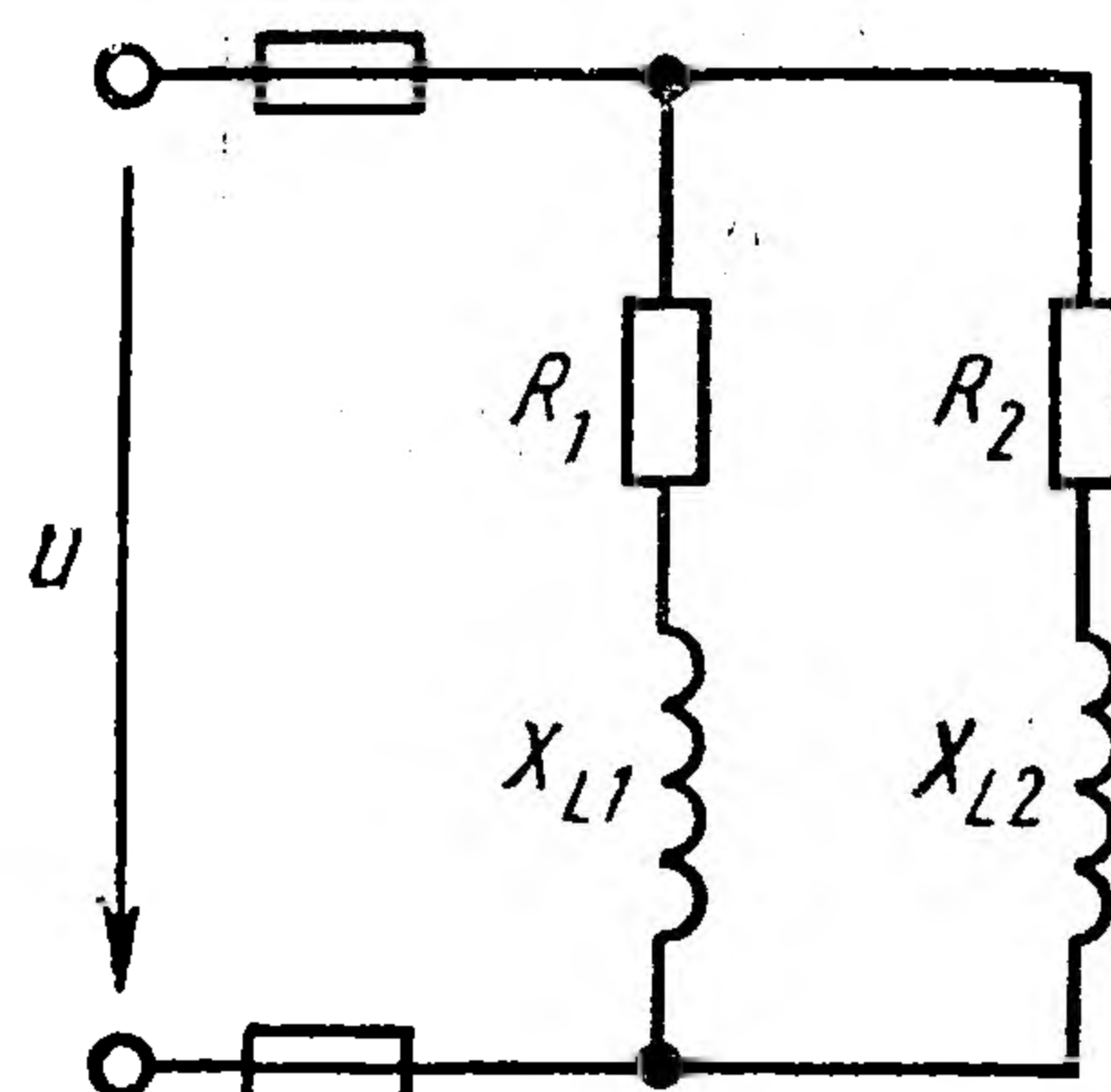


Рис. 39

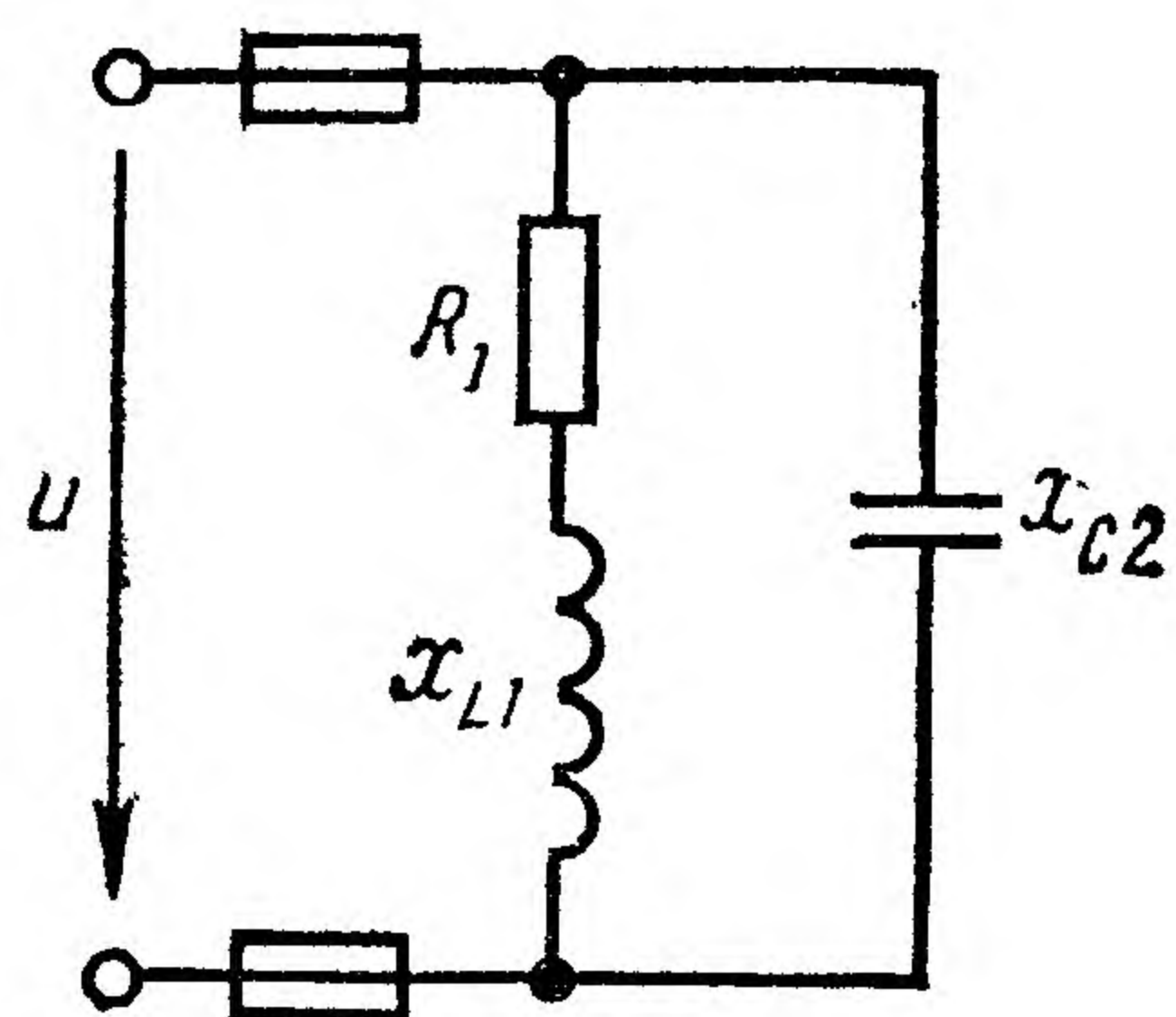


Рис. 40

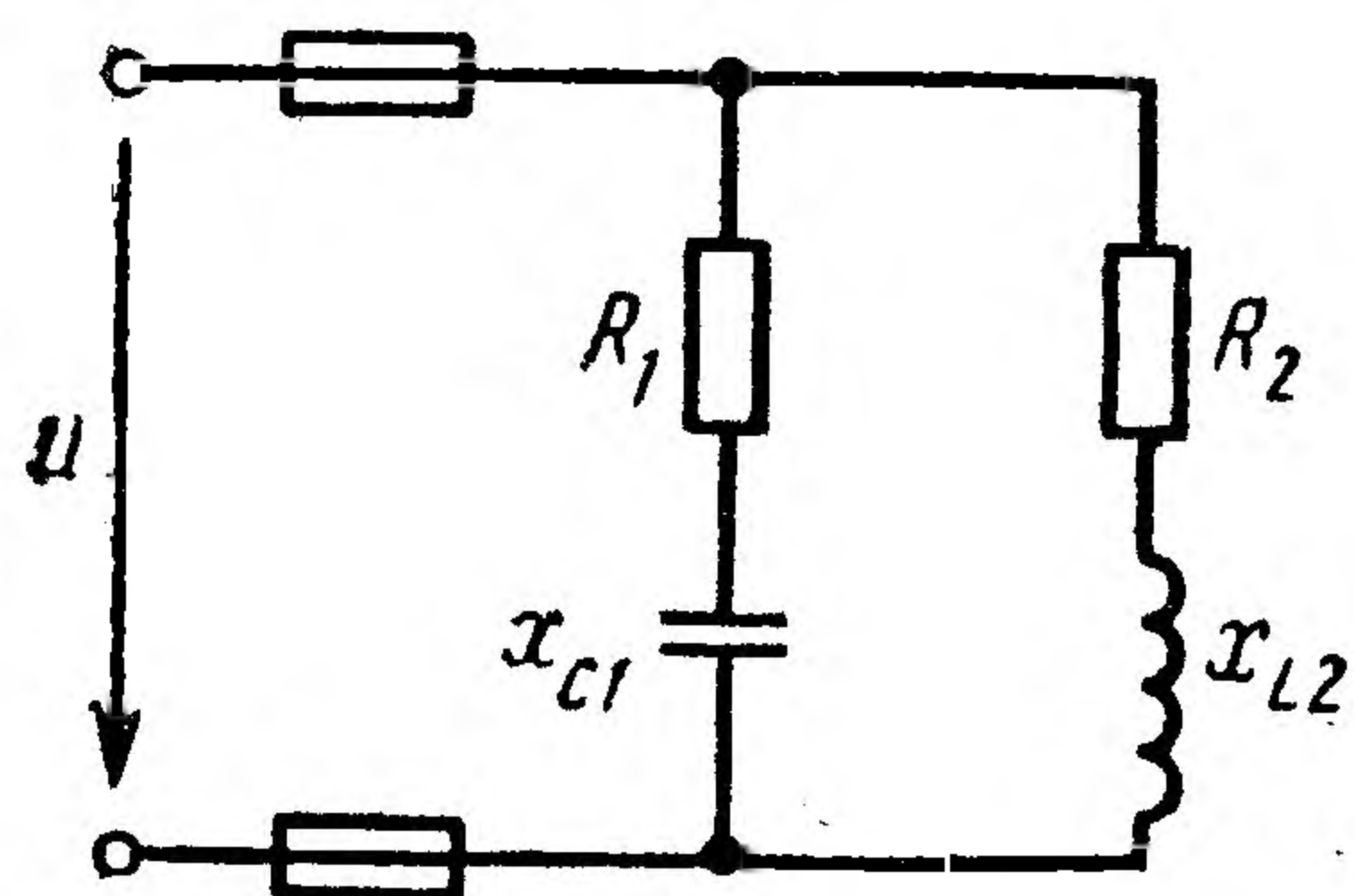


Рис. 41

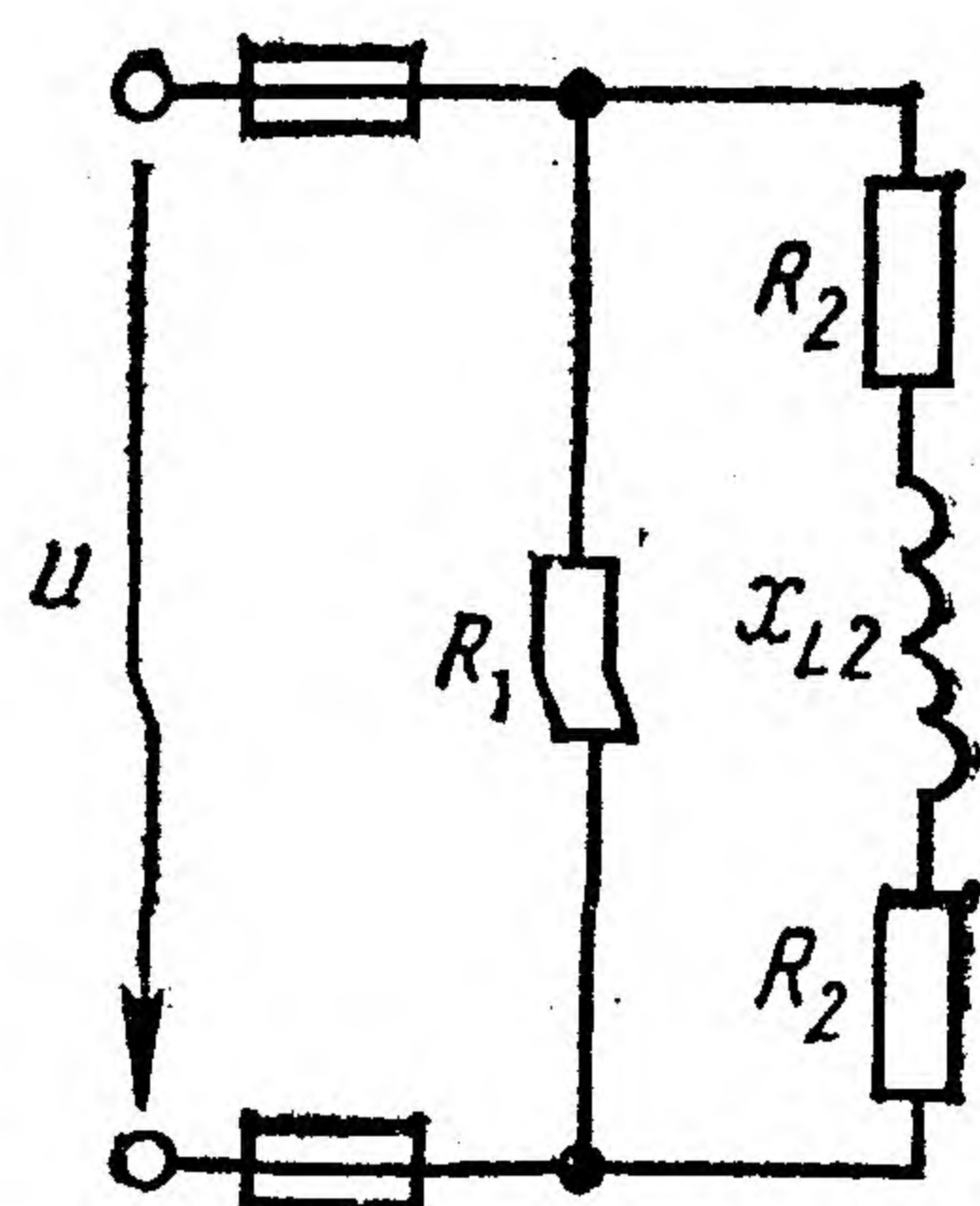


Рис. 42

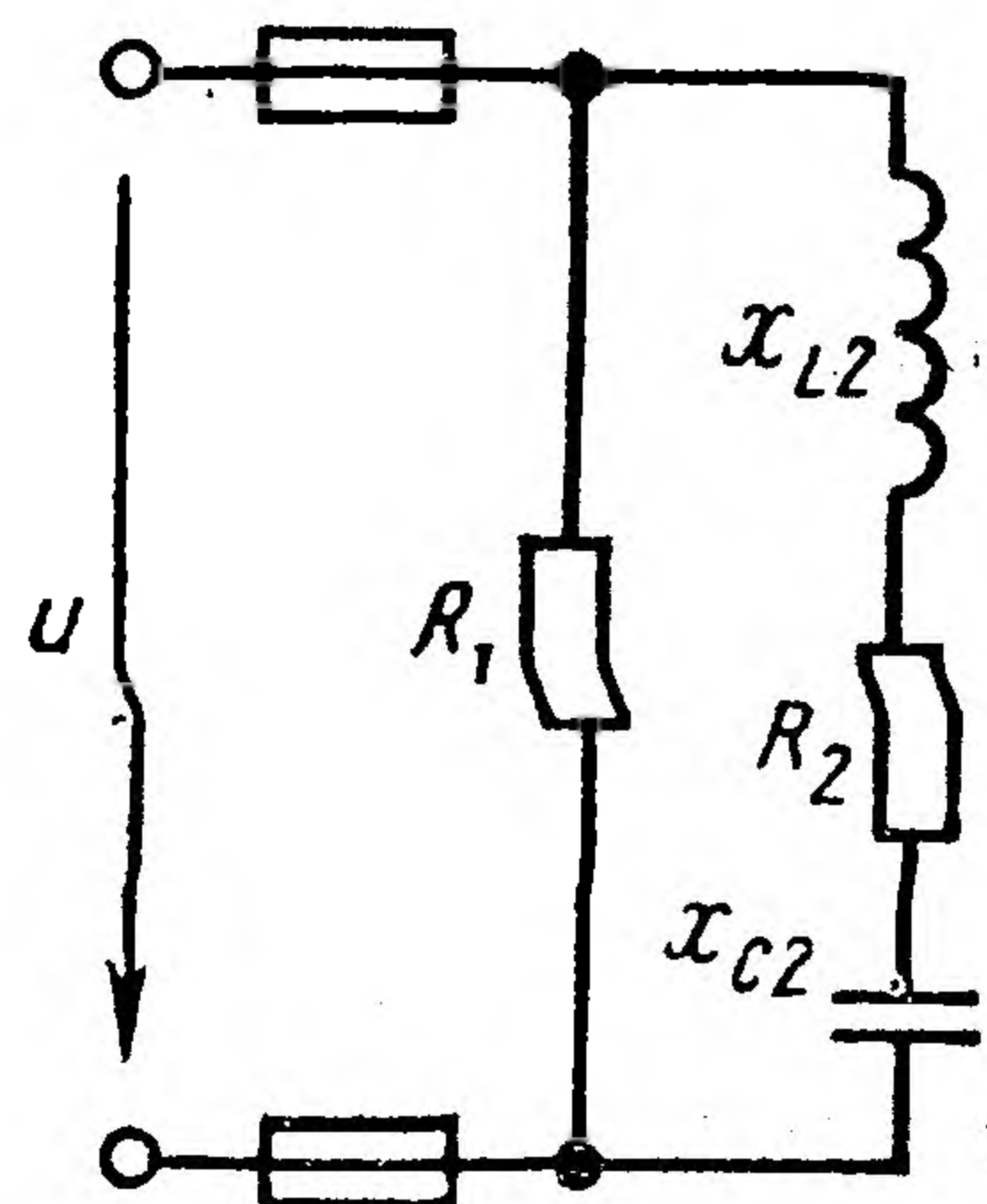


Рис. 43

$P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности для всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Каким образом в заданной цепи можно получить резонанс токов? Если цепь не позволяет достигнуть резонанса токов, то пояснить, какой

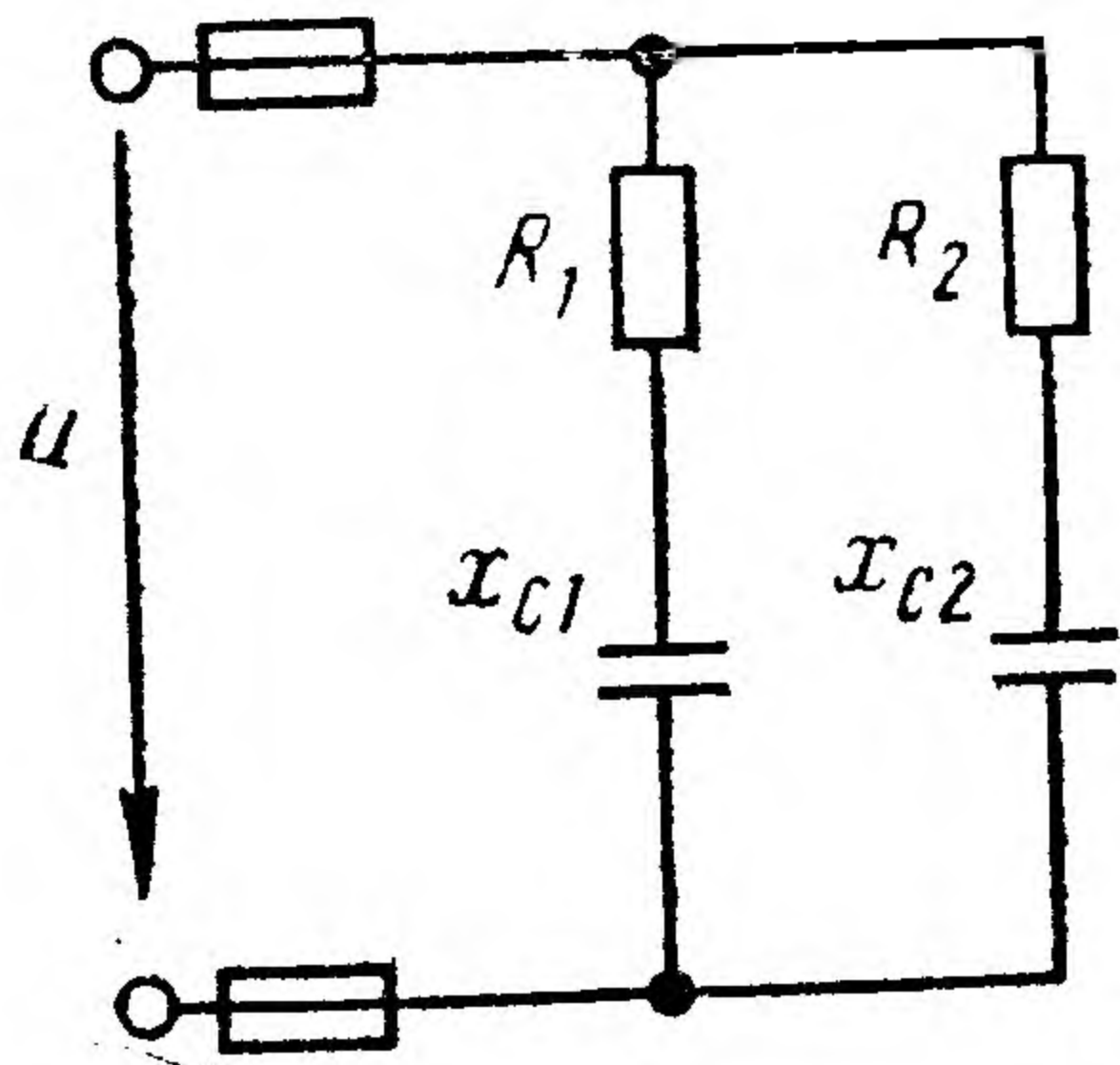


Рис. 44

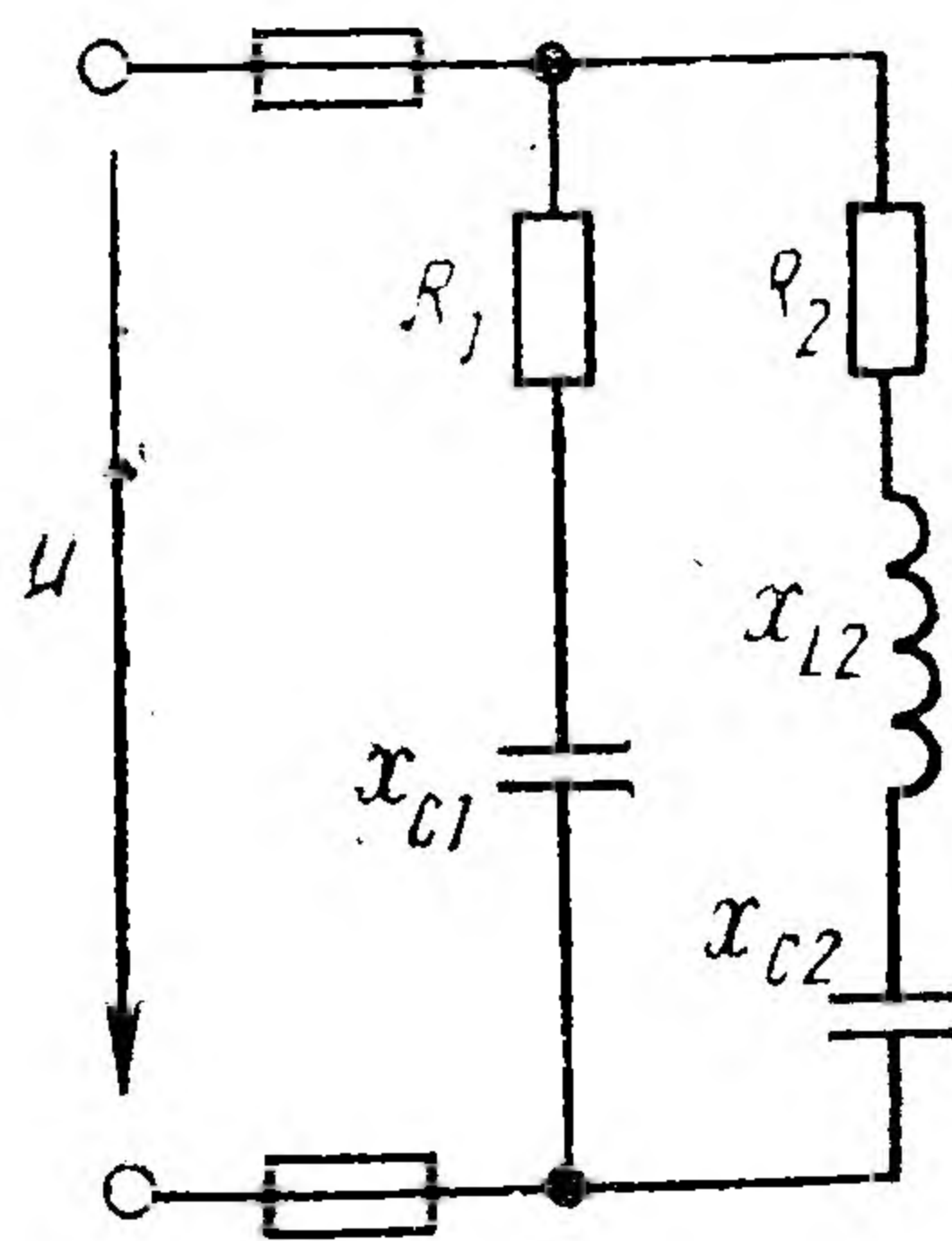


Рис. 45

элемент надо дополнительно включить в цепь для этого. Начертить схему такой цепи.

Указания: 1. См. решение типового примера 4. 2. См. примечание к задаче 2.

**Задача 5.** Для освещения трех одинаковых участков производственного помещения установили люминесцентные лампы мощностью  $P_{\text{л}}=40$  Вт каждая. Общее число ламп в помещении  $n$  распределено поровну между участками. Лампы рассчитаны на напряжение  $U_{\text{л}}$ ; линейное напряжение трехфазной сети равно  $U_{\text{ном}}$ . Каждый участок получает питание от одной фазы сети при соединении ламп звездой либо от двух соответствующих фаз при соединении ламп треугольником. Для работы ламп использованы специальные пускорегулирующие аппараты, содержащие катушки со стальными магнитопроводами, поэтому коэффициент мощности ламп меньше единицы:  $\cos \varphi=0,95$ .

Выбрать необходимую схему присоединения ламп к трехфазной сети (звездой или треугольником) и начертить ее. Определить линейные токи  $I_{\text{л}}$  в проводниках сети, питающей лампы при равномерной нагрузке фаз. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. Какая активная энергия будет израсходована всеми лампами за 8 ч работы?

Указания: 1. Ток (в А), потребляемый лампами участка:

$$I = \frac{P_{\text{л}} n}{3U_{\text{л}}}.$$

2. При равенстве напряжений ламп и сети лампы следует включить треугольником. Если напряжение сети превышает напряжение ламп в  $\sqrt{3}$  раза, лампы включают звездой.



Таблица 6

Номер вари- анта	Номер рису- нка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительный параметр
01	36	5	3	—	4	—	—	$Q=64$ вар
02	37	10	8	—	—	—	6	$U=20$ В
03	38	4	—	—	—	—	5	$I_1=5$ А
04	39	4	6	3	8	—	—	$I_2=4$ А
05	40	16	—	12	—	—	10	$P=256$ Вт
06	41	24	16	—	12	32	—	$U=80$ В
07	42	5	4	—	6	—	—	$I_2=6$ А
08	43	15	12	—	20	—	4	$P_1=240$ Вт
09	44	8	16	—	—	6	12	$U=100$ В
10	45	4	8	—	12	3	6	$P_2=288$ Вт
11	36	10	6	—	8	—	—	$U=50$ В
12	37	2	3	—	—	—	4	$I_1=5$ А
13	38	12	—	—	—	—	8	$I_2=6$ А
14	39	6	3	8	4	—	—	$P_2=300$ Вт
15	40	32	—	24	—	—	40	$U=120$ В
16	41	12	8	—	10	16	—	$Q_{L2}=250$ вар
17	42	2	2	—	3	—	—	$P_2=16$ Вт
18	43	5	8	—	4	—	10	$U=30$ В
19	44	3	6	—	—	4	8	$I_2=4$ А
20	45	8	4	—	5	6	8	$U=20$ В
21	36	4	4	—	3	—	—	$I_2=8$ А
22	37	5	4	—	—	—	3	$I_2=2$ А
23	38	2	—	—	—	—	4	$U=8$ В
24	39	8	12	6	16	—	—	$Q_2=144$ вар
25	40	48	—	64	—	—	60	$U_{R1}=144$ В
26	41	3	8	—	6	4	—	$I_1=5$ А
27	42	6	3	—	8	—	—	$Q=72$ вар
28	43	10	6	—	12	—	4	$Q=32$ вар
29	44	24	12	—	—	32	16	$U=120$ В
30	45	64	24	—	40	48	8	$P_1=64$ Вт
31	36	8	4	—	3	—	—	$I_1=5$ А
32	37	12	6	—	—	—	8	$Q=-288$ вар
33	38	3	—	—	—	—	4	$P=48$ Вт
34	39	16	3	12	4	—	—	$U=40$ В
35	40	8	—	6	—	—	8	$U_{L1}=32$ В
36	41	32	16	—	12	24	—	$I_2=6$ А
37	42	5	2	—	3	—	—	$U=20$ В
38	43	20	32	—	30	—	6	$P_2=128$ Вт

Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{I2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительный параметр
39	44	16	6	—	—	12	8	$P_1 = 64$ Вт
40	45	6	8	—	4	8	10	$I_1 = 5$ А
41	36	8	4	—	3	—	—	$P_2 = 256$ Вт
42	37	3	3	—	—	—	4	$U_{C2} = 12$ В
43	38	5	—	—	—	—	10	$Q = -40$ вар
44	39	24	12	32	16	—	—	$U_{R1} = 48$ В
45	40	6	—	8	—	—	12	$Q_{L1} = 288$ вар
46	41	4	6	—	8	3	—	$P_1 = 256$ Вт
47	42	9	4	—	6	—	—	$I_1 = 10$ А
48	43	5	8	—	4	—	10	$Q_{C2} = -640$ вар
49	44	64	24	—	—	48	32	$P_2 = 384$ Вт
50	45	3	6	—	10	4	2	$I_2 = 3$ А
51	36	10	12	—	16	—	—	$U_{L2} = 24$ В
52	37	4	8	—	—	—	6	$P_1 = 100$ Вт
53	38	6	—	—	—	—	3	$I_1 = 2$ А
54	39	16	32	12	24	—	—	$U_{L1} = 48$ В
55	40	32	—	24	—	—	25	$P = 800$ Вт
56	41	8	6	—	8	6	—	$Q_{C1} = -150$ вар
57	42	15	8	—	12	—	—	$S_2 = 180$ В·А
58	43	20	24	—	40	—	8	$U_{R2} = 24$ В
59	44	12	8	—	—	16	6	$S_1 = 180$ В·А
60	45	4	6	—	2	3	10	$Q_{C1} = -432$ вар
61	36	5	16	—	12	—	—	$P_1 = 320$ Вт
62	37	3	6	—	—	—	8	$P_2 = 54$ Вт
63	38	4	—	—	—	—	6	$U = 12$ В
64	39	32	12	24	16	—	—	$Q_{L2} = 64$ вар
65	40	12	—	16	—	—	15	$I_2 = 4$ А
66	41	64	24	—	32	48	—	$S_2 = 640$ В·А
67	42	6	4	—	6	—	—	$U_{R2} = 12$ В
68	43	16	16	—	8	—	20	$Q_{L2} = 128$ вар
69	44	4	8	—	—	3	6	$S_2 = 40$ В·А
70	45	12	32	—	30	16	6	$Q_{L2} = 120$ вар
71	36	2	3	—	4	—	—	$U_{R2} = 12$ В
72	37	8	16	—	—	—	12	$I_1 = 5$ А
73	38	5	—	—	—	—	8	$P = 125$ Вт
74	39	64	24	48	32	—	—	$P_1 = 576$ Вт
75	40	8	—	6	—	—	5	$Q_{C2} = -80$ вар
76	41	3	4	—	3	4	—	$U_{R2} = 16$ В

Номер вари- анта	Номер рису- нка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительный параметр
77	42	20	16	—	24	—	—	$P_1 = 320$ Вт
78	43	10	3	—	8	—	4	$S_2 = 500$ В·А
79	44	3	6	—	—	4	8	$Q_{C1} = -256$ вар
80	45	32	16	—	6	24	18	$U_{C2} = 108$ В
81	36	20	6	—	8	—	—	$U = 60$ В
82	37	10	12	—	—	—	16	$U_{R2} = 24$ В
83	38	8	—	—	—	—	6	$I_1 = 8$ А
84	39	24	16	32	12	—	—	$P_2 = 256$ Вт
85	40	6	—	8	—	—	10	$I_2 = 2$ А
86	41	16	32	—	24	12	—	$S_1 = 720$ В·А
87	42	5	3	—	8	—	—	$U_{L2} = 32$ В
88	43	60	24	—	12	—	60	$U_{L2} = 36$ В
89	44	8	12	—	—	6	16	$Q_{C2} = -144$ вар
90	45	4	8	—	12	3	6	$U_{R1} = 8$ В
91	36	10	12	—	16	—	—	$Q = 400$ вар
92	37	4	8	—	—	—	6	$S_2 = 40$ В·А
93	38	6	—	—	—	—	8	$I_1 = 5$ А
94	39	48	32	64	24	—	—	$Q_2 = 96$ вар
95	40	3	—	4	—	—	5	$U = 40$ В
96	41	8	3	—	4	6	—	$U_{C1} = 30$ В
97	42	12	6	—	16	—	—	$U = 60$ В
98	43	2	4	—	7	—	4	$U_{C2} = 16$ В
99	44	4	6	—	—	3	8	$U_{R1} = 40$ В
00	45	24	16	—	8	32	20	$Q_{C2} = -1280$ вар

3. При включении ламп звездой линейный ток  $I_L$  равен току  $I$ .  
При включении ламп треугольником линейный ток  $I_L = \sqrt{3}I$ .

