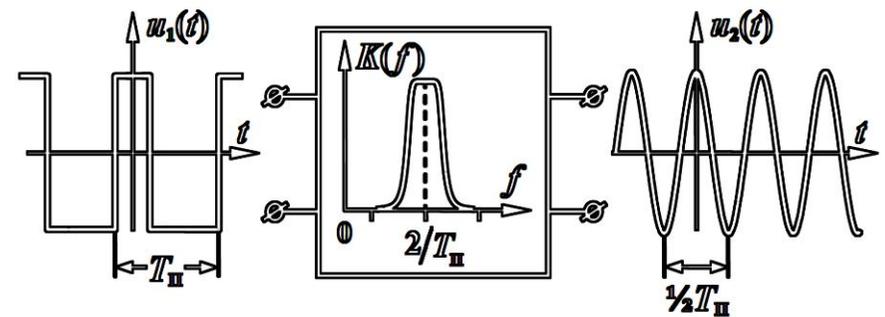


А. В. Останков

ЗАДАЧНИК ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ»

Учебное пособие



Воронеж 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный  
технический университет»

**А. В. Останков**

**ЗАДАЧНИК ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ»**

Издание второе,  
исправленное и дополненное

Воронеж 2019

УДК 621.372.01 : 621.396.6  
ББК 32.841я73  
О76

**Рецензенты:**

*кафедра информационной безопасности и систем связи  
Международного института компьютерных технологий  
(зав. кафедрой канд. техн. наук О. С. Хорняков);  
канд. техн. наук Н. А. Костров*

**Останков, А. В.**

Задачник по дисциплине «Основы теории цепей»:  
О76 учеб. пособие / А. В. Останков; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – 2-е изд., испр. и доп. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – 127 с.

ISBN

Представлен комплект учебных задач по основам теории цепей, предназначенных для аудиторного решения на практических занятиях, а также самостоятельного решения в рамках самоподготовки и на контрольных работах.

Издание предназначено для студентов второго курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Ил. 184. Табл. 25. Библиогр.: 6 назв.

**УДК 621.372.01 : 621.396.6  
ББК 32.841я73**

*Печатается по решению учебно-методического совета  
Воронежского государственного технического университета.*

ISBN

© Останков А. В., 2019  
© ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2019

**ВВЕДЕНИЕ**

Современная теория электрических цепей во многом опирается на фундаментальные физические открытия и развитие теоретических представлений в области электрических, магнитных и электромагнитных явлений в период с начала XVII века до конца XIX века [1].

Началом систематического изучения явлений, положенных в основу современной теории цепей, принято считать работу английского физика В. Гильберта об электричестве и магнетизме (1600 г.). В ней он впервые разделил, описал и обосновал свойства статических электрических и магнитных явлений, благодаря чему спустя десятилетия получил титул «отца электричества». Английский ученый С. Грей в 1729 г. открыл явление электропроводности, заключающееся в передаче электричества на расстояние от одного тела к другому. Он обнаружил, что способностью проводить электричество обладает ограниченный класс веществ (проводников). Первое устройство для накопления зарядов (конденсатор) создал в 1745 г. голландский физик П. Мушенбрук. В 1748 г. американский деятель и учёный Б. Франклин установил принцип сохранения электрического заряда. В 1784 г. французский инженер Ш. О. Кулон сформулировал количественные законы, определяющие силы взаимодействия двух электрических зарядов.

Итальянский физик А. Вольта, благодаря изобретению в 1775 г. машины для генерации статических зарядов посредством индукции, исследовал разность электрических потенциалов, а также впервые получил замкнутый электрический ток на основе разработанного им в 1800 г. химического источника электрической энергии. Связь между электрическим током и магнетизмом впервые в 1820 г. достоверно установил датский физик Г. Х. Эрстед. В этом же 1820 г. французский физик А. М. Ампер открыл закон механического взаимодействия проводников с электрическими токами и заложил основы современной теории электромагнетизма.

Один из основных законов теории цепей, определяющий зависимость между напряжением и током в сопротивлении, был экспериментально установлен в 1826 г. немецким физиком Г. С. Омом. Позднее Омом высказан тезис о разложении органом слуха сложного сигнала на составные (в соответствии с рядом Фурье) тональные сигналы. «Он вырвал у природы так долго скрываемую ею тайну и передал её в руки современников», – так оценил вклад Ома в теорию цепей один из именитых учёных XIX века [1].

Огромный вклад в развитие теории цепей внес английский физик М. Фарадей, который стал основоположником учения об электромагнитном поле. Благодаря Фарадею в 1831 г. была установлена зависимость между электричеством и магнетизмом и открыто одновременно с американским физиком Дж. Генри явление электромагнитной индукции. В 1833 г. русский физик Э. Х. Ленц сформулировал правило направления индуцированных ею токов в проводниках.

В 1846 г. немецкий физик В. Вебер указал на связь силы тока с пространственной плотностью зарядов в проводнике и скоростью их упорядоченного движения.

В 1847 г. немецкий физик Г. Кирхгоф, будучи ещё студентом университета, разработал названные впоследствии его именем законы (правила), определяющие баланс токов в узле и напряжений в замкнутом контуре электрической цепи. Законы Кирхгофа явились краеугольным камнем, позволившим позднее разработать и сформулировать большинство современных методов и подходов к анализу линейных и нелинейных электрических цепей [2–6].

В 1853 г. английский физик В. Томсон разработал теорию колебаний в резонансном контуре, исследования которого начались М. Фарадей, Дж. Генри и Г. Гельмгольц.

Таким образом, уже к концу XIX века были заложены основы современной теории цепей, типовые задачи которой изложены в настоящем задачнике.

## 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

*Цель* — закрепить ключевые понятия теории цепей: электрический ток, потенциал, напряжение, электродвижущая сила (ЭДС), мгновенная мощность, энергия.

*Задание 1.1.* Укажите все правильные варианты ответа к утверждению: «Электрический ток ...»

- 1) есть упорядоченное движение магнитных частиц;
- 2) измеряется в кулонах, делённых на секунду;
- 3) имеет истинное направление, совпадающее с направлением движения электронов;
- 4) численно равен скорости изменения заряда в поперечном сечении проводника.

*Задание 1.2.* Постоянный ток  $I$  в цепи равен 0.5 мА. Выразить указанное значение тока в мкА и А.

*Задание 1.3.* При выбранном на рис. 1.1 условно-положительном направлении тока  $i$  его расчётное значение составило «минус» 5 мА. Указать истинное направление тока. Ответ сформулировать так: истинное направление тока — от зажима ... к зажиму ...

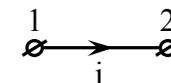


Рис. 1.1

*Задача 1.4.* Заряд в поперечном сечении проводника меняется по закону  $q(t) = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \cos(200\pi \cdot t)$  Кл. Определить временную зависимость тока  $i(t)$  в проводнике. Рассчитать значение тока в момент времени  $t = 5$  мс.

*Ответ:*  $i(t) = -\pi \cdot \sin(200\pi \cdot t)$  мА.

*Задание 1.5.* Укажите все правильные варианты ответа к утверждению: «Напряжение ...».

- 1) направлено от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом;
- 2) измеряется в Дж/Кл;

- 3) равно разности потенциалов двух точек;
- 4) может быть отрицательным.

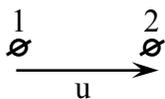


Рис. 1.2

**Задача 1.6.** Потенциал первого зажима цепи равен «минус» 25 мВ, потенциал второго зажима — 75 мВ. Рассчитать напряжение между зажимами 2 и 1, а также напряжение с указанным на рис. 1.2 условно-положительным направлением.

**Задание 1.7.** Укажите все правильные варианты ответа к утверждению: «Мгновенная мощность в цепи ...»

- 1) не может быть отрицательной;
- 2) измеряется в Вт = Дж/с;
- 3) определяется скоростью изменения энергии в цепи;
- 4) обратно пропорциональна току в цепи.

**Задание 1.8.** При противоположном направлении напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$  в двухполюснике (рис. 1.3) мгновенная мощность  $p(t)$  определяется следующим соотношением: ...

- 1)  $u(t) \cdot i(t)$ ;
- 2)  $-u(t) \cdot i(t)$ ;
- 3)  $u(t)/i(t)$ ;
- 4)  $-i(t)/u(t)$ .

**Задача 1.9.** Мгновенная энергия, поступающая от источника в цепь, меняется так, как показано на рис. 1.4. Мгновенная мощность в цепи будет отрицательна для следующих промежутков времени: ...

- 1)  $0 < t < t_1$ ;
- 2)  $t_1 < t < t_2$ ;
- 3)  $t_2 < t < t_3$ ;
- 4)  $t > t_3$ .

**Задача 1.10.** На рис. 1.5 показано изменение во времени мгновенной мощности  $p(t)$  в цепи. Энергия поступает из цепи к источнику энергии на интервале времени: ...

- 1)  $0 < t < t_1$ ;
- 2)  $t_1 < t < t_2$ ;
- 3)  $t_2 < t < t_3$ ;
- 4)  $0 < t < t_1$  и  $t_2 < t < t_3$ .

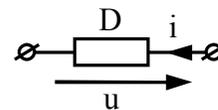


Рис. 1.3

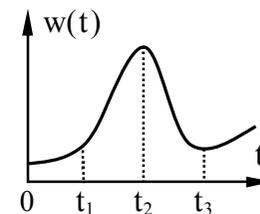


Рис. 1.4

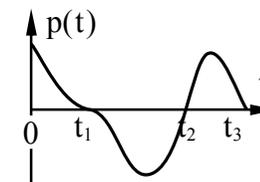


Рис. 1.5

**Задача 1.11.** Мгновенная энергия изменяется по закону, описываемому выражением  $w(t) = -2 \cdot t^2 + 8 \cdot t - 1$ . Мгновенная мощность положительна на интервале времени ... с.

- 1)  $0 < t < 2$ ;
- 2)  $2 < t < 4$ ;
- 3)  $4 < t < 8$ .

**Задача 1.12.** Мгновенная мощность в двухполюснике является переменной во времени величиной —  $p(t) = 5 \cdot t + 4$  Вт. Энергия, поступившая от источника в двухполюсник за интервал времени от 2-й до 4-й секунды, равна ... Дж.

*Ответ:* 38.

**Задача 1.13.** Мгновенная мощность в двухполюснике определяется соотношением:  $p(t) = 3 \cdot t$  Вт. Средняя мощность, выделившаяся за интервал времени от 2-й до 4-й секунды, составляет ... Вт.

*Ответ:* 9.

**Задача 1.14.** Средняя мощность, выделившаяся в двухполюснике за интервал времени  $\Delta t$ , равна 20 Вт, энергия, поступившая в двухполюсник от источника за этот же интервал времени, составляет 40 Дж. Тогда интервал  $\Delta t$  равен ... с.

## 2. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ОМА

*Цель* — получить навыки применения закона Ома для расчёта разветвлённых цепей постоянного тока.

*Задача 2.1.* Найти ток  $i$ , протекающий через сопротивление  $R = 2$  кОм в цепи на рис. 2.1, если падение напряжения на нём составляет  $u = 10$  В.

*Ответ:*  $i = 5$  мА.

*Задача 2.2.* Рассчитать напряжения  $u_1$  и  $u$  (рис. 2.2), если известно, что ток в цепи равен  $i = 5$  мА, а сопротивления составляют  $R_1 = 600$  Ом,  $R_2 = 1.2$  кОм.

*Ответ:*  $u_1 = 3$  В,  $u = 9$  В.

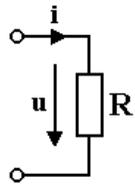


Рис. 2.1

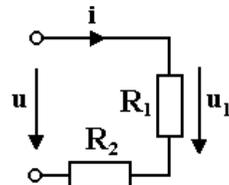


Рис. 2.2

*Задача 2.3.* Вычислить величину напряжения  $u$  на зажимах цепи (рис. 2.3), а также токи  $i_1$  и  $i_2$ , полагая, что ток, протекающий через зажимы, равен  $i = 3$  мА, а сопротивления  $R_1 = 600$  Ом,  $R_2 = 1.2$  кОм.

*Ответ:*  $u = 12$  В,  $i_1 = 2$  мА,  $i_2 = 1$  мА.

*Задача 2.4.* Рассчитать токи  $i_1, i_2, i_3$  и напряжения  $u_1, u_2$  в цепи на рис. 2.4, полагая, что напряжение на зажимах цепи равно  $u = 20$  В, а  $R_1 = 200$  Ом,  $R_2 = 400$  Ом,  $R_3 = 1.2$  кОм.

*Ответ:*  $i_1 = 40$  мА,  $i_2 = 30$  мА,  $i_3 = 10$  мА,

$u_1 = 8$  В,  $u_2 = 12$  В.

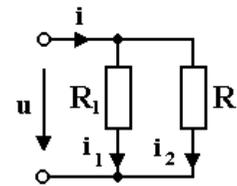


Рис. 2.3

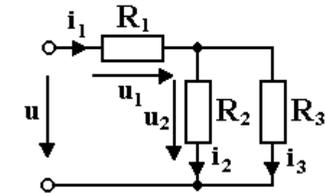


Рис. 2.4

*Задача 2.5.* Найти напряжения  $u_2$  и  $u$ , а также токи  $i_1$  и  $i_3$  в цепи на рис. 2.5, если известно, что напряжение  $u_4$  составляет 20 В, а  $R_1 = R_4 = 400$  Ом,  $R_2 = 900$  Ом,  $R_3 = 1.4$  кОм.

*Ответ:*  $u_2 = 90$  В,  $u = 150$  В,  $i_1 = 150$  мА,  $i_3 = 50$  мА.

*Задача 2.6.* Рассчитать напряжения  $u_2$  и  $u$ , а также токи  $i, i_3, i_4$  в цепи на рис. 2.6, полагая, что ток  $i_1$  известен и равен 40 мА, а  $R_1 = 400$  Ом,  $R_2 = 1.6$  кОм,  $R_3 = 1.2$  кОм,  $R_4 = 800$  Ом.

*Ответ:*  $u_2 = 16$  В,  $u = 40$  В,

$i = 50$  мА,  $i_3 = 20$  мА,  $i_4 = 30$  мА.

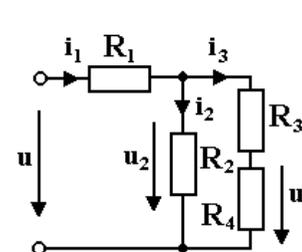


Рис. 2.5

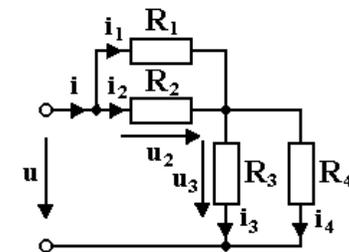


Рис. 2.6

*Задача 2.7.* Используя правило деления напряжения, найти  $u_4$  в цепи на рис. 2.5, полагая, что  $u = 20$  В,  $R_1 = 520$  Ом,  $R_2 = R_3 = 800$  Ом,  $R_4 = 400$  Ом.

*Ответ:*  $u_4 = 16$  В.

### Контрольные задачи

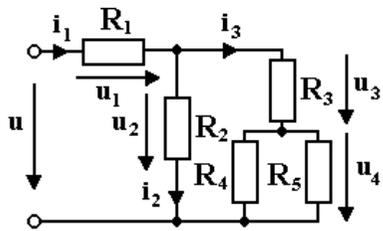


Рис. 2.7

Задача 2.К-1. По заданному варианту исходных данных для цепи на рис. 2.7 рассчитать на основе закона Ома (для всей цепи и её участков) величину токов  $i_1, i_2, i_3$  и указанных в табл. 2.1 неизвестных напряжений.

Таблица 2.1

Исходные данные для решения контрольной задачи 2.К-1

Но-мер	$R_1,$ кОм	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ кОм	$u,$ В	$u_1,$ В	$u_2,$ В	$u_3,$ В	$u_4,$ В
1	1.6	400	200	250	1.0	54	?	?	?	?
2	1.8	600	120	600	2.4	—	90	?	?	?
3	1.2	400	240	200	0.8	?	?	10	?	?
4	2.2	400	80	400	1.6	?	?	?	12	?
5	1.4	400	160	300	1.2	?	?	?	?	12
6	2.0	300	280	400	1.6	?	?	?	14	?
7	1.8	400	120	350	1.4	?	?	10	?	?
8	1.3	600	120	600	2.4	?	65	?	?	?
9	1.0	600	360	300	1.2	130	?	?	?	?
10	1.2	600	240	200	0.8	?	150	?	?	?
11	0.8	300	200	600	1.2	?	?	18	?	?
12	1.6	800	200	900	1.8	?	?	?	15	?
13	1.2	600	180	600	1.4	?	?	?	?	21
14	0.6	250	700	400	1.2	?	?	?	14	?
15	0.4	360	420	450	0.9	?	?	36	?	?

Задача 2.К-2. По заданному варианту исходных данных для цепи на рис. 2.8 рассчитать на основе закона Ома (для всей цепи и её участков) величину напряжений  $u, u_2, u_5$  и указанных в табл. 2.2 неизвестных токов.

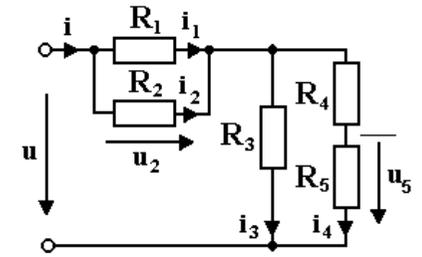


Рис. 2.8

Таблица 2.2

Исходные данные для решения контрольной задачи 2.К-2

Но-мер	$R_1,$ кОм	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$i,$ мА	$i_1,$ мА	$i_2,$ мА	$i_3,$ мА	$i_4,$ мА
1	1.8	900	200	100	500	120	?	?	?	?
2	1.2	800	400	200	400	?	10	?	?	?
3	1.8	900	400	900	300	?	?	80	?	?
4	0.9	450	400	800	400	?	?	?	90	?
5	1.2	400	800	350	450	?	?	?	?	20
6	1.8	900	500	150	350	120	?	?	?	?
7	1.0	250	800	450	350	?	24	?	?	?
8	0.7	300	200	600	200	?	?	70	?	?
9	1.2	400	1000	360	240	?	?	?	15	?
10	1.0	250	600	300	300	?	?	?	?	50
11	1.4	350	600	700	500	150	?	?	?	?
12	0.8	200	300	500	700	?	10	?	?	?
13	2.4	600	400	900	700	?	?	40	?	?
14	1.6	400	350	800	600	?	?	?	20	?
15	1.2	300	900	900	900	?	?	?	?	50

### 3. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ С ИСТОЧНИКОМ КОЛЕБАНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТНЫХ И ТОПОЛОГИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

*Цель* — изучить математические модели реальных радиокомпонентов, приобрести навыки использования схем замещения для расчёта электрических цепей.

**Задача 3.1.** Через индуктивность  $L = 1$  Гн при  $t \geq 0$  протекает ток  $i_L(t) = 1 - e^{-t}$ . Определить закон изменения напряжения на индуктивности  $u_L(t)$ . Принять, что  $i_L(t < 0) = 0$ .

*Ответ:*  $u_L(t) = e^{-t}$  В.

**Задача 3.2.** На рис. 3.1 изображены временные диаграммы тока в индуктивности. Построить качественно временные диаграммы напряжения на индуктивности.

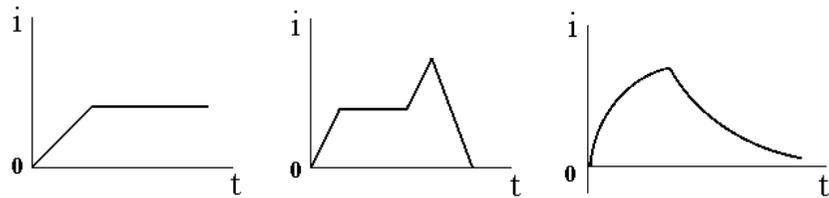


Рис. 3.1

**Задача 3.3.** На рис. 3.2 показаны схема цепи и временная диаграмма ЭДС её источника. Известно, что  $R = 2$  Ом,  $L = 1$  Гн,  $C = 0.5$  Ф,  $i_L(t \leq 0) = 0$  и  $u_C(t \leq 0) = 0$ .

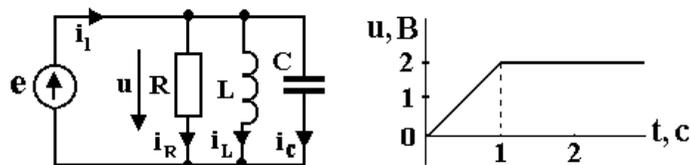


Рис. 3.2

Определить временную зависимость  $i_R(t)$ ,  $i_L(t)$ ,  $i_C(t)$ ,  $i(t)$ .

$$\text{Ответ: } i_R(t) = \begin{cases} t, & 0 \leq t \leq 1, \\ 1, & t > 1; \end{cases} \quad i_L(t) = \begin{cases} t^2, & 0 \leq t \leq 1, \\ 2t-1, & t > 1; \end{cases}$$

$$i_C(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq 1, \\ 0, & t > 1; \end{cases} \quad i(t) = \begin{cases} t^2+t+1, & 0 \leq t \leq 1, \\ 2t, & t > 1. \end{cases}$$

**Задача 3.4.** Падение напряжения на сопротивлении  $R$  в схеме на рис. 3.3 описывается выражением  $u(t) = 10 \cdot t$  В. Для указанных направлений токов и напряжения определить выражение для тока  $i(t)$ , если  $R = 2$  Ом, а  $C = 0.5$  Ф.

*Ответ:*  $i(t) = 5t + 5$  А.

**Задача 3.5.** Ток источника напряжения на рис. 3.4 изменяется по закону  $i(t) = 20 \cdot e^{-0.1t}$  А. Для заданных направлений напряжений и тока определить закон изменения ЭДС источника, если известно, что  $R = 0.2$  Ом, а  $L = 1$  Гн.

*Ответ:*  $e(t) = 2 \cdot e^{-0.1t}$  В.

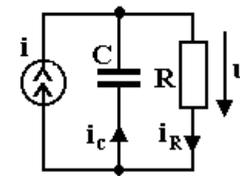


Рис. 3.3

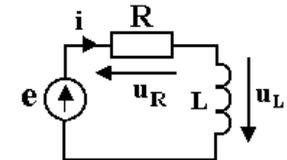


Рис. 3.4

**Задача 3.6.** Напряжение на зажимах ёмкости в схеме на рис. 3.5 изменяется при  $t \geq 0$  по закону  $u_C(t) = k \cdot t$  В.

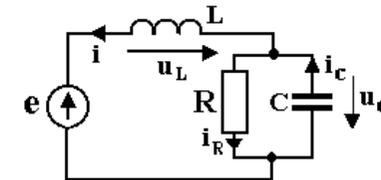


Рис. 3.5

Для заданных направлений напряжений и токов определить закон изменения ЭДС источника  $e(t)$ , полагая, что при  $t < 0$  все токи и напряжения в цепи были равны нулю.

Ответ: 
$$e(t) = LC \cdot \frac{d^2 u_C}{dt} + \frac{L}{R} \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C = k \cdot \left( t + \frac{L}{R} \right) \text{ В.}$$

Задача 3.7. Для указанных направлений токов и напряжений в цепи на рис. 3.6 определить закон изменения ЭДС источника  $e(t)$ , если известна временная зависимость колебания  $s(t)$  (см. таблицу). Следует считать, что при  $t < 0$  все токи и напряжения в анализируемой электрической цепи равны нулю.

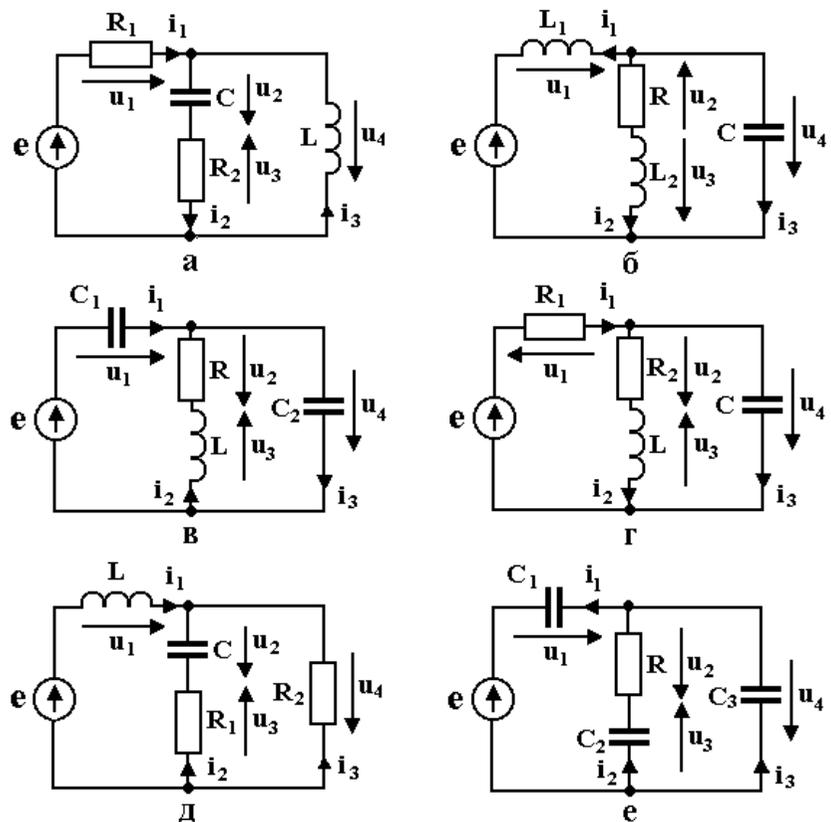


Рис. 3.6. Начало

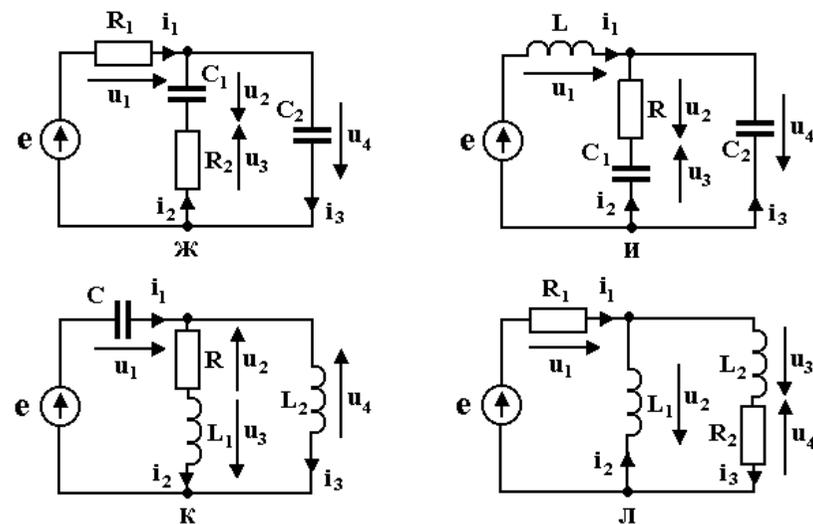


Рис. 3.6. Окончание

Исходные данные для решения многовариантной задачи 3.7

Вариант	Схема на рис. 3.6	Колебание $s(t)$	Вариант	Схема на рис. 3.6	Колебание $s(t)$
1	а	$u_2 = k \cdot t^2$	11	а	$u_3 = k \cdot t^2$
2	б	$i_2 = I_0 \cdot e^{\alpha t}$	12	б	$u_2 = U_0 \cdot e^{-\beta t}$
3	в	$i_2 = k \cdot t^3$	13	в	$u_3 = k \cdot t + U_0$
4	г	$i_2 = I_0 \cdot e^{-\alpha t}$	14	г	$u_3 = U_0 \cdot \sin \omega t$
5	д	$u_2 = U_0 \cdot e^{\alpha t}$	15	д	$i_2 = I_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t})$
6	е	$u_3 = k \cdot t^2$	16	е	$u_2 = k \cdot t^2 - U_0$
7	ж	$u_2 = k \cdot t^3$	17	ж	$i_2 = k \cdot t + I_0$
8	и	$u_3 = U_0 \cdot e^{-\alpha t}$	18	и	$i_2 = I_0 \cdot \cos \omega t$
9	к	$i_2 = k \cdot t^2$	19	к	$u_3 = U_0 \cdot e^{-\alpha t}$
10	л	$u_3 = k \cdot t^3$	20	л	$i_3 = I_0 \cdot \sin \omega t$

#### 4. КОЛЛОКВИУМ «ЭЛЕМЕНТЫ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»

Цель — закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения тем 1–3, а также выполнения одноимённой лабораторной работы № 1.

Проводится с использованием активируемого на компьютере программного файла. Технология проведения коллоквиума отрабатывается на демо-версии. Типовые задания, аналогичные предлагаемым в рамках коллоквиума, приведены ниже.

**Задания категории № 1** «Ток, напряжение, ЭДС, энергия, мощность» представлены в теме № 1.

#### Задания категории № 2 «Модели нагрузки»

**Задача 4.1.** Через индуктивность  $L$  протекает ток, изменяющийся во времени по закону  $i(t) = 1 - e^{-\beta t}$ , а совпадающее по направлению напряжение  $u(t)$  на индуктивности равно ...

- 1)  $\beta \cdot L \cdot e^{-\beta t}$ ;                      2)  $L \cdot (1 - e^{-\beta t})$ ;
- 3)  $L \cdot (1 + t \cdot e^{-\beta t})$ ;                4)  $-\beta \cdot L \cdot (e^{-\beta t} - 1)$ .

**Задача 4.2.** Ток, протекающий через ёмкость  $C$ , начиная с  $t = 0$ , описывается выражением  $i(t) = e^{-\beta t}$ , а совпадающее по направлению напряжение на ёмкости  $u(t)$  — соотношением ...

- 1)  $1/(\beta \cdot C) \cdot e^{-\beta t}$ ;                    2)  $1/(\beta \cdot C) \cdot (1 - e^{-\beta t})$ ;
- 3)  $\beta \cdot C \cdot (1 + e^{-\beta t})$ ;                4)  $\beta \cdot C \cdot (e^{-\beta t} - 1)$ .

**Задача 4.3.** Через индуктивность  $L$  протекает показанный на рис. 4.1 пилообразный импульс тока  $i(t)$ . Соответствующая ему графическая зависимость от времени напряжения  $u(t)$  на индуктивности имеет вид, представленный на рис. 4.2 под номером ...

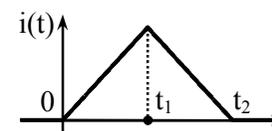


Рис. 4.1

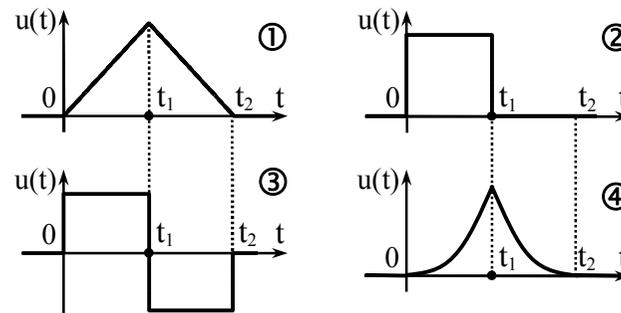


Рис. 4.2

**Задача 4.4.** Установите соответствие.

Через сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и ёмкость  $C$  протекает показанный на рис. 4.3 импульс тока  $i(t)$ . Соответствующая каждому элементу диаграмма напряжения имеет вид ...

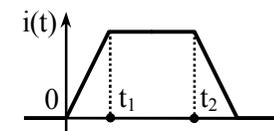


Рис. 4.3

Множество $\mathcal{L}$	Множество $\mathcal{R}$	
1. Сопротивление		
2. Индуктивность		
3. Ёмкость		

### Задания категории № 3 «Модели источников»

**Задача 4.5.** Произведение напряжения холостого хода источника на рис. 4.4, *а* с  $E = 10$  В и  $R = 50$  Ом на ток короткого замыкания составляет ... В·А.

**Задача 4.6.** Отношение тока короткого замыкания источника на рис. 4.4, *б* с  $J = 50$  мА и  $R = 50$  Ом к напряжению холостого хода равно ... мА/В.

