

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР)

Факультет вычислительных систем (ФВС)  
Кафедра Моделирования и системного анализа (МиСА)

В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, В.И. Хатников,  
Т.В. Ганджа

## **СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Часть 1

Установившиеся режимы  
в линейных электрических цепях

Сборник задач для проведения практических занятий по  
дисциплинам «Теоретические основы электротехники», «Анализ  
динамических систем», «Теория цепей и сигналов»

Томск – 2015

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Ю.А. Шурыгин,  
канд. техн. наук, доцент В.Г. Баранник

В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, В.И. Хатников, Т.В. Ганджа.  
Сборник задач по теоретическим основам электротехники: Ч. 1:  
Установившиеся режимы в линейных электрических цепях. Сбор-  
ник задач. — Томск: Томский государственный университет си-  
стем управления и радиоэлектроники. Факультет вычислительных  
систем. Кафедра моделирования и системного анализа, 2015. –  
96 с.

Рассмотрены установившиеся режимы в линейных электри-  
ческих цепях постоянного и переменного тока с сосредоточенны-  
ми и распределенными параметрами.

Книга подготовлена на кафедре моделирования и системно-  
го анализа ТУСУРа и предназначена проведения практических за-  
нятий по дисциплинам «Теоретические основы электротехники и  
электроники», «Анализ динамических систем» или «Теория цепей  
и сигналов».

© В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, В.И. Хатников, Т.В. Ганджа  
2015.

© Факультет вычислительных систем, кафедра моделирования и  
системного анализа, 2015.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ. АНАЛИЗ ПРОСТЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ .....	5
ТЕМА 2. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.....	16
ТЕМА 3. ПРИНЦИПЫ И ТЕОРЕМЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ.....	23
ТЕМА 4. АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.....	28
ТЕМА 5. ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ.....	36
ТЕМА 6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	40
ТЕМА 7. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ.....	47
ТЕМА 8. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ .....	59
ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ .....	64
ОТВЕТЫ .....	87
ЛИТЕРАТУРА .....	94

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сборник задач предназначен для самостоятельной работы студентов всех форм обучения. Содержание данного пособия соответствует объему курсов «Теоретические основы электротехники» и «Основы теории электрических цепей» и отвечает требованиям ГОСа по названным дисциплинам учебного плана подготовки инженеров радиоэлектронных специальностей.

Сборник представляет собой твердую копию компьютерного задачника, который в свою очередь является частью компьютерного учебного пособия.

# ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ. АНАЛИЗ ПРОСТЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Пример 1.1.** Дано: в цепи переменного тока частотой  $f=50$  Гц известны  $U_C = 15$  В,  $L=100$  мГн,  $C = 500$  мкФ,  $R_1=15$  Ом,  $R_2=20$  Ом.

Рассчитать напряжение на каждом элементе схемы, ток и общее напряжение.

Решение

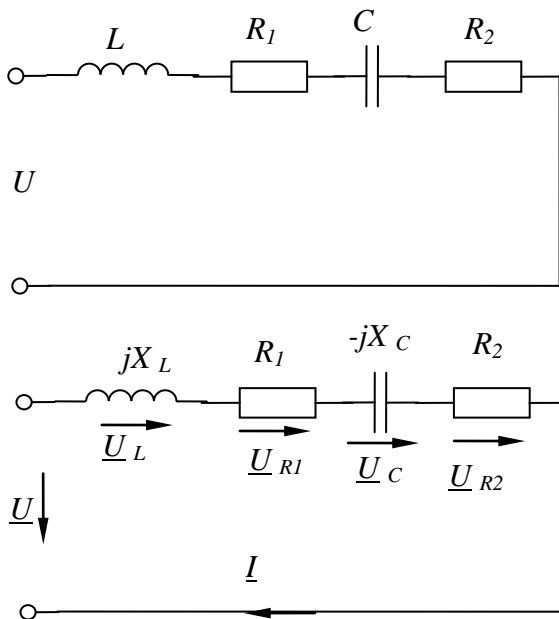


Рис. 1.1

Угловая частота

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Сопротивления элементов цепи

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 0.1 = 31.4 \text{ Ом};$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 500 \cdot 10^{-6}} = 6.37 \text{ Ом}.$$

Входное сопротивление

$$\underline{Z} = R_1 + R_2 + jX_L - jX_C = 15 + 20 + j31.4 - j6.37 = 35 + j25 = 43e^{j35.6^\circ} \text{ М}.$$

Общее напряжение

$$\underline{U} = \underline{I}(R_1 + R_2 + jX_L) + \underline{U}_C = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}}(R_1 + R_2 + jX_L) + \underline{U}_C;$$

$$\underline{U} = \frac{\underline{U}_C}{1 - \frac{R_1 + R_2 + jX_L}{\underline{Z}}} = \frac{-j15}{1 - \frac{15 + 20 + j31.4}{43e^{j35.6^\circ}}} =$$

$$= 82.4 + j58.9 = 101e^{j35.6^\circ} \text{ В}.$$

Входной ток

$$\underline{I} = \frac{101e^{j35.6^\circ}}{43e^{j35.6^\circ}} = 2.35 \text{ А}.$$

Напряжения на элементах цепи

$$\underline{U}_{R1} = \underline{I}R_1 = 2.35 \cdot 15 = 35.3 \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{I}R_2 = 2.35 \cdot 20 = 47.0 \text{ В};$$

$$\underline{U}_L = \underline{I}jX_L = 2.35 \cdot j31.4 = j73.9 \text{ В}.$$

$$\text{Ответ: } \underline{U}_{R1} = 35.3 \text{ В}; \underline{U}_{R2} = 47.0 \text{ В}; \underline{U}_L = j73.9 \text{ В};$$

$$\underline{I} = 2.35 \text{ А}; \underline{U} = 101e^{j35.6^\circ} \text{ В}.$$

**Пример 1.2.** Комплексная амплитуда гармонического тока

ка  $i = 5 \sin \left[ 10^3 t + \frac{\pi}{3} \right]$  равна  $\underline{I}_m = 5e^{j\frac{\pi}{3}}$ , а комплексная ампли-

туда гармонического напряжения  $u = 50 \sin 10^5 t$  —  
 $\underline{U}_m = 50 e^{j0} = 50$ .

**Пример 1.3.** Определить эквивалентное комплексное сопротивление двухполюсника относительно входных зажимов (рис. 1.2,а).

*Решение.* Комплексное сопротивление схемы замещения электрической цепи (рис. 1.2, б):

$$\underline{Z} = jX_L + \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C}.$$

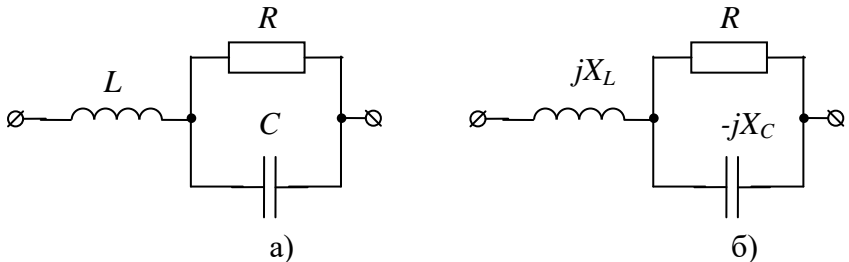


Рис. 1.2

**Пример 1.4.** Составить основные системы уравнений в комплексной форме для схемы (рис. 1.3).

*Решение.* Токи  $\underline{I}_1$  и  $\underline{I}_2$ , протекающие через индуктивности, различны, и напряжения на элементах связи в разных контурах также различны.

Уравнения по законам Кирхгофа:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \underline{I}_3 &= 0; \\ \underline{U}_{L1} + \underline{U}_R + \underline{U}_C &= \underline{E}; \\ \underline{U}_{L2} - \underline{U}_R &= 0. \end{aligned}$$

Компонентные уравнения:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{L1} &= j\omega L_1 \underline{I}_1 + j\omega M \underline{I}_2; \\ \underline{U}_R &= R \underline{I}_3; \end{aligned}$$

$$\underline{U}_C = -\frac{j}{\omega C} \underline{I}_1;$$

$$\underline{U}_{L2} = j\omega L_2 \underline{I}_2 + j\omega M \underline{I}_1.$$

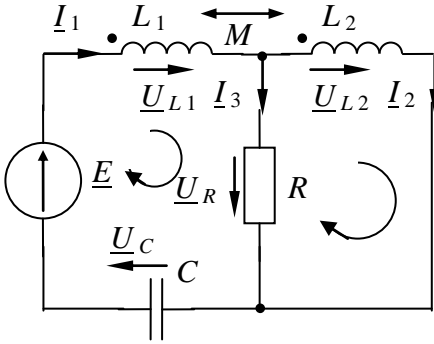


Рис. 1.3

**Пример 1.5.** К сети переменного тока подсоединены параллельно три приемника энергии с активной мощностью  $P_1 = 6 \text{ кВт}$ ,  $P_2 = 4 \text{ кВт}$ ,  $P_3 = 12 \text{ кВт}$  и коэффициентами мощности  $\cos \varphi_1 = 0,2$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,8$ ,  $\cos \varphi_3 = 0,6$ . Первый и третий приемники имеют активно-индуктивный характер, а второй – активно-емкостный. *Рассчитать* активную, реактивную и полную мощности сети, а также общий коэффициент мощности.

*Решение*

Активная мощность сети

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 6 + 4 + 12 = 22 \text{ кВт}.$$

Углы нагрузки приемников

$$\varphi_1 = \arccos 0.2 = 78.5^\circ; \varphi_2 = \arccos 0.8 = 36.9^\circ; \varphi_3 = \arccos 0.6 = 53.1^\circ.$$

Реактивные мощности приемников (рис. 1)



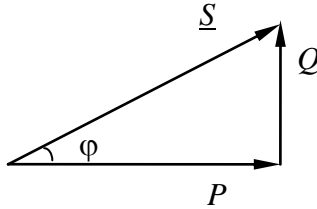


Рис. 1.4

$$Q_1 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_1 = 6 \cdot \operatorname{tg} 78.5^\circ = 29.4 \text{ квар};$$

$$Q_2 = -P_2 \operatorname{tg} \varphi_2 = -4 \cdot \operatorname{tg} 36.9^\circ = -3 \text{ квар};$$

$$Q_3 = P_3 \operatorname{tg} \varphi_3 = 12 \cdot \operatorname{tg} 53.1^\circ = 16 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность сети

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 29.4 - 3 + 16 = 42.4 \text{ квар}.$$

Полная мощность сети

$$\underline{S} = P + jQ = 22 + j42.4 = 47.8 e^{j62.6^\circ} \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Общий коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{22}{47.8} = 0.461.$$

Ответ:  $P = 22 \text{ кВт}; Q = 42.4 \text{ квар};$

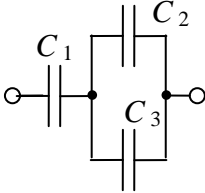
$$\underline{S} = 22 + j42.4 = 47.8 e^{j62.6^\circ} \text{ кВ} \cdot \text{А}; \cos \varphi = 0.461.$$

### Задачи

- 1.1. Угловая частота переменного тока  $\omega = 500 \text{ с}^{-1}$ . Определить период  $T$ .
- 1.2. Две реальные катушки индуктивности с параметрами  $R_1 = 10 \text{ Ом}, L_1 = 0,3 \text{ Гн}, R_2 = 20 \text{ Ом}, L_2 = 0,6 \text{ Гн}$  соединены последовательно. Определить параметры  $R_3$  и  $L_3$  эквивалентной схемы замещения.

- 1.3. Два конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно и включены в сеть с напряжением  $U = \text{const}$ . Как распределятся напряжения на конденсаторах, если  $C_1 = 2C_2$ ?

1.4.

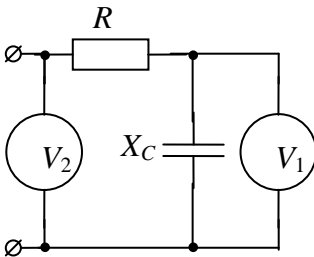


Три конденсатора соединены, как показано на схеме. Определить их эквивалентную емкость  $C_э$ .

- 1.5. Для цепи синусоидального тока с параметрами  $R = 32 \text{ Ом}$  и  $X_L = 24 \text{ Ом}$  определить мгновенное значение входного напряжения  $u(t)$ , если ток  $i(t) = 4 \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ А}$ .

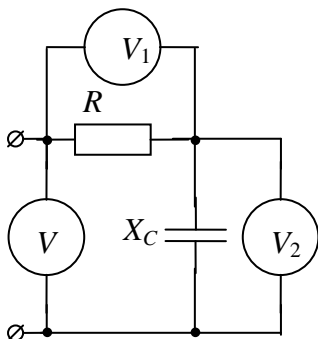
- 1.6. В цепи синусоидального тока с параметрами  $R = 40 \text{ Ом}$  и  $X_C = 40 \text{ Ом}$  мгновенное напряжение на конденсаторе  $u_C(t) = 240 \sin(\omega t + 150^\circ) \text{ В}$ . Определить  $u(t)$  на входе цепи.

1.7.



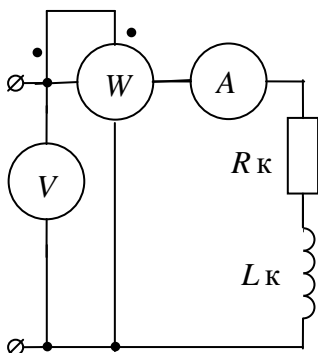
В цепи с параметрами  $R = 16 \text{ Ом}$  и  $X_C = 12 \text{ Ом}$  включены два вольтметра электромагнитной системы. Напряжение  $U_{V_1} = 24 \text{ В}$ . Определить  $U_{V_2}$ .

1.8.



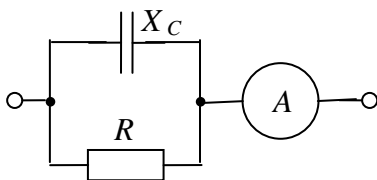
Чему равно показание вольтметра  $V$ , включенного на входе схемы, если  $U_{V_1} = 48 \text{ В}$ ,  $U_{V_2} = 64 \text{ В}$ ? Все вольтметры — электромагнитной системы.

1.9.



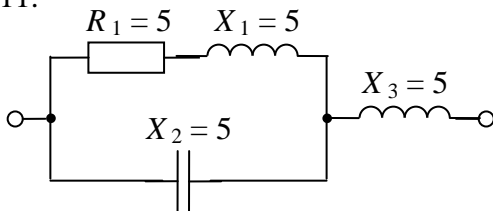
В цепи переменного тока показания приборов на частоте  $f = 50 \text{ Гц}$ :  $P_W = 40 \text{ Вт}$ ;  $U_V = 80 \text{ В}$ ;  $I_A = 2 \text{ А}$ . Определить параметры катушки  $R_k$  и  $L_k$ .

1.10.



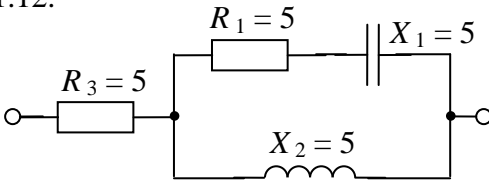
В цепи переменного тока  $R = X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $U = 20 \text{ В}$ . Определить показание амперметра электромагнитной системы.

1.11.



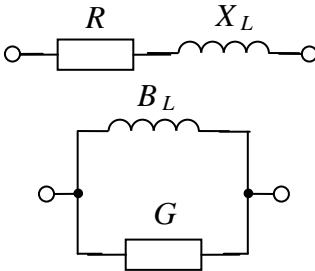
Определить эквивалентные активное  $R$  и реактивное  $X$  сопротивления схемы. На рисунке сопротивления даны в омах.

1.12.



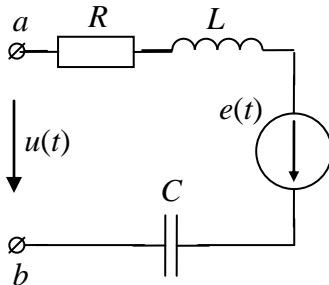
Определить комплекс полного сопротивления схемы. На рисунке сопротивления даны в омах.

1.13.



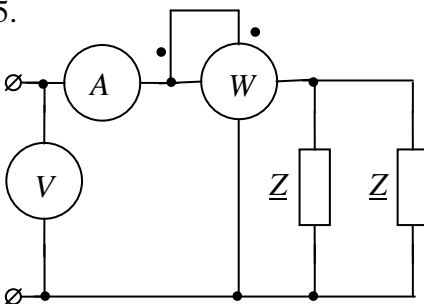
Определить параметры ( $g$ ,  $b_L$ ) параллельной схемы замещения реальной катушки индуктивности с параметрами  $R = X_L = 20$  Ом.

1.14.



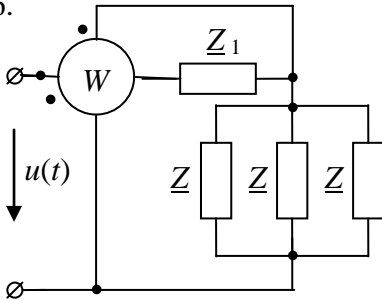
Определить амплитуду входного напряжения  $\underline{U}_{mab}$ , если ток  $i(t) = 1 \sin \omega t$  А,  $R = X_L = X_C = 10$  Ом,  $e(t) = 10 \sin(\omega t + 90^\circ)$  В.

1.15.



В схеме  $I_A = 10$  А,  $U_V = 141$  В. Эквивалентное сопротивление схемы  $\underline{Z}_\varnothing = R_\varnothing + j X_\varnothing$ , где  $R_\varnothing = X_\varnothing$ . Определить показание ваттметра.

1.16.

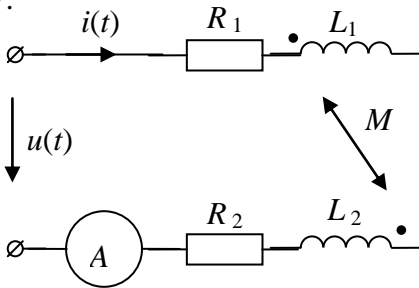


Определить показание ваттметра, если  $\underline{U} = 200$  В,

$$\underline{Z} = 30e^{j60^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_1 = 10e^{j60^\circ} \text{ Ом}.$$

1.17.



Определить  $I_A$  и мгновенное значение тока

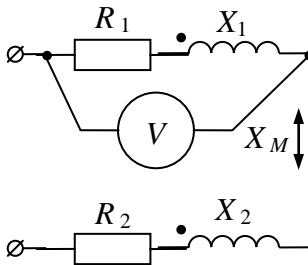
$i(t)$ , если  $\underline{U} = 250$  В,

$$X_{L1} = 5 \text{ Ом}, X_{L2} = 7 \text{ Ом},$$

$$R_1 = R_2 = 7,5 \text{ Ом},$$

$$X_M = 4 \text{ Ом}.$$

1.18.



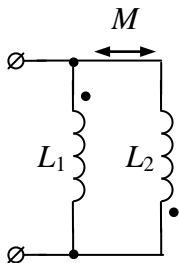
Определить напряжение

$U_{R1}$ , если показание вольтметра электромагнитной системы

$$U_V = 120 \text{ В},$$

$$X_1 = X_M.$$

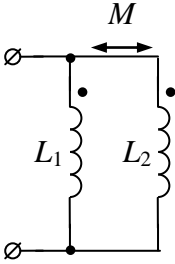
1.19.



Определить эквивалентную индуктивность, если  $k_{CB} = 1$ ,

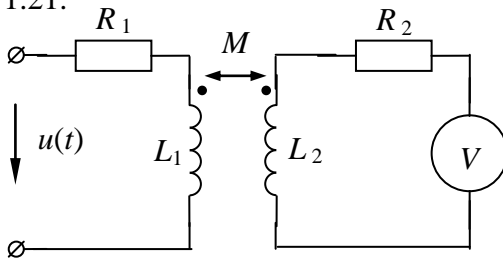
а  $L_1, L_2, M$  — известны.

1.20.



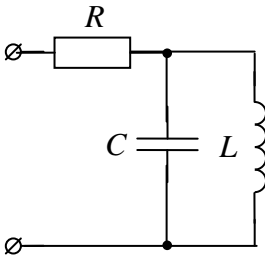
Определить эквивалентную индуктивность двух параллельно соединенных катушек, если известны  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$ .

1.21.



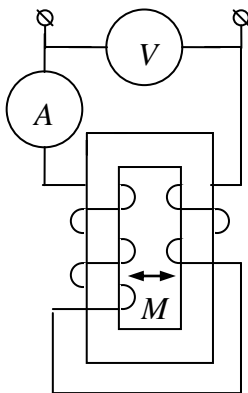
Определить показание вольтметра электромагнитной системы  $U_V$ , если  $u(t) = 20\sqrt{2} \sin \omega t$  В,  $R_1 = X_1 = X_M = 10$  Ом.

1.22.



Входное сопротивление цепи постоянному току равно 40 Ом. Как изменится это сопротивление на частоте  $100 \text{ с}^{-1}$ , если  $L = 0,2$  Гн,  $C = 250$  мкФ?

1.23.



Две одинаковые катушки индуктивности с  $R_1 = R_2 = 3 \text{ Ом}$  соединены последовательно и надеты на общий каркас. Амперметр электродинамической системы показывает ток  $I_A = 7,5 \text{ А}$ ;  $X_M = 8 \text{ Ом}$ . Что показывает вольтметр электродинамической системы?  $k_{CB} = 1$ .

