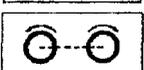
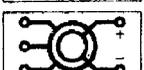
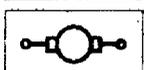
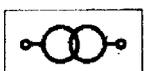
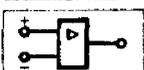
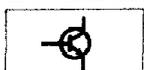
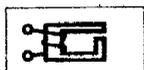
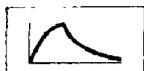
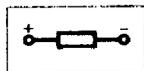




Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

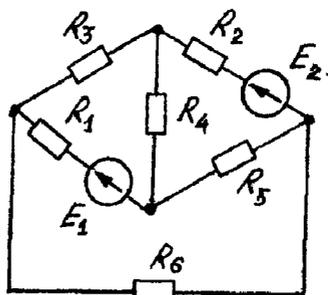
Кафедра электротехники и электроники



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Методическое пособие

Часть 1



Минск 2003

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электроники

Л.И. Новикова

Т.Т. Розум

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Методическое пособие

к выполнению расчетно-графических работ
по дисциплинам «Электротехника»,
«Электротехника и основы электроники»,
«Электротехника и промышленная электроника»,
«Электротехника, электрические машины и аппараты»
для студентов неэлектротехнических специальностей

В 3-х частях

Часть 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Под общей редакцией Т.Т. Розум

Минск 2003

УДК 621.3 (075.8)

ББК 31.2 я 7

Н 73

Рецензент И.В. Новаш

Новикова Л.И.

Н73 Электротехника: Метод. пособие к выполнению расчетно-графических работ по дисц. "Электротехника", "Электротехника и пром. электроника", "Электротехника, электрические машины и аппараты" для студ. неэлектрических спец./ Л.И. Новикова, Т.Т. Розум; Под общ. ред. Т.Т. Розум. – Мн.: БНТУ, 2003. – 39 с.

ISBN 985-6529-90-5.

Методическое пособие содержит многовариантные задания и типовые расчеты по разделу «Электрические цепи». Набор заданий и указания к ним предусматривают возможность изменять объем работы для студентов различных специальностей.

Задания к расчетно-графической работе и типовые расчеты к ним подготовили к печати: Л.И. Новикова (задания к РГР № 1); Т. Т. Розум (задания к РГР № 2).

УДК 621.3 (075.8)

ББК 31.2 я 7

ISBN 985-6529-90-5

© Новикова Л.И.,
Розум Т.Т., 2003

Содержание

ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №1. . .	3
<i>Типовой расчет к задаче 1.1.</i>	10
<i>Типовой расчет к задаче 1.2.</i>	15
ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №2. . .	17
<i>Типовой расчет к задаче 2.1.</i>	24
<i>Типовой расчет к задаче 2.2.</i>	29
Литература.	37

ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 1

Анализ электрического состояния линейных и нелинейных электрических цепей постоянного тока

Задача 1.1. Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1.1 – 1.30, выполнить следующее:

составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для определения токов во всех ветвях цепи;

исключить источник ЭДС E_2 и для полученной цепи определить токи в ветвях по методу эквивалентных преобразований;

в исходной цепи с двумя источниками ЭДС принять сопротивление $R_5 = \infty$ и для полученной цепи:

а) определить токи во всех ветвях методом двух узлов;

б) рассчитать токи в ветвях методом наложения;

в) составить баланс мощности;

г) определить ток в ветви с источником ЭДС E_2 методом эквивалентного генератора;

д) построить потенциальную диаграмму для замкнутого контура, включающего обе ЭДС.

Указания к выбору варианта: порядковый номер студента в журнале группы определяет номер схемы (рис. 1.1 – 1.30), а порядковый номер группы – выбор числовых параметров цепи в табл. 1.1.