**Задача 4.7.** Источник тока со схемой на рис. 4.4, *б* и параметрами  $J = 2$  мА и  $R = 5$  кОм заменен эквивалентным источником напряжения. ЭДС эквивалентного источника равна ... В.

**Задача 4.8.** К источнику напряжения с ВАХ, показанной на рис. 4.4, *в*, подключена нагрузка в виде сопротивления величиной 8 кОм. Ток, протекающий через нагрузку, составит ... мА.

**Задача 4.9.** К источнику тока с ВАХ на рис. 4.4, *в* подключена нагрузка в виде сопротивления величиной 3 кОм. Ток, протекающий через нагрузку, составит ... мА.

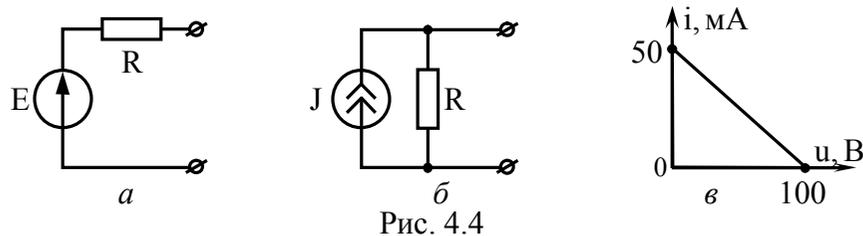


Рис. 4.4

### Задания категории № 4 «Законы Кирхгофа»

**Задача 4.10.** Установите соответствие. Уравнение по первому закону Кирхгофа в схеме на рис. 4.5 для узла с указанным номером имеет вид ...

Множество $\mathcal{L}$	Множество $\mathcal{R}$
1. Для узла ①	1. $i_2(t) + i_4(t) = i_0(t) + i_1(t)$
2. Для узла ②	2. $i_1(t) - i_2(t) - i_3(t) = 0$
3. Для узла ③	3. $i_0(t) + i_3(t) = i_4(t)$

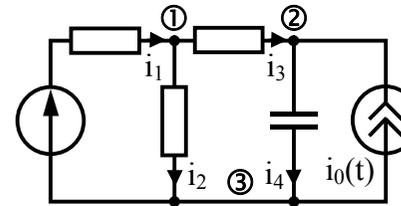


Рис. 4.5

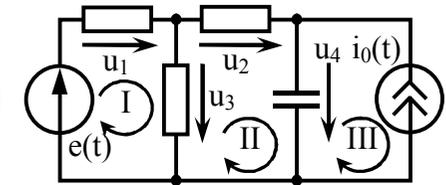


Рис. 4.6

**Задача 4.11.** Установите соответствие. Уравнение по второму закону Кирхгофа в схеме цепи на рис. 4.6 для контура с указанным номером имеет вид ...

Множество $\mathcal{L}$	Множество $\mathcal{R}$
1. Для контура 1	1. $u_2(t) + u_4(t) - u_3(t) = 0$
2. Для контура 2	2. не формулируется
3. Для контура 3	3. $u_1(t) + u_3(t) = e(t)$

**Задача 4.12.** Известны токи в ветвях цепи со схемой на рис. 4.7:  $i_2 = 4$  мА,  $i_3 = 2$  мА,  $i_7 = -1$  мА. При таком условии ток источника тока  $j_0$  составляет ... мА.

**Задача 4.13.** Известны токи в ветвях цепи со схемой на рис. 4.7:  $i_1 = -2$  мА,  $i_2 = 5$  мА,  $i_5 = -2$  мА. Тогда ток  $i_4$  составляет ... мА.

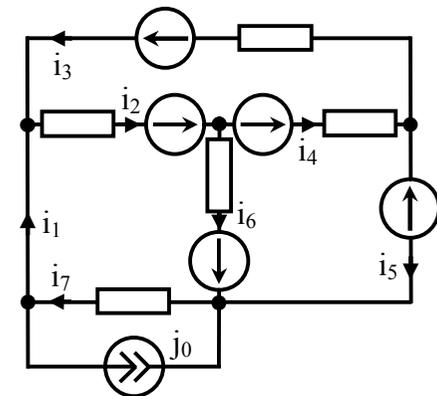


Рис. 4.7

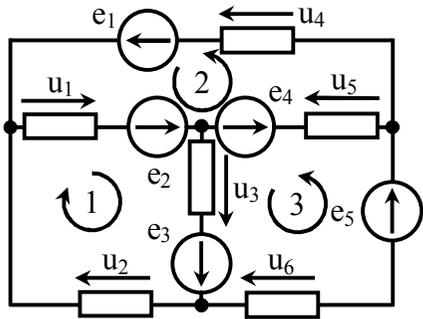


Рис. 4.8

**Задача 4.14.** Известны напряжения на элементах и ЭДС источников в цепи со схемой на рис. 4.8:  $u_3 = 2$  В,  $u_5 = -7$  В,  $u_6 = -6$  В,  $e_3 = 3$  В,  $e_5 = 2$  В. Тогда ЭДС источника  $e_4$  составляет ... В.

**Задача 4.15.** Известны напряжения на элементах и ЭДС источников в цепи со схемой на рис. 4.8:  $u_2 = -1$  В,  $u_3 = 3$  В,  $u_5 = -2$  В,  $e_1 = 2$  В,  $e_2 = 3$  В,  $e_3 = 2$  В,  $e_4 = 1$  В. Тогда напряжение  $u_4$  составляет ... В.

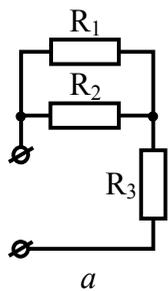
**Задания категории № 5 «Эквивалентное сопротивление. Делители напряжения и тока»**

**Задача 4.16.** В схеме, показанной на рис. 4.9, а, последовательно соединены сопротивления: ...

- 1)  $R_1$  и  $R_2$ ;
- 2)  $R_2$  и  $R_3$ ;
- 3)  $R_1$  и  $R_3$ ;
- 4) таких сопротивлений нет.

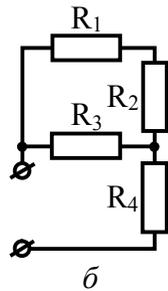
**Задача 4.17.** В схеме, показанной на рис. 4.9, б, параллельно соединены сопротивления: ...

- 1)  $R_1$  и  $R_2$ ;
- 2)  $R_1$  и  $R_4$ ;
- 3)  $R_1$  и  $R_3$ ;
- 4) таких сопротивлений нет.



а

Рис. 4.9



б

**Задача 4.18.** Эквивалентное сопротивление цепи со схемой, показанной на рис. 4.10, со стороны зажимов а и б составляет ... Ом.

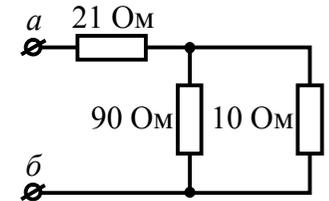


Рис. 4.10

**Задача 4.19.** Эквивалентное сопротивление постоянному току цепи со схемой на рис. 4.11 со стороны зажимов а - б составляет ... Ом.

**Задача 4.20.** Эквивалентное сопротивление постоянному току цепи со схемой, показанной на рис. 4.12, со стороны зажимов а - б составляет ... Ом.

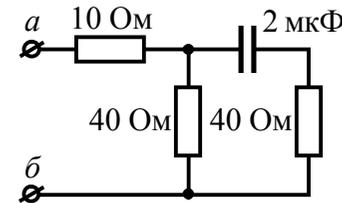


Рис. 4.11

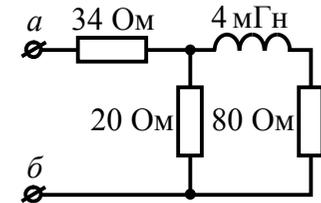


Рис. 4.12

**Задача 4.21.** Постоянное напряжение между точками а и б в показанной на рис. 4.13 цепи равно ... В.

**Задача 4.22.** Постоянное напряжение между точками а и б в показанной на рис. 4.14 цепи равно ... В.

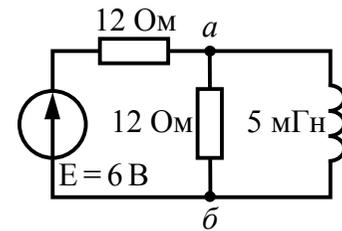


Рис. 4.13

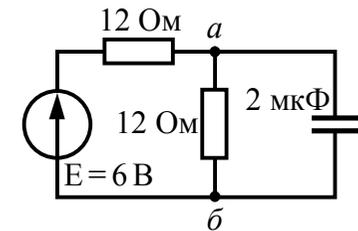


Рис. 4.14

## 5. ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В R, L, C И ИХ СОЕДИНЕНИЯХ

*Цель* — освоить методику расчёта амплитуд и фаз токов и напряжений в цепях с последовательным и параллельным соединениями элементов R, L и C при воздействии на них гармонических колебаний.

**Задача 5.1.** Найти амплитуду  $U_m$ , циклическую  $f$  и угловую  $\omega$  частоты, а также начальную фазу  $\psi_u$  гармонического напряжения  $u(t)$ , представленного на рис. 5.1 своей временной диаграммой.

*Ответ:*  $U_m = 5$  В,  $f = 2$  кГц,  $\omega \approx 1.26 \cdot 10^4$  рад/с,  $\psi_u = 53.1^\circ$ .

**Задача 5.2.** Найти амплитуду  $I_m$ , циклическую  $f$  и угловую  $\omega$  частоты, период  $T_n$ , а также начальную фазу  $\psi_i$  гармонического тока  $i(t)$ , представленного следующим аналитическим выражением:  $i(t) = 25 \cdot \sin(2\pi \cdot 10^3 t - 30^\circ)$  мА.

*Ответ:*  $I_m = 25$  мА,  $f = 1$  кГц,  $\omega \approx 6.28 \cdot 10^3$  рад/с,  $T_n = 1$  мс,  $\psi_i = -120^\circ$ .

**Задача 5.3.** Рассчитать сдвиг фаз между гармоническими напряжением  $u(t)$  и током  $i(t)$ , представленными временными диаграммами на рис. 5.2. Указать, какое колебание из двух анализируемых запаздывает по фазе, а какое — опережает.

*Ответ:*  $\varphi = +72^\circ$ .

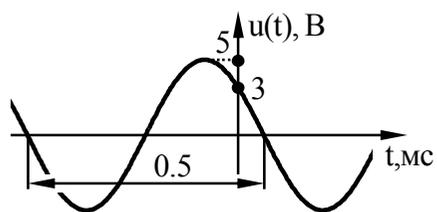


Рис. 5.1

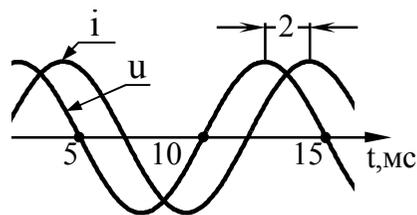


Рис. 5.2

**Задача 5.4.** Интервал времени между ближайшими пиками гармонического тока и напряжения, наблюдаемых на ёмкости, составляет 25 мкс. При таких условиях реактивное сопротивление ёмкости величиной 1.6 нФ равно ...

*Ответ:*  $x_C \approx 10$  кОм.

**Задача 5.5.** К цепи, показанной на рис. 5.3, с параметрами  $R = 5$  кОм и  $L = 27.6$  мГн приложено гармоническое напряжение  $u(t) = 100 \cdot \cos(3.14 \cdot 10^5 \cdot t + 30^\circ)$  В. Найти ток  $i(t)$  в цепи.

*Ответ:*  $i(t) = 10 \cdot \cos(3.14 \cdot 10^5 \cdot t - 30^\circ)$  мА.

**Задача 5.6.** Амплитуда напряжения с частотой  $f = 50$  Гц на зажимах цепи (рис. 5.4) составляет  $U_m = 100$  В. Известно, что лампа накаливания рассчитана на напряжение амплитудой  $U_{m1} = 40$  В, при этом она потребляет ток амплитудой  $I_m = 0.2$  А. Определить величину требуемой индуктивности L.

*Ответ:*  $L = 1.46$  Гн.

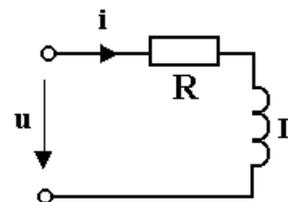


Рис. 5.3

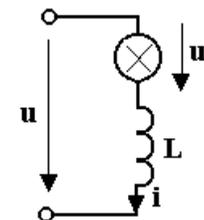


Рис. 5.4

**Задача 5.7.** К источнику напряжения, ЭДС которого  $e(t) = 50 \cdot \cos(10^6 \cdot t)$  В, а внутреннее сопротивление  $R_e = 425$  Ом (рис. 5.5), подключена нагрузка в виде последовательного соединения двух элементов:  $L = 1$  мГн и  $R = 575$  Ом. Определить ток  $i(t)$  в нагрузке и напряжение  $u(t)$  на указанной нагрузке.

*Ответ:*  $i(t) = 35.4 \cdot \cos(10^6 \cdot t - 45^\circ)$  мА;  
 $u(t) = 40.8 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 15.1^\circ)$  В.

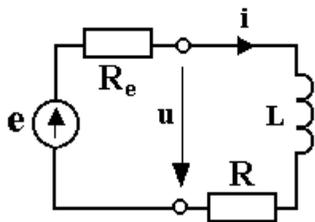


Рис. 5.5

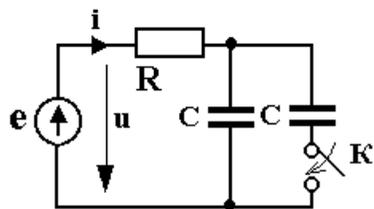


Рис. 5.6

**Задача 5.8.** Амплитуда напряжения на последовательном соединении активного сопротивления  $R$  и ёмкости  $C$  составляет  $10\text{ В}$ , амплитуда тока, протекающего через оба элемента, равна  $0.2\text{ мА}$ . Сдвиг фаз между напряжением и током в цепи составляет «минус»  $38^\circ$ . Рассчитать величину сопротивления  $R$ , а также амплитуду напряжения на ёмкости.

**Ответ:**  $R = 39.4\text{ кОм}$ ,  $U_{mc} = 6.16\text{ В}$ .

**Задача 5.9.** При разомкнутом ключе ток в цепи, показанной на рис. 5.6, опережает приложенное напряжение по фазе на  $45^\circ$ . Какова величина сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением и током в цепи при замкнутом ключе?

**Ответ:**  $\varphi = -26.6^\circ$ .

**Задача 5.10.** Напряжение на зажимах цепи (рис. 5.7) имеет вид  $u(t) = 120 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)\text{ В}$ , амплитуды токов  $I_{m1} = 15\text{ мА}$ ,  $I_{m2} = 8\text{ мА}$ . Определить амплитуду тока  $I_m$ , полную проводимость цепи  $y$ , сдвиг фаз  $\varphi$  между напряжением и током.

**Ответ:**  $I_m = 17\text{ мА}$ ;  $y = 0.142\text{ мСм}$ ;  $\varphi = 28.1^\circ$ .

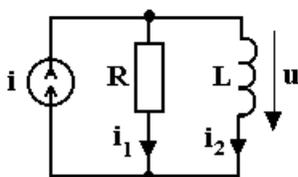


Рис. 5.7

## 6. КОЛЛОКВИУМ «ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПАСИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЦЕПИ И ИХ СОЕДИНЕНИИ»

*Цель* – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала темы 5 и выполнения лабораторной работы № 2.

Проводится с использованием специального программного обеспечения. Типовые задания, идентичные предлагаемым в коллоквиуме, приведены ниже.

### Задания категории № 1 «Параметры колебаний»

**Задача 6.1.** Произведение амплитуды (в мВ) гармонического напряжения с временной диаграммой, показанной на рис. 6.1, на его частоту (в кГц) составляет ... мВ·кГц.

**Задача 6.2.** Отношение начальной фазы (в градусах) напряжения с диаграммой на рис. 6.1 к его действующему значению (в мВ), округлённое до целого, составляет ... %/мВ.

**Задача 6.3.** Частота гармонических колебаний — напряжения и тока в индуктивности — с временными диаграммами, показанными на рис. 6.2, составляет ... Гц.

**Задача 6.4.** Размах гармонического напряжения с временной диаграммой на рис. 6.2 и начальной фазой «минус»  $45^\circ$  составляет ... В.

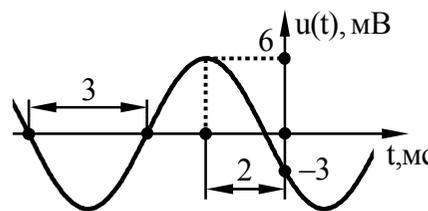


Рис. 6.1

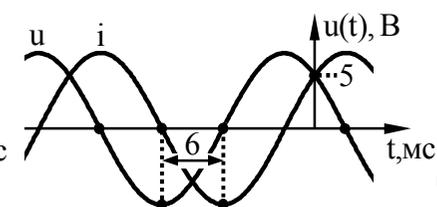


Рис. 6.2

**Задания категории № 2** «Гармонические колебания в пассивных элементах цепи»

**Задача 6.5.** Ток, протекающий через индуктивность, является гармоническим и имеет амплитуду 5 мА. Реактивная проводимость индуктивности составляет 5 мСм. Амплитуда напряжения на индуктивности равна при этом ... В.

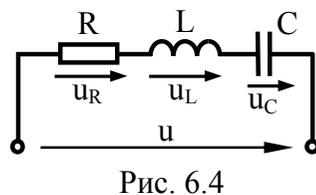
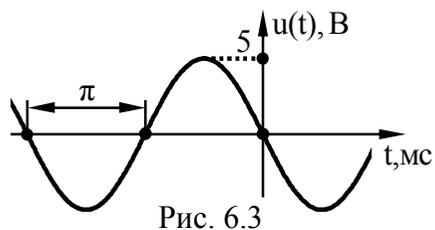
**Задача 6.6.** Ёмкость величиной 0.25 мкФ обладает реактивным сопротивлением 4 кОм. Период колебаний в ёмкости при этом составляет ... мс. Ответ округлить до целого.

**Задача 6.7.** Изображённое на рис. 6.3 гармоническое напряжение выделяется на ёмкости величиной 1 мкФ. При таком условии амплитуда гармонического тока, протекающего через ёмкость, равна ... мА.

**Задача 6.8.** Показанное на рис. 6.3 напряжение выделяется на индуктивности. Начальная фаза тока через индуктивность при таком условии составит ... градусов.

**Задания категории № 3** «Последовательное соединение пассивных элементов»

**Задача 6.9.** Амплитуда гармонического напряжения на соединении R, L, C (рис. 6.4) равна 30 В, на сопротивлении — 20 В, на индуктивности — 10 В. Тогда амплитуда напряжения на ёмкости составляет ... В. Ответ округлить до целого.



**Задача 6.10.** Сопротивление R в цепи на рис. 6.4 составляет 30 Ом, реактивное сопротивление ёмкости — 80 Ом, реактивное сопротивление индуктивности — 40 Ом. Тогда полная проводимость цепи составляет ... мСм.

**Задача 6.11.** На частоте 1 000 000 рад/с характер сопротивления изображенной на рис. 6.4 цепи, в которой индуктивность равна 9 мГн, а ёмкость — 0.125 нФ, является ...

- 1) чисто активным;
- 2) индуктивным;
- 3) емкостным.

**Задача 6.12.** Полное сопротивление цепи на рис. 6.4 составляет 3 кОм. Сдвиг фаз между напряжением на индуктивности и напряжением на всей цепи равен 30°. Амплитуда напряжения на сопротивлении R при условии протекания через цепь тока с амплитудой 3 мА составляет ... В.

**Задача 6.13.** На частоте  $\omega = 2 \cdot 10^6$  рад/с сдвиг фаз между напряжением на всей цепи (рис. 6.4, где R = 1 кОм, L = 1.5 мГн, C = 0.125 нФ) и напряжением на ёмкости равен ... градусов. Ответ округлить до целого значения.

**Задача 6.14.** Через цепь, показанную на рис. 6.5, протекает гармонический ток  $i(t) = 5 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 20^\circ)$  мА, при этом на зажимах цепи наблюдается напряжение  $u(t) = 40 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 50^\circ)$  В. При таком условии индуктивность L равна ... мГн.

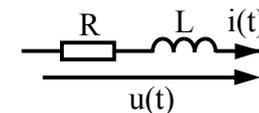


Рис. 6.5

**Задача 6.15.** Через цепь, показанную на рис. 6.5, протекает гармонический ток  $i(t) = 5 \cdot \cos(10^6 \cdot t)$  мА, при этом на зажимах цепи наблюдается напряжение  $u(t) = 100 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 30^\circ)$  В. При таком условии амплитуда напряжения на активном элементе составляет ... процентов от амплитуды напряжения на реактивном элементе. Ответ округлить до целого.

**Задания категории № 4 «Параллельное соединение пассивных элементов»**

**Задача 6.16.** Гармонический ток, втекающий в RC-цепь (рис. 6.6), обладает амплитудой 13 мА. Если реактивное сопротивление ёмкости равно активному сопротивлению, то амплитуда тока в ёмкости равна ... мА. Ответ округлить до целого.

**Задача 6.17.** Реактивное сопротивление индуктивности в цепи на рис. 6.7 составляет  $\frac{1}{8}$  кОм, активное сопротивление R —  $\frac{1}{4}$  кОм. При таких условиях полная проводимость RL-цепи равна ... мСм. Ответ округлить до целого.

**Задача 6.18.** На частоте 100 тысяч рад/с характер сопротивления RLC-цепи на рис. 6.8 с индуктивностью  $L = 20$  мкГн и ёмкостью  $C = 5$  мкФ является ...

- 1) чисто активным; 2) индуктивным; 3) ёмкостным.

**Задача 6.19.** Амплитуда гармонического тока  $i$  в цепи на рис. 6.6 равна 26 мА. Реактивная проводимость ёмкости составляет 3 мСм, активная проводимость — 1 мСм. Амплитуда тока в активном сопротивлении R при этом равна ... мА. Ответ округлить до целого.

**Задача 6.20.** Реактивное сопротивление индуктивности равно 2 кОм, ёмкости — 1 кОм (рис. 6.8). Сдвиг фаз между напряжением и током при  $R = 2$  кОм составляет ... градусов. Ответ округлить до целого.

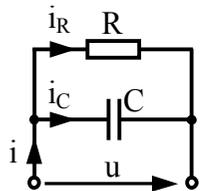


Рис. 6.6

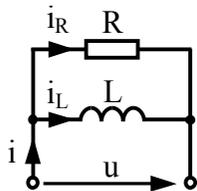


Рис. 6.7

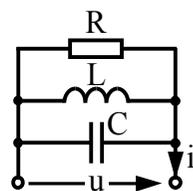


Рис. 6.8

**Задания категории № 5 «Закон Ома для амплитуд, фазовые соотношения в соединениях»**

**Задача 6.21.** Активная составляющая полного сопротивления цепи, через которую протекает гармонический ток  $i(t) = 2 \cdot \cos(10^5 \cdot t - 10^\circ)$  мА и на зажимах которой наблюдается напряжение  $u(t) = 20 \cdot \cos(10^5 \cdot t + 50^\circ)$  В, равна ... кОм.

**Задача 6.22.** Цепь, аналогичная показанной на рис. 6.4 или 6.8, включает:  $C = 0.4$  нФ,  $L = 2.5$  мГн,  $R = 2$  кОм. Если к цепи приложено напряжение  $u(t) = 6 \cdot \cos(10^6 \cdot t - 30^\circ)$  В, то амплитуда тока составляет ... мА.

**Задача 6.23.** Характер сопротивления цепи, в которой наблюдаются совпадающие по направлению гармонический ток  $i(t) = 25 \cdot \sin(\omega \cdot t + 60^\circ)$  мА и напряжение  $u(t) = -4 \cdot \cos(\omega \cdot t - 30^\circ)$  В, является ...

- 1) чисто активным; 2) индуктивным; 3) ёмкостным.

**Задание 6.24.** В нескольких цепях, показанных ниже на рис. 6.9, может быть реализован сдвиг фаз между напряжением и током, равный «минус» 60 градусов. Это цепи — ...

**Задание 6.25.** В нескольких цепях, показанных ниже на рис. 6.9, может быть реализован сдвиг фаз между напряжением и током, равный 0 градусов. Это цепи — ...

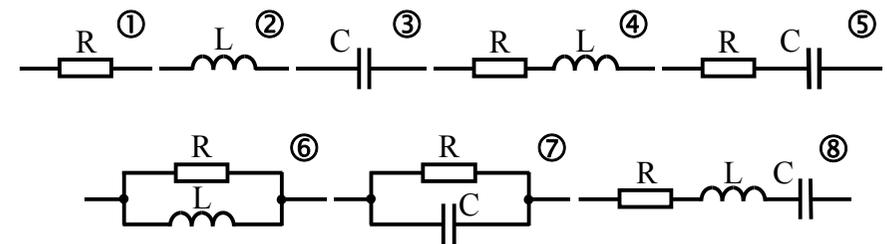


Рис. 6.9

## 7. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНЫХ АМПЛИТУД

*Цель* — освоить метод комплексных амплитуд применительно к расчёту простых линейных цепей при гармонических воздействиях.

*Задача 7.1.* Гармоническое напряжение изменяется по закону  $u(t) = -50 \cdot \sin(10^6 \cdot t + \pi/6)$  В. Найти комплексную амплитуду указанного напряжения.

*Ответ:*  $\dot{U}_m = 50 \cdot e^{j120^\circ}$  В.

*Задача 7.2.* Комплексная амплитуда гармонического напряжения равна:

а)  $\dot{U}_m = 20 - j10$  В;

б)  $\dot{U}_m = -10 + j20$  В.

Частота указанного колебания равна  $\omega = 10^5$  1/с. Записать гармоническое напряжение  $u(t)$  как функцию времени.

*Ответ:* а)  $u(t) = 22.4 \cdot \cos(10^5 \cdot t - 26.6^\circ)$  В;

б)  $u(t) = 22.4 \cdot \cos(10^5 \cdot t + 116.6^\circ)$  В.

*Задача 7.3.* Гармоническое напряжение на зажимах цепи определяется выражением  $u(t) = 10 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  В. Комплексное сопротивление цепи на частоте  $\omega$  равно  $\underline{z} = 1.2 - j2$  кОм. Определить ток в такой цепи как функцию времени, полагая, что условно положительные направления тока и напряжения в цепи совпадают.

*Ответ:*  $i(t) = 4.29 \cdot \cos(\omega \cdot t - 31^\circ)$  мА.

*Задача 7.4.* Цепь представляет собой последовательное соединение двух элементов – сопротивления  $R = 1.5$  кОм и ёмкости  $C = 76$  пФ (рис. 7.1). Определить комплексную проводи-

мость цепи  $\underline{Y}$  на частоте 1 МГц, а также напряжение  $u(t)$  на зажимах цепи, если ток в указанной цепи изменяется по гармоническому закону:  $i(t) = 10 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 180^\circ)$  мА.

*Ответ:*  $\underline{Y} = 0.388 \cdot e^{j54.4^\circ}$  мСм;

$u(t) = 25.8 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 125.6^\circ)$  В.

*Задача 7.5.* Цепь представляет собой параллельное соединение двух элементов – сопротивления  $R = 667$  Ом и индуктивности  $L = 76$  мкГн (рис. 7.2). Определить комплексное сопротивление цепи  $\underline{z}$  на частоте 1 МГц, а также ток  $i(t)$  в цепи, если напряжение на зажимах цепи изменяется по гармоническому закону:  $u(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^6 t - 125.6^\circ)$  В.

*Ответ:*  $\underline{z} = 388 \cdot e^{j54.4^\circ}$  кОм;

$i(t) = 5.16 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^6 \cdot t)$  мА.

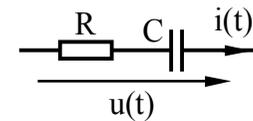


Рис. 7.1

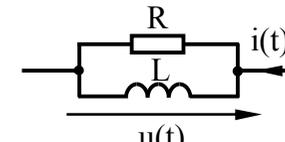


Рис. 7.2

*Задача 7.6.* В цепи, показанной на рис. 7.3, гармонические токи источников тока равны  $i_1(t) = 15 \cdot \cos(\omega \cdot t - \pi/3)$  мА и  $i_2(t) = 15 \cdot \sin(\omega \cdot t - \pi/3)$  мА соответственно. Определить гармонический ток  $i(t)$  в нагрузке  $\underline{z}$ .

*Ответ:*  $i(t) = 21.2 \cdot \cos(\omega \cdot t - 15^\circ)$  мА.

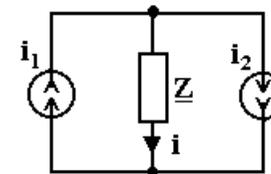


Рис. 7.3

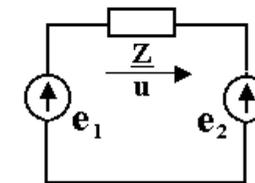


Рис. 7.4

**Задача 7.7.** В цепи на рис. 7.4 действуют два источника напряжения с ЭДС, равными  $e_1(t) = 10 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 150^\circ)$  В и  $e_2(t) = -10 \cdot \sin(10^6 \cdot t)$  В соответственно. Определить напряжение  $u(t)$  на нагрузке.

**Ответ:**  $u(t) = 17.3 \cdot \cos(10^6 \cdot t - 60^\circ)$  В.

**Задача 7.8.** В цепи, показанной на рис. 7.5, ЭДС источника напряжения равна  $e(t) = 10 \cdot \cos(10^3 \cdot t - \pi/4)$  В, параметры элементов —  $R_1 = 3$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $L = 6$  мГн,  $C = 200$  мкФ. Определить ток источника  $i(t)$ .

**Ответ:**  $i(t) = 1.41 \cdot \cos(10^3 \cdot t - 51.5^\circ)$  А.

**Задача 7.9.** Известен ток  $i_2(t)$ , протекающий через элементы  $\mathcal{E}_2$  и  $\mathcal{E}_3$  цепи на рис. 7.6 —  $i_2(t) = 10 \cdot \cos(10^6 \cdot t + \Psi_i)$  мА. Располагая приведенными в таблице параметрами элементов цепи  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$ , определить ЭДС  $e(t)$  источника.

**Ответ:** а)  $e(t) = 38.1 \cdot \cos(10^6 \cdot t + 143^\circ)$  В;

б)  $e(t) = 78.1 \cdot \cos(10^6 \cdot t - 20.2^\circ)$  В.

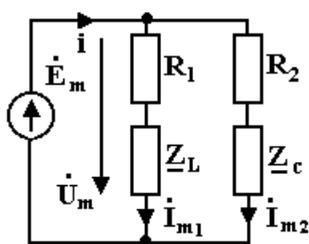


Рис. 7.5

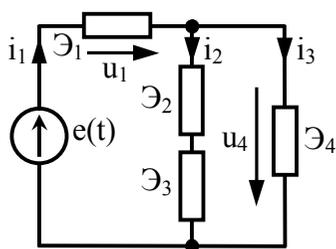


Рис. 7.6

Исходные данные для решения аудиторной задачи 7.9

$\Psi_i$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_4$
$+30^\circ$	$L = 3$ мГн	$C_1 = 1$ нФ	$R = 3$ кОм	$C_2 = 0.5$ нФ
$-60^\circ$	$C_1 = 0.2$ нФ	$R = 3$ кОм	$L = 5$ мГн	$C_2 = 0.2$ нФ

## 8. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА «МЕТОД КОМПЛЕКСНЫХ АМПЛИТУД»

*Цель* – закрепить навыки, приобретённые в теме 7.

**Задача 8.К-1.**

Выдаваемое на руки контрольное задание идентично по структуре и эквивалентно по содержанию заданиям, представленным ниже. В каждом из них содержится два варианта задач под номерами 1 и 2. Требуется решить лишь один из указанных педагогом вариантов обеих задач.

В задаче под номером 1 проверяется, насколько студент освоил закон Ома в комплексной форме, действия над комплексными числами, научился выполнять переход от временной зависимости гармонического колебания к его комплексной амплитуде и наоборот, установил связь характера сопротивления цепи со сдвигом фаз, комплексным сопротивлением (проводимостью) цепи и расходуемой (активной) мощностью.