- 1.24. Как изменится коэффициент  $M$  двух катушек, если ток в одной из них увеличить в  $n$  раз?
- 1.25. Две последовательно соединенные катушки включены встречно, причем  $X_1 = X_2 = 2X_M$ . Как изменится напряжение на зажимах цепи, если при неизменном токе уменьшить до нуля  $k_{CB}$ ? Активным сопротивлением катушек можно пренебречь.

## ТЕМА 2. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

**Пример 2.1.** Заданы резонансная частота последовательного контура  $f_0 = 2$  МГц, ширина полосы пропускания  $\Pi_f = 16$  кГц и сопротивление  $R = 12$  Ом. Рассчитать параметры реактивных элементов контура.

*Решение.* Запишем систему уравнений

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad \Pi_f = \frac{f_0 R}{\sqrt{L/C}},$$

откуда индуктивность  $L = \frac{R}{2\pi\Pi_f} = 119$  мкГн ,

емкость  $C = \frac{\Pi_f}{2\pi f_0^2 R} = 53$  пФ .

**Пример 2.2.** Определить резонансную частоту  $f_0$ , характеристическое сопротивление  $\rho$ , добротность  $Q$  и полосу пропускания  $\Pi_f$  контура (рис. 2.1). Параметры цепи:  $L = 0,2$  мГн ;  $R = 12$  Ом ;  $C = 360$  пФ .

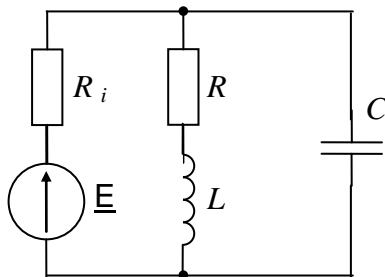


Рис. 2.1

*Решение.* В случае малых потерь ( $R \ll \rho$ ) резонансная частота, характеристическое сопротивление и полоса про-



пускания контуров с последовательным и с параллельным соединениями элементов совпадают.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 593 \text{ кГц}; \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = 745 \text{ Ом};$$

$$Q = \frac{\rho}{R} = 62,1; \quad \Pi_f = \frac{f_0}{Q} = 95,6 \text{ кГц}.$$

**Пример 2.3.** Определить реактивное сопротивление катушки  $X_L$  и ток амперметра  $I$  схемы (рис. 2.2, а) в режиме резонанса токов, если параметры цепи имеют следующие значения: коэффициент связи  $k_{CB} = 0,5$ ; сопротивление емкости на резонансной частоте  $X_C = 1 \text{ кОм}$ ; действующее значение входного напряжения  $U = 1 \text{ В}$ .

*Решение.* При развязке индуктивной связи катушек добавляем в ветви с индуктивностями  $L$  — сопротивления  $X_M$ , а в ветвь с емкостью — сопротивление  $(-X_M)$  (рис. 2.2, б).

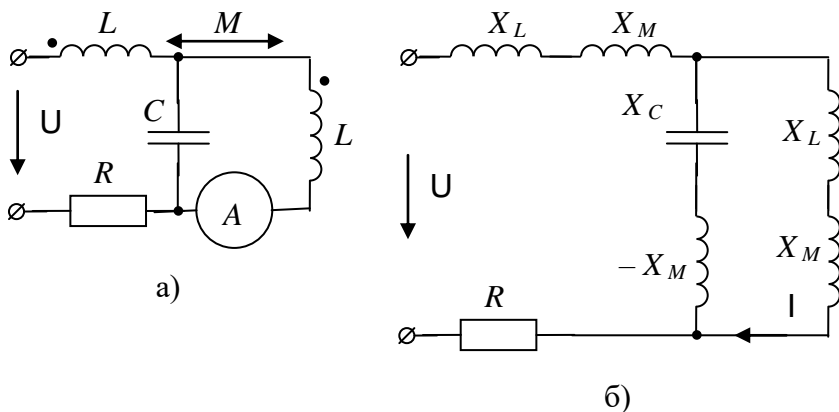


Рис. 2.2

$$X_M = k_{CB} \omega\sqrt{LL} = 0,5\omega L = 0,5X_L.$$

По условию резонанса токов  $b_L = b_C$ . С учетом того, что  $X_M = 0,5X_L$  запишем: 
$$\frac{1}{X_L + 0,5X_L} = \frac{1}{X_C + 0,5X_L}.$$

Подставив числовые значения, найдем  $X_L = X_C = 1 \text{ кОм}$ .

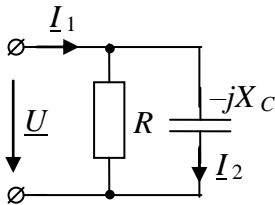
Так как входное сопротивление равно бесконечности, то входной ток равен нулю, а напряжение параллельных ветвей равно входному. Отсюда

$$I = \frac{U}{1,5 \cdot X_L} = \frac{1}{1,5 \cdot 10^3} = 0,66 \text{ мА}.$$

### Задачи

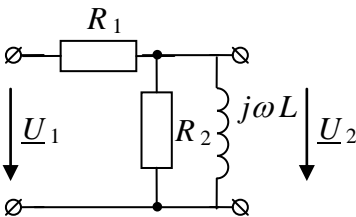
2.1. Функция входного сопротивления ЭЦ 
$$\underline{Z}_{\text{вх}}(j\omega) = \frac{R j\omega L}{R + j\omega L}.$$
 Записать выражения АЧХ и ФЧХ.

2.2. Для схемы записать выражение коэффициента передачи по току  $\underline{k}_i(j\omega) = \frac{I_2}{I_1}.$



2.3. Для схемы задания 3.2 записать выражения АЧХ и ФЧХ передаточной функции  $\underline{k}_i(j\omega).$

2.4. Записать выражение коэффициента передачи по напряжению  $\underline{k}_u(j\omega) = \frac{U_2}{U_1}.$

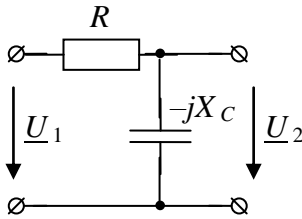


2.5. Для схемы задания 3.4 записать выражения АЧХ и ФЧХ передаточной функции  $\underline{k}_u(j\omega).$

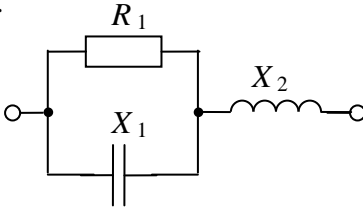
2.6. Построить АЧХ и ФЧХ функции входного сопротивления  $Z_{\text{вх}}(j\omega) = R - j\frac{1}{\omega C}$ .

2.7. Построить АЧХ и ФЧХ функции входного сопротивления последовательной  $RLC$ -цепи.

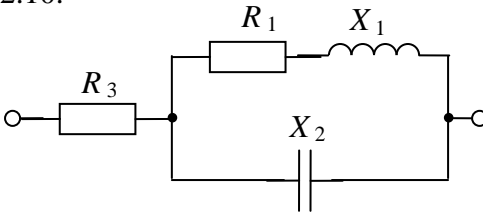
2.8. Построить АЧХ и ФЧХ  $\varphi(\omega)$  для коэффициента передачи по напряжению  $k_u(j\omega)$ .



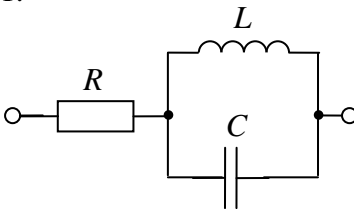
2.9. Определить значение сопротивления  $X_1$ , при котором в цепи будет резонанс.  $R_1 = 10$  Ом;  $X_2 = 5$  Ом.



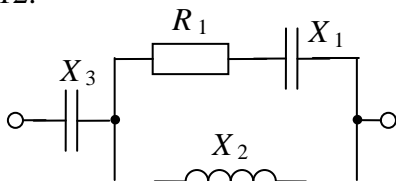
2.10. Определить значение сопротивления  $X_2$ , при котором в цепи будет резонанс токов.  $R_1 = X_1 = 5$  Ом;  $R_3 = 10$  Ом.



2.11. Определить частоту  $f$ , при которой в цепи будет резонанс токов, если  $L = 0,1$  Гн,  $R = 5$  Ом,  $C = 25,4$  мкФ.

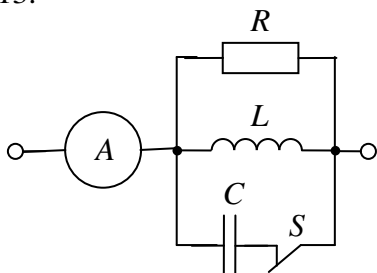


2.12.



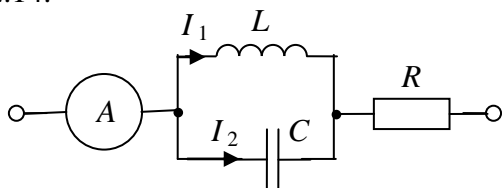
Определить комплекс полного сопротивления, если  $X_3 = X_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  
 $R_1 = X_1 = 10 \text{ Ом}$ .

2.13.



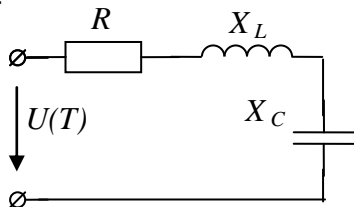
Как изменится показание амперметра после размыкания ключа  $S$ , если  $R = \omega L = \frac{1}{\omega C}$ .

2.14.

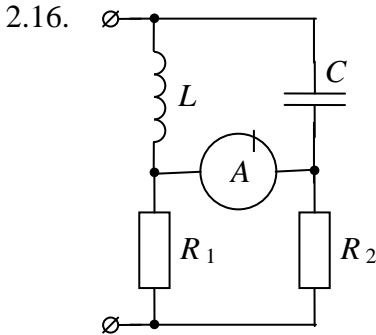


Определить показание амперметра электромагнитной системы.  
 $I_1 = I_2 = 10 \text{ А}$ .

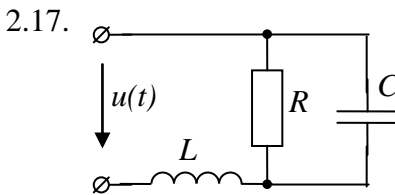
2.15.



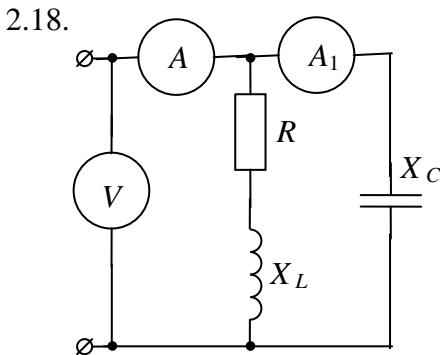
Каким должно быть соотношение между параметрами цепи ( $R$ ,  $X_L$ ,  $X_C$ ) при резонансе, чтобы входное напряжение было больше напряжения на конденсаторе?



Определить частоту  $\omega_0$  и показание амперметра при резонансе.  $U = 200$  В,  $C = 2$  мкФ,  $L = 20$  мГн,  $R_1 = R_2 = 100$  Ом.

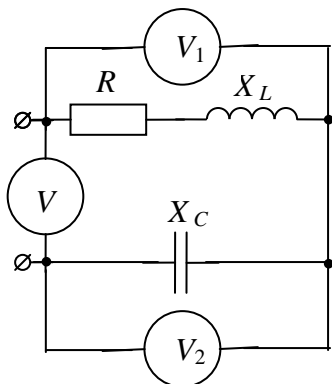


При каком значении сопротивления  $R$  на частоте  $\omega_0 = 10^4$  с<sup>-1</sup> наступит резонанс?  $L = 2$  мГн,  $C = 5$  мкФ.



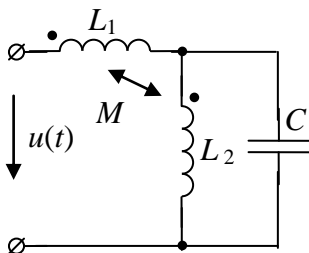
Показания приборов в схеме:  $I_A = 5$  А;  $I_{A1} = 8,67$  А;  $U_V = 100$  В. Определить сопротивление  $R$  при резонансе токов.

2.19.



Показания приборов в схеме при резонансе:  $U_{V1} = 20$  В;  $U_{V2} = 10$  В. Определить  $U_V$  и добротность контура.

2.20.



При каком значении емкости  $C$  в цепи на частоте  $\omega_0 = 10^3$  с<sup>-1</sup> наступит резонанс напряжений?  
 $k_{св} = 0,5$ ;  
 $L_1 = L_2 = 20$  мГн.

### ТЕМА 3. ПРИНЦИПЫ И ТЕОРЕМЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

**Пример 3.1.** Определить ток  $I_3$  цепи (рис. 3.1), используя метод эквивалентного генератора. Параметры цепи:

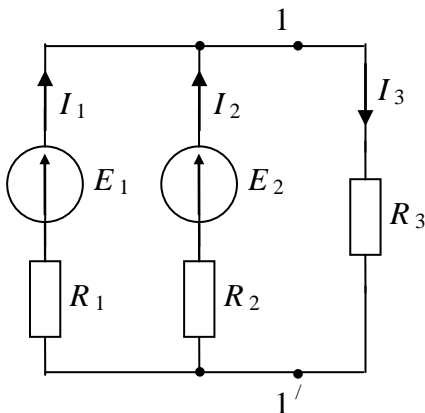


Рис. 3.1

$R_1 = 6 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 12 \text{ Ом}$ ;  $E_1 = 120 \text{ В}$ ;  $E_2 = 100 \text{ В}$ .

*Решение.* Заменяем часть цепи слева от зажимов  $1 - 1'$  источником ЭДС  $E$  с внутренним сопротивлением  $R_{\text{Э}}$  (рис. 3.2, а).

ЭДС  $E$  равна напряжению на зажимах  $1 - 1'$  цепи при отключенной ветви  $R_3$  (рис. 3.2, б):

$$E_{\text{Э}} = U_{\text{X}} = E_2 + \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2 = 108 \text{ В}.$$

Внутреннее сопротивление  $R_{\text{Э}}$  равно входному сопротивлению цепи при отключенных источниках  $E_1$  и  $E_2$ :

$$R_{\text{Э}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2,4 \text{ Ом}.$$

В соответствии со схемой (рис. 3.2, а)

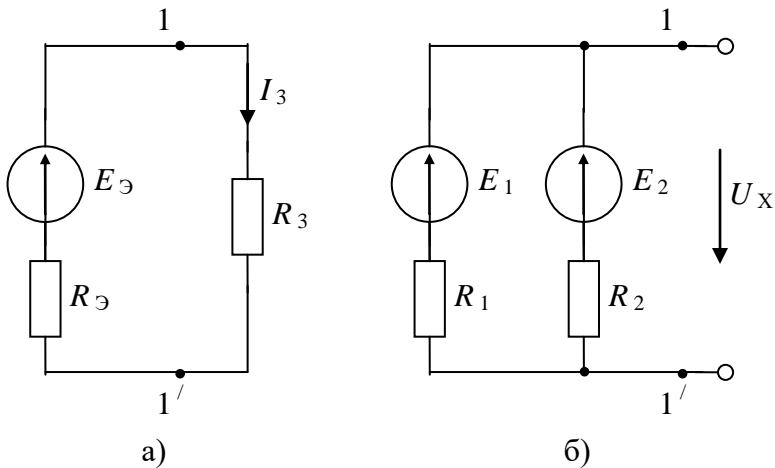
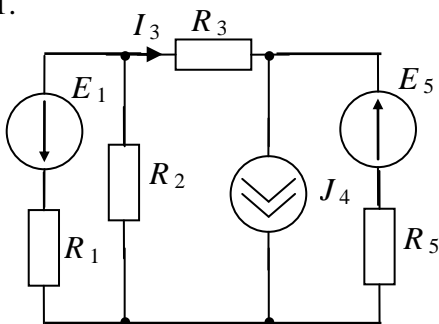


Рис. 3.2

$$I_3 = \frac{E_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}} + R_3} = 7,5 \text{ A}.$$

### Задачи

3.1.



Методом эквивалентного генератора определить ток  $I_3$ . Параметры схемы:  $E_1 = E_5 = 15 \text{ В}$ ;

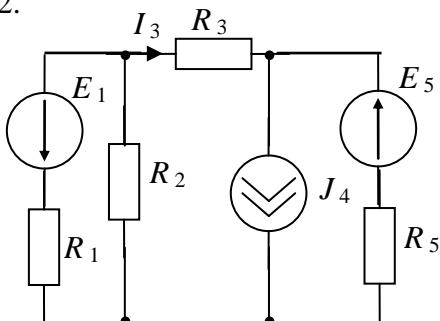
$J_4 = 0,3 \text{ А}$ ;  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ;

$R_2 = R_5 = 40 \text{ Ом}$ ;

$R_3 = 12 \text{ Ом}$ .

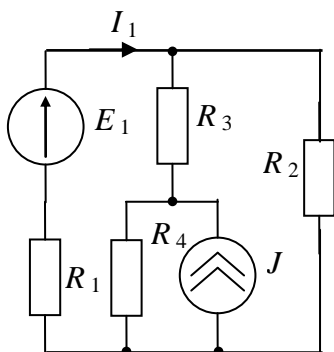


3.2.



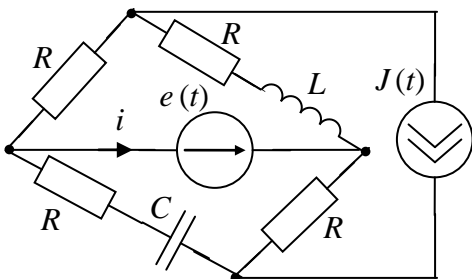
Определить параметры эквивалентного генератора для определения тока  $I_3$  в схеме с параметрами:  $E_1 = 10\text{В}$ ;  
 $J = 0,015\text{ А}$ ;  
 $R_1 = R_2 = 200\text{ Ом}$ .  
 $R_3 = ?$   $R_5 = ?$

3.3.



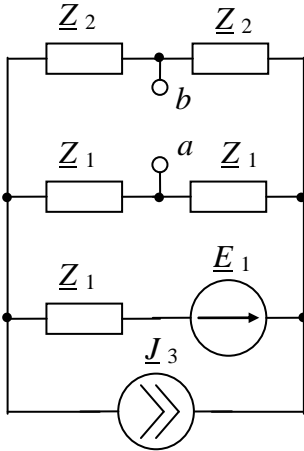
Методом наложения определить ток  $I_1$  в схеме с параметрами:  $E_1 = 30\text{В}$ ;  
 $J = 8\text{ А}$ ;  
 $R_1 = R_3 = R_4 = 15\text{ Ом}$ ;  
 $R_2 = 30\text{ Ом}$ .

3.4.



Определить ток в цепи источника ЭДС  $i(t)$ , если параметры схемы:  
 $R = 20\text{ Ом}$ ;  
 $1/\omega C = 40\text{ Ом}$ ;  
 $\omega L = 80\text{ Ом}$ ;  
 $e(t) = 40\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ)\text{ В}$ ;  
 $J(t) = 1 \sin \omega t\text{ А}$ .

3.5.

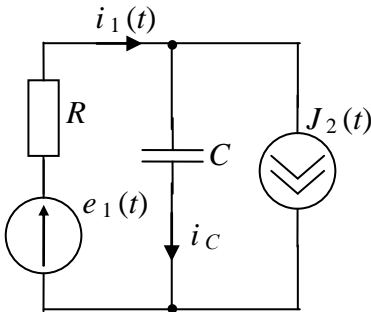


Определить  $\underline{Z}_\Gamma = \underline{Z}_{ab}$  для  
схемы с параметрами:

$$\underline{Z}_1 = 30e^{j60^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = 10e^{j60^\circ} \text{ Ом}.$$

3.6.



Методом наложения опре-  
делить ток  $i_c(t)$ , если:

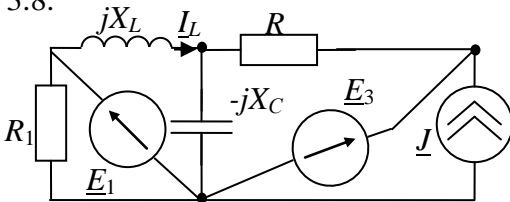
$$R = 20 \text{ Ом}; C = 500 \text{ мкФ};$$

$$e_1(t) = 20\sqrt{2} \sin(100t + 45^\circ) \text{ В};$$

$$J_2(t) = 1 \sin(100t + 90^\circ) \text{ А}.$$

3.7. В схеме задания 3.6 определить ток  $i_1(t)$  методом эк-  
вивалентного генератора.

3.8.



Методом эквивалент-  
ного генератора опре-  
делить ток  $i_L(t)$ .

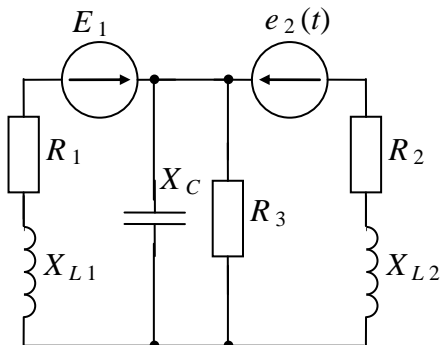
$$\underline{E}_1 = 10 \text{ В};$$

$$\underline{E}_3 = j10 \text{ В};$$

$$R = X_L = 10 \text{ Ом};$$

$$R_1 = X_C = 5 \text{ Ом}.$$

3.9.