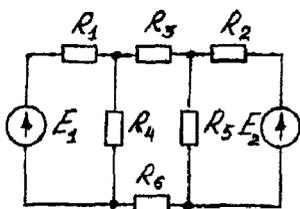


Рис. 1.1

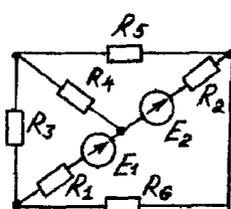


Рис. 1.2

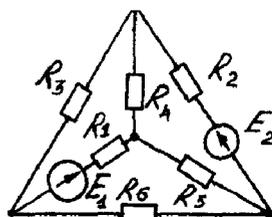


Рис. 1.3

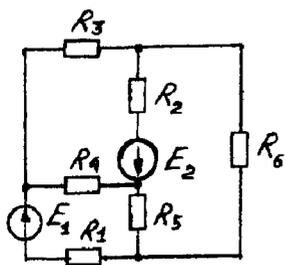


Рис 14

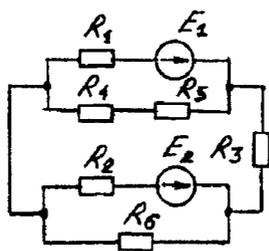


Рис 15

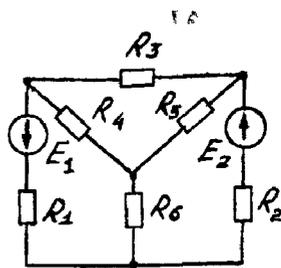


Рис 16

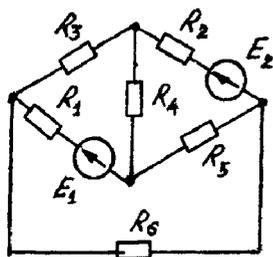


Рис 17

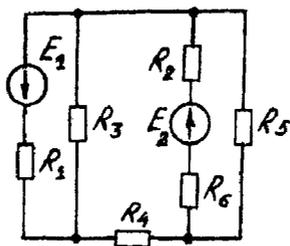


Рис 18

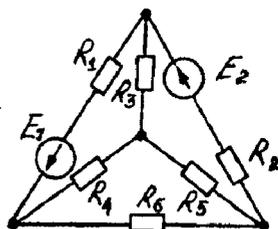


Рис 19

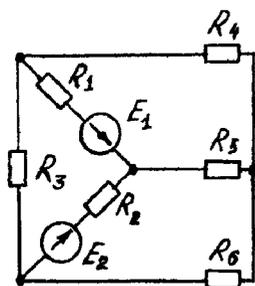


Рис 110

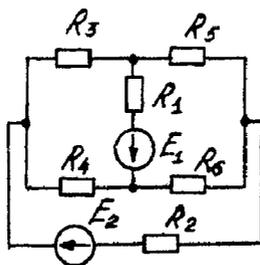


Рис 111

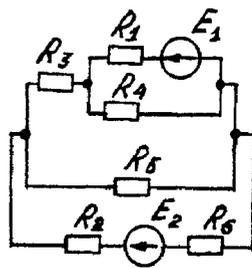


Рис 112

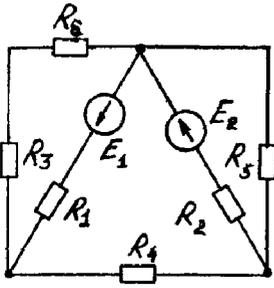


Рис 113

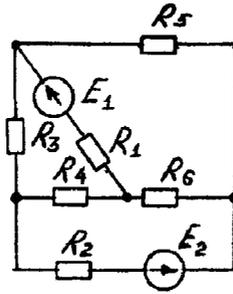


Рис 114

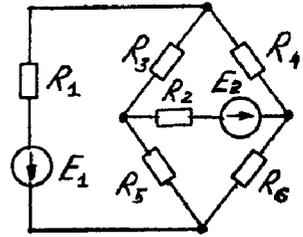


Рис 115

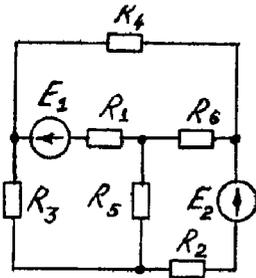


Рис 116

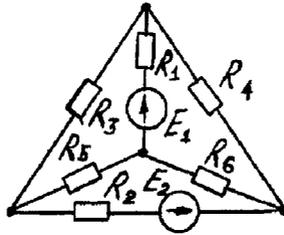


Рис 117

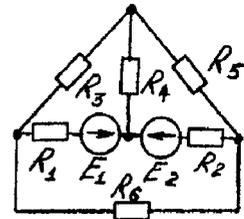


Рис 118

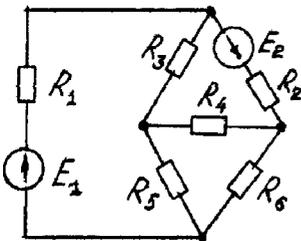


Рис 119

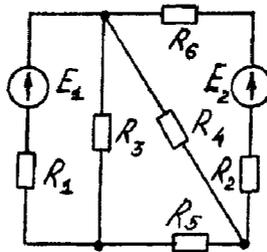


Рис 120

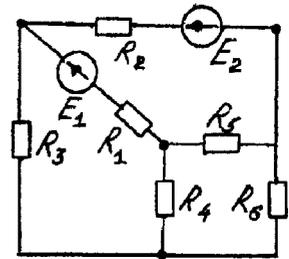


Рис 121

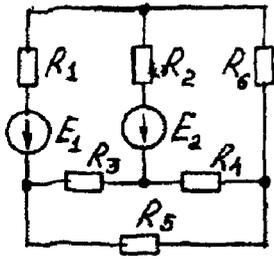


Рис. 1.22

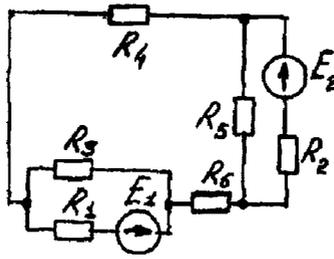


Рис. 1.23

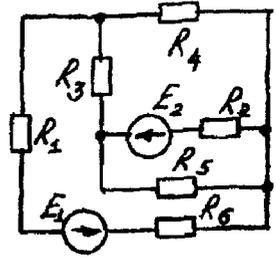


Рис. 1.24

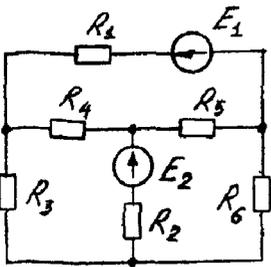


Рис. 1.25

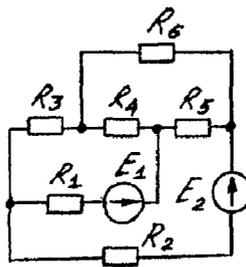


Рис. 1.26

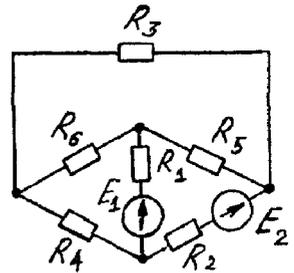


Рис. 1.27

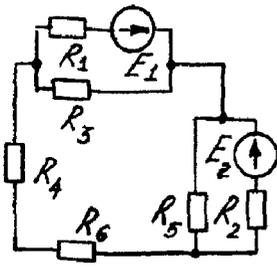


Рис. 1.28

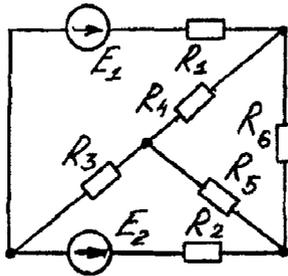


Рис. 1.29

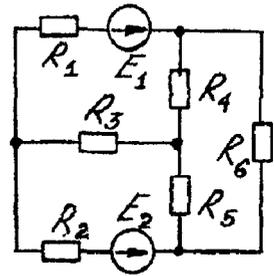


Рис. 1.30

Таблица 1.1

Номер группы	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
1	400	300	50	24	43	36	60	20
2	200	300	54	43	35	26	51	18
3	400	200	35	52	24	48	16	63
4	300	200	54	42	23	31	18	51
5	300	400	16	63	34	42	35	52
6	200	300	64	43	31	25	54	14
7	300	400	26	64	43	35	50	16
8	300	200	45	55	32	24	64	15
9	200	400	64	48	32	25	53	17
10	500	300	54	24	18	20	25	48

Задача 1.2. Для нелинейной электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1.31 – 1.36:

построить входную вольт-амперную характеристику цепи;

определить токи во всех ветвях цепи и напряжения на отдельных элементах, используя вольт-амперные характеристики и данные табл. 1.3.

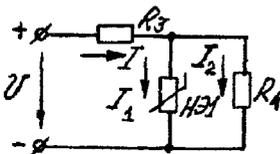


Рис. 1.31

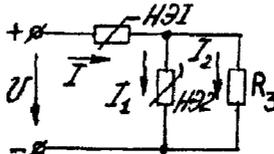


Рис. 1.32

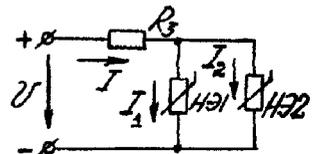


Рис. 1.33

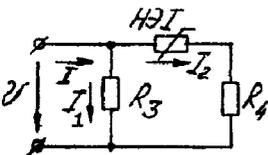


Рис. 1.34

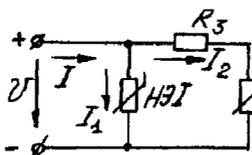


Рис. 1.35

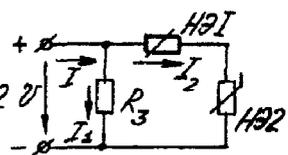


Рис. 1.36

Указания к выбору варианта: в зависимости от порядкового номера группы по табл. 1.3 выбрать напряжение на входе цепи и сопротивления линейных элементов, а по табл. 1.2 – характеристики нелинейных элементов в соответствии с порядковым номером студента в журнале группы. Вольт-амперные характеристики приведены на рис. 1.37.

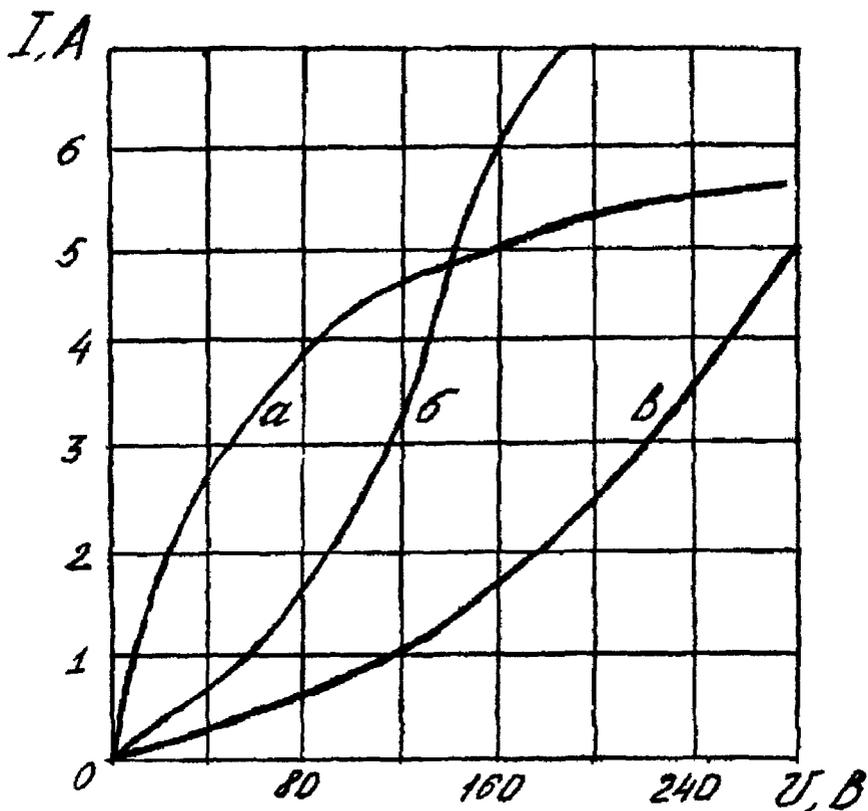


Рис. 1.37

Таблица 1.2

Порядковый номер студента в журнале группы	Номер схемы	Тип характеристики		Порядковый номер студента в журнале группы	Номер схемы	Тип характеристики	
		НЭ1	НЭ2			НЭ1	НЭ2
1	1.31	а	–	16	1.34	б	–
2	1.32	а	б	17	1.35	б	а
3	1.33	а	б	18	1.36	б	а
4	1.32	а	в	19	1.35	б	в
5	1.33	а	в	20	1.36	б	в
6	1.34	а	–	21	1.31	в	–
7	1.35	а	б	22	1.32	в	а
8	1.36	а	б	23	1.33	в	а
9	1.35	а	в	24	1.32	в	б
10	1.36	а	в	25	1.33	в	б
11	1.31	б	–	26	1.34	в	–
12	1.32	б	а	27	1.35	в	а
13	1.33	б	а	28	1.36	в	а
14	1.32	б	в	29	1.35	в	б
15	1.33	б	в	30	1.36	в	б

Таблица 1.3

Номер группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, B	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
R_3, Om	28	32	35	40	26	24	46	56	50	48
R_4, Om	40	48	26	24	45	40	30	32	38	56

Типовой расчет к задаче 1.1

Пример 1. Методом эквивалентных преобразований определить токи в ветвях цепи, схема которой приведена на рис. 1.38, если $E = 120\text{В}$, $R_1 = 14\text{ Ом}$, $R_2 = 20\text{ Ом}$, $R_3 = 10\text{ Ом}$, $R_4 = 20\text{ Ом}$, $R_5 = 25\text{ Ом}$, $R_6 = 16\text{ Ом}$. Расчет проверить составлением баланса мощности.

Решение. Укажем направление токов в ветвях. Заменим треугольник сопротивлений *abc* эквивалентной звездой.

