



В.Я. Уфимцев  
Н.Р. Шабалина  
О.Б. Пушкарёва

# РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Екатеринбург  
2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра энергетики

В.Я. Уфимцев  
Н.Р. Шабалина  
О.Б. Пушкарёва

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Методические указания и контрольные задания  
для выполнения расчетно-графической работы  
студентами очной формы обучения по специальностям  
250403 «Технология деревообработки»,  
250401 «Лесоинженерное дело»,  
280202 «Охрана окружающей среды и рациональное использование  
природных ресурсов»;  
дисциплина «Электротехника и электроника»

Екатеринбург  
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛМФ.  
Протокол № 1 от 24 сентября 2009 г.

Рецензент – канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой энергетики  
В.В. Мамаев

Редактор А.Л. Ленская  
Оператор Г.И. Романова

---

Подписано в печать 30.08.10	Поз. 16
Плоская печать	Формат 60x84 1/16
Заказ №	Тираж 100 экз.
	Печ. л. 0,93
	Цена 5 руб. 68 коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

1. По номеру расчетно-графической работы, заданной преподавателем, определить схему замещения (рис. 1 - 5) и параметры электрической цепи (см. таблицу).

2. Для заданной схемы замещения электрической цепи одним из методов расчета электрических цепей рассчитать:

- а) силу тока на всех участках электрической цепи;
- б) напряжения  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{cd}$ ,  $U_{de}$ ;
- в) активную, реактивную мощности всей электрической цепи;
- г) коэффициент мощности электрической цепи.

3. По результатам расчетов:

- а) построить векторную диаграмму;
- б) составить баланс мощностей;
- в) провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

## ПРИМЕР РАСЧЁТА И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Задание на работу

1.1. По номеру варианта работы, заданной преподавателем, определить схему и параметры электрической цепи (рис. 6).

1.2. Для заданной схемы электрической цепи одним из методов расчета электрических цепей вычислить:

- токи во всех ветвях электрической цепи ( $I_1 = I_4$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_5$ ,  $I_6$ );
- напряжения на участках цепи ( $U_1$ ,  $U_{23}$ ,  $U_4$ ,  $U_{56}$ );
- активную, реактивную и полную мощности всей электрической цепи;
- угол  $\varphi$  для всей цепи;
- построить векторные диаграммы:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_{23} + \dot{U}_4 + \dot{U}_{56}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3, \quad \dot{I}_4 = \dot{I}_5 + \dot{I}_6;$$

- провести анализ полученных результатов и сделать выводы о характере нагрузки цепи.

Примечание: расчет вести с точностью до трёх значащих цифр.