4. Потребляемую лампами энергию (в кВт·ч) за время  $t$  определяем по формуле

$$W = P_L n t. \text{ Здесь } P_L = 40 \text{ Вт} = 0,04 \text{ кВт.}$$

Данные для своего варианта взять из табл. 7.

**Задача 6.** Каждая фаза трехфазного симметричного потребителя (электродвигатель переменного тока) рассчитана на фазное напряжение  $U_\phi$  и имеет активное  $R_\phi$  и индуктивное  $x_\phi$  сопротивления. Номинальное напряжение сети  $U_{ном 1}$ . Выбрать схему соединения потребителя в зависимости от номинального напряжения сети  $U_{ном 1}$  (звездой или треугольником) и начертить ее. Определить активную  $P$ , реактивную



Т а б л и ц а 7

Номер варианта	$n$ , шт.	$U_{л'}$ В	$U_{ном'}$ В	Номер варианта	$n$ , шт.	$U_{л'}$ В	$U_{ном'}$ В
01	120	220	380	51	180	127	220
11	90	127	220	61	240	220	220
21	150	220	220	71	360	220	380
31	60	127	220	81	420	220	220
41	300	220	220	91	270	127	220

$Q$  и полную  $S$  мощности, расходуемые потребителем. Вычислить потребляемый линейный ток.

Как нужно соединить фазы потребителя (звездой или треугольником) для включения его в сеть с номинальным напряжением  $U_{ном 2}$ ? Вычислить линейные токи в проводах при таком включении. Данные для своего варианта взять из табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Номер варианта	$U_{ф'}$ В	$R_{ф'}$ Ом	$x_{ф'}$ Ом	$U_{ном 1'}$ В	$U_{ном 2'}$ В
02	220	8,5	5,25	380	220
12	380	17	10,5	380	660
22	127	34	21	220	127
32	220	4,25	2,6	220	380
42	380	5,4	2,6	660	380
52	127	13,5	6,55	127	220
62	380	7,2	3,5	660	380
72	220	18	8,7	380	220
82	127	22,5	10,9	220	127
92	220	10,2	6,3	220	380

На основании вычисленных линейных токов при напряжениях  $U_{ном 1}$  и  $U_{ном 2}$  сделать заключение о необходимых сечениях проводников для присоединения потребителя к сети.

Указания. 1. Фазный ток потребителя определяем по формуле

$$I_{ф} = U_{ф} / z_{ф}, \text{ где } z_{ф} = \sqrt{R_{ф}^2 + x_{ф}^2}.$$

2. Активная, реактивная и полная мощности потребителя вычисляем соответственно по формулам

$$P = \sqrt{3} U_{ном} I_{л} \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3} U_{ном} I_{л} \sin \varphi; \quad S = \sqrt{3} U_{ном} I_{л}.$$



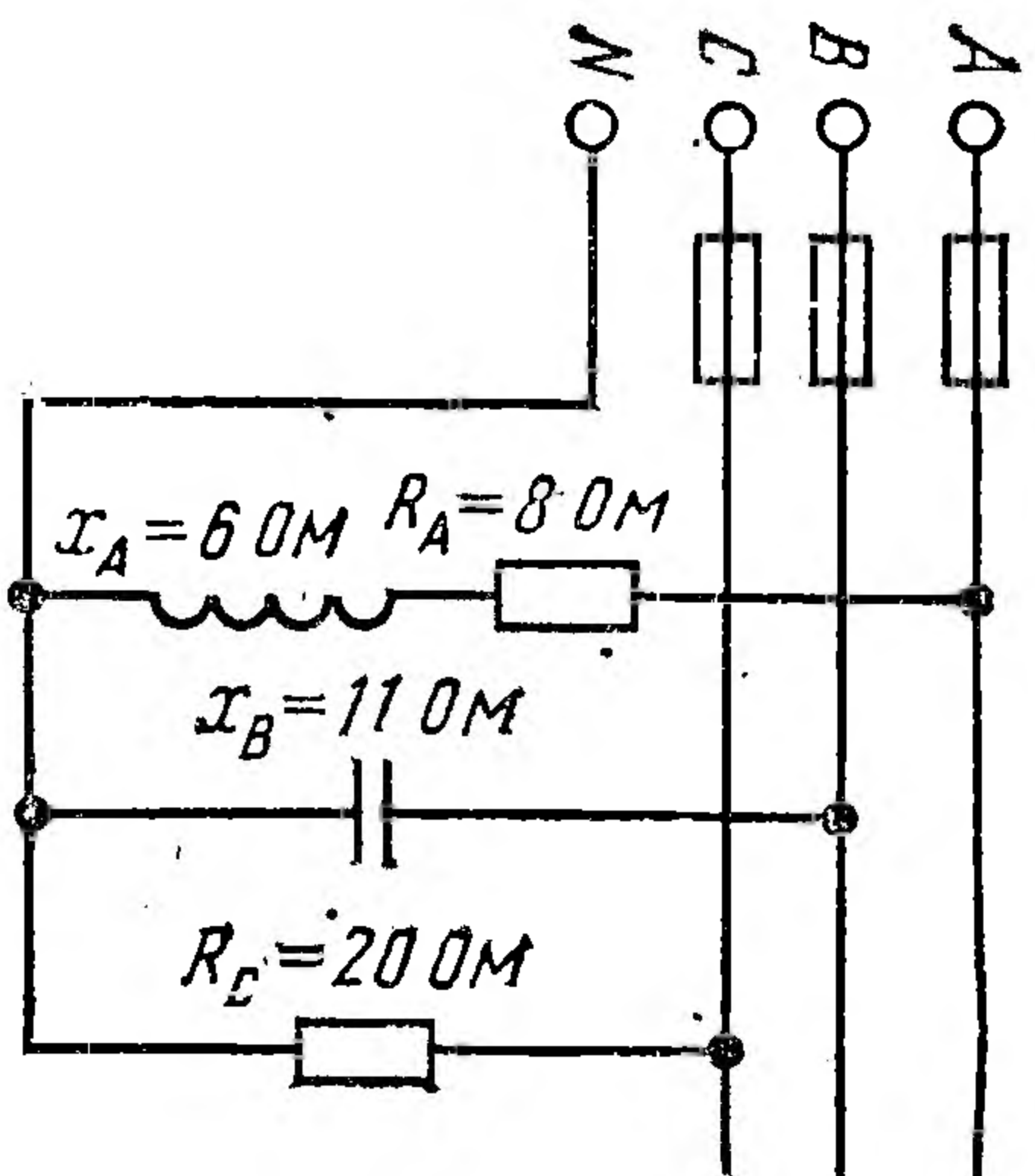


Fig. 46

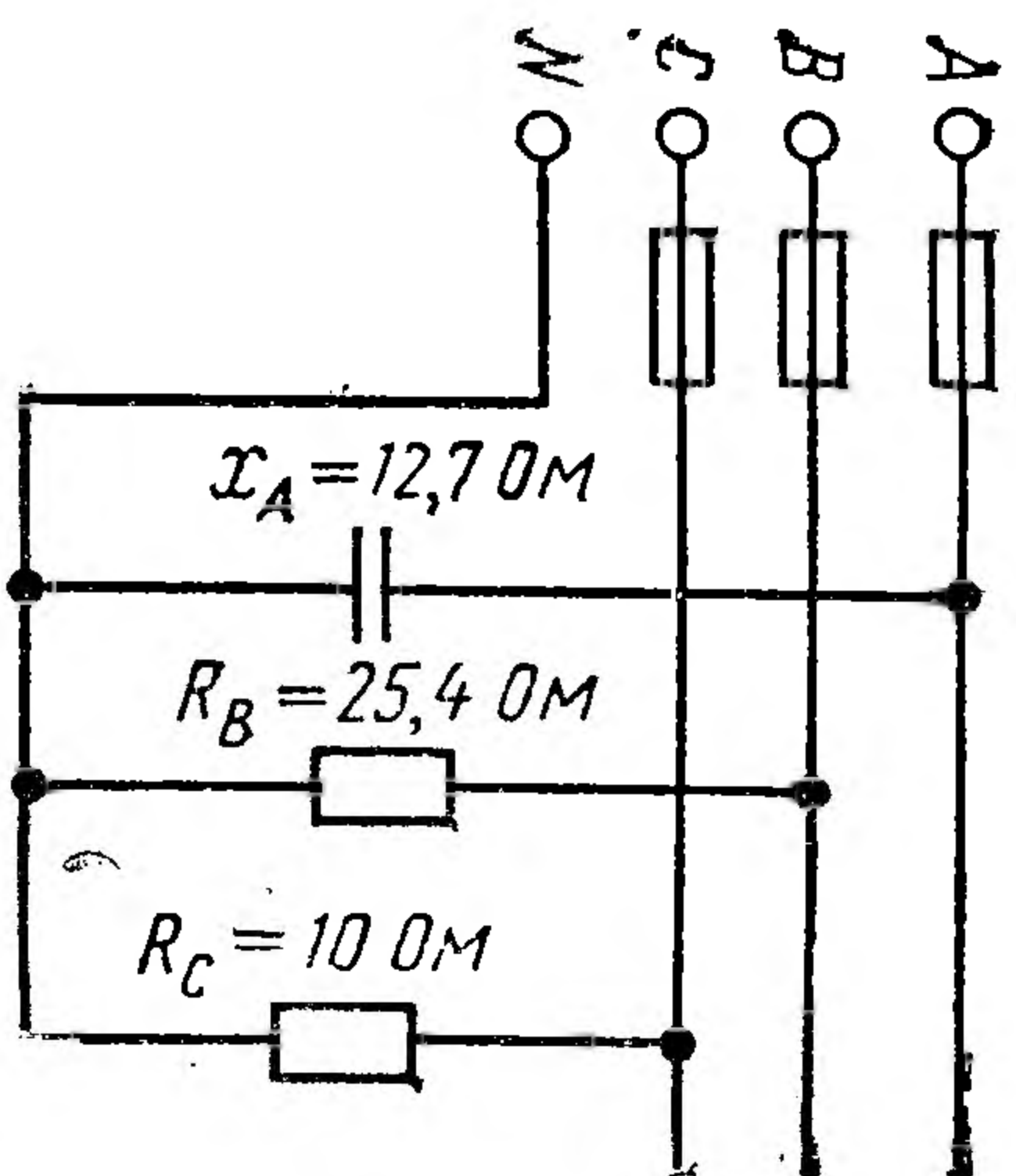


Fig. 47

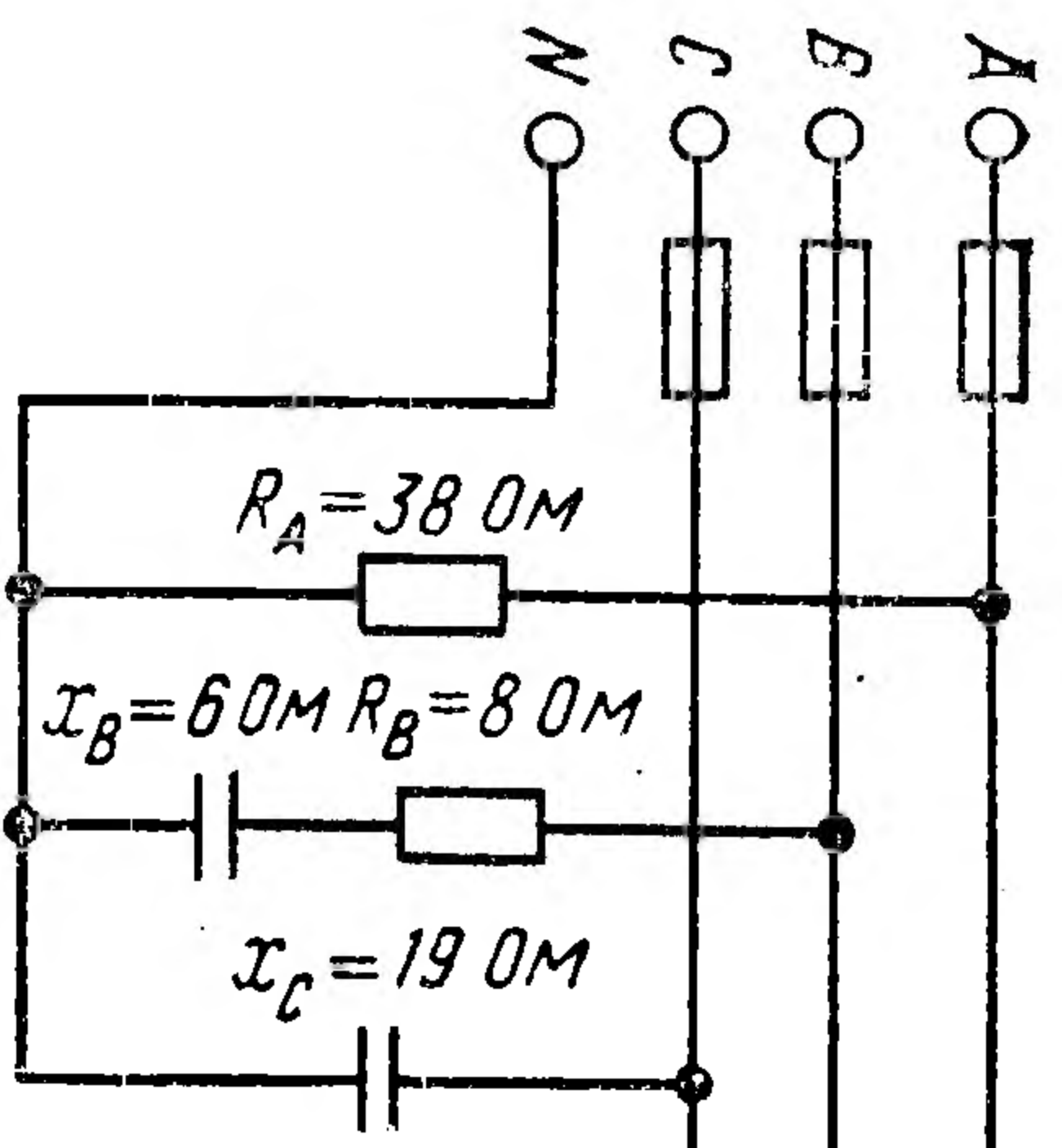


Fig. 48

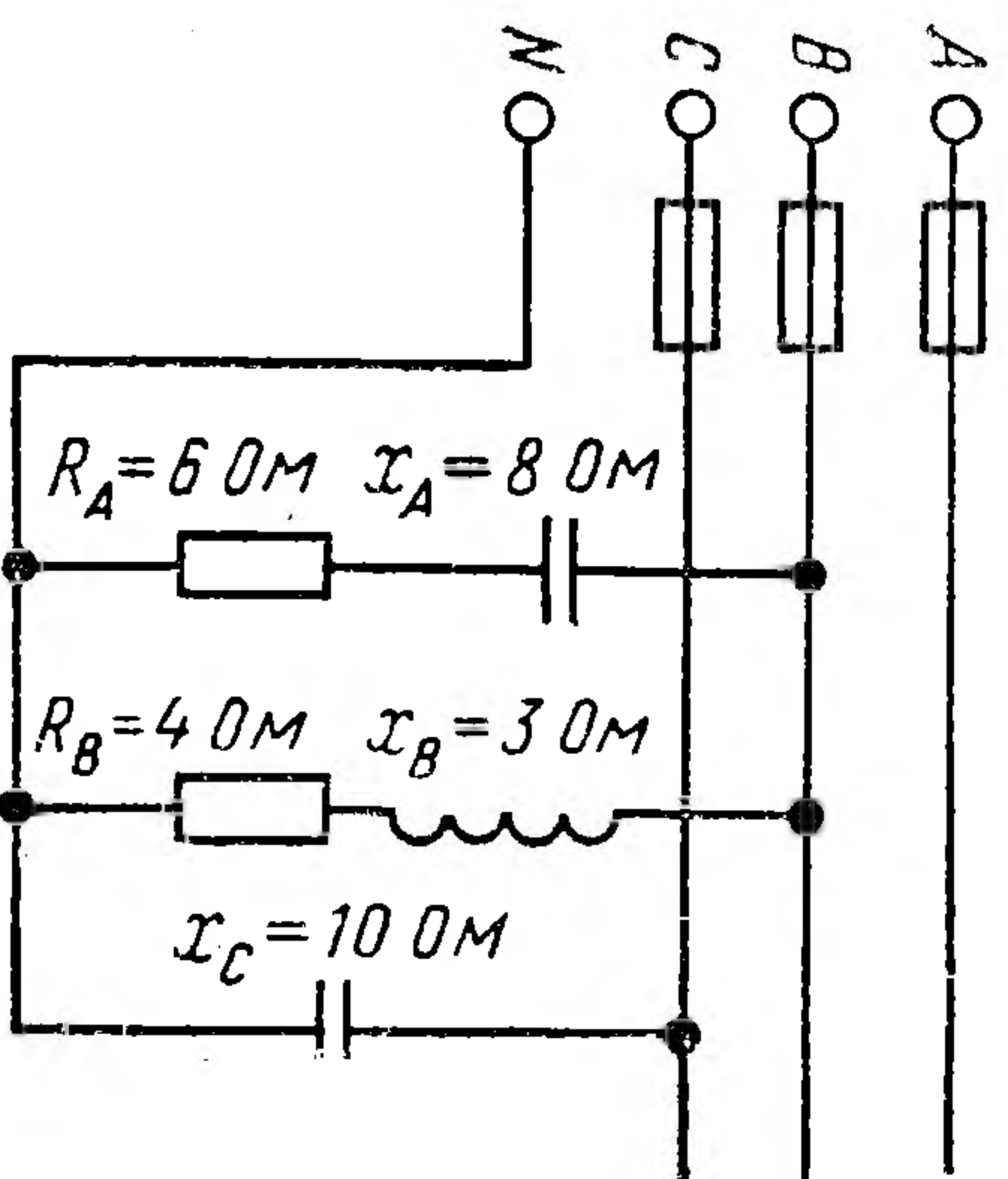


Fig. 49

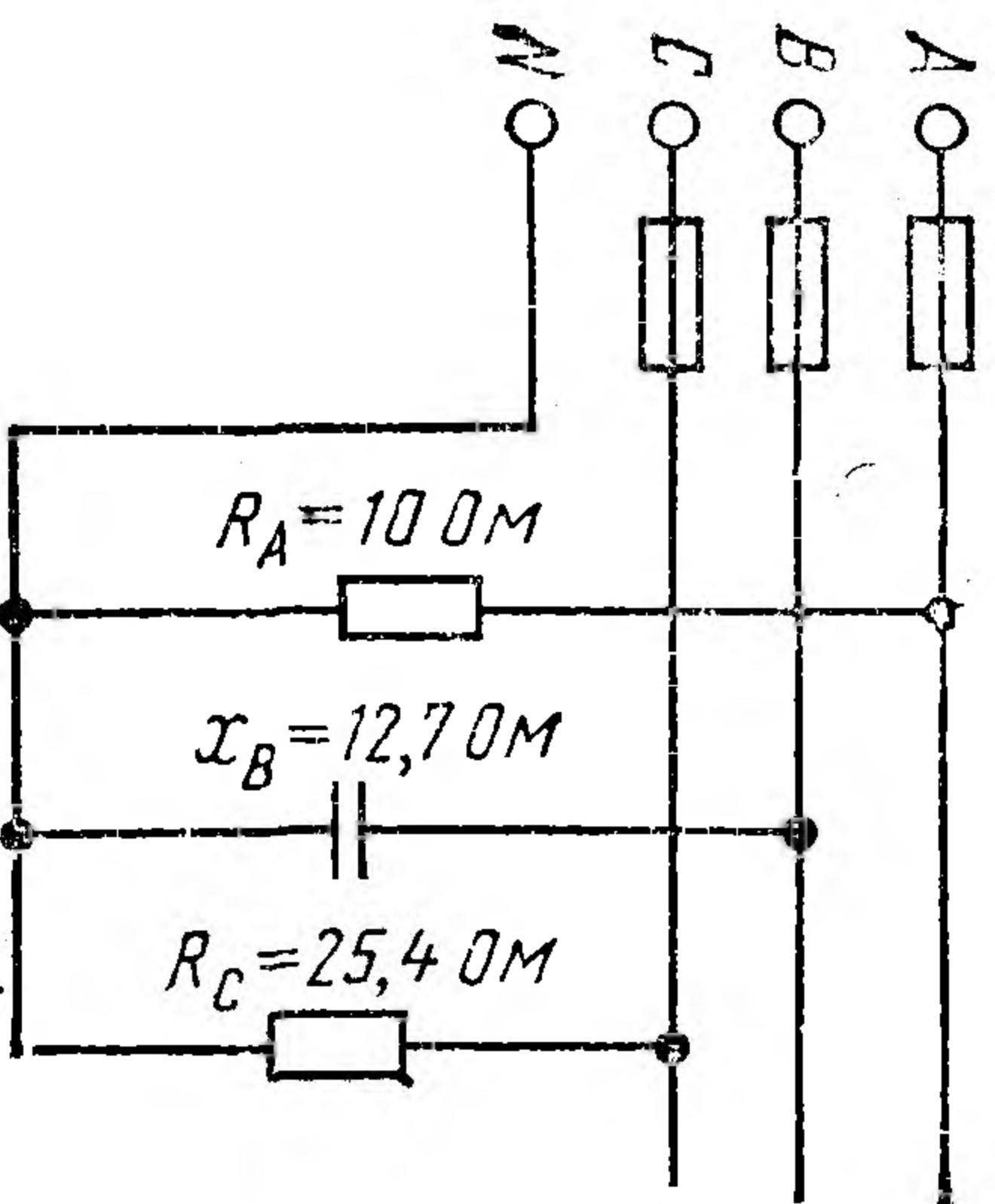


Fig. 50

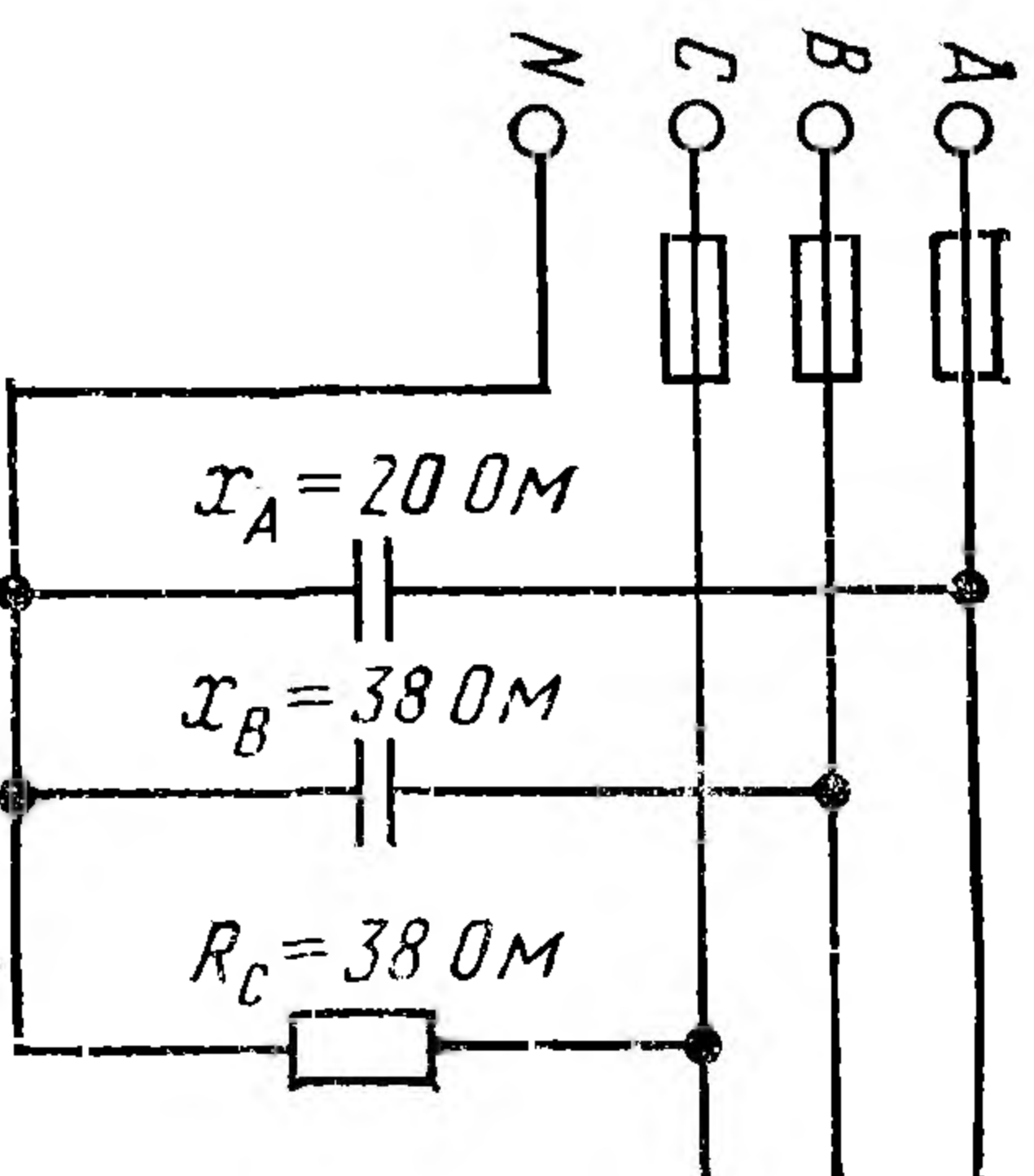


Fig. 51

Здесь  $I_{\text{л}}$  — линейный ток, при соединении звездой  $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$ , при соединении треугольником  $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$ ; коэффициент мощности находим по формуле  $\cos \varphi = R_{\text{ф}} / z_{\text{ф}}$ . Значение  $\sin \varphi$  определяем по таблицам Брадиса, зная  $\cos \varphi$ .

