



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 φ 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.

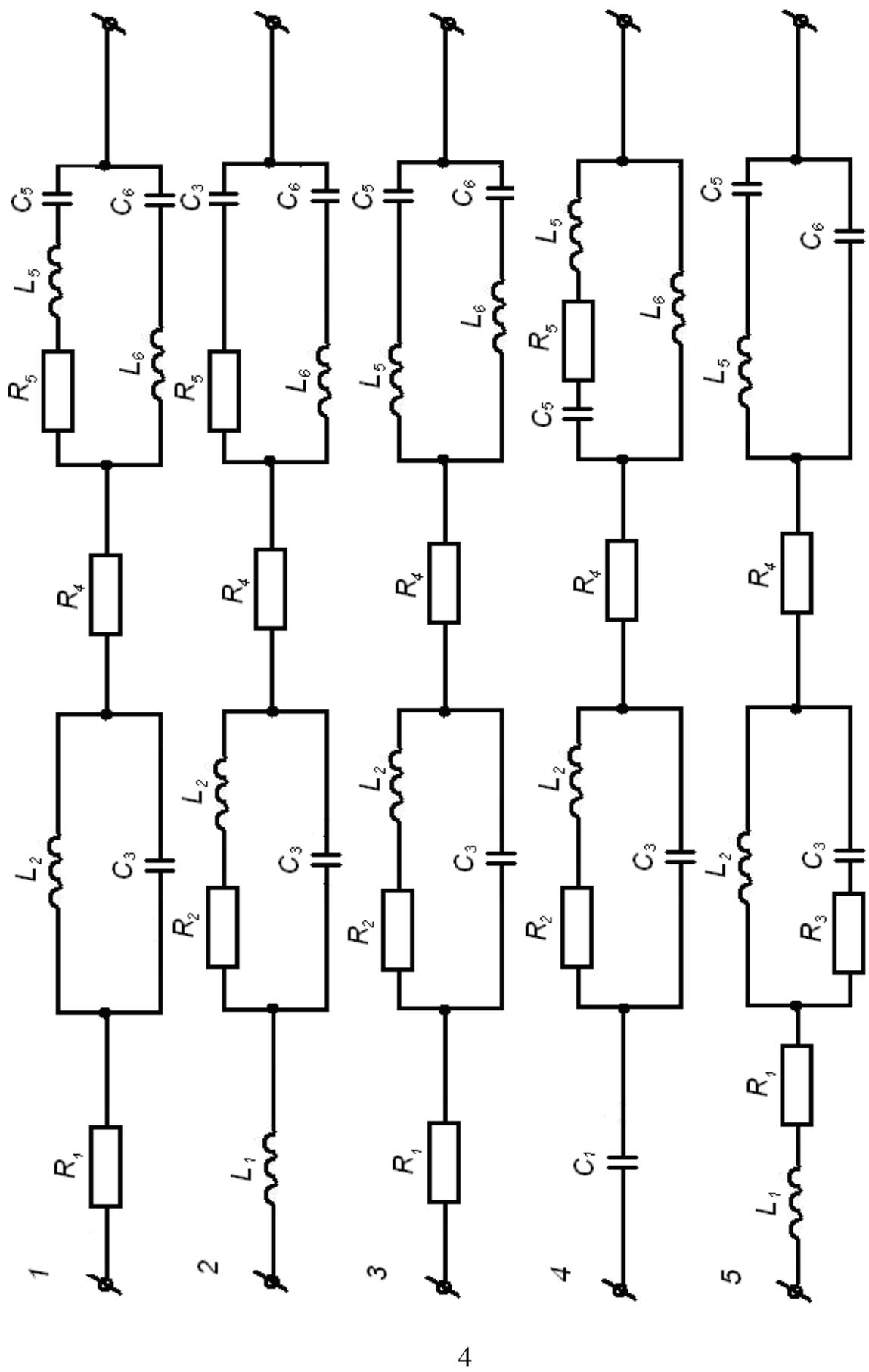


Рис. 1