Определить ток  $i_L(t)$  методом наложения. Параметры схемы:

$$R_1 = X_{L1} = 20 \text{ Ом};$$

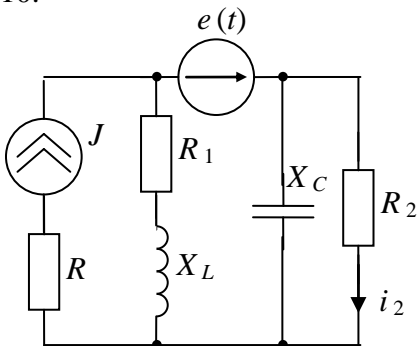
$$R_2 = 10 \text{ Ом}; \quad X_{L2} = 30 \text{ Ом};$$

$$R_3 = X_C = 40 \text{ Ом};$$

$$E_1 = 56 \text{ В} = \text{const};$$

$$e_2(t) = 30\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}.$$

3.10.



Методом наложения рассчитать ток  $i_2(t)$  в схеме с параметрами:

$$R = R_1 = 20 \text{ Ом};$$

$$R_2 = X_C = 60 \text{ Ом};$$

$$X_L = 30 \text{ Ом};$$

$$J = 2 \text{ А} = \text{const};$$

$$e(t) = 40\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В}.$$

## ТЕМА 4. АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

**Пример 4.1.** Для цепи (рис. 4.1, а) составить систему контурных уравнений.

*Решение.* В данной цепи  $m = 6$  ветвей,  $k = 4$  узлов,  $m_{\text{ит}} = 1$  ветвей с источниками тока,  $m - k + 1 = 3$  независимых контуров,  $m - m_{\text{ит}} - k + 1 = 2$  неизвестных контурных токов.

Система контурных уравнений (рис. 4.1, б):

$$\underline{Z}_{11} \underline{I}_{11} + \underline{Z}_{12} \underline{I}_{22} + \underline{Z}_{13} \underline{I}_{33} = \underline{E}_{11};$$

$$\underline{Z}_{21} \underline{I}_{11} + \underline{Z}_{22} \underline{I}_{22} + \underline{Z}_{23} \underline{I}_{33} = \underline{E}_{22},$$

где  $\underline{I}_{11} = \underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_{22} = \underline{I}_4$  — неизвестные контурные токи;  $\underline{I}_{33} = \underline{J}$  — известный контурный ток;  $\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3$  и  $\underline{Z}_{22} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_6$  — собственные сопротивления первого и второго контуров,  $\underline{Z}_{12} = -\underline{Z}_3$ ,  $\underline{Z}_{23} = -\underline{Z}_6$  и  $\underline{Z}_{13} = 0$  — взаимные сопротивления контуров;  $\underline{E}_{11} = \underline{E}$  и  $\underline{E}_{22} = 0$  — контурные ЭДС первого и второго контуров.

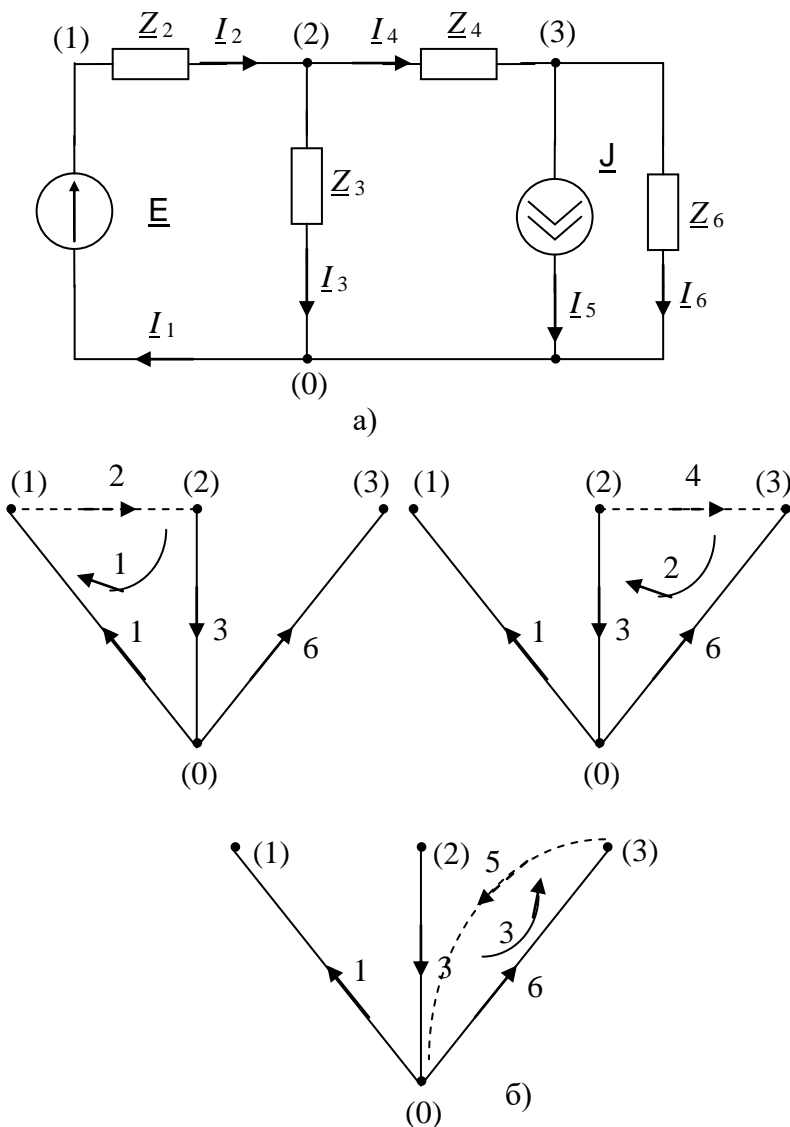


Рис. 4.1

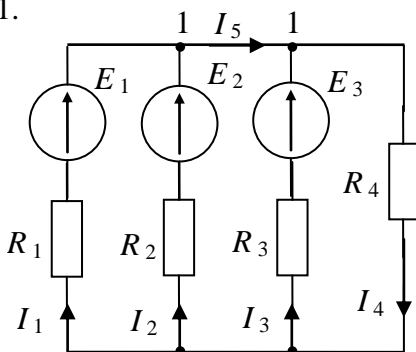
Подставив в систему контурных уравнений выражения сопротивлений и перенеся в правую часть уравнения контурный ток, получим:

$$(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)I_{11} - \underline{Z}_3 I_{22} = \underline{E};$$

$$-\underline{Z}_3 I_{11} + (\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_6)I_{22} = \underline{Z}_6 J.$$

### Задачи

4.1.

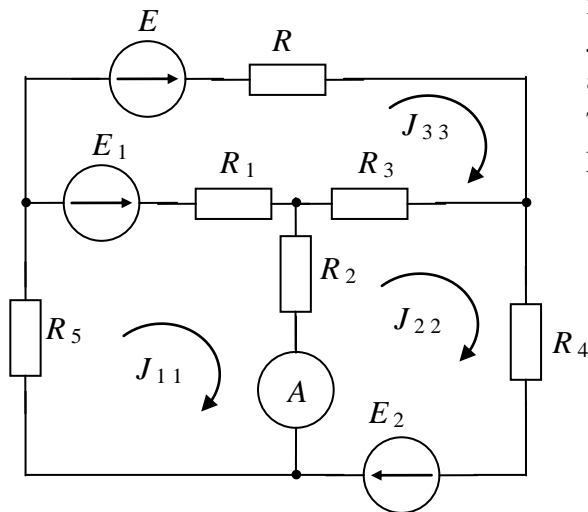


Методом узловых потенциалов определить токи в схеме; записать значение потенциала  $\varphi_1$ .

$$E_1 = E_2 = E_3 = 40 \text{ В};$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}.$$

4.2.



Методом контурных токов определить показание амперметра и контурные токи. Параметры цепи:

$$E = 90 \text{ В};$$

$$E_1 = 110 \text{ В};$$

$$E_2 = 15 \text{ В};$$

$$R = R_1 = 5 \text{ Ом};$$

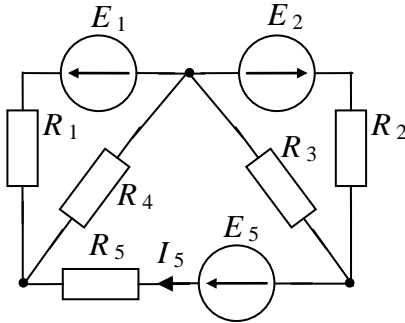
$$R_2 = 2 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 10 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 3 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 7 \text{ Ом}.$$

4.3.



Определить ток  $I_5$  в схеме с параметрами:

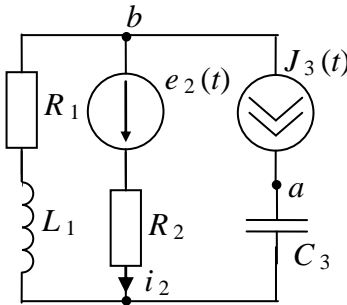
$$E_1 = E_3 = 20 \text{ В}; E_2 = 10 \text{ В};$$

$$R_1 = R_2 = 20 \text{ Ом};$$

$$R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 20 \text{ Ом}; E_5 = 20 \text{ В}.$$

4.4.



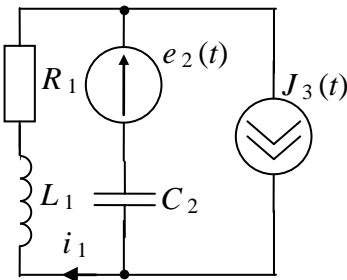
Методом законов Кирхгофа определить ток  $i_2(t)$  и напряжение  $u_{ab}(t)$  на зажимах источника тока. Параметры цепи:

$$e_2(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ В};$$

$$J_3(t) = 2\sqrt{2} \sin \omega t \text{ А};$$

$$R_1 = R_2 = X_{L1} = X_{C3} = 10 \text{ Ом}.$$

4.5.



Методом контурных токов определить ток  $i_1(t)$ . Параметры цепи:

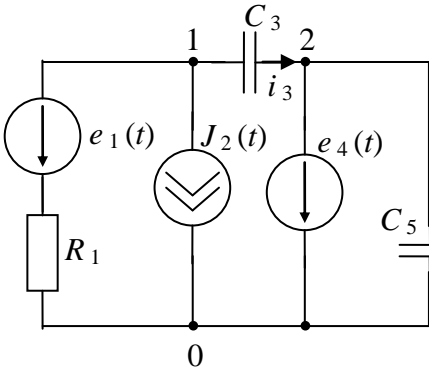
$$e_2(t) = 20 \sin \omega t \text{ В};$$

$$J_3(t) = 1 \cos \omega t \text{ А};$$

$$R_1 = X_{L1} = 20 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = 40 \text{ Ом}.$$

4.6.



Методом узловых потенциалов рассчитать ток  $i_3(t)$  и записать в комплексной форме потенциалы точек 1 и 2. Параметры цепи:

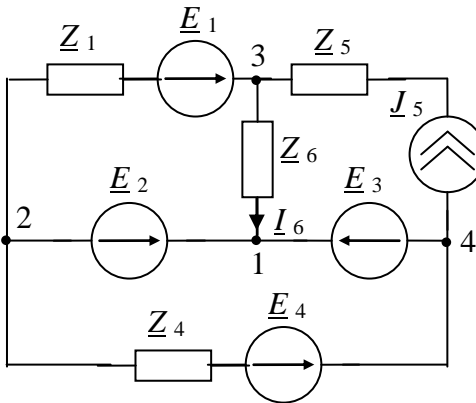
$$e_1(t) = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В};$$

$$e_4(t) = 10\sqrt{2} \cos \omega t \text{ В};$$

$$J_2(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ А};$$

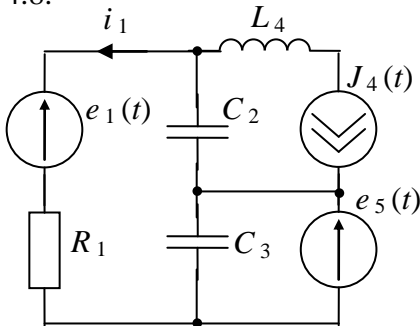
$$R_1 = X_{C_3} = X_{C_5} = 10 \text{ Ом}.$$

4.7.



Укажите наиболее рациональный способ расчета тока  $I_6$  в комплексной схеме замещения.

4.8.



Определить ток  $i_1(t)$  наиболее рациональным методом.

Параметры цепи:

$$R_1 = X_{L_1} = X_{C_2} = X_{C_3} = 10 \text{ Ом};$$

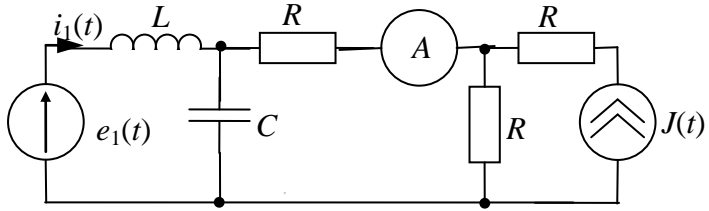
$$e_1(t) = 10\sqrt{2} \cos \omega t \text{ В};$$

$$e_5(t) = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В};$$

$$J_4(t) = 2 \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ А}.$$



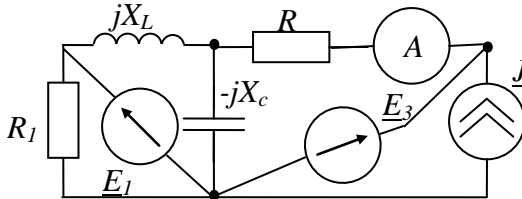
4.9.



Определить показание амперметра электромагнитной системы. Параметры цепи:  $R = X_L = X_C = 10 \text{ Ом}$ ;  $e_1(t) = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В}$ ;  $J(t) = \sqrt{2} \cos \omega t \text{ А}$ .

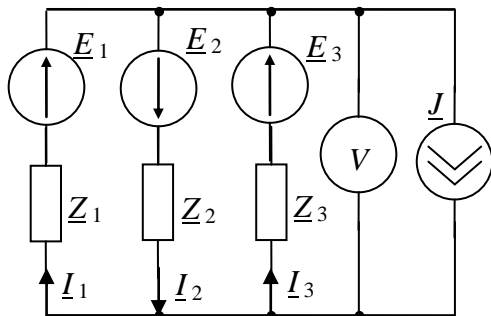
4.10. В схеме задания 4.9 определить ток  $i_1(t)$  методом контурных токов.

4.11.



Определить показание амперметра электромагнитной системы. Параметры схемы замещения:  $\underline{E}_1 = 10 \text{ В}$ ;  $\underline{E}_3 = j10 \text{ В}$ ;  $\underline{J} = 5 \text{ А}$ ;  $R = X_L = 10 \text{ Ом}$ ;  $R_1 = X_C = 5 \text{ Ом}$ .

4.12.



Определить показание вольтметра электромагнитной системы методом узловых потенциалов. Параметры схемы замещения:

$$\underline{E}_1 = \underline{E}_2 = j10 \text{ В};$$

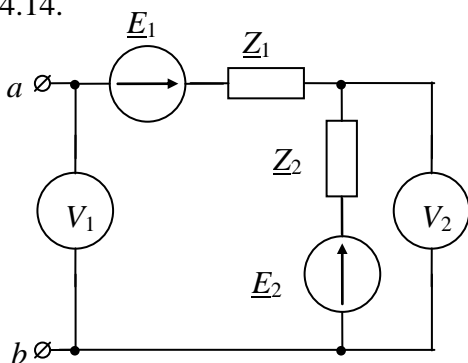
$$\underline{E}_3 = -j10 \text{ В}; \quad \underline{J} = 10 \text{ А};$$

$$\underline{Z}_1 = 1 \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_2 = j \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = -j \text{ Ом}.$$

4.13. В схеме задания 4.12 рассчитать комплексы токов ветвей  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$ .

4.14.



Определить показание вольтметров электромагнитной системы. Параметры схемы замещения:

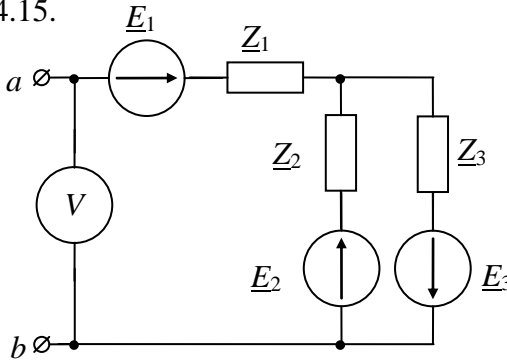
$$\underline{E}_1 = 100e^{j30^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{E}_2 = 50e^{j60^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{Z}_1 = 5 + j10 \text{ Ом};$$

$\underline{Z}_2 = 5 - j5 \text{ Ом}$ . Записать величину входного сопротивления схемы  $\underline{Z}_{ab}$ .

4.15.



Определить  $\underline{Z}_{ab}$  и показание вольтметра электромагнитной системы. Параметры схемы замещения:  $\underline{E}_1 = 10\text{ В}$ ;  $\underline{E}_2 = j10\text{ В}$ ;  $\underline{E}_3 = j5\text{ В}$ ;  $\underline{Z}_1 = 1\text{ Ом}$ ;  $\underline{Z}_2 = 1 - j\text{ Ом}$ ;  $\underline{Z}_3 = 1 + j\text{ Ом}$ .



Из схем (рис. 5.1, б, в) видно, что в режиме холостого хода  $\underline{U}_2 = \underline{U}_1 = \underline{E}_1$ ,  $\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}_1}{\underline{Z}_a}$ , а в режиме короткого замыкания

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_b} = \frac{\underline{E}_1}{\underline{Z}_b}, \quad \underline{I}_1 = \underline{E}_1 \frac{\underline{Z}_a \underline{Z}_b}{\underline{Z}_a + \underline{Z}_b}.$$

Используя полученные соотношения, находим:

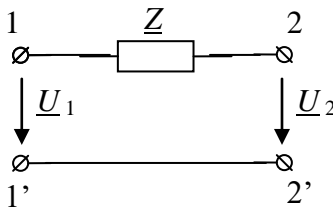
$$\underline{A}_{11} = 1; \quad \underline{A}_{12} = \frac{\underline{E}_1 \underline{Z}_b}{\underline{E}_1} = \underline{Z}_b; \quad \underline{A}_{21} = \frac{\underline{E}_1}{\underline{E}_1 \underline{Z}_a} = \frac{1}{\underline{Z}_a};$$

$$\underline{A}_{22} = \frac{\underline{E}_1 \underline{Z}_b (\underline{Z}_a + \underline{Z}_b)}{\underline{E}_1 \underline{Z}_a \underline{Z}_b} = 1 + \frac{\underline{Z}_b}{\underline{Z}_a};$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \underline{Z}_b \\ \frac{1}{\underline{Z}_a} & 1 + \frac{\underline{Z}_b}{\underline{Z}_a} \end{bmatrix}.$$

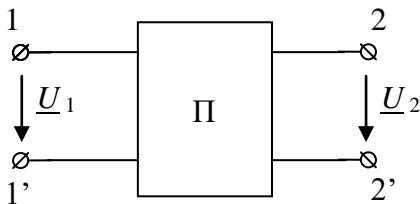
### Задачи

5.1.



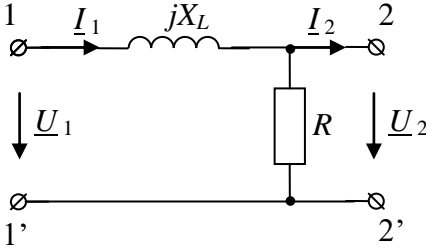
Определить  $\mathbf{A}$ -параметры пассивного четырехполюсника, если комплекс  $\underline{Z}$  задан.

5.2.



Определить  $\mathbf{A}$ -параметры пассивного симметричного четырехполюсника, если известно, что  $\underline{Z}_{1X} = (6 - j2) \text{ Ом}$ ;  $\underline{Z}_{1K} = (5 - j5) \text{ Ом}$ .

5.3.

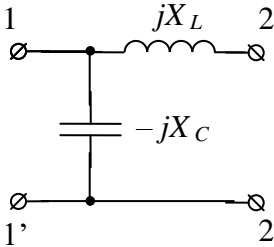


Записать уравнения несимметричного четырехполюсника через  $Z$ -параметры.

5.4. Для четырехполюсника задания 6.3 рассчитать  $A$ -параметры, если  $R = X_L = 10$  Ом.

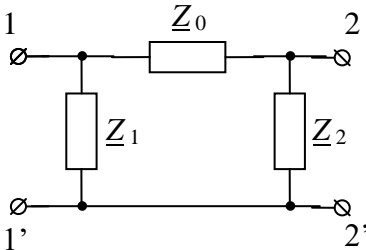
5.5. Симметричный четырехполюсник с параметрами  $\underline{A} = 1 - j$ ,  $\underline{B} = -10 - j20$ ,  $\underline{C} = 0,1$  заменить эквивалентной схемой  $T$ -образного четырехполюсника и определить значения сопротивлений  $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Z}_2$  и  $\underline{Z}_0$ .