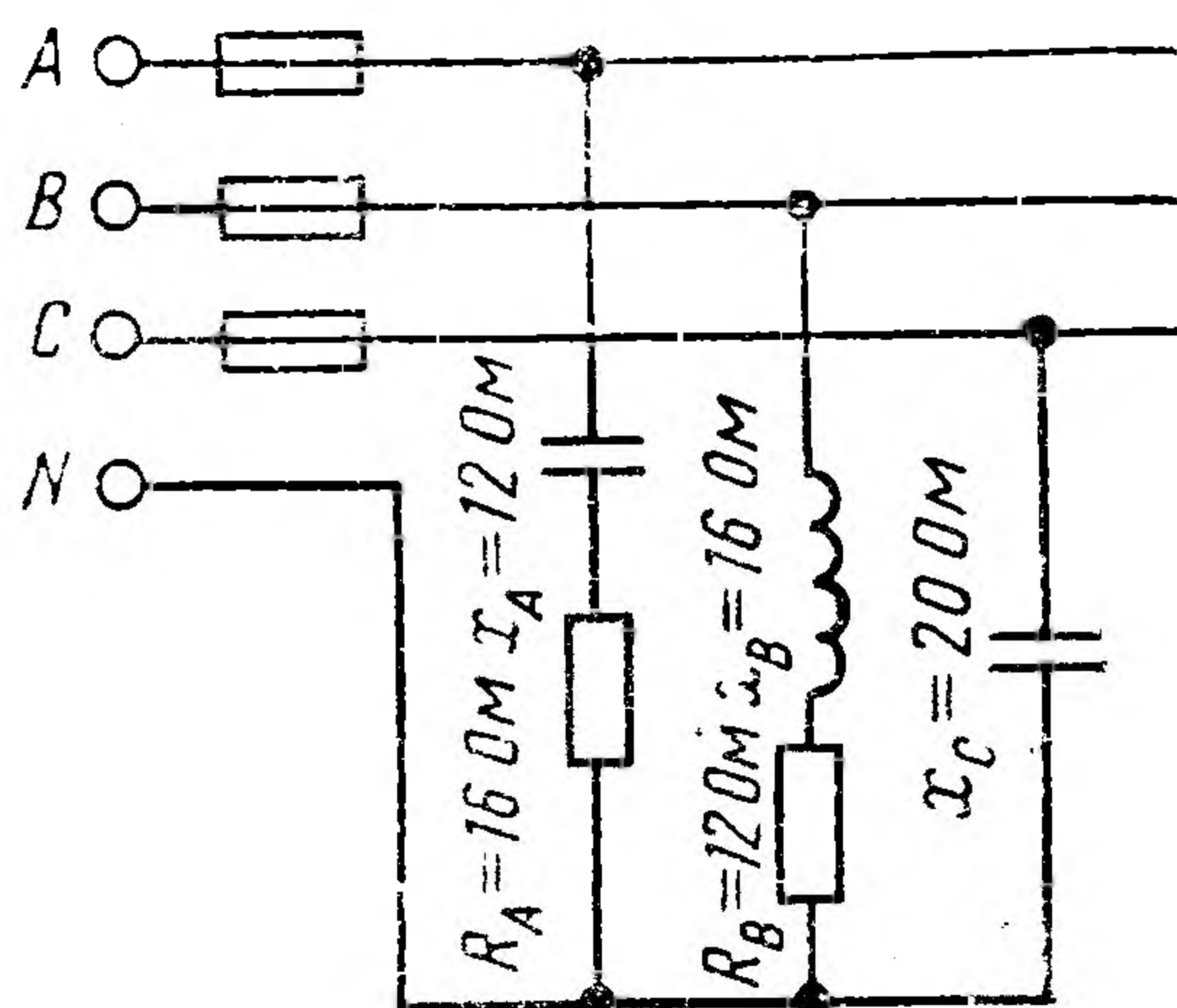


Рис. 52

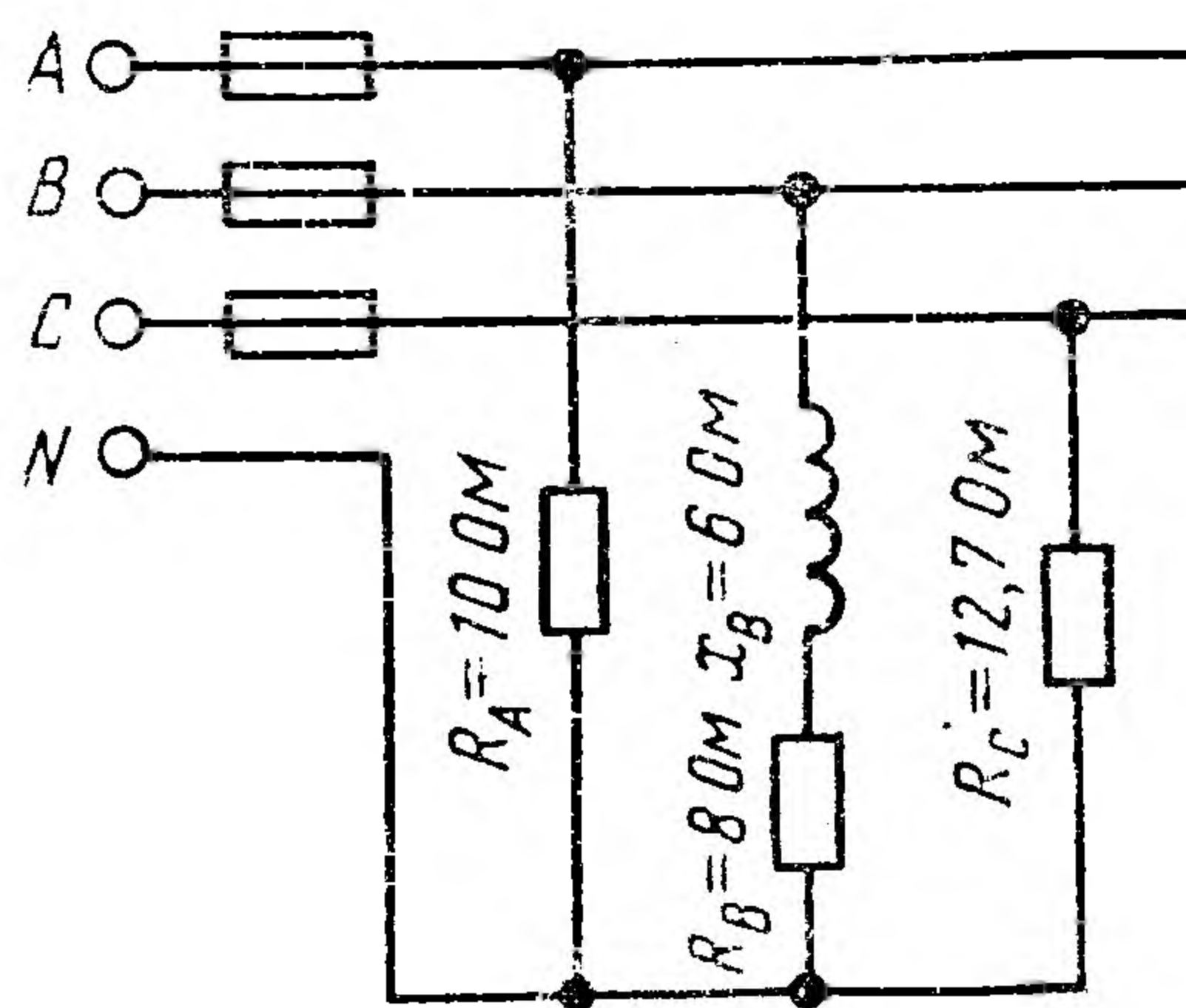


Рис. 53

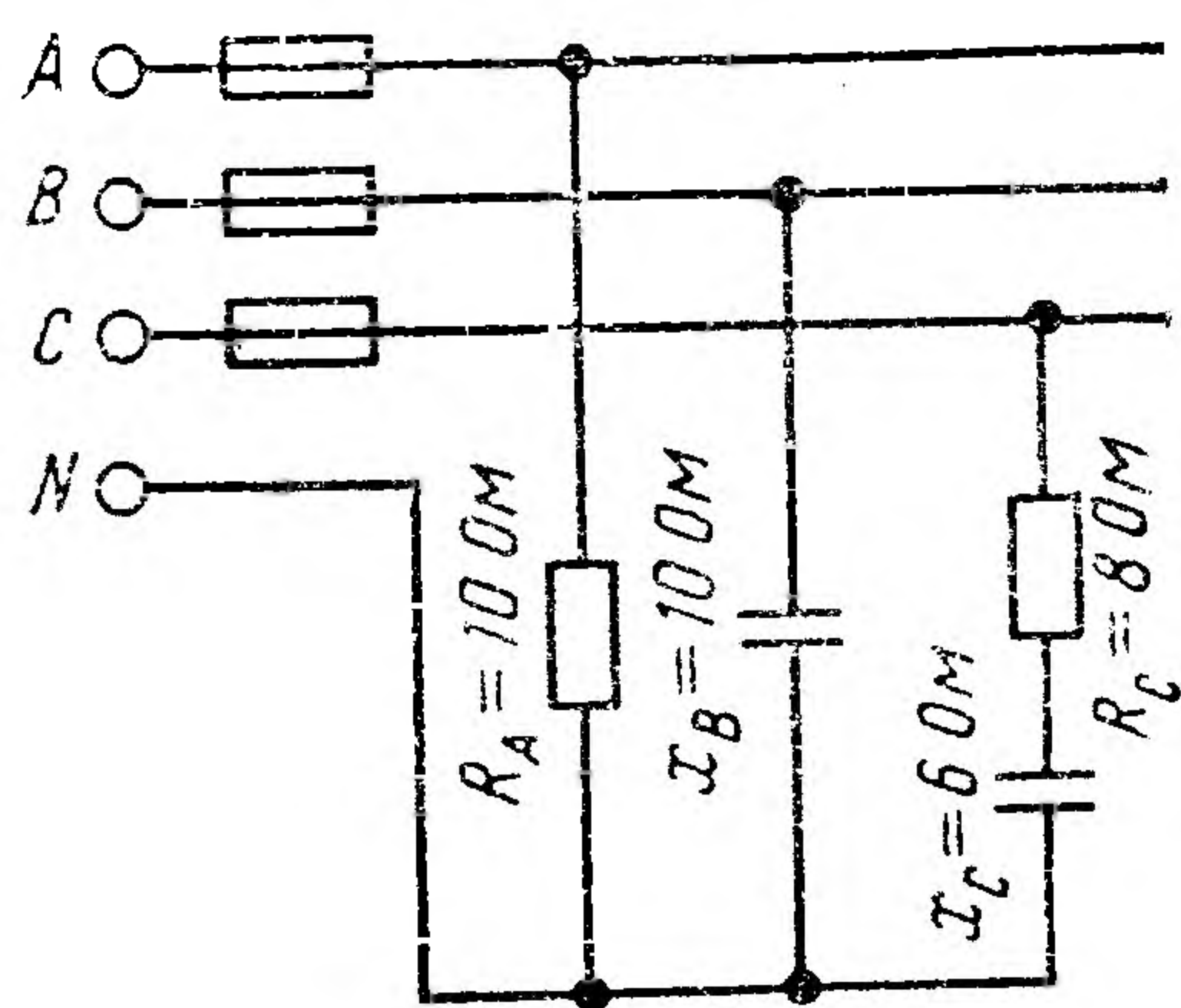


Рис. 54

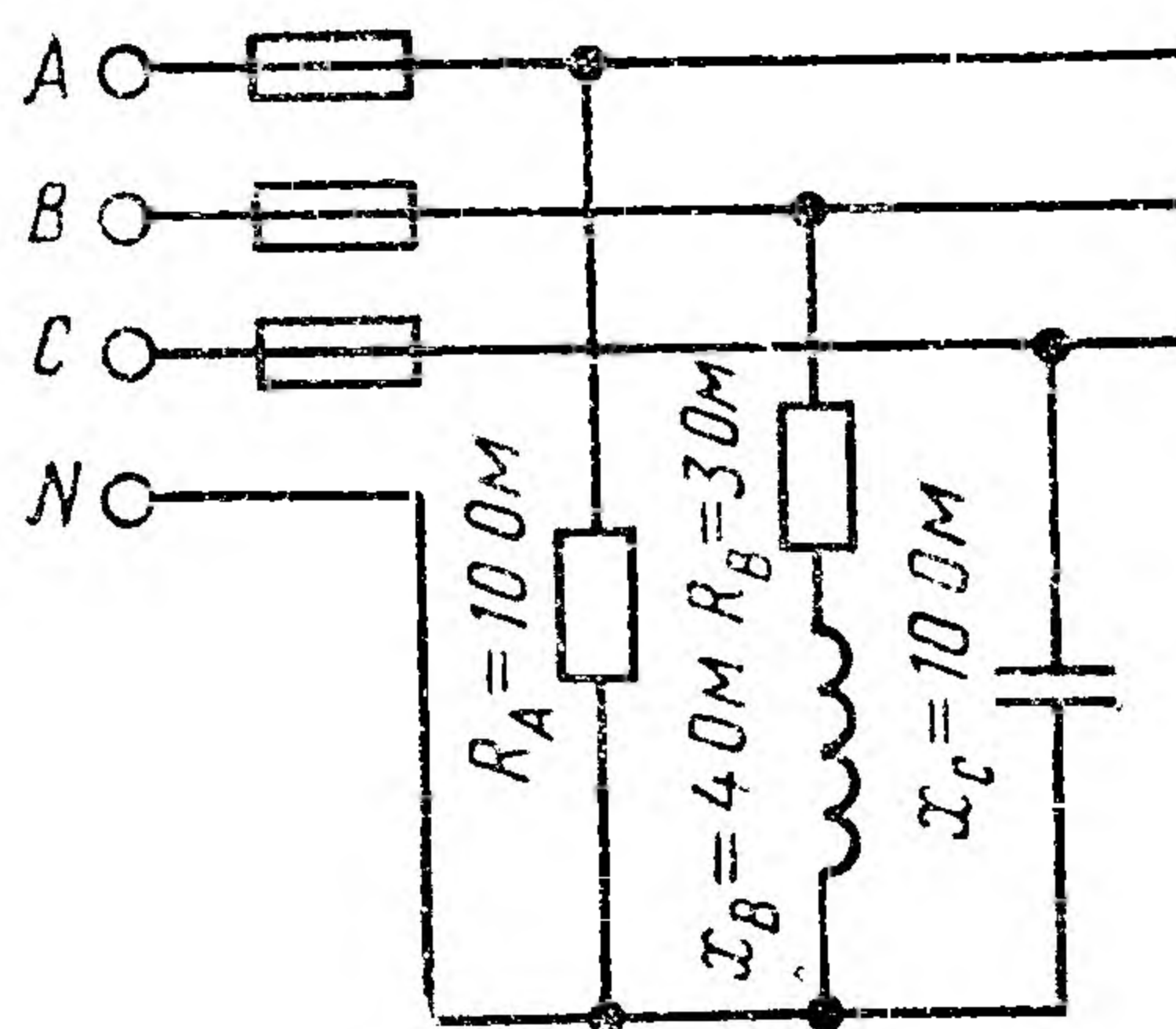


Рис. 55

Задача 7. В трехфазную четырехпроводную сеть с линейным напряжением  $U_{\text{ном}}$  включили звездой разные по характеру сопротивления (см. рис. 46—55). Определить линейные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить число-

Таблица 9

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{ном}}, \text{В}$
03	46	380	43	50	220	83	54	660
13	47	220	53	51	660	93	55	380
23	48	660	63	52	380	—	—	—
33	49	380	73	53	220	—	—	—

все значение тока в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из табл. 9.

Какие сопротивления надо включить в фазы  $B$  и  $C$  приведенной схемы, чтобы ток в нулевом проводе стал равен нулю при неизменных значениях сопротивлений в фазе  $A$ ?

*Указание.* См. решение типового примера 6.

**Задача 8.** В трехфазную четырехпроводную сеть включили трехфазную сушильную печь, представляющую собой симметричную активно-индуктивную нагрузку с сопротивлениями  $R_{\Pi}$  и  $x_{\Pi}$ , и лампы накаливания мощностью  $P_{\text{л}}$  каждая. Обмотки печи соединены треугольником,

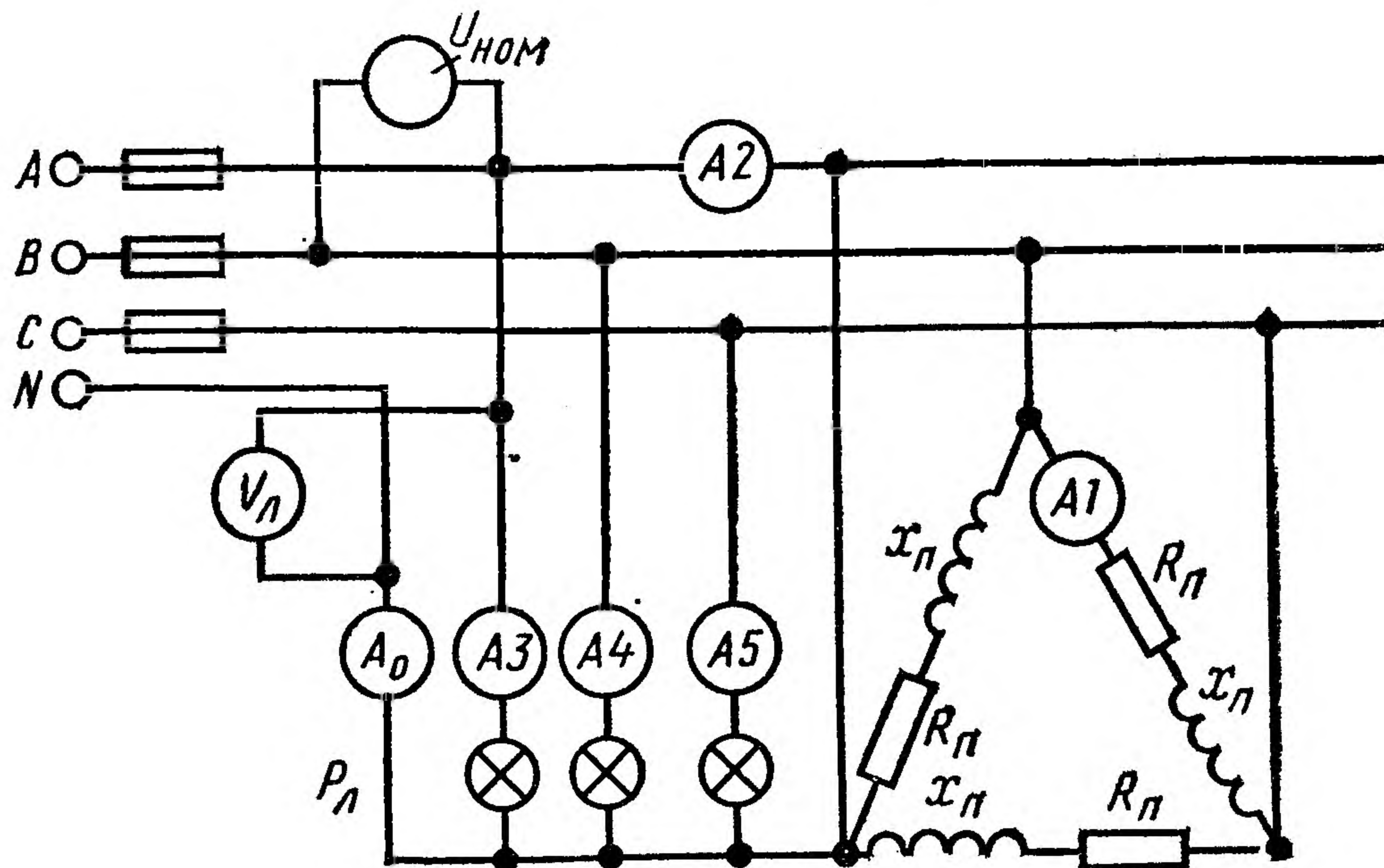


Рис. 56

лампы накаливания — звездой. Количество ламп в каждой фазе  $n_A$ ,  $n_B$  и  $n_C$  задано. Номинальное напряжение сети  $U_{\text{ном}}$ . Схема сети приведена на рис. 56. Определить показания амперметров  $A1$ ,  $A2$ ,  $A3$ ,  $A4$ ,  $A5$  и вольтметра  $V_{\text{л}}$ . Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи для соединения ламп накаливания, из которой найти числовое значение тока в нулевом проводе  $I_0$  (показание амперметра  $A_0$ ). Данные для своего варианта взять из табл. 10.

*Указание.* См. решение типового примера 10.

**Задача 9.** Три одинаковых резистора с сопротивлениями  $R$  каждый соединили звездой, включили в трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_{\text{ном}1}$  и измерили потребляемые токи  $I_{\text{ном}1}$ . Затем резисторы соединили треугольником, включили в ту же сеть и измерили фазные  $I_{\text{ф}2}$  и линейные  $I_{\text{ном}2}$  токи. Определить, во сколько раз при таком переключении изменились фазные и линейные токи и потребляемые цепью активные мощности, т. е. найти отношения  $I_{\text{ф}2}/I_{\text{ном}1}$ ,  $I_{\text{ном}2}/I_{\text{ном}1}$  и  $P_2/P_1$ . Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи при соединении резисторов треугольником. Данные для своего варианта взять из табл. 11.



Номер варианта	$R_{\text{п}},$ Ом	$x_{\text{п}},$ Ом	$P_{\text{л}},$ Вт	$n_A,$ шт.	$n_B,$ шт.	$n_C,$ шт.	$U_{\text{ном}},$ В
04	4	3	200	50	80	30	380
14	6	8	300	40	30	60	220
24	12	16	500	20	40	30	380
34	3	4	200	80	50	40	220
44	8	6	150	100	60	50	220
54	16	12	300	50	70	40	380
64	32	24	500	30	40	60	380
74	8	6	150	80	100	50	220
84	4	3	300	60	40	30	380
94	24	32	200	40	80	80	220

Указание. Активная мощность цепи  $P = 3P_{\text{ф}} = 3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}}$ .

Задача 10. По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи определить характер сопротивлений в каждой фазе (активное, индуктивное, емкостное, смешанное), вычислить значение каждого сопротив-

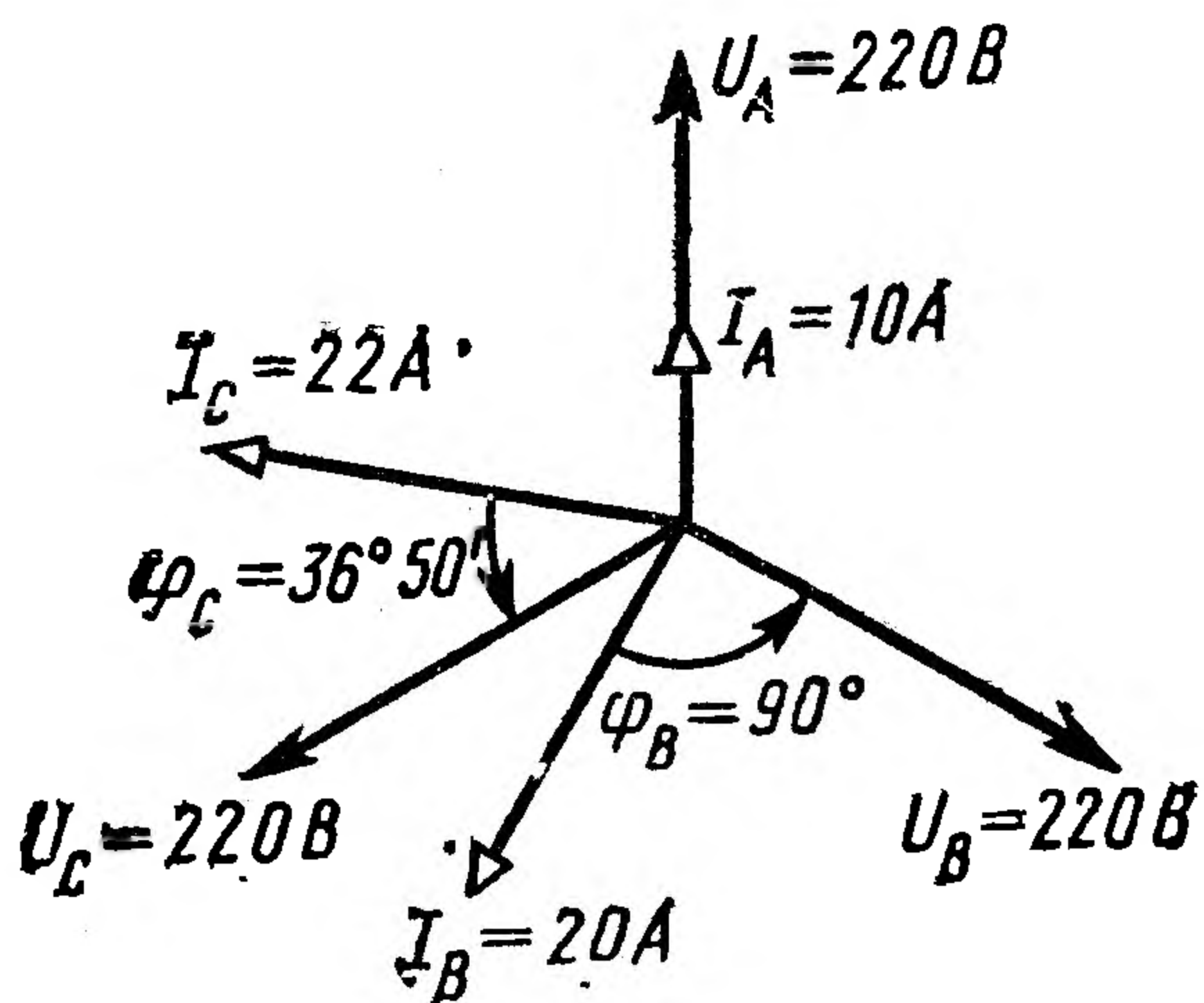


Рис. 57

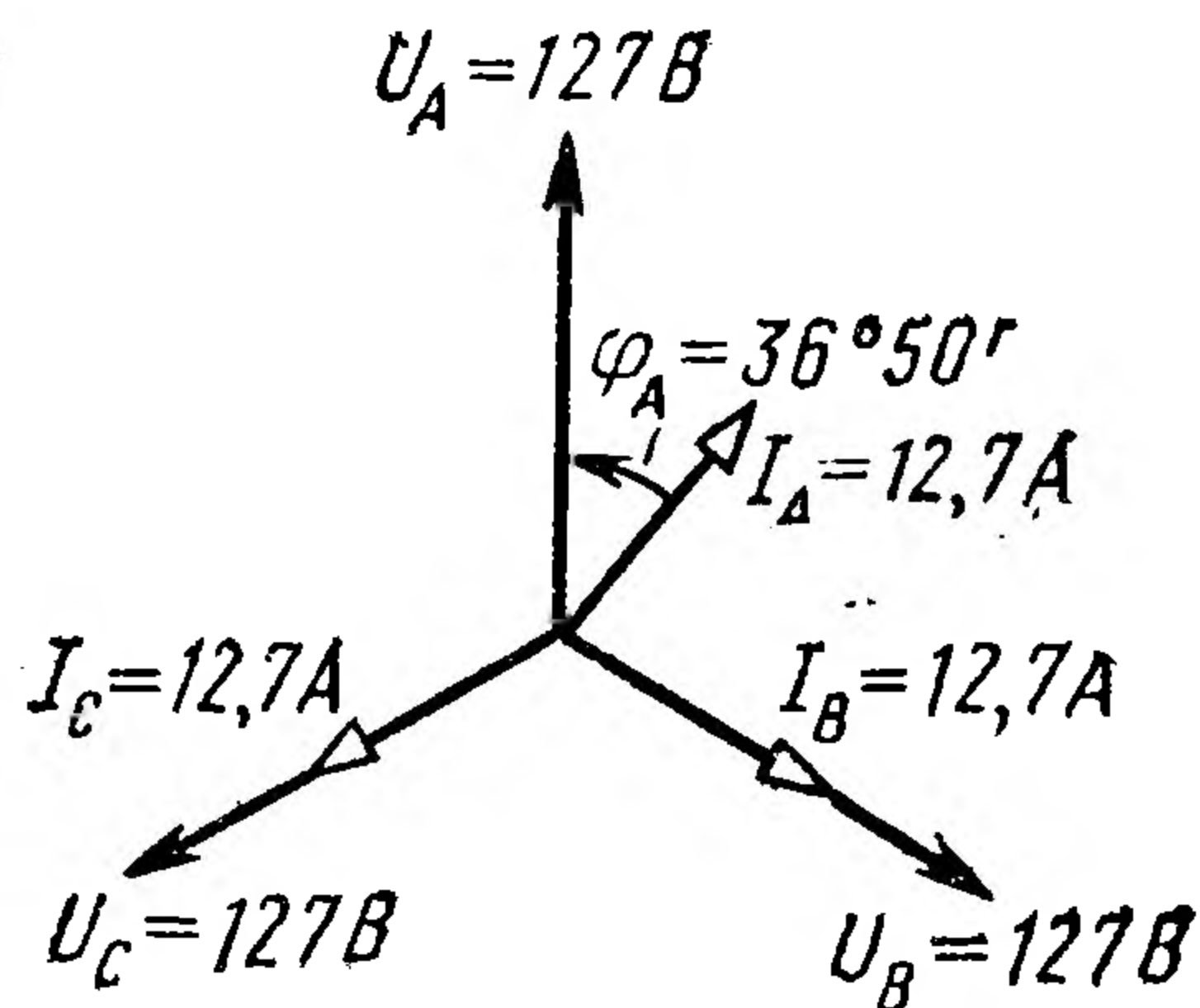


Рис. 58

ления и начертить схему присоединения сопротивлений к сети. Сопротивления соединены звездой с нулевым проводом. Пользуясь векторной диаграммой, построенной в масштабе, определить графически ток в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из табл. 12. Пояснить с помощью логических рассуждений, как изменится ток в нулевом проводе при уменьшении частоты тока в два раза.

Указание. См. решение типового примера 7.

Задача 11. Трехфазная нагревательная печь состоит из трех одинаковых резисторов сопротивлением  $R_{\Delta}$  каждый, соединенных звездой. Печь включена в сеть с линейным напряжением  $U_{\text{ном}}$ . Как следует