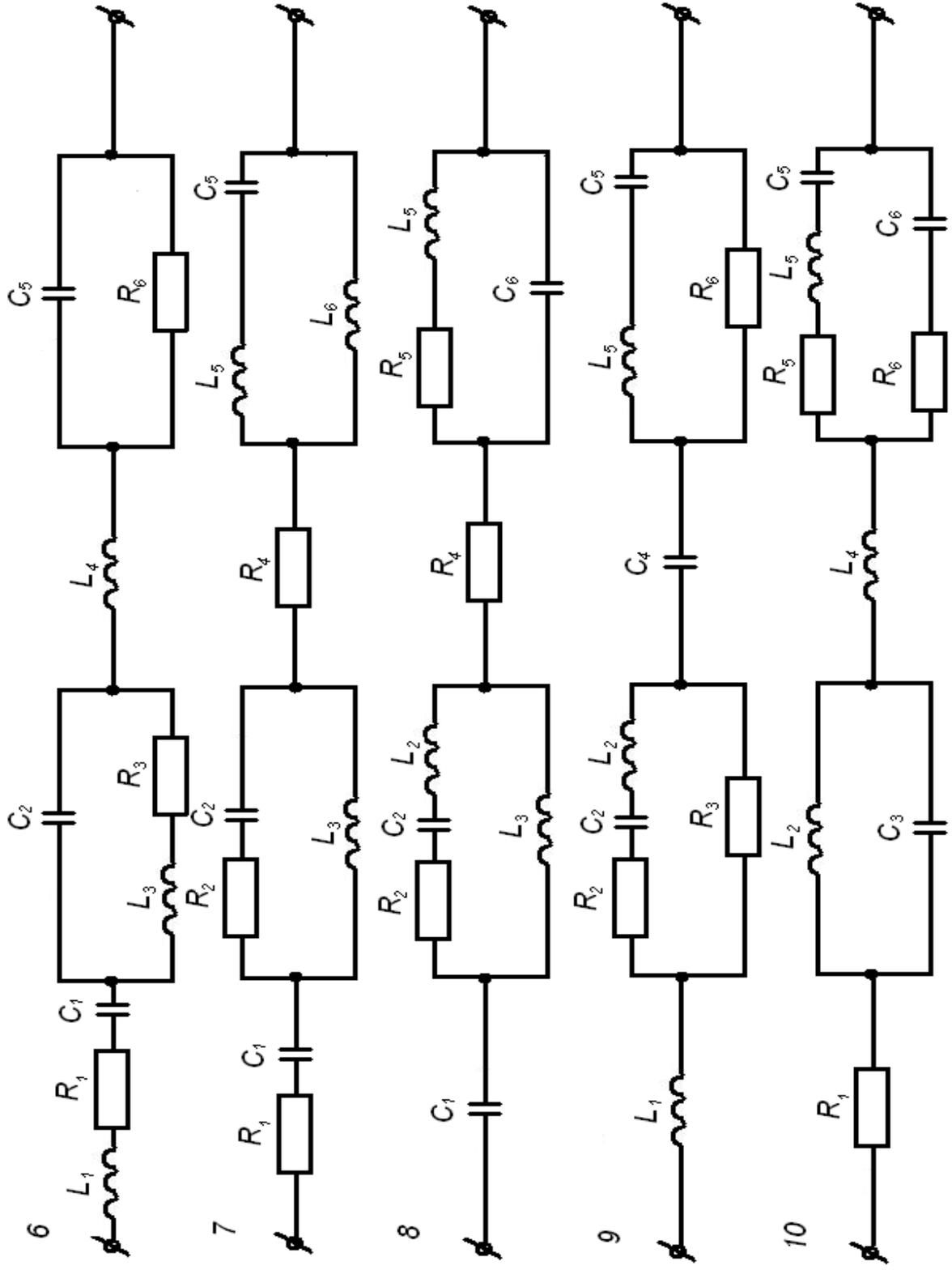


Рис. 2

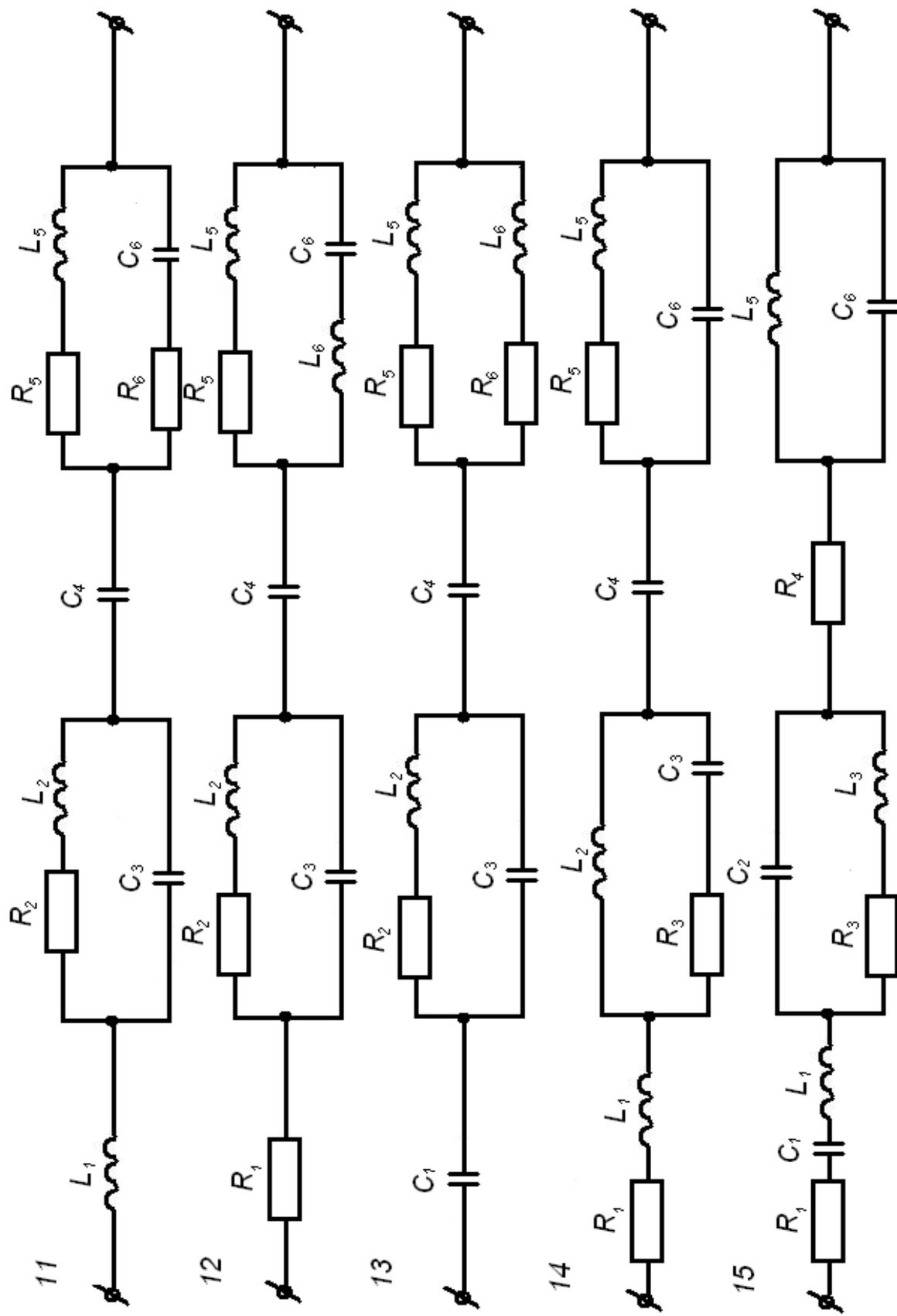