В задаче под номером 2 предлагается рассчитать методом комплексных амплитуд относительно несложную линейную цепь в виде последовательного или параллельного соединения двух-трёх пассивных элементов. Вид модели идеального источника энергии указан в первом столбце таблицы данных. В ходе решения задач следует определить величины, отмеченные вопросительными знаками.

Ответы, полученные при решении задач, необходимо указывать в требуемых единицах измерения. Так, например, ток следует выразить в мА, проводимость — в 1/кОм, ёмкость — в пФ и т. д. Форма записи числовых результатов расчёта также должна быть стандартной и соответствующей виду, указанному в последней строке таблицы данных. Так, например, комплексные амплитуды колебаний необходимо представить в показательной форме записи комплексного числа, комплексное сопротивление или проводимость анализируемой цепи — в алгебраической форме.

В задачах приняты следующие обозначения:  $u(t)$  и  $i(t)$  — зависимости от времени напряжения и тока,  $\dot{U}_m$  и  $\dot{I}_m$  — комплексные амплитуды напряжения и тока,  $\underline{Z}$  и  $\underline{Y}$  — комплексные сопротивление и проводимость цепи,  $z$  и  $y$  — полные сопротивление и проводимость цепи,  $\varphi = \psi_u - \psi_i$  — сдвиг фаз между напряжением и током,  $P$  — мощность, расходуемая в цепи,  $\omega$  — угловая частота колебаний в цепи.

После решения обеих задач полученные итоговые результаты заносятся в таблицу ответов. В этой таблице указывается номер ответа, соответствующий номеру вопроса таблицы задания, а рядом с ним — найденный числовой результат, выраженный в требуемых единицах измерения. Помимо задания и таблицы ответов, на проверку следует сдать черновик решений.

Анализ типовых ошибок, допускаемых при выполнении контрольного задания, показывает, что студенты зачастую:

а) не учитывают направлений тока и напряжения при записи закона Ома для комплексных амплитуд;

б) переходят к комплексным амплитудам от временных зависимостей, отличающихся по виду от вида канонического выражения —  $a(t) = A_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi)$ ;

в) забывают такие основные свойства комплексных чисел, как

$$j \cdot A = A \cdot e^{j90^\circ}, \quad -j \cdot A = A \cdot e^{-j90^\circ}, \quad -A = A \cdot e^{j180^\circ} = A \cdot e^{-j180^\circ};$$

г) не увязывают характер сопротивления цепи с величиной комплексного сопротивления, хотя известно, что  $\underline{Z}_L = j \cdot X_L$ , а  $\underline{Z}_C = -j \cdot X_C$ , т. е. при отрицательной мнимой части комплексного сопротивления характер сопротивления цепи является емкостным, а при положительной — индуктивным;

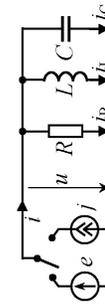
д) не соблюдают требуемой формы представления результатов решения задач, указанной в таблице данных;

е) приводят ответы в произвольных единицах измерения, не совпадающих с указанными единицами в исходной таблице данных.

**Задача № 1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вариант</b> ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , мА	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , мА	$Z$ , кОм	$\underline{Y}$ , 1/кОм	$z$ , кОм	$Y$ , 1/кОм	Направление $i$ или $i_c$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , мВт
<b>1</b>	$40 \cos(\omega t + 150^\circ)$	?	?	?	$0.77 - j0.44$	?	?	?	↔	?	?	?
<b>2</b>	?	?	$-30 + j52$	?	$-j0.92$	?	?	?	↔	?	?	?
<b>Форма ответа</b>	$U_m \cdot \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cdot \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a + jb$	$a + jb$	$z$	$a + jb$	—	Инд., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача № 2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

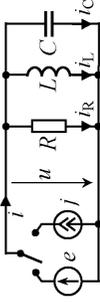


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Вариант</b> ↓	Источник, В или мА	$\dot{I}_{mR}$ , мА	$\dot{I}_{mL}$ , мА	$\dot{I}_{mC}$ , мА	$\dot{I}_m$ , мА	$\dot{U}_m$ , В	$R$ , кОм	$L$ , мГн	$C$ , пФ	$X_L$ , кОм	$X_C$ , кОм	$\varphi$ , град	$\underline{Y}$ , 1/кОм	$\omega$ , рад/с
<b>1</b>	$\dot{I}_m = 8e^{-j30^\circ}$	?	?	?	?	?	3	?	?	4	5	?	?	—
<b>2</b>	$\dot{I}_m = 0.25e^{-j130^\circ}$	?	?	?	?	?	$\infty$	?	?	6	8	?	?	$10^5$
<b>Форма ответа</b>	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$I_{mR} e^{j\psi_{IR}}$	$I_{mL} e^{j\psi_{IL}}$	$I_{mC} e^{j\psi_{IC}}$	$I_m e^{j\psi_I}$	$U_m e^{j\psi_U}$	$R$	$L$	$C$	$X_L$	$X_C$	$\varphi$	$g + jb$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$i_m$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $i_{IIII}$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , МВт
3	?	?	$15e^{-j30^\circ}$	$j15$	$0.94+j0.94$	?	-	-	$\longleftrightarrow$	?	-	?
4	?	$55\sin(\omega t - 90^\circ)$	$15e^{-j30^\circ}$	?	?	-	-	?	$\longleftrightarrow$	?	-	?
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	-	ИНД., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

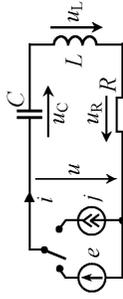


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вариант ↓	ИСТОЧНИК, В или МА	$i_{mR}$ , МА	$i_{mL}$ , МА	$i_{mC}$ , МА	$i_m$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$R$ , КОМ	$L$ , МГН	$C$ , ПФ	$X_L$ , КОМ	$X_C$ , КОМ	$\varphi$ , град	$Y$ , 1/КОМ	$\omega$ , рад/с
3	$\dot{E}_m = ?$	?	$3e^{-j60^\circ}$	?	?	-	4	3	?	-	3	-	?	$10^6$
4	$\dot{J}_m = ?$	-	?	?	-	$5e^{j45^\circ}$	20	8	166.7	-	?	?	?	$10^6$
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$I_{mR} e^{j\psi_{IR}}$	$I_{mL} e^{j\psi_{IL}}$	$I_{mC} e^{j\psi_{IC}}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$R$	$L$	$C$	$X_L$	$X_C$	$\varphi$	$g+jb$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$i_m$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $i_{IIII}$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , МВт
13	?	?	$20e^{j45^\circ}$	?	?	$-j1.25$	-	-	$\longleftrightarrow$	?	-	?
14	$55\sin(\omega t)$	?	?	$15e^{j60^\circ}$	?	-	-	?	$\longleftrightarrow$	?	-	?
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	-	ИНД., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

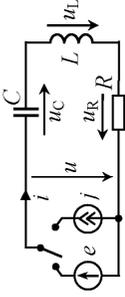


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вариант ↓	ИСТОЧНИК, В или МА	$\dot{U}_{mR}$ , В	$\dot{U}_{mL}$ , В	$\dot{U}_{mC}$ , В	$\dot{U}_m$ , В	$i_m$ , МА	$R$ , КОМ	$L$ , МГН	$C$ , ПФ	$X_L$ , КОМ	$X_C$ , КОМ	$\varphi$ , град	$Z$ , КОМ	$\omega$ , рад/с
13	$\dot{E}_m = 2$	-	?	?	-	?	2	4	200	-	?	?	?	$10^6$
14	$\dot{J}_m = 2e^{-j60^\circ}$	?	?	?	?	-	3	-	-	6	5	?	?	-
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$U_{mR} e^{j\psi_{UR}}$	$U_{mL} e^{j\psi_{UL}}$	$U_{mC} e^{j\psi_{UC}}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$R$	$L$	$C$	$X_L$	$X_C$	$\varphi$	$R+jx$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вариант</b> ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $u$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , мВт
<b>15</b>	?	?	$66e^{j16^\circ}$	?	?	?	?	—	$\rightleftarrows$	инд.	$ \varphi =62^\circ$	526
<b>16</b>	?	$76\cos(\omega t+116^\circ)$	?	?	?	—	—	?	$\rightleftarrows$	?	64	750
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	—	инд., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

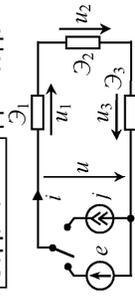


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Вариант</b> ↓	ИСТОЧНИК, В или МА	$\dot{U}_{mR}$ , В	$\dot{U}_{mL}$ , В	$\dot{U}_{mC}$ , В	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , МА	$R$ , КОМ	$L$ , мГн	$C$ , пФ	$X_L$ , КОМ	$X_C$ , КОМ	$\varphi$ , град	$Z$ , КОМ	$\omega$ , рад/с
<b>15</b>	$\dot{E}_m = ?$	?	—	?	—	$10e^{j30^\circ}$	1	50	2500	—	?	?	?	$10^5$
<b>16</b>	$\dot{J}_m = 5e^{j60^\circ}$	?	$10e^{j150^\circ}$	$10e^{-j30^\circ}$	$10e^{j60^\circ}$	—	?	?	?	?	?	—	—	$10^5$
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$U_{mR} e^{j\psi_{UR}}$	$U_{mL} e^{j\psi_{UL}}$	$U_{mC} e^{j\psi_{UC}}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$R$	$L$	$C$	$X_L$	$X_C$	$\varphi$	$R+jX$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вариант</b> ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $u$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , мВт
<b>19</b>	?	?	-30	?	?	$0.58-j1$	—	—	$\rightleftarrows$	?	—	?
<b>20</b>	?	$65\cos(\omega t-135^\circ)$	?	?	$0.74-j0.2$	?	—	—	$\rightleftarrows$	?	—	?
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	—	инд., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

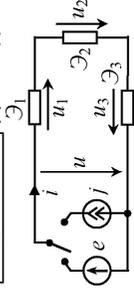


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Вариант</b> ↓	ИСТОЧНИК, В или МА	$\dot{U}_{m1}$ , В	$\dot{U}_{m2}$ , В	$\dot{U}_{m3}$ , В	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , МА	$\Theta_1$ , лф, мГн	$\Theta_2$ , КОМ	$\Theta_3$ , лф, мГн	$X_1$ , КОМ	$R$ , КОМ	$X_2$ , КОМ	$Z$ , КОМ	$\omega$ , рад/с
<b>19</b>	$\dot{E}_m = 25.8e^{-j55.5^\circ}$	$15e^{-j110^\circ}$	?	—	?	$3e^{-j20^\circ}$	$C_1-?$	$R-?$	$L_2$	?	—	0	?	$10^6$
<b>20</b>	$\dot{J}_m = 10e^{j30^\circ}$	?	?	?	?	—	$L_1-?$	$R$	$L_2$	4	6	1	?	$10^5$
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$U_{m1} e^{j\psi_{u1}}$	$U_{m2} e^{j\psi_{u2}}$	$U_{m3} e^{j\psi_{u3}}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$L_1, C$	$R$	$L, C$	$X_1$	$R$	$X_2$	$R+jX$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_{m3}$ , В	$\dot{I}_{m2}$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $u$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , мВт
<b>21</b>	?	?	?	$35e^{-j50^\circ}$	?	$0.76+j0.44$	-	-	$\longleftrightarrow$	?	-	?
<b>22</b>	?	$76\cos(\omega t+116^\circ)$	?	?	?	-	-	?	$\longleftrightarrow$	?	64	750
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	-	ИНД., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

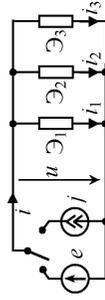


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вариант ↓	Источник В или МА	$\dot{U}_{m1}$ , В	$\dot{U}_{m2}$ , В	$\dot{U}_{m3}$ , В	$\dot{U}_m$ , В	$\dot{I}_m$ , МА	$\mathcal{E}_1$ , ПФ, МГН	$\mathcal{E}_2$ , КОМ	$\mathcal{E}_3$ , ПФ, МГН	$X_1$ , КОМ	$R_1$ , КОМ	$X_2$ , КОМ	$Z$ , КОМ	$\omega$ , рад/с
<b>21</b>	$\dot{I}_m = 21.6e^{j16.4^\circ}$	-	$12e^{-j40^\circ}$	?	?	$6e^{-j40^\circ}$	$C_1$ ?	$R$ ?	$L_2$ ?	0	-	?	?	$10^6$
<b>22</b>	$\dot{I}_m = 12e^{j20^\circ}$	?	?	?	?	?	$C_1$	$R$	$C_2$	3	7	4	?	-
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, \dot{I}_m e^{j\psi_I}$	$U_{m1} e^{j\psi_{u1}}$	$U_{m2} e^{j\psi_{u2}}$	$U_{m3} e^{j\psi_{u3}}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$L, C$	$R$	$L, C$	$X_1$	$R$	$X_2$	$R+jX$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вариант ↓	$u(t)$ , В	$i(t)$ , МА	$\dot{U}_{m2}$ , В	$\dot{I}_{m3}$ , МА	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$Z$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	Направление $i$ или $u$	Характер цепи	$\varphi$ , град	$P$ , мВт
<b>37</b>	?	?	$20-j20$	?	$0.82-j0.47$	?	-	-	$\longleftrightarrow$	?	-	?
<b>38</b>	?	$55\sin(\omega t-45^\circ)$	?	?	-	$0.88+j0.24$	?	-	$\longleftrightarrow$	?	-	?
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	$y$	-	ИНД., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.

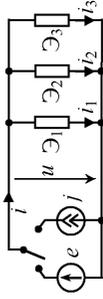


Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вариант ↓	Источник В или МА	$\dot{I}_{m1}$ , МА	$\dot{I}_{m2}$ , МА	$\dot{I}_{m3}$ , МА	$\dot{I}_m$ , МА	$\dot{U}_m$ , В	$\mathcal{E}_1$ , МГН	$\mathcal{E}_2$ , КОМ	$\mathcal{E}_3$ , ПФ	$X_1$ , КОМ	$R$ , КОМ	$X_2$ , КОМ	$Y$ , 1/КОМ	$\omega$ , рад/с
<b>37</b>	$\dot{I}_m = 9e^{-j95^\circ}$	?	?	?	?	-	$L_1$	$R$	$C_2$ ?	6	5	12	?	$10^6$
<b>38</b>	$\dot{I}_m = 3.64e^{-j110^\circ}$	?	?	?	-	?	$L_1$ ?	$R$	$C_2$	12	5	6	?	$10^6$
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, \dot{I}_m e^{j\psi_I}$	$I_{m1} e^{j\psi_{i1}}$	$I_{m2} e^{j\psi_{i2}}$	$I_{m3} e^{j\psi_{i3}}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$U_m e^{j\psi_u}$	$L$	$R$	$C$	$X_1$	$R$	$X_2$	$g+jb$	$\omega$

**Задача №1** Для заданного номера варианта по приведенным ниже данным найти величины, отмеченные вопросительными знаками. Ответы записать в заданной форме и с указанными размерностями.

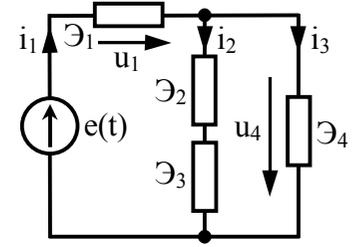
Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Вариант</b> ↓	$u(t),$ В	$i(t),$ мА	$\dot{U}_m,$ В	$\dot{I}_m,$ мА	$Z,$ кОм	$Y,$ 1/кОм	$Z,$ кОм	$Y,$ 1/кОм	Направ- ление $i$ или ↔	Характер цепи	$\varphi,$ град	$P,$ мВт
<b>39</b>	?	?	?	$-53-j53$	$0.66-j0.66$	?	?	?	↔	?	?	?
<b>40</b>	$15\cos(\omega t - 20^\circ)$	?	?	$15e^{j20^\circ}$	—	?	?	?	↔	?	?	?
Форма ответа	$U_m \cos(\omega t + \psi_u)$	$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$	$U_m e^{j\psi_u}$	$I_m e^{j\psi_i}$	$a+jb$	$a+jb$	$a+jb$	$z$	—	Инд., емк.	$\varphi$	$P$

**Задача №2** Для заданного варианта применительно к изображенной схеме, используя приведенные ниже данные, найти величины, отмеченные вопросительными знаками.



Позиция →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Вариант</b> ↓	Источник, В или мА	$\dot{I}_{m1},$ мА	$\dot{I}_{m2},$ мА	$\dot{I}_{m3},$ мА	$\dot{I}_m,$ мА	$\dot{U}_m,$ В	$\dot{\mathcal{E}}_1,$ мГн	$\dot{\mathcal{E}}_2,$ кОм	$\dot{\mathcal{E}}_3,$ пФ	$X_1,$ кОм	$R,$ кОм	$X_2,$ кОм	$Y,$ 1/кОм	$\omega,$ рад/с
<b>39</b>	$\dot{I}_m = 20e^{-j120^\circ}$	?	?	?	?	—	$C_1$	$R$	$C_2 = ?$	8	2	8	?	$10^5$
<b>40</b>	$\dot{I}_m = ?$	$4e^{-j100^\circ}$	$10e^{-j10^\circ}$	$2e^{j80^\circ}$	?	$10e^{-j10^\circ}$	$L_1 = ?$	$R$	$C_2 = ?$	—	—	?	?	$10^6$
Форма ответа	$E_m e^{j\psi_E}, J_m e^{j\psi_J}$	$I_{m1} e^{j\psi_{I1}}$	$I_{m2} e^{j\psi_{I2}}$	$I_{m3} e^{j\psi_{I3}}$	$I_m e^{j\psi_I}$	$U_m e^{j\psi_U}$	$C, L$	$R$	$C, L$	$C, L$	$R$	$x_2$	$g+jb$	$\omega$

**Задача 8.К-2.** Известен ток  $i_3(t)$ , протекающий через элемент  $\mathcal{E}_4$  цепи (см. рисунок) —  
 $i_3(t) = 10 \cdot \cos(10^6 \cdot t + \Psi_i)$  мА.  
 Располагая приведёнными в таблице параметрами элементов цепи  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$ , рассчитать ЭДС  $e(t)$  источника.



Исходные данные для решения контрольной задачи 8.К-2

Вариант	$\Psi_i$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_4$
1	$30^\circ$	$L = 2$ мГн	$C_1 = 1$ нФ	$R = 1$ кОм	$C_2 = 1/2$ нФ
2	$60^\circ$	$L_1 = 1$ мГн	$R = 1$ кОм	$C = 1/2$ нФ	$L_2 = 2$ мГн
3	$90^\circ$	$L_1 = 3$ мГн	$L_2 = 2$ мГн	$R = 3$ кОм	$C = 1$ нФ
4	$120^\circ$	$L_1 = 4$ мГн	$R = 2$ кОм	$L_2 = 1.5$ мГн	$L_3 = 2$ мГн
5	$150^\circ$	$L = 1$ мГн	$C = 2$ нФ	$R_1 = 1$ кОм	$R_2 = 1$ кОм
6	$180^\circ$	$L_1 = 2$ мГн	$R_1 = 2$ кОм	$L_2 = 4$ мГн	$R_2 = 4$ кОм
7	$150^\circ$	$R_1 = 1$ кОм	$R_2 = 1$ кОм	$C_1 = 1$ нФ	$C_2 = 4$ нФ
8	$120^\circ$	$R_1 = 2$ кОм	$C = 1/2$ нФ	$R_2 = 3$ кОм	$L = 1/2$ мГн
9	$90^\circ$	$R_1 = 3$ кОм	$R_2 = 1$ кОм	$L = 1$ мГн	$C = 1/2$ нФ
10	$60^\circ$	$R_1 = 1$ кОм	$L_1 = 1$ мГн	$R_2 = 4$ кОм	$L_2 = 1$ мГн
11	$30^\circ$	$R_1 = 1/2$ кОм	$R_2 = 2$ кОм	$C = 1$ нФ	$R_3 = 1$ кОм
12	$-30^\circ$	$R_1 = 1$ кОм	$L = 3$ мГн	$R_2 = 4$ кОм	$R_3 = 1/2$ кОм
13	$-60^\circ$	$C_1 = 2$ нФ	$C_2 = 1$ нФ	$R = 0.8$ кОм	$C_3 = 2$ нФ
14	$-90^\circ$	$C_1 = 3$ нФ	$R = 2$ кОм	$C_2 = 2$ нФ	$L = 3$ мГн
15	$-120^\circ$	$C_1 = 2$ нФ	$L = 3$ мГн	$R = 1.5$ кОм	$C_2 = 0.4$ нФ
16	$-150^\circ$	$C = 1$ нФ	$L_1 = 2.5$ мГн	$R = 1$ кОм	$L_2 = 1$ мГн

Окончание таблицы

Вариант	$\Psi_1$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_4$
17	$-180^\circ$	$C_1 = \frac{1}{2} \text{ нФ}$	$C_2 = 1 \text{ нФ}$	$R_1 = 5 \text{ кОм}$	$R_2 = \frac{2}{5} \text{ кОм}$
18	$0^\circ$	$C = 1.5 \text{ нФ}$	$R_1 = 2 \text{ кОм}$	$L = 1 \text{ мГн}$	$R_2 = 1 \text{ кОм}$
19	$15^\circ$	$L = 3 \text{ мГн}$	$C_1 = 2 \text{ нФ}$	$R = 4 \text{ кОм}$	$C_2 = 0.4 \text{ нФ}$
20	$45^\circ$	$L_1 = 2 \text{ мГн}$	$R = 3 \text{ кОм}$	$C = \frac{1}{2} \text{ нФ}$	$L_2 = 1 \text{ мГн}$
21	$75^\circ$	$L_1 = 2.5 \text{ мГн}$	$L_2 = 1 \text{ мГн}$	$R = 1.5 \text{ кОм}$	$C = 0.8 \text{ нФ}$
22	$105^\circ$	$L_1 = 3 \text{ мГн}$	$R = 5 \text{ кОм}$	$L_2 = 2.5 \text{ мГн}$	$L_3 = 3 \text{ мГн}$
23	$135^\circ$	$L = 5 \text{ мГн}$	$C = 1 \text{ нФ}$	$R_1 = 4 \text{ кОм}$	$R_2 = 2 \text{ кОм}$
24	$165^\circ$	$L_1 = 3 \text{ мГн}$	$R_1 = 6 \text{ кОм}$	$L_2 = 5 \text{ мГн}$	$R_2 = 3 \text{ кОм}$
25	$155^\circ$	$R_1 = \frac{1}{2} \text{ кОм}$	$R_2 = 2 \text{ кОм}$	$C_1 = 0.6 \text{ нФ}$	$C_2 = 2.5 \text{ нФ}$
26	$125^\circ$	$R_1 = 3 \text{ кОм}$	$C = 0.4 \text{ нФ}$	$R_2 = 2.5 \text{ кОм}$	$L = 0.7 \text{ мГн}$
27	$85^\circ$	$R_1 = 6 \text{ кОм}$	$R_2 = 4 \text{ кОм}$	$L = 3 \text{ мГн}$	$C = 0.1 \text{ нФ}$
28	$55^\circ$	$R_1 = 3 \text{ кОм}$	$L_1 = 1.5 \text{ мГн}$	$R_2 = 2.5 \text{ кОм}$	$L_2 = 0.8 \text{ мГн}$
29	$25^\circ$	$R_1 = 0.6 \text{ кОм}$	$R_2 = 1.8 \text{ кОм}$	$C = 0.4 \text{ нФ}$	$R_3 = 3.5 \text{ кОм}$
30	$-5^\circ$	$R_1 = 2.5 \text{ кОм}$	$L = 1.8 \text{ мГн}$	$R_2 = 3.2 \text{ кОм}$	$R_3 = 0.9 \text{ кОм}$
31	$-35^\circ$	$C_1 = 1.8 \text{ нФ}$	$C_2 = 0.4 \text{ нФ}$	$R = 5 \text{ кОм}$	$C_3 = 0.2 \text{ нФ}$
32	$-65^\circ$	$C_1 = 0.3 \text{ нФ}$	$R = 1.5 \text{ кОм}$	$C_2 = \frac{1}{2} \text{ нФ}$	$L = 2.8 \text{ мГн}$
33	$-95^\circ$	$C_1 = 0.2 \text{ нФ}$	$L = 2.5 \text{ мГн}$	$R = 3.5 \text{ кОм}$	$C_2 = 0.4 \text{ нФ}$
34	$-125^\circ$	$C = 0.1 \text{ нФ}$	$L_1 = 6.5 \text{ мГн}$	$R = 8 \text{ кОм}$	$L_2 = 5 \text{ мГн}$
35	$-155^\circ$	$C_1 = 0.6 \text{ нФ}$	$C_2 = 0.3 \text{ нФ}$	$R_1 = 10 \text{ кОм}$	$R_2 = 2 \text{ кОм}$
36	$-180^\circ$	$C = \frac{1}{2} \text{ нФ}$	$R_1 = 1.4 \text{ кОм}$	$L = 2.3 \text{ мГн}$	$R_2 = 2.3 \text{ кОм}$

## 9. АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОВ КИРХГОФА. МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ И УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

*Цель* — освоить стандартные методики расчёта сложных линейных цепей при гармонических воздействиях, основанные на непосредственном использовании законов Кирхгофа, а также решении системы уравнений относительно контурных токов и узловых потенциалов.

*Задача 9.1.* Используя законы Кирхгофа, рассчитать величину тока  $I_2$ , протекающего через сопротивление  $R_2$  цепи, показанной на рис. 9.1. Известно, что  $E_1 = 125 \text{ В}$ ,  $E_2 = 120 \text{ В}$ ,  $R_1 = 40 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 36 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 60 \text{ кОм}$ ,  $R_4 = 60 \text{ кОм}$ .

*Ответ:*  $I_2 = -0.75 \text{ мА}$ .

*Задача 9.2.* Используя законы Кирхгофа, рассчитать комплексную амплитуду тока  $i_3$ , протекающего через комплексное сопротивление  $z_3$  в схеме на рис. 9.2. Дано:  $\dot{E}_{m1} = 10 \cdot e^{-j60^\circ} \text{ В}$ ,  $\dot{E}_{m2} = 10 \cdot e^{-j30^\circ} \text{ В}$ ,  $z_1 = 5 + j5 \text{ кОм}$ ,  $z_2 = 2 - j2 \text{ кОм}$ ,  $z_3 = 2 \text{ кОм}$ .

*Ответ:*  $\dot{I}_{m3} = 2.87 \cdot e^{j5^\circ} \text{ мА}$ .

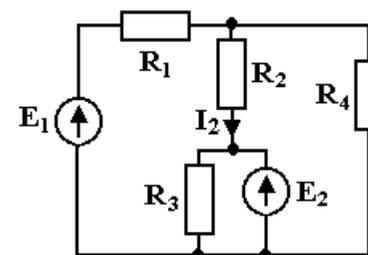


Рис. 9.1

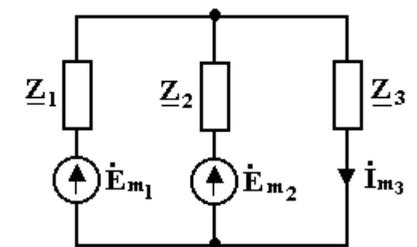


Рис. 9.2

*Задача 9.3.* С использованием метода контурных токов (МКТ) решить задачу 9.1, сформулированную для цепи со схемой, показанной на рис. 9.1.

**Задача 9.4.** Методом контурных токов рассчитать токи в ветвях цепи на рис. 9.3, полагая, что  $E=6\text{ В}$ ,  $J=5\text{ мА}$ ,  $R_1=5\text{ кОм}$ ,  $R_2=4\text{ кОм}$ ,  $R_3=16\text{ кОм}$ ,  $R_4=2\text{ кОм}$ ,  $R_5=8\text{ кОм}$ .

**Ответ:**  $I_1=2\text{ мА}$ ,  $I_2=3\text{ мА}$ ,  $I_3=1\text{ мА}$ ,  $I_4=4\text{ мА}$ ,  $I_5=1\text{ мА}$ .

**Задача 9.5.** Методом узловых потенциалов (МУП) решить задачу 9.1, сформулированную для цепи на рис. 9.1.

**Задача 9.6.** Методом узловых потенциалов рассчитать токи в ветвях цепи со схемой на рис. 9.4, полагая, что  $E_1=100\text{ В}$ ,  $E_2=150\text{ В}$ ,  $E_3=28\text{ В}$ ,  $J=2\text{ мА}$ ,  $R_2=2\text{ кОм}$ ,  $R_3=4\text{ кОм}$ ,  $R_4=6\text{ кОм}$ ,  $R_5=8\text{ кОм}$ .

**Ответ:**  $I_1=3\text{ мА}$ ,  $I_2=5\text{ мА}$ ,  $I_3=3\text{ мА}$ ,  $I_4=6\text{ мА}$ ,  $I_5=8\text{ мА}$ .

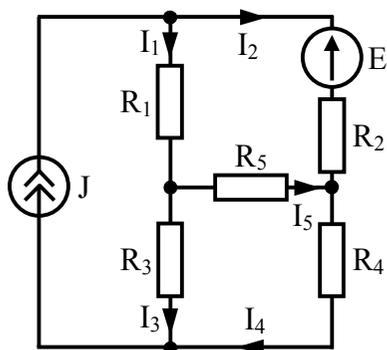


Рис. 9.3

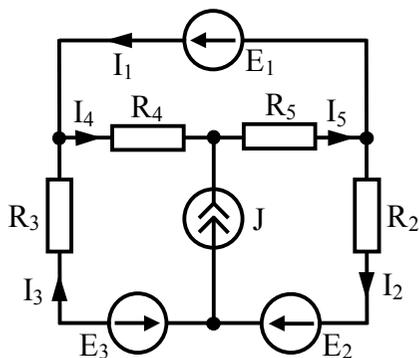


Рис. 9.4

**Задача 9.7.** С использованием МУП решить задачу 9.2 для цепи со схемой на рис. 9.2.

**Задача 9.8.** Методом контурных токов решить задачу 9.6, сформулированную для цепи на рис. 9.4.

**Задача 9.9.** Методом узловых потенциалов найти в общем виде комплексную амплитуду тока  $\dot{I}_{m2}$  в цепи со схемой, изображенной на рис. 9.5.

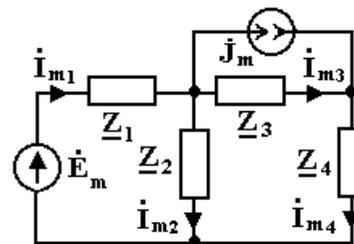


Рис. 9.5

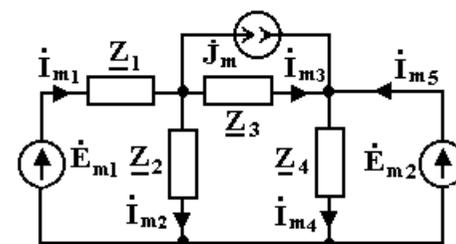


Рис. 9.6

**Ответ:** 
$$\dot{I}_{m2} = \frac{(\dot{E}_m \underline{Y}_1 - \dot{J}_m) \cdot (\underline{Y}_3 + \underline{Y}_4) + \dot{J}_m \cdot \underline{Y}_3}{(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) \cdot (\underline{Y}_3 + \underline{Y}_4) - \underline{Y}_3^2} \cdot \underline{Y}_2.$$

**Задача 9.10.** Решить задачу 9.9, сформулированную для цепи на рис. 9.5 с использованием МКТ.

**Задача 9.11.** На рис. 9.6 показана схема цепи со следующими параметрами элементов:  $\dot{J}_m = 5 \cdot e^{j45^\circ}\text{ мА}$ ,  $\dot{E}_{m1} = 3 + j4\text{ В}$ ,  $\dot{E}_{m2} = 5 \cdot e^{-j60^\circ}\text{ В}$ ,  $\underline{z}_1 = j \cdot 1\text{ кОм}$ ,  $\underline{z}_2 = 1\text{ кОм}$ ,  $\underline{z}_3 = -j \cdot 2\text{ кОм}$ ,  $\underline{z}_4 = 2\text{ кОм}$ . Методом узловых потенциалов найти комплексную амплитуду тока  $\dot{I}_{m2}$ .

**Ответ:**  $\dot{I}_{m2} = 5.36 \cdot e^{-j37.1^\circ}\text{ мА}$ .

## 10. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА «МЕТОДЫ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ»

*Цель* – закрепить и продемонстрировать навыки расчёта линейных цепей методами контурных токов и узловых потенциалов, полученные при решении задач по теме 9.