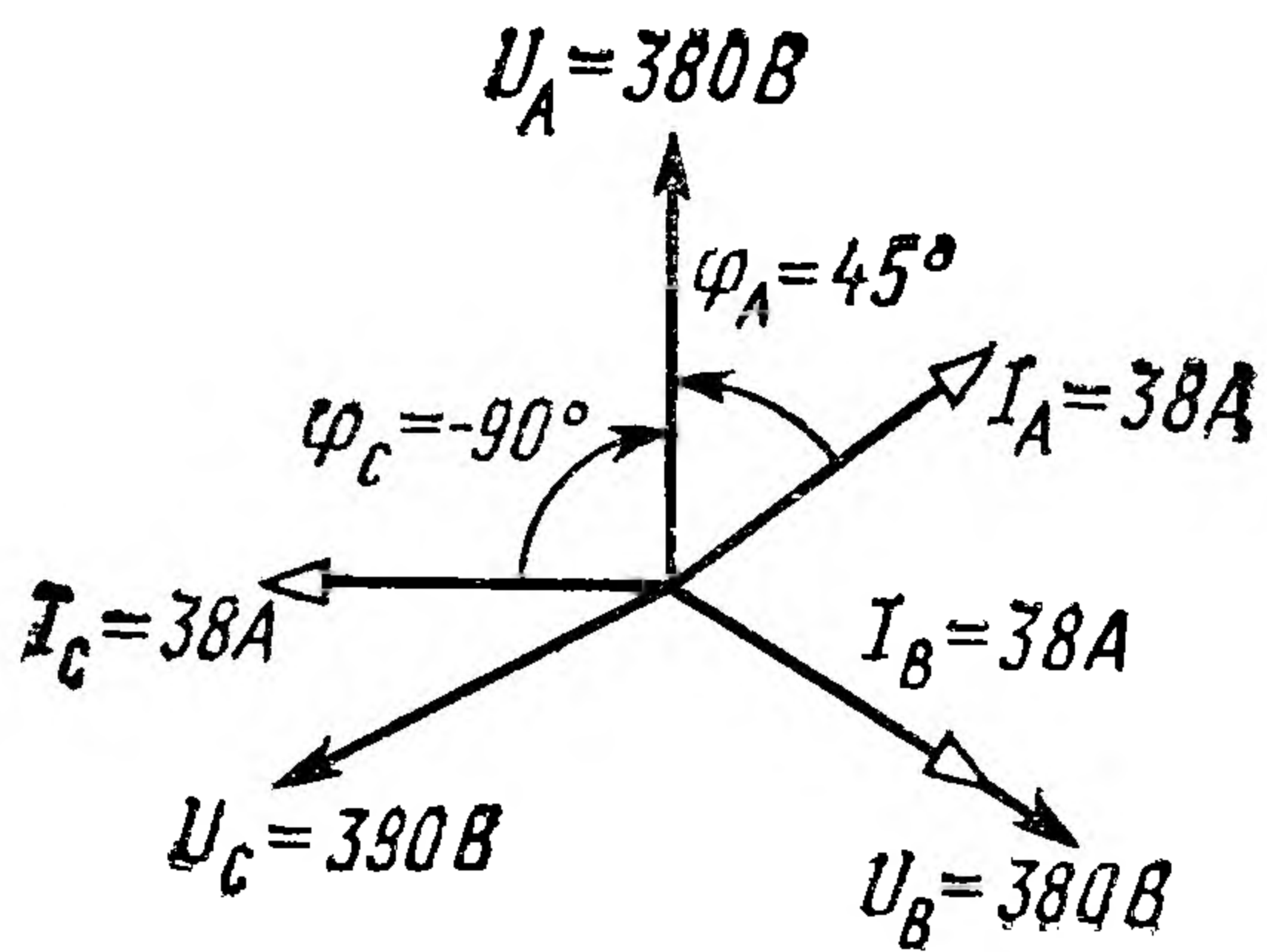


Рис. 59

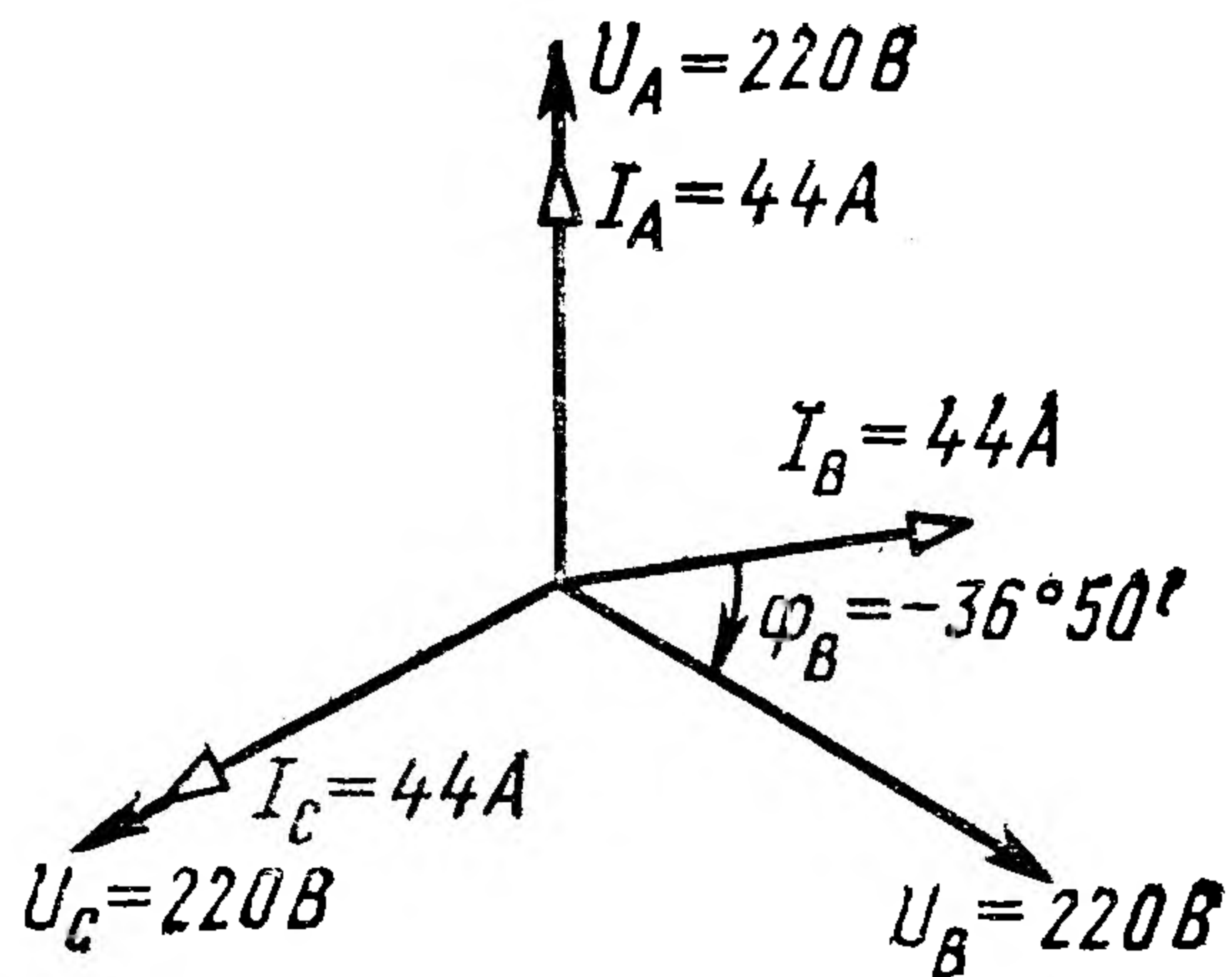


Рис. 60

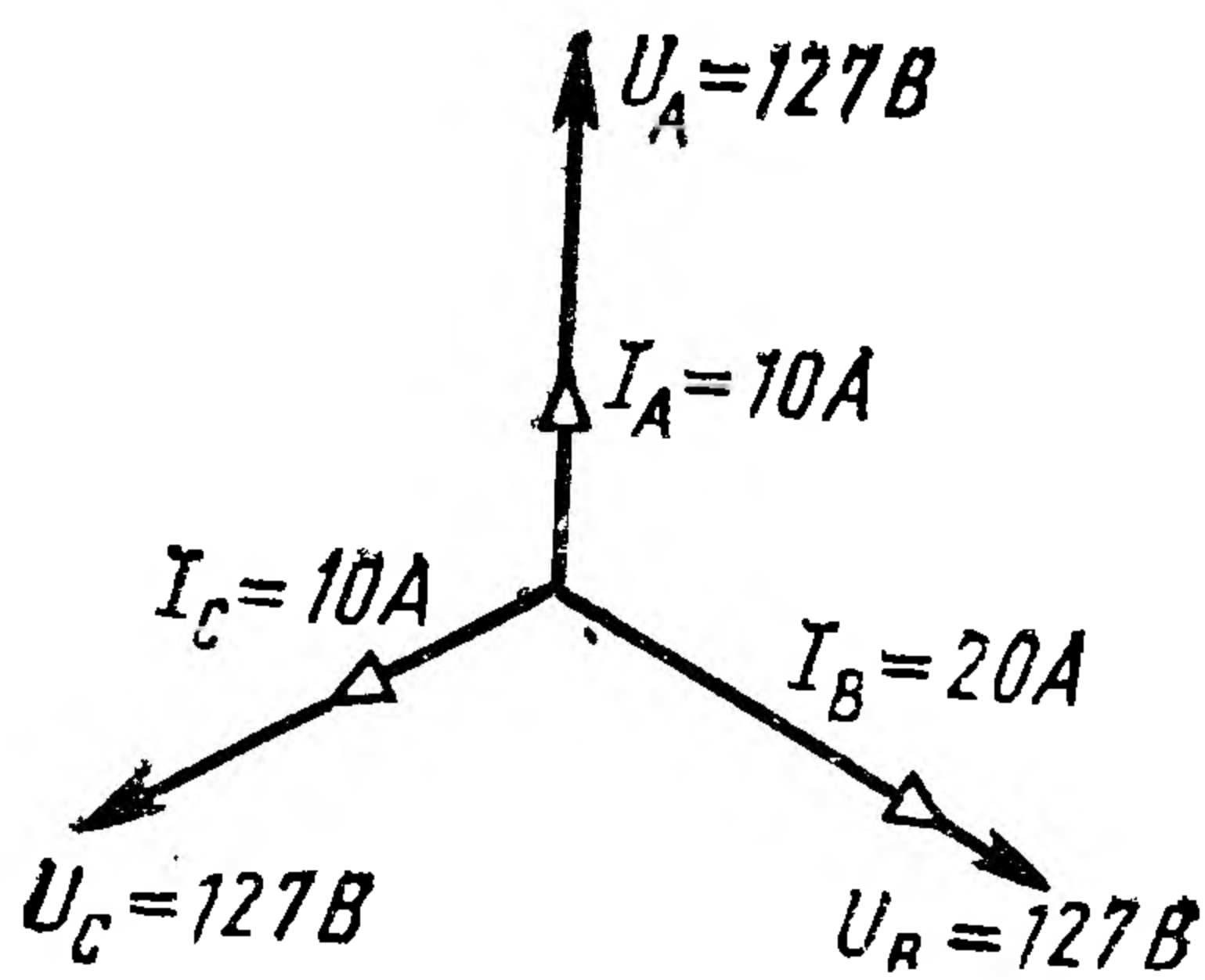


Рис. 61

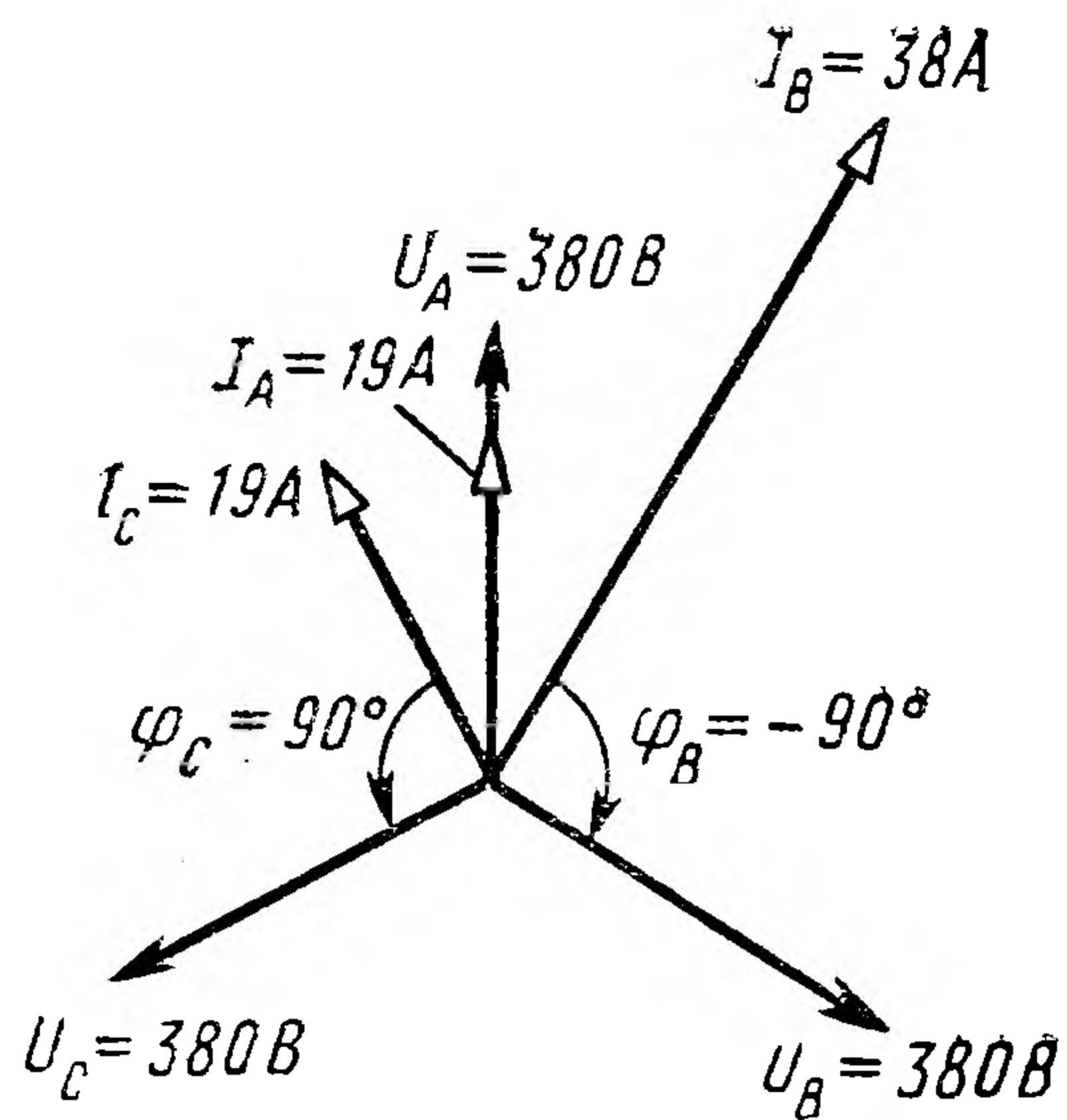


Рис. 62

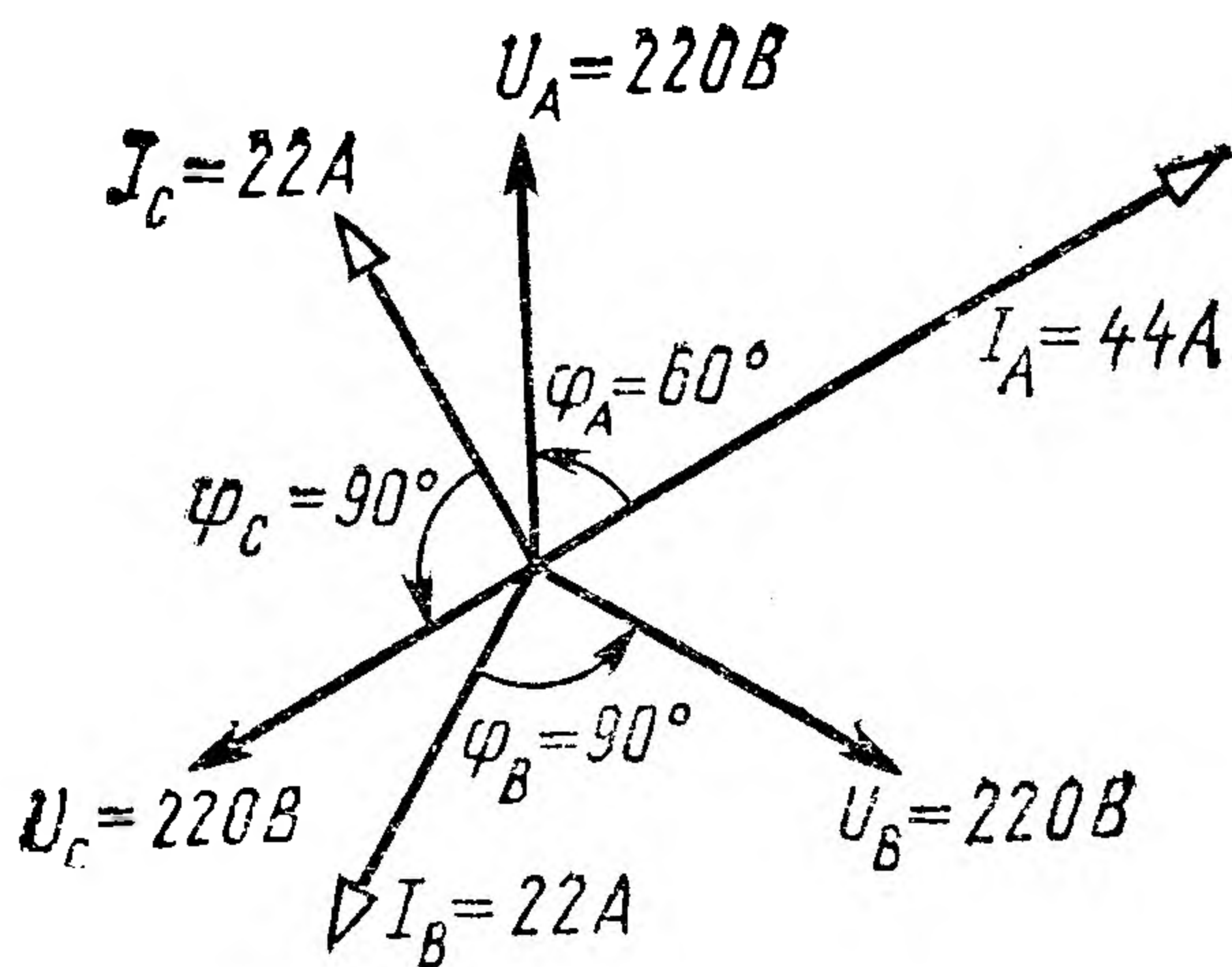


Рис. 63

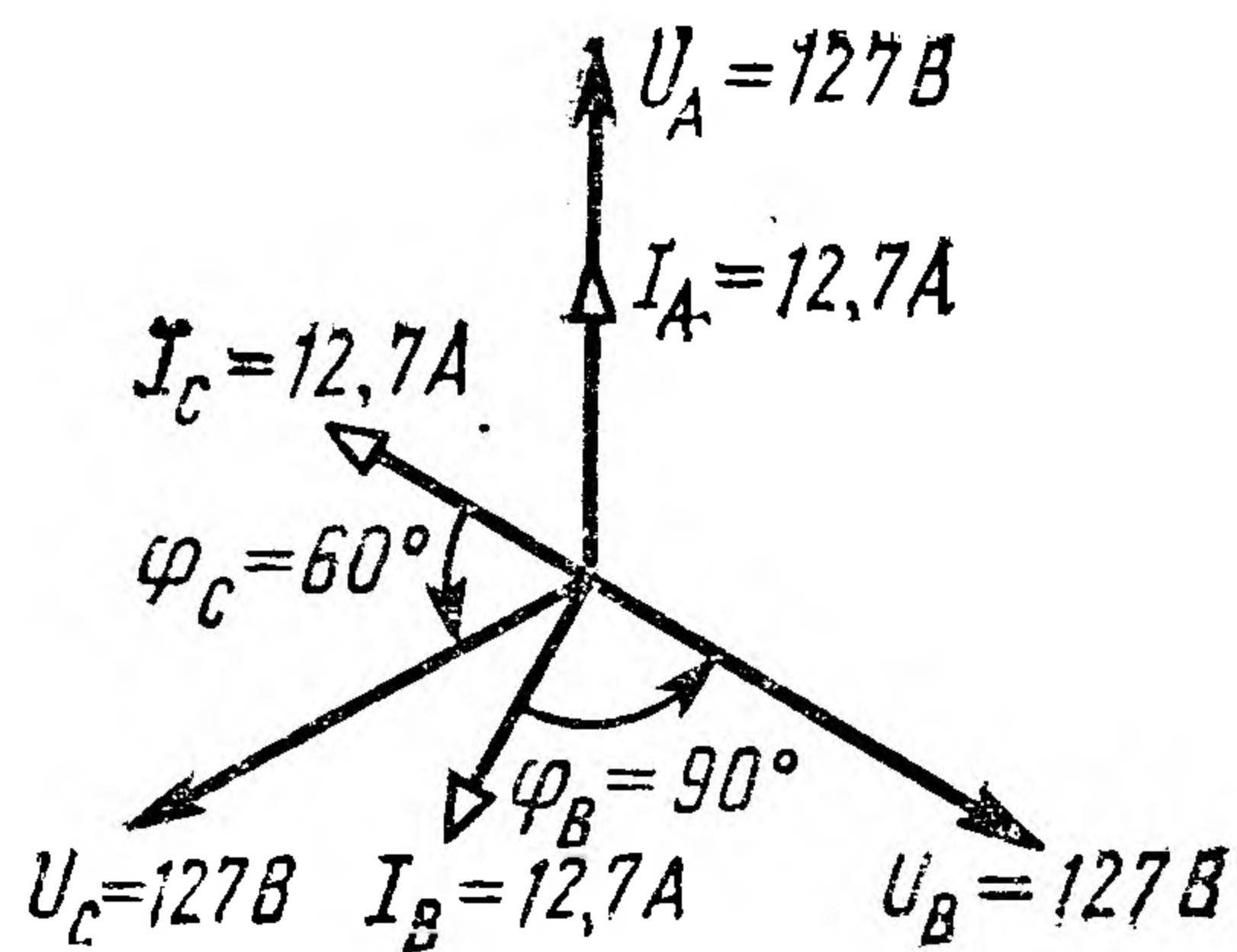


Рис. 64

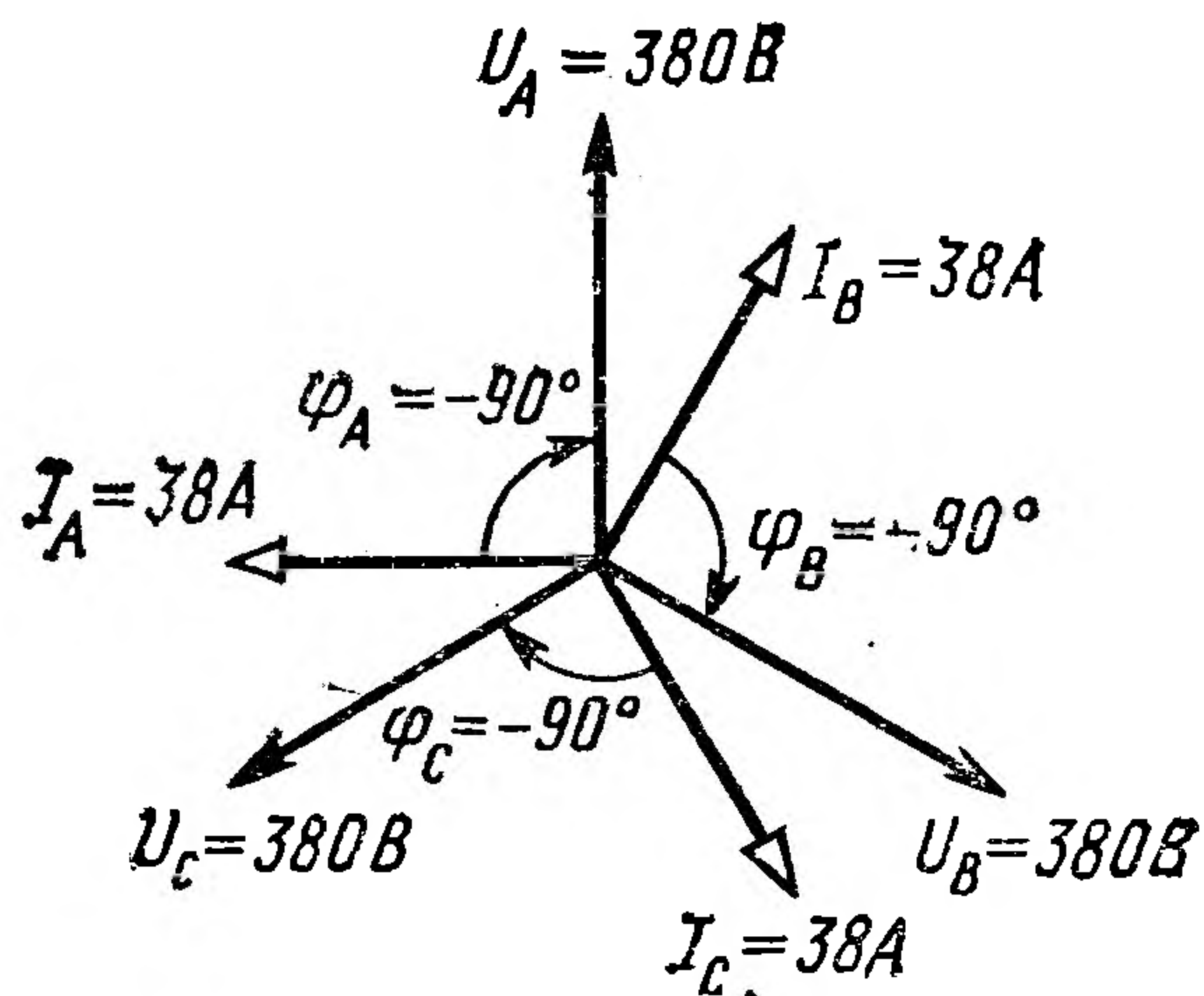


Рис. 65

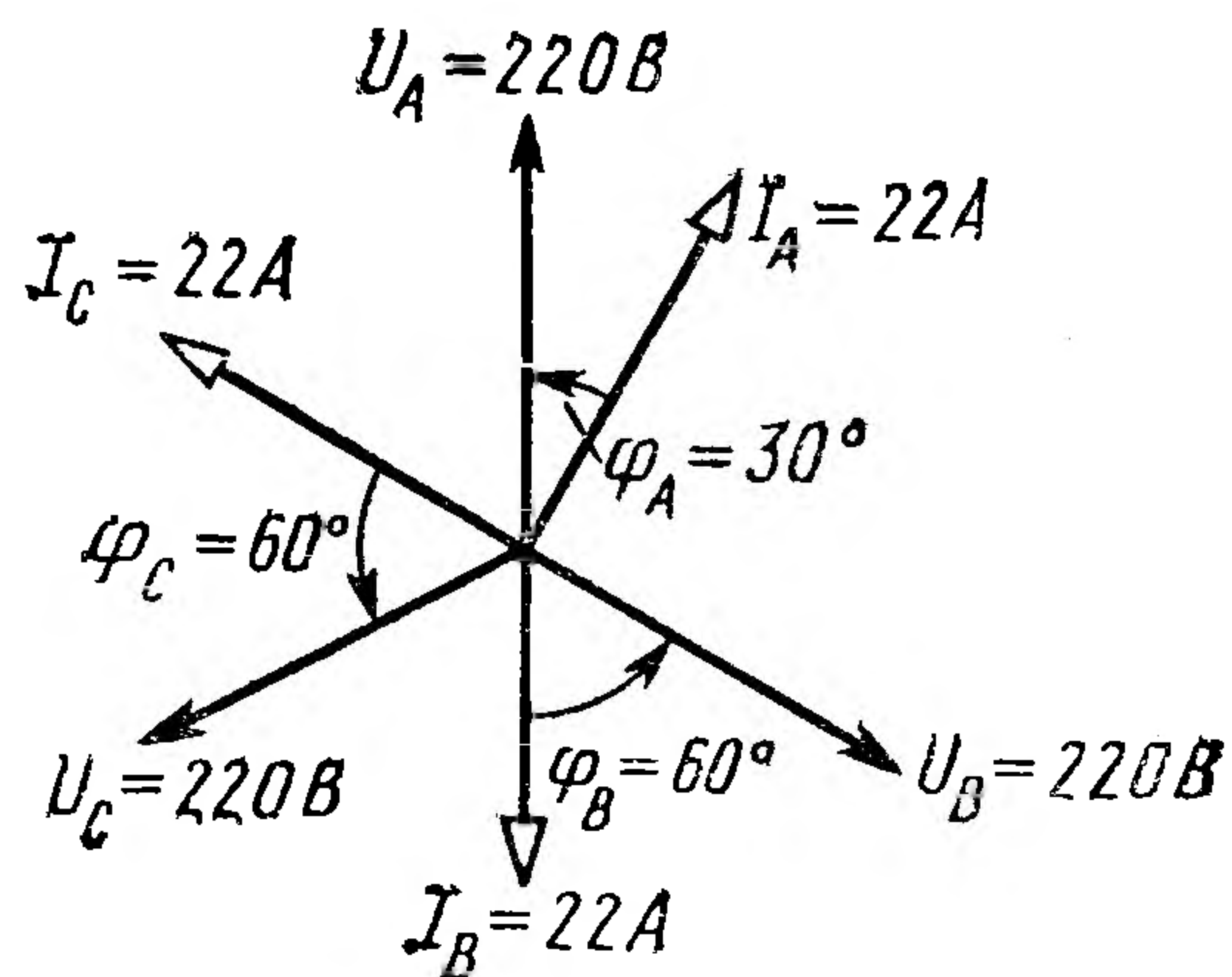


Рис. 66

Т а б л и ц а 11

Номер варианта	$R$ , Ом	$U_{\text{ном } I'}$ В	Номер варианта	$R$ , Ом	$U_{\text{ном } I'}$ В	Номер варианта	$R$ , Ом	$U_{\text{ном } I'}$ В
05	10	380	45	40	220	85	10	660
15	20	220	55	60	660	95	10	220
25	30	660	65	7,6	380	—	—	—
35	20	380	75	5	220	—	—	—

Т а б л и ц а 12

Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка
06	57	46	61	86	65
16	58	56	62	96	66
26	59	66	63	—	—
36	60	76	64	—	—

изменить сопротивления резисторов, чтобы при их соединении треугольником и включении в ту же сеть линейные токи и потребляемые активные мощности остались прежними? Для случая соединения резисторов треугольником начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Данные для своего варианта взять из табл. 13.

Указание. При соединении треугольником линейный ток  $I_{\text{ном}} = \sqrt{3} I_{\phi}$ , где фазный ток  $I_{\phi} = U_{\text{ном}} / R_{\Delta}$ . При соединении звездой для

сохранения постоянства линейного тока должно соблюдаться равенство

$$I_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} R_{\Delta}) = \sqrt{3} U_{\text{ном}} / R_{\Delta}.$$

Отсюда определяется величина  $R_{\Delta}$ .

Т а б л и ц а 13

Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В	Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В	Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В
07	10	380	47	44	220	87	30	660
17	11	220	57	12	660	97	19	380
27	20	660	67	38	380	—	—	—
37	76	380	77	22	220	—	—	—

**Задача 12.** По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи определить характер сопротивлений во всех фазах (активное, индуктивное, емкостное, смешанное), вычислить значения каждого сопротивления и начертить схему присоединения сопротивлений к сети. Сопротивления соединены треугольником. Закончить построение векторной диаграммы, показав на ней векторы линейных токов  $I_A$ ,  $I_B$  и  $I_C$ . Данные для своего варианта взять из табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка
08	67	48	71	88	75
18	68	58	72	98	76
28	69	68	73	—	—
38	70	78	74	—	—

**Указание.** См. решение типового примера 9.

**Задача 13.** С помощью элементов, приведенных на рис. 77, составить принципиальную схему включения двух трехфазных электродвигателей  $D_1$  и  $D_2$  и двух групп ламп накаливания  $L_1$  и  $L_2$  в трехфазную четырехпроводную сеть. Электродвигатели и лампы включаются в сеть через автоматические выключатели  $A_{D_1}$  и  $A_{D_2}$  и  $A_{L_1}$  и  $A_{L_2}$ . Выключатели служат для включения и отключения потребителей и защиты электрической сети от токов короткого замыкания и токов перегрузки. Номинальное напряжение сети  $U_{\text{ном}}$ . Обмотка каждой фазы электродвигателя рассчитана на напряжение  $U_d$ ; номинальное напряжение ламп  $U_{\text{л}}$ . Эти величины заданы в таблице вариантов. В задаче необходимо вы-