5.6.



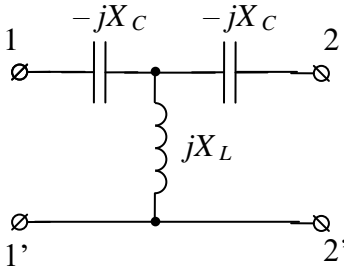
Записать уравнения несимметричного  $\Gamma$ -образного четырехполюсника через  $Y$ -параметры, если  $X_L = X_C = 10$  Ом. Составить матрицу  $Y$ -параметров.

5.7.



Определить  $A$ -параметры  $\underline{Z}_C$  и  $\underline{\Gamma}$  симметричного четырехполюсника, если  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = j10$  Ом;  $\underline{Z}_0 = j3$  Ом.

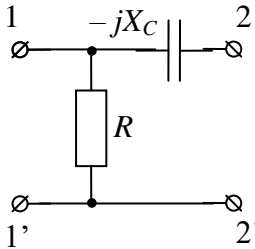
5.8.



Определить характеристическое сопротивление  $\underline{Z}_C$  и коэффициент передачи симметричного четырехполюсника с параметрами:

$$X_L = 10 \text{ Ом}; X_C = 20 \text{ Ом}.$$

5.9.



Рассчитать коэффициент затухания и фазовый коэффициент Г-образного четырехполюсника с постоянными:

$$\underline{A}_{11} = 1; \underline{A}_{12} = -j5 \text{ Ом};$$

$$\underline{A}_{21} = 0,2 \text{ См}; \underline{A}_{22} = \sqrt{2} e^{-j45}.$$

5.10. Рассчитать характеристические параметры симметричного четырехполюсника [задания 5.9](#).

## ТЕМА 6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

**Пример 6.1.** Определить ток в простейшей неразветвленной  $RLC$ -цепи в установившемся режиме, если напряжение на входных зажимах является периодической несинусоидальной функцией.

*Решение.* Представим входное напряжение в виде ряда

$$u = u_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_k + \dots,$$

где  $u_0$  — постоянная составляющая напряжения;

$u_k = U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{uk})$  — высшая ( $k$ -я) гармоника напряжения.

Так как  $\omega = 0$ , то  $Z = \infty$  и постоянная составляющая  $i_0 = 0$ . Мгновенное значение  $k$ -й гармоники тока

$$i_k = I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{uk} - \varphi_k),$$

где  $I_{km} = \frac{U_{km}}{\sqrt{R^2 + \left(k\omega L - \frac{1}{k\omega C}\right)^2}}$ ;  $\varphi_k = \arctg \frac{k\omega L - \frac{1}{k\omega C}}{R}$ .

Искомый ток определяется суммой

$$i = 0 + i_1 + i_2 + \dots + i_k + \dots.$$

**Пример 6.2.** Определить комплексную амплитуду входного тока в разветвленной цепи (рис. 6.1, а).

*Решение.* Воспользуемся методом комплексных амплитуд, для чего преобразуем схему (рис. 6.1, а) к эквивалентной схеме (рис. 6.1, б).



Комплексная амплитуда напряжения  $k$ -й гармоники

$$\underline{U}_{km} = U_{km} e^{j\psi_{uk}}.$$

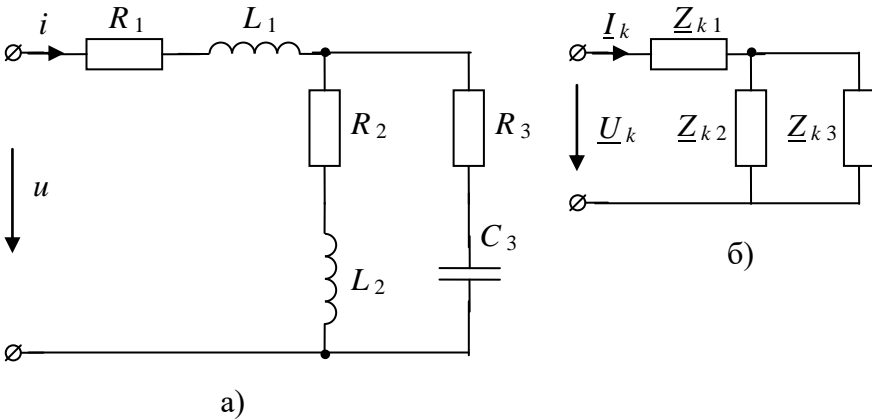


Рис. 6.1

Комплексное сопротивление цепи

$$\underline{Z}_k = Z_{k1} + \frac{Z_{k2} Z_{k3}}{Z_{k2} + Z_{k3}} = Z_k e^{j\varphi_k},$$

где  $\underline{Z}_{k1} = R_1 + j\omega k L_1$ ;  $\underline{Z}_{k2} = R_2 + j\omega k L_2$ ;

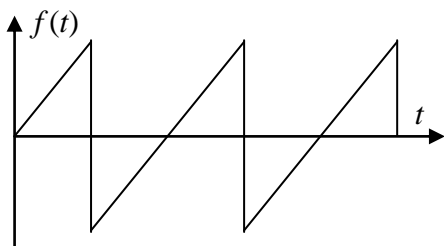
$$\underline{Z}_{k3} = R_3 - j \frac{1}{\omega k C_3}.$$

Комплексная амплитуда тока

$$\underline{I}_{km} = \frac{\underline{U}_{km}}{\underline{Z}_k} = \frac{U_{km} e^{j\psi_{uk}}}{Z_k e^{j\varphi_k}} = \frac{U_{km}}{Z_k} e^{j(\psi_{uk} - \varphi_k)} = I_{km} e^{j\psi_{ik}}.$$

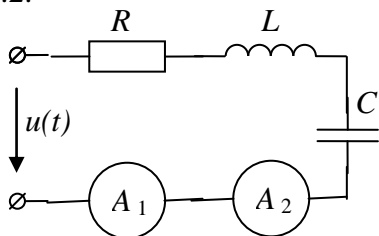
## Задачи

6.1.



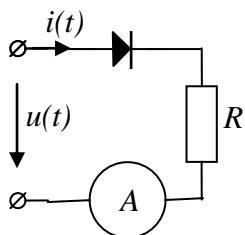
Какие гармоники входят в состав функции  $f(t)$ ?

6.2.



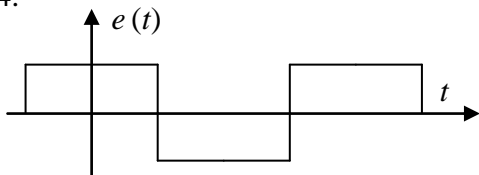
Ток в цепи изменяется по закону:  $i(t) = 10\sqrt{2} \sin \omega t + 5\sqrt{2} \sin 3\omega t$  А. Что покажут амперметры магнитоэлектрической ( $A_1$ ) и электромагнитной ( $A_2$ ) систем?

6.3.



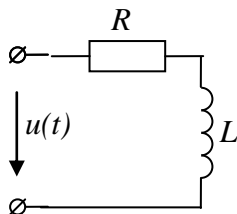
Определить показание амперметра магнитоэлектрической системы, если  $u(t) = 100 \sin \omega t$  В,  $R = 10$  Ом.

6.4.



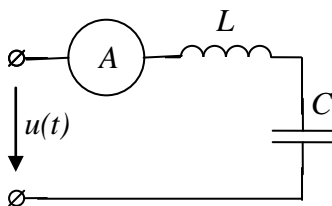
Запишите в общем виде разложение в ряд Фурье функции  $e(t)$ , учитывая симметрию кривой.

6.5.



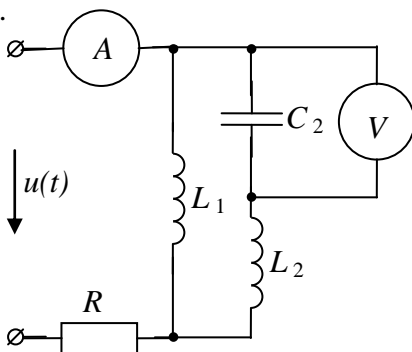
Сопротивление катушки индуктивности для второй гармоники  $\underline{Z}^{(2)} = 20\sqrt{2} e^{j45^\circ}$  Ом. Определить сопротивление этой катушки для третьей гармоники.

6.6.



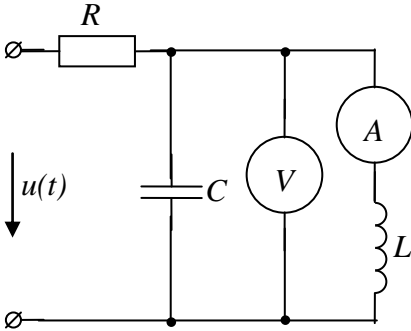
Найдите показание электромагнитного амперметра, если  $u(t) = (100\sqrt{2} \sin \omega t - 100\sqrt{2} \sin(3\omega t + 60^\circ))$  В,  
 $\omega L = 10$  Ом;  $\frac{1}{\omega C} = 30$  Ом.

6.7.



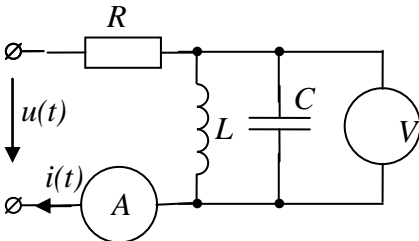
Определить показания приборов электродинамической системы  $I_A$  и  $U_V$ , если  $u(t) = 9 + 12 \cos 3\omega t$  В,  
 $R = 3$  Ом,  $X_{L1} = 2$  Ом,  
 $X_{L2} = 5$  Ом,  
 $X_{C2} = 45$  Ом.

6.8.



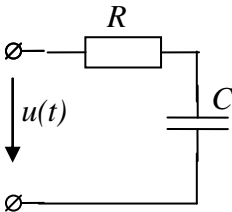
Определить показания приборов электромагнитной системы  $I_A$  и  $U_V$ , если  $u(t) = 18 + 24\cos 3\omega t$  В,  $R = 6$  Ом,  $X_L = 5$  Ом,  $X_C = 45$  Ом.

6.9.



$u(t) = (20 + 100\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) + 20\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ))$  В;  
 $R = 10$  Ом;  $L = 0,1$  Гн;  
 $C = 1$  мФ. Определить ток  $i(t)$ , показания вольтметра электромагнитной и амперметра — магнитоэлектрической системы.

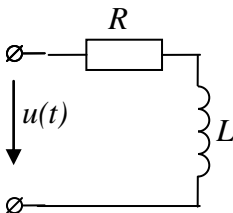
6.10.



$u(t) = (100\sqrt{2} \sin \omega t + 20\sqrt{2} \sin 3\omega t)$  В;  
 $R = 10$  Ом;  $\frac{1}{\omega C} = 30$  Ом.

Определить активную мощность, выделяемую в цепь.

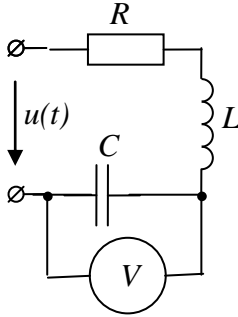
6.11.



$u(t) = (80 + 100\sqrt{2} \sin 2\omega t)$  В;  
 $R = 20$  Ом;  $\omega L = 10$  Ом.

Определить активную и полную мощности в цепи.

6.12.

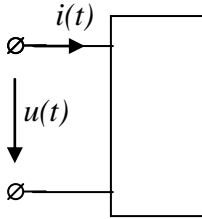


$$u(t) = (100 + 50\sqrt{2} \sin \omega t) \text{ В};$$

$$2\omega L = \frac{1}{\omega C} = R = 10 \text{ Ом.}$$

Как изменится показание вольтметра магнитоэлектрической системы, если индуктивность увеличить в два раза?

6.13.

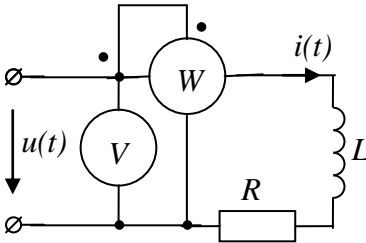


Для пассивного двухполюсника определить мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  и мощность искажения  $T$ , если дано:

$$u(t) = (20 + 15\sqrt{2} \sin \omega t + 5\sqrt{2} \sin 3\omega t) \text{ В};$$

$$i(t) = (2 + 2\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ) + \sqrt{2} \sin(3\omega t + 30^\circ)) \text{ А.}$$

6.14.

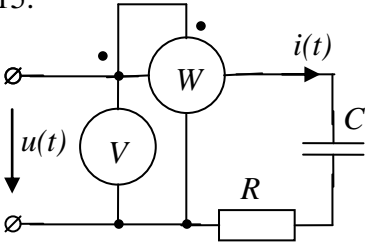


Показания вольтметра и ваттметра электродинамической системы  $P_W = 116 \text{ Вт}$  и  $U_V = 50 \text{ В}$ . Ток

$$i(t) = (4 + 8\sin \omega t + 4\sin 2\omega t + 2\sin 3\omega t) \text{ А}; \quad \omega = 50 \text{ с}^{-1}.$$

Определить параметры катушки индуктивности  $R$  и  $L$ .

6.15.



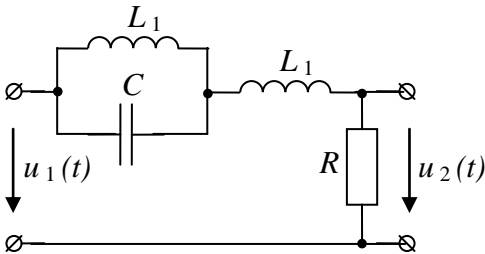
Дано:  $P_W = 50$  Вт;

$U_V = 50$  В;  $\omega = 314$  с<sup>-1</sup>;

$i(t) = (2 \sin \omega t + \sin 3\omega t)$  А.

Определить  $R$  и  $C$ .

6.16.



Определить значения

$L_1$  и  $L_2$ , если

$u_1(t) = U_{1m} \sin \omega t +$

$+ U_{2m} \sin 2\omega t$ ;

$u_2(t) = U_{2m} \sin 2\omega t$ ;

$C_1 = 200$  мкФ;

$\omega = 100$  с<sup>-1</sup>.

## ТЕМА 7. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

**Пример 7.1.** Дано: несимметричная нагрузка включена по схеме треугольника. Линейное напряжение  $U = 80 \text{ В}$ , сопротивления фаз нагрузки  $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 16 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 8 \text{ Ом}$ .

Рассчитать токи в линейных проводах А, В и С.

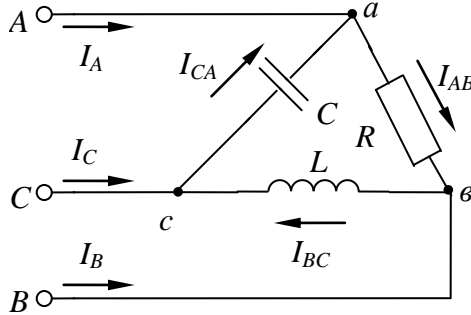


Рис. 7.1

Решение

Фазные напряжения нагрузки

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U\sqrt{3} = 80\sqrt{3} = 139 \text{ В.}$$

Фазные токи

$$\underline{I}_{AB} = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{139}{10} = 13.9 \text{ А}; \underline{I}_{BC} = \frac{U_{BC}}{jX_L} = \frac{139}{j16} = -j8.66 \text{ А};$$

$$\underline{I}_{CA} = \frac{U_{CA}}{-jX_C} = \frac{139}{-j8} = j17.3 \text{ А.}$$

Линейные токи, согласно первому закону Кирхгофа,

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA} = 13.9 - j17.3 = 22.2e^{-j51.3^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB} = -13.9 - j8.66 = 16.3e^{-j148^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC} = j17.3 + j8.66 = j26 = 26e^{j90^\circ} \text{ A}.$$

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0.$$

$$\underline{I}_A = 13.9 - j17.3 = 22.2e^{-j51.3^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = -13.9 - j8.66 = 16.3e^{-j148^\circ} \text{ A}; \underline{I}_C = j26 = 26e^{j90^\circ} \text{ A}.$$

**Пример 7.2.** В схеме цепи (рис. 7.2) с симметричной системой фазовых напряжений ( $U_\phi = 220$  В) симметричная нагрузка соединена звездой сопротивлений  $\underline{Z} = 3 + j4$  Ом, несимметричная нагрузка соединена треугольником сопротивлений  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 50$  Ом,  $R_3 = 100$  Ом. Сопротив-

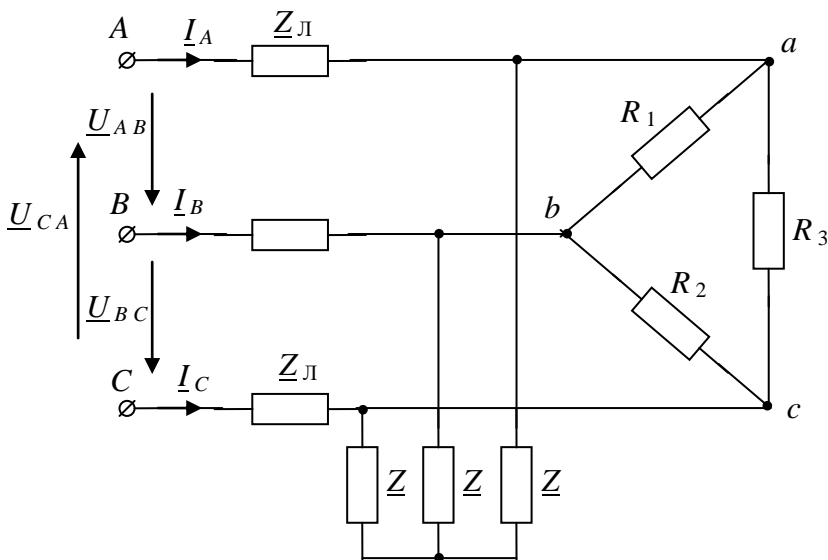


Рис. 7.2

ление линейных проводов  $\underline{Z}_L = 3 + j3$  Ом. Определить линейные токи  $\underline{I}_A$ ,  $\underline{I}_B$ ,  $\underline{I}_C$ .



*Решение.* Преобразуем симметричную звезду нагрузки в треугольник сопротивлений

$$\underline{Z}_{\Delta} = 3\underline{Z} = 9 + j12 = 15e^{j53,1^{\circ}} \text{ Ом.}$$

Сопротивления параллельно включенных пар сторон треугольника

$$\underline{Z}_1 = \frac{R_1 \underline{Z}_{\Delta}}{R_1 + \underline{Z}_{\Delta}} = \frac{20 \cdot 15e^{j53,1^{\circ}}}{20 + 9 + j12} = 9,56e^{j30,6^{\circ}} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{R_2 \underline{Z}_{\Delta}}{R_2 + \underline{Z}_{\Delta}} = 12,4e^{j41,6^{\circ}} \text{ Ом; } \underline{Z}_3 = \frac{R_3 \underline{Z}_{\Delta}}{R_3 + \underline{Z}_{\Delta}} = 13,7e^{j46,8^{\circ}} \text{ Ом.}$$

Преобразуем получившийся треугольник в эквивалентную звезду с сопротивлениями

$$\underline{Z}_a = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 3,69e^{j36,8^{\circ}} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_b = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 3,36e^{j91,6^{\circ}} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_c = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 4,8e^{j47,8^{\circ}} \text{ Ом.}$$

Эквивалентные сопротивления фаз

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_a = 7,9e^{j41,2^{\circ}} \text{ Ом; } \underline{Z}_B = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_b = 7,55e^{j36,1^{\circ}} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_C = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_c = 9,03e^{j46,5^{\circ}} \text{ Ом.}$$

Линейные токи:

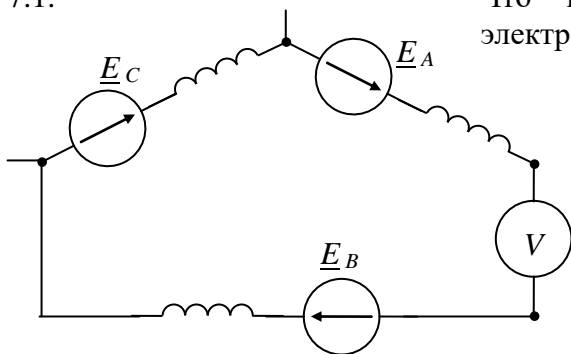
$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A - \underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_A} = 27,8e^{-j41,2^{\circ}} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{E}_B - \underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_B} = 29,1e^{-j156^{\circ}} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{E}_C - \underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_C} = 24,4e^{j73,5^{\circ}} \text{ А.}$$

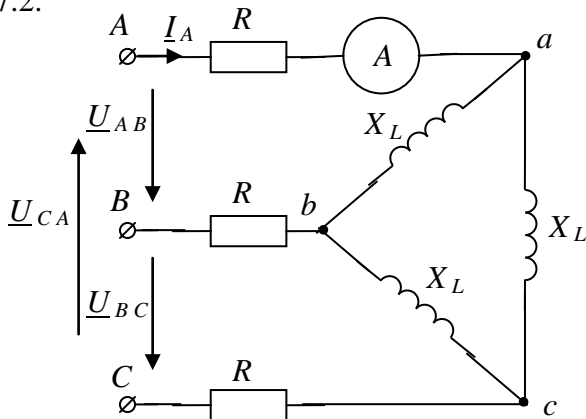
## Задачи

7.1.