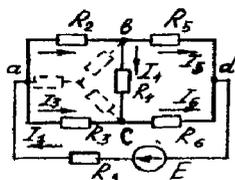


Рис 1 38

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{20 \cdot 10}{20 + 10 + 20} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 20}{20 + 10 + 20} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_{42} = \frac{R_4 R_2}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{20 \cdot 20}{50} = 8 \text{ Ом}.$$

Получаем новую схему (рис. 1.39), эквивалентное сопротивление которой легко найти путем параллельного и последовательного сложения сопротивлений:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23} + \frac{(R_{42} + R_5)(R_{34} + R_6)}{R_{42} + R_5 + R_{34} + R_6} = 14 + 4 + \frac{(8 + 22)(4 + 16)}{8 + 22 + 4 + 16} = 30 \text{ Ом}.$$

Ток в неразветвленной части цепи

$$I_1 = \frac{E}{R_{\Sigma}} = \frac{120}{30} = 4 \text{ А}.$$

Для определения токов I_5 и I_6 найдем напряжение U_{fd} :

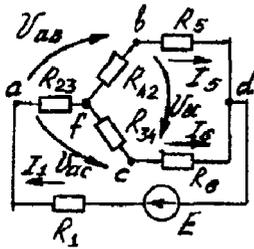


Рис 1.39

$$U_{fd} = R_{fd} I_1 = E - (R_1 + R_{23}) I_1 = \frac{30 \cdot 20}{50} \cdot 4 = 48 \text{ В},$$

отсюда
$$I_5 = \frac{U_{fd}}{R_{42} + R_5} = \frac{48}{8 + 22} = 1,6 \text{ А},$$

$$I_6 = \frac{U_{fd}}{R_{34} + R_6} = \frac{48}{4 + 16} = 2,4 \text{ А}.$$

Расчет тока I_2 выполним по закону Ома для участка цепи ab (рис. 1.38):

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = \frac{28,8}{20} = 1,44 \text{ А},$$

где по второму закону Кирхгофа для контура $abfa$ в схеме рис. 1.39

$$U_{ab} = R_{23} I_1 + R_{42} I_5 = 4 \cdot 4 + 8 \cdot 1,6 = 28,8 \text{ В}.$$

Аналогично

$$I_3 = \frac{U_{ac}}{R_3} = \frac{R_{23} I_1 + R_{34} I_6}{R_3} = \frac{4 \cdot 4 + 4 \cdot 2,4}{10} = 2,56 \text{ А}$$

или $I_3 = I_1 - I_2 = 4 - 1,44 = 2,56 \text{ А},$

$$I_4 = \frac{U_{bc}}{R_4} = \frac{R_{34} I_6 - R_{42} I_5}{R_4} = \frac{4 \cdot 2,4 - 8 \cdot 1,6}{20} = -0,16 \text{ А}$$

или $I_4 = I_2 - I_5 = 1,44 - 1,6 = -0,16 \text{ А}.$

Минус означает, что положительное направление тока I_4 будет противоположно указанному на схеме.

Правильность расчета проверим составлением баланса мощности:

$$EI_1 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2; \quad 480 = 480 \text{ (Вт)}.$$

Пример 2. Используя метод двух узлов, найти токи в ветвях цепи рис. 1.40, если $E_1=20$ В, $E_2=40$ В, $E_3=10$ В, $E_4=50$ В, $R_1=15$ Ом, $R_2=10$ Ом, $R_3=9$ Ом, $R_4=11$ Ом, $R_5=5$ Ом.

Построить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура.

Решение. Направим токи в ветвях к узлу a и определим напряжение между узлами:

$$U_{ab} = \frac{\sum E_n q_n}{\sum q_n} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1 + R_5} + E_2 \frac{1}{R_2} + (-E_3 + E_4) \frac{1}{R_3 + R_4}}{\frac{1}{R_1 + R_5} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4}} = 35 \text{ В.}$$

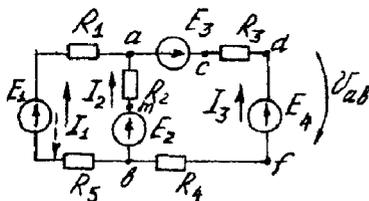


Рис. 1.40

Токи в ветвях рассчитаем по закону Ома:

$$I = \frac{\pm E \pm U_{ab}}{R} = (\pm E \pm U_{ab}) q;$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1 + R_5} = \frac{20 - 35}{15 + 5} = -0,75 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{40 - 35}{10} = 0,5 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{-E_3 + E_4 - U_{ab}}{R_3 + R_4} = \frac{-10 + 50 - 35}{9 + 11} = 0,25 \text{ А.}$$

Положительное направление тока в первой ветви от узла a . Так как направление ЭДС E_1 противоположно направлению тока I_1 , то источник ЭДС E_1 работает в режиме потребителя.

Потенциальную диаграмму построим для контура $acdfbma$. Выберем обход контура по часовой стрелке. Обозначим точки, потенциалы которых будем определять, и произвольно примем потенциал одной любой точки равным нулю, например $\varphi_a=0$. Тогда потенциал точки c выше φ_a на величину ЭДС E_3 :

$$\varphi_c = \varphi_a + E_3 = 10 \text{ В};$$

$$\varphi_d = \varphi_c + R_3 I_3 = 10 + 9 \cdot 0,25 = 12,25 \text{ В};$$

$$\varphi_f = \varphi_d - E_4 = 12,25 - 50 = -37,75 \text{ В};$$

$$\varphi_b = \varphi_f + R_4 I_3 = -35 \text{ В}; \quad \varphi_m = \varphi_b + E_2 = 5 \text{ В}; \quad \varphi_a = \varphi_m - R_2 I_2 = 5 - 10 \cdot 0,5 = 0,$$

что говорит о правильности проведенного расчета.

Для построения потенциальной диаграммы выбираем масштабы для сопротивления m_R и потенциалов m_φ . По оси абсцисс откладываем сопротивление в том порядке, в каком производится обход контура. По оси ординат откладываем потенциалы точек (рис. 1.41).

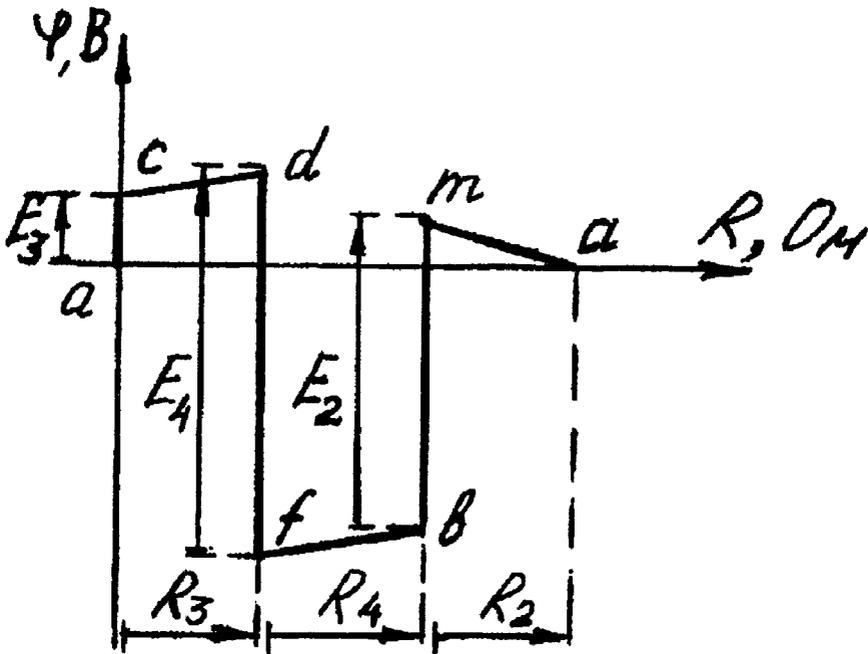


Рис. 1.41

Пример 3. Для цепи по схеме рис. 1.40 определить ток во второй ветви методом эквивалентного генератора.

Решение. По методу эквивалентного генератора

$$I_2 = \frac{E_3}{R_3 + R_2} = \frac{U_{amx}}{R_{ambx} + R_2}.$$

Для определения ЭДС эквивалентного генератора размыкаем ветвь с сопротивлением R_2 и находим напряжение холостого хода $U_{amx} = E_3$ (рис. 1.42):

$$I_x = \frac{E_1 + E_3 - E_4}{R_1 + R_3 + R_4 + R_5} = \frac{20 + 10 - 50}{40} = -0,5 \text{ A},$$

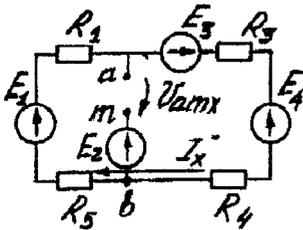


Рис 1 42

$$U_{amx} = E_1 - E_2 - (R_1 + R_5)I_x = 20 - 40 - (15 + 5)(-0,5) = -10 \text{ В}.$$

Для определения входного сопротивления исключаем источники ЭДС в схеме рис. 1.42 и сворачиваем пассивную часть цепи относительно зажимов a и m (рис. 1.43).

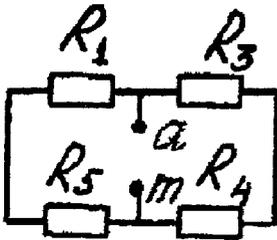


Рис. 1 43

$$R_{ambx} = \frac{(R_1 + R_5)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_5 + R_3 + R_4} = \frac{(15 + 5)(9 + 11)}{15 + 5 + 9 + 11} = 10 \text{ Ом}.$$

$$\begin{aligned} \text{Ток в ветви } I_2 &= \frac{U_{amx}}{R_{ambx} + R_2} = \\ &= \frac{-10}{10 + 10} = -0,5 \text{ А}. \end{aligned}$$

Знак минус означает, что направление тока I_2 противоположно направлению U_{am} .

Типовой расчет к задаче 1.2

Пример 1. Известны параметры цепи (рис. 1.44, а): $R_1=50$ Ом, $R_2=100$ Ом. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейного элемента $I_3(U_{ab})$ дана на рис. 1.45. Напряжение на зажимах цепи $U=200$ В.