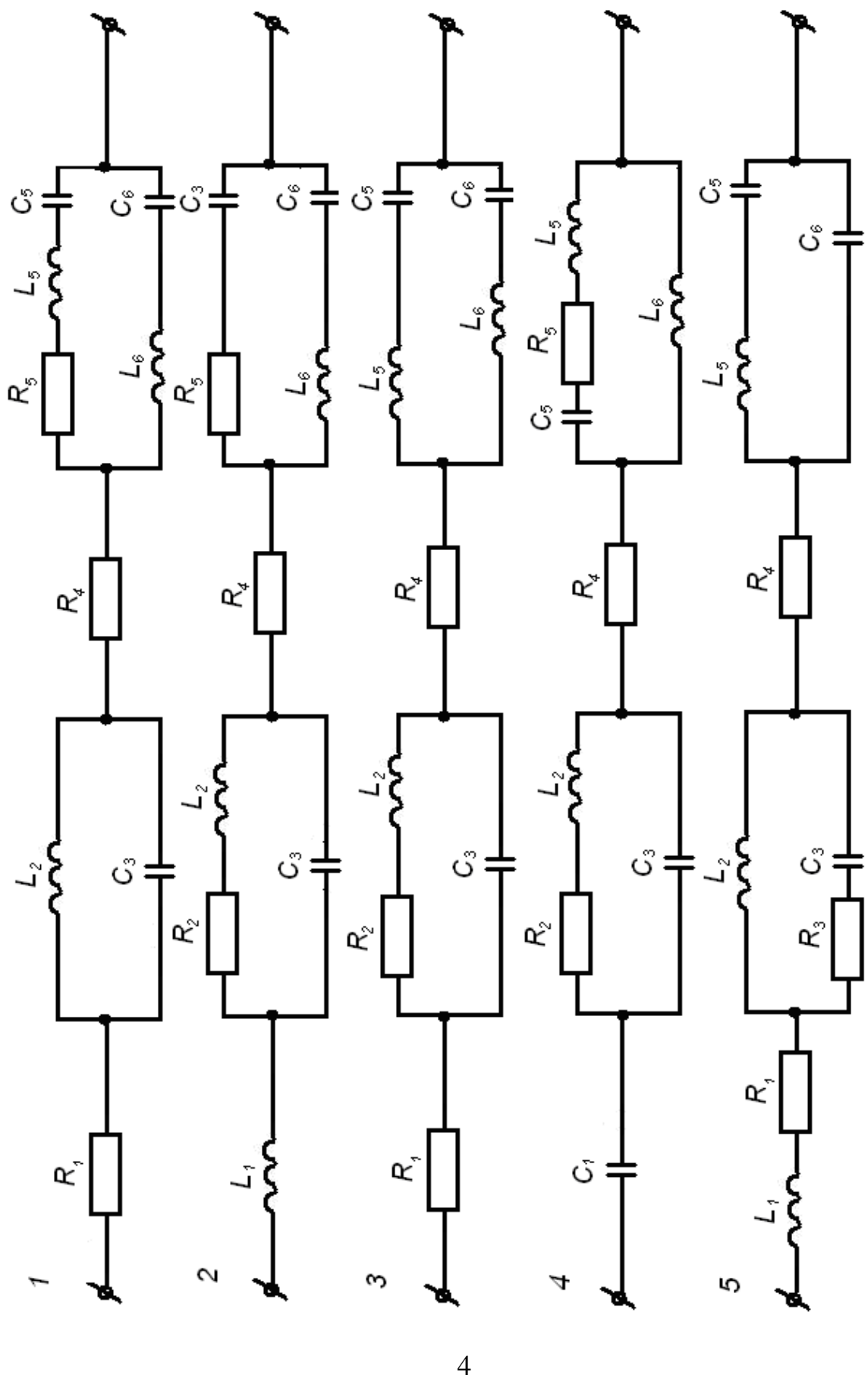


Рис. 1

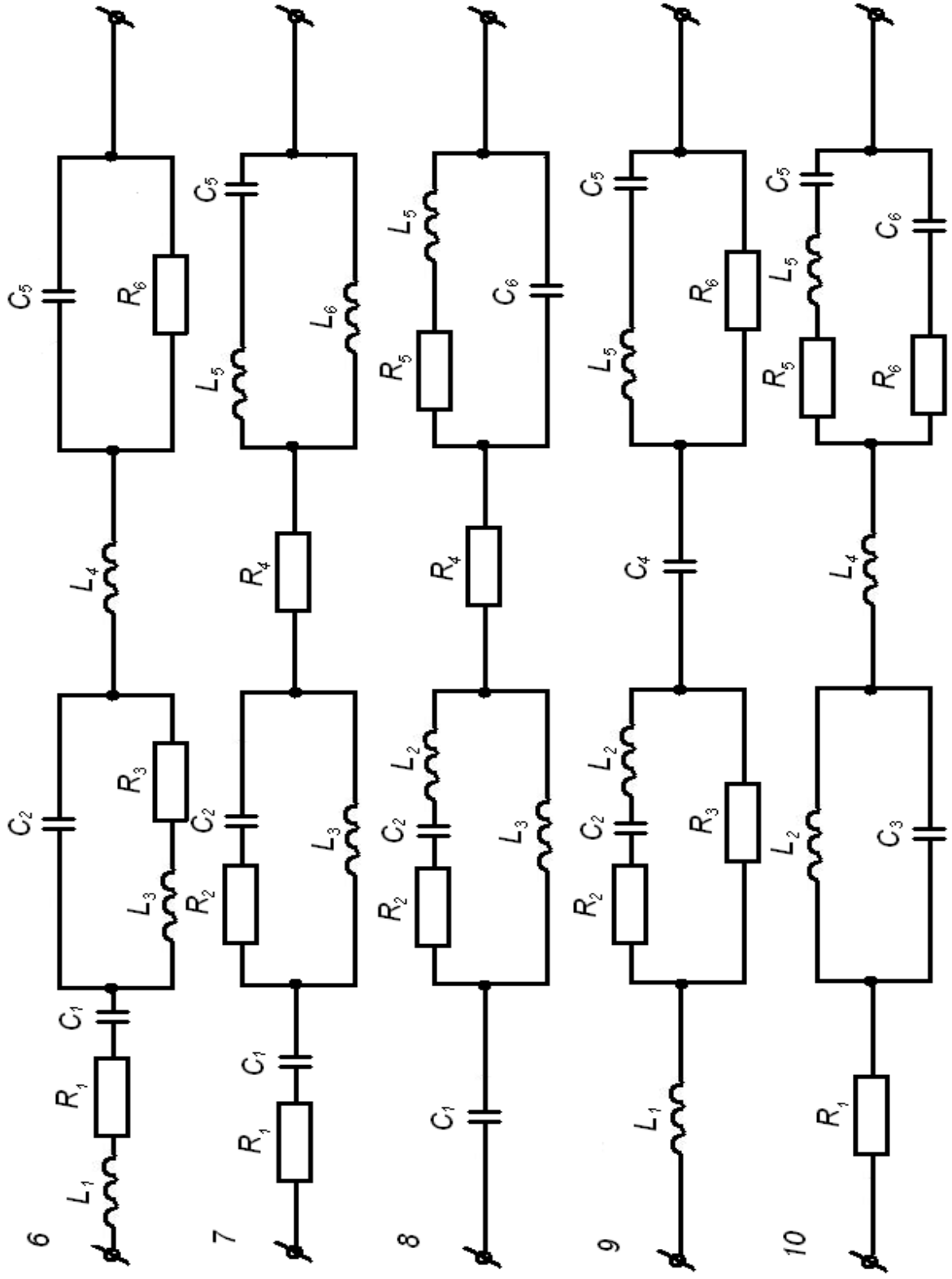


Рис. 2

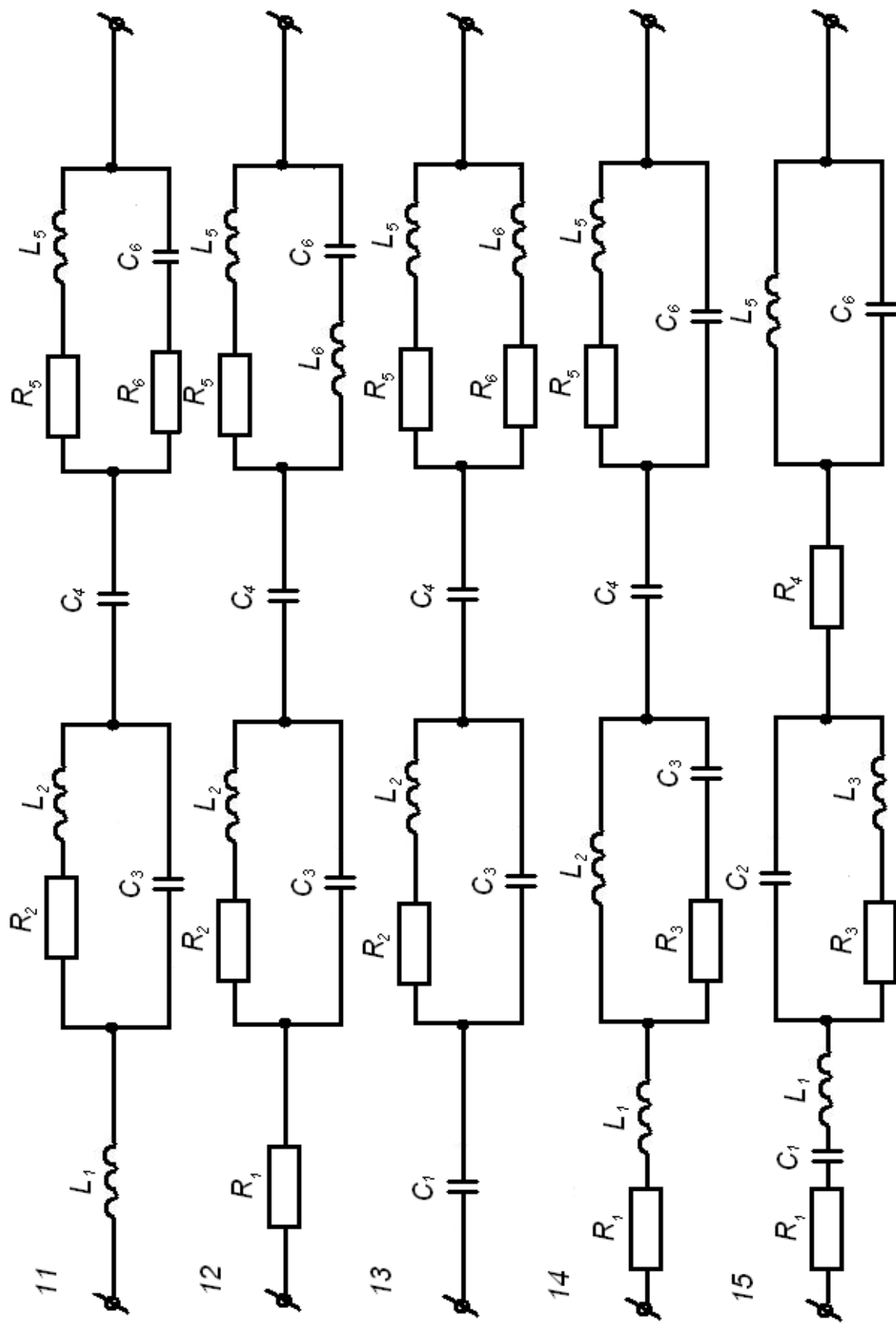


Рис. 3

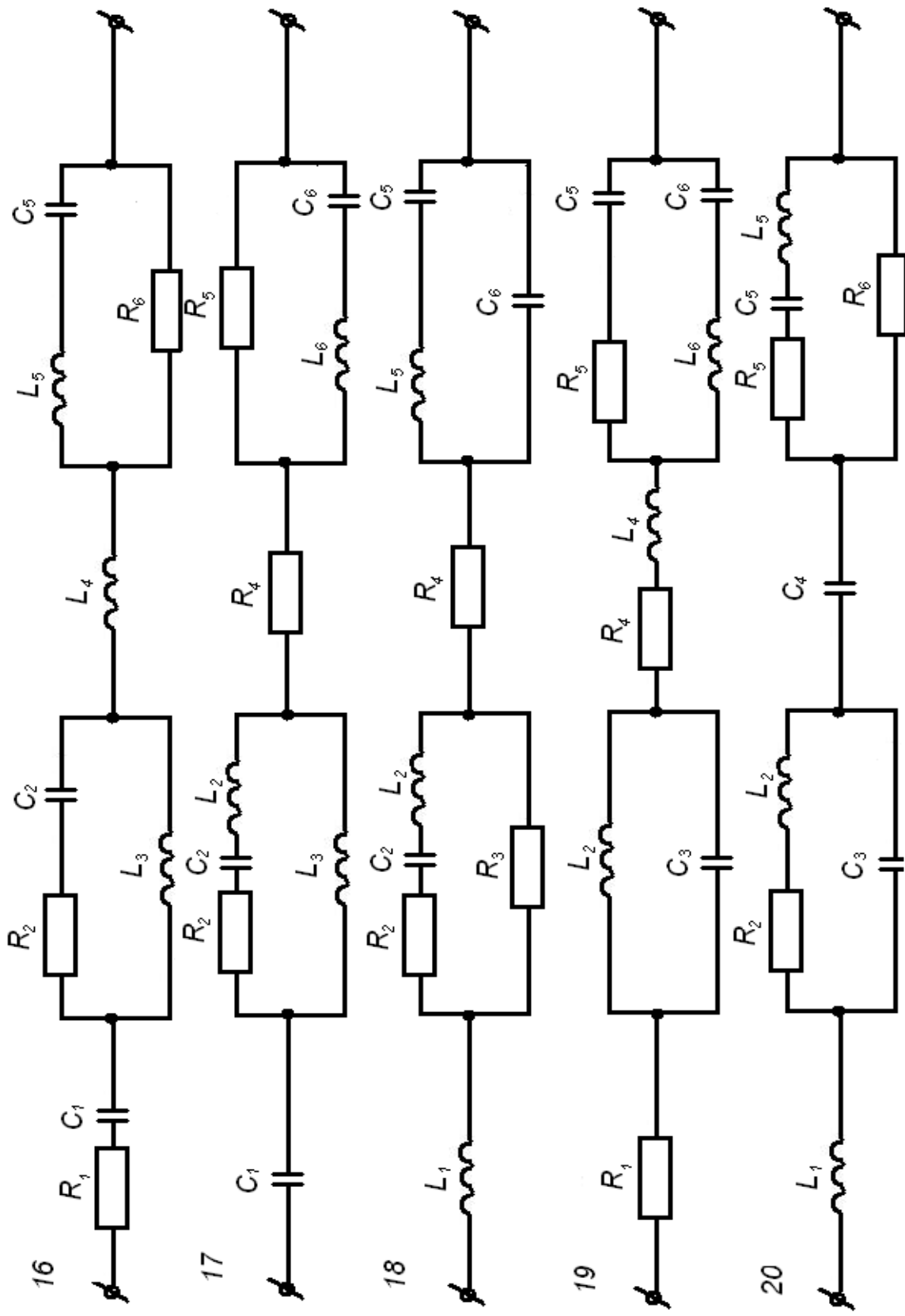


Рис. 4



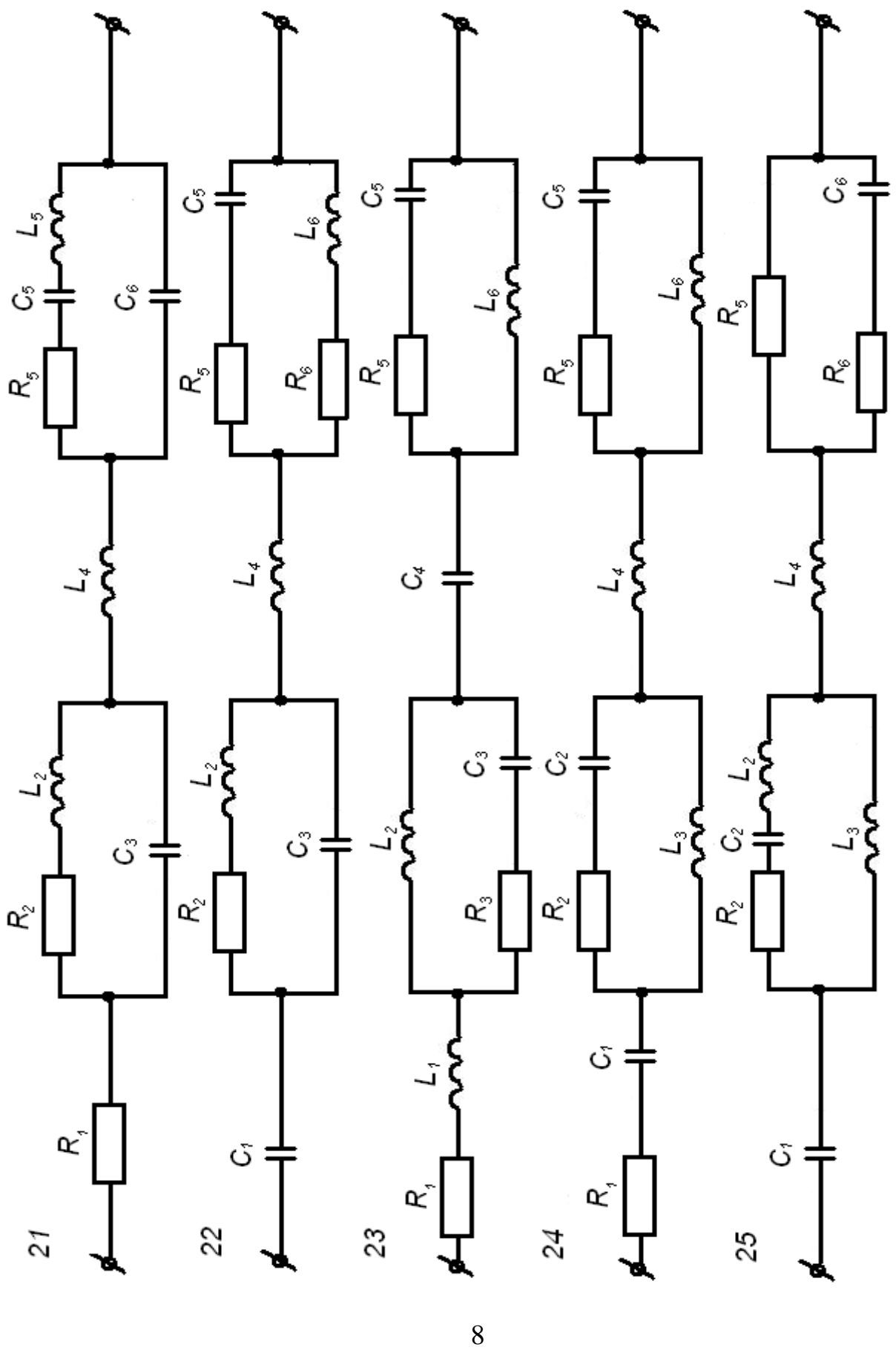


Рис. 5

Таблица

## ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ

Номер строки	$U_{ac}$ , В	