

**8Институт**

**электроэнергетики**

**Направление подготовки 130402 - электроэнергетика и электротехника**

**Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру**

**Задание экзаменационного билета №6 (5 баллов)**

**Задание 6.1**

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:** активная и реактивная мощности линейного пассивного двухполюсника  $P = 1$  кВт,

$Q = -1$  квар, а его входной ток  $i = 20\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3})$  А.

**Определить** входное напряжение двухполюсника.

**Задание 6.2**

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**

Комплексные действующие значения тока и напряжения линейного пассивного двухполюсника

$$\underline{I} = 20 \text{ А}, \quad \underline{U} = 150\sqrt{2}(1 + j) \text{ В.}$$

**Определить:**

- комплексную мощность двухполюсника.
- частоту  $f$ , при которой индуктивность в последовательной  $LR$  схеме замещения двухполюсника = 7,5 мГн.

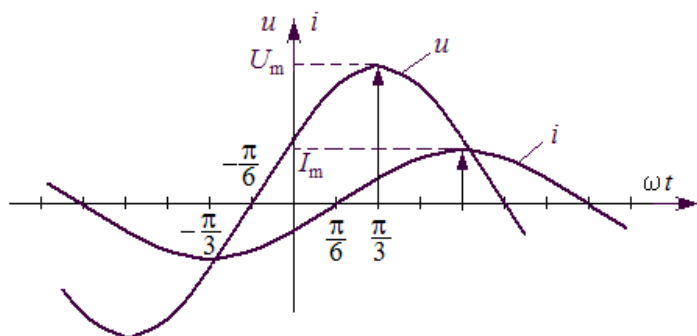
**Задание 6.3**

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:** линейный пассивный двухполюсник, входные напряжение и ток которого синусоидальны (см. рисунок), где  $U_m = 127\sqrt{2}$  В,  $I_m = 10\sqrt{2}$  А.

**Определить** комплексное сопротивление двухполюсника, комплексную, активную и реактивную мощности двухполюсника.



**Задание 6.4**

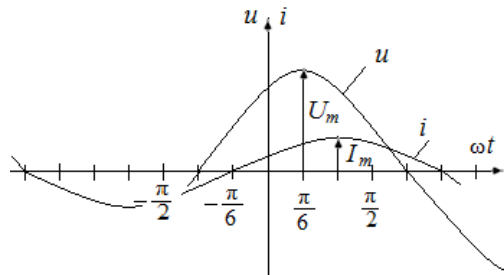
Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**

Графики тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  линейного пассивного двухполюсника изображены на рисунке, где

$$U_m = 127\sqrt{2} \text{ В}, \quad I_m = 10\sqrt{2} \text{ А}.$$



**Определить** активную, реактивную, полную и комплексную мощности двухполюсника.

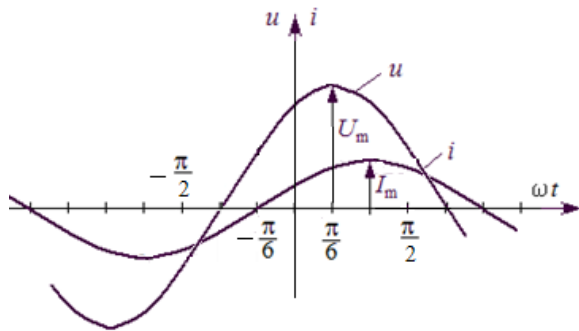
### Задание 6.5

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:** линейный пассивный двухполюсник, входные напряжение и ток которого синусоидальны (см. рисунок), где  $U_m = 100\sqrt{2}$  В,  $I_m = 5\sqrt{2}$  А,  $f = 50$  Гц.

**Определить** мгновенную и активную мощности двухполюсника.



### Задача 6-6

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**

Комплексные действующие значения тока и напряжения линейного пассивного двухполюсника

$$\underline{I} = (5\sqrt{3} + j5) \text{ А}, \quad \underline{U} = (20 - j20\sqrt{3}) \text{ В},$$

частота тока  $f = 50$  Гц.

**Определить** активную  $P$ , реактивную  $Q$ , полную  $S$  и комплексную  $\underline{S}$  мощности двухполюсника, составить схему замещения.