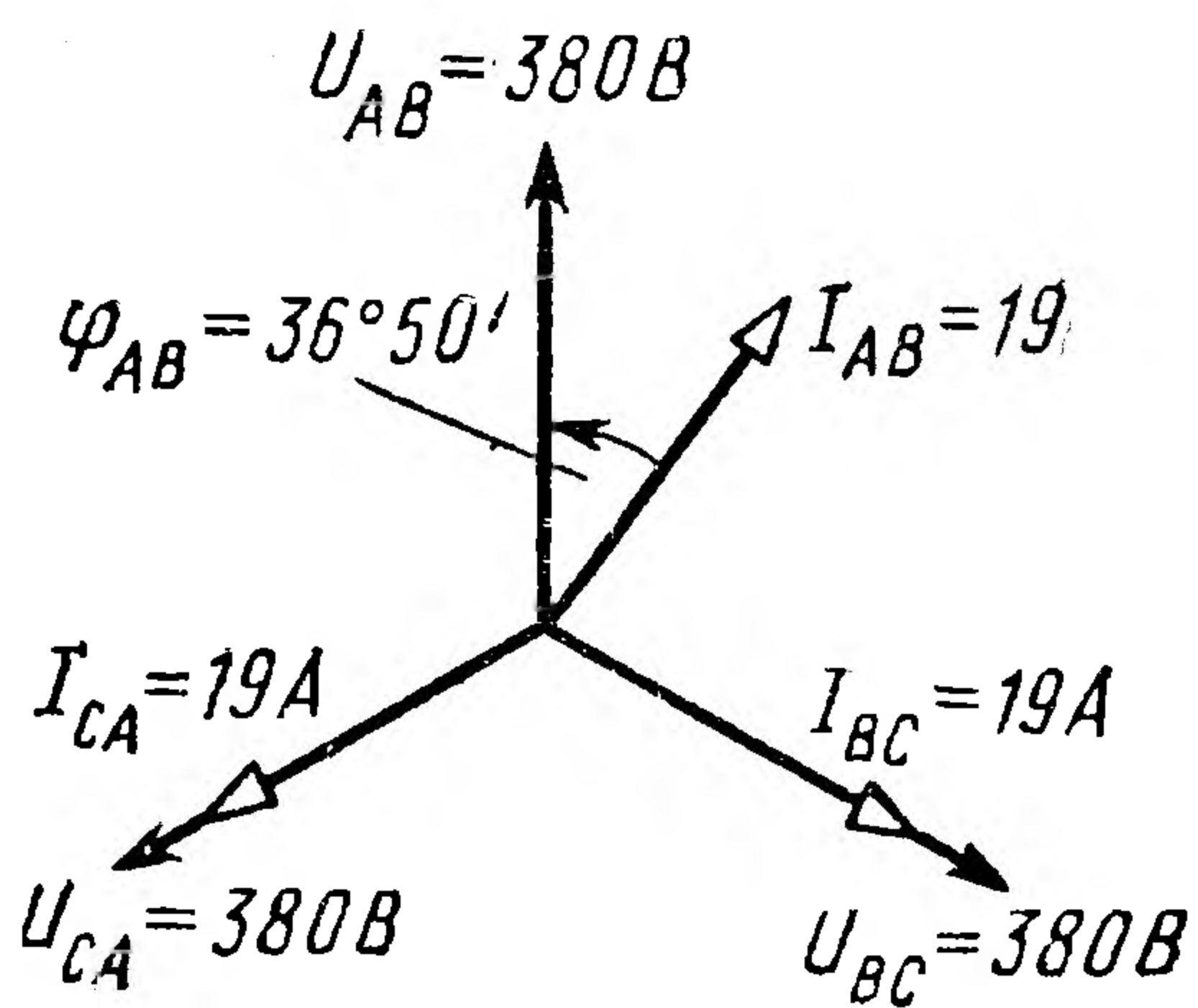


Рис. 67

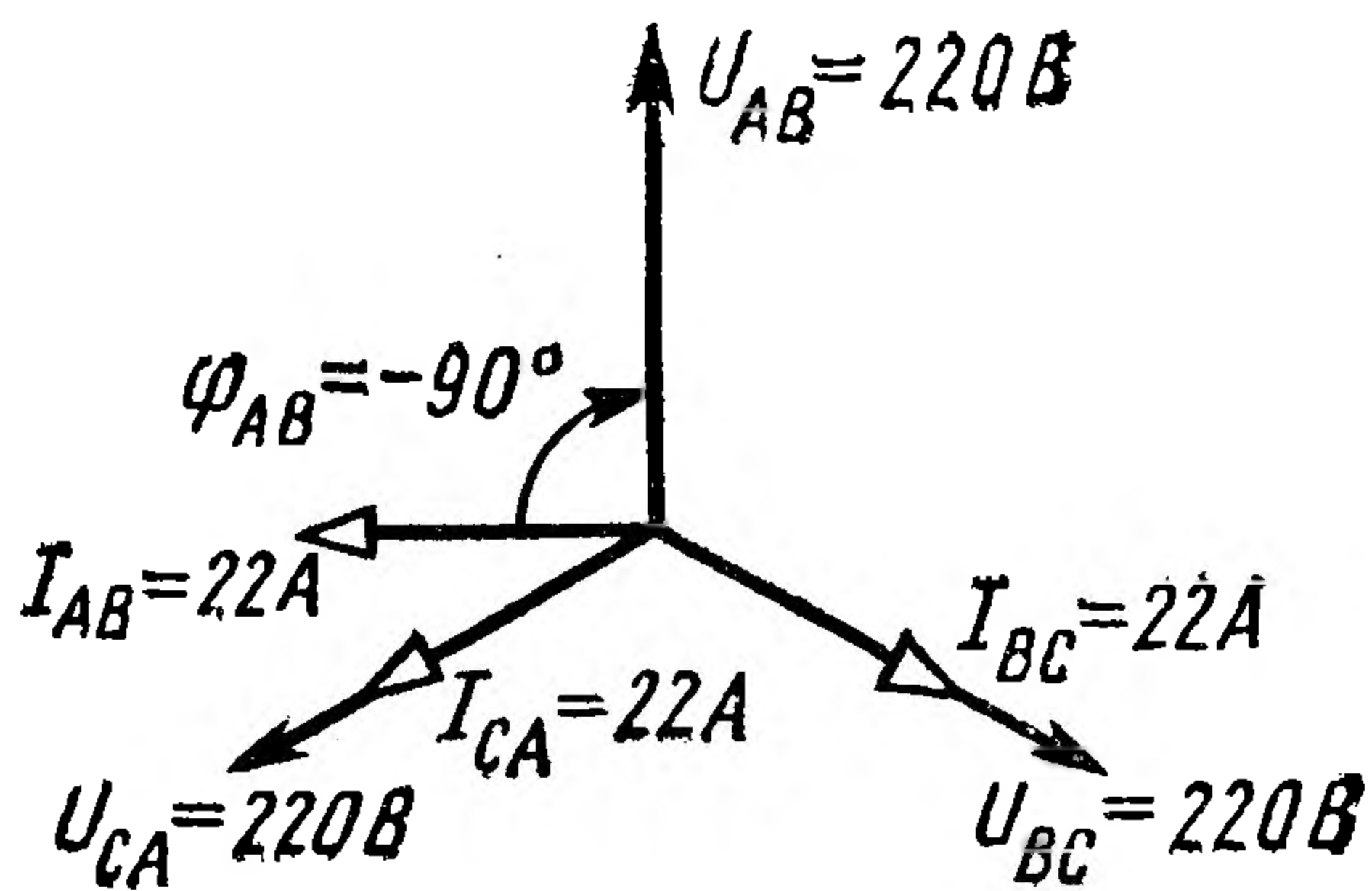


Рис. 68

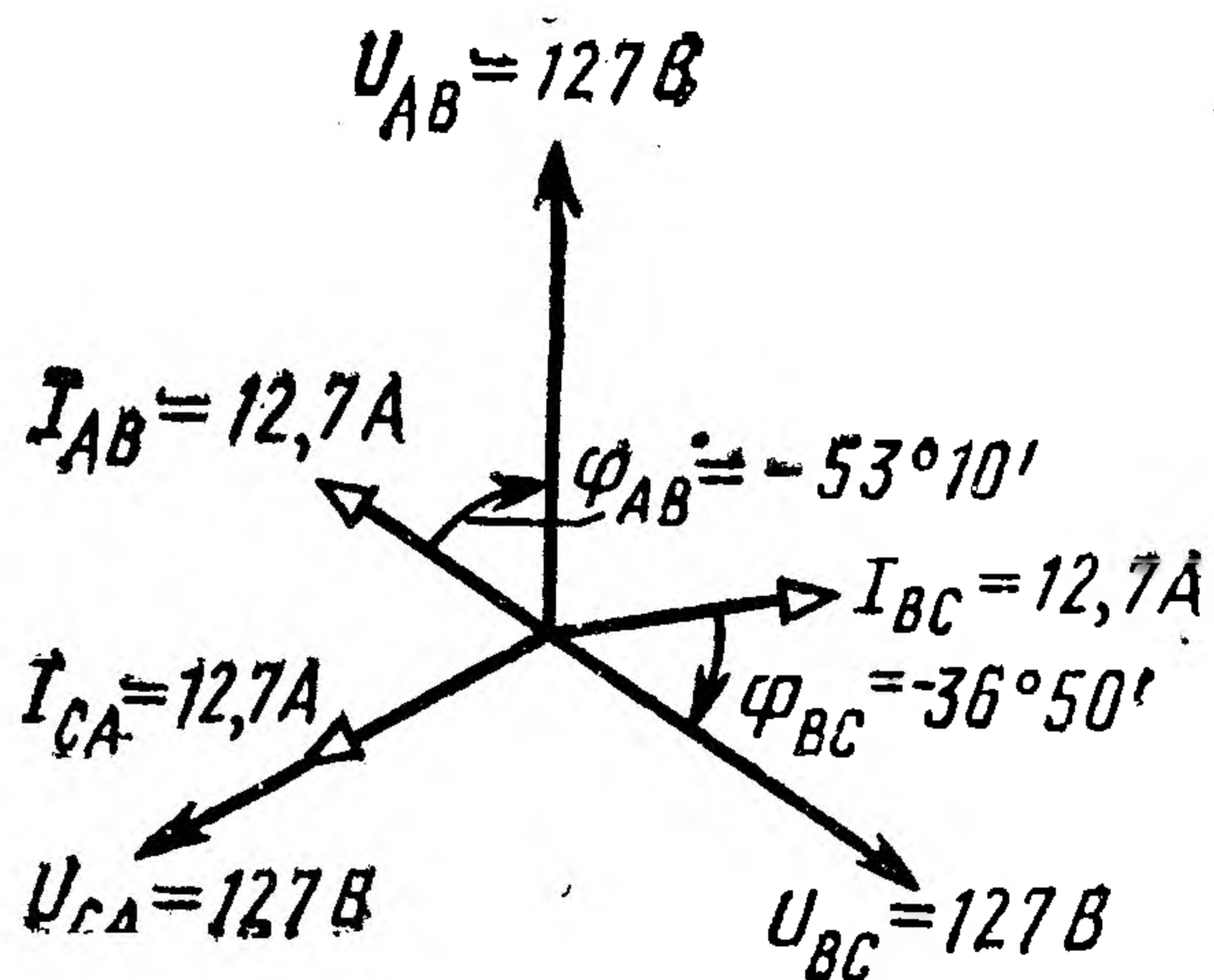


Рис. 69

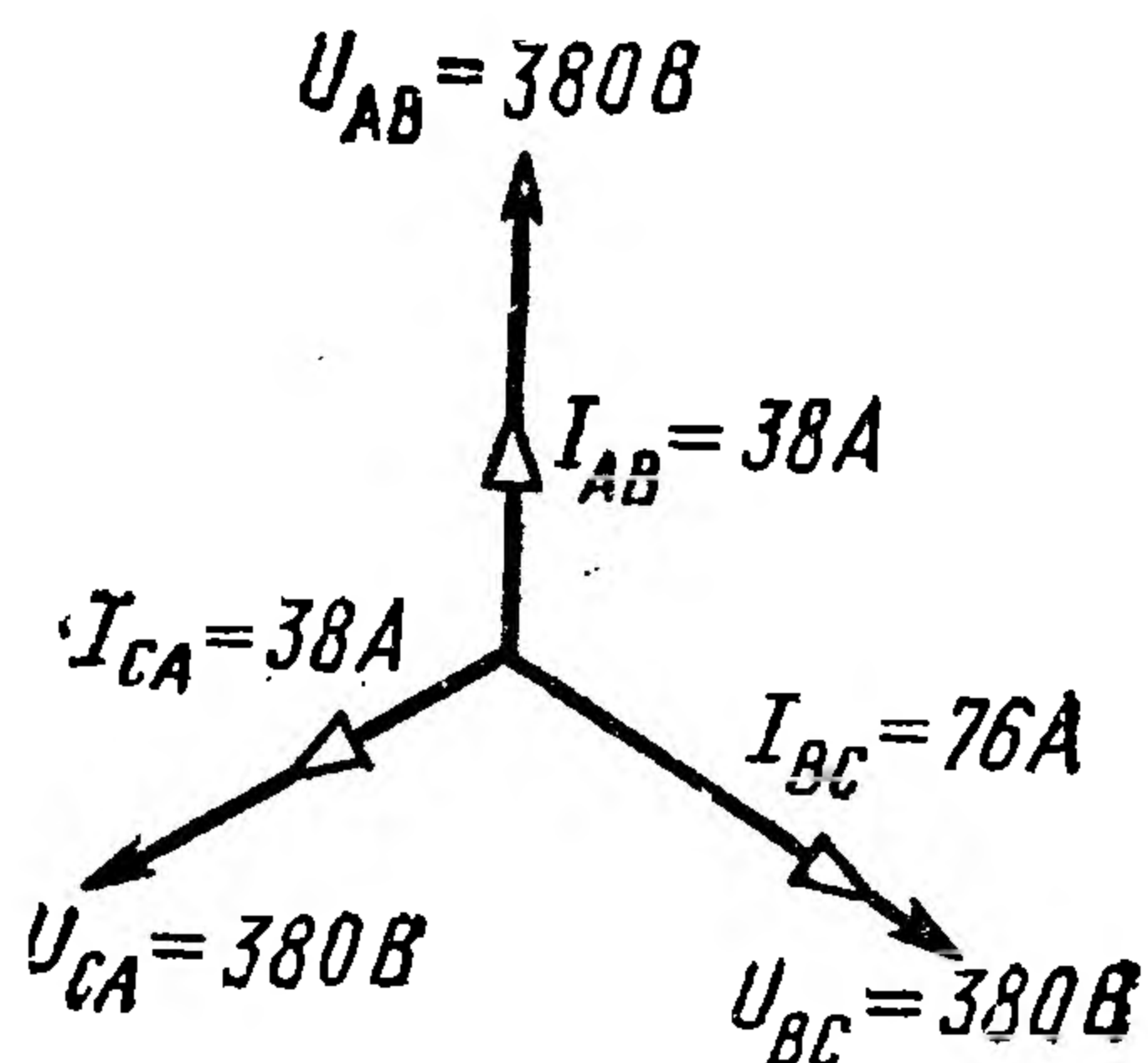


Рис. 70

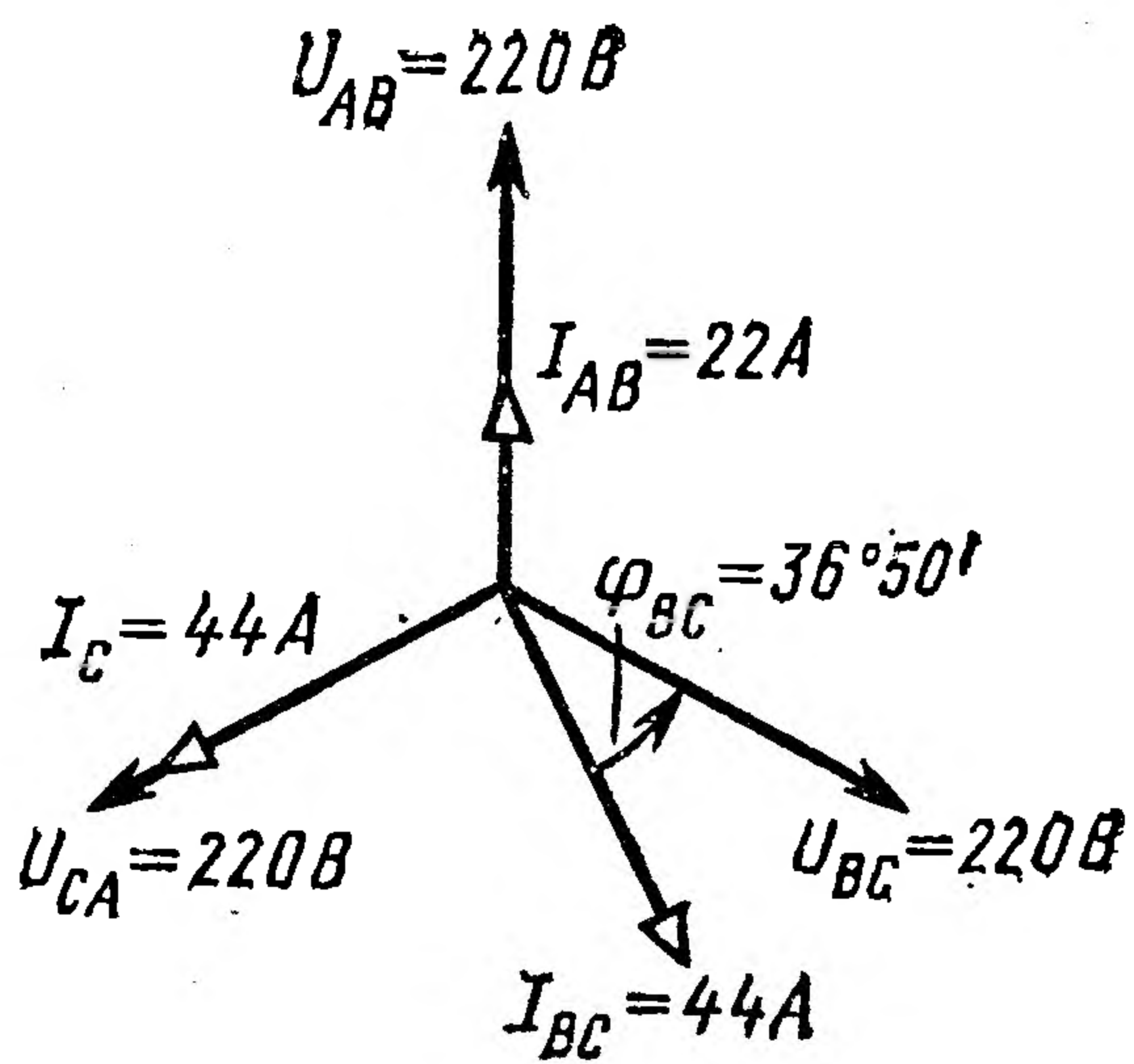


Рис. 71

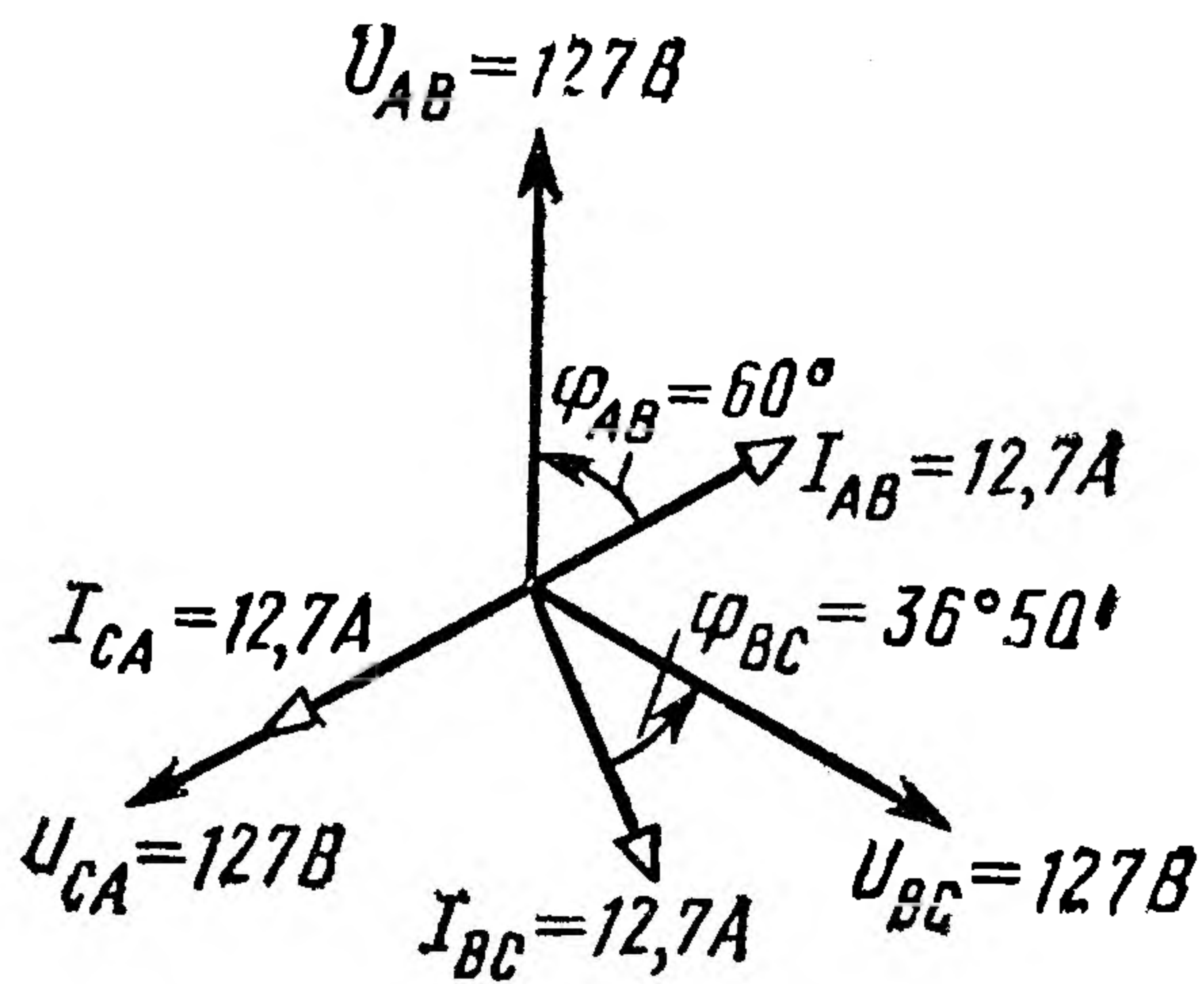


Рис. 72



полнить следующее: 1) в зависимости от напряжения сети соответствующим образом соединить между собой обмотки каждого электродвигателя (в звезду или треугольник), показанные на рисунке в его корпусе, и присоединить их к сети; 2) соединить лампы в каждой группе с учетом их напряжений (в звезду или треугольник) и присоединить их к

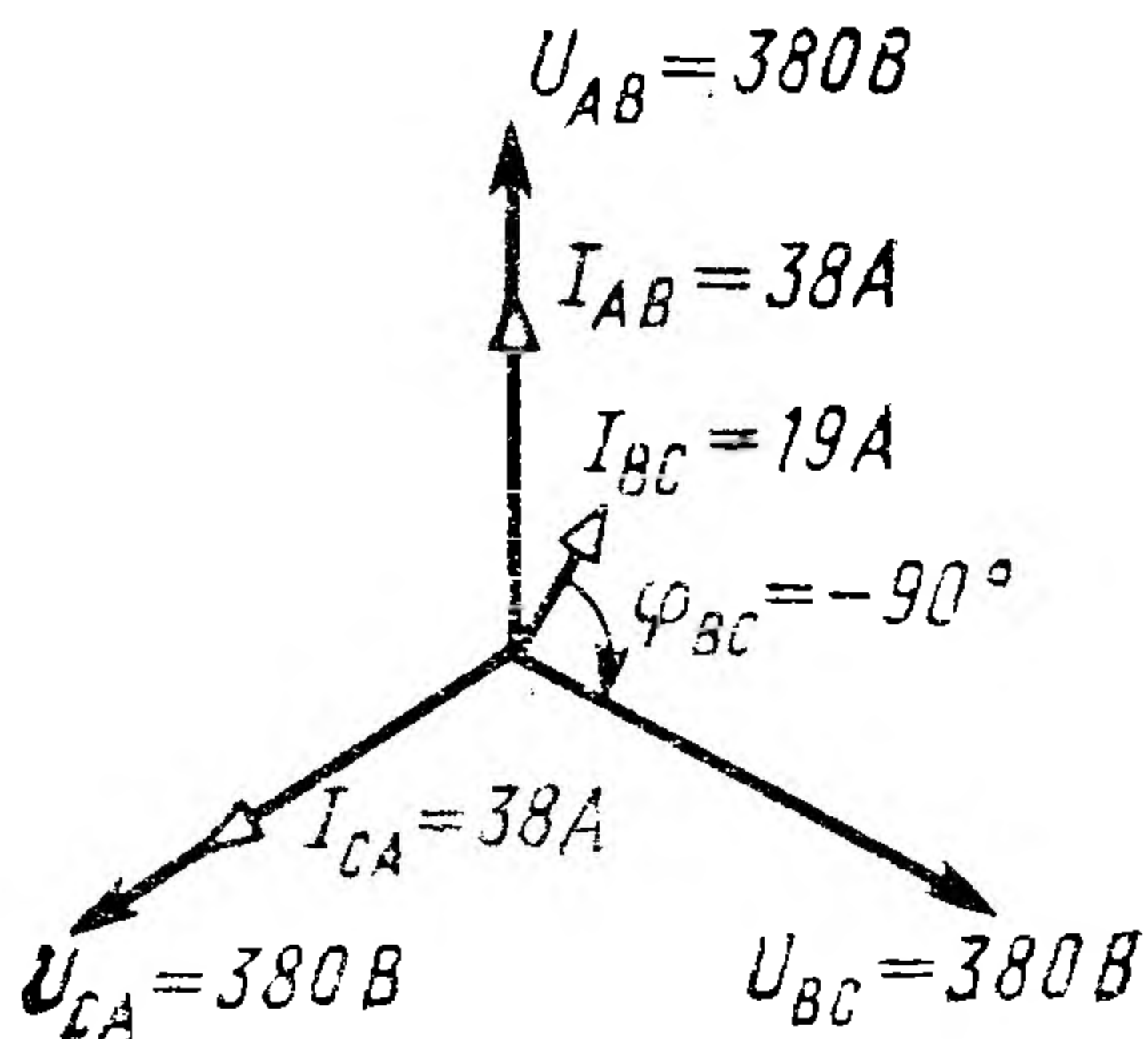


Рис. 73

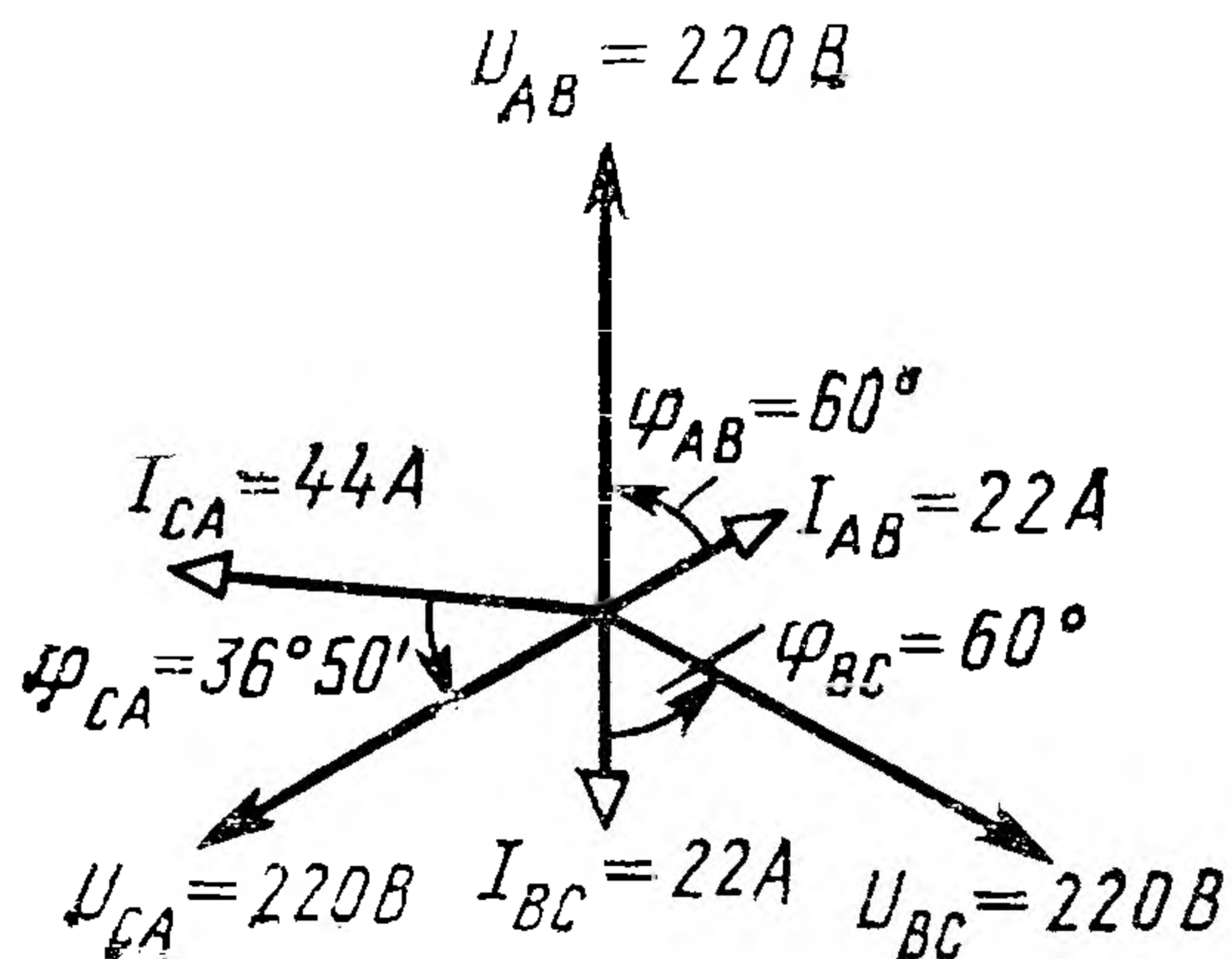


Рис. 74

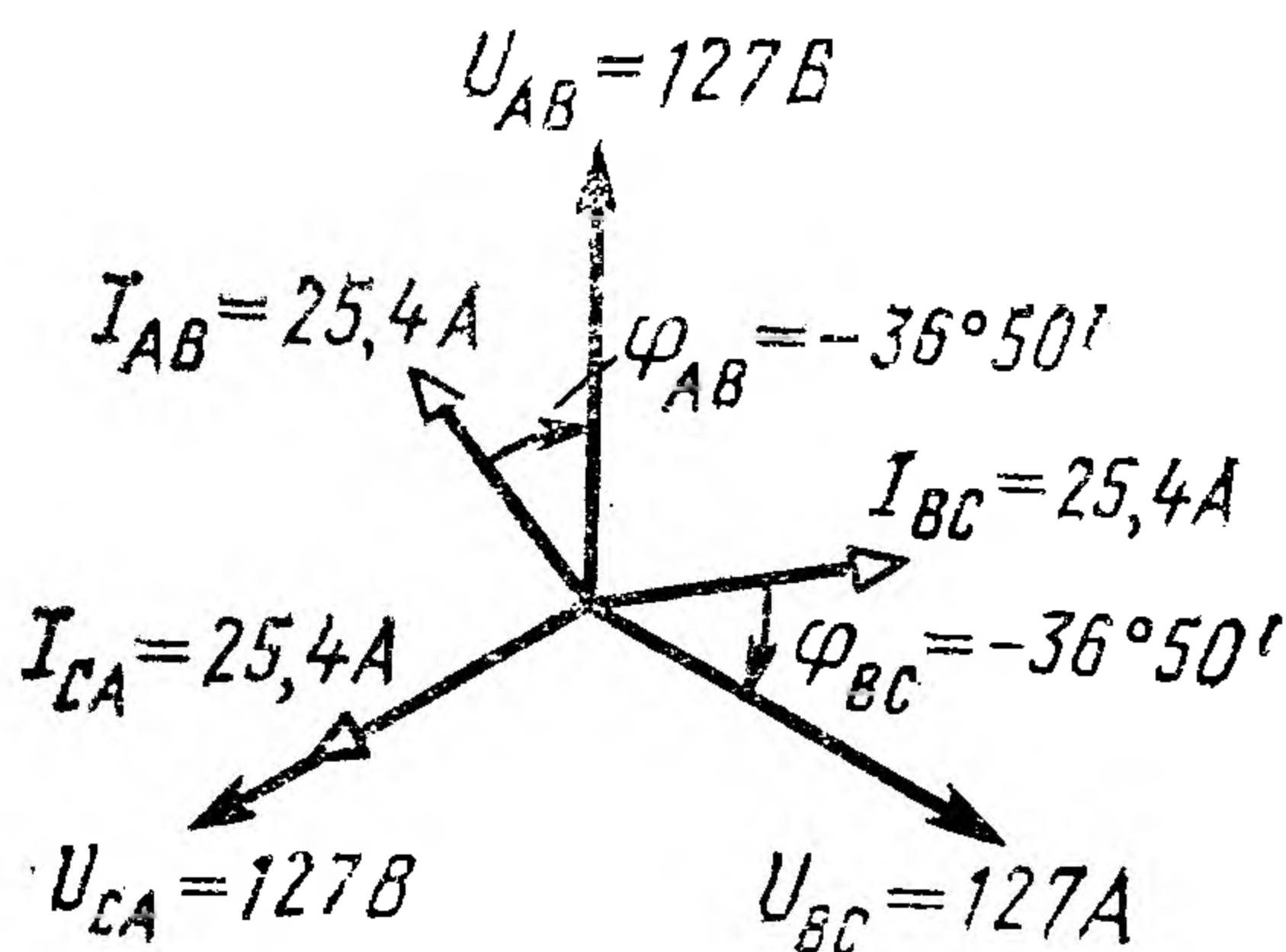


Рис. 75

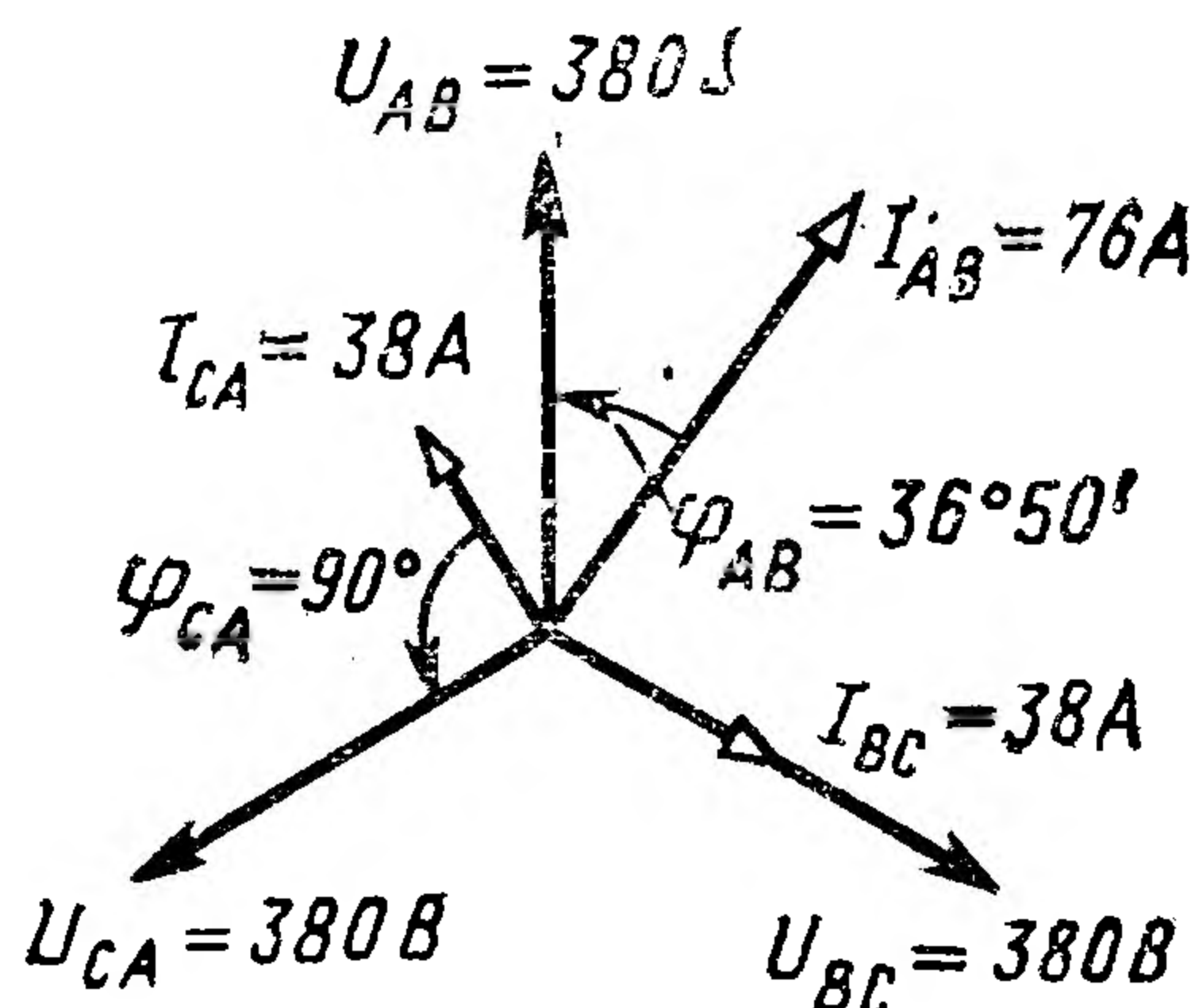


Рис. 76

сети; 3) принимая мощность лампы равной  $P_{\text{л}}$ , определить потребляемый лампой ток и начертить в масштабе векторную диаграмму для участка цепи, содержащего лампы. Данные для своего варианта взять из табл. 15.

*Указание.* См. решение типового примера 5.

**Задача 14.** В трехфазную трехпроводную сеть с линейным напряжением  $U_{\text{ном}}$  включили треугольником разные по характеру сопротивления (рис. 78—87). Определить фазные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Из векторной диаграммы определить числовые значения линейных токов. Данные для своего варианта взять из табл. 16.

Как изменятся значения фазных и линейных токов и взаимное расположение векторов токов и напряжений при увеличении частоты тока в сети в два раза?

*Указание.* См. решение типового примера 8.

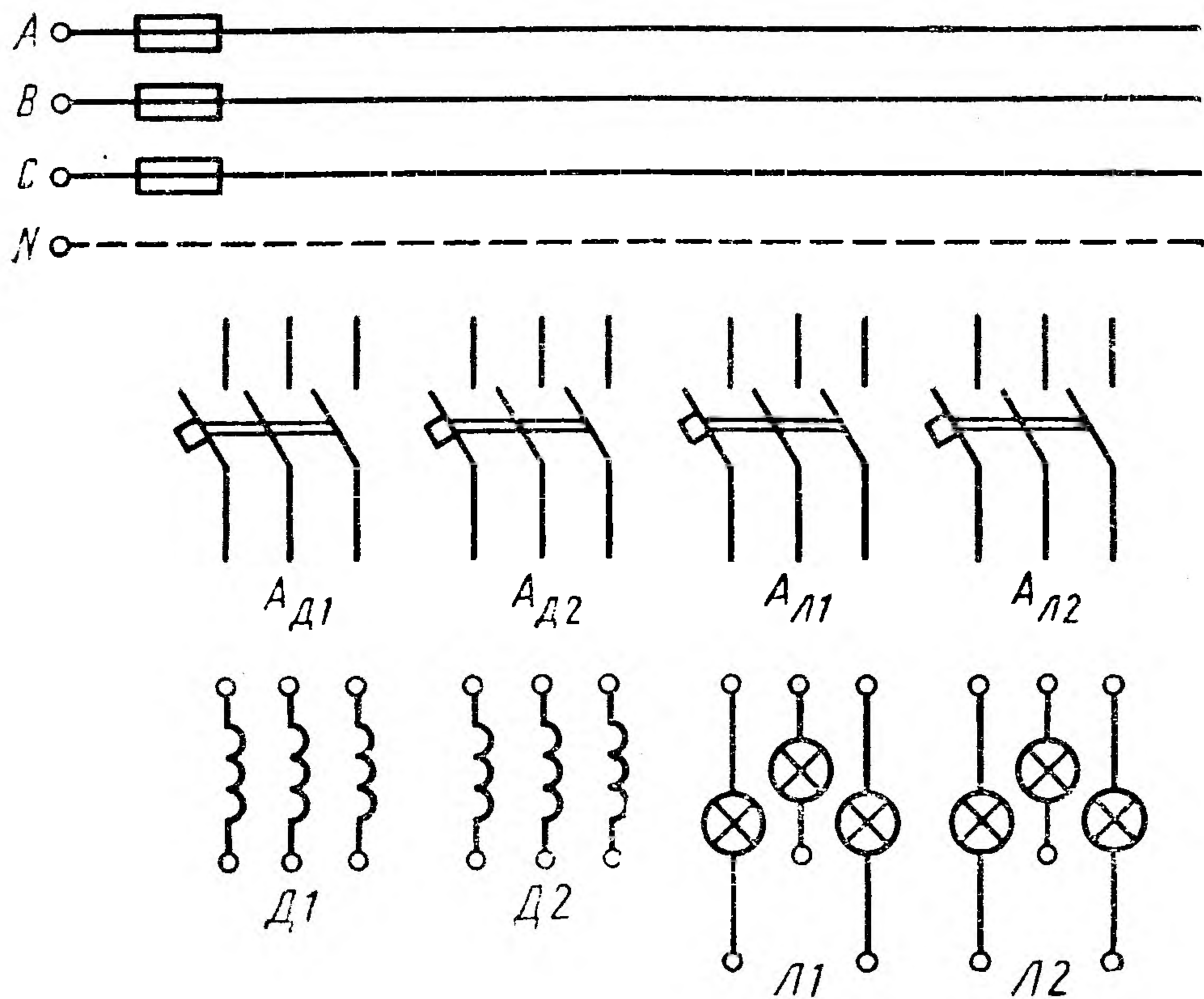


Рис. 77

Таблица 15

Номер варианта	$U_{\text{ном'}}$ В	$U_{\text{д'}}$ В	$U_{\text{л'}}$ В	$P_{\text{л'}}$ Вт	Номер варианта	$U_{\text{ном'}}$ В	$U_{\text{д'}}$ В	$U_{\text{л'}}$ В	$P_{\text{л'}}$ Вт
09	380	380	220	300	59	127	127	127	300
19	220	220	127	200	69	220	220	220	500
29	380	220	220	150	79	380	220	220	300
39	220	127	220	500	89	220	127	127	100
49	380	220	220	200	99	127	127	127	150

Таблица 16

Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$U_{\text{ном'}}$ В	Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$U_{\text{ном'}}$ В	Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$U_{\text{ном'}}$ В
10	78	220	50	82	380	90	86	660
20	79	380	60	83	660	00	87	220
30	80	660	70	84	220	—	—	—
40	81	220	80	85	380	—	—	—