Рис. 3

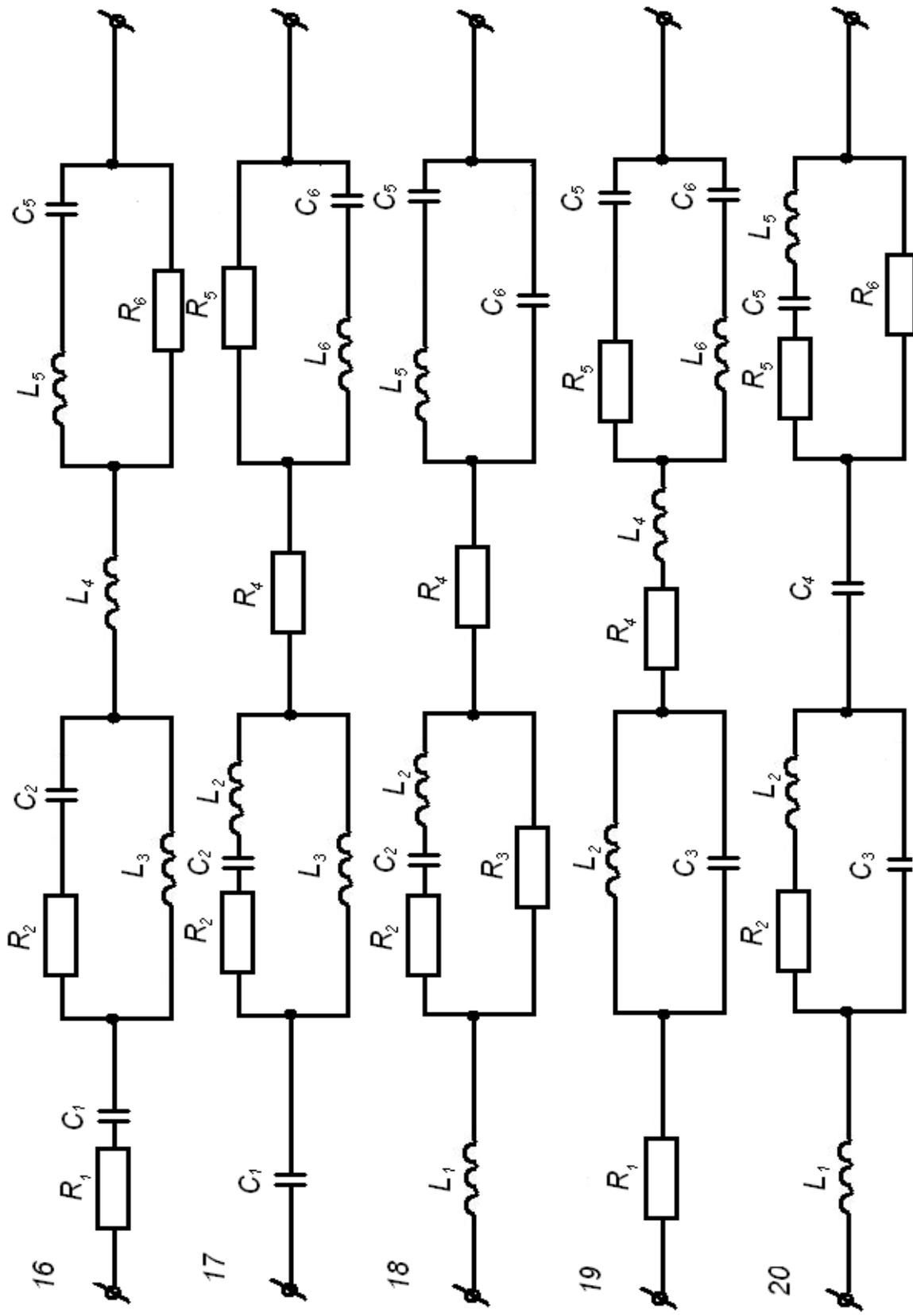


Рис. 4

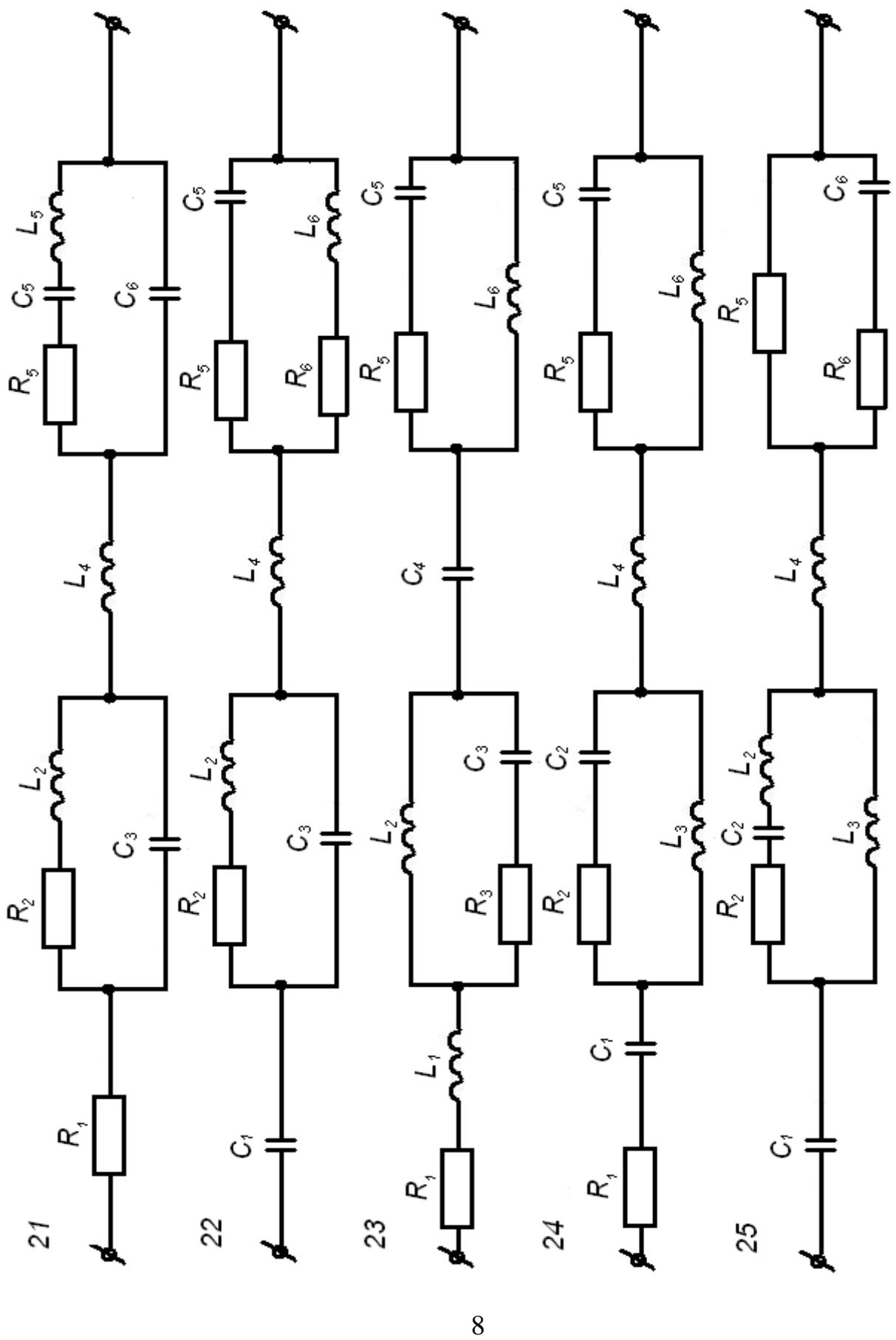


Рис. 5

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.