**Задача 10.К-1.** Для заданного преподавателем номера варианта (табл. 10.1) рассчитать заданным методом (МКТ или МУП) величину указанного тока.

Таблица 10.1

Данные для решения многовариантной контрольной задачи

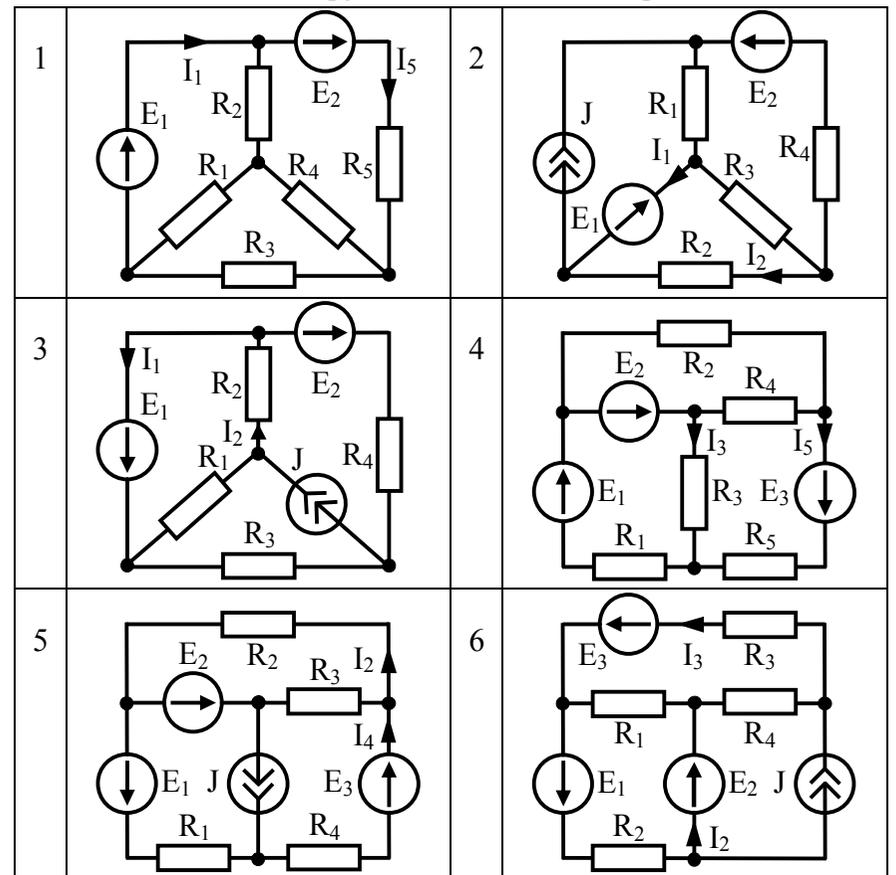
Номер	Метод	Схема, табл. 10.2	Искомый ток	$E_1, В$	$E_2, В$	$E_3, В$	$J, мА$	$R_1, кОм$	$R_2, кОм$	$R_3, кОм$	$R_4, кОм$	$R_5, кОм$
1	МУП	1	$I_5$	11	34	—	—	5	8	8	8	4
2	МКТ	1	$I_1$	10	7	—	—	4	2	7	6	1
3	МУП	2	$I_2$	2	7	—	9	10	3	4	6	—
4	МКТ	2	$I_1$	3	7	—	3	8	5	8	4	—
5	МУП	3	$I_1$	5	5	—	4	7	4	7	7	—
6	МКТ	3	$I_2$	2	6	—	6	4	9	4	4	—
7	МУП	4	$I_3$	6	8	13	—	1	6	3	6	6
8	МКТ	4	$I_5$	13	4	10	—	2	5	7	3	2
9	МУП	5	$I_4$	9	5	6	6	5	1	6	3	—
10	МКТ	5	$I_2$	10	8	7	5	7	2	6	4	—
11	МУП	6	$I_3$	5	6	8	6	5	8	8	7	—
12	МКТ	6	$I_2$	8	7	5	4	3	1	6	4	—
13	МУП	7	$I_2$	8	8	3	4	3	7	7	6	—
14	МКТ	7	$I_2$	7	9	5	2	4	2	8	8	—
15	МУП	8	$I_1$	10	2	10	1	4	4	4	2	—
16	МКТ	8	$I_3$	6	8	9	8	5	9	2	1	—
17	МУП	9	$I_2$	7	9	3	—	1	4	2	3	6
18	МКТ	9	$I_5$	5	7	10	—	2	8	7	2	1
19	МУП	10	$I_2$	6	6	3	8	7	1	9	8	—
20	МКТ	10	$I_2$	3	7	7	7	6	4	2	6	—
21	МУП	11	$I_5$	11	9	10	—	3	4	6	10	2
22	МКТ	11	$I_3$	3	2	9	—	4	3	2	1	1
23	МУП	12	$I_1$	8	7	8	1	2	1	8	7	—
24	МКТ	12	$I_3$	12	5	3	2	2	6	3	2	—

Окончание табл. 10.1

Номер	Метод	Схема, табл. 10.2	Искомый ток	$E_1, В$	$E_2, В$	$E_3, В$	$J, мА$	$R_1, кОм$	$R_2, кОм$	$R_3, кОм$	$R_4, кОм$	$R_5, кОм$
25	МУП	13	$I_1$	8	6	5	4	4	7	8	7	—
26	МКТ	13	$I_3$	3	3	6	5	6	2	6	6	—
27	МУП	14	$I_1$	8	10	8	5	2	8	9	2	6
28	МКТ	14	$I_4$	6	6	8	6	6	6	6	2	7

Таблица 10.2

Схемы анализируемых сложных электрических цепей



7		8	
9		10	
11		12	
13		14	

## 11. АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ МЕТОДАМИ НАЛОЖЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель — получить навыки расчёта сложных линейных цепей на основе принципа наложения и теоремы об эквивалентном источнике напряжения (теоремы Тевенина).

Задача 11.1. Решить задачу 9.1, сформулированную для цепи на рис. 9.1, используя метод наложения.

Задача 11.2. Используя метод наложения, найти в общем виде комплексную амплитуду напряжения на сопротивлении  $Z_3$  в схеме на рис. 11.1.

$$\text{Ответ: } \dot{U}_{m3} = [\dot{I}_{m1} \cdot Z_1 + \dot{I}_{m2} \cdot (Z_1 + Z_2)] \cdot Z_3 / (Z_1 + Z_2 + Z_3).$$

Задача 11.3. Решить задачу 9.1 для цепи на рис. 9.1 с использованием теоремы Тевенина — методом эквивалентного источника напряжения (МЭИН).

Задача 11.4. В схеме на рис. 11.2 с использованием МЭИН найти ток в ветви с сопротивлением, равным 5 Ом.

$$\text{Ответ: } 0.6 \text{ А.}$$

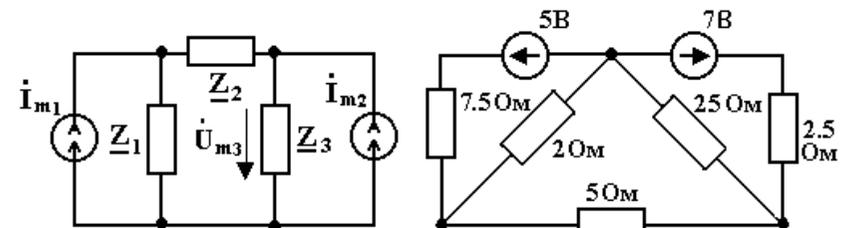


Рис. 11.1

Рис. 11.2

Задача 11.5. Используя МЭИН, определить величину сопротивления  $Z_4$  в схеме на рис. 11.3. При этом известно, что:

$\dot{I}_{m1} = \dot{I}_{m2} = 2 \cdot e^{j \cdot 45^\circ}$  мА,  $\dot{I}_{m4} = 1.74 \cdot e^{j \cdot 126^\circ}$  мА,  $Z_1 = 3 + j \cdot 3$  кОм,  $Z_2 = 1$  кОм,  $Z_3 = 2 - j \cdot 3$  кОм.

Ответ:  $Z_4 = 2$  кОм.

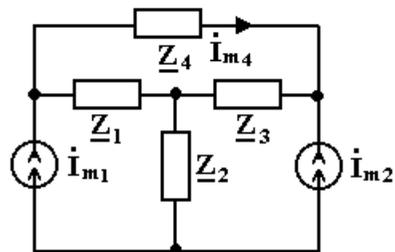


Рис. 11.3

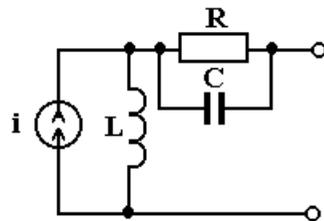


Рис. 11.4

Задача 11.6. Цепь на рис. 11.4, обладающую параметрами  $i(t) = 5 \cdot \cos(\omega \cdot t - 60^\circ)$  мА и  $x_L = x_C = R = 2$  Ом, заменить эквивалентным источником напряжения в соответствии с теоремой Тевенина и рассчитать его параметры.

Ответ:  $\dot{E}_{mЭ} = 10 \cdot e^{j \cdot 30^\circ}$  В,  $Z_Э = 0.8 + j \cdot 0.6$  кОм.

Задача 11.7. Рассчитать величину сопротивления  $R_5$  в цепи, показанной на рис. 11.5, при которой на этом сопротивлении выделится максимально возможная мощность. Известно, что  $R_1 = R_2 = 800$  Ом,  $R_3 = 600$  Ом,  $R_4 = 1.2$  кОм. Определить величину этой мощности, полагая, что  $E = 160$  В.

Ответ:  $R_5 = 800$  Ом,  $P_5 = 2$  Вт.

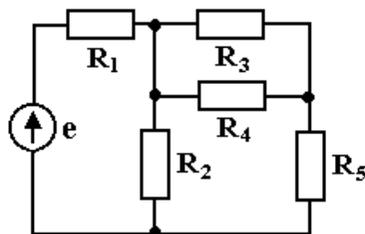


Рис. 11.5

## 12. КОЛЛОКВИУМ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ»

Цель – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала тем 7–11 и лабораторной работы № 3.

Проводится с использованием специального программного обеспечения. Типовые задания, идентичные предлагаемым в коллоквиуме, приведены ниже.

### Задания категории № 1 «Метод комплексных амплитуд»

Задача 12.1. Комплексная амплитуда гармонической ЭДС  $e(t) = -30 \cdot \sin(30 \cdot t - 30^\circ)$  В равна ...

- 1)  $30 \cdot \exp(j \cdot 60^\circ)$ ;
- 2)  $-30 \cdot \exp(-j \cdot 30^\circ)$ ;
- 3)  $30 \cdot \exp(j \cdot 30^\circ)$ ;
- 4)  $-30 \cdot \exp(j \cdot 150^\circ)$ .

Задача 12.2. Начальная фаза гармонического напряжения с комплексной амплитудой  $-6 - j \cdot 3$  В равна ... градусов. Ответ округлить до целого.

Задача 12.3. Комплексная амплитуда напряжения на всей цепи (рис. 12.1) составляет  $100 \cdot \exp(j \cdot 30^\circ)$  В, комплексное сопротивление цепи равно  $4 - j \cdot 3$  кОм. Мнимая часть комплексной амплитуды тока, округлённая до целого, составляет ... мА.

Задача 12.4. В цепи на рис. 12.2 наблюдаются напряжения с комплексными амплитудами:  $16 \cdot \exp(-j \cdot 30^\circ)$  В и  $6 \cdot \exp(j \cdot 30^\circ)$  В. Амплитуда ЭДС источника, округлённая до целого, равна ... В.

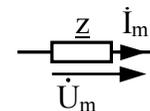


Рис. 12.1

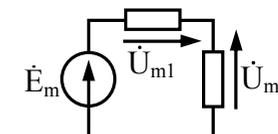


Рис. 12.2

**Задания категории № 2 «Мощность в цепи с гармоническими колебаниями»**

**Задача 12.5.** Мощность, расходуемая в линейной цепи на рис. 12.1 с  $i(t) = 7 \cdot \cos(4\pi \cdot 10^3 \cdot t + 30^\circ)$  мА и  $u(t) = 5 \cdot \cos(4\pi \cdot 10^3 \cdot t)$  В, составляет ... мВт. Ответ округлить до целого.

**Задача 12.6.** Мощность, расходуемая в линейной цепи на рис. 12.1 с  $\dot{I}_m = 2.5 \cdot e^{-j \cdot 30^\circ}$  мА и  $\underline{z} = 4 + j \cdot 3$  кОм, составляет ... мВт.

**Задача 12.7.** Реактивная мощность в линейной цепи на рис. 12.1 с  $\dot{I}_m = 4 \cdot e^{-j \cdot 45^\circ}$  мА и  $\underline{z} = 10 - j \cdot 2$  кОм составляет с учётом знака ... мвар.

**Задача 12.8.** Амплитуда тока в показанной на рис. 12.3 цепи с сопротивлениями  $R = 12$  кОм равна 3 мА. При таких условиях активная мощность в этой цепи равна ... мВт.

**Задача 12.9.** Активная мощность в цепи на рис. 12.4 составляет 8 мВт, амплитуда тока в цепи равна 4 мА. При таком условии амплитуда напряжения на активном сопротивлении составляет ... В.

**Задача 12.10.** Амплитуда ЭДС источника напряжения составляет 60 В, внутреннее же сопротивление этого источника равно  $10 \cdot \exp(-j \cdot 60^\circ)$  кОм. Активная мощность в нагрузке при её согласовании с внутренним сопротивлением источника напряжения равна ... мВт.

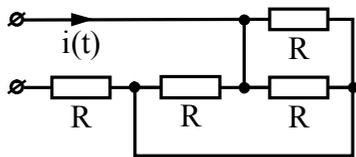


Рис. 12.3

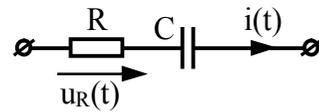


Рис. 12.4

**Задания категории № 3 «Метод контурных токов»**

**Задача 12.11.** ЭДС источника напряжения  $E$  в схеме цепи на рис. 12.5 равна 21 В, ток источника тока  $J$  составляет 3 мА, контурный ток  $I_{K3}$  равен 7 мА, сопротивления  $R$  равны 3 кОм. При таком условии контурный ток  $I_{K2}$  составляет ... мА.

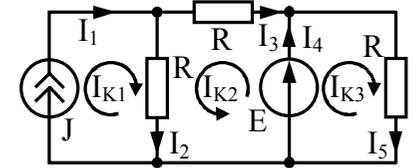


Рис. 12.5

**Задача 12.12.** Показанные на рис. 12.5 контурные токи известны и равны:  $I_{K1} = 4$  мА,  $I_{K2} = 1$  мА,  $I_{K3} = 6$  мА. При таком условии разность токов  $(I_4 - I_3 - I_2)$  составляет ... мА.

**Задача 12.13.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.6 равен 2 мА, ЭДС источника напряжения  $E = 10$  В, сопротивления  $R$  равны 5 кОм. Тогда контурный ток  $I_{K2}$  составляет ... мА.

**Задача 12.14.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.6 равен 2 мА, ЭДС источника напряжения  $E = 5$  В, сопротивления  $R$  равны по 5 кОм. При таких условиях ток  $I_5$  равен ... мА.

**Задача 12.15.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.7 равен 2 мА, ЭДС источника напряжения  $E$  составляет 12 В, все сопротивления  $R$  равны по 2 кОм. Если контурный ток  $I_{K2}$  составляет 2 мА, то контурный ток  $I_{K3}$  равен ... мА.

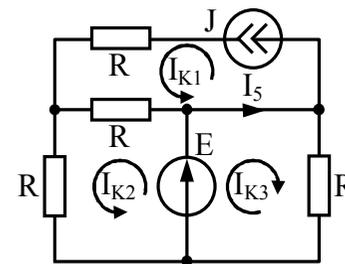


Рис. 12.6

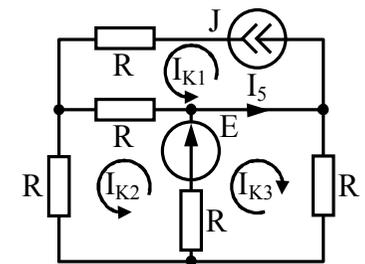


Рис. 12.7

#### Задания категории № 4 «Метод узловых потенциалов»

**Задача 12.16.** ЭДС источника напряжения  $E$  в схеме на рис. 12.8 равна 5 В, потенциал первого узла  $\varphi_1$  составляет 13 В, сопротивления  $R$  равны по 4 кОм. При таких условиях потенциал второго узла  $\varphi_2$  составляет ... В.

**Задача 12.17.** ЭДС источника напряжения  $E$  в схеме на рис. 12.8 составляет 5 В, потенциалы узлов известны и равны:  $\varphi_1 = 13$  В,  $\varphi_2 = 6$  В. Если все сопротивления  $R$  равны 4 кОм, то разность токов ( $I_1 - I_4$ ) составляет ... мА.

**Задача 12.18.** Потенциал  $\varphi_2$  в схеме на рис. 12.9 составляет 4 В, потенциал  $\varphi_3$  равен 8 В, ЭДС источника напряжения  $E_1$  составляет 6 В, все сопротивления  $R$  равны по 2 кОм. При таких условиях потенциал первого узла  $\varphi_1$  составляет ... В.

**Задача 12.19.** Потенциал  $\varphi_1$  в схеме на рис. 12.9 составляет 3 В, ЭДС источника напряжения  $E_2$  равна 4 В, ток источника тока  $J$  составляет 3 мА, сопротивления  $R$  равны по 3 кОм. При таких условиях потенциал третьего узла  $\varphi_3$  составляет ... В.

**Задача 12.20.** Потенциал  $\varphi_1$  в схеме на рис. 12.9 составляет 1 В, потенциал  $\varphi_3$  также равен 3 В, ЭДС источника напряжения  $E_2$  составляет 3 В, все сопротивления  $R$  в схеме равны по 1 кОм. При таких условиях ЭДС источника напряжения  $E_1$  составляет ... В.

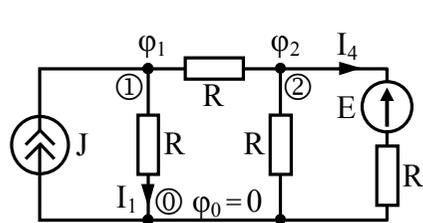


Рис. 12.8

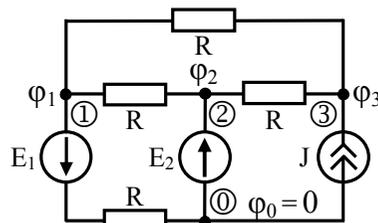


Рис. 12.9

#### Задания категории № 5 «Методы наложения и эквивалентного источника напряжения»

**Задача 12.21.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.10 равен 8 мА, ЭДС источника напряжения  $E$  составляет 4 В, все сопротивления  $R$  равны по 2 кОм. При таких условиях ток  $I_1$ , найденный методом наложения, составляет ... мА.

**Задача 12.22.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.10 равен 2 мА, ЭДС источника напряжения  $E$  составляет 4 В, все сопротивления  $R$  равны по 2 кОм. При таких условиях ток  $I_3$ , найденный методом наложения, составляет ... мА.

**Задача 12.23.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.11 равен 3 мА, ЭДС источника  $E = 4$  В, сопротивления  $R = 2$  кОм. ЭДС источника напряжения, которым, по теореме Тевенина, может быть заменена цепь для расчёта тока  $I_1$ , составляет ... В.

**Задача 12.24.** Ток источника тока  $J$  в схеме на рис. 12.11 равен 2 мА, ЭДС источника  $E = 6$  В, сопротивления  $R = 2$  кОм. ЭДС источника напряжения, которым, по теореме Тевенина, может быть заменена цепь для расчёта тока  $I_2$ , составляет ... В.

**Задача 12.25.** Все сопротивления  $R$  в схеме на рис. 12.11 равны 4 кОм. Тогда внутреннее сопротивление источника напряжения, которым, по теореме Тевенина, может быть заменена вся цепь, за исключением ветви с искомым током  $I_2$ , составляет ... кОм.

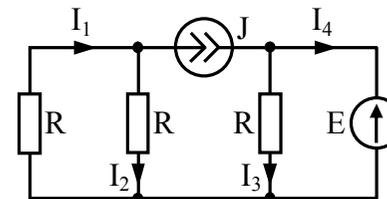


Рис. 12.10

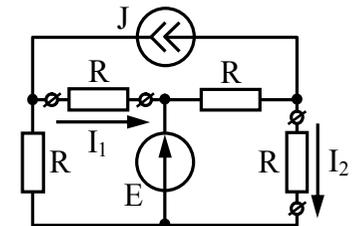


Рис. 12.11

### 13. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ

*Цель* — научиться выполнять расчёт и визуализацию амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик линейных четырёхполосников.

*Задача 13.1.* Найти аналитические выражения и изобразить качественно АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению цепей, показанных на рис. 13.1, а-в.

*Ответ:* а)  $K(\omega) = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ ,  $\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg(\omega RC)$ ;

б)  $K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ ,  $\varphi(\omega) = -\arctg(\omega RC)$ ;

в)  $K(\omega) = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$ ,  $\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right)$ .

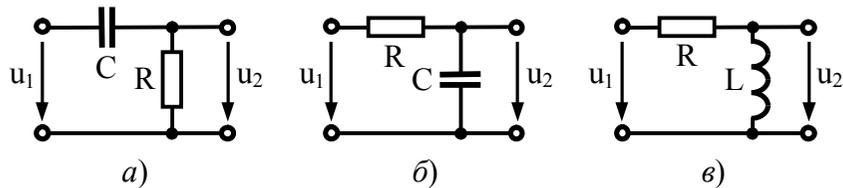


Рис. 13.1

*Задача 13.2.* Схема на рис. 13.2 соответствует схеме замещения по переменной составляющей апериодического усилителя на верхних частотах. Найти аналитическое выражение АЧХ коэффициента передачи по напряжению и верхнюю граничную частоту полосы пропускания такого усилителя.

*Ответ:*  $K(\omega) = \frac{R_2}{R_1+R_2} \frac{1}{\sqrt{1+\left(\omega C \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}\right)^2}}$ ,  $\omega_{гpb} = \frac{1}{C \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}}$ .

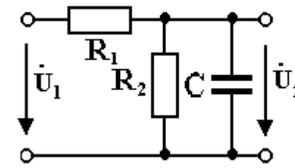


Рис. 13.2

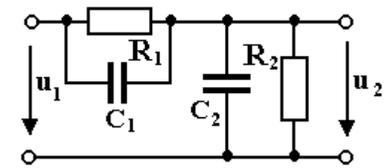


Рис. 13.3

*Задача 13.3.* Коррекция спада АЧХ коэффициента передачи по напряжению цепи, показанной на рис. 13.2, выполняется за счёт включения параллельно сопротивлению  $R_1$  конденсатора  $C_1$ . Рассчитать ёмкость  $C_1$ , при которой АЧХ коэффициента передачи цепи будет постоянной на всех частотах. Считать, что  $R_1 = 100$  кОм,  $R_2 = 0.5$  МОм,  $C_2 = 20$  пФ.

*Ответ:*  $C_1 = 100$  пФ.

*Задача 13.4.* Установить вид аналитического выражения АЧХ и ФЧХ комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи со схемой на рис. 13.4.

*Ответ:*  $\dot{K}(\omega) = \frac{j\omega R_3 C}{(1+R_1/R_2) + j(1+R_1/R_2 + R_1/R_3) \cdot \omega R_3 C}$ .

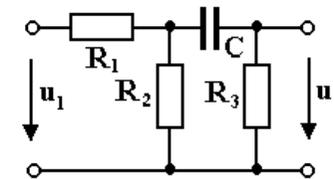


Рис. 13.4

### Контрольная работа

*Задача 13.К-1.* Используя данные, представленные для заданного номера варианта в табл. 13.1, найти выражения комплексного коэффициента передачи по напряжению, АЧХ и ФЧХ цепи, схема замещения которой показана на рис. 13.5. Построить качественно графики АЧХ и ФЧХ цепи, определить выражение для граничных частот полосы пропускания цепи.

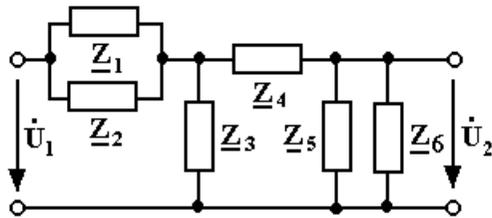


Рис. 13.5

Таблица 13.1

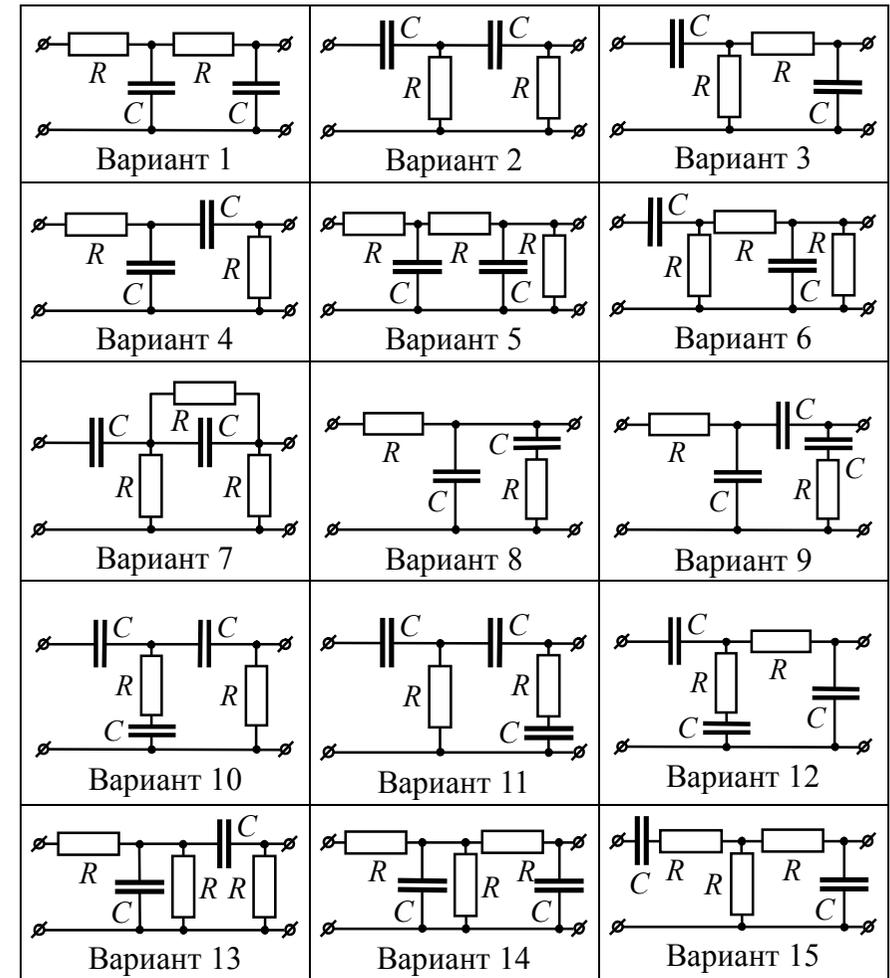
Исходные данные к многовариантной задаче 13.К-1

Вариант	Оригинал $Z_1$	Оригинал $Z_2$	Оригинал $Z_3$	Оригинал $Z_4$	Оригинал $Z_5$	Оригинал $Z_6$
1	$C_1$	$R$	$\infty$	$0$	$\infty$	$C_2$
2	$L_1$	$R$	$\infty$	$0$	$L_2$	$\infty$
3	$0$	$0$	$\infty$	$L_1$	$R$	$L_2$
4	$L$	$R_1$	$\infty$	$0$	$R_2$	$\infty$
5	$0$	$0$	$\infty$	$R_1$	$R_2$	$L$
6	$L_1$	$\infty$	$\infty$	$R_1$	$L_2$	$R_2$
7	$\infty$	$C_1$	$\infty$	$R_1$	$C_2$	$R_2$
8	$L_1$	$R_1$	$\infty$	$0$	$L_2$	$R_2$
9	$C_1$	$R_1$	$R_2$	$0$	$\infty$	$C_3$
10	$L_1$	$R$	$L_2$	$0$	$L_2$	$\infty$
11	$L_1$	$R_1$	$L_2$	$0$	$R_2$	$\infty$
12	$C_1$	$R_1$	$C_2$	$0$	$C_2$	$R_2$
13	$C_1$	$R_1$	$R_2$	$0$	$R_2$	$C_2$
14	$L_1$	$\infty$	$R$	$R$	$L_2$	$R$
15	$\infty$	$C_1$	$R$	$R$	$C_2$	$R$
16	$L_1$	$R$	$R$	$0$	$L_2$	$R$
17	$C_1$	$\infty$	$R_1$	$C_2$	$R_2$	$\infty$
18	$L_1$	$\infty$	$R_1$	$L_2$	$R_2$	$\infty$
19	$R_1$	$\infty$	$C_1$	$R_2$	$\infty$	$C_2$
20	$R_1$	$\infty$	$L_1$	$L_2$	$\infty$	$R_2$

Задача 13.К-2. Получить формулы для комплексного коэффициента передачи по напряжению, АЧХ, ФЧХ цепи, схема которой показана для заданного номера варианта в табл. 13.2. Построить качественно графики АЧХ и ФЧХ цепи, численно рассчитать граничные частоты полосы пропускания цепи, полагая, что  $R = 10 \text{ кОм}$ ,  $C = 1 \text{ нФ}$ .

Таблица 13.2

Исходные данные к многовариантной задаче 13.К-2



## 14. КОЛЛОКВИУМ «ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПЕЙ»

*Цель* – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала темы 13 и выполнения лабораторной работы № 4.

Типовые задания, идентичные заданиям, предлагаемым в коллоквиуме, приведены ниже.

### Задания категории № 1 «Понятие об КЧХ, АЧХ и ФЧХ»

*Задача 14.1.* Комплексный коэффициент передачи цепи по напряжению имеет вид:  $1/\sqrt{1+(\omega\tau)^2} \cdot \exp[-j \arctg(\omega\tau)]$ . Если на вход цепи подать напряжение с частотой  $\omega = 2/\tau$  и амплитудой 100 мВ, то амплитуда выходного напряжения составит ... В. Ответ округлить до целого.

*Задача 14.2.* Амплитудно-частотная характеристика комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению показана рис. 14.1. Чтобы амплитуда выходного напряжения составляла 25 % от амплитуды входного напряжения, частоту напряжения на входе цепи следует установить равной ... кГц.

*Задача 14.3.* Фазочастотная характеристика комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению показана на рис. 14.2. Начальная фаза выходного напряжения цепи при подаче на вход напряжения с начальной фазой  $45^\circ$  и частотой 2 кГц составит ... градусов.

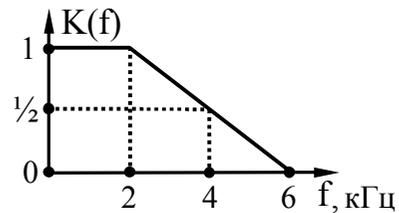


Рис. 14.1

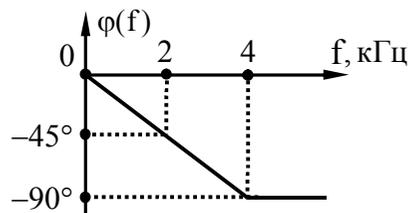


Рис. 14.2

### Задания категории № 2 «АЧХ и ФЧХ элементарных двухполосников»

*Задание 14.5.* Амплитудно-частотная характеристика комплексного сопротивления двухполосника на рис. 14.3, а показана на рис. 14.4 под номером ...

*Задание 14.6.* Амплитудно-частотная характеристика комплексной проводимости двухполосника на рис. 14.3, б показана на рис. 14.4 под номером ...