**Решение задачи 6-6.**

1. Представим  $\underline{I}$  и  $\underline{U}$  в показательной форме:

$$\underline{I} = I e^{j\psi_i} = 10 e^{j\frac{\pi}{6}} \text{ А}, \quad \underline{U} = U e^{j\psi_u} = 40 e^{-j\frac{\pi}{3}} \text{ В}, \quad \varphi = \psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6} = -\frac{\pi}{2}.$$

2. Найдем  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $\underline{S}$ :

$$P = UI \cos \varphi = 40 \cdot 10 \cdot 0 = 0 \text{ Вт};$$

$$Q = UI \sin \varphi = 40 \cdot 10 \cdot (-1) = -400 \text{ вар};$$

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = 400 \text{ В} \cdot \text{А},$$

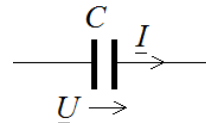
$$\underline{S} = P + jQ = -j400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

3. Найдем комплексное сопротивление двухполюсника

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{40e^{-j\frac{\pi}{3}}}{10e^{j\frac{\pi}{6}}} = 4e^{-j\frac{\pi}{2}} = -j4 \text{ Ом},$$

где 4 Ом - емкостное сопротивление  $X_C$  двухполюсника.

4. Составляем схему замещения двухполюсника



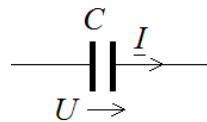
Здесь

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4} = \frac{35 \cdot 10^{-5}}{\pi} = 7,96 \text{ мкФ}.$$

**Ответ:**

$$P = 0 \text{ Вт}, Q = -400 \text{ вар}, S = 400 \text{ ВА},$$

$$\underline{S} = -j400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$



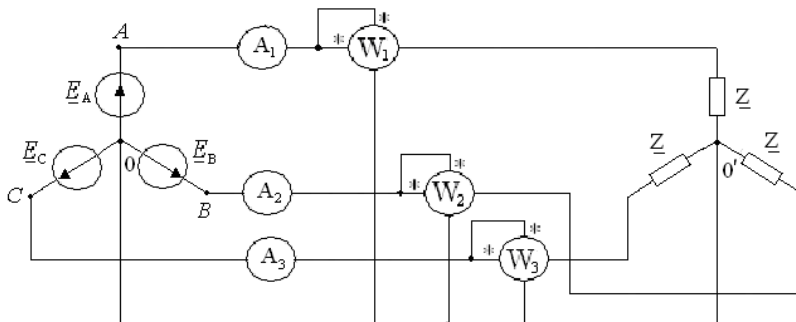
### Задание экзаменационного билета №7 (5 баллов)

#### Задание 7.1

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:** Линейное напряжение трехфазной цепи 250 В,  $\underline{Z} = 10 + j10 \text{ Ом}$ .



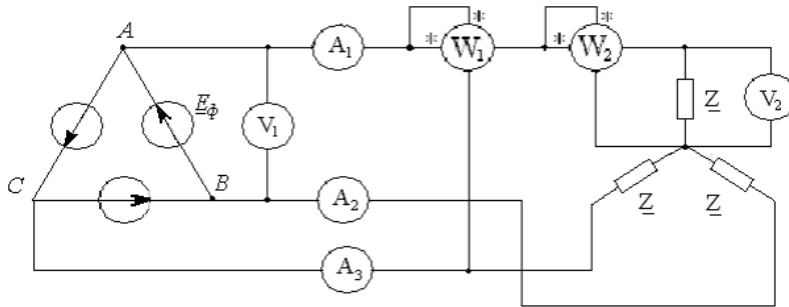
Определить показания всех приборов.

#### Задание 7.2

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: Фазная ЭДС в трехфазной цепи  $E_{\phi} = 100\text{В}$ ,  $Z = 20 + j20\ \text{Ом}$ . Определить показания всех приборов.

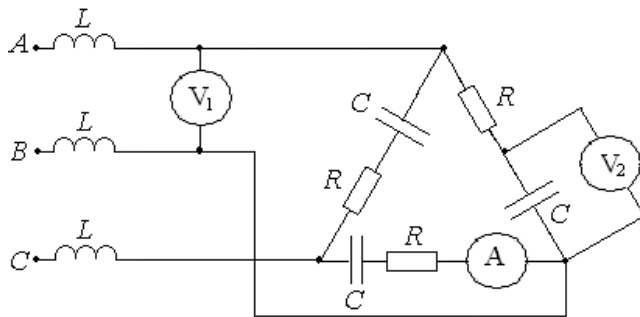


### Задание 7.3

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: Линейное напряжение в трехфазной цепи  $U_{л} = 380\ \text{В}$ ;  $\omega L = 5\ \text{Ом}$ ,  $R = 1/\omega C = 15\ \text{Ом}$ . Составить эквивалентную схему на одну фазу и найти показания всех приборов.