Построить входную вольт-амперную характеристику цепи $I_1(U)$, определить токи в ветвях и напряжения на участках цепи.

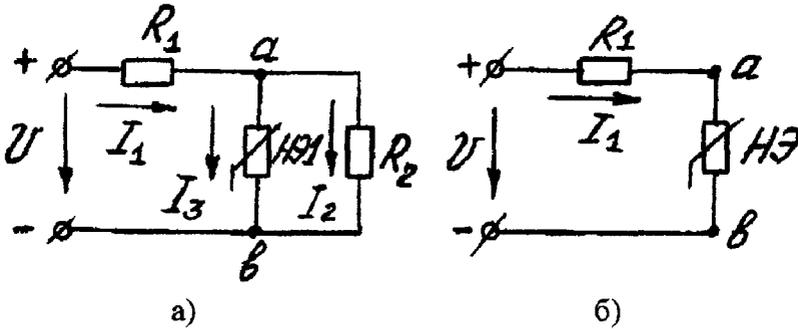


Рис 1 44

Решение. Используем графический метод расчета, при котором сохраняется такой же порядок, как и при расчете линейных цепей, но из-за наличия нелинейных элементов замену эквивалентными сопротивлениями отдельных участков, а затем и всей цепи производим сложением соответствующих ВАХ.

Строим ВАХ для резистора R_2 . Это будет прямая, выходящая из начала координат, поэтому для ее построения достаточно определить координаты еще одной точки. Произвольно задаемся напряжением, допустим $U=100$ В, и по закону Ома определяем ток резистора:

$$I = \frac{U}{R_2} = \frac{100}{100} = 1 \text{ А.}$$

Используя координаты $U=0, I=0$; $U=100$ В, $I=1$ А, получаем ВАХ $I_2(U_{ab})$ резистора R_2 . Аналогично строим ВАХ $I_1(U_1)$ для резистора R_1 .

Для получения входной ВАХ $I_1(U)$ заменяем нелинейный элемент НЭ1 и резистор R_2 , соединенные параллельно, одним эквивалентным нелинейным элементом НЭ (рис. 1.44, б). Вольт-амперная характеристика эквивалентного нелинейного элемента $I_1(U_{ab})$ строится графическим суммированием по оси токов вольт-амперных характеристик $I_3(U_{ab})$ и $I_2(U_{ab})$.

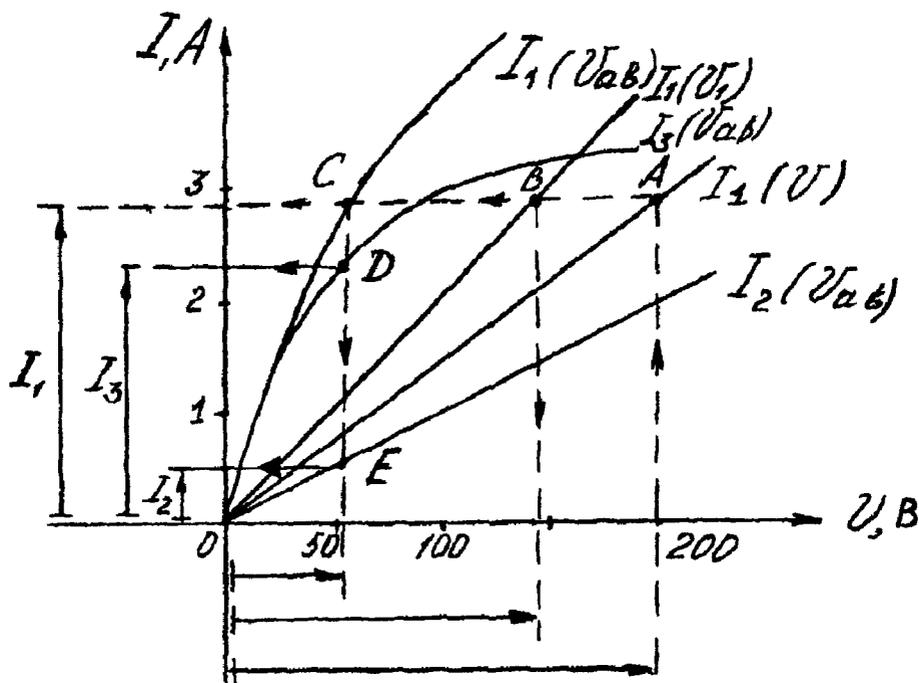


Рис. 1.45

Схема упростилась и представляет теперь последовательное соединение резистора R_1 и нелинейного элемента НЭ (рис. 1.44, б). Суммируя по оси напряжения их вольт-амперные характеристики $I_1(U_1)$ и $I_1(U_{ab})$, получаем результирующую вольт-амперную характеристику $I_1(U)$, которая и является входной ВАХ цепи.

По заданному напряжению $U=200$ В на входной ВАХ находим ток $I_1=2,9$ А (точка А). Используя схему рис. 1.44, б, определяем напряжения на участках. По току I_1 на ВАХ $I_1(U_1)$ резистора R_1 находим напряжение $U_1=145$ В (точка В). По току I_1 на ВАХ нелинейного элемента $I_1(U_{ab})$ находим напряжение $U_{ab}=55$ В (точка С).

Зная напряжение U_{ab} на параллельных элементах НЭ1 и R_2 (рис. 1.44,а) и используя ВАХ $I_3(U_{ab})$ и $I_2(U_{ab})$, определяем токи $I_3=2,35$ А (точка D) и $I_2=0,55$ А (точка E).

ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 2

Анализ электрического состояния однофазных и трехфазных цепей синусоидального тока

Задача 2.1. К зажимам электрической цепи подключен источник синусоидального напряжения $u=U_m \sin(\omega t + \Psi_u)$, В, частотой $f=50$ Гц. Амплитуда, начальная фаза напряжения и параметры элементов цепи заданы в табл. 2.1. Схемы замещения цепи приведены на рис. 2.1 - 2.30.

З а д а н и е . 1. Начертить схему замещения электрической цепи, соответствующую варианту, рассчитать сопротивления реактивных элементов цепи.

2. Определить действующие значения токов во всех ветвях цепи.
3. Записать уравнение мгновенного значения тока источника.
4. Определить показание ваттметра и составить баланс активных и реактивных мощностей.
5. Рассчитать напряжения на каждом элементе цепи.
6. Построить векторную диаграмму токов, совмещенную с топографической векторной диаграммой напряжений.

Указания к выбору варианта: порядковый номер студента в журнале группы определяет номер схемы (рис. 2.1 - 2.30), а порядковый номер группы - выбор числовых данных в табл. 2.1.