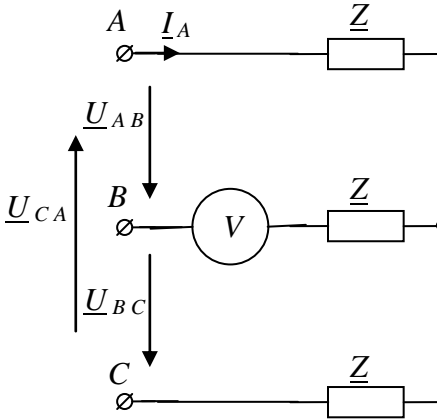
Что покажет вольтметр электродинамической системы, включенный в разрыв обмотки трехфазного генератора, соединенного треугольником? В фазах генератора — симметричная система ЭДС.

7.2.



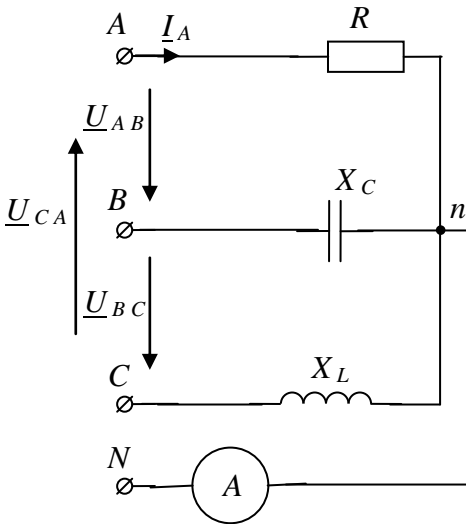
Определить линейный ток  $I_A$ , измеряемый электромагнитным амперметром, если линейное напряжение  $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$ ,  $R = X_L = 60 \text{ Ом}$ .

7.3.



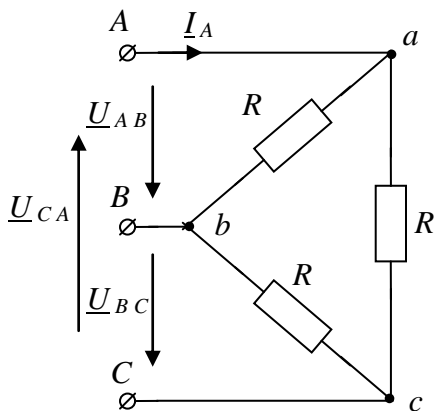
Что покажет вольтметр электромагнитной системы, если линейное напряжение генератора  $U_{\text{л}} = U$ ?

7.4.



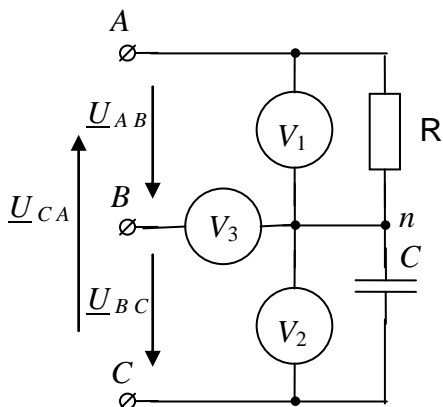
Определить ток в нулевом проводе, если линейное напряжение генератора  $U_{\text{л}} = 120 \text{ В}$ , а сопротивления  $R = X_L = X_C = 10 \text{ кОм}$ .

7.5.



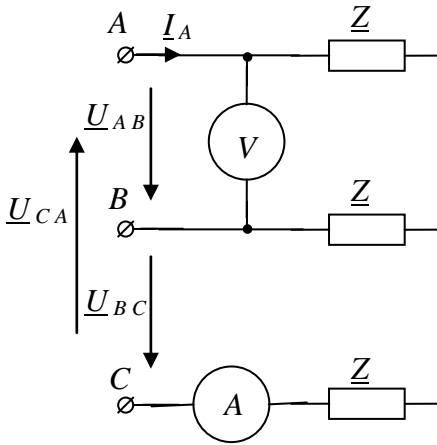
Определить модуль тока  $I_A$  при обрыве линейного провода  $B$ , если известны значения фазного напряжения генератора  $U_\Phi = 100$  В и сопротивления  $R = 100$  Ом.

7.6.



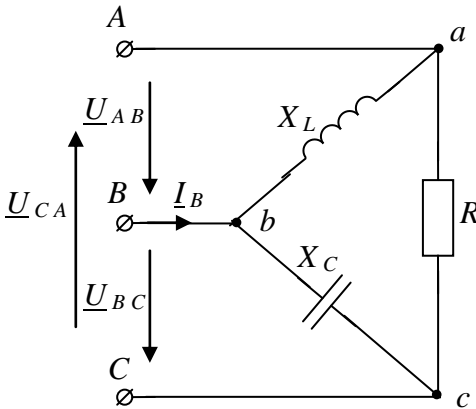
Определить показание вольтметра  $V_3$ , если  $U_{V1} = 127$  В,  $U_{V2} = 220$  В.

7.7.



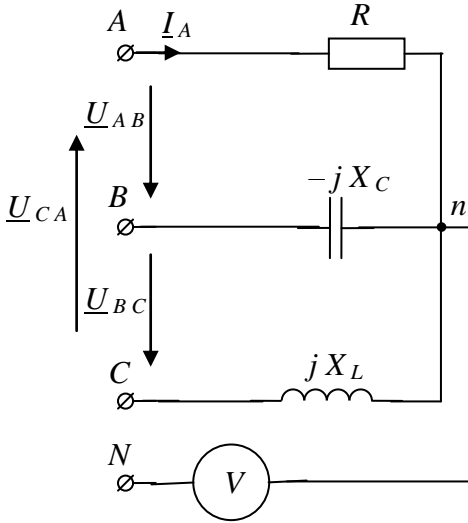
В симметричной трехфазной цепи сопротивления нагрузки  $\underline{Z} = (20 + j20)$  Ом соединены в звезду, линейное напряжение  $U_{AB} = U_V = 220$  В. Что покажет амперметр, включенный в фазу C?

7.8.



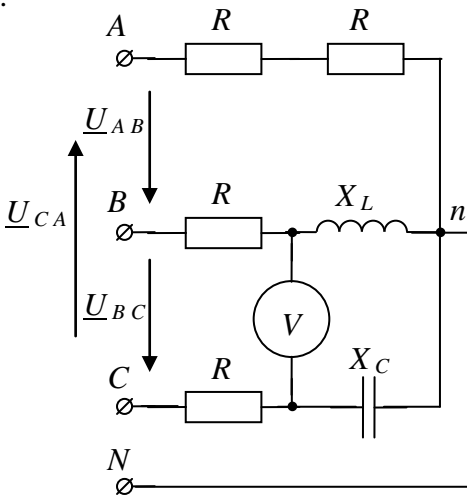
Определить величину тока  $I_B$ , если модули токов в фазах треугольника  $I_\Phi = 1$  А.

7.9.



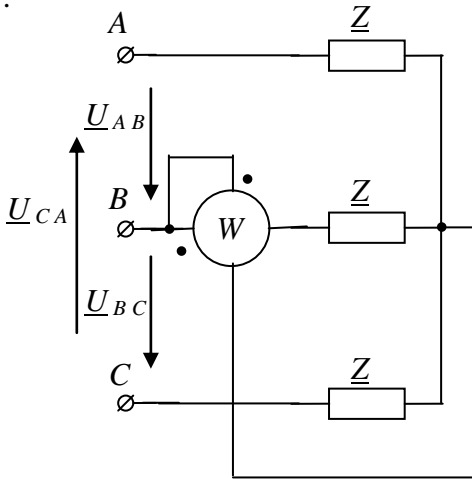
Определить показание вольтметра в несимметричной трехфазной цепи с соединением звезда — звезда с нулевым проводом, если фазное напряжение генератора  $U_{\Phi} = 120$  В,  $R = X_L = X_C = 10$  Ом.

7.10.



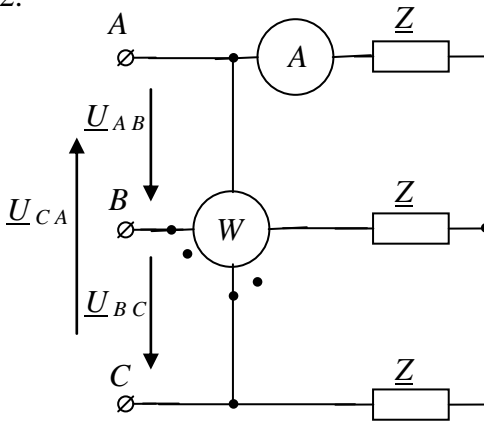
Трехфазная цепь с параметрами  $R = X_L = X_C$  подключена к сети с фазным напряжением 220 В. Определить показание вольтметра.

7.11.



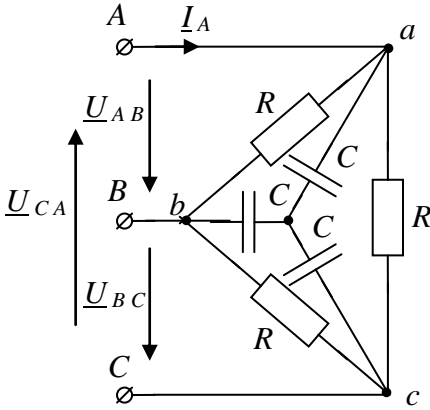
Определить мощность, которую покажет электродинамический ваттметр, включенный в трехфазную цепь с линейным напряжением  $U_L = 220$  В и сопротивлениями  $\underline{Z} = (20 - j20)$  Ом.

7.12.



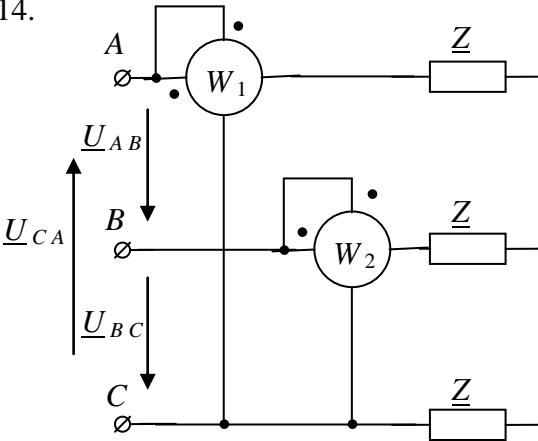
Определить показание ваттметра электродинамической системы и реактивную мощность трехфазной цепи, если  $I_A = 4,4$  А,  $\underline{Z} = 50e^{-j80^\circ}$  Ом.

7.13.



Фазные токи в симметричной трехфазной цепи равны  $I_R = I_C = 2$  А. Определить модули линейных токов.

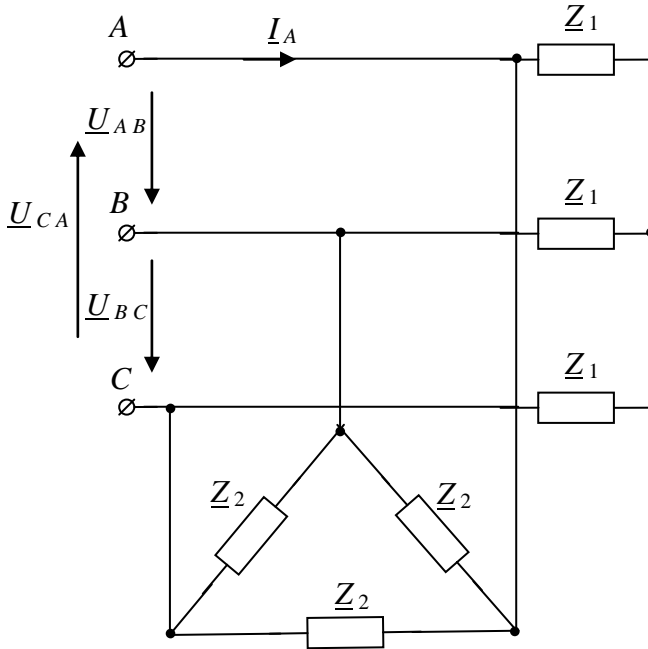
7.14.



Определить параметры симметричной трехфазной нагрузки  $X_L$  и  $R$ , если известны показания ваттметров:  
 $P_{W_1} = 400$  Вт;  
 $P_{W_2} = 200$  Вт.

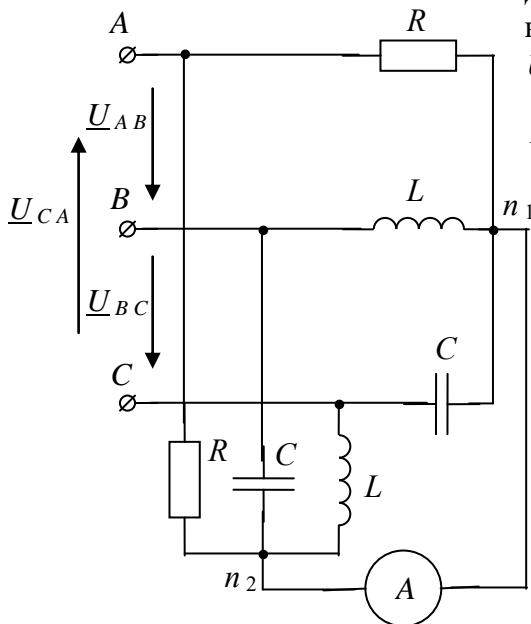


7.15.



Определить линейный ток  $\underline{I}_A$ , если мощность, потребляемая звездой сопротивлений нагрузки  $\underline{Z}_1$ ,  $P_{Z_1} = 3,3$  кВт, а треугольником сопротивлений  $\underline{Z}_2$  —  $P_{Z_2} = 2,15$  кВт. Линейное напряжение  $\underline{U}_{AB} = 220$  В. Характер нагрузок  $Z_1$  ( $\cos \varphi_1 = 0,867$ ) и  $Z_2$  ( $\cos \varphi_2 = 0,707$ ) — активно-индуктивный.

7.16.



Дано: линейное  
напряжение

$$U_{\text{л}} = 100 \text{ В};$$

$$R = \omega L = \frac{1}{\omega C} = 10 \text{ Ом.}$$

Что покажет амперметр, включенный между нулевыми точками двух звезд нагрузки?

## ТЕМА 8. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Пример 8.1.** Параметры длинной линии (рис. 8.1): частота  $f = 500$  Гц; длина  $l = 200$  км;  $R_0 = 10$  Ом/км;  $C_0 = 9,6 \cdot 10^{-9}$  Ф/км;  $L_0 = 5,08 \cdot 10^{-3}$  Гн/км;  $G_0 = 1,25 \cdot 10^{-6}$  См/км; напряжение и ток в конце линии  $\underline{U}_2 = 100$  В;  $\underline{I}_2 = 64,2 e^{j15^\circ}$  мА. Определить напряжение  $\underline{U}_1$  и ток  $\underline{I}_1$  в начале линии.

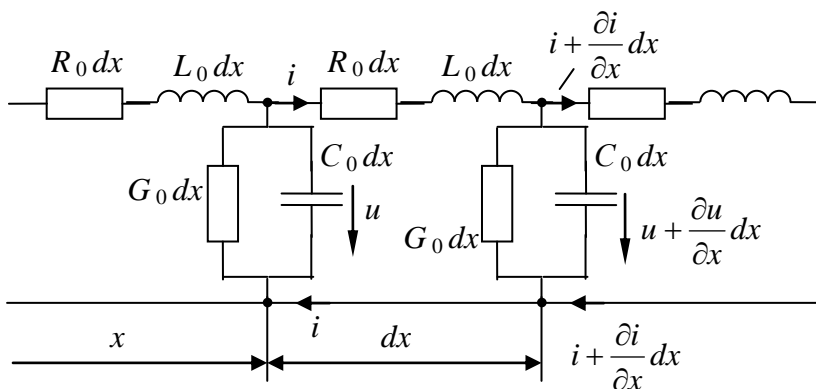


Рис. 8.1

*Решение.* Напряжение и ток в линии на расстоянии  $y$  от конца линии до рассматриваемой точки:

$$\underline{U} = \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} y + \underline{I}_2 \underline{Z}_B \operatorname{sh} \underline{\gamma} y; \quad \underline{I} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_B} \operatorname{sh} \underline{\gamma} y + \underline{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} y.$$

Волновое сопротивление

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = (763,5 - j202,4) \text{ Ом},$$

где угловая частота  $\omega = 2\pi f = 3142 \text{ с}^{-1}$ .

Коэффициент распространения

$$\begin{aligned}\underline{\gamma} &= \alpha + j\beta = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = \\ &= (7,059 \cdot 10^{-3} + j0,023) \text{ км}^{-1},\end{aligned}$$

где  $\alpha = 7,059 \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-1}$  — коэффициент затухания;  
 $\beta = 0,023 \text{ км}^{-1}$ , — коэффициент фазы.

Напряжение и ток в начале линии (гиперболические функции вычислим с помощью Mathcad):

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \text{ ch } \underline{\gamma} l + \underline{I}_2 \underline{Z}_B \text{ sh } \underline{\gamma} l = (-5,557 \cdot 10^4 - j1,318 \cdot 10^5) \text{ В};$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_B} \text{ sh } \underline{\gamma} l + \underline{I}_2 \text{ ch } \underline{\gamma} l = (-28,42 - j159,3) \text{ А}.$$

**Пример 8.2.** Считая линию (рис. 8.1) линией без потерь ( $R_0 = G_0 = 0$ ), определить напряжение  $\underline{U}_1$  и ток  $\underline{I}_1$  в начале линии и построить график распределения модуля напряжения вдоль линии в функции от координаты. Остальные данные взять из условия примера 8.1.

*Решение.* График распределения модуля напряжения вдоль линии в функции координаты  $|\underline{U}(y)| = |\underline{U}_2 \text{ ch } j\beta l + \underline{I}_2 \underline{Z}_C \text{ sh } j\beta l|$  представлен на рис. 8.2.

Для линии без потерь ( $R_0 = G_0 = \alpha = 0$ ): волновое сопротивление

$$\underline{Z}_C = \sqrt{L_0/C_0} = 727,4 \text{ Ом};$$

$$\underline{\gamma} = j\omega\sqrt{L_0 C_0} = 0,022;$$

$$\underline{U} = \underline{U}_2 \text{ ch } j\beta y + \underline{I}_2 \underline{Z}_C \text{ sh } j\beta y; \quad \underline{I} = \underline{I}_2 \text{ ch } j\beta y + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_C} \text{ sh } j\beta y;$$

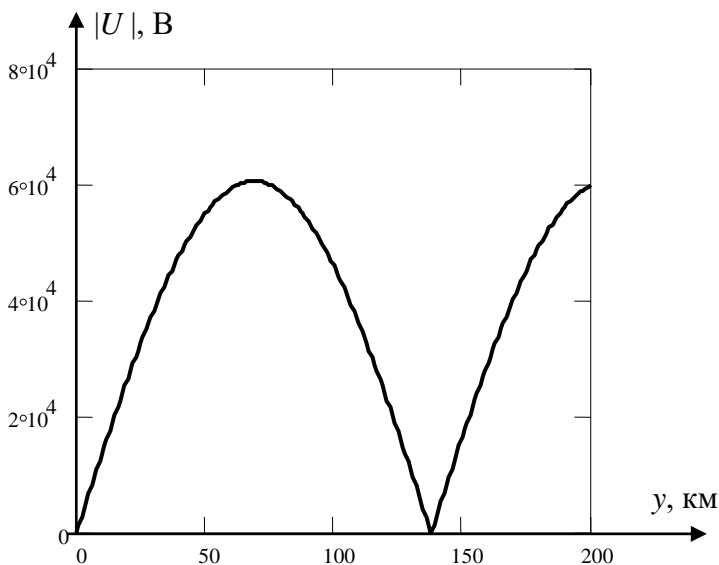


Рис. 8.2

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch} j\beta l + \underline{I}_2 \underline{Z}_C \operatorname{sh} j\beta l = (-15,69 - j5,993 \cdot 10^4) \text{ В};$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \operatorname{ch} j\beta l + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_C} \operatorname{sh} j\beta l = (-13,09 - j0,113) \text{ А}.$$

### Задачи

- 8.1. Определить длину волны, если известны параметры кабельной линии:  $R_0 = 1 \text{ Ом/км}$ ;  $\omega C_0 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}$ ;  $L_0 = 0$ ;  $G_0 = 0$ .
- 8.2. Параметры кабельной линии:  $R_0 = 1 \text{ Ом/км}$ ;  $C_0 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф/км}$ ;  $L_0 = 0$ ;  $G_0 = 0$ . Определить фазовую скорость распространения волны вдоль линии при частоте  $\omega = 1000 \text{ с}^{-1}$ .