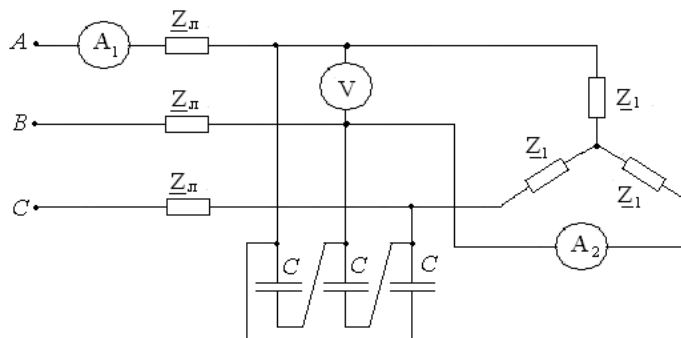


### Задание 7.4

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: Линейное напряжение на входе трехфазной цепи  $U_{л} = 380\ \text{В}$ ;  $Z_1 = 10 + j10\ \text{Ом}$ ,  $1/\omega C = 50\ \text{Ом}$ ,  $Z_2 = j2\ \text{Ом}$ . Составить эквивалентную схему на одну фазу, рассчитать комплексные токи через амперметры и показания приборов.

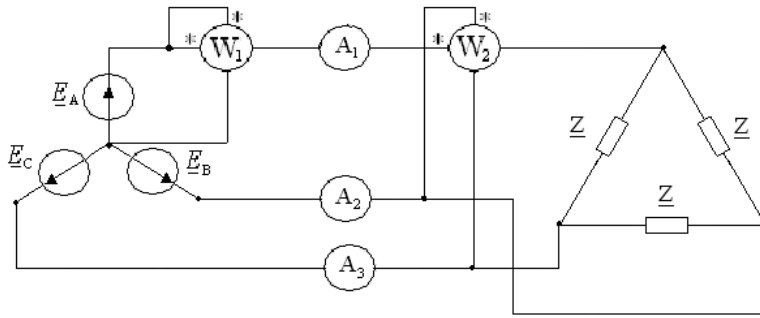


### Задание 7.5

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: Фазная ЭДС  $E_{\phi} = 200\ \text{В}$ ,  $Z = 15 + j15\ \text{Ом}$ . Определить показания приборов.



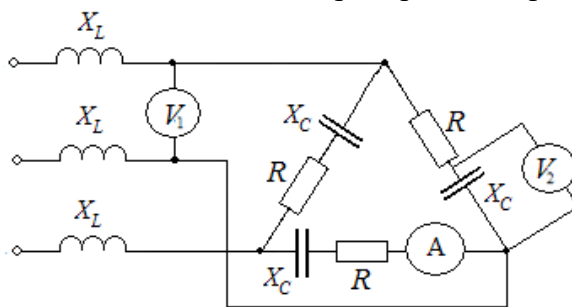
### Задача 7-6

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $U_{л} = 120 \text{ В}$ ,  $R = 6 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 2 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 6 \text{ Ом}$ .

Найти показания приборов электромагнитной системы.



**Ответ:** показания амперметра А 20 ампер; вольтметров  $V_1=169,2 \text{ В}$ ,  $V_2=120 \text{ В}$ .

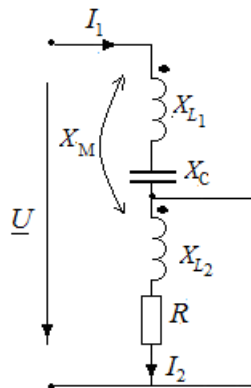
### Задание экзаменационного билета №8 (5 баллов)

#### Задание 8.1

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $X_{L1} = 40 \text{ Ом}$ ,  $X_{L2} = X_M = R = 20 \text{ Ом}$ ,



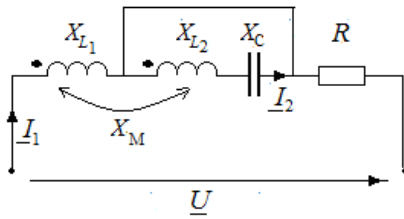
**Определить**  $X_C$ , при котором двухполюсник не потребляет реактивной мощности; входное сопротивление двухполюсника при найденном  $X_C$ .