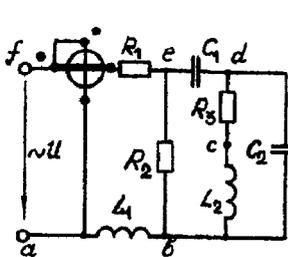


Рис. 2.1

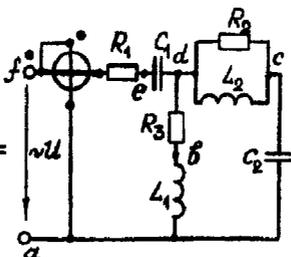


Рис. 2.2

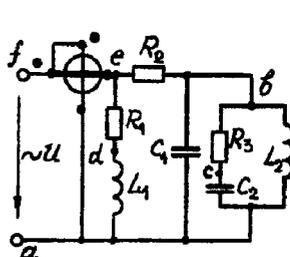


Рис. 2.3

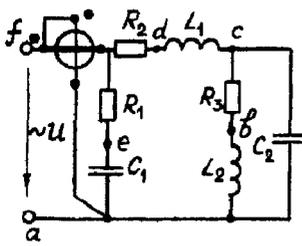


Рис. 2.4

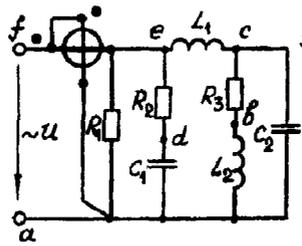


Рис. 2.5

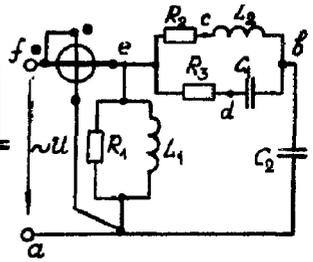


Рис. 2.6

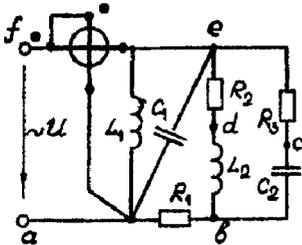


Рис. 2.7

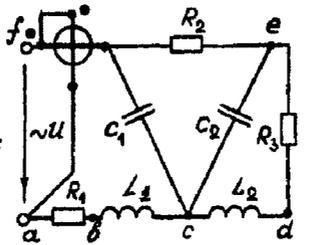


Рис. 2.8

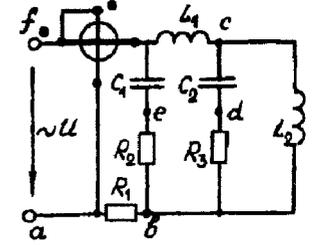


Рис. 2.9

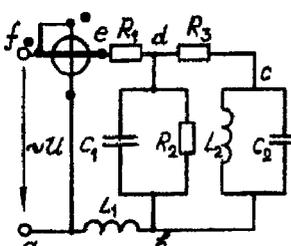


Рис. 2.10

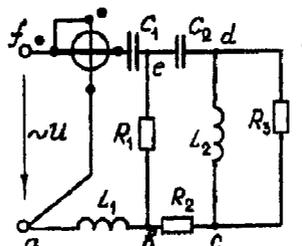


Рис. 2.11

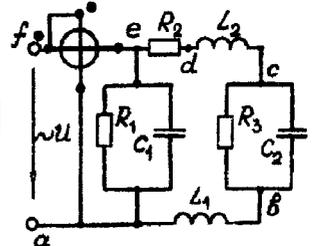


Рис. 2.12

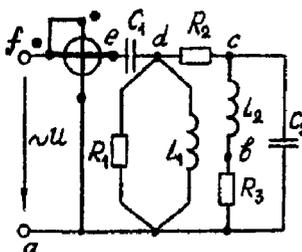


Рис. 2.13

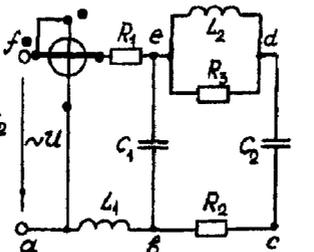


Рис. 2.14

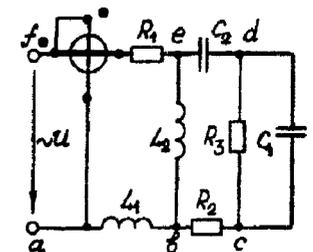


Рис. 2.15

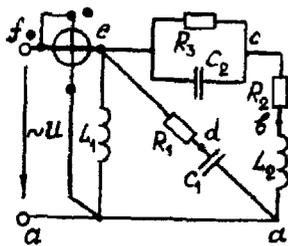


Рис. 2.16

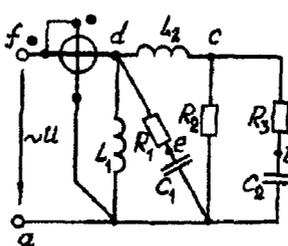


Рис. 2.17

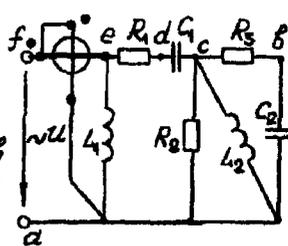


Рис. 2.18

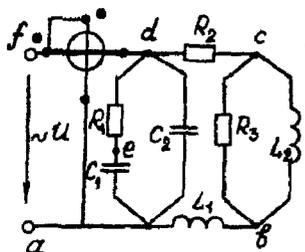


Рис. 2.19

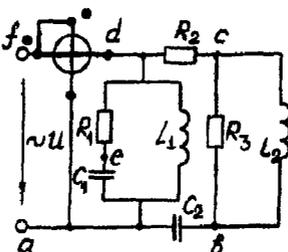


Рис. 2.20

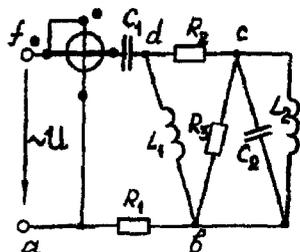


Рис. 2.21

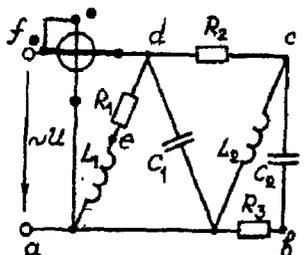


Рис. 2.22

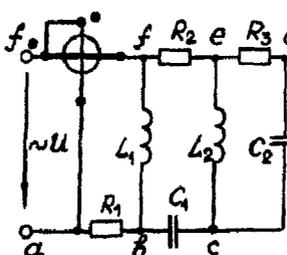


Рис. 2.23

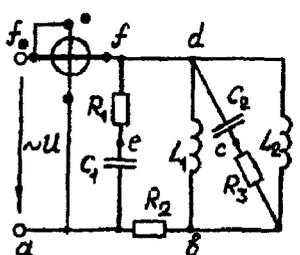


Рис. 2.24

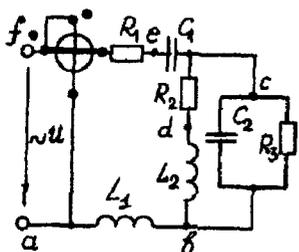


Рис. 2.25

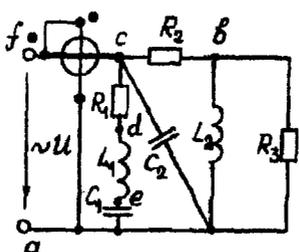


Рис. 2.26

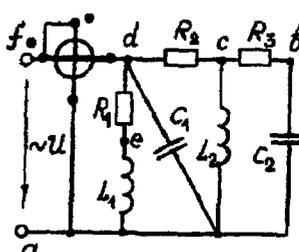


Рис. 2.27

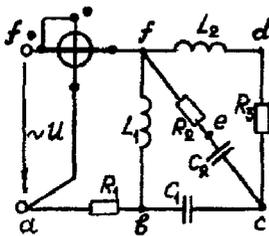


Рис 2 28

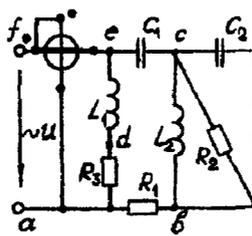


Рис 2 29

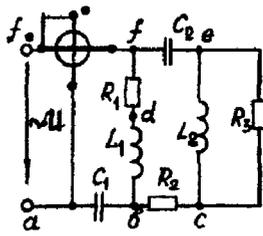


Рис 2 30

Таблица 2 1

Номер группы	U_m , В	Ψ_{α} , град	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	C_1	C_2
			Ом			мГн		мкФ	
1	180	60	25	50	30	79,5	127,2	127,2	79,5
2	311	30	20	30	80	63,6	127,2	79,5	53
3	536	-45	50	100	60	159	254,4	63,5	39,8
4	311	90	40	60	80	127,2	190,8	39,8	53
5	180	0	20	30	20	127,2	63,6	159	159
6	311	45	75	150	90	238,5	382	42,5	19,9
7	536	60	100	200	120	318	508,8	31,8	19,9
8	180	-20	15	30	50	159	127,2	79,5	106
9	311	30	30	45	30	190,8	95,4	106	106
10	180	60	10	15	10	63,6	31,8	318	318

Задача 2.2. В четырехпроводную трехфазную сеть включены три однофазных приемника и один симметричный трехфазный приемник. Номинальные напряжения сети и приемников даны в табл. 2.2, номинальные мощности и род нагрузки – в табл. 2.3.

Задание 1. Рассчитать сопротивления элементов, схемы замещения приемников, используя их номинальные данные в табл. 2.2 и 2.3.

2. На основании табл. 2.2 выбрать и начертить схему включения приемников к трехфазной сети.

3. Определить фазные и линейные токи каждого приемника, токи в проводах сети

4. Построить векторную топографическую диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов.

5. Выбрать и начертить схему включения ваттметров для измерения активной мощности всех приемников. Определить показания ваттметров и составить баланс активной мощности.

Указания к выбору варианта: Номинальные напряжения сети и приемников определяются порядковым номером группы (табл. 2.2), номинальные мощности и род нагрузки-порядковым номерам студента в журнале группы (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Номер группы	Линейное напряжение сети $U_{л}$, В	Номинальное напряжение приемников $U_{ном}$, В	
		однофазных	трехфазного
1	380	380	220
2	220	127	127
3	380	220	380
4	220	220	220
5	380	380	380
6	220	220	127
7	380	220	220
8	220	127	220
9	380	220	380
10	220	220	127

Таблица 2.3

№ с т у д е н т а	Однофазные приемники												Трехфазный симмет- ричный приемник			
	№ 1				№ 2				№ 3				№ 4			
	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$Q_{\text{ном.}}$ квар	$\cos\varphi$	Род нагр.	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$Q_{\text{ном.}}$ квар	$\cos\varphi$	Род нагр.	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$Q_{\text{ном.}}$ квар	$\cos\varphi$	Род нагр.	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$Q_{\text{ном.}}$ квар	$\cos\varphi$	Род нагр.
1	10		0,8	инд.		20	0,6	емк.	30	30		емк.	20		1	
2	16		0,9	емк.	10		1		10		1		15		0,6	инд.
3	30	30		инд.		20	0	емк.		30	0,7	инд.			0,5	емк.
4	5		0,8	инд.	6	8		инд.	10		0,6	емк.	8		1	
5	12		1			12	0	емк.	16	12		инд.	20		0,8	инд.
6	20		1		20	0			12		0,8	инд.	10		0,7	емк.
7	2	2		емк.		2	0	емк.	4	3		инд.		5	0	емк.
8	15		0,5	инд.	15		1			20	0	емк.	12		0,5	инд.
9	15		1			10	0	инд.	8	6		инд.	18		1	
10	20		0,7	емк.	18		0,5	инд.	10	0			30		0,8	инд.
11	4		1			4	0	емк.	4	0			6	8		инд.
12		6	0,6	инд.	10		0,8	емк.		5	0	инд.	5		0,7	емк.
13	14		1			14	0	емк.	10	10		емк.	16	12		инд.
14	15		0,8	инд.	15		0,8	инд.		8	0,8	инд.	25		0,9	емк.
15	6		1			6	0	инд.		6	0	емк.		10	0,2	емк.