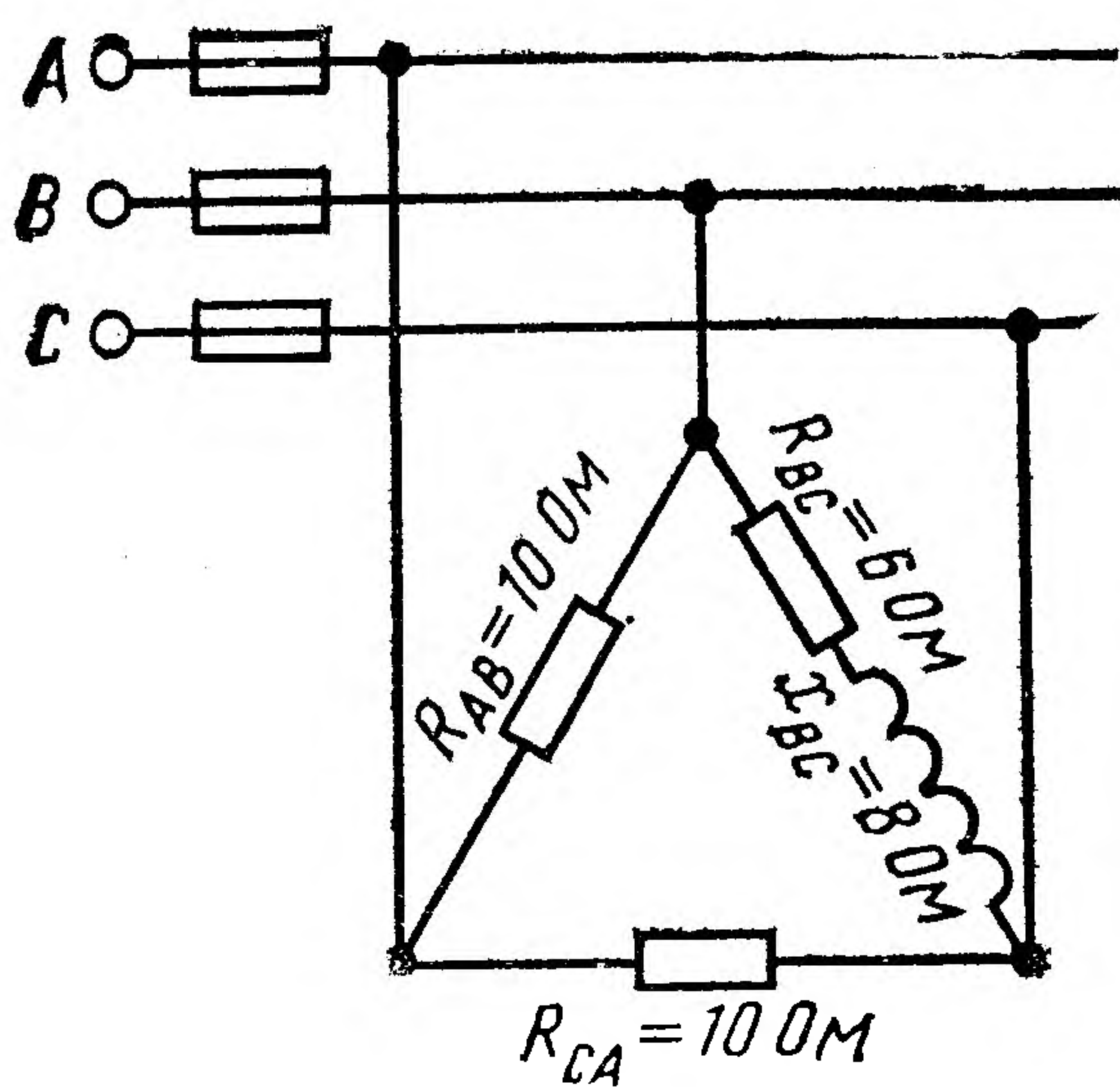


Рис. 78

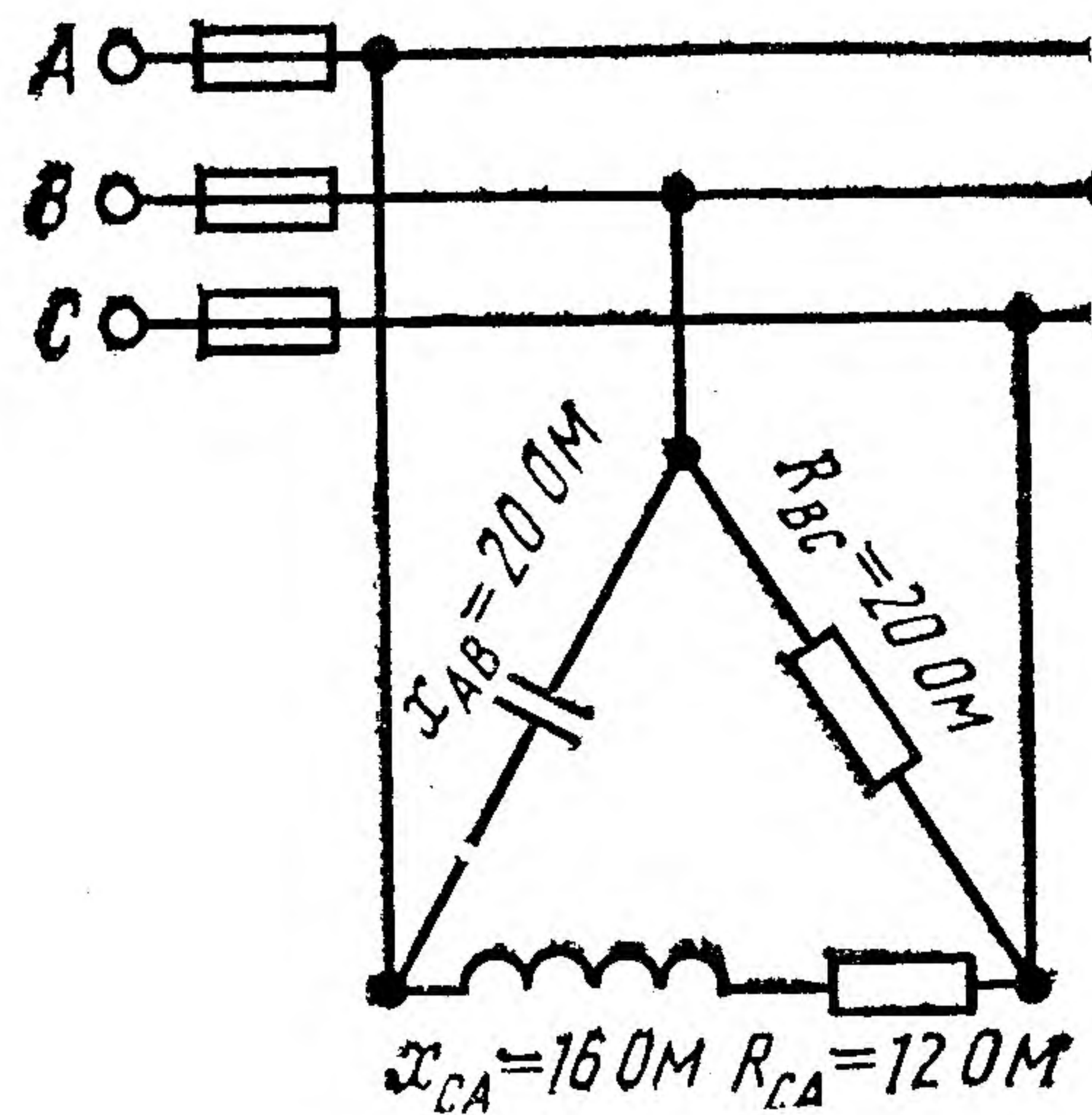


Рис. 79

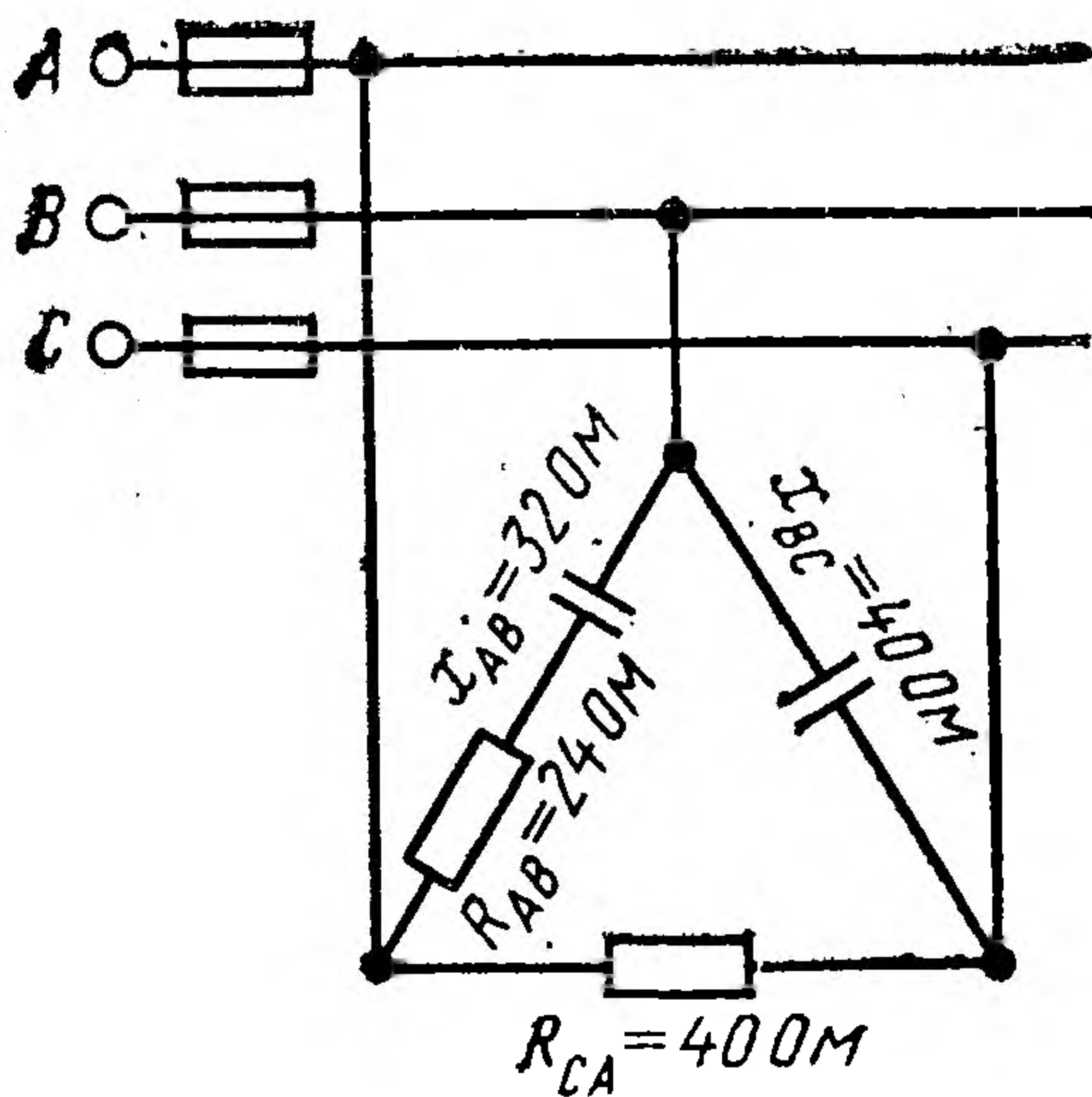


Рис. 80

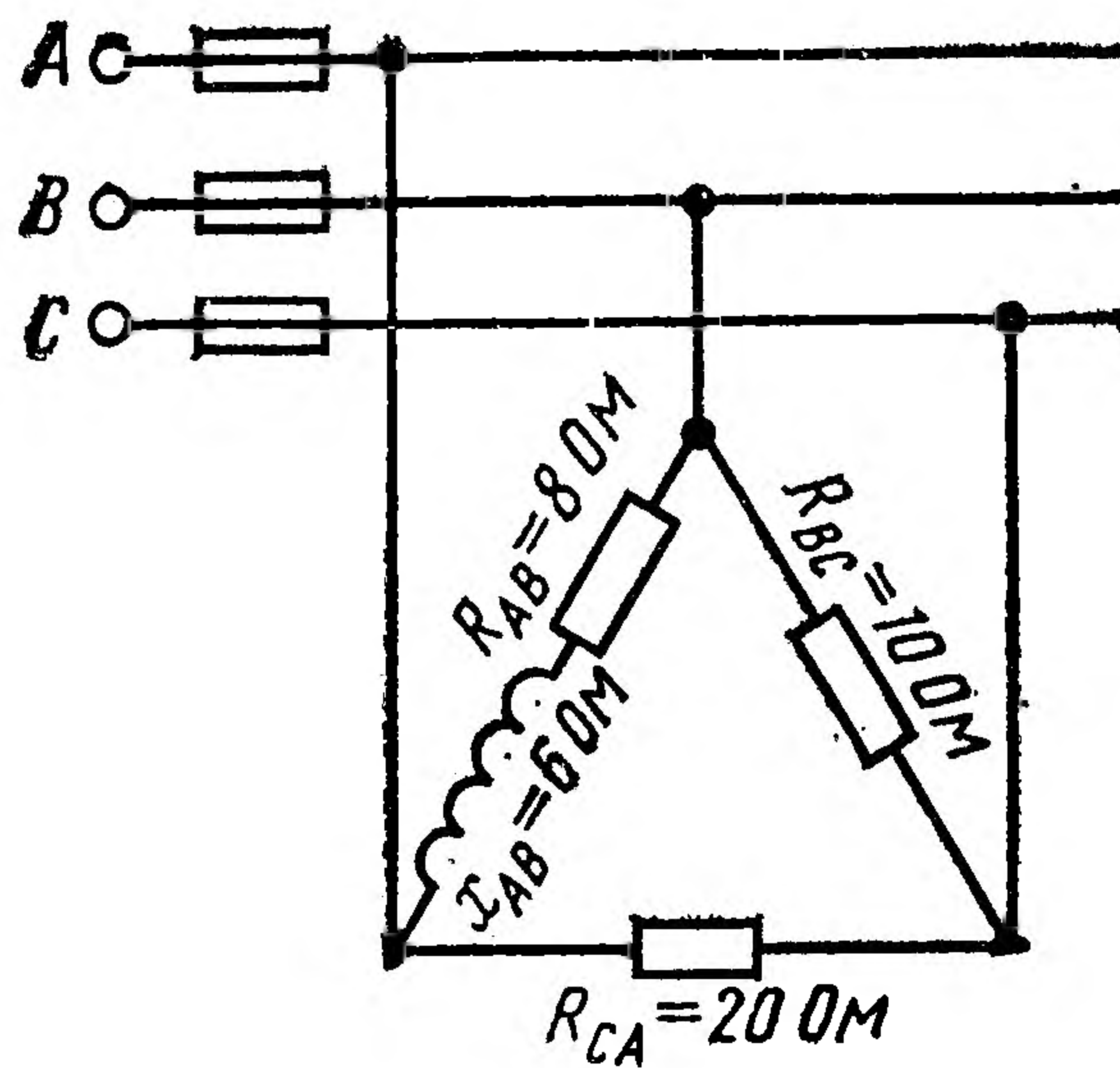


Рис. 81

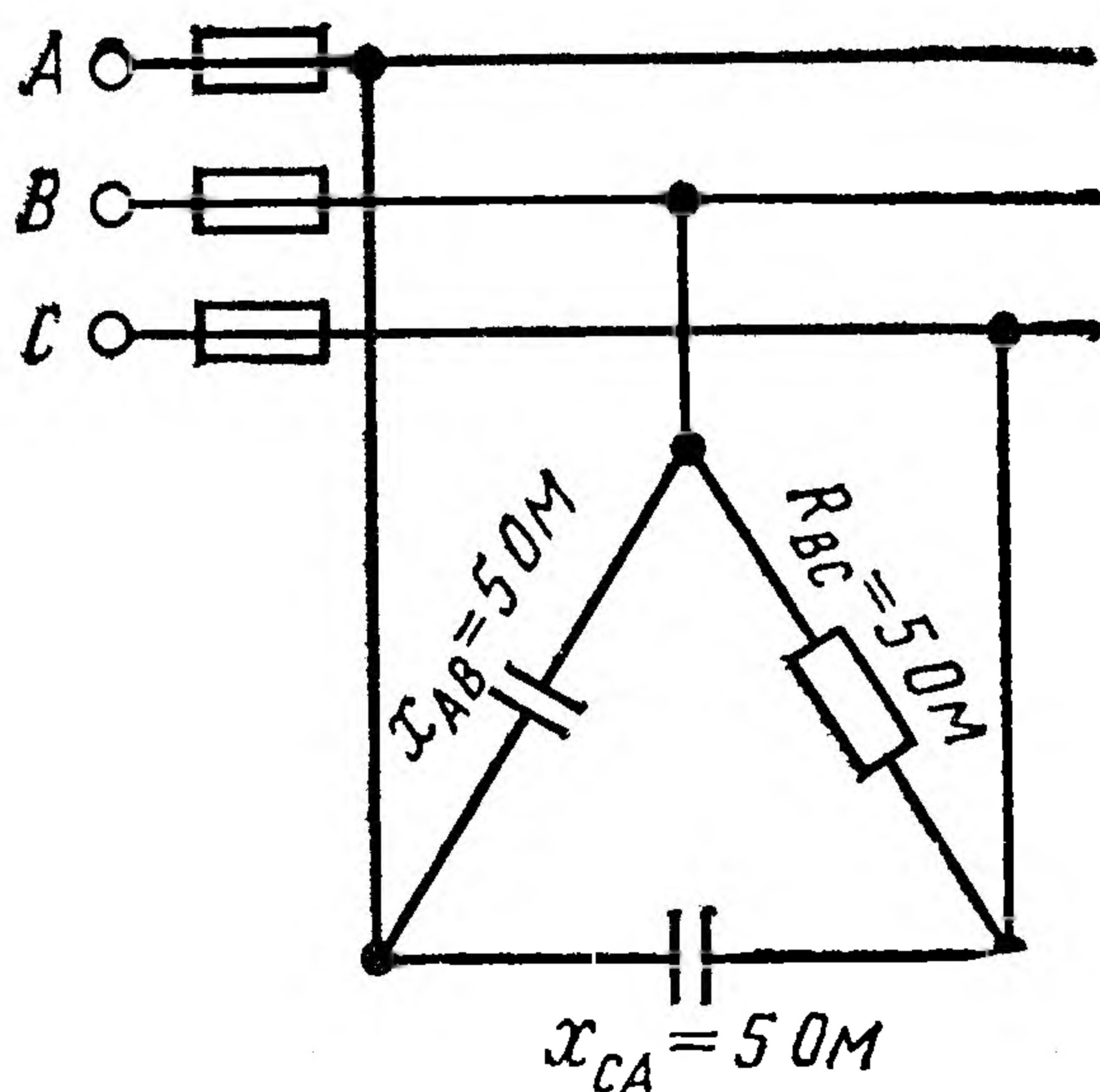


Рис. 82

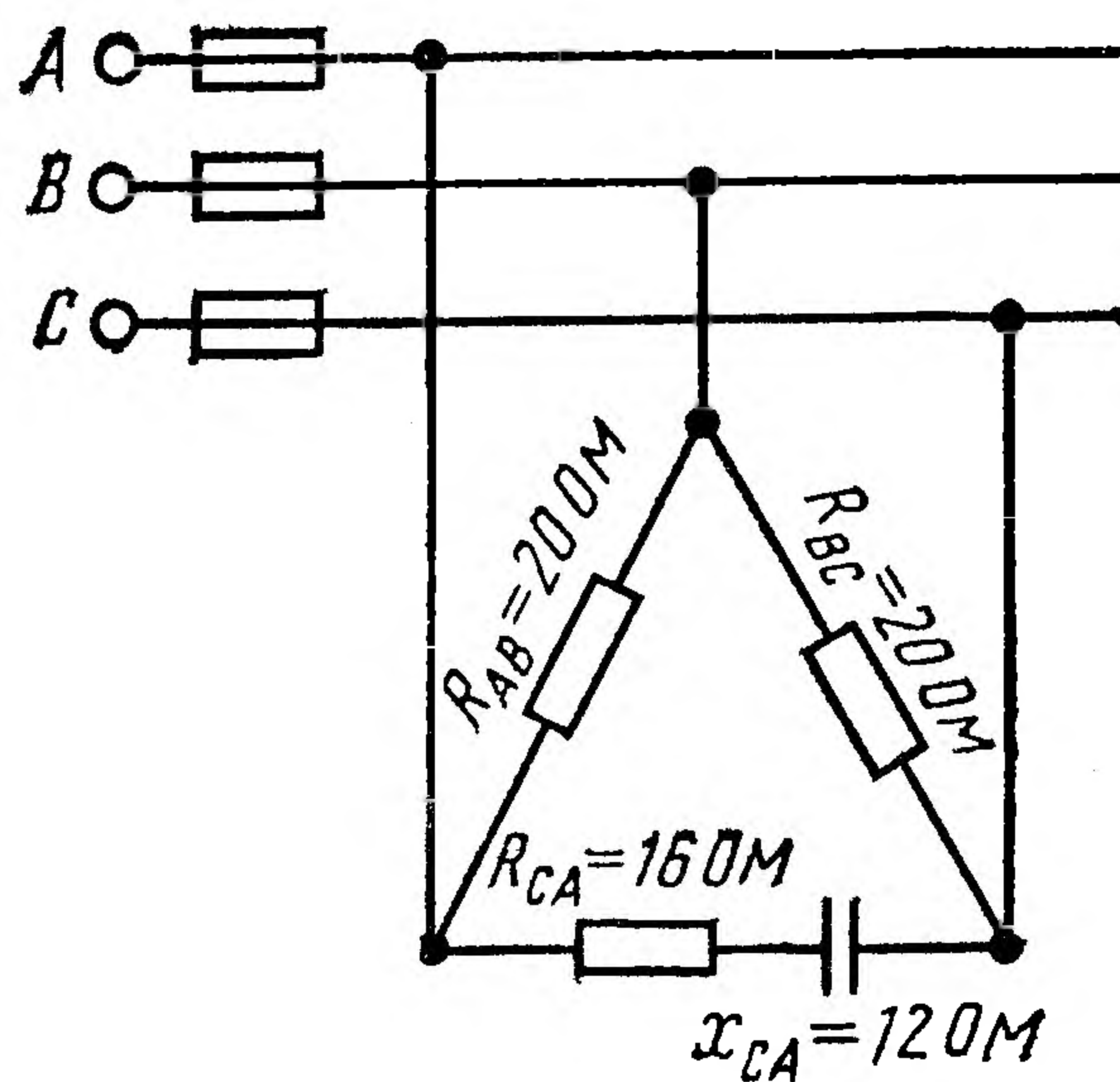


Рис. 83

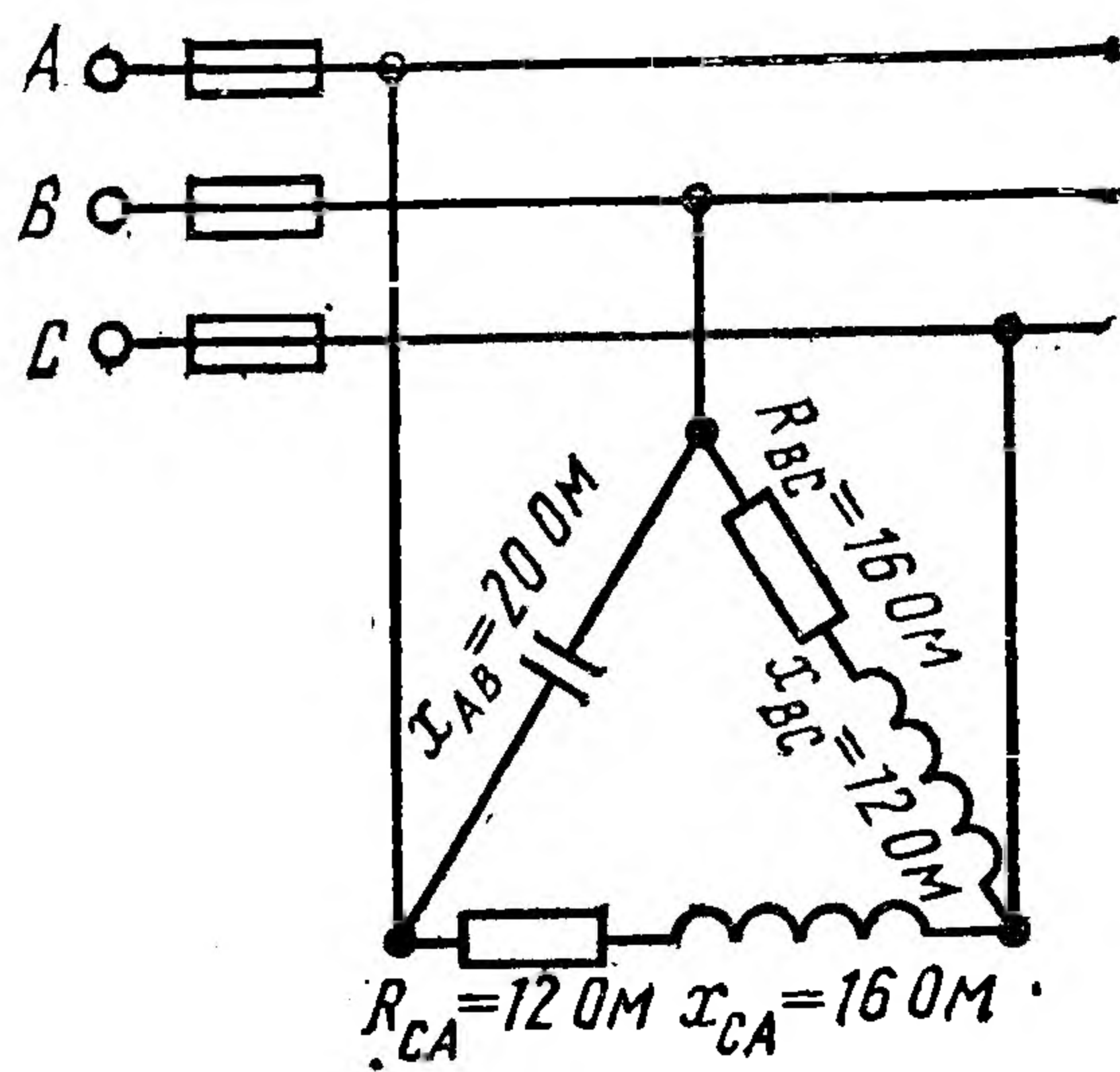


Рис. 84

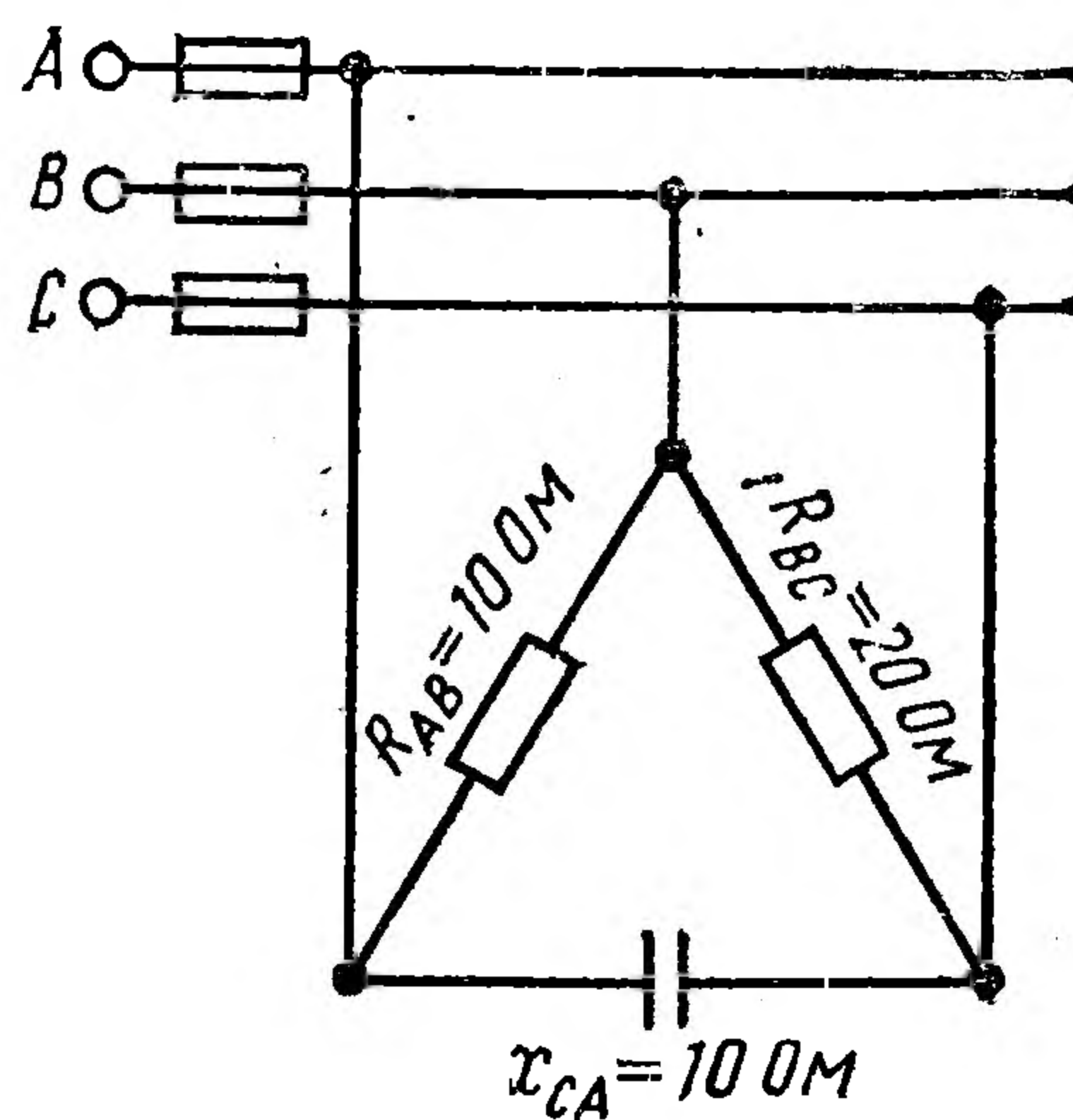


Рис. 85

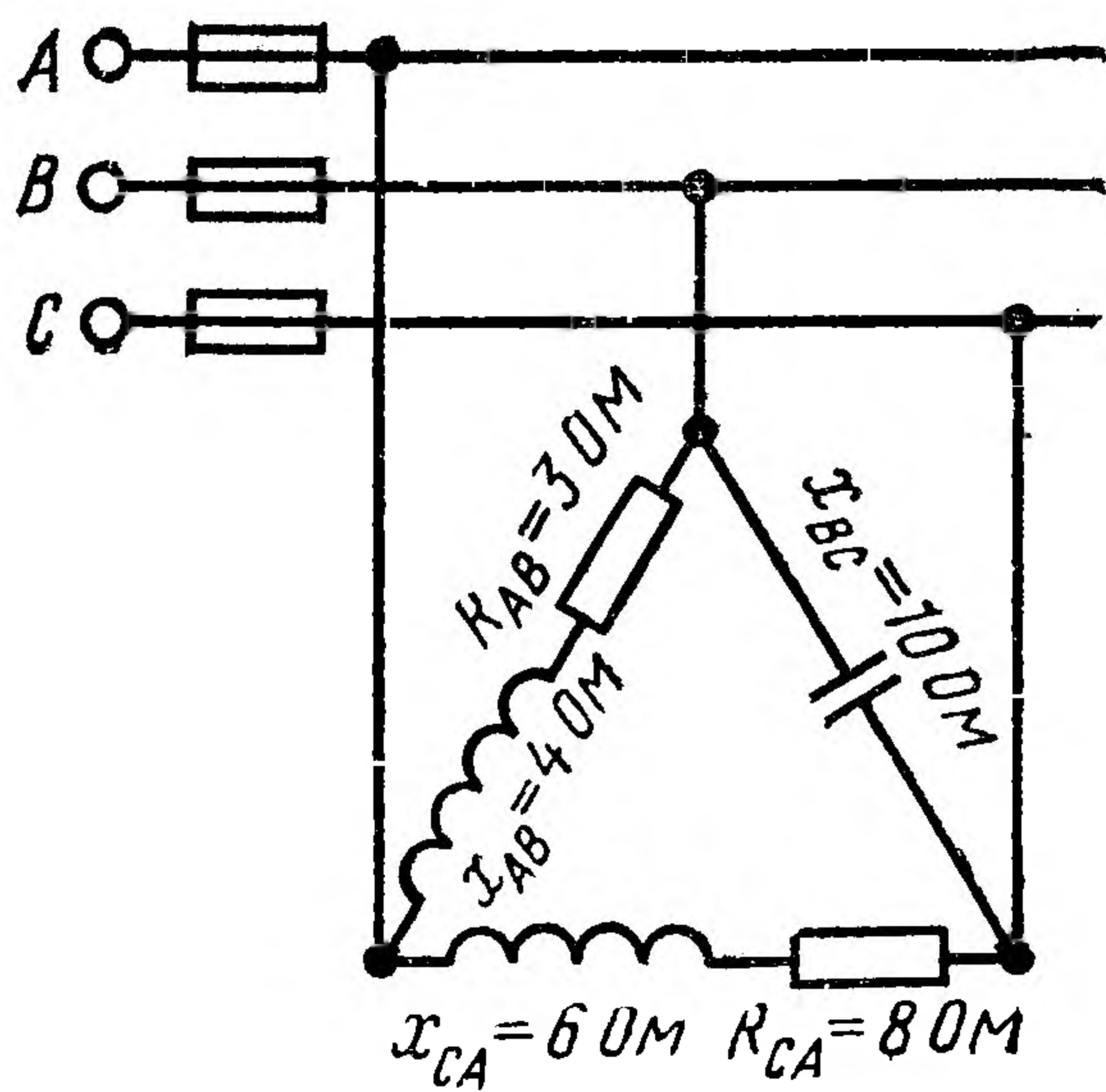


Рис. 86

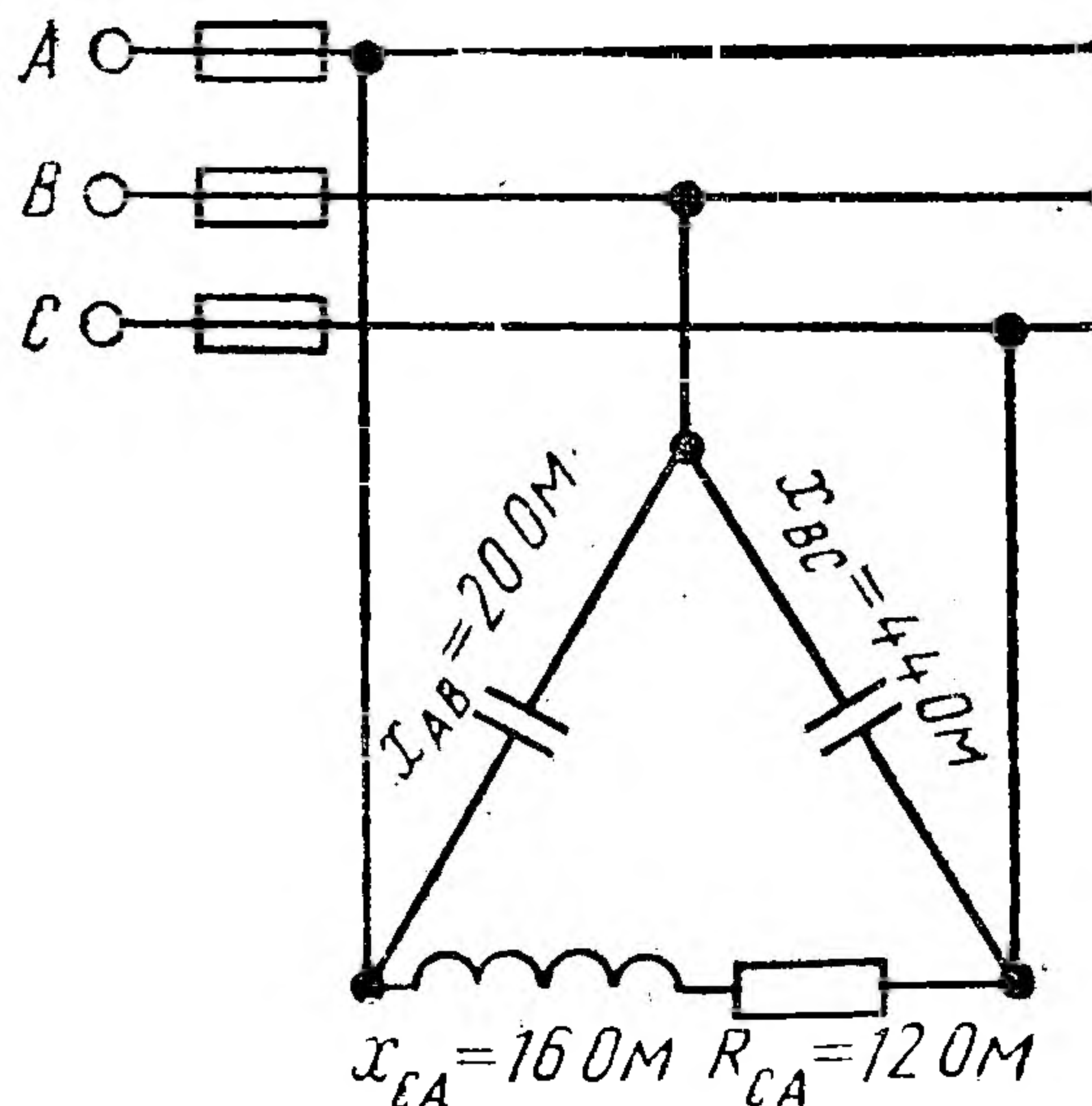


Рис. 87



**Задача 15.** К трехфазному трансформатору с номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$  и номинальными напряжениями первичной  $U_{\text{ном 1}}$  и вторичной  $U_{\text{ном 2}}$  обмоток присоединена активная нагрузка  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2$ . Определить: 1) номинальные токи в обмотках  $I_{\text{ном 1}}$  и  $I_{\text{ном 2}}$ ; 2) коэффициент нагрузки трансформатора  $k_n$ ; 3) токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$  при фактической нагрузке; 4) суммарные потери мощности  $\Sigma P$  при номинальной нагрузке; 5) коэффициент полезного действия:

трансформатора при фактической нагрузке. Данные для своего варианта взять из табл. 23. Недостающие величины взять из табл. 18.

Каково назначение замкнутого стального магнитопровода в трансформаторе? Почему магнитопровод должен иметь минимальный воздушный зазор и выполняться не сплошным, а из отдельных стальных листов, изолированных друг от друга лаком?

*Указание.* См. решение типового примера 11.

Т а б л и ц а 23

Номер варианта	$S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$U_{\text{ном}1}, \text{кВ}$	$U_{\text{ном}2}, \text{кВ}$	$P_2, \text{кВт}$	$\cos \varphi_2$	Номер варианта	$S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$U_{\text{ном}1}, \text{кВ}$	$U_{\text{ном}2}, \text{кВ}$	$P_2, \text{кВт}$	$\cos \varphi_2$
01	1000	10	0,69	850	0,95	51	630	10	0,69	554	0,88
11	160	6	0,4	150	1,0	61	40	6	0,23	35	1,0
21	100	6	0,23	80	0,9	71	1600	10	0,4	1400	0,93
31	250	10	0,4	200	0,85	81	63	10	0,23	56	1,0
41	400	10	0,4	350	0,92	91	630	10	0,4	520	0,9

**Задача 16.** Для питания пониженным напряжением цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный двухобмоточный трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{ном}1}$  и  $U_{\text{ном}2}$ ; номинальные токи в обмотках  $I_{\text{ном}1}$  и  $I_{\text{ном}2}$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . Числа витков обмоток  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m$ . Частота тока в сети  $f=50$  Гц. Трансформатор работает с номинальной нагрузкой. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в табл. 24, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. Ко вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора  $R_H$ . Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обеих обмоток предохранители. Данные для своего варианта взять из табл. 24.

*Указание.* См. решение типового примера 12.

**Задача 17.** Инструментальный цех завода получает питание от подстанции при напряжении  $U_{\text{ном}2}$ . Активная мощность, расходуемая цехом, равна  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2$ . Определить необходимую мощность трансформаторов на подстанции и выбрать их тип.