#### Задание 8.2

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $X_{L1} = X_C = R = 40 \text{ Ом}$ ,  $X_M = 10 \text{ Ом}$ ,  $\underline{U} = 200 \text{ В}$ .



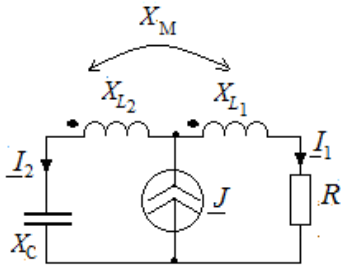
**Определить**  $X_{L2}$ , при котором цепь не потребляет активной мощности, **рассчитать** реактивную мощность цепи.

### Задание 8.3

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $R = X_{L1} = X_{L2} = 40$  Ом,  $X_M = 20$  Ом, ток источника  $J=2$  А.



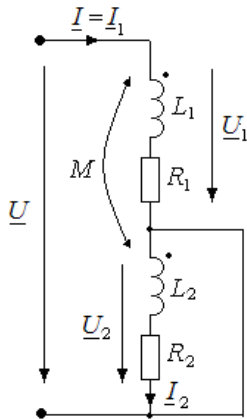
**Определить**  $X_C$ , при котором цепь не потребляет активной мощности, а также найти потребляемую реактивную мощность при этом  $X_C$ .

### Задание 8.4

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $R_1 = \omega L_1 = 40$  Ом,  $R_2 = \omega L_2 = \omega M = 20$  Ом,  $\omega = 300$  рад/с.



**Составить** простейшую схему замещения цепи и определить ее параметры.

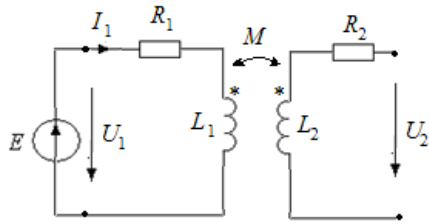
### Задание 8.5

Текст задания

Задание специальной части (простое)

**Дано:**  $R_1 = \omega L_1 = 40$  Ом,  $R_2 = \omega L_2 = 20$  Ом, коэффициент передачи по напряжению

$$\underline{k}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{2}(1 + j)$$



Найти сопротивление взаимной индукции.

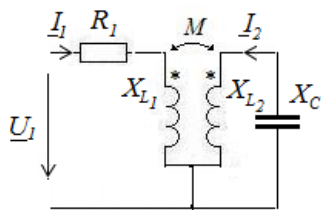
### Задача 8-6

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано:  $U_1 = 100$  В,  $R_1 = 100$  Ом,  $X_{L1} = 10$  Ом,  $X_{L2} = 20$  Ом,  $X_M = 10$  Ом.

Определить  $X_C$ , при котором цепь потребляет чисто реактивную мощность. Определить мощность элемента  $X_C$ .



### Решение задачи 8-6.

1. Запишем систему уравнений по второму закону Кирхгофа для двух контуров цепи

$$\begin{cases} (R_1 + j)I_1 + jX_M I_2 = U_1 \\ j(X_{L2} - X_C)I_2 + jX_M I_1 = 0 \end{cases}$$

2. Цепь не потребляет активную мощность, когда активная мощность  $P = R_1 I_1^2 = 0$ , т.е. при  $I_1 = 0$ . Из второго уравнения следует, что  $I_2 = 0$  при  $X_C = X_{L2} = 20$  Ом. При этом из первого уравнения находим

$$I_2 = \frac{U_1}{jX_M} = \frac{100}{j10} = -j10 \text{ А.}$$

3. Мощность элемента  $X_C$ :

$$Q_C = -I^2 X_C = -10^2 \cdot 20 = -2 \text{ квар.}$$

Ответ:  $Q_C = -2$  квар.