Окончание табл. 2.3

	№ 1				№ 2				№ 3				№ 4			
16	25		0,5	инд.		30	0	инд.	40	0			50		0,9	емк.
17	10		1			10	0	емк.	0	10		инд.	15	8		инд.
18		50	0,7	емк.	30		0,8	инд.	30	0			35		1	
19	45		1		0	25		емк.		25	0	инд.	50		0,5	инд.
20	2	2		инд.	3	0			4		1		5		1	
21		4	0	емк.	5		1		0	4		инд.	3	4		инд.
22	18		0,7	инд.		18	0,7	инд.		10	0	емк.		20	0	емк.
23	6		0,5	емк.		5	0	инд.	4	0			7		1	
24	50	0			30		0,5	инд.	0	40		емк.	32	24		инд.
25	12		0,7	инд.	12		0,7	инд.	12		1		15		1	
26	8	6		емк.		10	0	емк.	5	5		инд.	12	16		емк.
27	40		1			30	0	инд.	50	0			25		1	
28		50	0,7	инд.	20	20		инд.		30	0,7	инд.	0	40		емк.
29	14		0,5	емк.		10	0	инд.	10		1		15		0,6	инд.
30	7		1			7	0	емк.	0	7		емк.	10		0,8	инд.

Типовой расчет к задаче 2.1

К зажимам электрической цепи, схема замещения которой приведена на рис. 2.31, подключен источник синусоидального напряжения $u = 311 \sin(\omega t + 45^\circ)$, В, частотой $f = 50$ Гц.

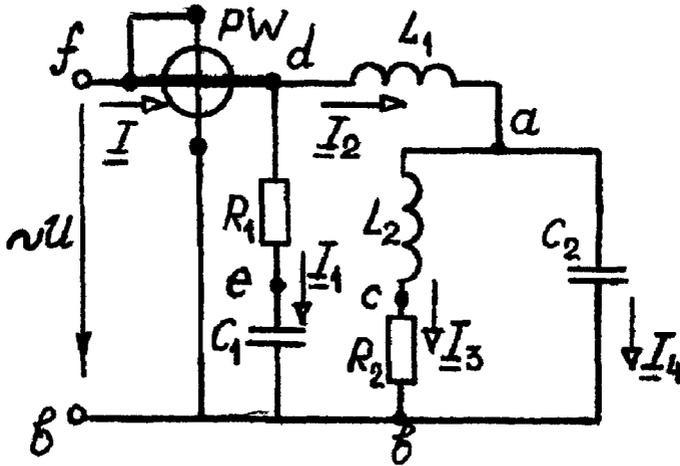


Рис 2 31

Параметры элементов схемы замещения: $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $L_1 = 39,8$ мГн; $L_2 = 19$ мГн; $C_1 = 162,5$ мкФ; $C_2 = 192$ мкФ.

- Задание. 1. Рассчитать реактивные сопротивления элементов цепи.
2. Определить действующие значения токов во всех ветвях цепи
 3. Записать уравнение мгновенного значения тока источника.
 4. Определить показание ваттметра и составить баланс активных и реактивных мощностей.
 5. Рассчитать напряжения на каждом элементе цепи.
 6. Построить векторную диаграмму токов, совмещенную с топографической векторной диаграммой напряжений.

Решение. 1. Реактивные сопротивления элементов цепи

$$X_1 = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{10^6}{314 \cdot 162,5} = 19,6 \text{ Ом},$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ 1/с}$;

$$X_2 = \omega L_1 = 314 \cdot 39,8 \cdot 10^{-3} = 12,5 \text{ Ом};$$

$$X_3 = \omega L_2 = 314 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ Ом};$$

$$X_4 = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{10^6}{314 \cdot 192} = 16,6 \text{ Ом}.$$

2. Расчет токов в ветвях цепи выполняем методом эквивалентных преобразований. Находим комплексные сопротивления ветвей, затем участков цепи:

$$\underline{Z}_1 = R_1 - jX_1 = 5 - j19,6 = \sqrt{5^2 + 19,6^2} e^{j \arctg \frac{-19,6}{5}} = 20,2 e^{-j75,6^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = jX_2 = j12,5 = 12,5 e^{j90^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_2 + jX_3 = 8 + j6 = 10 e^{j37^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_4 = -jX_4 = -j16,6 = 16,6 e^{-j90^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{ab} = \frac{\underline{Z}_3 \cdot \underline{Z}_4}{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4} = \frac{10 e^{j37^\circ} \cdot 16,6 e^{-j90^\circ}}{8 + j6 - j16,6} = \frac{166 e^{-j53^\circ}}{13,3 e^{-j53^\circ}} = 12,5 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{dab} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_{ab} = j12,5 + 12,5 = 17,7 e^{j45^\circ} \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление всей цепи можно не определять, так как в данном случае токи первой \underline{I}_1 и второй \underline{I}_2 ветвей можно найти по закону Ома для участка цепи db :

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_1} = \frac{220e^{j45^\circ}}{20,2e^{-j75,6^\circ}} = 10,9e^{j120,6^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{dab}} = \frac{220e^{j45^\circ}}{17,7e^{j45^\circ}} = 12,4 \text{ A}$$

Тогда ток на общем участке цепи (ток источника)

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 10,9 \cos 120,6^\circ + j10,9 \sin 120,6^\circ + 12,4 = 11,6e^{j54^\circ} \text{ A.}$$

Для определения токов параллельных ветвей \underline{I}_3 и \underline{I}_4 рассчитаем напряжение на зажимах этих ветвей

$$\underline{U}_{ab} = \underline{Z}_{ab} \cdot \underline{I}_2 = 12,5 \cdot 12,4 = 155 \text{ В};$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_3} = \frac{155}{10e^{j37^\circ}} = 15,5e^{-j37^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_4 = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_4} = \frac{155}{16,6e^{-j90^\circ}} = 9,35e^{j90^\circ} \text{ A}$$

3. Уравнение мгновенного значения тока источника

$$i = 11,6 \sqrt{2} \sin(\omega t + 54^\circ) = 16,3 \sin(314 t + 54^\circ) \text{ A.}$$

4. Комплексная мощность цепи

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 220 e^{j45^\circ} \cdot 11,6 e^{-j54^\circ} = 2550 e^{-j9^\circ} = 2510 - j 400 \text{ В}\cdot\text{А.}$$

Ваттметр показывает отдаваемую источником активную мощность, которая равна действительной части комплексной мощности:

$$P_w = P_{\text{ист}} = \operatorname{Re} [\underline{S}] = 2510 \text{ Вт.}$$

Реактивная мощность источника равна мнимой части комплексной мощности

$$Q_{\text{ист}} = \operatorname{Im} [\underline{S}] = -400 \text{ вар.}$$

(знак минус определяет емкостный характер мощности).

Активная $P_{\text{пр}}$ и реактивная $Q_{\text{пр}}$ мощности приемников

$$P_{\text{пр}} = R_1 I_1^2 + R_2 I_3^2 = 5 \cdot 10,9^2 + 8 \cdot 15,5^2 = 2510 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{пр}} = -X_1 I_1^2 + X_2 I_2^2 + X_3 I_3^2 - X_4 I_4^2 = -400 \text{ вар.}$$

Баланс мощностей выполняется $P_{\text{ист}} = P_{\text{пр}}$; $Q_{\text{ист}} = Q_{\text{пр}}$.

5. Напряжения на элементах схемы замещения цепи:

$$U_{de} = R_1 I_1 = 5 \cdot 10,9 = 54,5 \text{ В;}$$

$$U_{eb} = X_1 I_1 = 19,6 \cdot 10,9 = 214 \text{ В;}$$

$$U_{da} = X_2 I_2 = 12,5 \cdot 12,4 = 155 \text{ В;}$$

$$U_{ac} = X_3 I_3 = 6 \cdot 15,5 = 93 \text{ В,}$$

$$U_{cb} = R_2 I_3 = 8 \cdot 15,5 = 124 \text{ В.}$$

6. На комплексной плоскости в масштабе откладываем векторы токов в соответствии с расчетными значениями, при этом положительные фазовые углы отсчитываем от оси +1 против часовой стрелки, а отрицательные - по часовой стрелке. Так, вектор тока $\underline{I}_1 = 10,9 e^{j120,6^\circ} \text{ А}$ повернут относительно оси +1 на угол $120,6^\circ$ и длина его в масштабе определяет ток $10,9 \text{ А}$; вектор тока $\underline{I}_2 = 12,4 \text{ А}$ совпадает с осью действительных величин и т.д. (рис. 2.32).