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$R_5$ , Ом	$R_6$ , Ом	$L_1$ , мГн	$L_2$ , мГн	$L_3$ , мГн	$L_4$ , мГн	$L_5$ , мГн	$L_6$ , мГн	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкФ	$C_3$ , мкФ	$C_4$ , мкФ	$C_5$ , мкФ	$C_6$ , мкФ
1	127	1	5	10	15	3	7	5	100	30	10	15	70	100	500	950	400	500	750
2	127	2	6	9	14	4	8	10	90	35	30	30	6	200	150	900	500	300	700
3	127	3	7	8	13	5	9	15	80	40	50	45	45	300	250	800	600	200	600
4	220	4	8	7	12	6	10	20	70	45	70	60	40	400	350	700	700	250	550
5	220	5	9	6	11	7	1	25	60	46	90	75	35	500	450	600	800	150	850
6	220	6	10	5	10	8	12	30	50	47	95	90	30	600	550	500	300	100	400
7	220	7	1	4	9	9	13	40	40	48	80	105	15	700	650	400	800	400	150
8	380	8	2	3	8	10	14	45	30	49	60	100	20	800	750	300	150	600	250
9	380	9	3	2	7	11	5	50	20	50	40	70	10	900	300	200	100	700	600
10	380	10	4	1	6	12	16	55	10	70	20	60	5	950	200	100	400	600	900

## 2. Пример расчета цепи

2.1. Схема, заданная для расчета, приведена на рис. 1.

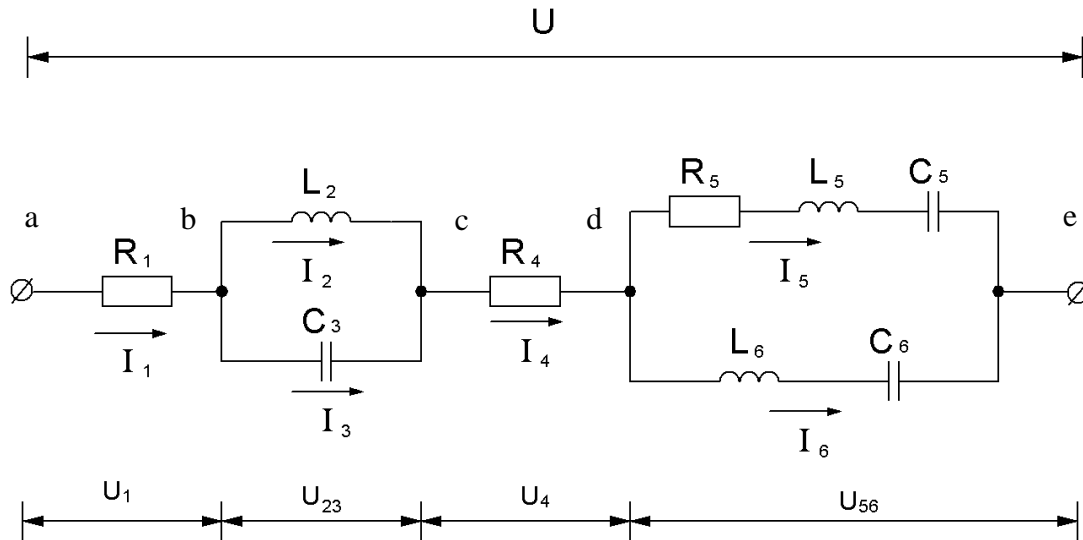


Рис. 6. Расчётная схема

2.2. Данные для расчета

Схема имеет следующие параметры:

$$\begin{array}{lll} R_1 = 5 \text{ Ом}; & L_2 = 60 \text{ мГн}; & C_3 = 600 \text{ мкФ}; \\ R_4 = 11 \text{ Ом}; & L_5 = 75 \text{ мГн}; & C_5 = 150 \text{ мкФ}; \\ R_5 = 7 \text{ Ом}; & L_6 = 35 \text{ мГн}; & C_6 = 250 \text{ мкФ}. \\ U = 380 \text{ В}; & f = 50 \text{ Гц}; & \end{array}$$

2.3. Порядок расчета

2.3.1. Определить:

- а) токи:  $I_1 = I_4$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_5$ ,  $I_6$ ;
- б) мощности всей цепи:
  - активную  $P$  (Вт),
  - реактивную  $Q$  (ВАр),
  - полную  $S$  (ВА).

2.3.2. Построить векторные диаграммы.

## 2.4. Расчет

### 2.4.1. Реактивные сопротивления участков

$$X_1 = 0;$$

$$X_2 = \omega L_2 = 2\pi f L_2,$$

$$X_2 = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 18.8 \text{ Ом};$$

$$X_3 = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{2\pi f C_3},$$

$$X_3 = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 5.3 \text{ Ом};$$

$$X_4 = 0;$$

$$X_5 = \omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5} = 2\pi f L_5 - \frac{1}{2\pi f C_5},$$

$$X_5 = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 75 \cdot 10^{-3} - \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 23.55 - 21.33 = 2.3 \text{ Ом};$$

$$X_6 = \omega L_6 - \frac{1}{\omega C_6} = 2\pi f L_6 - \frac{1}{2\pi f C_6},$$

$$X_6 = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 35 \cdot 10^{-3} - \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 250 \cdot 10^{-6}} = -1.75 \text{ Ом}.$$

### 2.4.2. Полные сопротивления участков

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{5^2 + 0^2} = 5 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{0^2 + 18.8^2} = 18.8 \text{ Ом};$$

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2} = \sqrt{0^2 + 5.3^2} = 5.3 \text{ Ом};$$

$$Z_4 = \sqrt{R_4^2 + X_4^2} = \sqrt{11^2 + 0^2} = 11 \text{ Ом};$$

$$Z_5 = \sqrt{R_5^2 + X_5^2} = \sqrt{7^2 + 2.3^2} = 7.4 \text{ Ом};$$

$$Z_6 = \sqrt{R_6^2 + X_6^2} = \sqrt{0^2 + (-1.75)^2} = 1.75 \text{ Ом}.$$

### 2.4.3. Преобразование заданной схемы в последовательную схему (рис. 7).

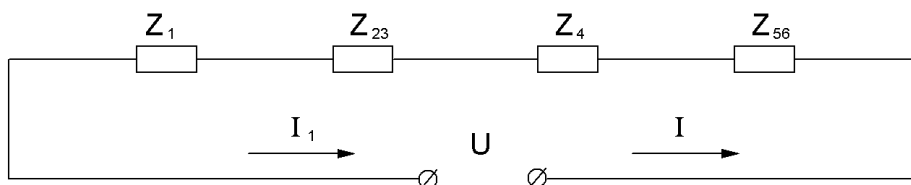


Рис. 7. Преобразование заданной схемы в последовательную

$Z_{23}, Z_{56}$  – полные сопротивления участков, соединенных параллельно.

Сопротивления  $Z_{23}, Z_{56}$  определяются через проводимости отдельных ветвей.

#### 2.4.4. Проводимость участков 2 3

Активные проводимости:

$$g_2 = \frac{R_2^0}{Z_2^2} = 0 ; \text{аналогично } g_3 = 0; g_{23} = g_2 + g_3 = 0.$$

Реактивные проводимости:

$$b_2 = \frac{X_2}{Z_2^2} = \frac{18.84}{18.84^2} = 0.053 \text{ Сим};$$

$$b_3 = \frac{X_3}{Z_3^2} = \frac{-5.3}{5.3^2} = -0.188 \text{ Сим};$$

$b_3$  - проводимость на третьем участке обусловлена одиночным конденсатором, поэтому ее нужно взять с отрицательным знаком.