### Задание экзаменационного билета №9 (15 баллов)

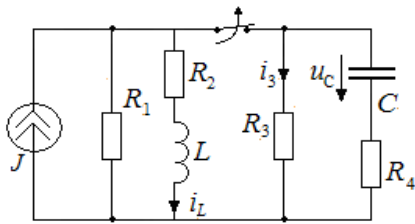
#### Задание 9.1

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $J = 9$  А,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10$  Ом,

$C = 0,5$  мкФ,  $L = 1$  мГн.



Определить переходные токи  $i_L$  и  $i_3$ .

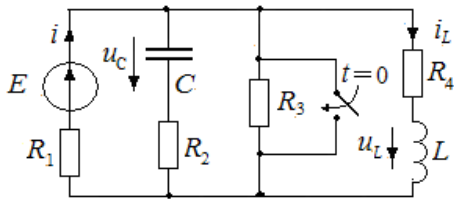
### Задание 9.2

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $R_1 = R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = R_4 = 20$  Ом,

$C = 0.5$  мкФ,  $L = 20$  мГн,  $E = 200$  В.



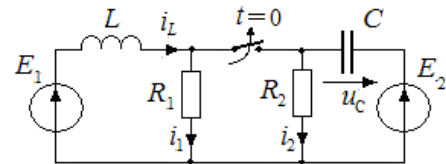
Определить переходное напряжение  $u_C$  и потери на тепло  $Q$  в резистивном элементе  $R_4$  в переходном процессе.

### Задание 9.3

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $E_1 = 200$  В,  $E_2 = 40$  В,  $R_1 = R_2 = 20$  Ом,  $C = 5$  мкФ,  $L = 4$  мГн.



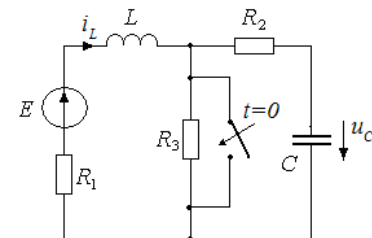
Определить переходные токи  $i_1$  и  $i_2$

### Задание 9.4

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $E = 200$  В,  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 100$  Ом,  $R_3 = 80$  Ом,  $L = 10$  мГн,  $C = 10$  мкФ.



Определить переходные напряжения  $u_C(t)$ ,  $u_L(t)$ .

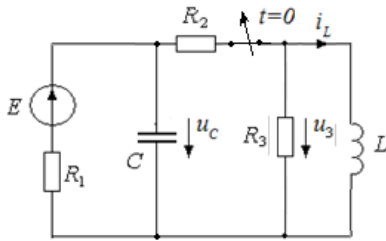
### Задание 9.5

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $E = 200$  В,  $R_1 = R_2 = R_3 = 20$  Ом,  $C = 0.25$  мкФ,  $L = 2$  мГн.





Определить переходные ток  $i_C(t)$  и напряжение  $u_3(t)$

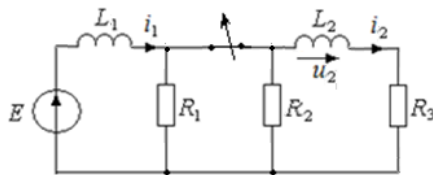
### Задание 9.6

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $E = 100$  В,  $L_1 = L_2 = 10$  мГн,  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = R_3 = 20$  Ом.

Определить переходные ток  $i_1(t)$  и напряжение  $u_2(t)$ .



### Решение задачи 9.6.

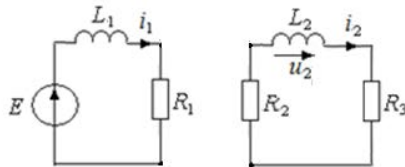
1. Находим независимые начальные условия (ННУ) и начальное условие  $u_2(0_+)$ .

$$i_1(0_+) = i_1(0_-) = E \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right] = 100 \frac{2}{10} = 20 \text{ А},$$

$$i_2(0_+) = i_2(0_-) = \frac{E}{R_3} = \frac{100}{20} = 5 \text{ А},$$

$$u_2(0_+) = -(R_2 + R_3)i_2(0) = -40 \cdot 5 = -200 \text{ В}.$$

2. Для установившегося режима подсхем получаем



$$i_1' = i_1(\infty) = \frac{E}{R_1} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А},$$

$$u_2' = 0.$$

3. Составляем характеристические уравнения подсхем и находим корни этих уравнений

$$pL_1 + R_1 = 0 \rightarrow p_1 = -\frac{R_1}{L_1} = -\frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = -10^3 \text{ с}^{-1},$$

$$pL_2 + (R_2 + R_3) \rightarrow p_2 = -\frac{R_2 + R_3}{L_2} = -\frac{40}{10 \cdot 10^{-3}} = -4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