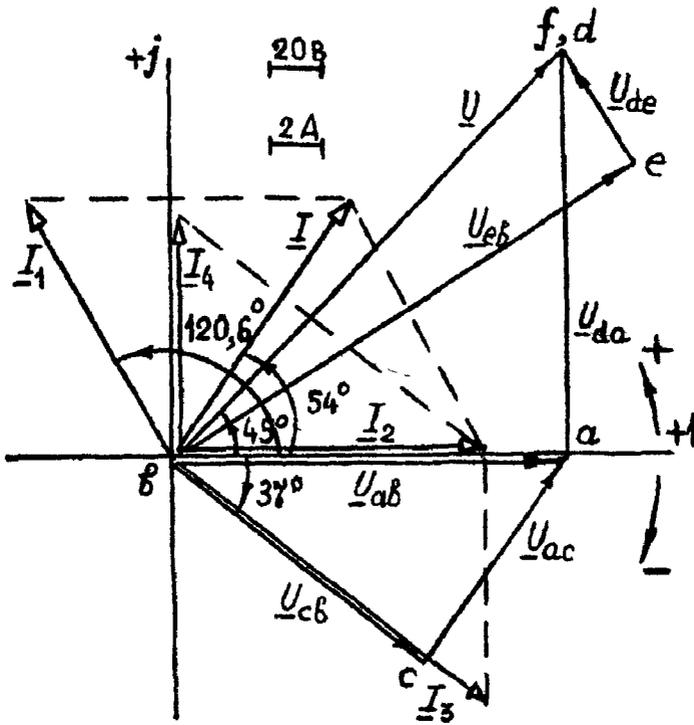


Рис 2 32

На топографической векторной диаграмме напряжений каждой точке диаграммы соответствует определенная точка электрической цепи. Построение векторов напряжения ведем, соблюдая порядок расположения элементов цепи и ориентируя векторы напряжения относительно векторов тока: на активном сопротивлении ток и напряжение совпадают по фазе, на индуктивном элементе напряжение опережает ток на угол $\pi/2$, а на емкостном – напряжение отстает от тока на угол $\pi/2$. Направление обхода участков цепи выбираем, как принято, противоположно положительному направлению токов. Обход начинаем от точки b , потенциал которой принимаем за исходный ($\varphi_b=0$). Точку b помещаем в начало координат комплексной плоскости. При переходе от точки b к точке e потенциал повышается на величину падения напряжения в емкостном сопротивлении X_1 . Вектор этого напряжения \underline{U}_{eb} отстает по фазе от вектора \underline{I}_1 на угол $\pi/2$. Конец вектора \underline{U}_{eb} определяет потенциал точки e . Потенциал

точки d выше потенциала точки e на величину падения напряжения $U_{de} = R_1 I_1$. Вектор \underline{U}_{de} откладываем от точки e параллельно току I_1 . Конец вектора \underline{U}_{de} определяет потенциал точки d . Соединив отрезком прямой точки b и d , получим вектор напряжения на зажимах цепи $\underline{U} = \underline{U}_{db} = 220 e^{j45^\circ}$ В.

Аналогично строим векторы напряжений других участков цепи, сохраняя обход навстречу току. От точки b проводим вектор \underline{U}_{cb} параллельно вектору тока I_3 . Конец вектора \underline{U}_{cb} определяет потенциал точки c . От точки c откладываем вектор \underline{U}_{ac} , опережающий ток I_3 на угол $\pi/2$, т.к. участок содержит индуктивное сопротивление X_3 . Затем от точки a откладываем вектор \underline{U}_{da} , опережающий I_2 на $\pi/2$. Так как обмотка тока ваттметра имеет пренебрежимо малое сопротивление, то падение напряжения на ней ничтожно и потенциалы точек f и d практически одинаковы. На топографической диаграмме напряжений эти точки совпадают.

Типовой расчет к задаче 2.2

В четырехпроводную трехфазную сеть линейным напряжением 380 В включены три однофазных приемника и один симметричный трехфазный приемник, номинальные данные которых приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Номинальные данные		$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, кВт	$Q_{\text{ном}}$, квар	$\cos \varphi$	Род нагрузки
Однофазные приемники	№1	220	4,84	0		
	№2	220	0	4,84		индукт.
	№3	220		4,84	0	емкост.
Трехфазный приемник	№4	380	34,6	26		индукт.

З а д а н и е . 1. Рассчитать сопротивления элементов схемы замещения приемников.

2. Выбрать и начертить схему подключения приемников к трехфазной сети.

3. Определить фазные и линейные токи приемников, токи в проводах сети.

4. Построить векторную топографическую диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов.

5. Выбрать и начертить схему включения ваттметров для измерения активной мощности на зажимах цепи. Определить показания ваттметров и составить баланс активной мощности.

Решение. 1. Сопротивления элементов схемы замещения приемников рассчитываем, используя их номинальные данные в табл. 2.4.

Полное сопротивление однофазного приемника

$$Z = \frac{U_{ном}}{I_{ном}} = \frac{U_{ном}^2}{P_{ном}} \cos \varphi \quad \text{или} \quad Z = \frac{U_{ном}^2}{Q_{ном}} \sin \varphi .$$

Активное R и реактивное X сопротивления

$$R = Z \cos \varphi = \frac{U_{ном}^2}{P_{ном}} \cos^2 \varphi ;$$

$$X = Z \sin \varphi = \frac{U_{ном}^2}{Q_{ном}} \sin^2 \varphi .$$

Комплексное сопротивление $\underline{Z} = Z e^{j\varphi}$.

Таким образом, для однофазных приемников:

№1

$$Z_1 = \frac{220^2}{4,84 \cdot 10^3} \cdot 1 = 10 \text{ Ом}$$

(реактивная мощность $Q_{ном} = 0$, значит, приемник активный,

$$\cos \varphi = \frac{P_{ном}}{S_{ном}} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{P_{ном}^2 + Q_{ном}^2}} = 1, \varphi = 0),$$

$$R_1 = 10 \cdot 1 = 10 \text{ Ом}, X_1 = 0, \underline{Z}_1 = 10 e^{j0^\circ} = 10 \text{ Ом};$$

№2

$$Z_2 = \frac{220^2}{4,84 \cdot 10^3} \cdot 1 = 10 \text{ Ом}$$

(здесь $P_{\text{ном}} = 0$, значит, $\cos \varphi = 0$, $\sin \varphi = 1$, $\varphi = +90^\circ$, так как род нагрузки индуктивный),

$$R_2 = 0, X_2 = 10 \text{ Ом}, \underline{Z}_2 = 10 e^{j90^\circ} \text{ Ом};$$

№3

$$Z_3 = \frac{220^2}{4,84 \cdot 10^3} \cdot 1 = 10 \text{ Ом}$$

($\cos \varphi = 0$ и $P_{\text{ном}} = 0$, а $\sin \varphi = -90^\circ$, так как род нагрузки емкостный), $\underline{Z}_3 = 10 e^{-j90^\circ} \text{ Ом}$.

Полное сопротивление симметричного трехфазного приемника

№4

$$Z_4 = \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{3U_{\text{ном}}^2}{P_{\text{ном}}} \cos \varphi,$$

где $P_{\text{ном}} = 3U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} \cos \varphi$

$$\text{или } Z_4 = \frac{3U_{\text{ном}}^2}{Q_{\text{ном}}} \sin \varphi = \frac{3 \cdot 380^2}{26 \cdot 10^3} \cdot 0,6 = 10 \text{ Ом},$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_{\text{ном}}}{\sqrt{P_{\text{ном}}^2 + Q_{\text{ном}}^2}} = \frac{26}{\sqrt{34,6^2 + 26^2}} = 0,6;$$

$$R_4 = Z_4 \cos \varphi = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ Ом}, X_4 = Z_4 \sin \varphi = 6 \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_4 = 8 + j6 = 10 e^{j37^\circ} \text{ Ом}.$$

2. Схема включения приемников определяется в зависимости от их номинального напряжения $U_{\text{ном}}$ и линейного напряжения трех-

фазной сети $U_{\text{л}}$. Если $U_{\text{ном}} = U_{\text{л}}$, то используется соединение треугольником. Если же $U_{\text{ном}} = U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3}$, то – соединение звездой.

Таким образом, однофазные приемники с $U_{\text{ном}} = 220$ В необходимо подключить к трехфазной сети с $U_{\text{л}} = 380$ В по схеме звезды. Так как приемники несимметричны $Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$, то необходим нейтральный провод, который обеспечит равенство по величине фазных напряжений приемников $U_{\text{ном}} = U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3} = 220$ В. Схема включения приемников к трехфазной сети приведена на рис. 2.33.