Рис. 14.3

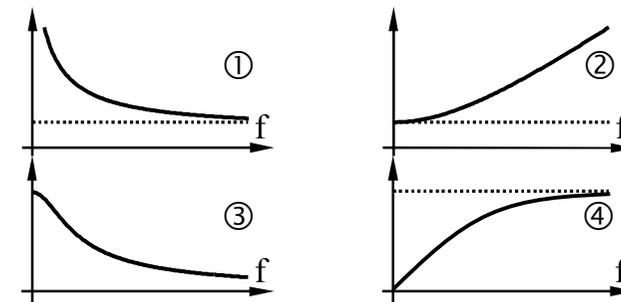


Рис. 14.4

*Задание 14.7.* У нескольких цепей на рис. 14.5 амплитудно-частотные характеристики описываются кривой, приведённой под номером 4 на рис. 14.4. Это цепи — ...

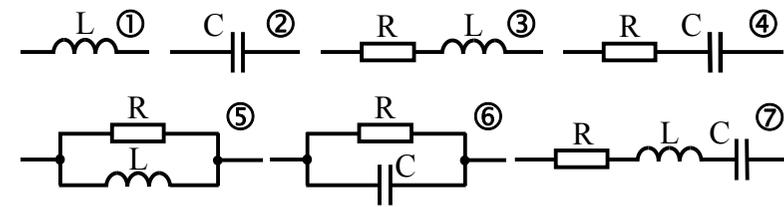


Рис. 14.5

**Задания категории № 3 «АЧХ и ФЧХ простых четырёх-полюсников»**

*Задание 14.8.* Амплитудно-частотная характеристика комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи на рис. 14.6, *а* показана на рис. 14.7 под номером ...

*Задание 14.9.* Фазочастотная характеристика комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи на рис. 14.6, *б* показана на рис. 14.7 под номером ...

*Задание 14.10.* Выражением  $K(\omega) = \omega\tau / \sqrt{1+(\omega\tau)^2}$  описывается АЧХ комплексного коэффициента передачи по напряжению цепей, показанных на рис. 14.8 под номерами ...

*Задание 14.11.* Выражением  $\varphi(\omega) = -\text{arctg}(\omega\tau)$  описывается ФЧХ комплексного коэффициента передачи по напряжению цепей, показанных на рис. 14.8 под номерами ...

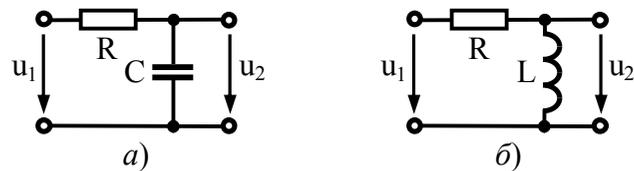


Рис. 14.6

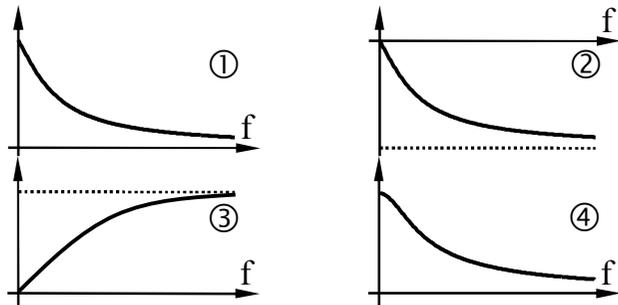


Рис. 14.7

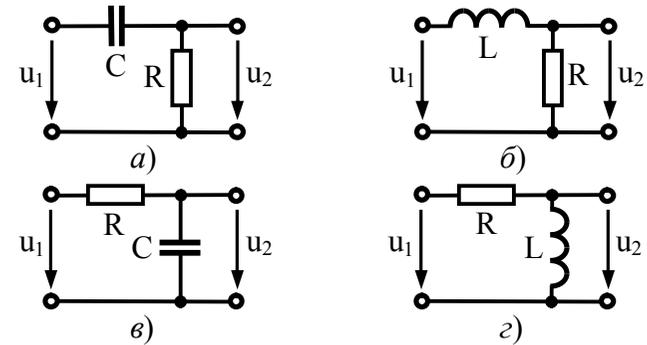


Рис. 14.8

**Задания категории № 4 «Оценка предельных значений частотных характеристик цепей»**

*Задание 14.12.* Коэффициент передачи по напряжению цепи (рис. 14.9, *а*) на нулевой частоте при  $R_1 = 2$  кОм,  $R_2 = 8$  кОм,  $C_1 = 9$  нФ,  $C_2 = 1$  нФ равен ...

*Задание 14.13.* Коэффициент передачи по напряжению цепи (рис. 14.9, *а*) на бесконечно большой частоте при  $R_1 = 2$  кОм,  $R_2 = 8$  кОм,  $C_1 = 9$  нФ,  $C_2 = 1$  нФ равен ...

*Задание 14.14.* Фазочастотная характеристика комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи (рис. 14.9, *б*) на нулевой частоте равна ... градусов.

*Задание 14.15.* Фазочастотная характеристика комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи (рис. 14.9, *б*) на бесконечно большой частоте равна ... градусов.

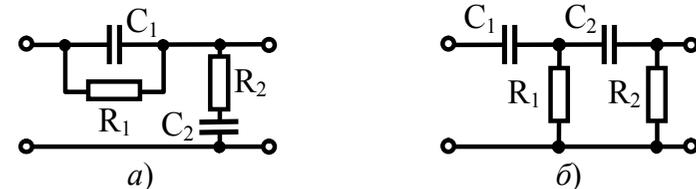


Рис. 14.9

## Задания категории № 5 «Полоса пропускания цепи»

**Задание 14.16.** Полоса пропускания цепи определяется по амплитудно-частотной характеристике комплексного коэффициента передачи по напряжению на уровне ... относительно максимального значения.

- 1) 0.707;                      2)  $1/\sqrt{2}$ ;  
3) «минус» 3 дБ;            3)  $1/2$ .

**Задание 14.17.** Полоса пропускания простейшей RC-цепи со съёмом напряжения с ёмкости (рис. 14.10, а) при  $R = 20$  кОм и  $C = 5$  нФ составляет ... крад/с.

**Задание 14.18.** Полоса пропускания простейшей RL-цепи со съёмом напряжения с сопротивления (рис. 14.10, б) при  $R = 40$  Ом и  $L = 4$  мГн составляет ... крад/с.

**Задание 14.19.** Полоса пропускания RC-цепи, показанной на рис. 14.10, а, составляет 100 кГц. К выходу цепи подключена точно такая же RC-цепь. Полоса пропускания полученного двухзвенного фильтра равна ... кГц.

- 1) 17;                              2) 37;  
3) 50;                              4) 77.

**Задание 14.20.** Полоса пропускания RC-цепи, показанной на рис. 14.10, в, составляет 100 кГц. Сопротивления  $R$  в цепи увеличены втрое, а ёмкости  $C$  уменьшены в 12 раз. Полоса пропускания при этом составит ... крад/с.

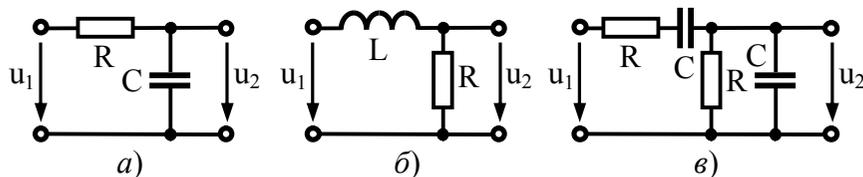


Рис. 14.10

## 15. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

**Цель** — изучить резонансные свойства, основные параметры и частотные характеристики последовательного колебательного контура.

**Задача 15.1.** Катушка индуктивности, последовательная схема замещения которой обладает индуктивностью  $L = 1$  мГн и сопротивлением потерь  $R = 10$  Ом, соединена последовательно с конденсатором ёмкостью  $C$ , потери в котором пренебрежимо малы (рис. 15.1). Источник генерирует гармоническую ЭДС с частотой  $\omega = 10^6$  рад/с и амплитудой  $E_m = 50$  мВ.

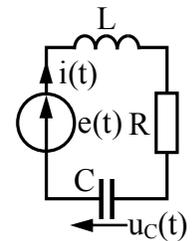


Рис. 15.1

Определить: 1) ёмкость  $C$ , при которой последовательный контур настроен в резонанс с источником; 2) амплитуду тока в контуре при резонансе  $I_{m0}$ ; 3) характеристическое сопротивление  $\rho$  и добротность контура  $Q$ ; 4) амплитуду напряжения на конденсаторе при резонансе  $U_{mC0}$ .

**Ответ:**  $C = 1$  нФ,  $I_{m0} = 5$  мА,  $\rho = 1$  кОм,  $Q = 100$ ,  $U_{mC0} = 5$  В.

**Задача 15.2.** Рассчитать амплитуду тока в последовательном колебательном контуре, рассмотренном в задаче 15.1, при относительной расстройке частоты напряжения источника, равной 0.01. Определить значение ФЧХ комплексной проводимости контура при такой расстройке частоты.

**Ответ:**  $I_m = 2.24$  мА,  $\varphi = -63.4^\circ$ .

**Задача 15.3.** Найти добротность колебательного контура, если его резонансная частота составляет 465 кГц, а верхняя граничная частота полосы пропускания — 468 кГц. Полагая, что сопротивление потерь контура составляет 1 Ом, рассчитать индуктивность и ёмкость контура.

**Ответ:**  $Q = 77.5$ ,  $L = 167$  мкГн,  $C = 703$  пФ.

**Задача 15.4.** Резонансная частота контура равна 200 кГц, полоса пропускания — 10 кГц, ёмкость конденсатора — 1 нФ. Определить сопротивление потерь и добротность контура.

*Ответ:*  $R = 39.8 \text{ Ом}$ ,  $Q = 20$ .

**Задача 15.5.** Мощность, отдаваемая источником напряжения, питающим настроенный последовательный контур, равна 50 мВт. Амплитуда напряжения на конденсаторе — 60 В. Рассчитать сопротивление потерь и полосу пропускания контура, а также амплитуду ЭДС источника, если  $L = 180 \text{ мкГн}$ ,  $C = 500 \text{ пФ}$ .

*Ответ:*  $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $\Delta f = 8.85 \text{ кГц}$ ,  $E_m = 1 \text{ В}$ .

**Задача 15.6.** Последовательный колебательный контур с добротностью  $Q = 120$ , состоящий из катушки с индуктивностью  $L = 220 \text{ мкГн}$  и конденсатора ёмкостью  $C = 535 \text{ пФ}$ , подключен к источнику напряжения с внутренним сопротивлением  $R_e = 17 \text{ Ом}$  (рис. 15.2). Найти полосу пропускания контура.

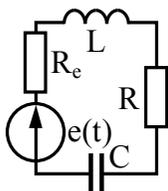


Рис. 15.2

*Ответ:*  $\Delta \omega = 10^5 \text{ рад/с}$ .

**Задача 15.7.** Последовательный контур, обладающий добротностью  $Q = 100$ , содержит катушку с  $L = 200 \text{ мкГн}$  и конденсатор с  $C = 20 \text{ нФ}$ , параллельно которому подключена активная нагрузка (рис. 15.3) с сопротивлением, равным 10 кОм. Определить с учётом нагрузки добротность контура.

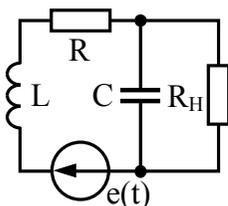


Рис. 15.3

*Ответ:*  $Q = 50$ .

**Задача 15.8.** Последовательный контур с  $Q = 100$  содержит катушку с  $L = 200 \text{ мкГн}$  и конденсатор с  $C = 20 \text{ нФ}$ . На сколько уменьшится резонансная частота контура, если параллельно конденсатору подключить нагрузку сопротивлением 200 Ом?

*Ответ:* на 10.6 %.

**Задача 15.9.** По данным, приведенным в таблице, рассчитать граничные частоты полосы пропускания ненагруженного последовательного колебательного контура.

**Задача 15.10.** По данным, приведенным в таблице, рассчитать граничные частоты полосы пропускания последовательного колебательного контура, конденсатор которого зашунтирован сопротивлением, равным 200 Ом.

Исходные данные к многовариантным задачам 15.9, 15.10

Вари-ант	L, мкГн	C, пФ	R, Ом	f <sub>0</sub> , МГц	Q	Вари-ант	L, мкГн	C, пФ	R, Ом	f <sub>0</sub> , МГц	Q
1	180	—	15	1.5	—	6	150	—	14	—	30
2	—	200	12	1	—	7	100	120	—	—	50
3	140	80	15	—	—	8	140	—	6	1.5	—
4	200	—	10	—	80	9	—	150	18	2	—
5	—	160	8	—	60	10	—	180	12	—	40

## 16. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ

*Цель* — изучить частотно-избирательные свойства простого и сложных параллельных колебательных контуров.

**Задача 16.1.** Источник с амплитудой генерируемого тока  $J_m = 10 \text{ мкА}$ , катушка и конденсатор из задачи 15.1 соединены параллельно (рис. 16.1). Определить на резонансной частоте амплитуду тока в контуре.

*Ответ:*  $I_{mk0} = 1 \text{ мА}$ .

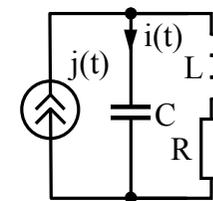


Рис. 16.1

**Задача 16.2.** Рассчитать параметры элементов простого параллельного контура так, чтобы на частоте  $10^7 \text{ рад/с}$  его сопротивление было чисто активным и равным 14 кОм, а на час-

тоте  $1.07 \cdot 10^7$  рад/с полное сопротивление контура составляло только 1 кОм.

*Ответ:*  $L = 14$  мкГн,  $C = 715$  пФ,  $R = 1.4$  Ом.

**Задача 16.3.** Ток источника напряжения, питающего простой параллельный контур (рис. 16.2) с резонансной частотой  $\omega_0$ , имеет вид  $i(t) = 100 + 2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + 50 \cdot \cos(2\omega_0 \cdot t)$  мА. Определить напряжение  $u_k(t)$  на контуре при условии, что параметры его элементов обладают следующими значениями:  $L = 50$  мкГн,  $C = 200$  пФ,  $R = 5$  Ом.

*Ответ:*  $u_k(t) = 0.5 + 100 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + 16.7 \cdot \cos(2\omega_0 \cdot t - 90^\circ)$  В.

**Задача 16.4.** Рассчитать эквивалентную добротность и эквивалентное резонансное сопротивление простого колебательного контура, шунтированного сопротивлением, равным  $R_{ш} = 30$  кОм (рис. 16.3), если  $L = 9$  мкГн,  $C = 100$  пФ,  $R = 3$  Ом.

*Ответ:*  $Q_{\text{Э}} = 50$ ,  $R_{KЭ} = 15$  кОм.

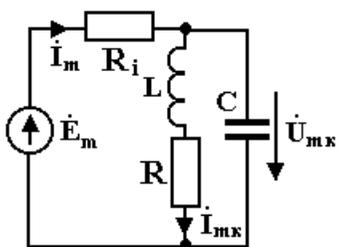


Рис. 16.2

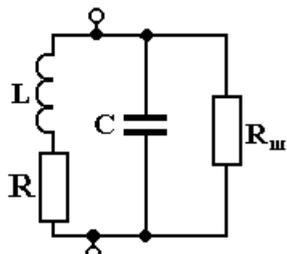


Рис. 16.3

**Задача 16.5.** Индуктивность катушки параллельного контура равна 1 мГн, сопротивление потерь контура определяется потерями в катушке и равно 10 Ом. Рассчитать контур так, чтобы на частоте  $10^6$  рад/с его сопротивление было чисто активным и равным 25 кОм.

*Ответ:* простой контур с такими параметрами нереализуем; при реализации в виде сложного контура третьего вида —  $C_1 = C_2 = 2$  нФ.

**Задача 16.6.** Контур второго вида (рис. 16.4), помимо согласования с источником, часто используется для подавления колебаний с частотой  $2 \cdot \omega_0$ . Достигается это настройкой контура на частоту параллельного резонанса  $\omega_0 = 1/\sqrt{(L_1 + L_2) \cdot C_1}$ , а левой ветви контура, представляющей собой последовательный контур, — на частоту последовательного резонанса  $2\omega_0 = 1/\sqrt{L_1 \cdot C_1}$ .

Тогда для колебаний с частотой  $\omega_0$  контур будет обладать большим сопротивлением, равным  $R_{K\text{сл}} = p_L^2 \cdot R_K$ , и на нём выделится напряжение  $U_{mk0}$ . Для колебаний же частоты  $2\omega_0$  левая ветвь контура будет иметь малое сопротивление  $R = R_1$ , поэтому напряжение на контуре будет значительно меньше напряжения  $U_{mk0}$ , по крайней мере, в  $(p_L \cdot Q)^2$  раз.

Рассчитать элементы контура (рис. 16.4) с  $R_{K\text{сл}} = 10$  кОм и  $R = 5$  Ом, настроенного на частоту  $\omega_0 = 3.77 \cdot 10^6$  рад/с и обеспечивающего подавление колебаний с частотой  $2\omega_0$ .

*Ответ:*  $L_1 = 19.8$  мкГн,  $L_2 = 59.3$  мкГн,  $C_1 = 891$  пФ.

**Задача 16.7.** Сложный параллельный контур третьего вида (рис. 16.5) подключен к источнику с  $e(t) = 300 \cdot \cos(\omega_0 t)$  мВ,  $R_i = 5$  кОм и настроен в резонанс. Полагая, что  $C_1 = 400$  пФ,  $C_2 = 800$  пФ,  $L_1 = 300$  мкГн,  $R = R_1 + R_2 = 15$  Ом, рассчитать амплитуду напряжения на контуре  $U_{mk0}$ .

*Ответ:*  $U_{mk0} = 188$  В.

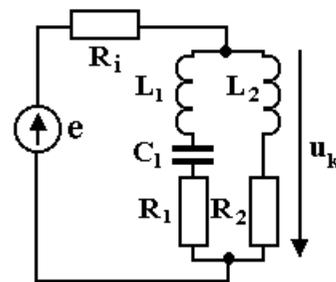


Рис. 16.4

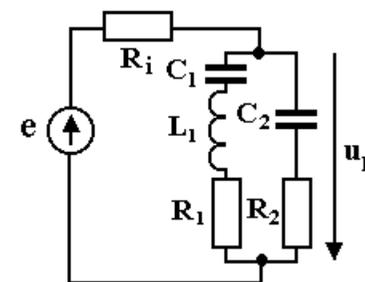


Рис. 16.5

## Контрольная работа

**Задача 16.К-1.** По данным табл. 16.1 определить мощность, выделяющуюся при резонансе в простом параллельном контуре, питаемым от идеального источника тока. В табл. 16.1  $I_{mK0}$ ,  $I_{m0}$  и  $U_{mK0}$  — соответственно амплитуды контурного тока, тока источника и напряжения на контуре при резонансе.

Таблица 16.1

Исходные данные для многовариантной задачи 16.К-1

Вариант	$L$ , мкГн	$C$ , пФ	$R$ , Ом	$Q$	$f_0$ , МГц	$I_{mK0}$ , А	$I_{m0}$ , мА	$U_{mK0}$ , В
1	—	300	10	—	0.5	A	мА	200
2	300	200	—	40	—	0.6	—	—
3	—	80	—	60	2	—	20	—
4	800	400	—	—	—	0.45	15	—
5	100	60	—	50	—	—	—	160

**Задача 16.К-2.** По данным табл. 16.2 определить величины, указанные вопросительными знаками. Обозначения соответствуют схеме простого параллельного контура на рис. 16.2.

Таблица 16.2

Исходные данные для многовариантной задачи 16.К-2

Вариант	$L$ , мкГн	$C$ , пФ	$R$ , Ом	$R_K$ , кОм	$f_0$ , кГц	$I_{m0}$ , мА	$I_{mK0}$ , мА	$U_{mK0}$ , В	$R_i$ , кОм	$E_m$ , В
1	—	240	20	—	750	?	?	900	—	—
2	—	150	4	—	800	5	?	?	—	—
3	—	—	6	15	—	6	?	?	—	—
4	—	—	—	?	—	—	—	40	10	50
5	15	75	20	—	—	?	—	?	10	40

**Задача 16.К-3.** По данным табл. 16.3 рассчитать номинальные величины параметров элементов, а также в некоторых вариантах сопротивление потерь колебательных контуров второго (рис. 16.4) или третьего (рис. 16.5) видов при условии, что на частоте параллельного резонанса контур согласован с внутренним сопротивлением  $R_i$  питающего контур источника напряжения. Вид схемы параллельного контура непосредственно вытекает из условия задачи. Знак  $\times$  в столбце элемента означает отсутствие элемента в контуре.

Таблица 16.3

Исходные данные для многовариантной задачи 16.К-3

Вариант	$L_1$ , мкГн	$L_2$ , мкГн	$C_1$ , пФ	$C_2$ , пФ	$R$ , Ом	$Q$	$R_i$ , кОм	$f_0$ , МГц
1	?	?	100	$\times$	?	60	12	6
2	180	$\times$	?	?	15	—	10	1
3	?	?	180	$\times$	?	50	10	2
4	120	$\times$	?	?	?	67	5	4
5	?	?	80	$\times$	5	—	8	8
6	100	$\times$	140	?	?	80	15	5
7	?	?	120	$\times$	8	—	16	8
8	150	$\times$	?	180	—	?	1.2	10
9	?	80	130	$\times$	?	—	17	1.5
10	?	$\times$	120	80	—	?	15	11

**Задача 16.К-4.** По данным табл. 16.4 рассчитать сопротивление простого параллельного контура при резонансе, полагая, что  $L$  и  $C$  – параметры реактивных элементов контура,  $R$  – сопротивление потерь,  $Q$  – добротность контура,  $f_0$  – резонансная частота,  $\lambda_0 = c \cdot T_{\Pi}$  – длина волны электрических колебаний в контуре, связанная с их периодом  $T_{\Pi}$  посредством константы  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

Таблица 16.4  
Данные для многовариантной задачи 16.К-4

Вариант	$L$ , мкГн	$C$ , пФ	$f_0$ , МГц	$\lambda_0$ , м	$Q$	$R$ , Ом
1	160	120	—	—	—	14
2	120	—	1	—	—	15
3	—	150	—	200	40	—
4	180	100	—	—	35	—
5	—	—	—	—	80	16
6	—	140	—	300	—	12

### 17. КОЛЛОКВИУМ «РЕЗОНАНСНЫЕ ЦЕПИ»

*Цель* – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала тем 15–16 и лабораторной работы № 5.

Проводится с использованием специального программного обеспечения. Типовые задания, идентичные предлагаемым в коллоквиуме, приведены ниже.

**Задания категории № 1 «АЧХ и ФЧХ последовательного контура»**

*Задание 17.1.* АЧХ комплексной проводимости последовательного колебательного контура показана на рис. 17.1 под номером ...

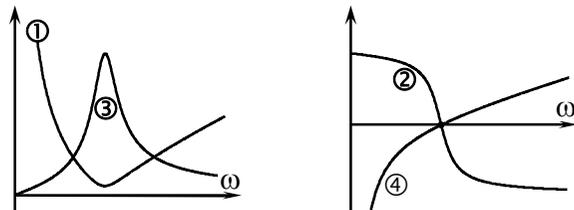


Рис. 17.1

*Задача 17.2.* Максимальное значение АЧХ комплексной проводимости последовательного колебательного контура с параметрами  $L = 5$  мкГн,  $C = 1$  нФ,  $R = \frac{1}{4}$  Ом составляет ... См.

*Задание 17.3.* АЧХ коэффициента передачи последовательного контура по напряжению (при его снятии с ёмкости) на малых частотах близка к ...

- 1) нулю;
- 2)  $\frac{1}{2}$ ;
- 3) единице;
- 4) добротности контура.

*Задание 17.4.* В последовательном колебательном контуре (рис. 17.2) при увеличении индуктивности контура  $L$  в четыре раза резонансная частота ...

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 4 раза;
- 3) увеличится в 4 раза;
- 4) уменьшится в 2 раза.

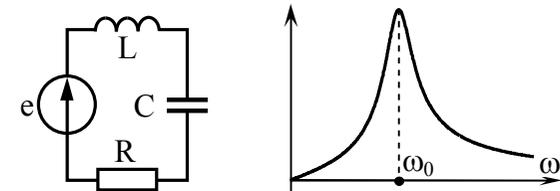


Рис. 17.2

**Задания категории № 2 «Резонанс в контуре»**

*Задание 17.5.* В колебательном контуре при уменьшении ёмкости  $C$  в четыре раза и увеличении сопротивления потерь  $R$  в четыре раза добротность контура ...

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 4 раза;
- 3) увеличится в 4 раза;
- 4) уменьшится в 2 раза.

*Задача 17.6.* В колебательном контуре (рис. 17.2) на резонансной частоте реактивное сопротивление индуктивности  $x_{L0} = 80$  Ом, ёмкости  $x_{C0} = 80$  Ом при сопротивлении потерь  $R = 0.4$  Ом. Добротность такого контура равна ...

**Задача 17.7.** Характеристическое сопротивление последовательного колебательного контура составляет 50 Ом при сопротивлении потерь 0.4 Ом. Если на резонансной частоте амплитуда напряжения на ёмкости равна 5 В, то амплитуда ЭДС источника питания составляет ... мВ.

**Задания категории № 3 «Полоса пропускания, расстройка контура»**

**Задача 17.8.** При резонансной частоте последовательного колебательного контура, равной 1 Мрад/с, ёмкости конденсатора  $C = 5$  нФ и полосе пропускания 20 крад/с сопротивление потерь контура равно ... Ом.

**Задача 17.9.** В последовательном колебательном контуре с резонансной частотой  $f_0 = 400$  кГц нижняя граница полосы пропускания приходится на частоту  $f_{гр1} = 396$  кГц (рис. 17.3). Добротность контура равна ...

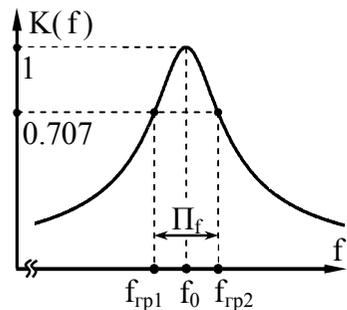


Рис. 17.3

**Задача 17.10.** В последовательном колебательном контуре с резонансной частотой 400 кГц на частоте вынужденных колебаний 395 кГц обобщённая расстройка составляет «минус» 1.5, тогда добротность такого контура равна ...

**Задача 17.11.** Подключение активной нагрузки к конденсатору в последовательном колебательном контуре сопровождается ... контура.

- 1) увеличением полосы пропускания;
- 2) увеличением резонансной частоты;
- 3) уменьшением резонансной частоты;
- 4) уменьшением полосы пропускания.

**Задания категории № 4 «АЧХ и ФЧХ параллельных контуров»**

**Задача 17.12.** Из показанной на рис. 17.4 частотной зависимости модуля входного сопротивления параллельного колебательного контура, следует, что полное сопротивление потерь контура равно ... Ом.

**Задача 17.13.** Из показанной на рис. 17.4 частотной зависимости модуля входного сопротивления параллельного колебательного контура, следует, что добротность контура равна ...

**Задача 17.14.** Из показанной на рис. 17.4 частотной зависимости модуля входного сопротивления колебательного контура, следует, что индуктивность его катушки равна ... мГн.

**Задача 17.15.** Из показанной на рис. 17.4 частотной зависимости модуля входного сопротивления параллельного колебательного контура, следует, что ёмкость конденсатора контура равна ... пФ.

**Задача 17.16.** Из показанной на рис. 17.4 частотной зависимости модуля входного сопротивления параллельного колебательного контура, следует, что полоса пропускания контура равна ... крад/с.

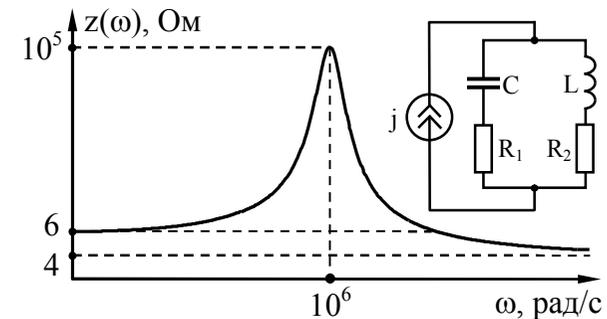


Рис. 17.4

**Задания категории № 5 «Параллельный контур с шунтом. Сложные контуры»**

*Задача 17.17.* К настроенному в резонанс параллельному контуру (рис. 17.5) с характеристическим сопротивлением 100 Ом и сопротивлением потерь  $R=0.5$  Ом подключен источник тока  $j$  с внутренним сопротивлением  $R_i = 40$  кОм. При таких условиях эквивалентная добротность контура составит ...

*Задача 17.18.* Если резонансное сопротивление показанного на рис. 17.6 сложного параллельного контура между точками 1-0 равно 100 кОм, а между точками 2-0 оно составляет 64 кОм, то коэффициент включения контура равен ...

*Задача 17.19.* Если резонансное сопротивление показанного на рис. 17.7 сложного параллельного контура между точками 2-0 равно 40 кОм, а коэффициент включения контура равен 0.2, то резонансное сопротивление контура между точками 1-0 составляет ... кОм.

*Задача 17.20.* Если коэффициент включения показанного на рис. 17.6 сложного параллельного контура равен 0.4, а полная индуктивность контура  $L = L_1 + L_2$  равна 200 мкГн, то величина индуктивности  $L_1$  составляет ... кОм.

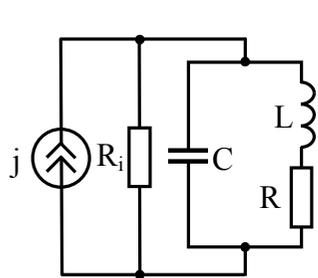


Рис. 17.5

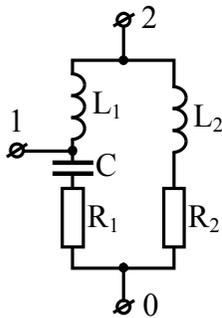


Рис. 17.6

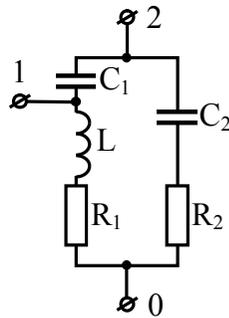


Рис. 17.7

**18. СВОБОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ**

*Цель* — освоить методику расчёта свободных процессов в электрических цепях первого и второго порядков.

*Задача 18.1.* В схемах, показанных на рис. 18.1 и 18.2, ключи К изначально были замкнуты, а в момент времени  $t = 0$  их мгновенно разомкнули. Определить независимые начальные условия свободных процессов, которые будут протекать в цепях после коммутации, и энергию, запасённую реактивными элементами к моменту коммутации. Известно, что  $E = 30$  В,  $R = 10$  Ом,  $L = 1$  мГн,  $C = 1$  нФ.

*Ответ:* 1)  $i_L(0-) = 1$  А,  $w_L(0-) = 0.5 \cdot 10^{-3}$  Дж ;

2)  $u_C(0-) = 10$  В,  $i_L(0-) = 1$  А,

$w_C(0-) = 5 \cdot 10^{-8}$  Дж,  $w_L(0-) = 0.5 \cdot 10^{-3}$  Дж.

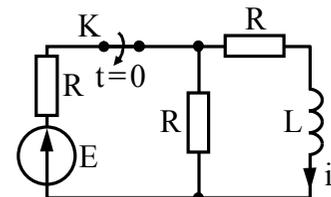


Рис. 18.1

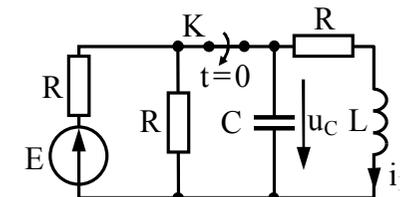


Рис. 18.2

*Задача 18.2.* Определить сопротивление изоляции конденсатора ёмкостью 2 мкФ. Известно, что через два часа после отключения конденсатора от источника электрической энергии напряжение на нём уменьшилось на 95 %.

*Ответ:*  $R_{из} = 1200$  МОм.

*Задача 18.3.* Конденсатор ёмкостью  $C = 400$  пФ, заряженный до напряжения 1 В, разряжается через цепь на рис. 18.3, состоящую из последовательно включенных катушки индуктивности с  $L = 16$  мкГн и резистора сопротивлением  $R = 400$  Ом.