4. Записываем выражение переходных тока  $i_1$  и напряжения  $u_2$

$$i_1 = i_1' + i_1'' = i_1' + A_1 e^{p_1 t},$$

$$u_2 = u_2' + u_2'' = u_2' + A_2 e^{p_2 t}$$

И по ННУ находим постоянные интегрирования

$$A_1 = i_1(0_+) - i_1' = 20 - 10 = 10 \text{ А},$$

$$A_2 = u_2(0_+) - u_2'(0) = -200 - 0 = -200 \text{ В}.$$

Окончательно имеем

$$i_1 = 10 + 10e^{-10^3 t} \text{ А,}$$

$$u_2 = -200e^{-4 \cdot 10^3 t} \text{ В.}$$

**Ответ:**

$$i_1 = 10 + 10e^{-10^3 t} \text{ А,}$$

$$u_2 = -200e^{-4 \cdot 10^3 t} \text{ В.}$$

### Задание экзаменационного билета №10 (15 баллов)

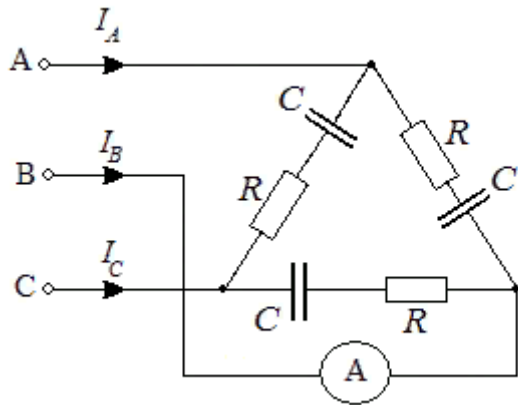
#### Задание 10.1

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $u_A(t) = 200\sin\omega t + 40\sin 3\omega t + 60\sin 5\omega t$  В.  $R = 1/\omega C = 60$  Ом.

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



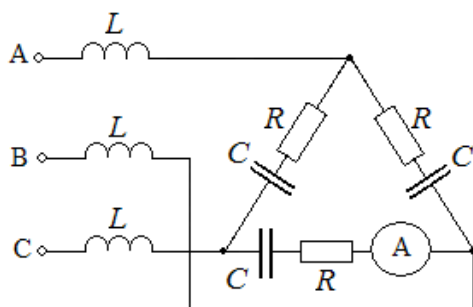
#### Задание 10.2

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $u_{AB} = 200\sin\omega t + 60\cos 5\omega t$  В,  $R = 1/\omega C = 60$  Ом,  $\omega L = 20$  Ом.

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



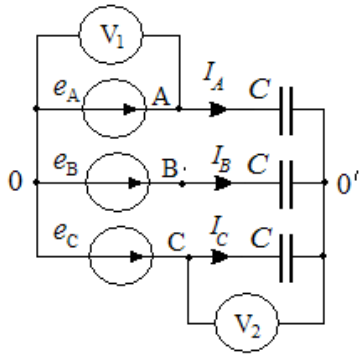
#### Задание 10.3

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $1/\omega C = 60$  Ом,  $e_A = 200\sin(\omega t + 30^\circ) + 40\sin 3\omega t + 25\sin(5\omega t + 45^\circ)$  В.

Определить показания вольтметров электромагнитной системы.



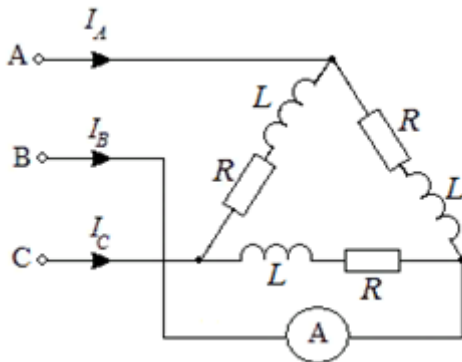
#### Задание 10.4

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $u_A = 200\sin\omega t + 40\sin 3\omega t + 50\sin 5\omega t$  В.  $R = \omega L = 60$  Ом.