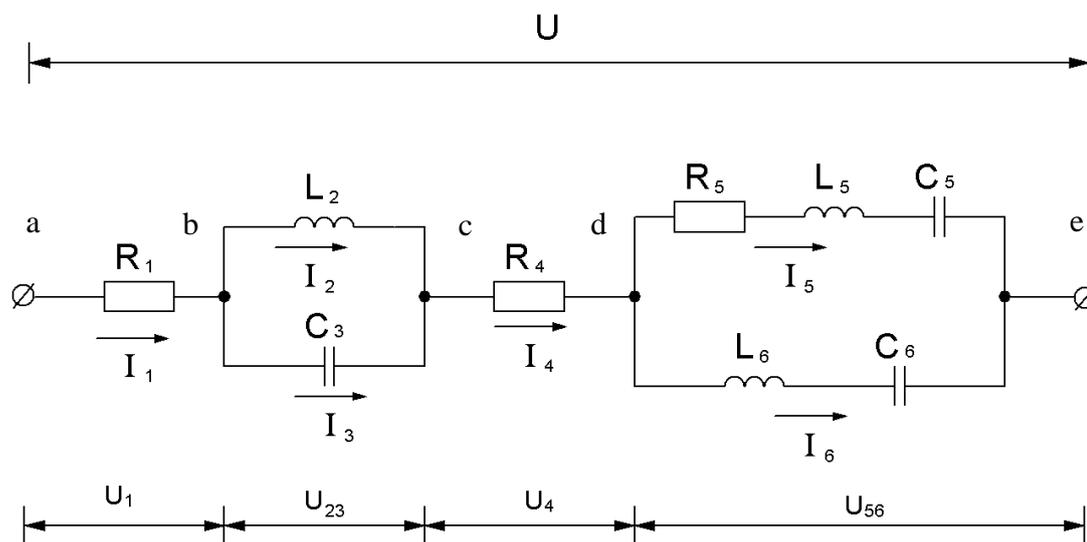


Рис. 6. Расчётная схема

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).

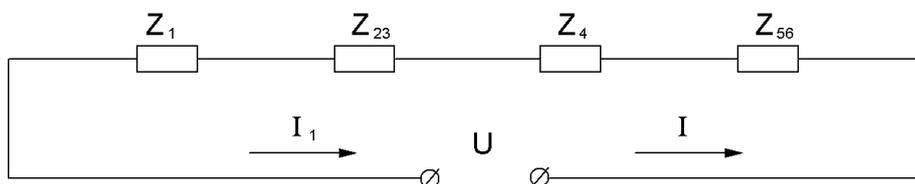


Рис. 7. Преобразование заданной схемы в последовательную

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).

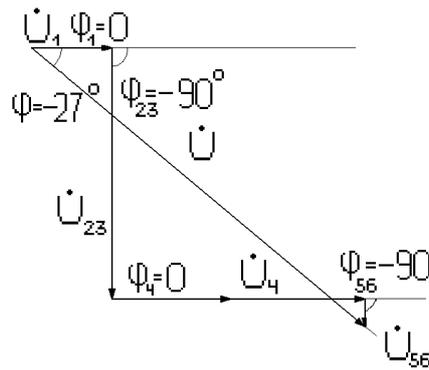


Рис.8. Векторная диаграмма напряжений по уравнению (1).

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_{24} + \dot{U}_4 + \dot{U}_{56}. \quad (1)$$

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 φ_2 - в сторону отставания на 90° .

Угол φ_3 - откладываем от вектора U_{23} (см. рис. 7) в сторону опережения токов на 90° .

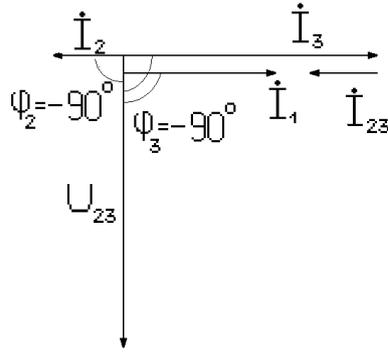


Рис. 9. Векторная диаграмма по уравнению (2)

Векторная диаграмма для токов (рис. 10):

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

Углы φ_5, φ_6 откладываются от вектора U_{56} (см. рис. 8).

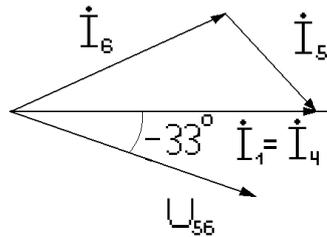


Рис. 10. Векторная диаграмма по уравнению (3)

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 φ (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.