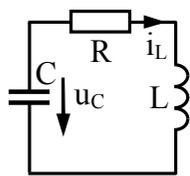


Рис. 18.3

Определить, какой режим протекания свободных процессов будет иметь место в цепи. Найти пиковое значение тока разряда конденсатора и промежуток времени от начала разряда до момента фиксации пикового тока.

Ответ:  $i_{\max} = 1.65 \text{ мА}$ ,  $t_{\max} = 80 \text{ нс}$ .

**Задача 18.4.** Конденсатор, заряженный до напряжения 80 В, разряжается через катушку индуктивности с потерями (рис. 18.3). После 25-ти периодов свободных колебаний амплитуда напряжения на конденсаторе уменьшается до 3 В. Рассчитать добротность такого контура.

Ответ:  $Q = 23.9$ .

**Задача 18.5.** В последовательном соединении R, L, C наблюдается колебательный режим свободных процессов. На основе данных табл. 18.1 рассчитать величины, отмеченные в таблице вопросительными знаками. В табл. 18.1 использованы следующие обозначения:  $f_C$  и  $T_C$  – частота и период собственных колебаний в контуре,  $\tau_K$  – постоянная времени контура,  $t_y$  – время установления процессов,  $\Theta$  – логарифмический декремент затухания.

Таблица 18.1

Исходные данные к многовариантной задаче 18.5

Вариант	L, мГн	C, нФ	R, Ом	$\rho$ , Ом	Q	$f_C$ , кГц	$T_C$ , мкс	$\tau_K$ , мкс	$t_y$ , мс	$\Theta$
1	0.5	10	4	?	?	?	?	?	?	?
2	2.0	?	5	500	?	?	?	?	?	?
3	?	5	8	?	60	?	?	?	?	?
4	?	?	4	?	?	?	10	?	?	0.025
5	15	?	45	?	?	50	?	?	2	?

**Задача 18.6.** На рис. 18.4 приведена осциллограмма напряжения на конденсаторе ёмкостью 25 нФ при его разряде через катушку индуктивности с потерями. Рассчитать параметры катушки такого колебательного контура.

Ответ:  $L = 25 \text{ мкГн}$ ,  $R = 2.2 \text{ Ом}$ .

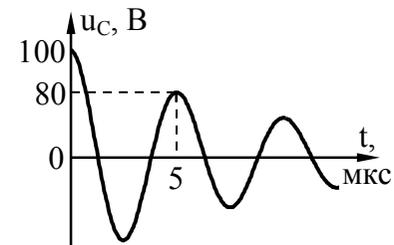


Рис. 18.4

**Задача 18.7.** Конденсатор ёмкостью C, заряженный до напряжения  $U_{mC0}$ , разряжается через катушку индуктивности L, обладающую потерями R. После k периодов свободных колебаний амплитуда напряжения на конденсаторе  $U_{mck}$  уменьшается в m раз, по сравнению с  $U_{mC0}$ . Используя данные табл. 18.2, определить величины, отмеченные в ней вопросительными знаками. Считать, что использованные в табл. 18.2 обозначения совпадают по смыслу с введёнными в задаче 18.5, а  $\Delta$  – декремент затухания.

Таблица 18.2

Исходные данные к многовариантной задаче 18.7

Вариант	L, мкГн	C, нФ	R, Ом	Q	$\Theta$	$\Delta$	m	k	$U_{mC0}$ , В	$U_{mck}$ , В
1	—	—	—	?	?	?	?	20	80	3
2	—	—	—	40	?	—	20	?	40	?
3	—	—	—	?	?	?	—	30	100	40
4	500	10	4	—	—	?	?	25	600	?
5	100	20	6	—	?	—	?	15	?	20

## 19. КЛАССИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

*Цель* — освоить методику анализа переходных процессов в линейных цепях классическим методом.

*Задача 19.1.* Составить системы уравнений электрического равновесия для цепей, показанных на рис. 19.1 – 19.3.

*Задача 19.2.* На основе решения задачи 19.1 составить дифференциальное уравнение цепи на рис. 19.1 относительно напряжения  $u_C(t)$ .

$$\text{Ответ: } CR_1 \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot u_C(t) = e.$$

*Задача 19.3.* Используя решение задачи 19.1, составить дифференциальное уравнение цепи на рис. 19.2 относительно: а) тока индуктивности  $i_2(t)$ ; б) напряжения  $u_1(t)$ .

$$\text{Ответ: а) } \frac{L}{R_1} \cdot \frac{di_2(t)}{dt} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot i_2(t) = j;$$

$$\text{б) } \frac{L}{R_1} \cdot \frac{du_1(t)}{dt} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot u_1(t) = L \cdot \frac{dj}{dt} + j \cdot R_2.$$

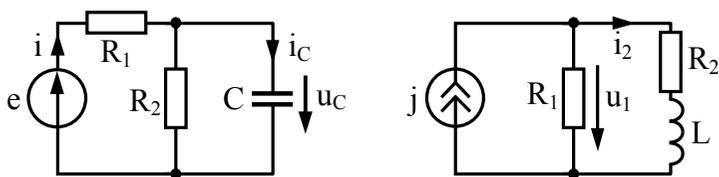


Рис. 19.1

Рис. 19.2

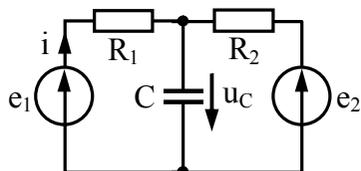


Рис. 19.3

*Задача 19.4.* Используя решение задачи 19.1, составить дифференциальное уравнение цепи на рис. 19.3 относительно напряжения на ёмкости  $u_C(t)$ .

$$\text{Ответ: } C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \cdot u_C(t) = \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2}.$$

*Задача 19.5.* Используя решение задачи 19.3, определить вынужденную составляющую тока  $i_2(t)$ , протекающего в цепи на рис. 19.2, полагая, что

а)  $j = k \cdot t$ ; б)  $j = k \cdot t^2$ ; в)  $j = J_0 \cdot e^{-\alpha t}$ , где  $\alpha \neq (R_1 + R_2)/L$ .

$$\text{Ответ: а) } i_{2\text{вын}}(t) = k \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \left(t - \frac{L}{R_1 + R_2}\right);$$

$$\text{б) } i_{2\text{вын}}(t) = k \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \left(t^2 - \frac{2L}{R_1 + R_2} \cdot t + \frac{2L^2}{(R_1 + R_2)^2}\right);$$

$$\text{в) } i_{2\text{вын}}(t) = \frac{J_0}{-\alpha \cdot L / R_1 + (R_1 + R_2) / R_1} \cdot e^{-\alpha \cdot t}.$$

*Задача 19.6.* Из дифференциального уравнения цепи, полученного в задаче 19.3 (вариант а), сформировать характеристическое уравнение цепи и найти аналитическое выражение свободной составляющей тока  $i_2(t)$ .

На основе решения задачи 19.5 (вариант а) определить постоянную интегрирования свободной составляющей тока  $i_2(t)$ , если  $i_L(0-) = 0$ .

$$\text{Ответ: } \frac{L}{R_1} \cdot p + 1 + \frac{R_2}{R_1} = 0; \quad i_{2\text{св}}(t) = A \cdot e^{-\frac{R_1 + R_2}{L} \cdot t}, \quad A = \frac{k \cdot R_1 \cdot L}{(R_1 + R_2)^2}.$$

*Задача 19.7.* В цепи на рис. 19.1 действует источник, ЭДС которого изменяется по закону

$$e(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0, \\ E, & \text{при } t > 0. \end{cases}$$

Используя решение задачи 19.2, определить ток, протекающий через ёмкость  $i_C(t)$ .

Ответ:  $i_C(t) = \frac{E}{R_1} \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C} \cdot t\right)$ .

Задача 19.8. В схеме цепи, показанной на рис. 19.4,  $e_1 = 100$  В,  $e_2 = 400$  В,  $R_1 = 100$  Ом,  $R_2 = 50$  Ом,  $C = 30$  мкФ. Известно, что в момент  $t = 0$  в цепи мгновенно замыкается ключ К. Используя решение задачи 19.4, определить закон изменения  $u_C(t)$ .

Ответ:  $u_C(t) = 300 - 200e^{-10^3 \cdot t}$  В.

Задача 19.9. Идеальный источник напряжения описывается переменной ЭДС вида:

$$e(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0, \\ kt, & \text{при } t > 0. \end{cases}$$

Классическим методом определить закон изменения напряжения  $u_C(t)$  в цепи, показанной на рис. 19.5.

Ответ:  $u_C(t) = k \cdot (t - RC) + k \cdot RC \cdot e^{-\delta \cdot t}$ ,  $\delta = 1/RC$ .

Задача 19.10. Ко входу RL-цепи со схемой на рис. 19.6 в нулевой момент времени подключается источник напряжения с ЭДС, изменяющейся в соответствии с выражением  $e(t) = E \cdot e^{-\beta t}$ . Полагая, что катушка индуктивности была не заряжена, определить классическим методом закон изменения  $u_L(t)$ .

Ответ:  $u_L(t) = \frac{E}{\frac{R}{L} - \beta} \left( \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t} - \beta \cdot e^{-\beta \cdot t} \right)$ .

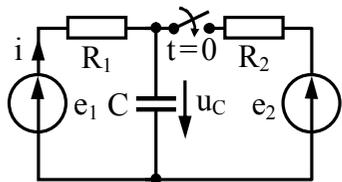


Рис. 19.4

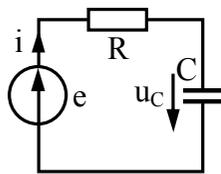


Рис. 19.5

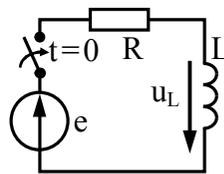


Рис. 19.6

## 20. КОЛЛОКВИУМ «ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ»

Цель – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала тем 18–19 и лабораторной работы № 6.

Проводится с использованием специального программного обеспечения. Типовые задания, идентичные предлагаемому в коллоквиуме, приведены ниже.

**Задания категории № 1 «Элементы классического метода анализа. Начальные условия»**

Задача 20.1. Для показанной на рис. 20.1 цепи с  $E = 10$  В,  $R = 1$  кОм,  $L = 1$  мГн начальное условие, накладываемое на величину тока в индуктивности, имеет вид  $i_L(0-) = \dots$  мА.

Задача 20.2. Для показанной на рис. 20.2 цепи с  $E = 30$  В,  $R = 10$  кОм,  $C = 4$  нФ начальное условие, накладываемое на величину напряжения на ёмкости, имеет вид  $u_C(0-) = \dots$  В.

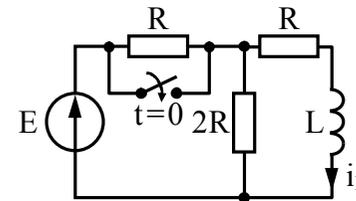


Рис. 20.1

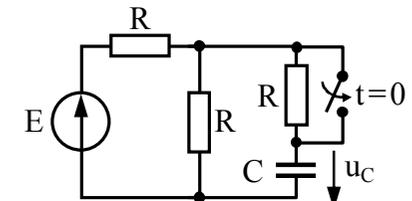


Рис. 20.2

Задание 20.3. Свободная составляющая напряжения, относительно которого составлено следующее дифференциальное уравнение цепи —  $b_2 \cdot \partial^{(2)}u(t)/\partial t^2 + b_1 \cdot \partial u(t)/\partial t + b_0 \cdot u(t) = d_1 \cdot t$ , имеет вид ...

- 1)  $A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$ ;
- 2)  $D_1 \cdot t + D_0$ ;
- 3)  $A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t}$ ;
- 4)  $D_1 \cdot t$ .

**Задания категории № 2 «Свободные процессы в RC- и RL-цепях»**

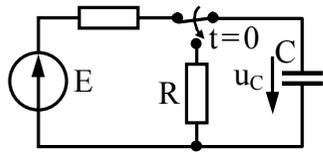


Рис. 20.3

**Задание 20.4.** Напряжение на ёмкости до и после коммутации в цепи на рис. 20.3 в имеет вид, показанный на одном из рис. 20.4: ...

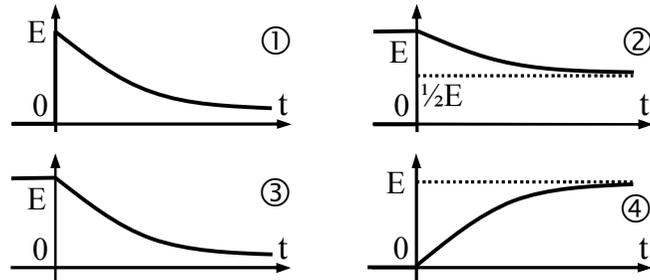


Рис. 20.4

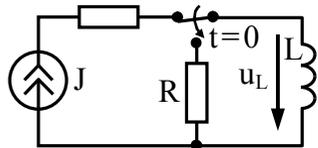


Рис. 20.5

**Задание 20.5.** Напряжение на индуктивности до и после коммутации в цепи на рис. 20.5 имеет вид, показанный на рис. 20.6: ...

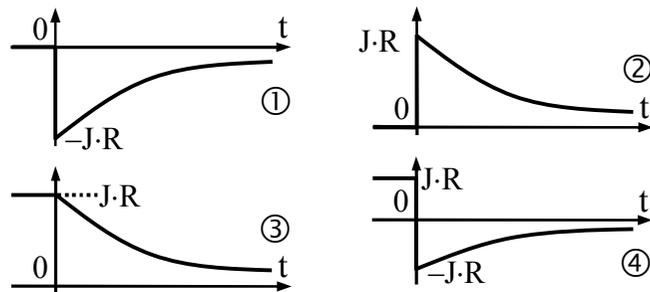


Рис. 20.6

**Задача 20.6.** Параметры элементов RC-цепи на рис. 20.3:  $R = 1$  кОм и  $C = 2$  мкФ. Время установления процессов в цепи после коммутации составляет ... мкс.

**Задача 20.7.** Свободный процесс в RC-цепи за первые 20 мкс достигает уровня 60 % от исходного значения. Постоянная времени такой цепи равна ... мкс. Ответ округлить до целого.

**Задания категории № 3 «Свободные процессы в RLC-цепи»**

**Задание 20.8.** Решение дифференциального уравнения

$$\frac{\partial^2 u_C(t)}{\partial t^2} + 2\alpha \cdot \frac{\partial u_C(t)}{\partial t} + \omega_0^2 \cdot u_C(t) = 0,$$

описывающего свободные процессы в RLC-цепи (рис. 20.7) с добротностью 2, — ...

- 1)  $E \cdot e^{-\alpha t} \cdot (\text{ch}\chi t + \frac{\alpha}{\chi} \cdot \text{sh}\chi t)$ ;
- 2)  $E \cdot e^{-\alpha t} \cdot (1 + \alpha \cdot t)$ ;
- 3)  $E \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos\omega_0 t$ ;
- 4)  $E \cdot e^{-\alpha t} \cdot \text{ch}\chi t$ .

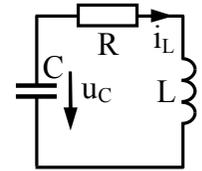


Рис. 20.7

**Задача 20.9.** Колебательный контур (рис. 20.7) обладает параметрами:  $R = 1$  кОм,  $L = 1$  мГн,  $C = 1$  нФ. В таком контуре свободный процесс будет протекать по ... сценарию.

- 1) колебательному;
- 2) апериодическому;
- 3) критическому;
- 4) недонапряжённому.

**Задача 20.10.** Характеристическое уравнение RLC-цепи на рис. 20.7 имеет вид  $p^2 + 10^4 \cdot p + 10^8 = 0$ . В таком контуре свободный процесс будет протекать по ... сценарию.

- 1) колебательному;
- 2) апериодическому;
- 3) критическому;
- 4) недонапряжённому.

**Задания категории № 4 «Параметры колебательного свободного процесса в RLC-цепи»**

**Задача 20.11.** Частота свободных колебаний в контуре (рис. 20.7) с  $L = 8$  мкГн,  $C = 200$  пФ и  $R = 200$  Ом отличается от частоты свободных колебаний в идеальном контуре на ... %. Ответ округлить до целого.

**Задача 20.12.** Постоянная времени контура равна 2 мкс, частота свободных колебаний – 50 МГц. Логарифмический декремент затухания контура составляет ...

**Задача 20.13.** Добротность контура со свободным процессом на рис. 20.8 равна ... Ответ округлить до целого.

**Задача 20.14.** Затухание контура со свободным процессом, показанным на рис. 20.8, равно ... 1/с. Ответ округлить до целого значения.

**Задание 20.15.** Длительность свободного процесса в контуре (рис. 20.7) при увеличении ёмкости  $C$  в четыре раза и уменьшении сопротивления  $R$  в два раза ...

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 2 раза;
- 3) уменьшится в 4 раза;
- 4) увеличится в 8 раз.

**Задания категории № 5 «Элементы классического метода анализа. Вынужденная составляющая»**

**Задача 20.16.** Для цепи на рис. 20.1 с  $E = 20$  В,  $R = 5$  кОм,  $L = 3$  мГн вынужденная составляющая тока в индуктивности равна ... мА.

**Задача 20.17.** Для цепи на рис. 20.9 с  $J = 5$  мА,  $R = 4$  кОм,  $C = 5$  нФ вынужденная составляющая напряжения на ёмкости равна ... В.

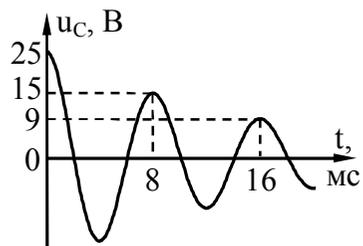


Рис. 20.8

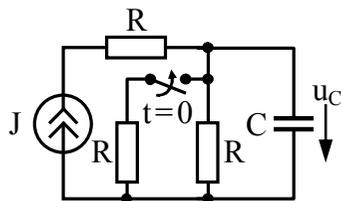


Рис. 20.9

## 21. ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Цель* — освоить метод расчёта переходных процессов, основанный на использовании преобразования Лапласа.

**Задача 21.1.** Используя таблицу оригиналов и изображений по Лапласу, определить изображения сигналов, полагая, что их мгновенные значения при  $t < 0$  равны нулю:

- a)  $e(t) = E$ ;
- б)  $u(t) = U_m \cdot \cos \omega_0 t$ ;
- в)  $i(t) = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$ ;
- г)  $i(t) = k \cdot t^2$ .

**Задача 21.2.** Напряжение на ёмкости  $C$  изменяется по закону  $u_C(t) = k \cdot t$ . Операторным методом определить ток  $i_C(t)$ , протекающий через ёмкость, если  $u_C(0-) = 0$ .

*Ответ:*  $i_C(t) = k \cdot C \cdot 1(t)$ .

**Задача 21.3.** Составить операторную схему замещения цепи на рис. 21.1, полагая, что  $i_L(0-) = 0$ , а  $u_C(0-) = U_0$ .

Используя законы Кирхгофа в операторной форме, составить систему уравнений электрического равновесия цепи.

**Задача 21.4.** Составить операторную схему замещения цепи на рис. 21.2, полагая, что  $u_{C1}(0-) = U_0$ ,  $u_{C2}(0-) = U_0$ , а  $i_L(0-) = I_0$ . На основе топологических и компонентных уравнений составить систему уравнений электрического равновесия цепи.

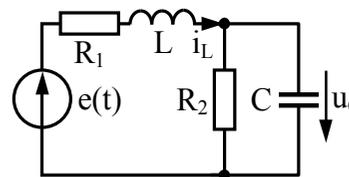


Рис. 21.1

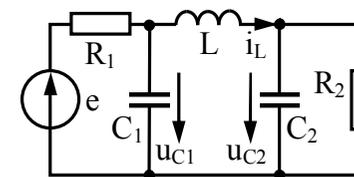


Рис. 21.2

**Задача 21.5.** Операторным методом определить напряжение на выходе цепи, показанной на рис. 21.3, при подключении к её входу источника постоянного напряжения с  $E = 100$  В. Известно, что  $u_{C1}(0-) = u_{C2}(0-) = 0$ ,  $R_1 = R_2 = 250$  Ом,  $C_1 = 20$  мкФ,  $C_2 = 4$  мкФ.

*Ответ:*  $u_2(t) = 83.3 - 33.3 \cdot e^{-600 \cdot t}$  В.

**Задача 21.6.** Ко входу цепи на рис. 21.4 подключается источник постоянного напряжения с  $E = 120$  В. Операторным методом найти аналитические выражения токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ . Известно, что  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $L = 0.3$  Гн,  $i_L(0-) = 0$ .

*Ответ:*  $i_1(t) = 6 - 3.6 \cdot e^{-40 \cdot t}$  А,  
 $i_2(t) = 6 - 6 \cdot e^{-40 \cdot t}$  А,  
 $i_3(t) = 2.4 \cdot e^{-40 \cdot t}$  А.

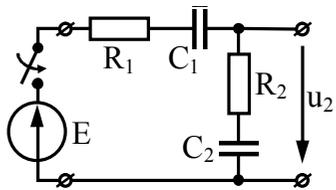


Рис. 21.3

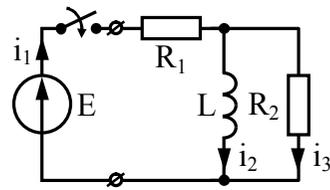


Рис. 21.4

**Задача 21.7.** В цепи на рис. 21.5 источник генерирует ток, временная диаграмма которого показана там же. Операторным методом найти токи  $i_1$  и  $i_2$ . Известно, что  $L = 10$  мГн,  $R = 10$  кОм.

*Ответ:*  $i_1(t) = -20 \cdot e^{-10^6 \cdot t}$  мА,  $i_2(t) = 20 \cdot e^{-10^6 \cdot t}$  мА.

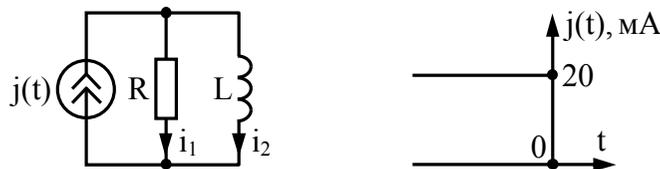


Рис. 21.5

**Задача 21.8.** Операторным методом найти ток, протекающий через индуктивность  $i_L(t)$  в цепи на рис. 21.6, если в момент времени  $t = 0$  индуктивность шунтируют ёмкостью, заряженной до напряжения  $U_0$ . Известно, что  $e(t) = E$ .

*Ответ:*  $i(t) = \frac{E}{R} \left[ 1 - \frac{U_0}{E} \cdot \frac{R}{L} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_C \cdot t) \right]$ ,  $\delta = \frac{1}{2RC}$ .

**Задача 21.9.** Конденсатор ёмкостью  $C$  после замыкания ключа  $K_1$  разряжается через резистор сопротивлением  $R$  и катушку с сопротивлением потерь  $R$  (рис. 21.7). В момент, когда ток в катушке достигает максимума, замыкается ключ  $K_2$ . Операторным методом найти ток в цепи  $i(t)$  после коммутации.

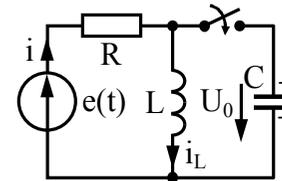


Рис. 21.6

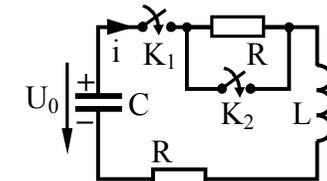


Рис. 21.7

### Контрольная работа

**Задача 21.К-1.** В цепи на рис. 21.8 всё время работает источник постоянного напряжения –  $e(t) = E$ . В нулевой момент времени ключ  $K_2$  или оба ключа  $K_1$ ,  $K_2$  замыкаются. Используя данные табл. 21.1, операторным методом определить временную зависимость тока или напряжения, указанного в таблице.

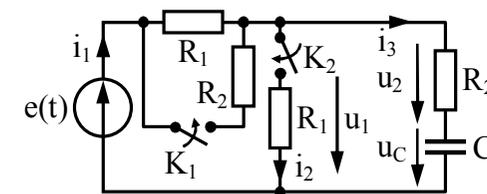


Рис. 21.8

Таблица 21.1

Данные к многовариантной контрольной задаче 21.К-1

Вариант	Замыкаемые ключи	E, В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	C, мкФ	Искомая величина
1	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	24	100	20	3	u <sub>C</sub> (t)
2	K <sub>2</sub>	36	40	120	6	u <sub>C</sub> (t)
3	K <sub>2</sub>	120	160	100	18	u <sub>1</sub> (t)
4	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	60	80	160	4	u <sub>1</sub> (t)
5	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	24	160	80	10	i <sub>1</sub> (t)
6	K <sub>2</sub>	32	80	60	9	i <sub>1</sub> (t)
7	K <sub>2</sub>	20	100	50	18	i <sub>2</sub> (t)
8	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	80	40	100	7	i <sub>2</sub> (t)
9	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	16	40	120	36	i <sub>3</sub> (t)
10	K <sub>2</sub>	32	120	60	9	i <sub>3</sub> (t)
11	K <sub>2</sub>	100	150	50	4	u <sub>2</sub> (t)
12	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	50	30	60	5	u <sub>2</sub> (t)

Задача 21.К-2. В цепи на рис. 21.9 всегда функционирует источник постоянного напряжения —  $e(t) = E$ . В нулевой момент времени ключ  $K_2$  или оба ключа  $K_1, K_2$  мгновенно замыкаются. Используя данные, представленные в табл. 21.2, операторным методом определить временную зависимость тока или напряжения, указанного в таблице.

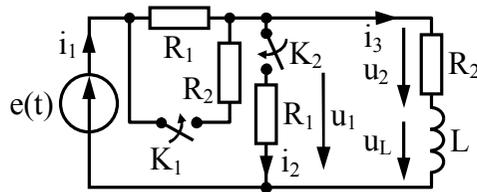


Рис. 21.9

Таблица 21.2

Данные к многовариантной контрольной задаче 21.К-2

Вариант	Замыкаемые ключи	E, В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	L, мГн	Искомая величина
1	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	100	60	40	4	i <sub>1</sub> (t)
2	K <sub>2</sub>	50	40	60	2	i <sub>1</sub> (t)
3	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	200	50	100	2	i <sub>2</sub> (t)
4	K <sub>2</sub>	40	100	50	5	i <sub>2</sub> (t)
5	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	150	40	120	4	i <sub>3</sub> (t)
6	K <sub>2</sub>	50	120	60	8	i <sub>3</sub> (t)
7	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	240	50	150	2	u <sub>L</sub> (t)
8	K <sub>2</sub>	120	200	100	6	u <sub>L</sub> (t)
9	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	90	60	120	1	u <sub>1</sub> (t)
10	K <sub>2</sub>	30	80	20	3	u <sub>1</sub> (t)
11	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>	100	40	60	5	u <sub>2</sub> (t)
12	K <sub>2</sub>	60	70	40	2	u <sub>2</sub> (t)

## 22. ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПЕЙ

Цель — освоить методику расчёта временных характеристик цепей операторным методом.

Задача 22.1. Определить переходную и импульсную характеристики цепи на рис. 22.1, а, считая, что воздействие — напряжение  $u_1(t)$ , а реакция (отклик) цепи — напряжение  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = e^{-\frac{t}{RC}}$ ,  $g(t) = \delta(t) - \frac{1}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ .

Задача 22.2. Определить переходную и импульсную характеристики цепи на рис. 22.1, б, считая, что воздействие — напряжение  $u_1(t)$ , а отклик — напряжение  $u_2(t)$ .

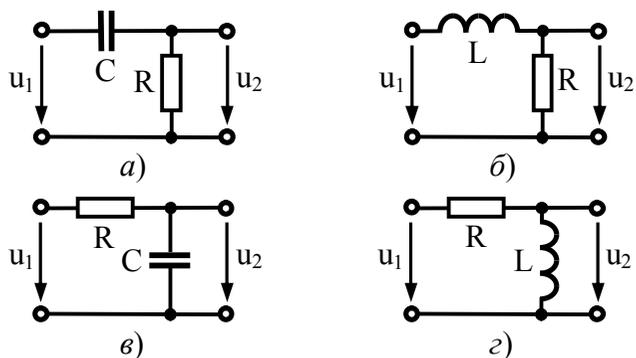


Рис. 22.1

Ответ:  $h(t) = 1 - e^{-\frac{R}{L}t}$ ,  $g(t) = \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$ .

Задача 22.3. Определить переходную и импульсную характеристики цепи на рис. 22.1, в, считая, что воздействие – напряжение  $u_1(t)$ , а отклик – напряжение  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{RC}}$ ,  $g(t) = \frac{1}{RC} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ .

Задача 22.4. Определить переходную и импульсную характеристики цепи на рис. 22.1, з, считая, что воздействие – напряжение  $u_1(t)$ , а отклик – напряжение  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = e^{-\frac{R}{L}t}$ ,  $g(t) = \delta(t) - \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$ .

Задача 22.5. Определить переходную и импульсную характеристики цепи, показанной на рис. 22.2, а, считая, что воздействие – напряжение  $u_1(t)$ , а отклик – напряжение  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot e^{-\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2) \cdot L} t}$ ,  
 $g(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left( \delta(t) - \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2) \cdot L} \cdot e^{-\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2) \cdot L} t} \right)$ .

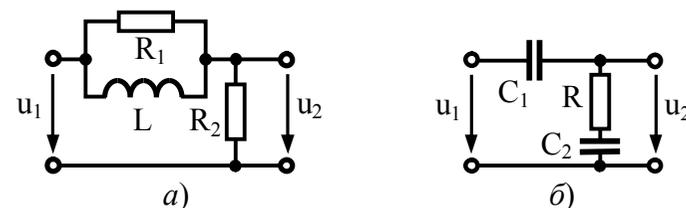


Рис. 22.2

Задача 22.6. Определить переходную и импульсную характеристики цепи, показанной на рис. 22.2, б, полагая, что воздействие – напряжение  $u_1(t)$ , а отклик – напряжение  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = \frac{C_1}{C_1 + C_2} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot e^{-\frac{C_1 + C_2}{R \cdot C_1 C_2} t}$ ,  
 $g(t) = \delta(t) - \frac{1}{RC_1} \cdot e^{-\frac{C_1 + C_2}{R \cdot C_1 C_2} t}$ .

Задача 22.7. Определить временные характеристики цепи на рис. 22.3, а, полагая, что воздействие –  $u_1(t)$ , а отклик –  $u_2(t)$ .

Ответ:  $h(t) = 1 - \cos(\omega_0 t)$ ,  
 $g(t) = \omega_0 \cdot \sin(\omega_0 t)$ ,  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ .

Задача 22.8. Определить временные характеристики цепи на рис. 22.3, а, полагая, что воздействие –  $u_1(t)$ , а отклик –  $u_2(t)$ . Считать, что R много меньше  $\rho = \sqrt{L/C}$ .

Ответ:  $h(t) \approx 1 - e^{-\alpha t} \cdot \cos(\omega_0 t)$ ,  
 $g(t) \approx \omega_0 \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega_0 t)$ ,  $\alpha = R/(2L)$ ,  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ .

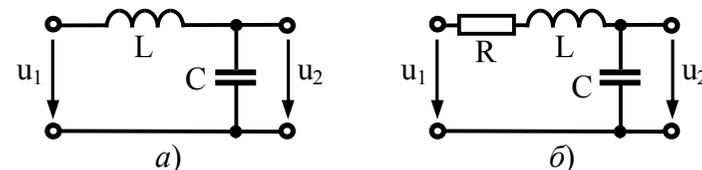


Рис. 22.3

### 23. ВРЕМЕННОЙ МЕТОД АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Цель — освоить методику расчёта переходных процессов с помощью интеграла свёртки (Дюамеля или наложения).