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



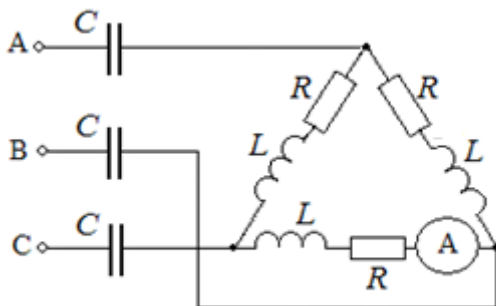
#### Задание 10.5

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $u_{AB} = 200\sin\omega t + 80\cos 5\omega t$  В.  $R = 1/\omega C = 60$  Ом,  $\omega L = 20$  Ом

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



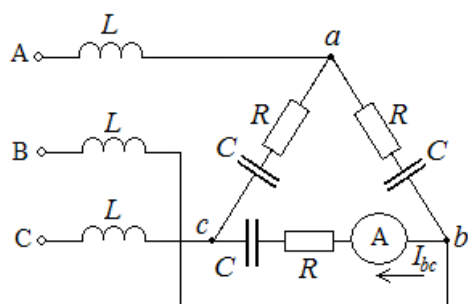
#### Задача 10.6.

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано:  $u_{AB} = 536\sin\omega t + 60\sin 3\omega t + 40\cos 5\omega t$  В,  $R = 1/\omega C = 60$  Ом,  $\omega L = 20$  Ом.

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



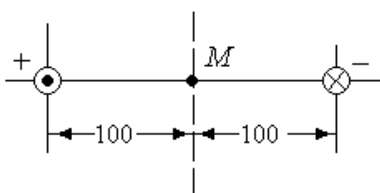
Ответ: 6,359 А.

**Задание экзаменационного билета №11 (15 баллов)**

**Задание 11.1**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

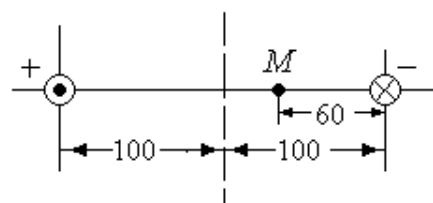


**Дано:** По двухпроводной линии, радиус проводов которой 5 мм передается мощность 20 кВт при постоянном напряжении 400 В. На рисунке расстояния указаны в миллиметрах. Пренебрегая сопротивлением проводов, найти значение и направление вектора Пойнтинга в точке М. Объяснить, как изменится решение задачи, если задано не напряжение, а сопротивление нагрузки (при той же мощности).

**Задание 11.2**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



**Дано:** По двухпроводной линии, радиус проводов которой 5 мм передается мощность 20 кВт при постоянном напряжении 400 В. На рисунке расстояния указаны в миллиметрах. Пренебрегая сопротивлением проводов, найти значение и направление вектора Пойнтинга в точке М. Объяснить, как изменится решение задачи, если задано не напряжение, а сопротивление нагрузки (при той же мощности).

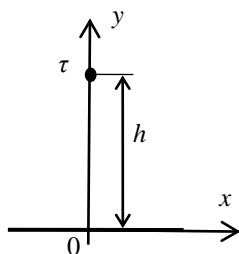
**Задание 11.3**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** На высоте  $h = 8$  м в воздухе над Землей расположен заряженный провод круглого сечения с линейной плотностью заряда  $\tau = 20^{-7}$  Кл/м. Диаметр провода  $d=12$  мм. Определить значение и направление напряженности электрического поля в точке с координатами

$x=8$  м,  $y=0$ .

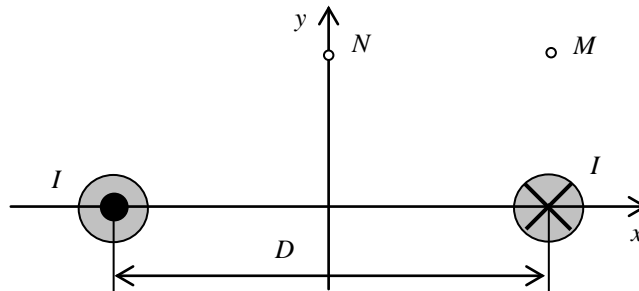


**Задание 11.4**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Направление постоянного тока в проводах  $I=50$  А показано на рисунке. Расстояние между осями проводов  $D=2$  м. Определить напряженность магнитного поля в точках  $M$  и  $N$ . Координаты точек:  $x_M=1$  м,  $y_M=1$  м;  $x_N=0$ ,  $y_N=1$  м.