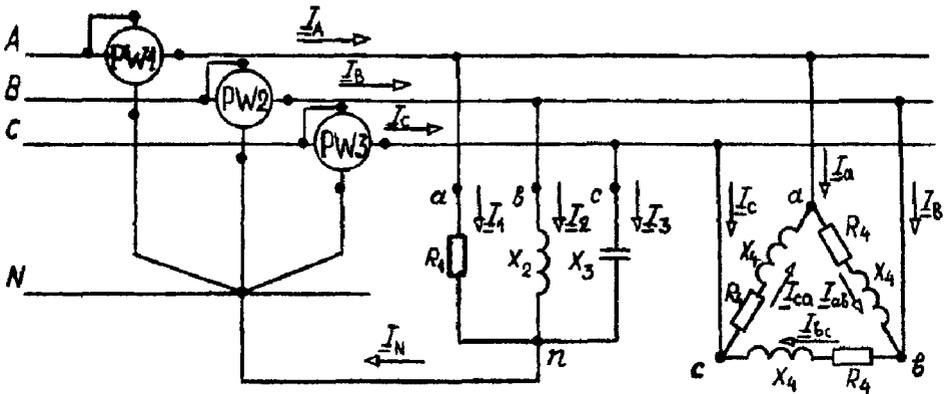


Рис 2 33

3. Определяем фазные и линейные токи приемников. С этой целью запишем комплексные действующие значения фазных напряжений сети, совместив вектор \underline{U}_A с осью действительных величин (рис. 2.34).

$$\underline{U}_A = \underline{U}_a = 220 e^{j0^\circ} = 220 \text{ В};$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_b = 220 e^{-j120^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_c = 220 e^{+j120^\circ} \text{ В}.$$

Тогда линейные напряжения сети (они же фазные напряжения приемника, соединенного треугольником)

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{ab} = 380 e^{j30^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_{bc} = 380 e^{-j90^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_{ca} = 380 e^{j150^\circ} \text{ В}.$$

Фазные (они же линейные) токи однофазных приемников

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_1} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А};$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_2} = \frac{220 e^{-j120^\circ}}{10 e^{j90^\circ}} = 22 e^{-j210^\circ} = -19 + j11 \text{ А};$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_3} = \frac{220 e^{j120^\circ}}{10 e^{-j90^\circ}} = 22 e^{j210^\circ} = -19 - j11 \text{ А}.$$

Ток нейтрального провода

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 22 - 19 + j11 - 19 - j11 = -16 \text{ А}.$$

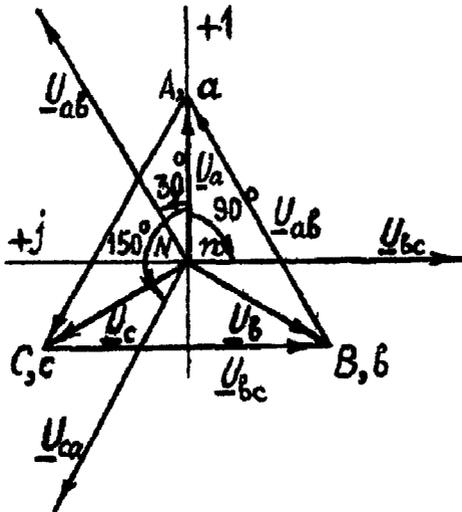


Рис 2.34

Фазные токи симметричного трехфазного приемника:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_4} = \frac{380e^{j30^\circ}}{10e^{j37^\circ}} = 38e^{-j7^\circ} = 37,7 - j4,64 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_4} = \frac{380e^{-j90^\circ}}{10e^{j37^\circ}} = 38e^{-j127^\circ} = -22,8 - j30,36 \text{ A}$$

или

$$\underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ab} e^{-j120^\circ} = 38 e^{j(-7^\circ - 120^\circ)} = 38 e^{-j127^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_4} = \frac{380e^{j150^\circ}}{10e^{j37^\circ}} = 38e^{j113^\circ} = -14,9 + j35 \text{ A}$$

или

$$\underline{I}_{ca} = \underline{I}_{ab} e^{j120^\circ} = 38 e^{j(-7^\circ + 120^\circ)} = 38 e^{j113^\circ} \text{ A}.$$

Линейные токи симметричного трехфазного приемника

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = 52,6 - j39,64 = 66e^{-j37^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} = -60,5 - j25,72 = 66e^{-j157^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = 7,9 + j65,36 = 66e^{j83^\circ} \text{ A}.$$

Токи в линейных проводах сети определяем по первому закону Кирхгофа:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_a = 22 + 52,6 - j39,64 = 74,6 - j39,64 = 84,5e^{-j28^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_2 + \underline{I}_b = -79,5 - j14,72 = 81e^{j190,5^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_3 + \underline{I}_c = -11,1 + j54,36 = 55,3e^{j101,5^\circ} \text{ A}.$$

4. Для построения векторной топографической диаграммы напряжений векторы фазных $\underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c$, затем линейных $\underline{U}_{ab}, \underline{U}_{bc}, \underline{U}_{ca}$ напряжений размещаем на комплексной плоскости (рис. 2.35). Вершины a, b, c треугольника напряжений определяют потенциалы соответствующих точек цепи.

Векторы токов однофазных приемников $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$ откладываем от начала координат комплексной плоскости в соответствии с расчетными значениями. Вектор \underline{I}_1 совпадает по фазе с вектором \underline{U}_a , так как приемник №1 чисто активный, вектор \underline{I}_2 отстает по фазе от \underline{U}_b на $\pi/2$, поскольку приемник №2 индуктивный, и вектор \underline{I}_3 опережает по фазе \underline{U}_c на $\pi/2$, так как приемник №3 емкостный. Вектор тока \underline{I}_N строим согласно уравнению $\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3$. Векторы фазных токов $\underline{I}_{ab}, \underline{I}_{bc}, \underline{I}_{ca}$ симметричного трехфазного приемника, имеющего $Z_4 = 10e^{j37^\circ}$ Ом, ориентируем относительно напряжений $\underline{U}_{ab}, \underline{U}_{bc}, \underline{U}_{ca}$. Токи отстают по фазе от напряжений на 37° .

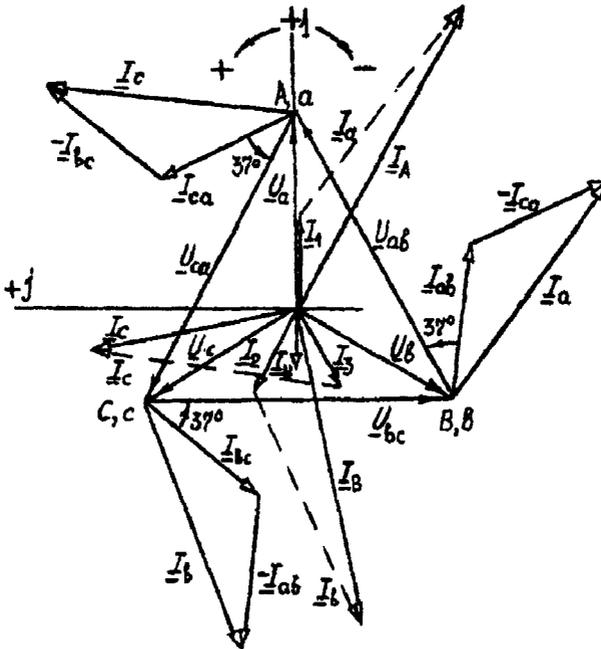


Рис. 2 35

Линейные токи симметричного приемника №4 определяем с помощью разности векторов фазных токов $\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$; $\underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$; $\underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$.

Для построения вектора тока $\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_a$ с конца вектора \underline{I}_1 откладываем вектор \underline{I}_a и получаем результирующий вектор \underline{I}_A . Аналогично строим векторы

$$\underline{I}_B = \underline{I}_2 + \underline{I}_b; \underline{I}_C = \underline{I}_3 + \underline{I}_c.$$

5. Измерение активной мощности в трехфазных цепях может осуществляться методом одного, двух или трех ваттметров. Метод одного ваттметра используется лишь в симметричных цепях, метод двух ваттметров пригоден для трехпроводных цепей при любой асимметрии. В четырехпроводных цепях применяется метод трех ваттметров. Анализируемая цепь четырехпроводна, и мы должны использовать метод трех ваттметров. Схема их включения дана на рис. 2. 33.

Показание каждого ваттметра определяется напряжением, приложенным к его обмотке напряжения, током, протекающим по обмотке тока, и косинусом угла сдвига фаз между напряжением и током:

$$P_A = U_A I_A \cos(\Psi_{U_A} - \Psi_{I_A}) = 220 \cdot 84,5 \cos(0^\circ + 28^\circ) = 16,38 \text{ кВт};$$

$$P_B = U_B I_B \cos(\Psi_{U_B} - \Psi_{I_B}) = 220 \cdot 81 \cos(-120^\circ - 190,5^\circ) = 11,53 \text{ кВт};$$

$$P_C = U_C I_C \cos(\Psi_{U_C} - \Psi_{I_C}) = 220 \cdot 55,3 \cos(120^\circ - 101,5^\circ) = 11,53 \text{ кВт}.$$

Активная мощность на зажимах цепи

$$P_{\text{ист}} = P_A + P_B + P_C = 39,44 \text{ кВт}.$$

Активная мощность, потребляемая приемниками:

$$P_{\text{пр}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 4,84 + 34,6 = 39,44 \text{ кВт}.$$

Баланс активной мощности выполняется.

Литература

1. Электротехника /Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985. – 480с.

2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 551 с.

3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1999. – 541 с.

4. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 525 с.

5. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высшая школа, 1987. – 287 с.

Учебное издание

**НОВИКОВА Людмила Ивановна
РОЗУМ Таисия Терентьевна**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Методическое пособие

**к выполнению расчетно-графических работ
по дисциплинам «Электротехника»,
«Электротехника и основы электроники»,
«Электротехника и промышленная электроника»,
«Электротехника, электрические машины и аппараты»
для студентов неэлектротехнических специальностей**

В 3-х частях

Часть 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Под общей редакцией Т.Т. Розум

**Редактор И.Ф. Антаневич. Корректор М.П. Антонова
Компьютерная верстка А.Г. Гармаза**

Подписано в печать 20.01.2003.

Формат 60 x 84 1/16. Бумага типографская. №2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 2,3. Уч.-изд.л. 1,8. Тираж 500. Заказ 478.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.