- 8.3. Длинная линия с первичными параметрами  
 $R_0 = 22 \text{ Ом/км}$ ;  $C_0 = 7,8 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/м}$ ;  $L_0 = 8,4 \text{ мГн/км}$ ;  
 $G_0 = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ См/км}$  работает на частоте  $f = 600 \text{ Гц}$ .  
 Определить вторичные параметры  $\underline{Z}_C$ ,  $\underline{\gamma}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ .
- 8.4. Телефонная линия характеризуется параметрами:  
 $R_0 = 5,5 \text{ Ом/км}$ ;  $C_0 = 6 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/км}$ ;  $L_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн/км}$ ;  
 $G_0 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$ . Какие индуктивности  $L_1$  на каждый километр длины нужно включить, чтобы линия стала неискажающей?
- 8.5. Параметры двух линий:  
 $\underline{Z}_{C1} = 100 \text{ Ом}$ ;  $\underline{Z}_{C2} = 200 e^{j30^\circ} \text{ Ом}$ . Напряжение падающей волны  $\underline{U}_{\text{Пл}} = 5 e^{j60^\circ} \text{ кВ}$ . Определить напряжение волны, отраженной от места стыка линий.
- 8.6. Линия без потерь работает в режиме короткого замыкания на конце линии на частоте  $f = 1000 \text{ Гц}$ . Длина линии  $l = \lambda/3$ . Параметры:  $L_0 = 0,2 \text{ мГн/км}$ ;  
 $C_0 = 10^{-8} \text{ Ф/км}$ . Определить входное сопротивление  $\underline{Z}_{\text{ВХКЗ}}$ .
- 8.7. Для линии длиной  $l = 5 \text{ км}$  на частоте  $f = 1000 \text{ Гц}$  известны сопротивления  $\underline{Z}_{\text{ВХХ}} = 500 e^{-j60^\circ} \text{ Ом}$  и  
 $\underline{Z}_{\text{ВХК}} = 460 e^{-j20^\circ} \text{ Ом}$ . Определить волновое сопротивление  $\underline{Z}_B$  и коэффициент распространения  $\underline{\gamma}$ .
- 8.8. Длинная линия с параметрами  $\underline{Z}_B = 500 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}$  и  
 $\underline{\gamma} = 0,2 e^{-j45^\circ} \text{ км}^{-1}$  короткозамкнута на конце и присоединена к источнику синусоидального напряжения с частотой  $f = 1000 \text{ Гц}$ . Длина линии  $l = 5 \text{ км}$ . Определить ток и напряжение в начале линии, если ток в конце линии  $\underline{I}_2 = 2 \text{ А}$ .

- 8.9. Длинная линия замкнута на активное сопротивление  $\underline{Z}_2 = 200$  Ом. Определить напряжение  $\underline{U}_1$  на входе линии, если по нагрузке протекает ток  $\underline{I}_2 = 1,5$  А, а  $f = 1000$  Гц. Параметры линии:  $\underline{Z}_B = 500e^{-j37^\circ}$  Ом;  $\underline{\gamma} = (0,1414 + j0,1414)\text{км}^{-1}$ . Длина линии  $l = 5$  км.
- 8.10. Для линии задания 9.9 определить входной ток  $\underline{I}_1$ , если линия нагружена на сопротивление  $\underline{Z}_2 = 200$  Ом, а по нагрузке протекает ток  $\underline{I}_2 = 2$  А при частоте  $f = 1000$  Гц.

## ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

**Пример 1.** Как изменятся показания амперметра в схеме рис.1 после замыкания переключателя, если  $\dot{E} = 100\text{ В}$ ,  $\omega L_2 = 1/\omega C_2$ .

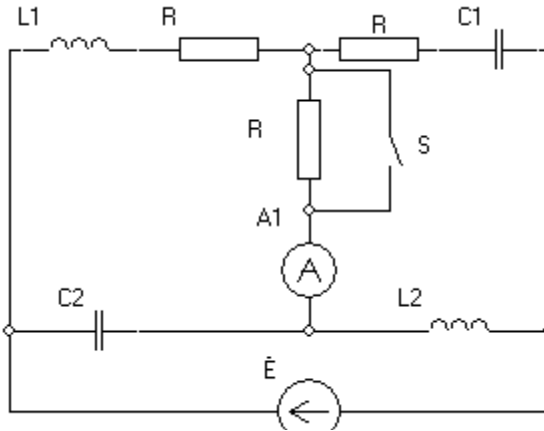


Рис. 1

Решение. Применим теорему об активном источнике. При включенном R показание амперметра равно  $\dot{I}_A = \dot{U}_x / (\underline{Z}_2 + R)$ , а при закороченном R:  $\dot{I}'_A = \dot{U}_x / \underline{Z}_2$ .

Определим

$$\underline{Z}_2 = \frac{j\omega L_2 \left(-j \frac{1}{\omega C_2}\right)}{j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right)} + \frac{(R + j\omega L_1)(R - j \frac{1}{\omega C_1})}{2R + j\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}} = \infty, \quad \text{т.к.}$$



$\omega L_2 = \frac{1}{\omega C_2}$ . Следовательно, показание амперметра не изменится.

**Пример 2.** Определить показание амперметра и мгновенное значение приложенного напряжения в цепи (рис. 2), если показание вольтметра равно 120 В,  $R_3 = R_4 = 60 \text{ Ом}$ ;  $X_3 = X_2 = X_m = 20 \text{ Ом}$ ;  $X_1 = 40 \text{ Ом}$ ;  $X_c = 80 \text{ Ом}$ ;

$$\dot{U}_{12} = 120 \text{ В}.$$

Решение. В схеме складываем параллельно включенные ак-

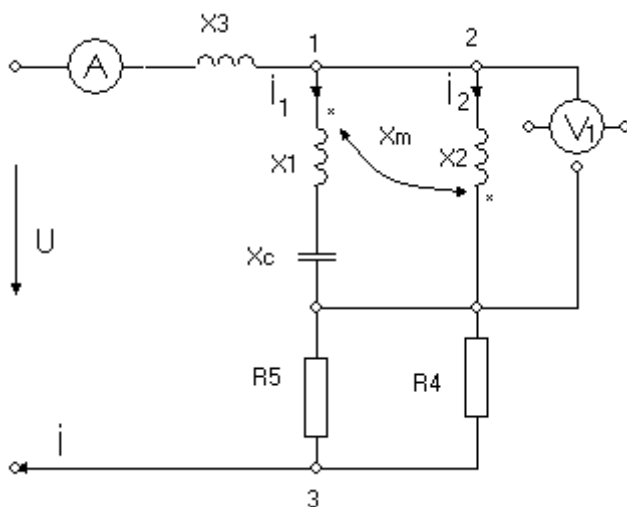


Рис. 2.

тивные сопротивления  $R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 30 \text{ Ом}$  и составляем

уравнения состояния цепи (законы Кирхгофа):  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ ;

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{12} + \dot{I}(R_{34} + jX_3); \quad \dot{U}_{12} = \dot{I}_1 j(X_1 - X_c) - \dot{I}_2 jX_m;$$

$$\dot{U}_{12} = -\dot{I}_1 jX_m + \dot{I}_2 jX_2;$$

Из решения системы двух последних уравнений:

$$\dot{I}_1(-j40) + \dot{I}_2(-j20) = 120; \quad \dot{I}_1(-j20) + \dot{I}_2(j20) = 120$$

$$\dot{I}_1 = j4A; \quad \dot{I}_2 = -j2A; \quad \text{Тогда } \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = j2A; \quad \text{получаем}$$

$$\text{токи } \dot{U} = 120 + j2(30 + j20) = 100 \exp 86^\circ 50' B.$$

Мгновенное значение приложенного напряжения:

$$u(t) = 100\sqrt{2} \sin(\omega t + 36^\circ 50') B, \quad \text{а показание амперметра} \\ I_A = I = 2 A.$$

**Пример 3.** Дано (рис.3):  $R = 5 \text{ Ом}$ ,  $L_1 = 10^{-4} \text{ Гн}$ ,  
 $L_2 = 0.25 * 10^{-4} \text{ Гн}$ ,  $M = 0.3 * 10^{-4} \text{ Гн}$ .

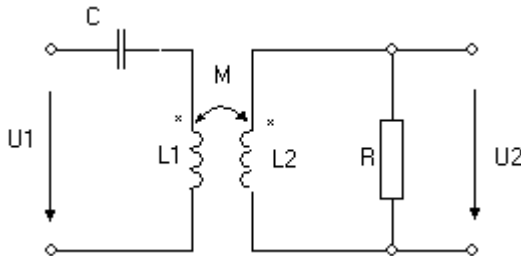


Рис. 3

Пир резонансе входное сопротивление схемы со стороны первичных зажимов равно 6,48 Ом. Определить передаточную функцию цепи по напряжению. Записать выражение для АЧХ и ФЧХ передаточной функции и вычислить их значения на резонансной частоте.

Решение.

Входное сопротивление воздушного трансформатора

$$\underline{Z}_{вх1} = \underline{Z}_{11} - \frac{\underline{Z}^2 M}{\underline{Z}_{22}} = R_{вх} + jX_{вх}, \quad \text{при резонансе}$$

$R_{вх}(\omega_0) = 6.48$ , а  $X_{вх}(\omega_0) = 0$ . Определим резонансную ча-

стоту из 
$$\frac{\omega_0^2 M^2 R}{R^2 + \omega_0^2 L_2^2} = 6.48, \quad \text{отсюда}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{6.48 R^2}{M^2 R - 6.48 L_2^2}} = 6 * 10^5 \text{ 1/c.} \quad \text{Из условия}$$

$$X_{вх}(\omega_0) = 0 \quad \text{имеем} \quad C = \frac{1}{\omega(\omega L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2})} = 4.1 \text{ } \Phi .$$

При замене  $j\omega = p$  запишем уравнения:

$$\dot{I}_1(pL_1 + \frac{1}{Cp}) + I_2 pM = U_1; \quad I_1 pM + I_2(R + pL_2) = 0 \quad \text{и}$$

$U_2 = I_2 p$ , отсюда передаточная функция цепи по напряже-  
нию равна

$$T(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{p^2 MCR}{p^3 C(L_1 L_2 - M^2) + p^2 L_1 L_2 R + pL_2 + R}, \quad \text{а}$$

АЧХ и ФЧХ есть

$$T(\omega) = \frac{\omega^2 CMR}{\sqrt{R^2(1 - \omega^2 CL_1)^2 + \omega^2(L_2 - \omega^2 C(L_1 L_2 - M^2))^2}},$$

$$\Psi_T(\omega) = \pi - \operatorname{arctg} \frac{\omega(L_2 - \omega^2 C(L_1 L_2 - M^2))}{R(1 - \omega^2 C L_1)}. \text{ При резонанс-}$$

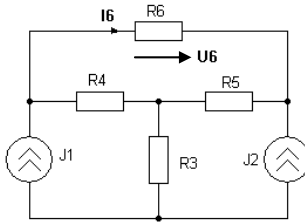
ной частоте  $T(\omega_0) = 0.848$ ,  $\Psi_T(\omega_0) = 18.4^\circ$ .

Ответ:  $T(\omega_0) = 0.848$ ,  $\Psi_T(\omega_0) = 18.4^\circ$ .

## 9.1. Электрические цепи постоянного тока

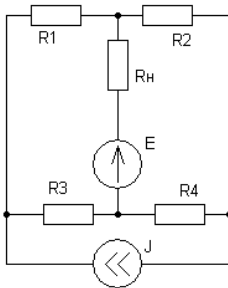
### Задачи

9.1.1.



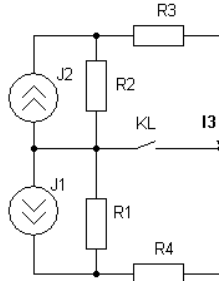
В цепи с параметрами  $R_3=1$  кОм,  $R_4=4$  кОм,  $R_5=2$  кОм,  $U_6=8$  В,  $J_1=12$  мА,  $J_2=8$  мА определить  $R_6$ .

9.1.2.



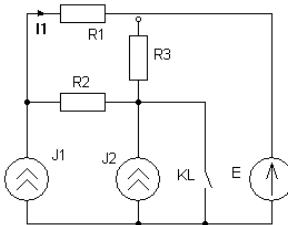
В цепи с параметрами  $R_1=R_2=6$  Ом,  $R_3=R_4=2$  Ом,  $E=4$  В,  $J=1$  А определить  $R_n$ , если в  $R_n$  выделяется максимальная мощность  $P_{\max}$ , и эту мощность.

9.1.3.



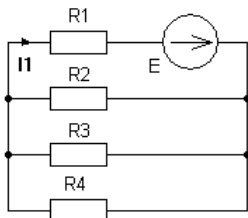
В цепи с параметрами  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_4$ ,  $J_2=2J_1$ , определить  $I_3$  при разомкнутом ключе KL, если при замкнутом ключе  $I_3=3$  А.

9.1.4.



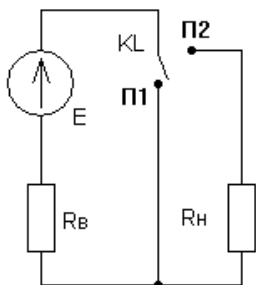
В цепи с параметрами  $R_3=3$  Ом,  $J_1=3$  А,  $J_2=4$  А,  $E=6$  В, определить  $R_1$ ,  $R_2$ , если при замкнутом ключе KL  $I_1=-1$  А, а при разомкнутом  $-I_1=4$  А.

9.1.5.



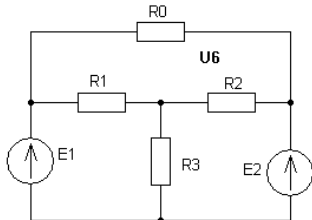
Известно, что в цепи  $I_1=3$  А,  $I_3+I_4=2,5$  А,  $I_4=1,5$  А,  $U_{R1}=U_{R2}$ . Найти все токи при увеличении  $R_4$  в три раза.

9.1.6.



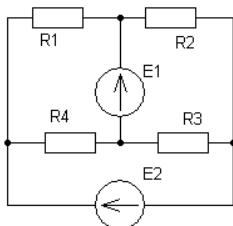
При коротком замыкании (ключ KL в положении П1) реальный источник ЭДС развивает мощность  $P_E=400$  Вт. Какую мощность может отдать этот источник в нагрузку (ключ KL в положении П2) при КПД  $\eta=0,5$ ?

9.1.7.



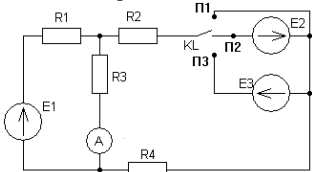
В цепи с постоянными источниками ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  известно два значения суммарной потребляемой мощности:  $P_1=60$  Вт при  $R_0=R$ , и  $P_2=80$  Вт при  $R_0=0,5 R$ . Найти значение этой мощности при  $R_0=2 R$

9.1.8.



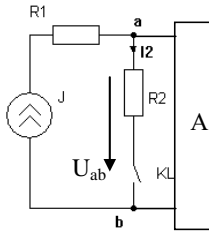
В цепи с параметрами  $R_1=2$  Ом,  $R_2=R_4=1$  Ом,  $E_1=E_2=5$  В определить  $R_3$  и мощность источников.

9.1.9.



$E_2=4$  В,  $E_3=6$  В. Ток через амперметр в положении ключа KL П1 равен  $I_A=40$  мА, в положении П2 –  $I_A=-60$  мА. Найти показание амперметра в положении ключа П3.

9.1.10.

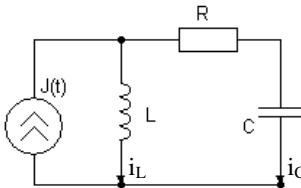


$R_1=4$  Ом,  $R_2=3$  Ом,  $J=4$  А. При замкнутом ключе KL  $I_2=3$  А, а при разомкнутом –  $U_{ab}=12$  В. Найти  $I_2$  при изменении полярности источника  $J$ .

## 9.2. Электрические цепи при синусоидальном воздействии

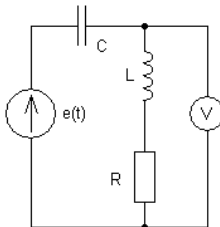
### Задачи

9.2.1.



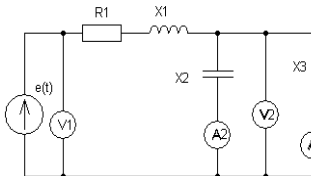
Известно, что в цепи  $J=10$  А,  $\omega=1000$  с<sup>-1</sup>,  $L=2$  мГн,  $P=200$  Вт. Напряжение на зажимах источника опережает  $J(t)$  по фазе на  $45^\circ$ . Найти  $I_L$ ,  $R$ ,  $C$ .

9.2.2.



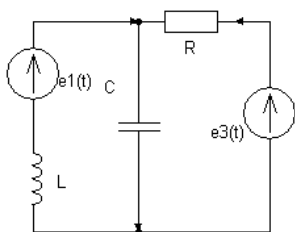
$e(t)=E_m \sin \omega t$ . Определить, при каком соотношении  $X_L$  и  $X_C$  показание вольтметра не будет зависеть от  $R$ .

9.2.3.



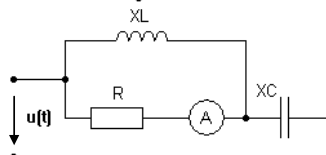
$e(t)=E_m \sin (\omega t+\varphi)$ ,  $V_1=100$  В,  $V_2=50$  В,  $A_2=10$  А,  $A_3=5$  А,  $R_1=16$  Ом. Определить сопротивление  $X_1$ .

9.2.4.



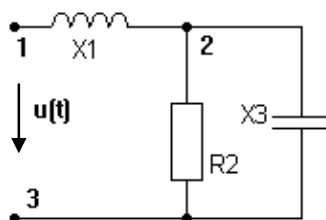
Полные мощности, развиваемые источниками  $\underline{S}_1=500+j500$  ВА,  $\underline{S}_2=500-j500$  ВА.  $i(t)=10 \sin(\omega t+45^\circ)$  А,  $X_L=10$  Ом. Найти  $\underline{E}_1$ ,  $\underline{E}_2$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$ ,  $R$ ,  $X_C$ .

9.2.5.



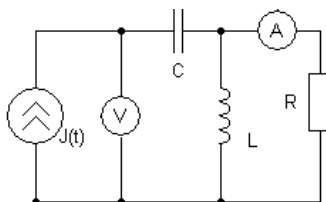
$U=40\sqrt{2}$  В,  $I_A=10$  А,  $X_C=4$  Ом. В цепи резонанс. Найти  $R$ ,  $X_L$ .

9.2.6.



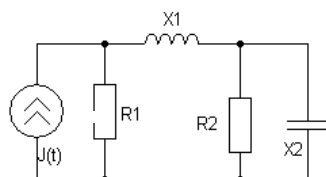
В цепи резонанс.  $U_{12}=60$  В,  $U_{13}=80$  В,  $I_C=2$  А. Найти параметры цепи  $X_L$ ,  $R_2$ ,  $X_C$ .

9.2.7.



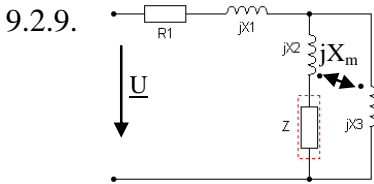
$J(t)=2\sqrt{2} \sin \omega t$  А,  $R=100$  Ом. Показания приборов электромагнитной системы  $U_V=100$  В,  $I_A=1,41$  А. Найти  $X_L$ ,  $X_C$ .

9.2.8.

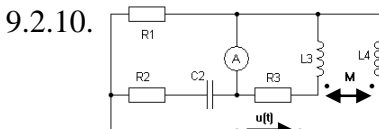


В цепи переменного тока  $J=4$  А,  $U_{R1}=4$  В,  $P_{R1}=P_{R2}=8$  Вт,  $X_L=2$  Ом. Найти  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$





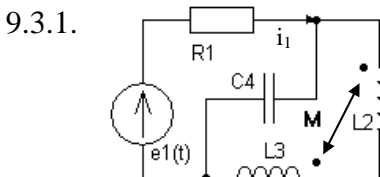
$I_3=5$  А,  $X_1=X_2=R=5$  Ом,  $X_3=4$  Ом,  $X_M=2$  Ом. Какое  $Z$  следует включить последовательно с  $X_2$ , чтобы напряжение на  $X_2$  равнялось нулю? Найти  $u(t)$ .



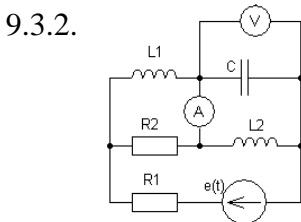
$u(t)=100 \sin (1000t-30^\circ)$  В,  $R_1=R_2=20$  Ом,  $R_3=50$  Ом,  $C_2=100$  мкФ,  $L_4=0,3$  Гн,  $I_A=0$  А. Найти  $L_3, M$ .

### 9.3. Периодические несинусоидальные токи

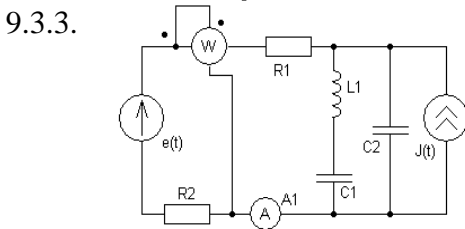
#### Задачи



$e_1(t)=60+160\sqrt{2} \sin (1000t+30^\circ)$  В,  $C=250$  мкФ,  $L_2=0,4$  Гн,  $R_1=R_2=20$  Ом. Найти  $X_M$ .

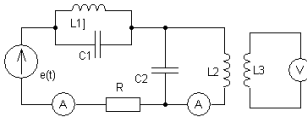


$e(t)=64+60\sqrt{2} \cos (t-37^\circ)$  В,  $R_1=8$  Ом,  $L_2=12$  Гн,  $L_3=8$  Гн,  $C_4=0,2$  Ф,  $I_1=10$  А. Найти показания приборов электромагнитной системы.