$$b_{23} = \bar{b}_2 + \bar{b}_3 = 0.053 - 0.188 = -0.13 \text{ Сим}.$$

Полная проводимость:

$$y_{23}^2 = g_{23}^2 + b_{23}^2 = 0^2 - 0.13^2 = 0.017 \text{ Сим}^2.$$

#### 2.4.5. Сопротивление участков 2 3

Активное:  $R_{23} = \frac{g_{23}}{y_{23}^2} = 0.$

Реактивное:  $X_{23} = \frac{b_{23}}{y_{23}^2} = \frac{-0.13}{0.018} = -7.41 \text{ Ом}.$

Полное:  $Z_{23} = \sqrt{R_{23}^2 + X_{23}^2} = \sqrt{0^2 + 7.41^2} = 7.41 \text{ Ом}.$

#### 2.4.6. Проводимости участков 5 6

Активные:  $g_5 = \frac{R_5}{Z_5^2} = \frac{7}{23.52^2} = 0.0116 \text{ Сим};$

$$g_6 = 0;$$

$$g_{56} = g_5 + g_6 = 0 + 0.0116 \text{ Сим};$$

Реактивные:  $b_5 = \frac{X_5}{Z_5^2} = \frac{23.52}{24.54^2} = -0.39 \text{ Сим};$

$$b_6 = \frac{X_6}{Z_6^2} = \frac{-1.75}{1.75^2} = -0.57 \text{ Сим};$$

$$b_{56} = \bar{b}_5 + \bar{b}_6,$$

$$b_{56} = 0.039 - 0.57 = -0.533 \text{ Сим}.$$

Полная проводимость:  $y_{56}^2 = g_{56}^2 + b_{56}^2 = 0.0116^2 + 0.533^2 = 0.284 \text{ Сим}^2$ .

Активное сопротивление:  $R_{56} = \frac{g_{56}}{b_{56}^2} = R \frac{0.0116}{0.533^2} = 0.04 \text{ Ом}$ .

Реактивное сопротивление:  $X_{56} = \frac{b_{56}}{y_{56}^2} = -\frac{0.533}{0.284^2} = 0.611 \text{ Ом}$ .

#### 2.4.7. Сопротивление всей цепи

Активное:  $R = R_1 + R_{23} + R_4 + R_{56} = R = 5 + 0 + 11 + 0.04 = 16 \text{ Ом}$ .

Реактивное:  $\bar{X} = \bar{X}_1 + \bar{X}_{23} + \bar{X}_4 + \bar{X}_{56} = 0 - 7.41 + 0 - 0.611 = -1.02 \text{ Ом}$ .

Полное:  $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{16^2 + (-8.02)^2} = 17.9 \text{ Ом}$ .

#### 2.4.8. Угол отставания силы тока от напряжения в цепи

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \varphi = \arctg \frac{-8.02}{16} = -26^\circ 56'.$$

#### 2.4.9. Сила тока в цепи

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{380}{17.9} = 12.3 \text{ A}.$$

#### 2.4.10. Расчет напряжений и фазовых углов на отдельных участках

$$U_1 = I \cdot Z_1 = 12.3 \cdot 5 = 61.4 \text{ B};$$

$$U_{23} = I \cdot Z_{23} = 12.3 \cdot 7.41 = 91.065 \text{ B};$$

$$U_4 = I \cdot Z_4 = 12.3 \cdot 11 = 135 \text{ B};$$

$$U_{56} = I \cdot Z_{56} = 12.3 \cdot 0.373 = 4.58 \text{ B}.$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1} = \arctg \frac{0}{5} = 0^\circ;$$

$$\varphi_{23} = \arctg \frac{X_{23}}{R_{23}} = \arctg \frac{-7.417}{0} = -90^\circ;$$

$$\varphi_4 = \arctg \frac{X_4}{R_4} = \arctg \frac{0}{11} = 0^\circ;$$

$$\varphi_{56} = \arctg \frac{X_{56}}{R_{56}} = \arctg \frac{-0.611}{0.018} = -88^\circ 3'.$$

По полученным расчетным результатам построена векторная диаграмма (рис. 8).

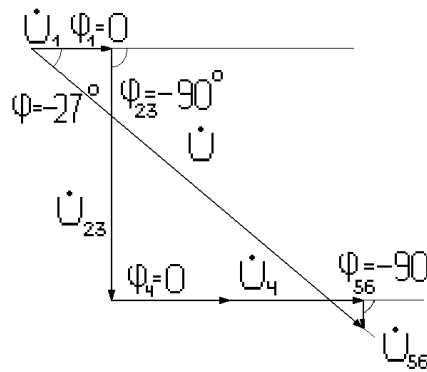


Рис.8. Векторная диаграмма напряжений по уравнению (1).