Таблица 24

Номер вари- анта	$S_{\text{ном}},$ В·А	$U_{\text{ном 1}},$ В	$U_{\text{ном 2}},$ В	$I_{\text{ном 1}},$ А	$I_{\text{ном 2}},$ А	$\omega_1$	$\omega_2$	$K$	$\Phi_{\text{м}},$ Вб
02	—	380	—	1,43	—	—	—	15,8	0,005
12	—	220	24	—	33,4	198	—	—	—
22	1600	—	12	—	—	770	—	31,6	—
32	—	127	—	4,72	25	—	108	—	—
42	3200	380	36	—	—	—	—	—	0,025
52	—	220	24	3,64	—	—	—	—	0,005
62	500	—	—	1,0	—	750	54	—	—
72	—	220	—	—	20,8	400	22	—	—
82	250	500	—	—	—	—	—	20,8	0,0015
92	—	—	12	3,2	—	3000	—	41,6	—
03	400	—	12	—	—	—	—	18,3	0,02
13	—	—	36	1,0	—	—	—	13,9	0,003
23	—	380	—	4,2	—	—	24,4	—	0,002
33	600	220	—	—	—	4970	—	6,12	—
43	—	—	24	—	25	573	—	—	0,001
53	—	500	—	—	13,9	—	—	13,9	0,003
63	100	—	24	—	—	—	30	15,8	—
73	—	—	24	0,5	10,4	—	—	—	0,0018
83	—	380	12	—	133	—	—	31,6	—
93	800	—	—	3,64	—	—	22	9,18	—

Таблица 25

Номер вари- анта	$P_2,$ кВт	$\cos \varphi_2$	$U_{\text{ном 2}},$ В	Номер вари- анта	$P_2,$ кВт	$\cos \varphi_2$	$U_{\text{ном 2}},$ В
04	600	0,8	380	54	140	0,95	220
14	1350	0,75	660	64	500	0,88	380
24	200	0,85	220	74	1200	0,76	660
34	420	0,9	380	84	350	0,92	220
44	800	0,82	660	94	210	0,87	380



пользуясь табл. 18. На подстанции можно установить не более двух трансформаторов одинаковой мощности с коэффициентом нагрузки 0,9—1,0; поэтому в задаче нужно вычислить коэффициент нагрузки трансформаторов.

Определить необходимое сечение кабеля от подстанции до цехового распределительного пункта, пользуясь табл. 22 допускаемых токовых нагрузок. Кабель четырехжильный, проложен в земле. В случае необходимости (при больших токах) можно проложить несколько кабелей. Данные для своего варианта принять из табл. 25.

Какие величины можно определить из опыта холостого хода трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения опыта холостого хода.

*Указание.* Полная мощность для питания цеха  $S = P_2 / \cos \varphi_2$ .

**Задача 18.** В сборочном цехе машиностроительного завода установлены трехфазные электродвигатели трех типов. Для каждого типа заданы: номинальная (полезная) мощность  $P_{\text{ном}}$ , коэффициент мощности

Т а б л и ц а 26

Величина	Вариант									
	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$P_{\text{ном 1}}$ , кВт	11	7,5	22	5,5	15	18,5	37	4	30	45
$\cos \varphi_{\text{ном 1}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{ном 1}}$	0,87	0,86	0,89	0,87	0,76	0,88	0,9	0,84	0,9	0,91
$n_1$ , шт.	15	10	14	8	10	16	2	10	5	1
$P_{\text{ном 2}}$ , кВт	7,5	30	4	15	45	11	18,5	22	37	5,5
$\cos \varphi_{\text{ном 2}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{ном 2}}$	0,86	0,9	0,84	0,76	0,91	0,87	0,88	0,89	0,9	0,87
$n_2$ , шт.	10	5	10	16	6	10	4	12	2	10
$P_{\text{ном 3}}$ , кВт	22	11	7,5	37	5,5	15	4	30	45	18,5
$\cos \varphi_{\text{ном 3}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{ном 3}}$	0,89	0,87	0,86	0,9	0,87	0,76	0,84	0,9	0,91	0,88
$n_3$ , шт.	8	10	15	6	20	10	5	5	2	4

$\cos \varphi_{\text{ном}}$  и коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{ном}}$  и количество двигателей  $n$ . Номинальное напряжение сети 380 В. Все двигатели работают в номинальном режиме. Определить необходимую мощность трансформатора для питания электродвигателей и выбрать его тип по табл. 18; могут быть установлены два трансформатора одинаковой мощности.



работающие параллельно. Определить, с каким коэффициентом нагрузки будут работать трансформаторы, и вычислить первичный и вторичный токи и коэффициент полезного действия трансформатора при этом

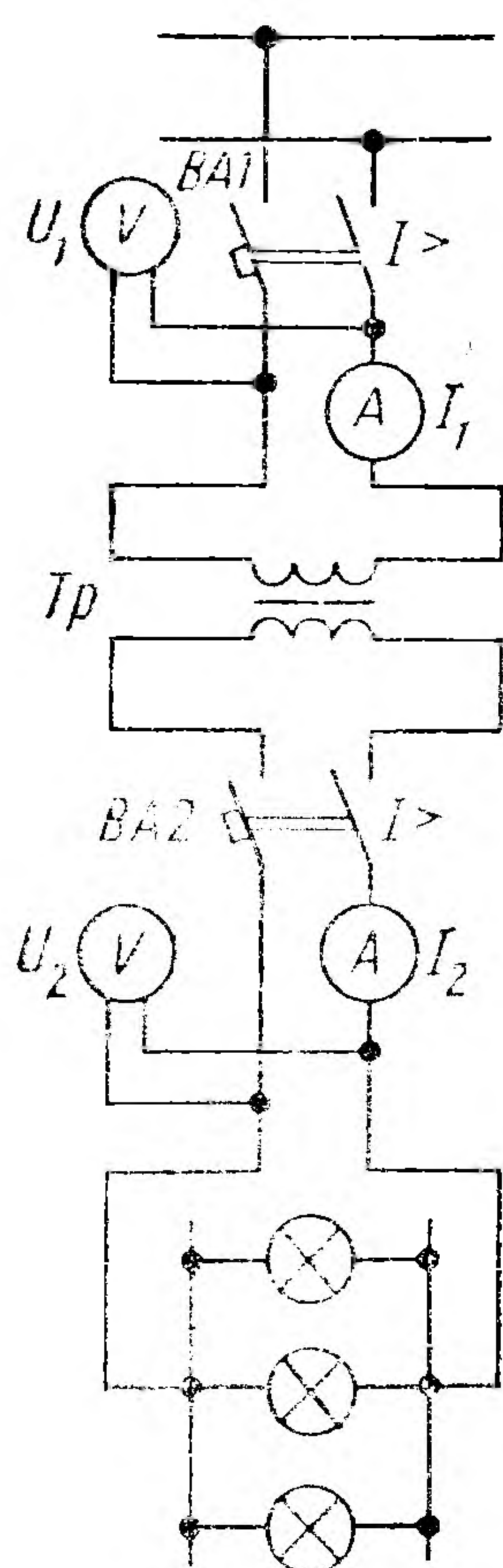


Рис. 98

коэффициенте нагрузки. Дополнительные сведения о трансформаторе взять из табл. 18. Данные для своего варианта взять из табл. 26.

Какие величины можно определить из опыта короткого замыкания трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения такого опыта.

**Указания:** 1. См. решение типового примера 11. 2. Полную мощность, потребляемую электродвигателями, определяют по формуле  $S = P_{\text{ном}} / (\cos \varphi_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}})$ . 3. При установке двух трансформаторов все расчеты ведут для одного по половинной нагрузке.

**Задача 19.** Для освещения рабочих мест в целях безопасности применили лампы накаливания пониженного напряжения (12, 24, 36 В). Для их питания установили однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$ , работающий с коэффициентом нагрузки  $k_{\text{н}}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{ном}1}$  и  $U_{\text{ном}2}$ ; рабочие токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . К трансформатору

присоединили лампы накаливания мощностью  $P_{\text{л}}$  каждая в количестве  $n_{\text{л}}$ . Коэффициент мощности ламп  $\cos \varphi_2 = 1,0$ . Схема присоединения ламп к трансформатору приведена на рис. 98. Потери в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные для своего варианта, указанные в табл. 27, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице.

Каковы особенности внешней характеристики сварочного трансформатора? Каким образом получают такую характеристику?

**Указания:** 1. См. решение типового примера 12. 2. Для ламп накаливания  $\cos \varphi_2 = 1,0$ , поэтому коэффициент нагрузки

$$k_{\text{н}} = P_{\text{л}} n_{\text{л}} / S_{\text{ном}}$$

**Задача 20.** Аппаратный цех электротехнического завода потребляет активную мощность  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2$ . Для питания потребителей цеха на подстанции установили трехфазные трансформаторы с первичным напряжением  $U_{\text{ном}1}$ . Однако энергосистема, ограничив потребление реактивной мощности до  $Q_3$ , называемой оптимальной, потребовала установить на низшем напряжении подстанции 380 В конденсаторы. Определить: 1) необходимую мощность конденсаторной батареи  $Q_6$  и выбрать ее тип, пользуясь табл. 19; 2) номинальную мощ-

Таблица 27

Номер вари- анта	$S_{\text{ном}},$ кВ·А	$k_H$	$U_{\text{ном 1}},$ В	$U_{\text{ном 2}},$ В	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$K$	$P_2,$ Вт	$n_{\Sigma},$ шт.
05	250	—	—	12	—	—	31,7	25	8
15	—	0,75	500	—	0,75	15,6	—	—	15
25	—	0,9	—	24	1,63	15	—	60	—
35	400	0,8	220	24	—	—	—	40	—
45	250	—	—	—	0,91	16,7	—	100	2
55	—	0,8	127	—	3,15	—	10,6	—	10
65	—	0,9	—	12	—	7,5	10,6	15	—
75	400	—	500	36	0,6	—	—	—	5
85	500	—	127	12	—	33,3	—	40	—
95	—	0,8	380	—	—	18,7	—	40	5
07	500	—	—	36	1,12	—	10,6	25	—
17	—	0,8	220	—	—	—	18,35	100	2
27	—	1,0	—	36	0,8	11,1	—	—	4
37	100	—	127	—	0,71	—	10,6	—	6
47	400	—	500	36	—	—	—	100	4
57	—	0,75	—	36	—	8,34	13,9	60	—
67	500	0,85	380	—	—	11,8	—	—	17
77	—	0,9	220	—	—	—	9,18	60	6
87	500	—	—	24	0,75	—	20,8	25	—
97	—	—	—	24	1,45	13,35	—	40	8

Таблица 28

Номер вари- анта	$P_2,$ кВт	$\cos \varphi_2$	$Q_2,$ квар	$U_{\text{ном 1}},$ кВ	Номер вари- анта	$P_2,$ кВт	$\cos \varphi_2$	$Q_2,$ квар	$U_{\text{ном 1}},$ кВ
08	1400	0,75	350	10	09	1500	0,77	330	10
18	370	0,8	110	6	19	700	0,75	200	6
28	600	0,85	150	10	29	2000	0,65	1100	10
38	1000	0,8	220	10	39	900	0,75	200	10
48	220	0,75	80	6	49	290	0,8	110	6
58	2300	0,8	700	10	59	550	0,88	150	6
68	1700	0,7	350	10	69	180	0,75	50	6
78	750	0,8	225	6	79	860	0,7	280	10
88	160	0,65	50	6	89	1500	0,8	400	10
98	1150	0,75	350	10	99	300	0,75	110	10



ность трансформатора на подстанции в двух случаях: а) до установки батарей, б) после установки батарей. На основании табл. 18 выбрать тип трансформатора; 3) в обоих случаях определить коэффициент полезного действия трансформатора с учетом фактической нагрузки. Сделать заключение о целесообразности компенсации реактивной мощности потребителей цеха. Данные для своего варианта взять из табл. 28.

Указания: 1. См. решение типового примера 13. 2. На подстанции возможна установка одного трансформатора или двух одинаковой мощности. 3. При выборе трансформаторов необходимо обеспечить их коэффициент нагрузки  $k_n$ , равным 0,9—1,0. 4. Первичное напряжение  $U_{ном1}$  задано для выбора типа трансформатора.

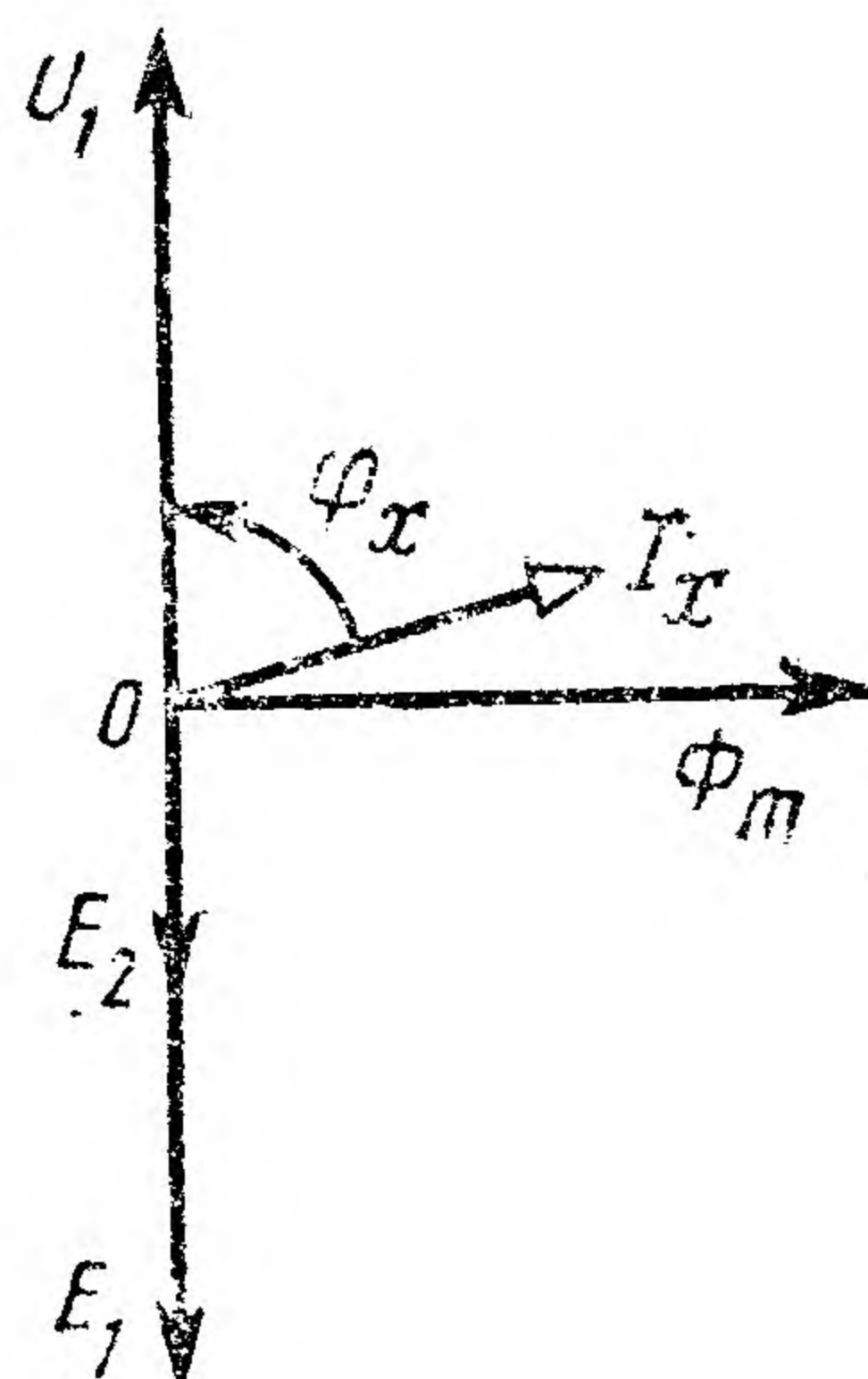


Рис. 99

**Задача 21.** На рис. 99 показана векторная диаграмма однофазного трансформатора при холостом ходе. На основании данных диаграммы, приведенных в табл. 29 вариантов, определить: 1) коэффициент трансформации  $K$ ; 2) потери в стали  $P_{ст}$ , пренебрегая потерями на нагревание первичной обмотки; 3) числа витков обеих обмоток при частоте тока питающей сети  $f=50$  Гц. Приняв ток холостого хода составляющим 5% от номинального первичного тока, найти номинальные токи в обмотках  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$  и номинальную мощность трансформатора  $S_{ном}$ .

Почему основной магнитный поток в магнитопроводе трансформатора остается неизменным при любой нагрузке? Выполнение какого условия необходимо для соблюдения такого постоянства потока?

Указания: 1. Потери в стали практически равны потерям холостого хода:  $P_{ст} = U_1 I_x \cos \varphi_x$ . 2. Числа витков обмоток определяют из формул

Таблица 29

Номер варианта	$U_1$ , В	$I_x$ , А	$E_2$ , В	$\Phi_m$ , Вб	$\varphi_x^\circ$	Номер варианта	$U_1$ , В	$I_x$ , А	$E_2$ , В	$\Phi_m$ , Вб	$\varphi_x^\circ$
10	500	0,15	36	0,002	85	60	500	0,12	24	0,0016	83
20	380	0,2	220	0,0015	80	70	380	0,25	127	0,0025	84
30	220	0,5	500	0,008	86	80	220	0,3	380	0,002	77
40	127	0,1	12	0,0012	78	90	127	0,16	24	0,001	75
50	660	0,18	24	0,0018	75	00	660	0,22	36	0,002	82

для  $E_1$  и  $E_2$ , причем при холостом ходе  $E_1 \approx U_1$ ,  $E_2 = U_{\text{ном } 2}$ . 3. Номинальная мощность трансформатора  $S_{\text{ном}} = U_{\text{ном } 2} I_{\text{ном } 2}$ , где  $I_{\text{ном } 2} = K I_{\text{ном } 1}$ .

**Задача 22.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором установлен для привода ленточного конвейера. Двигатель потребляет из сети мощность  $P_1$  при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}}$  и номинальном токе  $I_{\text{ном}}$ . Полезная мощность на валу равна  $P_{\text{ном } 2}$ . Коэффициент полезного действия двигателя  $\eta_{\text{ном}}$ . Суммарные потери мощности в двигателе равны  $\Sigma P$ . Коэффициент мощности двигателя составляет  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ . Двигатель развивает на валу полезный момент  $M_{\text{ном}}$  при частоте вращения ротора  $n_{\text{ном } 2}$ . При этом двигатель работает со скольжением  $s_{\text{ном}}$ . Частота вращения поля статора равна  $n_1$ . Частота тока во вращающемся роторе  $f_{2s}$ ; частота тока в сети  $f_1 = 50$  Гц.

Используя данные, приведенные в табл. 30, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Как изменится при увеличении нагрузки на валу двигателя частота вращения ротора  $n_2$ , частота тока в роторе  $f_{2s}$  и значение тока, потребляемого двигателем из сети? Приведите соответствующие пояснения.

*Указание.* См. решение типового примера 15.

Т а б л и ц а 30

Величина	Варианты									
	01	11	21	31	41	51	61	71	81	91
$P_1$ , кВт	—	22,6	—	—	—	20,4	5,18	5,36	—	11,36
$U_{\text{ном}}$ , В	380	380	220	220	380	—	220	220	380	380
$I_{\text{ном}}$ , А	12,5	—	16	—	—	38,8	—	17,6	—	22,1
$P_{\text{ном } 2}$ , кВт	5,3	—	—	4,5	10	—	1,45	—	17,34	—
$\eta_{\text{ном}}$	0,78	—	—	0,84	0,88	0,85	—	—	—	—
$\Sigma P$ , кВт	—	2,6	—	—	—	—	—	0,86	3,08	1,36
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,81	0,85	0,85	0,8	0,89	0,8	0,85	—	0,8	—
$M_{\text{ном}}$ , Н·м	—	—	20,5	—	—	—	—	45,2	226,8	—
$n_{\text{ном } 2}$ , об/мин	2950	—	1440	950	—	730	—	—	—	950
$s_{\text{ном}}$ , %	—	—	4,0	—	2,0	2,67	—	—	—	—
$n_1$ , об/мин	—	3000	—	1000	1500	—	1500	—	750	—
$f_{2s}$ , Гц	—	1,3	—	—	—	—	2,0	2,5	—	2,5

**Задача 23.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, работая в номинальном режиме приводит во вращение центробежный вентилятор. Двигатель потребляет из сети мощность  $P_1$  при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}}$  и номинальном токе  $I_{\text{ном}}$ . Полезная номинальная мощность на валу  $P_{\text{ном } 2}$ . Суммарные потери в двигателе равны  $\Sigma P$ ; его к.п.д.  $\eta_{\text{ном}}$ . Коэффициент мощности двига-



теля равен  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ . Двигатель развивает на валу вращающий момент  $M_{\text{ном}}$  при частоте вращения ротора  $n_{\text{ном}2}$ . Максимальный и пусковой моменты двигателя соответственно равны  $M_{\text{мах}}$  и  $M_{\text{п}}$ ; способность двигателя к перегрузке  $M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$ , кратность пускового момента  $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$ . Синхронная частота вращения магнитного поля статора равна  $n_1$ ; скольжение ротора при номинальной нагрузке  $s_{\text{ном}}$ . Частота тока в сети  $f_1 = 50$  Гц. Используя данные, приведенные в табл. 31, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Какими способами осуществляется пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором?

Указание. См. решение типового примера 15.

Т а б л и ц а 31

Величины	Варианты									
	02	12	22	32	42	52	62	72	82	92
$P_1$ , кВт	—	—	59	4,76	—	—	33	—	—	12,5
$U_{\text{ном}}$ , В	380	660	380	220	660	—	—	380	220	—
$I_{\text{ном}}$ , А	—	—	—	—	32	7,44	32,1	99,7	—	21,1
$P_{\text{ном}2}$ , кВт	11	5,5	—	4	30	—	—	55	—	—
$\sum P$ , кВт	—	—	—	—	—	1,3	3	4	0,76	1,5
$\eta_{\text{ном}}$	0,88	0,81	0,93	—	0,91	0,81	—	—	0,84	—
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,9	0,8	0,9	0,84	—	0,8	0,9	—	0,84	0,9
$M_{\text{ном}}$ , Н·м	—	—	357,3	26,8	—	54,7	—	—	—	—
$n_{\text{ном}2}$ , об/мин	—	960	—	—	980	—	—	1470	1425	2900
$M_{\text{мах}}$ , Н·м	—	120,3	—	—	—	—	584,6	786	59	79,6
$M_{\text{п}}$ , Н·м	—	—	123,8	—	350,8	109,4	—	—	59	57,9
$M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$	2,2	—	2,2	2,2	2	2,2	2	—	—	—
$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	1,6	2	—	2,2	—	—	1,2	1,2	—	—
$n_1$ , об/мин	3000	—	1500	—	—	1000	1000	—	1500	3000
$s_{\text{ном}}$ , %	3,3	4	—	5	2	—	—	2	—	—

**Задача 24.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором характеризуется следующими величинами: числа витков обмоток статора и ротора соответственно равны  $w_1$  и  $w_2$ ; обмоточные коэффициенты обмоток статора и ротора  $k_{o1}$  и  $k_{o2}$ ; амплитуда вращающегося магнитного потока  $\Phi_m$ . В каждой фазе обмоток статора и неподвижного ротора наводятся э.д.с.  $E_1$  и  $E_2$ . Число пар полюсов обмотки статора равно  $p$ . При вращении ротора со скольжением  $s$  в фазе обмотки ротора наводится э.д.с.  $E_{2s}$ . Синхронная частота вращения поля равна  $n_1$ ; частота вращения ротора  $n_2$ . Частота тока в роторе  $f_{2s}$ , в сети

$f_1 = 50$  Гц. Используя данные, приведенные в табл. 32, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Пояснить влияние активного сопротивления цепи ротора на значение пускового тока и пускового момента. Начертить зависимость  $M=f(s)$  для двух значений сопротивления цепи ротора:  $R_1$  и  $R_2$ , причем  $R_1 > R_2$ .

Указание. См. решение типового примера 16.

Т а б л и ц а 32

Величины	Варианты									
	03	13	23	33	43	53	63	73	83	93
$\omega_1$	48	100	—	—	50	180	—	145	60	—
$\omega_2$	—	70	45	13	—	60	36	—	30	60
$k_{01}$	0,96	0,96	0,94	0,96	0,97	0,96	0,93	0,95	0,97	0,96
$k_{02}$	0,97	0,96	0,95	0,97	0,98	0,96	0,95	0,97	0,95	0,96
$\Phi_m$ , Вб	0,035	—	0,05	—	0,02	0,0055	—	0,006	—	—
$E_1$ , В	—	200	1000	360	—	—	110	—	130	211
$E_2$ , В	—	—	—	100	—	—	50	200	—	—
$p$	—	—	1	3	—	—	—	—	6	—
$s$ , %	—	8	—	4	—	—	3	—	—	3
$E_{2s}$ , В	4	—	—	—	5	—	—	8	—	2,1
$n_1$ , об/мин	1000	—	—	—	1000	1500	—	—	—	—
$n_2$ , об/мин	900	920	—	—	950	—	970	1440	—	1445
$f_{2s}$ , Гц	—	—	2,5	—	—	1,5	—	—	5	—

**Задача 25.** В табл. 33 задан тип трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором серии 4А. Номинальное напряжение двигателя 380 В. Используя данные о двигателях этой серии из табл. 20, определить: 1) номинальную мощность  $P_{ном}$ ; 2) синхронную частоту вращения  $n_1$  и частоту вращения ротора  $n_{ном}$ ; 3) номинальное скольжение  $s$ .

Т а б л и ц а 33

Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя
04	4А100Е4У3	44	4А132М2СУ2	84	4А250М8У3
14	4А250М4У3	54	4А90Л4У3	94	4АН250М8У3
24	4А100Л2У3	64	4А100Л6У3	—	—
34	4АР180М6У3	74	4АР160М4У3	—	—



жение  $s_{\text{ном}}$ ; 4) номинальный ток  $I_{\text{ном}}$ ; 5) пусковой ток  $I_{\text{п}}$ ; 6) мощность  $P_1$ , потребляемую из сети; 7) суммарные потери в двигателе  $\Sigma P$ . Расшифровать условное обозначение двигателя.

Какие процессы происходят в асинхронном электродвигателе при увеличении его нагрузки на валу? Почему при этом возрастает потребляемый двигателем ток?

Указание См. решение типовых примеров 14, 15.

**Задача 26.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие номинальные характеристики: мощность  $P_{\text{ном 2}}$ ; напряжение  $U_{\text{ном}}$ ; ток статора  $I_{\text{ном}}$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{ном}}$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ . Частота вращения ротора равна  $n_{\text{ном 2}}$  при скольжении  $s_{\text{ном}}$ . Синхронная частота вращения  $n_1$ . Обмотка статора выполнена на  $p$  пар полюсов. Частота тока в сети  $f_1$ , частота тока в роторе  $f_{2s}$ . Двигатель развивает номинальный момент  $M_{\text{ном}}$ .

Используя данные, приведенные в табл. 34, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения и рассмотреть его работу в устойчивой и неустойчивой областях при увеличении нагрузки на валу.

Указание. См. решение типового примера 15.

Т а б л и ц а 34

Величины	Варианты									
	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$P_{\text{ном 2}}$ , кВт	—	4,5	—	100	—	18	—	20	—	5
$U_{\text{ном}}$ , В	380	220	—	—	380	660	380	220	220	380
$I_{\text{ном}}$ , А	—	—	10	114	30	21	—	70	8	—
$\eta_{\text{ном}}$	0,85	0,86	0,85	0,91	0,88	—	0,89	0,9	0,89	0,86
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,83	0,82	0,83	0,85	0,85	0,84	0,85	—	0,85	0,8
$n_{\text{ном 2}}$ , об/мин	—	—	—	980	1450	950	—	2850	—	—
$s_{\text{ном}}$ , %	—	5	2	—	—	—	2,5	5	—	—
$n_1$ , об/мин	—	—	—	1000	—	1000	3000	—	750	1500
$p$	3	1	4	—	2	—	—	1	—	—
$f_1$ , Гц	50	100	50	—	50	50	—	—	100	50
$f_{2s}$ , Гц	2,5	—	—	1	—	—	2,5	—	4	2
$M_{\text{ном}}$ , Н·м	120	—	60	—	—	—	250	—	—	—

**Задача 27.** В трехфазном асинхронном электродвигателе с фазным ротором в каждой фазе ротора наводятся в момент пуска э.д.с.  $E_2$

и э.д.с  $E_{2s}$  при вращении ротора со скольжением  $s$ . Активное сопротивление фазы ротора  $R_2$  не зависит от частоты. Индуктивное сопротивление фазы неподвижного ротора равно  $x_2$ , а вращающегося со скольжением  $s$  равно  $x_{2s}$ . Частота тока во вращающемся роторе  $f_{2s}$ , в сети —  $f_1 = 50$  Гц. Число пар полюсов двигателя равно  $p$ . Синхронная частота вращения магнитного поля равна  $n_1$ , ротора —  $n_2$ . В фазе обмотки ротора при пуске возникает пусковой ток  $I_{2п}$ ; ток в роторе при нормальной работе равен  $I_2$ . Используя данные, приведенные в табл. 35, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Нарисовать энергетическую диаграмму асинхронного двигателя и пояснить ее особенности. Какую мощность называют электромагнитной?

Указание. См. решение типового примера 16.

Таблица 35

Величины	Варианты									
	06	16	26	36	46	56	66	76	86	96
$E_2$ , В	120	—	—	250	—	750	125	150	—	—
$E_{2s}$ , В	—	6	—	—	5	—	—	—	10	3,6
$s$ , %	3	—	2	4	—	—	4	4	—	—
$R_2$ , Ом	0,15	—	0,3	—	0,6	—	—	0,5	0,25	—
$x_2$ , Ом	0,5	1,5	—	0,5	—	2	2,5	—	—	—
$x_{2s}$ , Ом	—	—	0,04	—	0,1	—	—	0,06	0,02	0,015
$f_{2s}$ , Гц	—	—	—	—	2	1	—	—	—	1,5
$p$	—	—	4	2	—	—	1	4	—	3
$n_1$ , об/мин	1000	750	—	—	—	—	—	—	1500	—
$n_2$ , об/мин	—	720	—	—	2880	735	—	—	1440	—
$I_{2п}$ , А	—	95	—	449	—	371	—	—	—	231
$I_2$ , А	—	—	50	—	—	—	8,22	—	—	—

**Задача 28.** На рис. 100 приведены рабочие характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя, т. е. графики зависимостей от коэффициента нагрузки  $k_H = P_2/P_{ном2}$  частоты вращения ротора  $n_2$ , полезного момента  $M$ , коэффициента полезного действия  $\eta$  и коэффициента мощности  $\cos \varphi$ . Пользуясь характеристиками, определить для заданного в табл. 36 значения коэффициента нагрузки  $k_H$  следующие величины: 1) полезный момент  $M$ , развиваемый двигателем на валу; 2) частоту вращения ротора  $n_2$ ; 3) коэффициент полезного действия  $\eta$ ; 4) коэффициент мощности  $\cos \varphi$ . Вычислить при заданной нагрузке: 1) полезную мощность (на валу)  $P_2$ ; 2) потребляемые из сети мощность  $P_1$  и ток  $I_1$ ; 3) суммарные потери в двигателе  $\Sigma P$ ; 4) скольжение  $s$ .



Определить номинальную мощность  $P_{\text{ном}2}$ , т. е. полезную мощность при  $k_{\text{н}}=1,0$ , номинальное скольжение  $s_{\text{ном}}$ .

Почему при определении к.п.д. асинхронного двигателя не учитывают потери в стали ротора? Можно ли пренебречь этими потерями, если двигатель работает в режиме частых пусков?

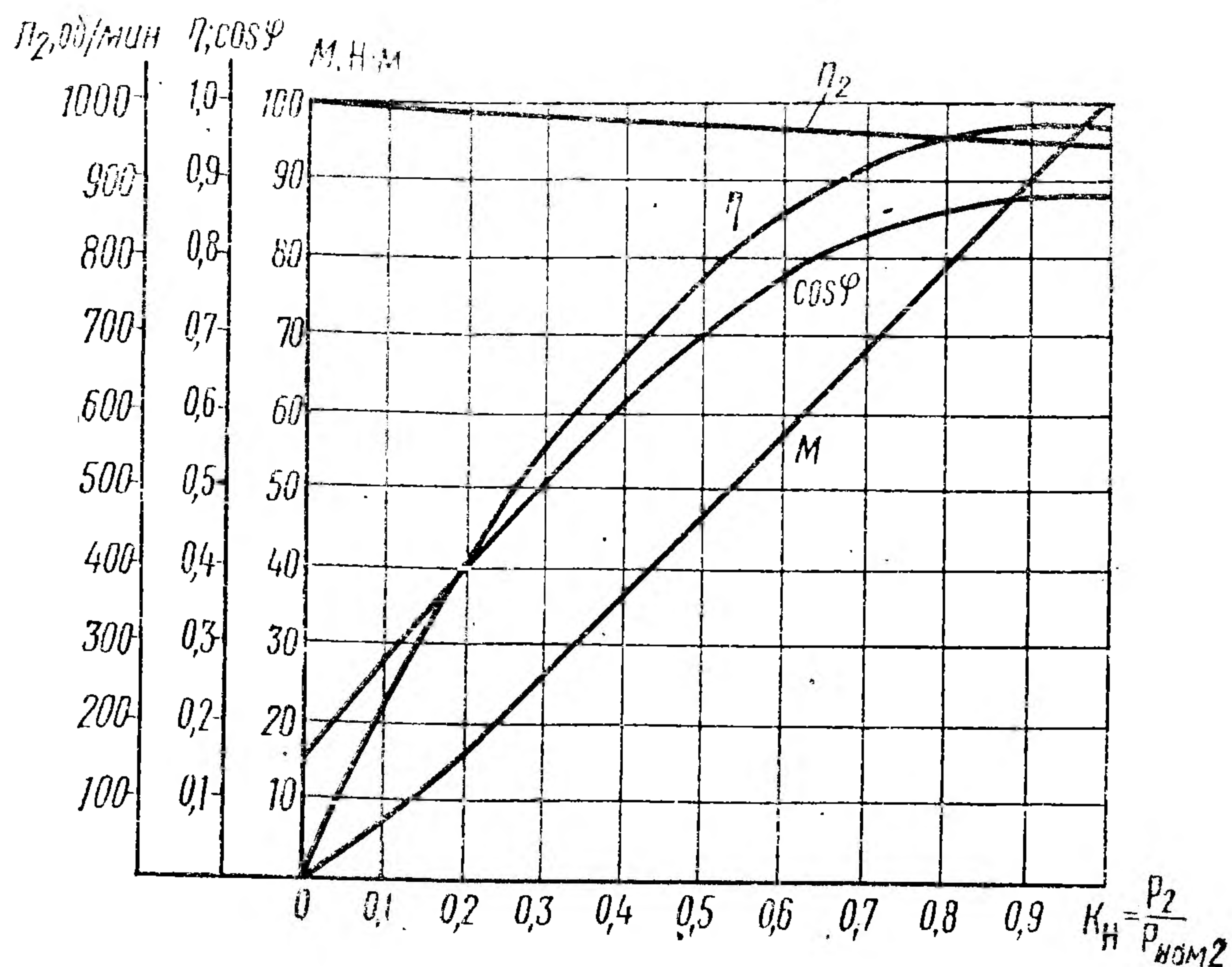


Рис. 100

**Указания:** 1. Полезную мощность при заданной нагрузке можно определить из формулы вращающего момента, зная значение момента  $M$  и частоту вращения ротора  $n_2$ . Таким же образом вычисляют номинальную мощность, но значения  $M$  и  $n_2$  берут при  $k_{\text{н}}=1,0$ . 2. Потребляемую мощность  $P_1$  вычисляют из формулы для к.п.д. двигателя. 3. Для определения номинального скольжения из рабочих характеристик находят частоту вращения ротора  $n_2$  при  $k_{\text{н}}=1,0$ .