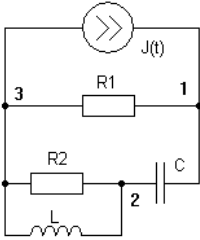
$e(t)=100+180\sqrt{2} \sin (100t)$  В,  $J(t)=4\sqrt{2} \cos (200t)$  А,  $I_A=5$  А (электромагнитной системы),  $R_1=R_2=30$  Ом,  $L_1=1$  Гн,  $C_1=100$  мкФ,  $I_1=10$  А. Найти показание ваттметра.

9.3.4.



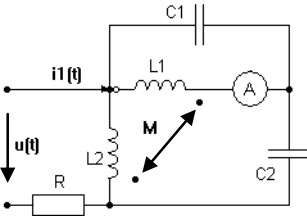
$e(t)=120+240\sqrt{2} \sin (100t) +100\sqrt{2} \sin (200t)$  В,  $R_1=20$  Ом,  $L_2=0,3$  Гн,  $M=0,15$  Гн. Показания  $I_{A1}=6$  А,  $I_{A2}=10$  А. Найти показание вольтметра.

9.3.5.



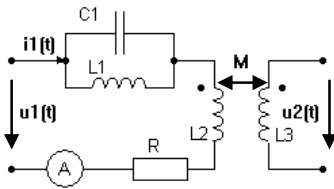
$J(t)=I_0+I\sqrt{2} \cos \omega t$  А,  $\omega=1$  с<sup>-1</sup>,  $C=1$  Ф,  $L=1$  Гн,  $R_1=R_2=1$  Ом,  $U_{13}=2\sqrt{2}$  В,  $U_{23}=2$  В. Найти  $I_0, I$ .

9.3.6.



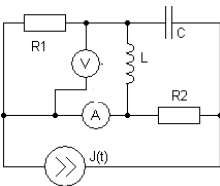
$u(t)=30+60\sqrt{2} \sin \omega t$  В,  $R=X_{C1}=X_{C2}=30$  Ом,  $X_{L1}=X_{L2}=20$  Ом,  $I_A=0$  А. Найти  $i_1(t)$ ,  $X_M$  и активную мощность цепи  $P$ .

9.3.7.



$u_1(t)=50+42,2 \sin 1000t + 14,1 \sin 3000t$  В,  $u_2(t)=28,3 \sin 1000t$  В,  $L_1=0,1$  Гн,  $M=0,05$  Гн,  $I_A=0,5$  А. Найти  $i_1(t)$ ,  $C_1, R$

9.3.8.

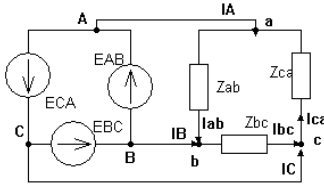


$J(t)=10+5\sqrt{2} \sin (1000 t-45^\circ)$  А,  $R_1=50$  Ом,  $R_2=25$  Ом,  $C=4$  мкФ. В цепи резонанс. Найти показания приборов.

## 9.4. Трехфазные электрические цепи

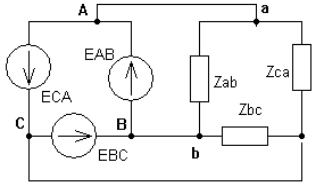
### Задачи

9.4.1.



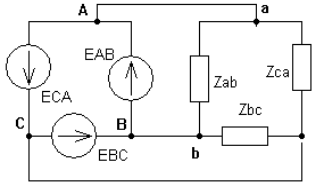
Трехфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $U_{\text{ЛЛ}}=20$  В,  $Z_{ab}=Z_{bc}=R$ ,  $I_{ab}=I_{bc}=I_{ca}=1$  А,  $I_C=2$  А. Найти  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $Z_{ca}$ ,  $P$ .

9.4.2.



Трехфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $Z_{ab}=5e^{j37^\circ}$  Ом,  $Z_{bc}=5e^{-j37^\circ}$  Ом,  $Z_{ca}=5$  Ом. Активная мощность цепи  $P=52$  Вт. Найти  $P$  при обрыве линейного провода Bb.

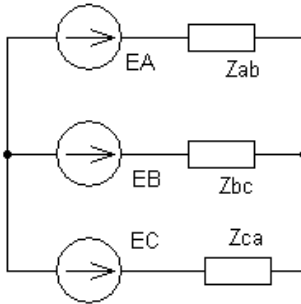
9.4.3.



Трехфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $U_{\text{ЛЛ}}=10$  В,  $Z_{ca}=Z_{ab}^*$ ,  $P_{ab}=P_{bc}=10$  Вт,  $Q_{3\phi}=0$  Вар. При обрыве линейного провода Aa  $P_{3\phi}=60$  Вт.

Найти  $Z_{ab}$ ,  $Z_{bc}$ .

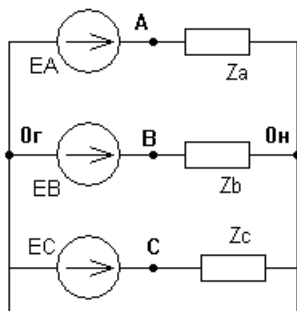
9.4.4.



Трехфазная цепь с симметричным источником соединена звездой без нулевого провода и имеет параметры:  $Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}=Z$ ,  $P_{3\phi}=48$  Вт,  $Q_{3\phi}=36$  Вар. Найти  $P$  и  $Q$  цепи при:

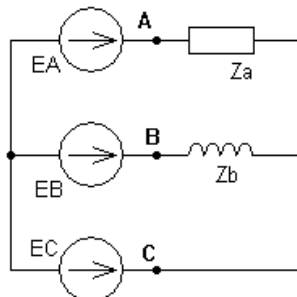
- 1) коротком замыкании фазы «А»;
- 2) обрыве фазы «А».

9.4.5.



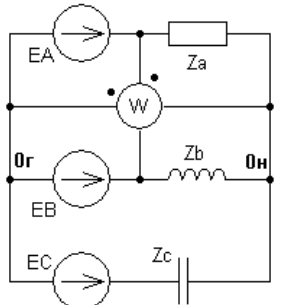
Трехфазная цепь с симметричным источником соединена звездой с нулевым проводом и имеет параметры:  $Z_a=4e^{j60^\circ}$  Ом,  $Z_b=4e^{-j60^\circ}$  Ом,  $Z_c=R$ ,  $I_A=I_C$ ,  $P_{3\phi}=128$  Вт. Найти  $P$ , если фаза «С» и нулевой провод оборваны.

9.4.6.



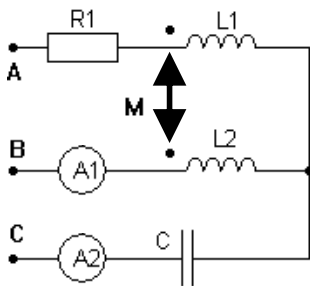
Трехфазная цепь с симметричным источником соединена звездой без нулевого провода и имеет параметры:  $U_{\text{Л}}=100$  В,  $Z_b=10$  Ом,  $I_C=0$  А. Найти  $Z_a$ .

9.4.7.



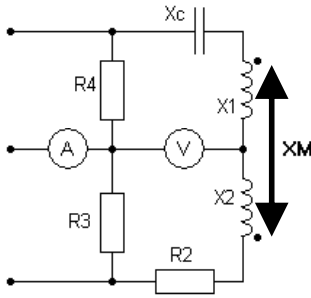
Трехфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $X_L=X_C=10$  Ом,  $U_\phi=100$  В. Найти  $Z_a$ , при котором показание ваттметра равно нулю.

9.4.8.



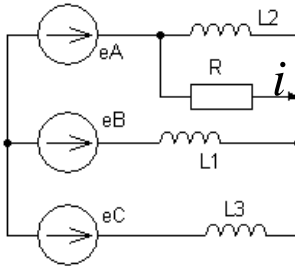
Система фазных напряжений генератора симметрична. Трехфазная цепь имеет параметры:  $R=10$  Ом,  $X_1=10$  Ом,  $X_2=40$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $K=0,5$ ,  $U_\phi=100$  В. Найти показания амперметров электромагнитной системы.

9.4.9.



Система фазных ЭДС генератора симметрична. Трехфазная цепь имеет параметры:  $R_2=R_3=R_4=X_1=20$  Ом,  $X_M=X_C=10$  Ом,  $X_2=30$  Ом,  $U_\phi=220$  В. Найти показания приборов электромагнитной системы.

9.4.10.

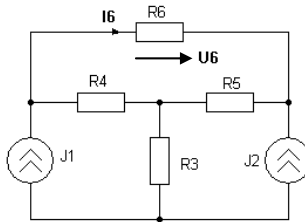


В трехфазной цепи с симметричным источником ток  $i$  находится в противофазе с ЭДС  $e_C$ . Найти соотношение  $X$  и  $R$ .

## 9.1. Электрические цепи постоянного тока

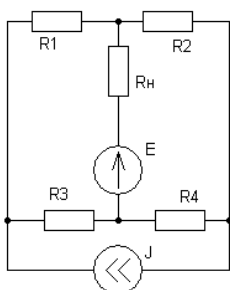
### Задачи

9.1.1.



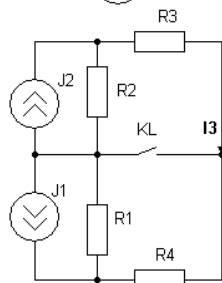
В цепи с параметрами  $R_3=1$  кОм,  $R_4=4$  кОм,  $R_5=2$  кОм,  $U_6=8$  В,  $J_1=12$  мА,  $J_2=8$  мА определить  $R_6$ .

9.1.2.



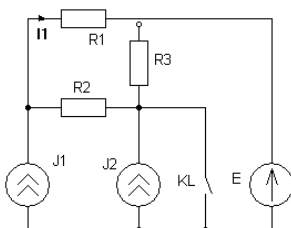
В цепи с параметрами  $R_1=R_2=6$  Ом,  $R_3=R_4=2$  Ом,  $E=4$  В,  $J=1$  А определить  $R_n$ , если в  $R_n$  выделяется максимальная мощность  $P_{\max}$ , и эту мощность.

9.1.3.



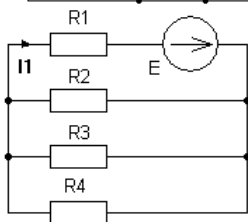
В цепи с параметрами  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_4$ ,  $J_2=2J_1$ , определить  $I_3$  при разомкнутом ключе KL, если при замкнутом ключе  $I_3=3$  А.

9.1.4.



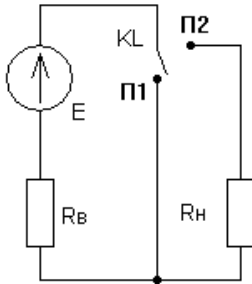
В цепи с параметрами  $R_3=3$  Ом,  $J_1=3$  А,  $J_2=4$  А,  $E=6$  В, определить  $R_1$ ,  $R_2$ , если при замкнутом ключе KL  $I_1=-1$  А, а при разомкнутом –  $I_1=4$  А.

9.1.5.



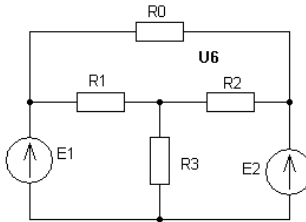
Известно, что в цепи  $I_1=3$  А,  $I_3+I_4=2,5$  А,  $I_4=1,5$  А,  $U_{R1}=U_{R2}$ . Найти все токи при увеличении  $R_4$  в три раза.

9.1.6.



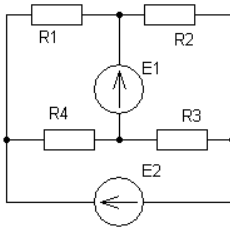
При коротком замыкании (ключ KL в положении П1) реальный источник ЭДС развивает мощность  $P_E = 400$  Вт. Какую мощность может отдать этот источник в нагрузку (ключ KL в положении П2) при КПД  $\eta = 0,5$ ?

9.1.7.



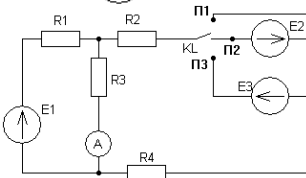
В цепи с постоянными источниками ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  известно два значения суммарной потребляемой мощности:  $P_1 = 60$  Вт при  $R_0 = R$ , и  $P_2 = 80$  Вт при  $R_0 = 0,5 R$ . Найти значение этой мощности при  $R_0 = 2 R$

9.1.8.



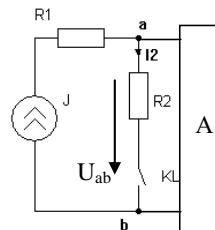
В цепи с параметрами  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = R_4 = 1$  Ом,  $E_1 = E_2 = 5$  В определить  $R_3$  и мощность источников.

9.1.9.



$E_2 = 4$  В,  $E_3 = 6$  В. Ток через амперметр в положении ключа KL П1 равен  $I_A = 40$  мА, в положении П2 –  $I_A = -60$  мА. Найти показание амперметра в положении ключа П3.

9.1.10.

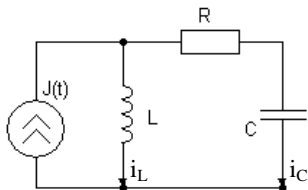


$R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $J = 4$  А. При замкнутом ключе KL  $I_2 = 3$  А, а при разомкнутом –  $U_{ab} = 12$  В. Найти  $I_2$  при изменении полярности источника  $J$ .

## 9.2. Электрические цепи при синусоидальном воздействии

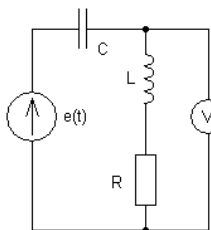
### Задачи

9.2.1.



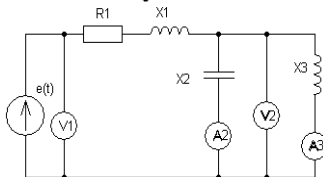
Известно, что в цепи  $J=10$  А,  $\omega=1000$  с<sup>-1</sup>,  $L=2$  мГн,  $P=200$  Вт. Напряжение на зажимах источника опережает  $J(t)$  по фазе на  $45^\circ$ . Найти  $I_L$ ,  $R$ ,  $C$ .

9.2.2.



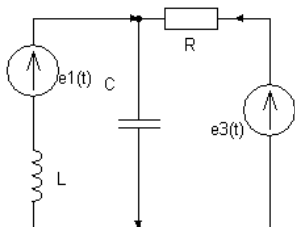
$e(t)=E_m \sin \omega t$ . Определить, при каком соотношении  $X_L$  и  $X_C$  показание вольтметра не будет зависеть от  $R$ .

9.2.3.



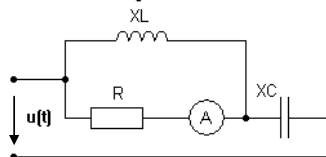
$e(t)=E_m \sin (\omega t+\varphi)$ ,  $V_1=100$  В,  $V_2=50$  В,  $A_2=10$  А,  $A_3=5$  А,  $R_1=16$  Ом. Определить сопротивление  $X_1$ .

9.2.4.



Полные мощности, развиваемые источниками  $\underline{S}_1=500+j500$  ВА,  $\underline{S}_2=500-j500$  ВА.  $i(t)=10 \sin (\omega t+45^\circ)$  А,  $X_L=10$  Ом. Найти  $\underline{E}_1$ ,  $\underline{E}_2$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_3$ ,  $R$ ,  $X_C$ .

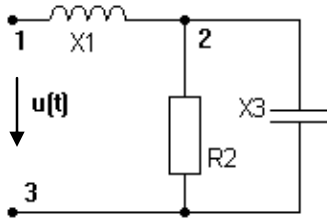
9.2.5.



$U=40\sqrt{2}$  В,  $I_A=10$  А,  $X_C=4$  Ом. В цепи резонанс. Найти  $R$ ,  $X_L$ .

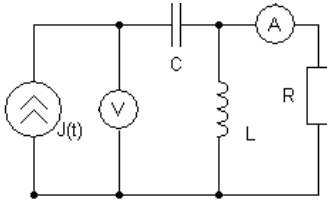


9.2.6.



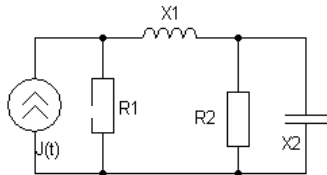
В цепи резонанс.  $U_{12}=60$  В,  $U_{13}=80$  В,  $I_C=2$  А. Найти параметры цепи  $X_1$ ,  $R_2$ ,  $X_3$ .

9.2.7.



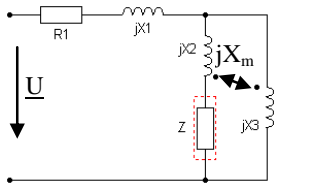
$J(t) = 2\sqrt{2} \sin \omega t$  А,  $R=100$  Ом. Показания приборов электромагнитной системы  $U_V=100$  В,  $I_A=1,41$  А. Найти  $X_L$ ,  $X_C$ .

9.2.8.



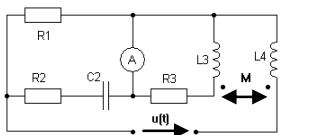
В цепи переменного тока  $J=4$  А,  $U_{R1}=4$  В,  $P_{R1}=P_{R2}=8$  Вт,  $X_1=2$  Ом. Найти  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$

9.2.9.



$I_3=5$  А,  $X_1=X_2=R=5$  Ом,  $X_3=4$  Ом,  $X_M=2$  Ом. Какое  $Z$  следует включить последовательно с  $X_2$ , чтобы напряжение на  $X_2$  равнялось нулю? Найти  $u(t)$ .

9.2.10.

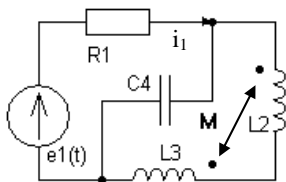


$u(t)=100 \sin (1000t-30^\circ)$  В,  $R_1=R_2=20$  Ом,  $R_3=50$  Ом,  $C_2=100$  мкФ,  $L_4=0,3$  Гн,  $I_A=10$  А. Найти  $L_3$ ,  $M$ .

### 9.3. Периодические несинусоидальные токи

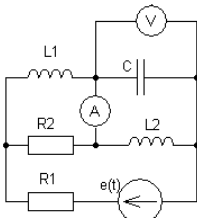
#### Задачи

9.3.1.



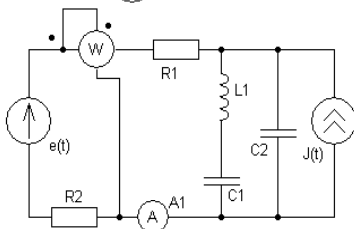
$e_1(t)=60+160\sqrt{2} \sin (1000 t+30^\circ)$  В,  $C=250$  мкФ,  $L_2=0,4$  Гн,  $R_1=R_2=20$  Ом. Найти  $X_M$ .

9.3.2.



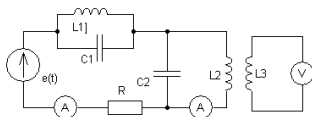
$e(t)=64+60\sqrt{2} \cos (t-37^\circ)$  В,  $R_1=8$  Ом,  $L_2=12$  Гн,  $L_3=8$  Гн,  $C_4=0,2$  Ф,  $I_1=10$  А. Найти показания приборов электромагнитной системы.

9.3.3.



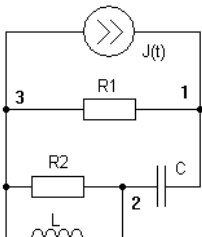
$e(t)=100+180\sqrt{2} \sin (100t)$  В,  $J(t)=4\sqrt{2} \cos (200t)$  А,  $I_A=5$  А (электромагнитной системы),  $R_1=R_2=30$  Ом,  $L_1=1$  Гн,  $C_1=100$  мкФ,  $I_J=10$  А. Найти показание ваттметра.

9.3.4.



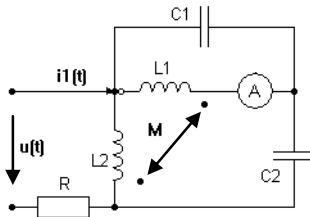
$e(t)=120+240\sqrt{2} \sin (100t) +100\sqrt{2} \sin (200t)$  В,  $R_1=20$  Ом,  $L_2=0,3$  Гн,  $M=0,15$  Гн. Показания  $I_{A1}=6$  А,  $I_{A2}=10$  А. Найти показание вольтметра.

9.3.5.



$J(t)=I_0+I\sqrt{2} \cos \omega t$  А,  $\omega=1$  с<sup>-1</sup>,  $C=1$  Ф,  $L=1$  Гн,  $R_1=R_2=1$  Ом,  $U_{13}=2\sqrt{2}$  В,  $U_{23}=2$  В. Найти  $I_0, I$ .

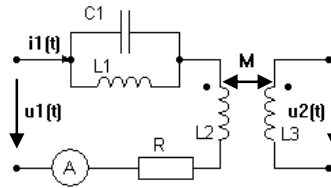
9.3.6.



$u(t)=30+60\sqrt{2} \sin \omega t$  В,  
 $R=X_{C1}=X_{C2}=30$  Ом,  
 $X_{L1}=X_{L2}=20$  Ом,  $I_A=0$  А.