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_{23} + \dot{U}_4 + \dot{U}_{56}. \quad (1)$$

#### 2.4.11. Сила тока на участках цепи

$$I_2 = \frac{U_{23}}{Z_2} = \frac{91.065}{18.840} = 4.83 \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{Z_3} = \frac{91.065}{5.307} = 17.3 \text{ A};$$

$$I_5 = \frac{U_{56}}{Z_5} = \frac{4.587}{24.548} = 0.186 \text{ A};$$

$$I_6 = \frac{U_{56}}{Z_6} = \frac{4.587}{1.748} = 2.61 \text{ A}.$$

#### 2.4.12. Фазы токов.

$$\varphi_2 = \arctg \frac{X_2}{R_2} = \arctg \frac{19}{0} = \arctg \infty = 90^\circ;$$

$$\varphi_3 = \arctg \frac{X_3}{R_3} = \arctg \frac{-5.3}{0} = \arctg -\infty = -90^\circ;$$

$$\varphi_5 = \arctg \frac{X_5}{R_5} = \arctg \frac{23.5}{7} = 71^\circ 40';$$

$$\varphi_6 = \arctg \frac{X_6}{R_6} = \arctg \frac{-1.74}{0} = -90^\circ.$$

Векторные диаграммы строятся для токов (рис. 9):

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3. \quad (2)$$

Угол  $\varphi_2$  - в сторону отставания на  $90^\circ$ .

Угол  $\varphi_3$  - откладываем от вектора  $U_{23}$  (см. рис. 7) в сторону опережения токов на  $90^\circ$ .

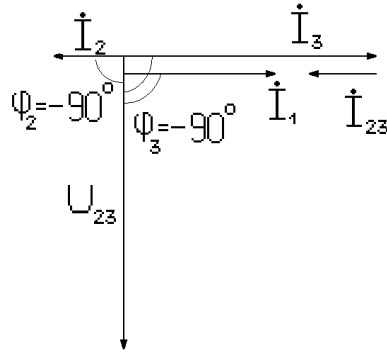


Рис. 9. Векторная диаграмма по уравнению (2)

Векторная диаграмма для токов (рис. 10):

$$\dot{I}_4 = \dot{I}_5 + \dot{I}_6. \quad (3)$$

Углы  $\varphi_5, \varphi_6$  откладываются от вектора  $U_{56}$  (см. рис. 8).

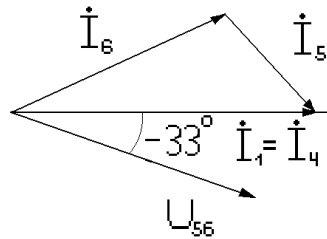


Рис. 10. Векторная диаграмма по уравнению (3)

### 2.4.13. Активная мощность цепи

Мощности на участках:

- первый  $P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 12.3^2 \cdot 5 = 753.7$  Вт.
- второй  $P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = 4.83 \cdot 0 = 0$ .
- третий  $P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 17.1^2 \cdot 0 = 0$ .
- четвертый  $P_4 = I_4^2 \cdot R_4 = 12.3^2 \cdot 11 = 1658.2$  Вт.
- пятый  $P_5 = I_5^2 \cdot R_5 = 0.186^2 \cdot 7 = 0.242$  Вт.
- шестой  $P_6 = I_6^2 \cdot R_6 = 2.61^2 \cdot 0 = 0$ .

Активная мощность всей цепи:

$$P = P_1 + P_2 = P_3 + P_4 + P_5 + P_6,$$

$$P = 753.7 + 0 + 0 + 1658.2 + 0.242 + 0 = 2412.1 \text{ Вт.}$$



#### 2.4.14. Реактивная мощность цепи

Реактивные мощности на участках:

- первый  $Q_1 = I_1^2 \cdot X_1 = 12.3^2 \cdot 0 = 0$ .

- второй  $Q_2 = I_2^2 \cdot X_2 = 4.8^2 \cdot 18.8 = 440.06 \text{ ВАр}$ .

- третий  $Q_3 = I_3^2 \cdot X_3 = 17.1^2 \cdot (-5.3) = -1562.5 \text{ ВАр}$ .

- четвертый  $Q_4 = I_4^2 \cdot X_4 = 12.278^2 \cdot 0 = 0$ .

- пятый  $Q_5 = I_5^2 \cdot X_5 = Q_5 = 0.186^2 \cdot 23.529 = 0.814 \text{ ВАр}$ .

- шестой  $Q_6 = I_6^2 \cdot X_6 = 2.618^2 \cdot (-1.748) = -11.98 \text{ ВАр}$ .

Суммарная реактивная мощность:

$$\bar{Q} = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3 + \bar{Q}_4 + \bar{Q}_5 + \bar{Q}_6,$$

$$\bar{Q} = 0 + 440.06 - 1562.5 + 0 + 0.814 - 11.98 = -1133.606 \text{ ВАр}.$$

Полная мощность всей цепи:

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

$$S = \sqrt{2412.142^2 + 1133.606^2} = 2412.168 \text{ ВА}.$$

#### 2.4.15. Угол $\varphi$ (эквивалентный угол цепи).

$$\varphi = \arctg \pm \frac{Q}{P} = \arctg \frac{-1133.606}{2412.142} = -65^\circ.$$

Вывод: поскольку в расчетной схеме угол  $\varphi = -27^\circ$ , то характер нагрузки рассчитанной цепи активно-емкостный.