Задача 23.1. На вход цепи, показанной на рис. 22.1, а, подаётся линейно нарастающее напряжение  $u_1(t) = \alpha \cdot t$ . Используя решение задачи 22.1, с помощью интеграла свёртки определить зависимость от времени напряжения  $u_2(t)$ .

$$\text{Ответ: } u_2(t) = \alpha \cdot RC \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

Задача 23.2. На вход цепи, показанной на рис. 22.1, б, подаётся линейно нарастающее напряжение  $u_1(t) = \alpha \cdot t$ . Используя решение задачи 22.2, с помощью интеграла свёртки определить зависимость от времени напряжения  $u_2(t)$ .

$$\text{Ответ: } u_2(t) = \alpha \cdot \left(t - \frac{L}{R}\right) + \alpha \cdot \frac{L}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Задача 23.3. На вход цепи, показанной на рис. 22.1, в, подаётся напряжение  $u_1(t) = \beta \cdot t^2$ . Используя решение задачи 22.3, с помощью интеграла свёртки отыскать напряжение  $u_2(t)$ .

$$\text{Ответ: } u_2(t) = \beta \cdot (t - RC)^2 + \beta \cdot (RC)^2 \cdot \left(1 - 2e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

Задача 23.4. На вход цепи, показанной на рис. 22.1, г, подаётся напряжение

$$u_1(t) = \begin{cases} \frac{E}{\tau_{и}} \cdot t & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_{и}, \\ E & \text{при } t > \tau_{и}. \end{cases}$$

Используя решение задачи 22.4, определить  $u_2(t)$ .

$$\text{Ответ: } u_2(t) = \begin{cases} \frac{EL}{\tau_{и}R} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)\right] & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_{и}, \\ \frac{EL}{\tau_{и}R} \cdot \left[\exp\left(\frac{R}{L}\tau_{и}\right) - 1\right] \cdot \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) & \text{при } t > \tau_{и}. \end{cases}$$

#### Контрольная работа

Задача 23.К-1. На вход цепи, схема которой показана на рис. 23.1, подаётся напряжение  $u_1(t)$  с описанием в табл. 23.2. Вид цепи и форма напряжения  $u_1(t)$  заданы в табл. 23.1. С помощью интеграла свёртки найти напряжение  $u_2(t)$ . Построить график  $u_2(t)$ , указав его характерные уровни.

Таблица 23.1

Исходные данные к многовариантной задаче 23.К-1

Вариант	Цепь, рис. 23.1	$u_1(t)$ , табл. 23.2	Вариант	Цепь, рис. 23.1	$u_1(t)$ , табл. 23.2	Вариант	Цепь, рис. 23.1	$u_1(t)$ , табл. 23.2	Вариант	Цепь, рис. 23.1	$u_1(t)$ , табл. 23.2
1	а	①	9	в	④	17	д	②	25	а	⑤
2	б	②	10	г	⑤	18	е	③	26	б	①
3	в	③	11	д	①	19	а	④	27	в	②
4	г	④	12	е	②	20	б	⑤	28	г	③
5	д	⑤	13	а	③	21	в	①	29	д	④
6	е	①	14	б	④	22	г	②	30	е	⑤
7	а	②	15	в	⑤	23	д	③			
8	б	③	16	г	①	24	е	④			

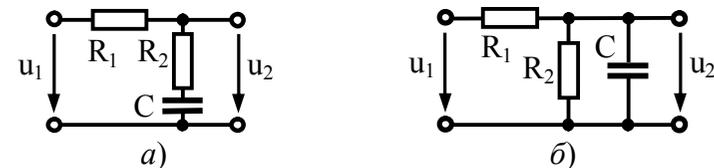


Рис. 23.1. Начало

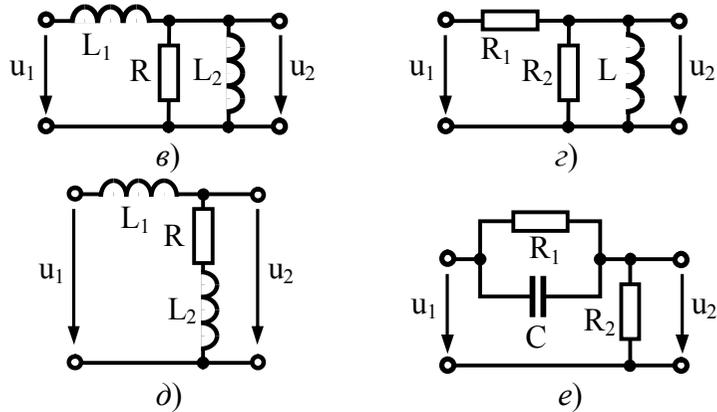


Рис. 23.1. Окончание

Таблица 23.2

Входные напряжения к многовариантной задаче 23.К-1

Номер в табл. 23.1	Аналитическое выражение $u_1(t)$	График $u_1(t)$
①	$\begin{cases} E[1 - e^{-\alpha t}], & 0 \leq t \leq \tau_{И}, \\ E[1 - e^{-\alpha \tau_{И}}] e^{-\alpha(t - \tau_{И})}, & t > \tau_{И} \end{cases}$	
②	$\begin{cases} E e^{\alpha t}, & 0 \leq t \leq \tau_{И}, \\ E e^{-\alpha(t - 2\tau_{И})}, & t > \tau_{И} \end{cases}$	
③	$\begin{cases} E \frac{t}{\tau_{И}}, & 0 \leq t \leq \tau_{И}, \\ E e^{-\alpha(t - \tau_{И})}, & t > \tau_{И} \end{cases}$	
④	$\begin{cases} E[1 - e^{-\alpha t}], & 0 \leq t \leq \tau_{И}, \\ E[2 - (t/\tau_{И})], & \tau_{И} \leq t \leq 2\tau_{И}, \\ 0, & t > 2\tau_{И} \end{cases}$	
⑤	$\begin{cases} E, & 0 \leq t \leq \tau_{И}, \\ E[1 - e^{-\alpha \tau_{И}}] e^{-\alpha(t - \tau_{И})}, & t > \tau_{И} \end{cases}$	

## 24. КОЛЛОКВИУМ «ОПЕРАТОРНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ»

Цель – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала тем 21–23 и лабораторной работы № 7.

Проводится с использованием специального программного обеспечения. Типовые задания коллоквиума показаны ниже.

### Задания категории № 1 «Операторный метод анализа»

Задание 24.1. Известно, что изображения по Лапласу сигналов  $s_2(t)$  и  $s_1(t)$  связаны соотношением  $S_2(p) = S_1(p)/p$ . Если  $s_1(t) = K \cdot t^2 \cdot 1(t)$ , то  $s_2(t) = \dots$

- 1)  $2 \cdot K \cdot 1(t)$ ;
- 2)  $2 \cdot K \cdot t \cdot 1(t)$ ;
- 3)  $K \cdot t^2 \cdot 1(t)$ ;
- 4)  $K \cdot t^3/3 \cdot 1(t)$ .

Задание 24.2. Если операторное сопротивление цепи на рис. 24.1 определяется как  $z(p) = p \cdot L$ , а ток в цепи равен  $i(t) = I_0 \cdot t \cdot 1(t)$ , то напряжение на зажимах цепи имеет вид  $u(t) = \dots$

- 1)  $I_0 \cdot L \cdot t^3/3 \cdot 1(t)$ ;
- 2)  $I_0 \cdot L \cdot t^2/2 \cdot 1(t)$ ;
- 3)  $I_0 \cdot L \cdot t \cdot 1(t)$ ;
- 4)  $I_0 \cdot L \cdot 1(t)$ .

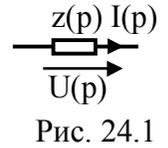


Рис. 24.1

Задание 24.3. Операторный коэффициент передачи цепи  $K(p) = (1/\tau_{И})/(p+1/\tau_{И})$  соответствует цепям на рис. 24.2: ...

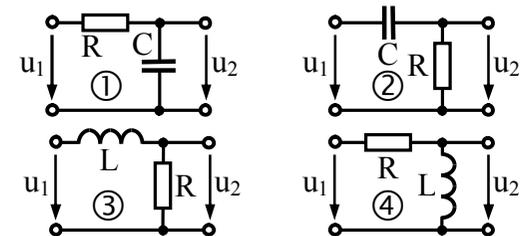


Рис. 24.2

**Задания категории № 2 «Общая теория временных характеристик цепи»**

**Задание 24.4.** Импульсная характеристика есть нормированная реакция цепи с нулевыми начальными условиями на сигнал, описываемый ...

- 1) дельта-импульсом;      2) единичной функцией;
- 3) единичным импульсом;    4) функцией Дирака;
- 5) функцией включения;    6) функцией Хэвисайда.

**Задание 24.5.** У цепи имеется возможность регулирования частотной полосы пропускания. При её увеличении ...

- 1) импульсная характеристика расширяется по оси времени;
- 2) импульсная характеристика сжимается по оси времени;
- 3) время запаздывания сигналов в цепи увеличивается;
- 4) время запаздывания сигналов в цепи уменьшается.

**Задание 24.6.** Время запаздывания сигналов в цепи с показанной на рис. 24.3 переходной характеристикой равно ... мс.

**Задача 24.7.** Переходная характеристика гипотетической цепи имеет вид, показанный на рис. 24.4. Максимальное значение импульсной характеристики цепи равно ... 1/с.

**Задача 24.8.** Импульсная характеристика цепи имеет вид прямоугольника с основанием 5 мс и высотой 100 1/с. Установившееся значение ( $t \rightarrow \infty$ ) переходной характеристики равно ...

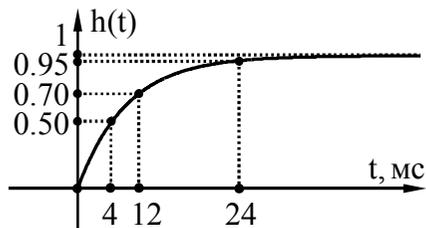


Рис. 24.3

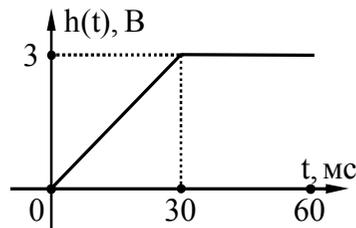


Рис. 24.4

**Задания категории № 3 «Временные характеристики типовых цепей»**

**Задание 24.9.** Переходная характеристика представленной на рис. 24.5, а цепи имеет вид, показанный на рис. 24.6: ...

**Задание 24.10.** Импульсная характеристика изображенной на рис. 24.5, б цепи имеет вид, показанный на рис. 24.6: ...

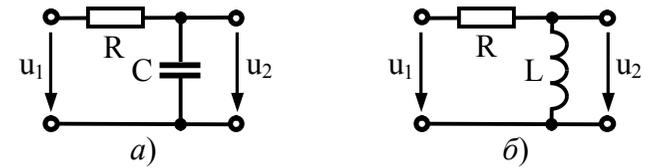


Рис. 24.5

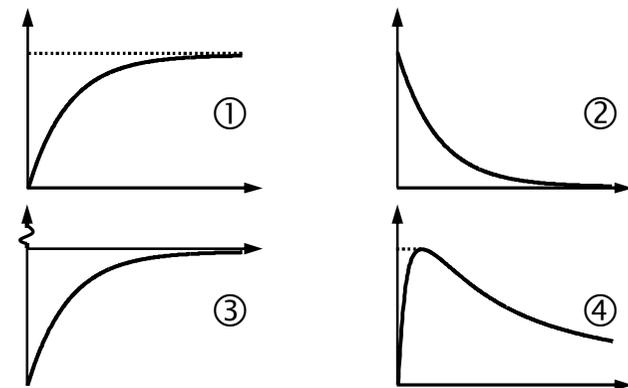


Рис. 24.6

**Задача 24.11.** Постоянная времени показанной на рис. 24.7, а цепи при  $R = 0.5$  кОм,  $L = 6$  мГн равна ... мкс.

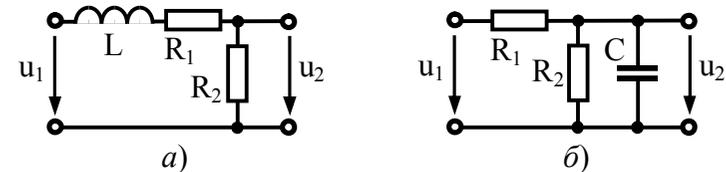


Рис. 24.7

**Задача 24.12.** Время установления процессов в цепи, показанной на рис. 24.7, б, при  $R=2$  кОм,  $C=1$  нФ равно ... мкс.

**Задания категории № 4 «Дифференцирующие и интегрирующие цепи»**

**Задание 24.13.** Несколько цепей, АЧХ которых показаны на рис. 24.8, могут при определённых условиях быть использованы для дифференцирования входных сигналов. Это цепи с АЧХ под номерами ...

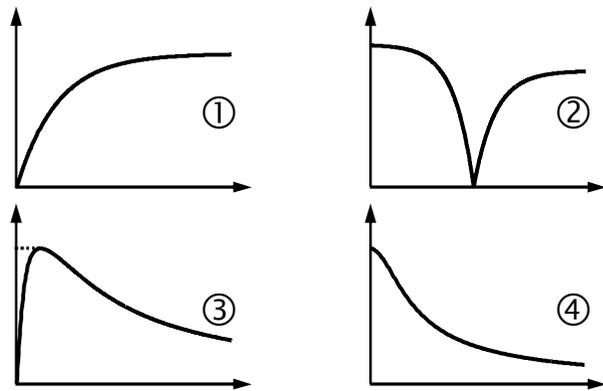


Рис. 24.8

**Задача 24.14.** На входе RC-цепи со схемой, показанной на рис. 24.5, а, действуют импульсы напряжения длительностью 1 мс. Ёмкость конденсатора 100 нФ. Необходимо, чтобы RC-цепь качественно интегрировала входные импульсы. Тогда её сопротивление  $R$  может быть равным ...

- 1) 8 кОм;
- 2) 40 кОм;
- 3) 200 кОм;
- 4) 1 МОм.

**Задание 24.15.** На входе RL-цепи со схемой, показанной на рис. 24.5, б, действует прямоугольный импульс. Временные диаграммы возможной реакции RL-цепи показаны на рис. 24.9 под номерами...

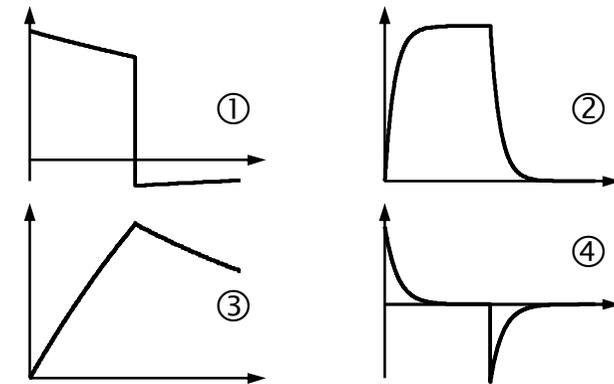


Рис. 24.9

**Задания категории № 5 «Временной метод анализа. Неискажающая цепь»**

**Задание 24.16.** Напряжение на выходе цепи с импульсной характеристикой  $g(t)$  и напряжением на входе  $u_1(t)$  не может быть найдено в соответствии с выражениями:  $u_2(t) = \dots$

- 1)  $\int_{-\infty}^t u_1(\tau) \cdot g(t-\tau) d\tau$ ;
- 2)  $\int_{-\infty}^{\infty} u_1(t-\tau) \cdot g(\tau) d\tau$ ;
- 3)  $\int_{-\infty}^t u_1(\tau) \cdot g(\tau-t) d\tau$ ;
- 4)  $\int_{-\infty}^{\infty} u_1'(\tau) \cdot g(t-\tau) d\tau$ .

**Задание 24.17.** На рис. 24.10 показаны частотные характеристики цепи. Сигнал на её выходе будет искажён, если частоты входного сигнала занимают интервалы от ... до ... кГц.

- 1) 2 ... 6;
- 2) 6 ... 8;
- 3) 8 ... 10;
- 4) 10 ... 14.

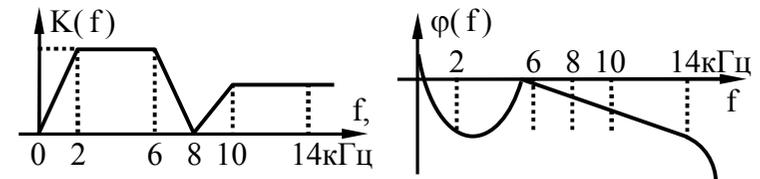


Рис. 24.10

## 25. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ

*Цель* — приобрести навыки гармонического анализа и расчёта спектров периодических и импульсных процессов.

*Задача 25.1.* Определить и построить графически гармонический спектр (амплитуд и фаз) колебаний  $s_1(t)–s_4(t)$ :

- а)  $s_1(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(\omega_0 t + \psi_0)$ ;
- б)  $s_2(t) = U_0 + U_m \cdot \sin(\omega_0 t + \psi_0)$ ;
- в)  $s_3(t) = U_0 + U_{m1} \cdot \cos(\omega_0 t) + U_{m2} \cdot \sin(2\omega_0 t)$ ;
- г)  $s_4(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(2\omega_0 t)$ .

*Задача 25.2.* Используя решение задачи 25.1, рассчитать и построить графически комплексный спектр (амплитуд и фаз) колебаний  $s_1(t)–s_4(t)$ .

*Задача 25.3.* Записать аналитическое выражение математической модели периодического колебания, гармонический спектр которого показан на рис. 25.1. Вычислить среднюю за период мощность колебания.

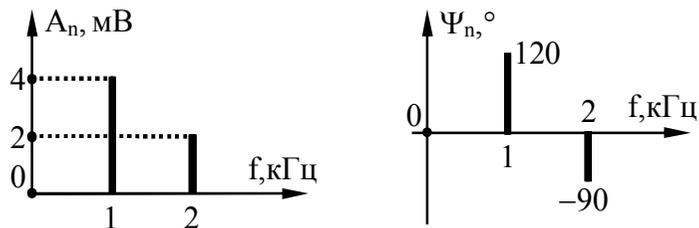


Рис. 25.1

*Задача 25.4.* Записать аналитическое выражение математической модели периодического колебания, комплексный спектр которого показан на рис. 25.2. Вычислить среднюю за период мощность колебания.

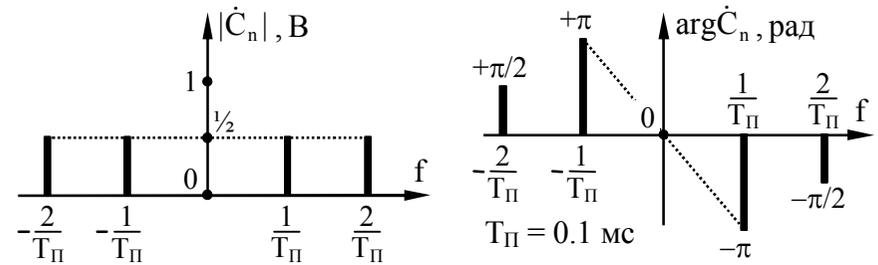


Рис. 25.2

*Задача 25.5.* По заданному аналитическому выражению для периодически изменяющегося тока  $i_{\Pi}(t)$

$$i_{\Pi}(t) = \begin{cases} -I_{\Omega} & \text{при } -T_{\Pi}/2 \leq t \leq 0, \\ +I_{\Omega} & \text{при } 0 < t < T_{\Pi}/2 \end{cases}$$

рассчитать его комплексный спектр (амплитуд и фаз).

*Ответ:*  $|C_n| = \begin{cases} 0 & \text{при } n=0 \text{ и четных } n, \\ 2I_{\Omega}/(\pi \cdot |n|) & \text{при нечетных } n; \end{cases}$

$$\arg C_n = \begin{cases} 0 & \text{при } n=0 \text{ и четных } n, \\ -\pi/2 \cdot \text{sign}(n) & \text{при нечетных } n. \end{cases}$$

*Задача 25.6.* Используя решение предыдущей задачи, рассчитать и построить гармонический спектр (амплитуд и фаз) рассмотренного в задаче периодического колебания  $i_{\Pi}(t)$ .

*Ответ:* Искомый гармонический спектр колебания приведен на рис. 25.3.

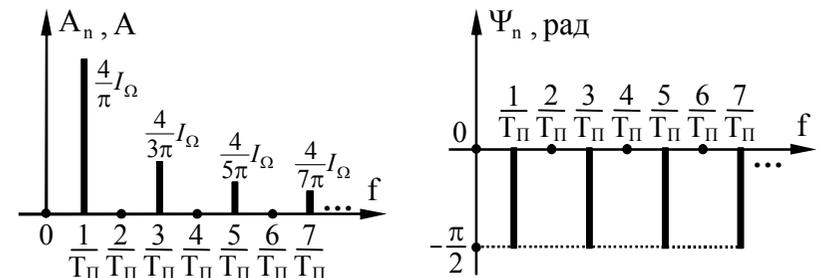


Рис. 25.3

## Контрольная работа

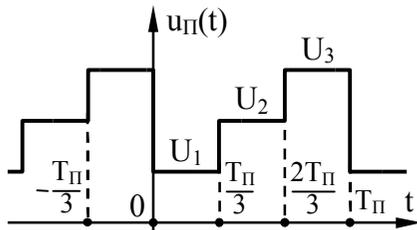


Рис. 25.4

**Задача 25.К-1.** Рассчитать спектр амплитуд напряжения  $u_{\text{П}}(t)$ , показанного на рис. 25.4, параметры которого приведены в табл. 25.1. Определить практическую ширину спектра  $u_{\text{П}}(t)$  по заданному в табл. 25.1 уровню от амплитуды первой гармоники.

Таблица 25.1

Исходные данные к многовариантной задаче 25.К-1

Номер варианта	Параметры напряжения $u_{\text{П}}(t)$				Уровень от $A_1$
	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$T_{\text{П}}, \text{мс}$	
1	+1	-0.5	+1	1	0.20
2	+2	0	+1	2	0.15
3	-2	-1	+0.5	3	0.25
4	-1	+2	-1	4	0.10
5	+1	+1	-2	5	0.15
6	+0.5	+1	+1.5	6	0.20
7	-1	+2	+3	1	0.15
8	0	+1	0	2	0.10
9	+1	+1	-1	3	0.15
10	-1	-2	-3	4	0.20
11	+1	-1	-1	5	0.25
12	0	-0.5	-1	6	0.20
13	-1	+1	+1	5	0.15
14	+2	+1	-1	4	0.10
15	-1	+1	-1	3	0.05

**Задача 25.7.** Определить комплексную спектральную плотность и спектральную плотность амплитуд напряжения, временная диаграмма которого приведена на рис. 25.5, а.

*Ответ:*  $G_u(j\omega) = \frac{E}{j\omega} \left( e^{j\omega\frac{\tau}{2}} - e^{-j\omega\frac{\tau}{2}} \right) = E\tau \operatorname{sinc}\left(\omega\frac{\tau}{2}\right)$  (рис. 25.6, а);

$G_u(\omega) = E\tau \left| \operatorname{sinc}\left(\omega\frac{\tau}{2}\right) \right|$  (рис. 25.6, б).

**Задача 25.8.** Найти спектральную плотность амплитуд и спектр фаз напряжения, временная диаграмма которого приведена на рис. 25.5, б.

*Ответ:*  $G_u(\omega) = E/\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}$ ;  $\Psi_u(\omega) = -\operatorname{arctg}(\omega/\alpha)$ .

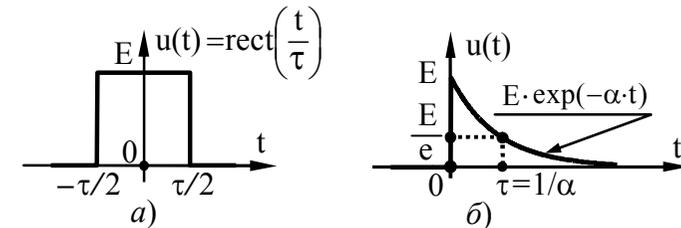


Рис. 25.5

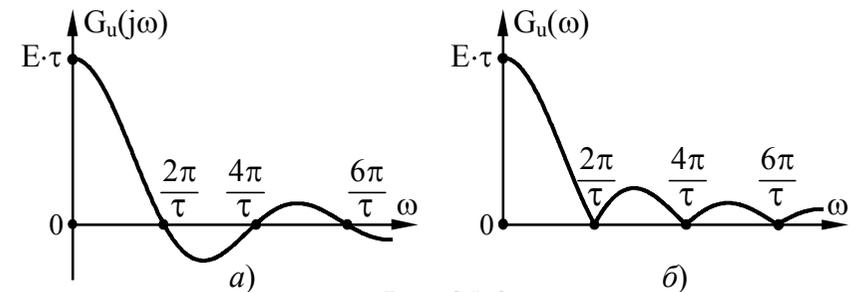


Рис. 25.6

**Задача 25.9.** Определить выражение напряжения  $u(t)$ , если его комплексная спектральная плотность равна

$$G_u(j\omega) = \begin{cases} B & \text{при } -\omega_0 \leq \omega \leq \omega_0, \\ 0 & \text{при } \omega \leq -\omega_0, \omega \geq \omega_0. \end{cases}$$

Ответ:  $u(t) = \frac{B\omega_0}{\pi} \cdot \text{sinc}(\omega_0 t)$ .

Задача 25.10. Используя исходные данные из табл. 25.2, определить комплексную спектральную плотность напряжения  $u(t)$ . Рассчитать соотношение постоянной составляющей  $u(t)$  и амплитуды составляющей комплексного спектра  $u(t)$  с частотой  $f_0$ , а также их разность фаз.

Таблица 25.2

Исходные данные к многовариантной задаче 25.9

Номер вар-та	Аналитическое выражение $u(t)$	Частота $f_0$	Номер вар-та	Аналитическое выражение $u(t)$	Частота $f_0$
1	$\begin{cases} E, 0 \leq t < \tau/3, \\ E/3, \tau/3 \leq t \leq \tau \end{cases}$	$\frac{1}{\tau}$	8	$\begin{cases} E \cdot \sin(\pi \cdot t / \tau), \\ 0 \leq t \leq 4\tau \end{cases}$	$\frac{1}{2\tau}$
2	$\begin{cases} 2E \cdot t / \tau, 0 \leq t < \tau/2, \\ E, \tau/2 \leq t \leq \tau \end{cases}$	$\frac{1}{2\tau}$	9	$\begin{cases} +E, -2\tau \leq t < 0, \\ -E, 0 \leq t < \tau \end{cases}$	$\frac{10}{\pi}$
3	$\begin{cases} E, 0 \leq t < \tau/2, \\ E \cdot e^{-3(t/\tau - 0.5)}, t \geq \tau/2 \end{cases}$	$\frac{1}{\tau}$	10	$E \cdot \left(\frac{2t}{\tau}\right)^2, -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2}$	$\frac{5}{4\tau}$
4	$\begin{cases} E \cdot e^{2\pi \cdot t / \tau}, -\infty < t \leq 0, \\ E, 0 < t \leq \tau \end{cases}$	$\frac{1}{4\tau}$	11	$\begin{cases} E \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t), \\ 0 \leq t < \infty \end{cases}$	$\frac{f_0}{2}$
5	$\begin{cases} E \cdot e^{\alpha \cdot t}, -\infty < t \leq 0, \\ E \cdot e^{-2\alpha \cdot t}, 0 < t < \infty \end{cases}$	$\frac{\alpha}{2\pi}$	12	$\begin{cases} -E \cdot t / \tau, -\tau \leq t < 0, \\ -E \cdot (t - \tau) / \tau, 0 \leq t \leq \tau \end{cases}$	$\frac{7}{8\tau}$
6	$3E \cdot \alpha \cdot t \cdot \exp(-\alpha \cdot t), 0 \leq t < \infty$	$\frac{\alpha}{\pi}$	13	$E \cdot \{\text{rect}(0.5t/\tau) + 2 \cdot \text{rect}[(t+\tau)/\tau]\}$	$\frac{2}{\pi\tau}$
7	$\begin{cases} E \cdot (\tau + t) / \tau, -\tau \leq t \leq 0, \\ E \cdot (\tau - t) / \tau, 0 \leq t \leq \tau \end{cases}$	$\frac{1}{2\tau}$	14	$\text{sinc}\left(\frac{5t}{\tau}\right) - \frac{1}{2} \cdot \text{sinc}\left(\frac{10(t-\tau)}{\tau}\right), -\infty < t < \infty$	$\frac{5}{4\tau}$

Примечание: Мгновенные значения напряжения  $u(t)$  вне интервалов времени, указанных в таблице, равны нулю.

## 26. СПЕКТРАЛЬНЫЙ (ЧАСТОТНЫЙ) МЕТОД АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ НЕГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Цель — освоить расчёт переходных процессов в линейных электрических цепях спектральным методом.

Задача 26.1. Определить напряжение на выходе идеального фильтра нижних частот, полагая, что на его вход подаётся периодическое напряжение  $u_{\text{ПН}}(t)$ , временная диаграмма которого приведена на рис. 26.1. АЧХ фильтра показана на рис. 26.2, ФЧХ фильтра на всех частотах равна нулю. Амплитуда входного напряжения  $E$  равна 100 мВ, период  $T_{\text{П}}$  составляет 2.5 мс.

Ответ:  $u_{\text{ПН2}}(t) = 50 + 63.7 \cdot \cos(800\pi t + 90^\circ) + 21.2 \cdot \cos(2400\pi t + 90^\circ)$  мВ.

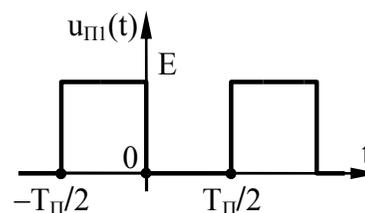


Рис. 26.1

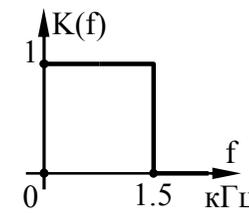


Рис. 26.2

Задача 26.2. Ко входу цепи, показанной на рис. 26.3, в нулевой момент времени ( $t = 0$ ) подключается постоянное напряжение  $u_1(t) = E$ . Спектральным методом определить напряжение  $u_2(t)$  на выходе цепи. При решении воспользоваться решением задачи 13.2 и табличным интегралом:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{j\omega t}}{\alpha + j\omega} d\omega = e^{-\alpha t}.$$

Ответ:  $u_2(t) = \frac{1}{2} \cdot E \cdot \left( 1 - e^{-\frac{2 \cdot t}{RC}} \right)$ .

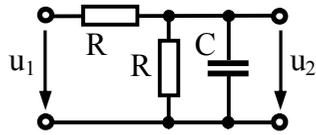


Рис. 26.3

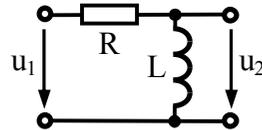


Рис. 26.4

**Задача 26.3.** На вход линейной цепи со схемой, показанной на рис. 26.4, подаётся сигнал, описываемый единичной функцией  $u_1(t) = E \cdot 1(t)$ . Спектральным методом определить напряжение  $u_2(t)$  на выходе цепи.

*Ответ:*  $u_2(t) = E \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$ .

## 27. РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

*Цель* — овладеть графоаналитическим методом расчёта цепей с нелинейными сопротивлениями по постоянному току.

**Задача 27.1.** Два нелинейных сопротивления  $r_1$  и  $r_2$ , ВАХ которых заданы кривыми 1 и 2 на рис. 27.1, подключены параллельно источнику постоянного тока с  $J = 100$  мА (рис. 27.2). Получить эквивалентную ВАХ соединения. Найти напряжение  $u$  и токи  $i_1$  и  $i_2$ , протекающие через нелинейные сопротивления.

*Ответ:*  $u = 8$  В,  $i_1 = 80$  мА,  $i_2 = 20$  мА.

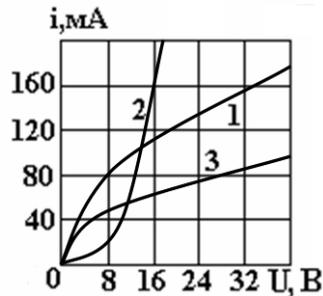


Рис. 27.1

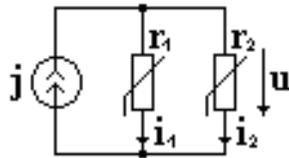


Рис. 27.2

**Задача 27.2.** Рассчитать цепь, показанную на рис. 27.3, полагая, что ВАХ нелинейных сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  приведены на рис. 27.1 (кривые 1 и 2), а  $E = 20$  В.

*Ответ:*  $i = 80$  мА,  $u_1 = 8$  В,  $u_2 = 12$  В.