Найти  $i_1(t)$ ,  $X_M$  и активную мощность цепи  $P$ .

9.3.7.

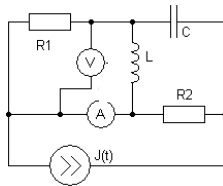


$u_1(t)=50+42,2 \sin 1000t +$   
 $14,1 \sin 3000t$  В,

$u_2(t)=28,3 \sin 1000t$  В,  
 $L_1=0,1$  Гн,  $M=0,05$  Гн,

$I_A=0,5$  А. Найти  $i_1(t)$ ,  $C_1$ ,  $R$

9.3.8.

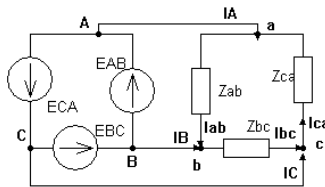


$J(t)=10+5\sqrt{2} \sin (1000 t-45^\circ)$   
 А,  $R_1=50$  Ом,  $R_2=25$  Ом,  $C=4$   
 мкФ. В цепи резонанс. Найти  
 показания приборов.

## 9.4. Трёхфазные электрические цепи

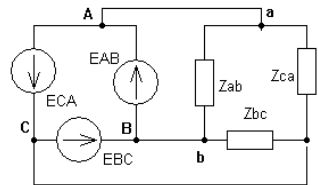
### Задачи

9.4.1.



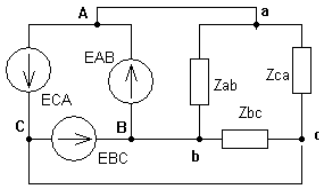
Трёхфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $U_{\text{Л}}=20$  В,  
 $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=R$ ,  $I_{ab}=I_{bc}=I_{ca}=1$  А,  
 $I_C=2$  А. Найти  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $\underline{Z}_{ca}$ ,  $P$ .

9.4.2.



Трёхфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $\underline{Z}_{ab}=5e^{j37^\circ}$  Ом,  
 $\underline{Z}_{bc}=5e^{-j37^\circ}$  Ом,  $\underline{Z}_{ca}=5$  Ом. Активная мощность цепи  $P=52$  Вт. Найти  $P$  при обрыве линейного провода Вв.

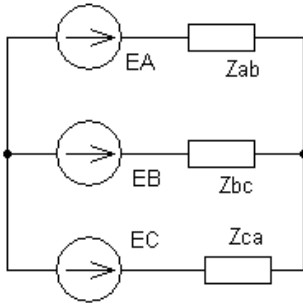
9.4.3.



Трёхфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $U_{\text{ЛЛ}}=10$  В,  $\underline{Z}_{ca}=\underline{Z}_{ab}^*$ ,  $P_{ab}=P_{bc}=10$  Вт,  $Q_{3\phi}=0$  Вар. При обрыве линейного провода  $Aa$   $P_{3\phi}=60$  Вт.

Найти  $\underline{Z}_{ab}$ ,  $\underline{Z}_{bc}$ .

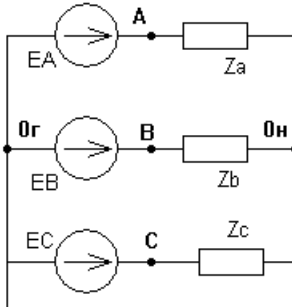
9.4.4.



Трёхфазная цепь с симметричным источником соединена звездой без нулевого провода и имеет параметры:  $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}=\underline{Z}$ ,  $P_{3\phi}=48$  Вт,  $Q_{3\phi}=36$  Вар. Найти  $P$  и  $Q$  цепи при:

- 3) коротком замыкании фазы «А»;
- 4) обрыве фазы «А».

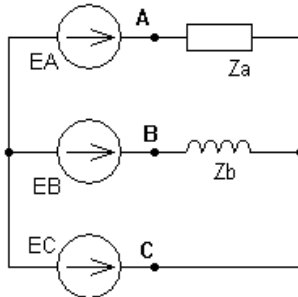
9.4.5.



Трёхфазная цепь с симметричным источником соединена звездой с нулевым проводом и имеет параметры:  $\underline{Z}_a=4e^{j60^\circ}$  Ом,  $\underline{Z}_b=4e^{-j60^\circ}$  Ом,  $\underline{Z}_c=R$ ,  $I_A=I_C$ ,  $P_{3\phi}=128$  Вт.

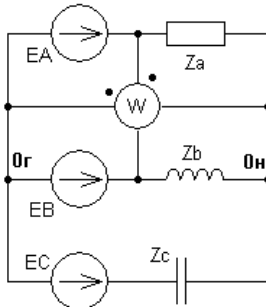
Найти  $P$ , если фаза «С» и нулевой провод оборваны.

9.4.6.



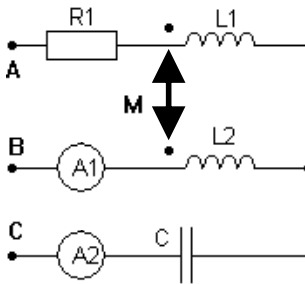
Трёхфазная цепь с симметричным источником соединена звездой без нулевого провода и имеет параметры:  $U_{\text{ЛЛ}}=100$  В,  $\underline{Z}_b=10$  Ом,  $I_C=0$  А. Найти  $\underline{Z}_a$ .

9.4.7.



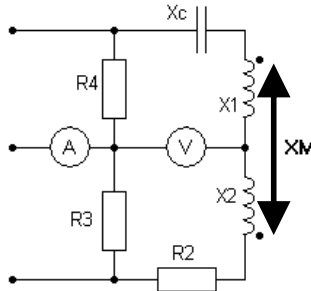
Трехфазная цепь с симметричным источником имеет параметры:  $X_L = X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $U_\phi = 100 \text{ В}$ . Найти  $Z_a$ , при котором показание ваттметра равно нулю.

9.4.8.



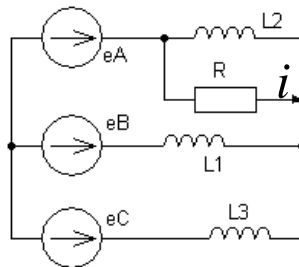
Система фазных напряжений генератора симметрична. Трехфазная цепь имеет параметры:  $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_2 = 40 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $K = 0,5$ ,  $U_\phi = 100 \text{ В}$ . Найти показания амперметров электромагнитной системы.

9.4.9.



Система фазных ЭДС генератора симметрична. Трехфазная цепь имеет параметры:  $R_2 = R_3 = R_4 = X_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $X_M = X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_2 = 30 \text{ Ом}$ ,  $U_\phi = 220 \text{ В}$ . Найти показания приборов электромагнитной системы.

9.4.10.



В трехфазной цепи с симметричным источником ток  $i$  находится в противофазе с ЭДС  $e_C$ . Найти соотношение  $X$  и  $R$ .



## ОТВЕТЫ

### Тема 1

1.1.  $T = 0,0125$  с.

1.2.  $R_3 = 30$  Ом;

$L_3 = 0,9$  Гн.

1.3.  $U_{C2} = 2U_{C1}$ .

1.4.  $C_3 = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$ .

1.5.

$u(t) = 160 \sin(\omega t - 83,1^\circ)$  В.

1.6.

$u(t) = 240\sqrt{2} \sin(\omega t + 195^\circ)$  В.

1.7.  $U_{V2} = 40$  В.

1.8.  $U_V = 80$  В.

1.9.  $R_k = 10$  Ом;

$L_k = 123,5$  мГн.

1.10.  $I_A = 2\sqrt{2}$  А.

1.11.  $R = 5$  Ом;  $X = 0$ .

1.12.  $\underline{Z} = 10 + j5 =$

$= 11,2 e^{j63,5^\circ}$  Ом.

1.13.  $g = b_L = 0,025$  См.

1.14.  $\underline{U}_{mab} = 10\sqrt{2} e^{-j45^\circ}$  В.

1.15.  $P_W = 1000$  Вт.

1.16.  $P_W = 500$  Вт.

1.17.  $I_A = 10$  А;

$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 53^\circ)$  А.

1.18.  $U_{R1} = 120$  В.

1.19.  $L_3 = 0$ .

1.20.  $L_3 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$ .

1.21.  $U_V = 10\sqrt{2}$  В.

1.22. Увеличится в  $\sqrt{2}$  раз.

1.23.  $U_V = 45$  В.

1.24. Не изменится.

1.25. Возрастет в два раза.

### Тема 2

2.1.  $\underline{Z}(\omega) = \frac{R\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$

— АЧХ;

2.2.  $\underline{k}_i(j\omega) = \frac{R\omega C}{R\omega C - j}$ .

$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg \frac{\omega L}{R}$  —

ФЧХ.

$$2.3. \quad \underline{k}_i(\omega) = \frac{R\omega C}{\sqrt{(R\omega C)^2 + 1}}$$

— АЧХ;

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{1}{R\omega C} \quad \text{—}$$

ФЧХ.

2.4.

$$\underline{k}_u(j\omega) = \frac{j\omega LR_2}{R_1 R_2 + j\omega L(R_1 + R_2)}$$

2.5.

$$k_u \omega =$$

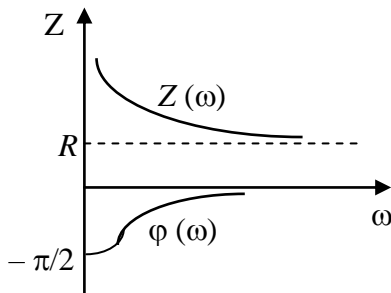
$$= \frac{\omega LR_2}{\sqrt{R_1 R_2^2 + [\omega L(R_1 + R_2)]^2}}$$

— АЧХ;

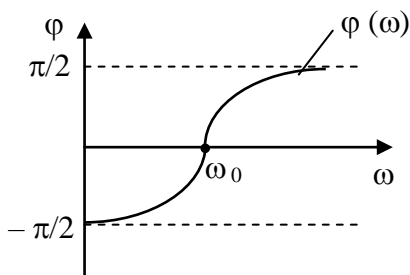
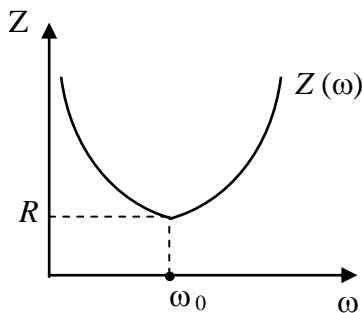
$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{\omega L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$$

— ФЧХ.

2.6.

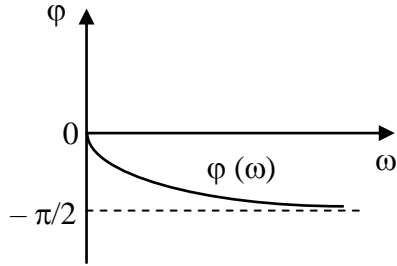
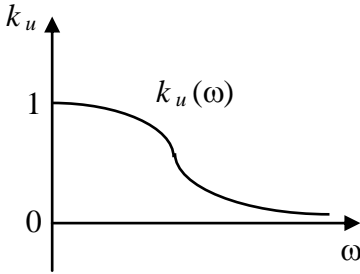


2.7.





2.8.



2.9.  $X_1 = 10 \text{ Ом. (20 Ом)}$

2.10.  $X_2 = 10 \text{ Ом.}$

2.11.  $f_0 = 100 \text{ Гц.}$

2.12.

$\underline{Z}_{\text{BX}} = 20\sqrt{2} e^{-j45^\circ} \text{ Ом.}$

2.13. Увеличится в  $\sqrt{2}$  раз.

2.14.  $I_A = 0.$

2.15.  $R > X_L; R > X_C.$

2.16.  $\omega_0 = 5000 \text{ с}^{-1};$

$I_A = 2 \text{ А.}$

2.17.  $R = \infty.$

2.18.  $R = 5 \text{ Ом.}$

2.19.  $U_V = 10\sqrt{3} \text{ В;}$

$Q = 1/\sqrt{3}.$

2.20.  $C = 200 \text{ мкФ.}$

### Тема 3

3.1.  $I_3 = -0,25 \text{ А.}$

3.2.  $E_\Gamma = -3,5 \text{ В;}$

$R_\Gamma = 100 \text{ Ом.}$

3.3.  $I_1 = -1 \text{ А.}$

3.4.

$i(t) = 2,25 \sin(\omega t + 20,9^\circ) \text{ А.}$

3.5.  $\underline{Z}_\Gamma = 20 e^{j60^\circ} \text{ Ом.}$

3.6.

$i_c(t) = 1,6 \sin(100t + 108,5^\circ) \text{ А.}$

3.7.

$i_c(t) = 1,59 \sin(100t + 108,5^\circ) \text{ А.}$

3.8.

$i_L(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ А.}$

3.9.

$i_2(t) = 1,6 + 1 \cos(\omega t - 15^\circ) \text{ А.}$

3.10.

$i_2(t) = 0,5 + 0,8 \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ А.}$

## Тема 4

4.1.  $I_1 = I_2 = I_3 = 5 \text{ A};$

$I_4 = 15 \text{ A};$

$I_5 = 10 \text{ A}; \varphi_1 = 30 \text{ B}.$

4.2.  $J_{11} = 10 \text{ A}; J_{22} = 5 \text{ A};$

$J_{33} = 4 \text{ A}; I_A = 5 \text{ A}.$

4.3.  $I_5 = 0,5 \text{ A}.$

4.4.

$i_2(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t - 180^\circ) \text{ A};$

$u_{ab}(t) = 20 \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ B}.$

4.5.

$i_1(t) = 0,5\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ A}.$

4.6.

$i_C t = 1,59\sqrt{2} \sin \omega t - 18,5^\circ \text{ A}.$

4.7. Метод узловых потенциалов.

4.8.  $i_L = 0.$

4.9.  $I_A = 1 \text{ A}.$

4.10.

$i_1(t) = 2 \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ A}.$

4.11.  $I_A = 1 \text{ A}.$

4.12.  $U_V = 10\sqrt{2} \text{ B}.$

4.13.  $I_1 = -10 \text{ A};$

$I_2 = I_3 = 22,4 e^{-j26,5^\circ} \text{ A}.$

4.14.  $U_{V1} = 59 \text{ B};$

$U_{V2} = 50 \text{ B};$

$Z_{ab} = 11,2 e^{j26,5^\circ} \text{ Ом}.$

4.15.  $U_V = 17,6 \text{ B};$

$Z_{ab} = 2 \text{ Ом}.$

## Тема 5

5.1.  $\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22} = 1;$

$\underline{A}_{12} = \underline{Z}; \underline{A}_{21} = 0.$

5.2.  $\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22} = \sqrt{2} e^{-j45^\circ};$

$\underline{A}_{12} = -j10 \text{ Ом};$

$\underline{A}_{21} = (0,2 - j0,1) \text{ См}.$

5.3.  $\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} R + jX_L & -R \\ R & -R \end{bmatrix}.$

5.4.  $\underline{A}_{11} = \sqrt{2} e^{j45^\circ}; \underline{A}_{22} = 1;$

$\underline{A}_{12} = j10 \text{ Ом};$

$\underline{A}_{21} = 0,1 \text{ См}.$

5.5.  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = -j10 \text{ Ом};$

$\underline{Z}_0 = 10 \text{ Ом}.$

5.6.  $\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 0 & j0,1 \\ -j0,1 & j0,1 \end{bmatrix}.$

5.7.

$\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22} = 1,3;$

$$\underline{A}_{12} = j3 \text{ Ом};$$

$$\underline{A}_{21} = -j0,23 \text{ См}.$$

$$5.8. \underline{Z}_C = 0; \underline{\Gamma} = 0 + j\pi;$$

$$\alpha = 0; \beta = \pi.$$

$$5.9. \quad \alpha = 0,599 \text{ Нп};$$

$$\beta = 0,135.$$

$$5.10. \underline{Z}_C = 3,6 \text{ Ом};$$

$$\alpha = 0,756 \text{ Нп}; \beta = 0.$$

## Тема 6

6.1. Четные и нечетные синусные составляющие.

$$6.2. I_{A1} = 5 \text{ А};$$

$$I_{A2} = 12,25 \text{ А}.$$

$$6.3. I_A = 18,5 \text{ А}.$$

$$6.4. e(t) = \sum_{k=1,3,5}^{\infty} E_{km} \cos k \omega t.$$

$$6.5. \underline{Z}^{(3)} = 36 e^{j56,3^\circ} \text{ Ом}.$$

$$6.6. I_A = 5\sqrt{2} \text{ А}.$$

$$6.7. I_A = 4,12 \text{ А};$$

$$U_V = 42,6 \text{ В}.$$

$$6.8. I_A = 3,2 \text{ А}; U_V = 17 \text{ В}.$$

$$6.9. i(t) = \left[ 2 + 1,67\sqrt{2} \sin(200t - 78,6^\circ) \right] \text{ А};$$

$$I_A = 2 \text{ А}; U_V = 100,6 \text{ В}.$$

$$6.10. P = 120 \text{ Вт}.$$

$$6.11. S = 604 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$P = 570 \text{ Вт}.$$

6.12. Не изменится.

$$6.13. P = 60 \text{ Вт};$$

$$Q = 28,5 \text{ вар};$$

$$S = 76,5 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S = 37,6 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

$$6.14. R = 2 \text{ Ом};$$

$$L = 0,106 \text{ Гн}.$$

$$6.15. R = 20 \text{ Ом};$$

$$C = 118 \text{ мкФ}.$$

$$6.16. L_1 = 0,5 \text{ Гн};$$

$$L_2 = 0,17 \text{ Гн}.$$

## Тема 7



- 7.1.  $U_V = 0$ .
- 7.2.  $I_A = 2 \text{ A}$ .
- 7.3.  $U_V = \frac{\sqrt{3}}{2} U$ .
- 7.4.  $I_A = 32,8 \text{ mA}$ .
- 7.5.  $I_A = 2,6 \text{ A}$ .
- 7.6.  $U_{V3} = 127 \text{ В}$ .
- 7.7.  $I_A = 4,5 \text{ A}$ .
- 7.8.  $I_B = 1,73 \text{ A}$ .
- 7.9.  $U_V = 330 \text{ В}$ .
- 7.10.  $U_V = 213 \text{ В}$ .
- 7.11.  $P_W = 405 \text{ Вт}$ .
- 7.12.  $P_W = -1280 \text{ Вт}$ .
- $Q = -2220 \text{ вар}$ .
- 7.13.  $I_{II} = 4 \text{ A}$ .
- 7.14.  $R = 60 \text{ Ом}$ ;  
 $X_L = 35 \text{ Ом}$ .
- 7.15.  $\underline{I}_A = 17,8 e^{-j66,5^\circ} \text{ A}$ .
- 7.16.  $I_A = 10 \text{ A}$ .

## Тема 8

- 8.1.  $\lambda = 443 \text{ км}$ .
- 8.2.  $v_\Phi = 70700 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .
- 8.3.  $\underline{Z}_C = 1140 e^{-j12,5^\circ} \text{ Ом}$ .
- 8.4.  $L_1 = 64 \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma\text{H}}{\text{км}}$ .
- 8.5.  $\underline{U}_{\text{ОТП1}} = 2,12 e^{j93,1^\circ} \text{ кВ}$ .
- 8.6.  $\underline{Z}_{\text{ВХКЗ}} = -j245 \text{ Ом}$ .

$$8.7. \quad \underline{Z}_B = 480 e^{-j40^\circ}$$

$$\underline{\gamma} = 0,224 e^{j40,2^\circ}$$

$$\underline{U}_1 = 1000e^{j17,3^\circ} \text{ B};$$

$$8.8. \underline{I}_1 = 2,14e^{j27,3^\circ} \text{ A};$$

$$\alpha = 0.0128 \text{ км}^{-1};$$

$$\beta = 0.032 \text{ км}^{-1}.$$

$$8.9. \underline{U}_1 = 1065e^{j20^\circ} \text{ B.}$$

$$8.10. \underline{I}_1 = 1,6\sqrt{2}e^{j45^\circ} \text{ A.}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М., Зайченко Т.Н., Зюзьков В.М., Шурьгин Ю.А., Шутенков А.В. Система автоматизации моделирования управляемого электропривода.— Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997.— 92 с.

2. Попов В.П. Основы теории цепей.— М.: Высшая школа, 1985.— 496 с.

3. Купцов А.М. Линейные электрические цепи. Основы теории для самостоятельного изучения.— Томск: Изд-во ТГУ, 1998.— 222 с.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.— М.: Высшая школа, 1984.— 559 с.

5. Нейман А.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 1.— Л.: Энергоиздат, 1981.— 533 с.

6. Основы теории цепей/ Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В.— М.: Энергоатомиздат, 1989.— 528 с.

7. Атабеков Г.И., Тимофеев А.Б., Хухриков С.С. Нелинейные цепи.— М.: Энергия, 1970.— 232 с.

8. Компьютерный лабораторный практикум по курсу «Теория электрических цепей»/ Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Кобрин Н.В., Зайченко Т.Н., Вахитова Х.З.— Томск: Томс. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 1997.— 110 с.

9. Ушаков В.Н. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов.— М.: Радио и связь, 1997.— 328 с.

Учебное издание

**Дмитриев Вячеслав Михайлович**  
**Шутенков Александр Васильевич**  
**Хатников Валентин Иванович**  
**Ганджа Тарас Викторович**

Теоретические основы электротехники

Сборник задач

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

634050, г Томск, пр. Ленина, 40,