Таблица 36

Номер варианта	$k_{\text{н}}$	Номер варианта	$k_{\text{н}}$	Номер варианта	$k_{\text{н}}$
07	0,5	47	0,85	87	0,65
17	0,8	57	0,75	97	0,7
27	0,9	67	0,55	—	—
37	0,6	77	0,4	—	—

**Задача 29.** Для трехфазного асинхронного электродвигателя в табл. 37 даны следующие величины при номинальной нагрузке: суммарные потери мощности в двигателе  $\Sigma P$ ; коэффициент полезного действия

$n_{\text{ном}}$ ; синхронная частота вращения поля  $n_1$  и частота тока в роторе  $f_{2s}$ . Частота тока в сети равна  $f_1=50$  Гц. Определить: 1) потребляемую  $P_1$  и номинальную полезную  $P_{\text{ном}2}$  мощности; 2) скольжение  $s_{\text{ном}}$ ; 3) частоту вращения ротора  $n_{\text{ном}2}$ ; 4) число пар полюсов двигателя  $p$ ; 5) полезный вращающий момент  $M_{\text{ном}}$ . Пользуясь табл. 20, указать тип двигателя и расшифровать его условное обозначение.

Как изменяются в роторе асинхронного двигателя частота тока  $f_{2s}$ , индуктивное сопротивление  $x_{2s}$ , э.д.с.  $E_{2s}$  и ток  $I_2$  при увеличении нагрузки на валу? Приведите соответствующие формулы, пояснения и т. д.

Указания: 1. Номинальную полезную мощность находят из формулы для к.п.д.:  $\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}2} / (P_{\text{ном}2} + \Sigma P)$  2. Потребляемая мощность  $P_1 = P_{\text{ном}2} + \Sigma P$ . 3. См. решение типового примера 15.

Таблица 37

Номер вари- анта	$\Sigma P,$ кВт	$\eta_{\text{ном}}$	$n_1,$ об/мин	$f_{2s},$ Гц	Номер вари- анта	$\Sigma P,$ кВт	$\eta_{\text{ном}}$	$n_1,$ об/мин	$f_{2s},$ Гц
08	0,65	0,86	3000	2	58	0,76	0,84	1500	2,5
18	1,5	0,88	3000	1,67	68	2,14	0,875	1000	1,25
28	1,64	0,87	1500	1,67	78	1,22	0,86	750	1,33
38	3,33	0,9	1500	1,33	88	4,78	0,92	1000	0,75
48	4,11	0,9	750	0,67	98	2,4	0,885	1500	1,17

Задача 30. В табл. 38 задан тип трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором серии 4А. Номинальное напряжение двигателя 380 В. Используя данные о двигателях этой серии, приведенные в табл. 20, определить: 1) номинальную мощность  $P_{\text{ном}2}$ ; 2) синхронную частоту вращения поля  $n_1$  и частоту вращения ротора  $n_{\text{ном}2}$ ; 3) номинальное скольжение  $s_{\text{ном}}$ ; 4) номинальный ток  $I_{\text{ном}}$ ; 5) пусковой ток  $I_{\text{п}}$ ; 6) мощность  $P_1$ , потребляемую из сети; 7) номинальный  $M_{\text{ном}}$ , пусковой  $M_{\text{п}}$  и максимальный  $M_{\text{max}}$  моменты. Расшифровать

Таблица 38

Номер вари- анта	Тип двигателя	Номер вари- анта	Тип двигателя	Номер вари- анта	Тип двигателя
09	4A160S8/4Y3	49	4A90L4Y3	89	4AH250M8Y3
19	4A112M2CY3	59	4AH250M6Y3	99	4A160M8/4Y3
29	4AP180S4Y3	69	4A180S4/2Y3	—	—
39	4A160S4/2Y3	79	4A250M4Y3	—	—

Величины	Варианты									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	00
$P_{\text{ном 2}}, \text{ кВт}$	11	30	37	15	5,5	15	7,5	18,5	45	2,2
$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	380	660	380	380	660	380	660	380	660	380
$n_{\text{ном 2}}, \text{ об/мин}$	2900	1460	740	975	2880	1465	730	970	740	1400
$\eta_{\text{ном}}$	0,88	0,9	0,9	0,875	0,87	0,865	0,86	0,87	0,91	0,8
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,9	0,87	0,83	0,83	0,91	0,83	0,75	0,8	0,84	0,83
$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	7,5	7,5	6	7	7,5	7,5	6,5	6,5	6	6
$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	2,2	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,7	2,2
$M_{\text{в}}/M_{\text{ном}}$	1,6	2	1,2	2	2	2	1,8	2	1,2	2
Тип провод- ника	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель
Способ про- кладки провод- ника	В трубе	Открыто	В трубе	В земле	Открыто	Открыто	В трубе	В земле	Открыто	Открыто



вать условное обозначение двигателя. Для двухскоростных двигателей эти величины определить для каждой частоты вращения ротора. Пояснить принцип действия асинхронного двигателя. Почему такой двигатель называют асинхронным?

*Указание.* См. решение типовых примеров 14, 15.

**Задача 31.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором имеет технические данные, приведенные в табл. 39. Пользуясь ими, определить следующие величины: 1) номинальный  $I_{ном}$  и пусковой  $I_{п}$  токи; 2) номинальный  $M_{ном}$ , максимальный  $M_{max}$  и пусковой  $M_{п}$  моменты при номинальном напряжении; 3) кратность пускового тока  $I_{п}/I_{ном}$ , кратность пускового момента  $M_{п}/M_{ном}$  и способность к перегрузке  $M_{max}/M_{ном}$  при снижении напряжения в сети на 10%. Возможен ли в этом случае пуск двигателя при полной нагрузке? Пользуясь данными табл. 21, определить сечение алюминиевых проводников для питания электродвигателя. Тип проводника и способ его прокладки указаны в табл. 39.

В таблице вариантов заданы: номинальная мощность  $P_{ном 2}$ ; номинальное напряжение  $U_{ном}$ ; частота вращения ротора  $n_{ном 2}$ ; к. п. д. двигателя  $\eta_{ном}$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{ном}$ ; кратность пускового тока  $I_{п}/I_{ном}$ ; способность к перегрузке  $M_{max}/M_{ном}$ ; кратность пускового момента  $M_{п}/M_{ном}$ .

Какой вид имеет векторная диаграмма асинхронного двигателя? Пояснить с помощью векторной диаграммы, почему мал пусковой момент асинхронного двигателя, несмотря на большой пусковой ток.

*Указание.* См. решение типового примера 15.

**Задача 32.** Генератор постоянного тока с независимым возбуждением используется для питания цепей автоматики станка с программным управлением, которые требуют постоянного напряжения. Генератор работает в номинальном режиме и отдает полезную мощность  $P_{ном 2}$  при напряжении на зажимах  $U_{ном}$ , развивая э. д. с.  $E$ . Мощность первичного двигателя, вращающего генератор, равна  $P_1$ . Генератор отдает во внешнюю цепь ток нагрузки, равный току якоря  $I_{ном} = I_a$ ; ток в обмотке возбуждения  $I_B$ . Сопротивление нагрузки равно  $R_H$ . Сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_B$ . Напряжение на обмотке возбуждения  $U_B$ . К. п. д. генератора равен  $\eta_{ном}$ . Электрические потери в обмотке якоря  $P_a$ , в обмотке возбуждения  $P_B$ . Суммарные потери в генераторе равны  $\sum P$ . Схема генератора приведена на рис. 83. Используя данные, приведенные в табл. 40, определить величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Пояснить сущность реакции якоря в генераторе, ее последствия и способы ограничения.

*Указание.* См. решение типового примера 17.

**Задача 33.** Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением потребляет из сети мощность  $P_1$  и развивает на валу но-



Величины	Варианты									
	01	11	21	31	41	51	61	71	81	91
$P_{ном2}, \text{ кВт}$	32	—	230	—	—	—	—	110	19	99
$U_{ном}, \text{ В}$	230	460	—	230	230	230	230	—	115	—
$E, \text{ В}$	—	—	243	—	233,6	—	—	—	—	—
$P_1, \text{ кВт}$	—	110	—	40	—	—	—	—	23	—
$I_{ном}, \text{ А}$	—	—	—	—	139	826	1000	478	—	—
$R_{я}, \text{ Ом}$	—	—	0,23	—	—	—	—	—	—	2,14
$R_{в}, \text{ Ом}$	0,026	0,054	—	0,07	—	0,006	0,013	—	0,13	—
$R_{в}, \text{ Ом}$	46	—	—	100	—	18,5	11,5	44,5	110	46
$U_{в}, \text{ В}$	115	230	115	—	115	230	115	230	—	230
$\eta_{ном}$	0,87	0,9	—	—	—	—	0,9	0,9	—	—
$P_{а}, \text{ Вт}$	—	—	—	—	—	—	—	1140	—	2500
$P_{в}, \text{ Вт}$	—	1150	1150	132	287	—	—	—	110	—
$\sum P, \text{ кВт}$	—	—	24	5	4,8	15	—	—	—	11
$I_{в}, \text{ А}$	—	1,15	1	2,3	1,15	—	—	—	1	—

минальную мощность  $P_{ном2}$  при напряжении  $U_{ном}$  и токе  $I_{ном}$ . Ток в обмотке якоря  $I_a$ , в обмотке возбуждения  $I_b$ . Номинальный вращающий момент двигателя  $M_{ном}$  при частоте вращения якоря  $n_{ном}$ . В якоре наводится противо-э. д. с.  $E$ . Сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ . Суммарные потери мощности в двигателе  $\sum P$ . К. п. д. двигателя равен  $\eta_{дв}$ . Используя данные двигателя, приведенные в табл. 41, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Схема двигателя приведена на рис. 90. Начертить схему присоединения двигателя к сети и описать назначение всех ее элементов. Пояснить процесс наведения противо-э. д. с. в якоре и ее роль при пуске двигателя.

*Указание.* См. решение типового примера 19.

**Задача 34.** Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением отдает полезную мощность  $P_2$  при номинальном напряжении  $U_{ном}$ . Сила тока в нагрузке равна  $I_H$ , ток в цепи якоря  $I_a$ , в обмотке возбуждения  $I_b$ . Сопротивление цепи якоря равно  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ . Генератор развивает э. д. с.  $E$ . Электромагнитная мощность равна  $P_{эм}$ . Мощность, затрачиваемая на вращение генератора, равна  $P_1$ . Суммарные потери мощности в генераторе составляют  $\sum P$  при коэффициенте полезного действия  $\eta_r$ . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения соответственно равны  $P_a$  и  $P_b$ . Схема генератора дана на

Величины	Варианты									
	02	12	22	32	42	52	62	72	82	92
$P_1$ , кВт	22	—	3,8	—	—	—	3,9	39,8	—	—
$P_{ном2}$ , кВт	—	—	3,2	20	—	18	—	35	20	—
$U_{ном}$ , В	—	—	110	—	110	440	—	—	220	—
$I_{ном}$ , А	50	—	—	100	36,4	—	—	90,5	—	34,5
$I_a$ , А	—	86,5	—	—	35,4	—	35,4	—	—	—
$I_B$ , А	—	4	—	10	—	5,5	1	—	—	1
$M_{ном}$ , Н·м	—	231	—	—	19,1	180	—	—	119	30,6
$n_{ном}$ , об/мин	955	—	1000	1600	—	—	1600	1450	—	—
$E$ , В	—	—	—	210	100	437,8	—	432	—	103,1
$R_a$ , Ом	0,05	0,093	0,2	—	—	—	0,282	—	0,111	—
$R_B$ , Ом	80	110	110	—	—	—	—	110	22	—
$\sum P$ , кВт	4	—	—	2	—	—	0,7	—	—	0,6
$\eta_{кв}$	—	0,88	—	—	0,82	0,82	—	—	0,91	0,843

Таблица 42

Величины	Варианты									
	03	13	23	33	43	53	63	73	83	93
$P_2$ , кВт	—	20,65	2	11,8	—	—	—	—	—	21,56
$U_{ном}$ , В	220	—	—	—	220	115	430	—	—	220
$I_{но}$ , А	98	48	—	102,6	—	—	—	17,4	—	—
$I_B$ , А	—	—	2,9	—	—	—	—	—	2	—
$I_a$ , А	—	—	—	—	100	—	50	20,3	—	—
$R_a$ , Ом	0,15	0,2	—	—	—	0,07	—	0,25	—	—
$R_B$ , Ом	110	—	—	—	110	18,9	215	—	—	—
$E$ , В	—	440	120	—	235	122,6	—	—	—	—
$P_{эм}$ , кВт	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—
$P_1$ , кВт	—	—	2,55	14	25,36	—	—	—	23,45	—
$\sum P$ , кВт	—	2,8	—	—	—	2,2	—	0,55	2,8	—
$\eta_{кв}$	0,85	—	—	—	—	—	0,88	0,78	—	0,85
$P_a$ , Вт	—	—	—	825	—	—	—	—	500	1500
$P_B$ , Вт	—	—	—	690	—	—	—	—	860	440



Таблица -

Величины	Варианты									
	04	14	24	34	44	54	64	74	84	
$P_{\text{ном } 2}, \text{ кВт}$	22	—	11	30	12	—	—	—	30	8
$M_{\text{ном}}, \text{ Н·м}$	—	28,65	—	191	—	213	200	78,4	—	—
$n_{\text{ном}}, \text{ об/мин}$	985	—	1340	—	750	—	1433	—	1433	12
$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	113,6	—	—	79,5	—	—	158	55,8	—	15
$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	—	220	220	—	220	220	—	—	220	—
$I_a, \text{ А}$	—	18	—	—	—	108	—	55,7	150	—
$I_B, \text{ А}$	5,6	—	1,1	2,5	1,5	—	9	—	—	0,5
$P_1, \text{ кВт}$	25	4,14	12,5	35	—	—	34,9	—	—	—
$\sum P, \text{ кВт}$	—	—	—	—	—	3	—	1,5	4,9	0,54
$\eta_{\text{дв}}$	—	0,87	—	—	0,8	0,88	—	0,88	—	—

рис. 89. Используя данные о генераторе, приведенные в табл. 42, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Какие три причины снижают напряжение на зажимах генератора с параллельным возбуждением при увеличении его нагрузки? Какой вид имеет его внешняя характеристика?

*Указание.* См. решение типового примера 18.

**Задача 35.** Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, работая в номинальном режиме, отдает полезную мощность на валу  $P_{\text{ном } 2}$ , развивая при этом номинальный момент  $M_{\text{ном}}$  при частоте вращения  $n_{\text{ном}}$ . Двигатель потребляет из сети номинальный ток  $I_{\text{ном}}$  при напряжении  $U_{\text{ном}}$ . Ток в обмотке якоря  $I_a$ , в обмотке возбуждения  $I_B$ . Потребляемая из сети мощность равна  $P_1$ . Суммарные потери мощности в двигателе составляют  $\sum P$ , его коэффициент полезного

Таблица 44

Номер варианта	Тип двигателя по табл. 22	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	Номер варианта	Тип двигателя по табл. 22	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$
05	П-41	220	3,2	55	П-51	110	2,2
15	П-42	110	4,5	65	П-41	110	1,0
25	П-51	220	6,0	75	П-51	220	11,0
35	П-41	110	1,5	85	П-81	220	14,0
45	П-71	220	32,0	95	П-42	220	3,8

коэффициента  $\eta_{дв}$ . Используя номинальные данные двигателя, приведенные в табл. 43, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Схема двигателя приведена на рис. 90. Начертить схему присоединения двигателя к сети и пояснить значение всех ее элементов. Пояснить вывод формулы для электромагнитной мощности и электромагнитного момента такого двигателя.

*Указание.* См. решение типового примера 19.

**Задача 36.** Электродвигатели постоянного тока серии П имеют параллельную и последовательную обмотки возбуждения (рис. 101). Сведения о них приведены в табл. 44. Пользуясь этой таблицей, определить следующие величины: потребляемую из сети мощность  $P_1$ ; коэффициент полезного действия двигателя  $\eta_{дв}$ ; ток в параллельной обмотке возбуждения  $I_B$ ; ток в обмотке якоря  $I_a$ ; противо-э. д. с.  $E$ , наводимую в обмотке якоря; суммарные потери в двигателе  $\sum P$ . Данные для своего варианта взять из табл. 44.

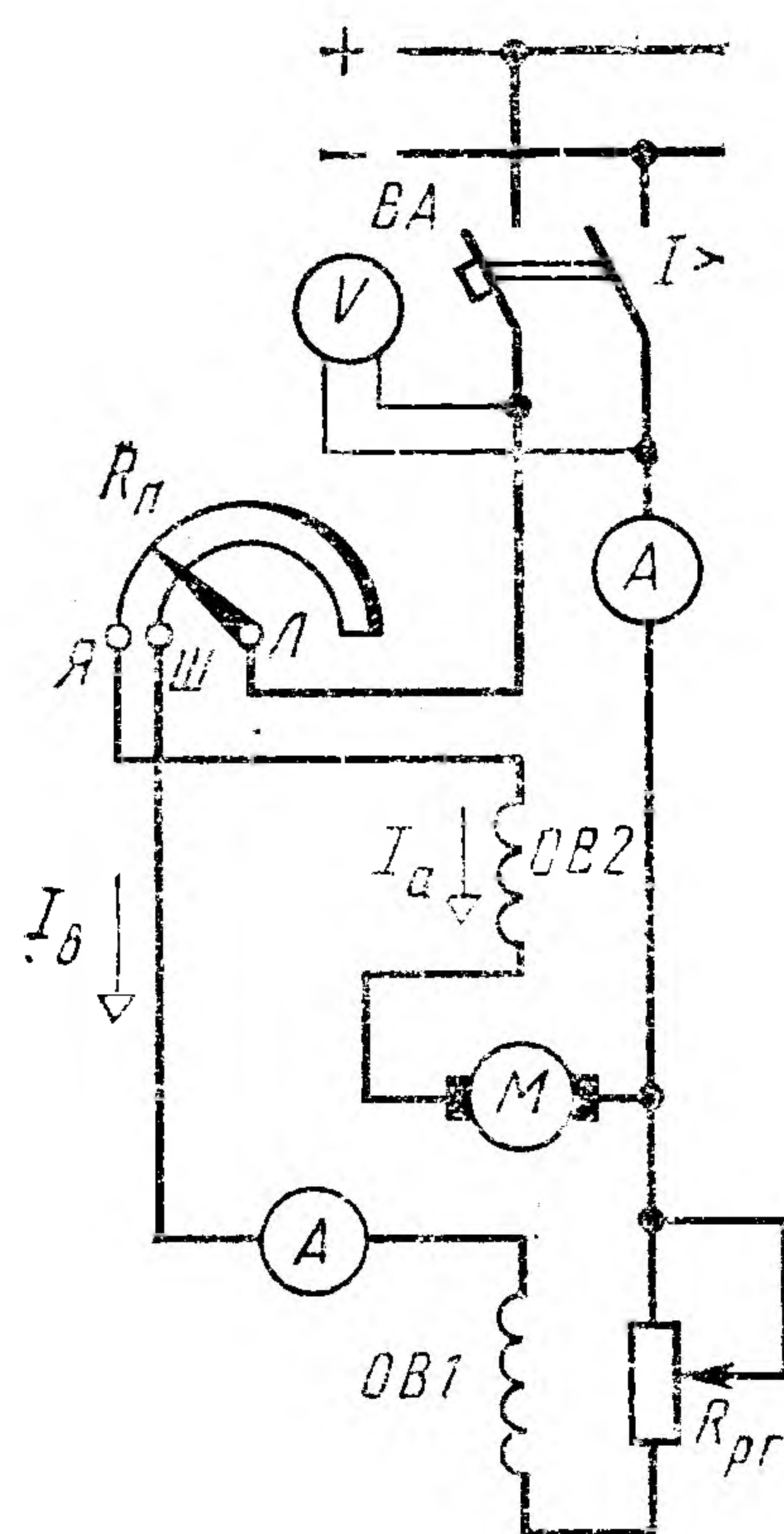


Рис. 101

Какие виды потерь имеют место в машине постоянного тока? Приведите формулы для определения к. п. д. генератора и двигателя.

Таблица 45

Величины	Варианты									
	03	16	26	36	46	56	66	76	86	96
$P_{ном 2}$ , кВт	10	—	—	2,2	—	8,7	4	—	—	—
$U_{ном}$ , В	—	220	110	—	—	—	220	—	220	110
$I_{ном}$ , А	—	18,2	—	—	11	39,5	—	43,4	—	20
$I_B$ , А	48	—	12	22	—	41,5	—	—	—	—
$I_a$ , А	4,6	—	1	2	—	—	5	—	2	—
$E$ , В	—	230,4	—	—	118,4	226,2	—	230	—	115
$R_{ОВ2}$ , Ом	—	—	—	—	10	—	—	5,07	—	—
$R_{ОВ1}$ , Ом	0,21	—	0,7	0,23	—	—	0,45	—	0,15	—
$R_{я}$ , Ом	—	44	—	—	110	—	—	47,8	—	55
$\eta_{дв}$ , %	—	0,8	0,85	—	—	0,87	—	0,88	0,87	0,85
$P_{дв}$ , кВт	12	—	—	2,6	1,42	—	5	—	10	—



**Указания:** 1. См. решение типового примера 19. 2. В сопротивление цепи якоря входят сопротивления обмотки якоря  $R_a$ , обмотки добавочных полюсов  $R_{доб}$  и последовательной обмотки возбуждения  $R_{пос}$ , т. е.  $R'_a = R_a + R_{доб} + R_{пос}$ . Например, для варианта 05:  $R'_a = 1,032 + 0,0328 = 1,0643$  Ом.

**Задача 37.** Генератор постоянного тока со смешанным возбуждением используется для питания временного поселка геологов. Работая в номинальном режиме, отдает полезную мощность  $P_{ном2}$  при напряжении  $U_{ном}$  и токе нагрузки  $I_{ном}$ . Параллельная обмотка включена на полное напряжение генератора (рис. 102). Ток в цепи якоря  $I_a$ , в параллельной обмотке возбуждения  $I_b$ . Э. д. с. генератора равна  $E$ . Сопротивление нагрузки  $R_H$ . Сопротивление обмотки якоря равно  $R_a$ ; сопротивлением последовательной обмотки пренебречь. Сопротивление параллельной обмотки возбуждения  $R_b$ . Коэффициент полезного действия генератора равен  $\eta_r$ . Генератор приводится во вращение первичным двигателем мощностью  $P_{дв}$ . Используя номинальные данные генератора, приведенные в табл. 45, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему присоединения генератора к нагрузке и пояснить назначение ее элементов.

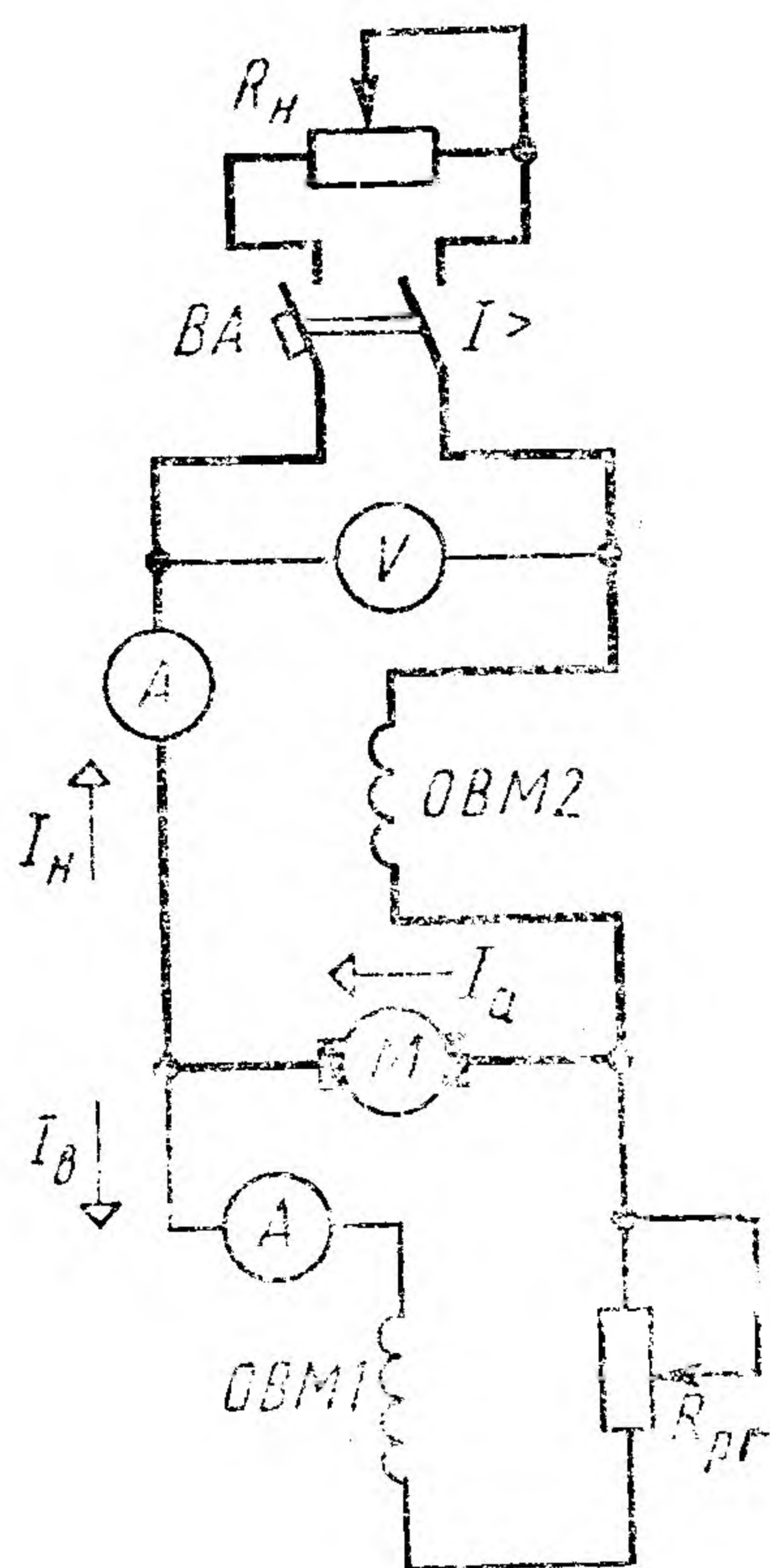


Рис. 102

Почему генератор со смешанным возбуждением обеспечивает практически постоянное напряжение на зажимах при изменении нагрузки? Поясните его внешнюю характеристику.

**Указание.** См. решение типового примера 18.

**Задача 38.** Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением отдает полезную мощность  $P_2$  и потребляет из сети мощность  $P_1$  при напряжении  $U_{ном}$ . Двигатель развивает полезный момент  $M$  при частоте вращения якоря  $n$ . Сила тока в цепи якоря равна  $I$ , противо-э.д.с. в обмотке якоря  $E$ . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения равны  $P_a$ . Сопротивление обмоток якоря и возбуждения  $R_a + R_{пс}$ . В момент пуска двигатель потребляет из сети пусковой ток  $I_{п}$ . Коэффициент полезного действия двигателя равен  $\eta_{дв}$ . Используя данные, приведенные в табл. 46, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Какой вид имеют графики изменения частоты вращения и момента двигателя с последовательным возбуждением? Пояснить, почему недо-

пустима работа такого двигателя при малых нагрузках. Схема двигателя дана на рис. 91.

Указание. См. решение типового примера 21.

Т а б л и ц а 46

Величины	Варианты									
	07	17	27	37	47	57	67	77	87	97
$P_2$ , кВт	44	—	—	21	—	—	—	—	5	10
$P_1$ , кВт	51,3	—	4,5	—	10	—	11	—	6,7	—
$U_{ном}$ , В	—	110	—	250	—	220	110	440	440	—
$M$ , Н·м	296	35	20	310	48	—	79,5	880	—	—
$n$ , об/мин	—	—	1800	—	1600	1200	—	510	1030	1200
$I$ , А	205	39	—	—	45,5	33	—	—	—	100
$E$ , В	—	—	—	—	208	—	—	—	417	—
$P_a$ , Вт	2270	300	—	—	—	—	800	—	—	—
$R_a + R_{пс}$ , Ом	—	—	0,55	0,13	—	0,74	—	0,054	—	0,08
$I_{п}$ , А	—	—	400	—	—	—	—	—	—	—
$\eta_{дв}$	—	0,85	—	0,84	—	0,76	0,91	0,78	—	0,905

**Задача 39.** Генератор постоянного тока с независимым возбуждением предназначен для питания приводного электродвигателя постоянного тока металлорежущего станка с программным управлением (см. рис. 88). Генератор приводится во вращение двигателем переменного тока мощностью  $P_1$ . Номинальная мощность генератора  $P_{ном}$ . Суммарные потери мощности в генераторе  $\sum P$  при коэффициенте полезного действия генератора  $\eta_r$ . Генератор развивает электромагнитную мощность  $P_{эм}$  и отдает в нагрузку ток  $I_{ном}$  при напряжении  $U_{ном}$ . Сопротивление обмотки якоря равно  $R_a$ . Э.д.с. генератора равна  $E$ . Потери мощности в обмотке якоря  $P_a$ . Электромагнитный тормозной момент на валу генератора, преодолеваемый приводным двигателем, равен  $M_{эм}$ . Частота вращения якоря равна  $n_{ном}$ . Используя данные генератора, приведенные в табл. 47, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему такого генератора и пояснить обозначение всех ее элементов. Вывести выражение для электромагнитного момента генератора.

Указание. См. решение типового примера 17.

**Задача 40.** Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением потребляет ток  $I$  при напряжении  $U_{ном}$ . Сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ . Магнитный поток полюса  $\Phi$ . На якоре уложены  $N$  проводников, образующих  $a$  пар параллельных ветвей. Число пар полюсов двигателя равно  $p$ . Используя дан-



Величины	Варианты									
	08	18	28	32	18	58	68	78	88	98
$P_1$ , кВт	—	—	—	—	19	—	55	—	—	—
$P_{ном}$ , кВт	16	—	—	—	—	—	50	9	—	2,7
$\Sigma P$ , кВт	—	1	—	5	3	—	—	3	—	0,7
$\eta_r$	0,84	—	0,79	0,91	—	0,75	—	—	0,83	—
$P_{эм}$ , кВт	—	5,41	—	52,4	—	—	—	0,74	—	3,07
$I_{ном}$ , А	—	—	23,1	—	60,5	78,3	—	—	21,7	—
$U_{ном}$ , В	230	—	115	—	—	115	230	—	230	—
$R_a$ , Ом	0,3	0,9	0,7	—	—	—	—	—	—	—
$E$ , В	—	—	—	241,5	251	—	—	124,4	—	131,4
$P_a$ , Вт	—	424	—	—	—	—	2496	—	—	—
$M_{эм}$ , Н·м	—	43	—	385	115	95	—	—	—	20,2
$n_{ном}$ , об/мин	1450	—	1450	—	—	980	1300	980	1200	—

ные, приведенные в табл. 48 вариантов, определить следующие величины: 1) токи в обмотках якоря  $I_a$  и возбуждения  $I_b$ ; 2) э.д.с. в обмотке якоря  $E$ ; 3) частоту вращения  $n$ ; 4) электромагнитный вращающий момент  $M_{эм}$ ; 5) электромагнитную мощность  $P_{эм}$ . Схема электродвигателя приведена на рис. 90. Начертить схему присоединения такого двигателя

Таблица 48

Номер варианта	$U_{ном}$ , В	$I$ , А	$R_a$ , Ом	$R_b$ , Ом	$\Phi$ , Вб	$N$	$p$	$a$
09	220	53,15	0,182	191	0,0095	496	2	2
19	220	24,1	0,643	298	0,006	812	3	3
29	220	35,6	0,303	293	0,006	522	2	2
39	220	14,6	1,48	372	0,0048	1218	4	2
49	220	35,7	0,376	250	0,0071	744	2	2
59	220	40	0,25	110	0,008	620	3	3
69	220	48,8	0,24	228	0,078	496	2	2
79	220	21,7	0,94	250	0,0071	1116	2	2
89	220	60	0,15	75	0,008	856	4	4
99	220	30,8	0,52	228	0,0078	744	2	2

к сети и пояснить назначение каждого элемента схемы. Описать особенности рабочих характеристик такого двигателя.

*Указание.* См. решение типового примера 20.

**Задача 41.** Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением (см. рис. 91) развивает на валу полезную номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$ , потребляя номинальный ток  $I_{\text{ном}}$  при напряжении  $U_{\text{ном}}$ . Якорь двигателя вращается с номинальной частотой  $n_{\text{ном}}$ . Сопротивление обмотки якоря и последовательной обмотки возбуждения равно  $R_a + R_{\text{пс}}$ . Пользуясь данными, приведенными в табл. 49 вариантов, определить: 1) мощность  $P_1$ , потребляемую из сети; 2) коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{ном}}$ ; 3) пусковой ток  $I_{\text{п}}$ ; 4) сопротивление пускового реостата  $R_p$  для ограничения пускового тока до двойного номинального; 5) номинальный вращающий момент  $M_{\text{ном}}$ . Начертить схему присоединения к сети такого двигателя и пояснить назначение каждого элемента схемы. Описать область применения таких электродвигателей.

*Указание.* См. решение типового примера 21.

Т а б л и ц а 49

Номер варианта	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$I_{\text{ном}},$ А	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$R_a + R_{\text{пс}},$ Ом
10	8	220	46	1200	0,51
20	17	220	92	1000	0,19
30	23	220	124	970	0,13
40	5,5	220	33	1200	0,82
50	12	220	67	1160	0,3
60	140	220	710	575	0,012
70	42	220	218	850	0,052
80	32	220	170	900	0,077
90	20	220	110	1400	0,16
00	10	220	60	650	0,45