**Задача 27.3.** Полупроводниковый диод, ВАХ которого приведена в виде кривой 2 на рис. 27.1, и активное линейное сопротивление  $R$  соединены последовательно. ЭДС источника постоянного напряжения, подключенного к соединению, равна 16 В. Определить величину сопротивления  $R$ , при котором ток в соединении составляет 40 мА.

*Ответ:*  $R = 150$  Ом.

**Задача 27.4.** Рассчитать по постоянному току нелинейную цепь, показанную на рис. 27.4. ВАХ нелинейных сопротивлений заданы кривыми 1 и 2 на рис. 27.1. Известно, что  $E = 20$  В,  $r_3 = 200$  Ом.

*Ответ:*  $u_1 = 5$  В,  $u = 19$  В,  
 $i_1 = 60$  мА,  $i_2 = 15$  мА,  $i = 75$  мА.

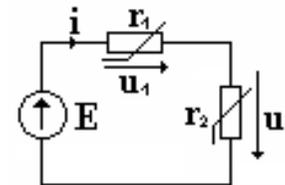


Рис. 27.3

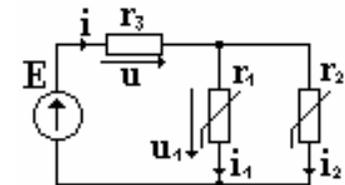


Рис. 27.4

**Задача 27.5.** Для стабилизации тока в нагрузке ( $U_H = 6$  В,  $I_H = 0.3$  А) в цепи на рис. 27.5 применено нелинейное сопротивление  $r_6$ , ВАХ которого имеет вид, показанный на рис. 27.6. Приложенное к цепи напряжение составляет  $E = 24$  В. Определить величину сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$ , полагая, что рабочая точка на ВАХ нелинейного сопротивления  $r_6$  соответствует току величиной в 1 А.

*Ответ:*  $r_1 = 8.6$  Ом,  $r_2 = 8.0$  Ом.

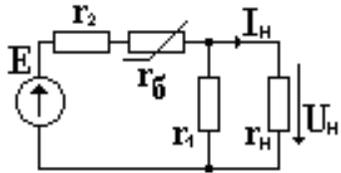


Рис. 27.5

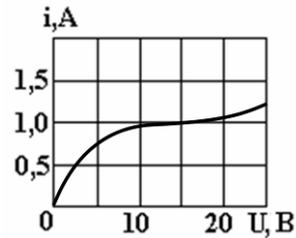


Рис. 27.6

**Задача 27.6.** В простейшем стабилизаторе напряжения (рис. 27.7) использован нелинейный элемент  $r_2$  с ВАХ, показанной на рис. 27.1 кривой 2. Известны значения линейных сопротивлений —  $r_1 = 150 \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 1.2 \text{ кОм}$ . Найти напряжение на нагрузке  $u_H$ , если напряжение на входе  $u_{ВХ}$ : а) 27 В; б) 30 В.

**Ответ:** а)  $u_H = 12 \text{ В}$ ; б)  $u_H = 13 \text{ В}$ .

**Задача 27.7.** Цепь на рис. 27.8 характеризуется параметрами:  $E_1 = 72 \text{ В}$ ,  $E_2 = 16 \text{ В}$ ,  $r_1 = 1.2 \text{ кОм}$ ,  $r_2 = 800 \text{ Ом}$ . ВАХ нелинейного сопротивления изображена на рис. 27.1 кривой 3. Определить ток в нелинейном сопротивлении.

**Ответ:**  $i_3 = 55 \text{ мА}$ .

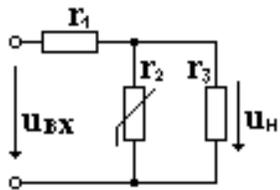


Рис. 27.7

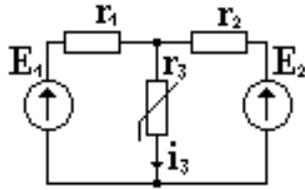


Рис. 27.8

**Задача 27.8.** Для питания цепей базы и коллектора биполярного транзистора использован источник  $E_K$  с напряжением 12 В (рис. 27.9). Вольтамперные характеристики транзистора показаны на рис. 27.10, а и б. Известны параметры линейных сопротивлений —  $r_K = 2 \text{ кОм}$ ,  $r_B = 60 \text{ кОм}$ . Найти токи коллектора  $i_K$  и базы  $i_B$ .

**Ответ:**  $i_K = 4 \text{ мА}$ ,  $i_B = 0.2 \text{ мА}$ .

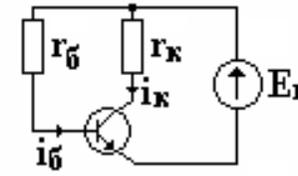


Рис. 27.9

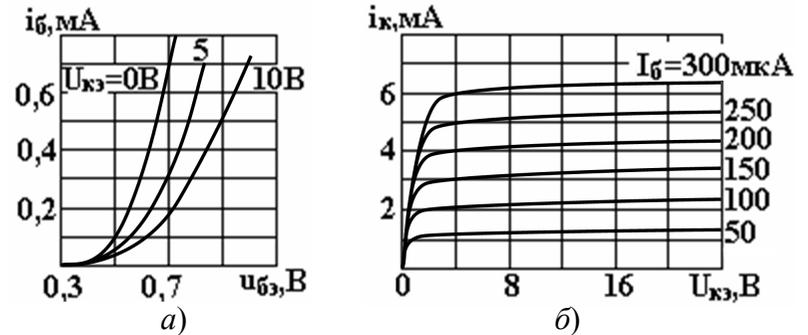


Рис. 27.10

**Задача 27.9.** На рис. 27.11 показана схема усилительного каскада на биполярном транзисторе. Семейства выходных и входных ВАХ транзистора приведены на рис. 27.10, б и а. Найти токи коллектора  $i_K$  и базы  $i_B$ , если  $r_K = 3 \text{ кОм}$ ,  $r_B = 2.5 \text{ кОм}$ ,  $E_K = 20 \text{ В}$ ,  $E_B = 1 \text{ В}$ .

**Ответ:**  $i_K = 3.8 \text{ мА}$ ,  $i_B = 0.18 \text{ мА}$ .

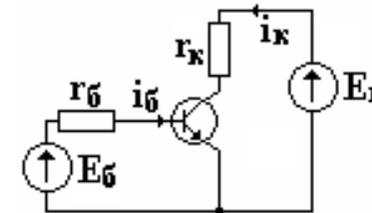


Рис. 27.11

## 28. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКОВ

*Цель* — изучить методику формирования уравнений электрического равновесия на основе теории четырёхполюсников.

*Задача 28.1.* С помощью опытов холостого хода и короткого замыкания определить первичные параметры четырёхполюсника (рис. 28.1) в  $[Y]$ -,  $[A]$ - и  $[H]$ - формах.

$$\text{Ответ: } [Y] = \begin{bmatrix} +1/z & -1/z \\ -1/z & +1/z \end{bmatrix}, [A] = \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, [H] = \begin{bmatrix} +z & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

*Задача 28.2.* С помощью опытов холостого хода и короткого замыкания определить матрицы первичных параметров  $[Z]$ ,  $[B]$ ,  $[G]$  четырёхполюсника на рис. 28.2.

$$\text{Ответ: } [Z] = \begin{bmatrix} z & z \\ z & z \end{bmatrix}, [B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/z & 1 \end{bmatrix}, [G] = \begin{bmatrix} 1/z & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

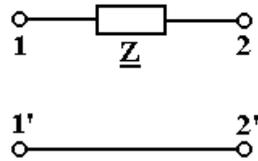


Рис. 28.1

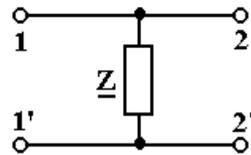


Рис. 28.2

*Задача 28.3.* Определить матрицы первичных параметров  $[Z]$  и  $[Y]$  четырёхполюсника на рис. 28.3.

$$\text{Ответ: } [Z] = \begin{bmatrix} z_2 + z_4 & z_4 \\ z_4 & z_3 + z_4 \end{bmatrix}, [Y] = \begin{bmatrix} \frac{z_3 + z_4}{|z|} & -\frac{z_4}{|z|} \\ -\frac{z_4}{|z|} & \frac{z_2 + z_4}{|z|} \end{bmatrix},$$

$$\text{где } |z| = (z_2 + z_4) \cdot (z_3 + z_4) - z_4^2.$$

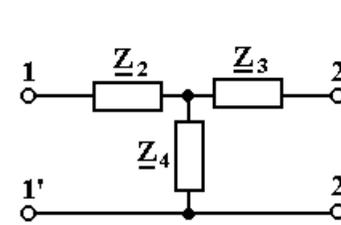


Рис. 28.3

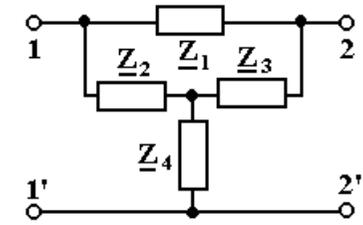


Рис. 28.4

*Задача 28.4.* Известны матрицы  $Z$ -параметров двух четырёхполюсников А и В:

$$[Z]_A = \begin{bmatrix} 8 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, [Z]_B = \begin{bmatrix} 18 & 4 \\ 4 & 1 \end{bmatrix}.$$

Определить параметры составного четырёхполюсника, образованного соединением А и В: а) последовательным; б) параллельным; в) последовательно-параллельным; г) параллельно-последовательным.

$$\text{Ответ: а) } [Z] = \begin{bmatrix} 26 & 6 \\ 6 & 2 \end{bmatrix}; \text{ б) } [Y] = \begin{bmatrix} 0.75 & -2.5 \\ -2.5 & 11 \end{bmatrix};$$

$$\text{в) } [H] = \begin{bmatrix} 6 & 6 \\ -6 & 2 \end{bmatrix}; \text{ г) } [G] = \begin{bmatrix} 0.181 & -0.472 \\ 0.472 & 0.611 \end{bmatrix}.$$

*Задача 28.5.* Используя результаты решения задач 28.1 и 28.3, представить мостовой Т-образный четырёхполюсник, схема которого показана на рис. 28.4, в виде соединения двух простых четырёхполюсников, показанных на рис. 28.1 и 28.3. Определить матрицу  $[Y]$ -параметров Т-образного четырёхполюсника как соединения двух четырёхполюсников.

$$\text{Ответ: } [Y] = \begin{bmatrix} \frac{z_3 + z_4 + 1}{|z|} & -\frac{z_4 - 1}{|z|} \\ -\frac{z_4 - 1}{|z|} & \frac{z_2 + z_4 + 1}{|z|} \end{bmatrix},$$

$$\text{где } |z| = z_2 \cdot z_3 + z_2 \cdot z_4 + z_3 \cdot z_4.$$

## Контрольная работа

Задача 28.К-1. Используя данные, приведённые в табл. 28.1, определить соответствующую заданию матрицу первичных параметров четырёхполюсника, показанного на рис. 28.5.

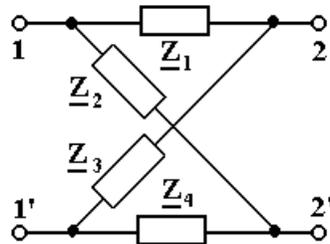


Рис. 28.5

Таблица 28.1

Исходные данные к многовариантной задаче 28.К-1

Вариант	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	Искомое	Вариант	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	Искомое
1	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[Z]$	12	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[Y]$
2	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[H]$	13	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[A]$
3	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[G]$	14	$z_1$	$z_2$	$\infty$	0	$[B]$
4	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[Z]$	15	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[Y]$
5	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[B]$	16	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[G]$
6	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[A]$	17	$z_1$	$z_2$	$\infty$	$z_4$	$[H]$
7	$z_1$	$\infty$	$z_3$	0	$[H]$	18	$z_1$	$\infty$	$z_3$	0	$[Y]$
8	$z_1$	$\infty$	$z_3$	0	$[Z]$	19	$z_1$	$\infty$	$z_3$	0	$[A]$
9	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[Y]$	20	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[H]$
10	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[A]$	21	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[G]$
11	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[Z]$	22	$z_1$	$z_2$	$z_3$	0	$[B]$

Задача 28.К-2. В табл. 28.2 приведены известные первичные параметры четырёхполюсников А и В. Определить параметры составного четырёхполюсника, образованного указанными в табл. 28.2 соединениями заданных четырёхполюсников.

Таблица 28.2

Исходные данные к многовариантной задаче 28.К-2

Вариант	Первичные параметры цепи А	Первичные параметры цепи В	Виды соединений А и В
1	$[Z]_A = \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$	$[Z]_B = \begin{bmatrix} 5 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$	1) каскадное; 2) последовательно-параллельное
2	$[Z]_A = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 4 & 8 \end{bmatrix}$	$[Y]_B = \begin{bmatrix} 1/2 & -1/3 \\ -1/3 & 2/5 \end{bmatrix}$	1) каскадное; 2) последовательно-параллельное
3	$[Y]_A = \begin{bmatrix} 1 & -1/4 \\ -1/4 & 3/4 \end{bmatrix}$	$[H]_B = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ -2 & 3/5 \end{bmatrix}$	1) последовательное; 2) параллельно-последовательное
4	$[G]_A = \begin{bmatrix} 0.2 & -0.5 \\ 0.5 & 0.6 \end{bmatrix}$	$[A]_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1/2 & 3/2 \end{bmatrix}$	1) последовательное; 2) последовательно-параллельное
5	$[H]_A = \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ -1 & 1/2 \end{bmatrix}$	$[Z]_B = \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$	1) каскадное; 2) параллельное
6	$[A]_A = \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$	$[G]_B = \begin{bmatrix} 1/5 & -1/2 \\ 1 & 3/5 \end{bmatrix}$	1) последовательное; 2) последовательно-параллельное
7	$[H]_A = \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ -1 & 1/2 \end{bmatrix}$	$[H]_B = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ -2 & 1/3 \end{bmatrix}$	1) каскадное; 2) последовательное
8	$[G]_A = \begin{bmatrix} 1/5 & -1/2 \\ 1 & 3/5 \end{bmatrix}$	$[H]_B = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ -2 & 1/3 \end{bmatrix}$	1) параллельное; 2) последовательное
9	$[A]_A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 2 & 3/2 \end{bmatrix}$	$[A]_B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 2 \end{bmatrix}$	1) параллельное; 2) параллельно-последовательное

## 29. КОЛЛОКВИУМ «ЛИНЕЙНЫЕ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКИ»

Цель – закрепить навыки, приобретённые в ходе освоения материала темы 28 и выполнения лабораторной работы № 8.

**Задания категории № 1 «Классификация и свойства четырёхполусников»**

**Задание 29.1.** Среди показанных на рис. 29.1 схем имеются невзаимные (необратимые) четырёхполусники. Это — ...

**Задание 29.2.** Среди показанных на рис. 29.2 схем имеются симметричные четырёхполусники. Это — ...

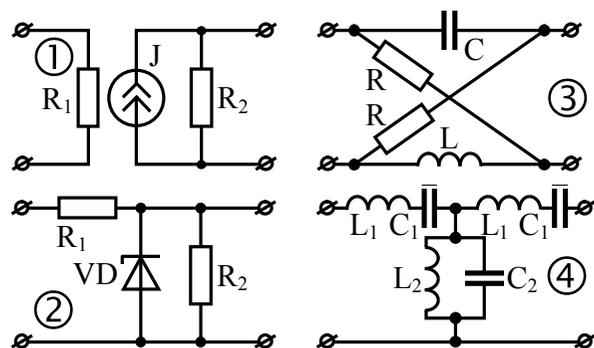


Рис. 29.1

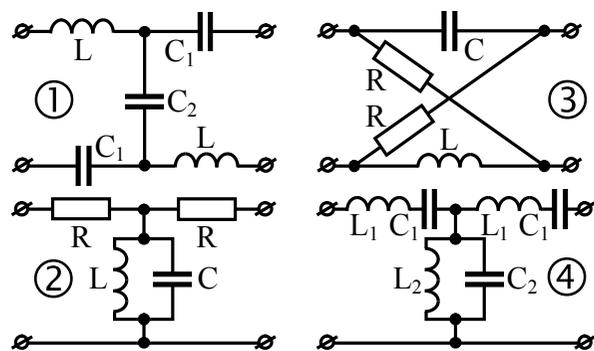


Рис. 29.2

**Задание 29.3.** Среди показанных на рис. 29.2 схем имеется уравновешенный четырёхполусник. Это — ...

**Задание 29.4.** Для симметричных линейных четырёхполусников справедливы следующие соотношения между первичными параметрами: ...

- 1)  $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21}$ ;
- 2)  $\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22}$ ;
- 3)  $\underline{H}_{12} = \underline{H}_{21}$ ;
- 4)  $\underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{22}$ .

**Задания категории № 2 «Физический смысл первичных параметров четырёхполусника»**

**Задание 29.5.** Ниже в матричной форме записана система уравнений линейного четырёхполусника (рис. 29.3) в ... параметрах:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m1} \\ \dot{U}_{m2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ?_{11} & ?_{12} \\ ?_{21} & ?_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{m1} \\ \dot{I}_{m2} \end{bmatrix}.$$

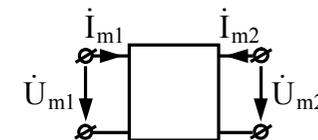


Рис. 29.3

**Задание 29.6.** Ниже в матричной форме записана система уравнений линейного четырёхполусника (рис. 29.3) в ... параметрах:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m1} \\ \dot{I}_{m2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ?_{11} & ?_{12} \\ ?_{21} & ?_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{m1} \\ \dot{U}_{m2} \end{bmatrix}.$$

**Задание 29.7.** Первичный параметр  $\underline{H}_{21}$  линейного четырёхполусника представляет собой ....

- 1) выходную проводимость в режиме ХХ на входе;
- 2) входное сопротивление в режиме КЗ на выходе;
- 3) коэффициент передачи по напряжению с выхода на вход в режиме ХХ на входе;
- 4) коэффициент передачи по току в режиме КЗ на выходе;
- 5) входную проводимость в режиме КЗ на выходе.

**Задания категории № 3 «Расчёт первичных параметров четырёхполюсника по данным эксперимента»**

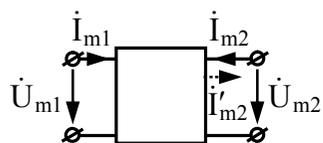


Рис. 29.4

**Задание 29.8.** Результаты измерений токов и напряжений на зажимах четырёхполюсника (рис. 29.4) приведены в таблице. При таких условиях первичный параметр  $Z_{11}$  четырёхполюсника равен ... Ом.

Исходные данные к задачам 29.8 – 29.12

Условия опыта	$\dot{U}_{m1}$ , В	$\dot{U}_{m2}$ , В	$\dot{I}_{m1}$ , мА	$\dot{I}_{m2}$ , мА
ХХ на выходе	10	5	25	0
КЗ на выходе	10	0	$37\frac{1}{2}$	-25
ХХ на входе	$6\frac{2}{3}$	10	0	$33\frac{1}{3}$
КЗ на входе	0	10	-25	50

**Задание 29.9.** Результаты измерений токов и напряжений на зажимах четырёхполюсника (рис. 29.4) показаны в таблице. При таких условиях его первичный параметр  $Y_{22}$  равен ... мСм.

**Задание 29.10.** Результаты измерений токов и напряжений на зажимах четырёхполюсника (рис. 29.4) показаны в таблице. При таких условиях его первичный параметр  $H_{22}$  равен ... мСм. Ответ округлить до десятых.

**Задание 29.11.** Результаты измерений токов и напряжений на зажимах четырёхполюсника (рис. 29.4) показаны в таблице. При таких условиях первичный параметр  $G_{11}$  равен ... мСм.

**Задание 29.12.** Результаты измерений токов и напряжений на зажимах четырёхполюсника (рис. 29.4) показаны в таблице. При таких условиях его первичный параметр  $A_{12}$  равен ... Ом.

**Задания категории № 4 «Расчёт первичных параметров четырёхполюсника по схеме»**

**Задание 29.13.** Первичный параметр  $Z_{11}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.5, при  $R_1 = 2$  кОм и  $R_2 = 3$  кОм равен ... Ом.

**Задание 29.14.** Первичный параметр  $Y_{22}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.5, при  $R_1 = \frac{1}{2}$  кОм и  $R_2 = \frac{1}{3}$  кОм равен ... мСм.

**Задание 29.15.** Первичный параметр  $H_{21}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.5, при  $R_1 = 1$  кОм,  $R_2 = 3$  кОм равен ...

**Задание 29.16.** Первичный параметр  $B_{22}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.5, при  $R_1 = R_2 = 4$  кОм равен ...

**Задание 29.17.** Первичный параметр  $Y_{11}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.6, при  $R_1 = 2.6$  кОм,  $R_2 = 4$  кОм и  $R_3 = 6$  кОм равен ... мСм.

**Задание 29.18.** Первичный параметр  $Z_{12}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.6, при  $R_1 = 2$  кОм,  $R_2 = 3$  кОм и  $R_3 = 4$  кОм равен ... кОм.

**Задание 29.19.** Первичный параметр  $A_{22}$  четырёхполюсника со схемой, приведённой на рис. 29.6, при  $R_1 = 2$  кОм,  $R_2 = 4$  кОм и  $R_3 = 6$  кОм равен ...

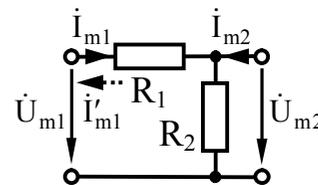


Рис. 29.5

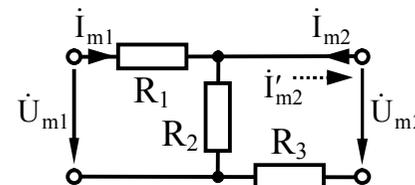


Рис. 29.6

**Задания категории № 5 «Соединения четырёхполюсников»**

**Задание 29.20.** Последовательно-параллельное соединение четырёхполюсников показано на рис. 29.7 под номером ...

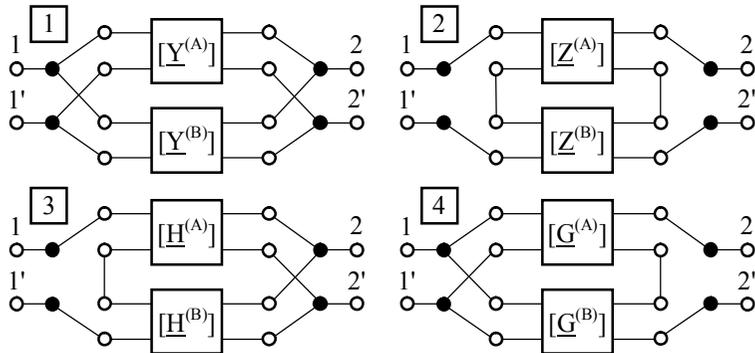


Рис. 29.7

**Задание 29.21.**  $Z$ -параметры четырёхполюсников А и В:

$$[Z]_A = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 8 \end{bmatrix} \text{ кОм}, \quad [Z]_B = \begin{bmatrix} 7 & 3 \\ 3 & 8 \end{bmatrix} \text{ кОм}.$$

Параметр  $Z_{12}$  составного четырёхполюсника, образованного последовательным соединением А и В, равен ... кОм.

**Задание 29.22.** Четырёхполюсник на рис. 29.8, а может быть реализован как соединение элементарных четырёхполюсников на рис. 29.8, б. Тогда параметр  $A_{22}$  составного четырёхполюсника равен ...

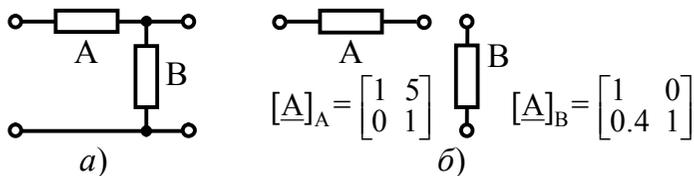


Рис. 29.8

**30. ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ. ДЛИННАЯ ЛИНИЯ**

Цель — освоить методику расчёта цепей с распределёнными параметрами при гармоническом воздействии.

**Задача 30.1.** В двухпроводной линии проводники размещены параллельно друг другу на расстоянии 5 см. Длина проводников одинакова и равна 20 м. Корректно ли использовать теорию цепей с распределёнными параметрами для анализа процессов в такой линии, если частота колебаний в линии составляет: а) 1 кГц; б) 10 МГц; в) 10000 МГц?

**Задача 30.2.** Идеальный источник гармонического напряжения с частотой 100 МГц подключен к линии длиной 4 м, разомкнутой на конце. Волновое сопротивление линии составляет 200 Ом. Амплитуда гармонического напряжения в конце линии равна  $U_{m2} = 80$  В. Определить амплитуды напряжения  $U_{m1}$  и тока  $I_{m1}$  в начале линии.

*Ответ:*  $U_{m1} = 40$  В,  $I_{m1} = 0.346$  А.

**Задача 30.3.** Идеальный источник гармонического напряжения подключен к короткозамкнутой на конце линии длиной 75 см. Частота колебаний в линии составляет 100 МГц, волновое сопротивление линии равно 100 Ом. Определить амплитуду тока в конце линии  $I_{m2}$ , если амплитуда ЭДС источника составляет 100 В.

*Ответ:*  $I_{m2} = 1$  А.

**Задача 30.4.** Рассчитать входное сопротивление разомкнутой длиной линии без потерь длиной 9.7 м, обладающей волновым сопротивлением 200 Ом. Длина волны колебаний в линии равна 36 м. Рассчитать также эквивалентную индуктивность, соответствующую указанному входному сопротивлению.

*Ответ:*  $z_{BX} = 24.5$  Ом,  $L_{\text{Э}} = 0.47$  мкГн.

*Задача 30.5.* Полное входное сопротивление короткозамкнутой линии без потерь составляет 800 Ом, а той же линии, разомкнутой на конце, — 200 Ом. Найти волновое сопротивление такой линии и возможные значения её длины при коротком замыкании на выходе, отнесённые к длине волны  $\lambda$  колебаний.

*Ответ:*  $z_B = 400$  Ом,  $l_k/\lambda = (1/2\pi) \cdot [\arctg(z_{BX}/z_B) + k\pi] = 0.176 + k/2$ , где  $k=1,2,3, \dots$

*Задача 30.6.* В конце длинной линии с волновым сопротивлением, равным 600 Ом, подключена индуктивность величиной 2 мкГн. Частота колебаний в линии составляет 100 МГц. Определить, на каком расстоянии от конца линии располагается ближайший узел напряжения.

*Ответ:* 0.963 м.

*Задача 30.7.* Амплитуда падающей волны напряжения в линии равна 100 В, волновое сопротивление линии — 100 Ом, сопротивление нагрузки — 300 Ом. Определить коэффициент отражения волны по напряжению, коэффициент бегущей волны, амплитуду напряжения на нагрузке и минимальную амплитуду напряжения в линии.

*Ответ:*  $\rho_u = 0.5$ , КБВ =  $1/3$ ,  $U_{m2} = 150$  В,  $U_{m \min} = 50$  В.

*Задача 30.8* Линия без потерь нагружена на активное сопротивление  $R_2$ . Известны погонные параметры линии —  $L_1 = 0.42$  мкГн/м,  $C_1 = 75$  пФ/м. Определить коэффициент бегущей волны линии, если  $R_2 = \dots$  а) 20 Ом; б) 74.8 Ом; в) 100 Ом.

*Ответ:* а) КБВ = 0.267; б) 1; в) 0.748.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Жизнь современного технократического общества невозможна без электрической связи и её разновидностей. Мобильная связь, компьютерные сети, Интернет, сети оптической связи и радиодоступа, телефон, радиовещание, телевидение – всё это системы, широко используемые в нашей жизни. В передаче и приёме информации нуждаются не только человеческие индивидуумы, но и промышленность, транспорт, армия, управленческие органы, государство в целом. Без четко функционирующих и надёжных систем связи любое государство в современном мире обречено.

Любой вид современной связи, в том числе и радиосвязь, обеспечивается совокупностью электронных устройств. Сколь угодно сложные электронные устройства, в конечном счёте, состоят из разнообразных электрических цепей, обладающих определёнными свойствами. Последнее означает, что проектирование и обслуживание систем связи и связной аппаратуры требует как минимум понимания процессов, протекающих в электрических цепях при различных условиях, знания основных законов, которым подчиняются эти процессы. Многие из этих законов изучаются в дисциплине «Основы теории цепей».

Следует понимать, что учебная дисциплина «Основы теории цепей» является одной из основных при подготовке специалистов в области связи и радиотехники. Базируясь на курсах физики и высшей математики, она обеспечивает будущих специалистов инженерными методами исследования процессов в электронных устройствах, являясь основой для изучения большинства последующих специальных дисциплин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уиттекер, Э. История теории эфира и электричества. Классические теории [Текст] / Э. Уиттекер; пер. с англ. Н. А. Зубченко. — М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 512 с.
2. Новиков, Ю. Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях [Текст]: учеб. пособие / Ю. Н. Новиков. — 3-е изд., испр. и доп. — СПб.: Лань, 2011. — 368 с.
3. Атабеков, Г. И. Основы теории цепей [Текст]: учебник / Г. И. Атабеков. — 3-е изд., стереотип. — СПб.: Лань, 2009. — 424 с.
4. Попов, В. П. Основы теории цепей [Текст]: учебник для вузов / В. П. Попов. — 4-е изд., испр. — М.: Высшая школа, 2003. — 575 с.
5. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учеб. пособие / И. С. Гоноровский. — 5-е изд., испр. и доп. — М.: Дрофа, 2006. — 719 с.
6. Останков, А. В. Анализ установившихся и переходных процессов в линейных электрических цепях: лабораторный практикум [Текст]: учеб. пособие / А. В. Останков. — Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018. — 88 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Физические основы теории цепей .....	5
2. Расчет цепей постоянного тока на основе закона Ома .....	8
3. Расчет цепей с источником колебаний произвольной формы на основе компонентных и топологических уравнений .....	12
4. Коллоквиум «Элементы и законы электрических цепей» ..	16
5. Гармонические колебания в R, L, C и их соединениях .....	22
6. Коллоквиум «Гармонические колебания в пассивных элементах цепи и их соединении» .....	25
7. Расчет электрических цепей при гармоническом воздействии методом комплексных амплитуд .....	30
8. Контрольная работа «Метод комплексных амплитуд» .....	33
9. Анализ сложных цепей на основе законов Кирхгофа. Метод контурных токов и узловых потенциалов .....	45
10. Контрольная работа «Методы расчета сложных цепей» ..	47
11. Анализ сложных цепей методами наложения и эквивалентного источника напряжения .....	51
12. Коллоквиум «Методы расчета цепей при гармонических воздействиях» .....	53
13. Частотные характеристики линейных цепей .....	58
14. Коллоквиум «Частотные характеристики цепей» .....	62
15. Последовательный колебательный контур .....	67
16. Параллельные колебательные контуры .....	69
17. Коллоквиум «Резонансные цепи» .....	74
18. Свободные процессы в линейных электрических цепях ..	79
19. Классический метод анализа переходных процессов в линейных цепях .....	82
20. Коллоквиум «Переходные процессы в линейных цепях» ..	85
21. Операторный метод анализа цепей при произвольных воздействиях .....	89
22. Временные характеристики цепей .....	93
23. Временной метод анализа переходных процессов в линейных цепях .....	96

24. Коллоквиум «Операторные и временные характеристики линейных цепей» .....	99
25. Спектральный анализ колебаний .....	104
26. Спектральный (частотный) метод анализа линейных электрических цепей при негармонических воздействиях ...	109
27. Расчёт цепей с нелинейными сопротивлениями по постоянному току .....	110
28. Расчёт параметров линейных четырехполюсников .....	114
29. Коллоквиум «Линейные четырехполюсники» .....	118
30. Цепи с распределенными параметрами. Длинная линия .....	123
Заключение .....	125
Библиографический список .....	126

**Учебное издание**

**Останков Александр Витальевич**

**ЗАДАЧНИК ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ»**

Учебное пособие

Изд. второе, исправл. и доп.

Редактор Сахарова Д. О.

Подписано в печать 00.00.2019.

Формат 60×84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 8,0. Тираж 250 экз. Заказ № .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский проспект, 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394026 Воронеж, Московский проспект, 14