### Задание 11.5

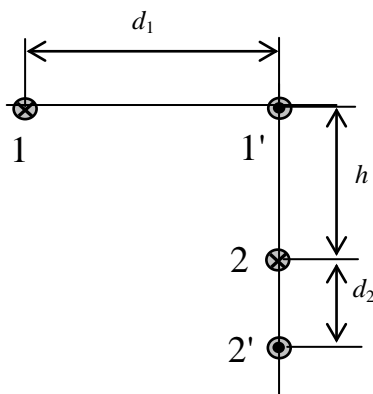
Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Расположение проводов двух двухпроводных линий указано на рис.

**Рассчитать** взаимную индуктивность между линиями. Длина линий 10 м,  $d_1=1$  м,  $d_2=0,4$  м,  $h=0,6$  м.

Принять всюду  $\mu = \mu_0$ .

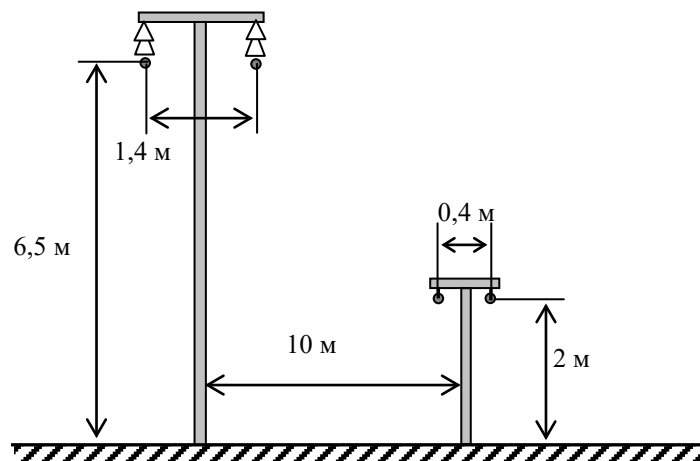


### Задание 11.6

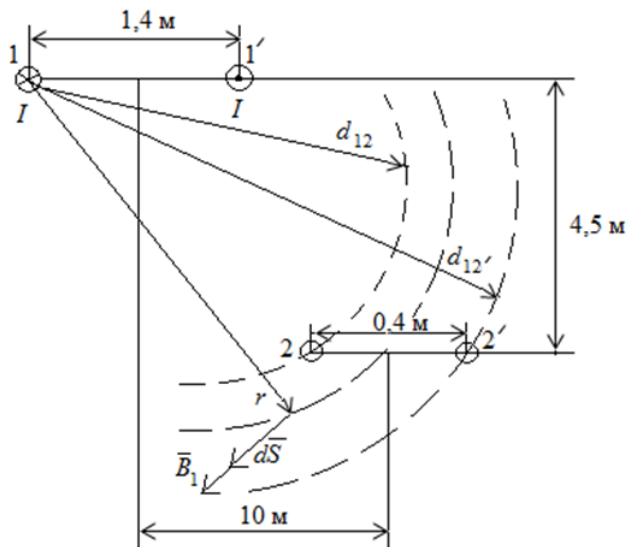
Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Определить** взаимную индуктивность между двухпроводной линией передачи энергии и линией связи. Провода проходят параллельно, длина линии 7 км.



### Решение задания 11.6.



Зададимся током  $I$  и его направлениями в проводниках 1 и 1' первой линии. Ток провода 1 создает магнитное поле  $H_1$ , величина которого по закону полного тока равна

$$H_1 = \frac{I}{2\pi r},$$

где  $r$  - расстояние от оси провода 1. Направление магнитных силовых линий связано с направлением тока  $I$  правилом правоходового винта. Магнитная индукция  $B_1 = \mu_0 H_1$ .

Поток взаимной индукции на единицу длины

$$\Phi_1 = \int_S \bar{B}_1 d\bar{S}$$

равен потоку в силовой трубке и может быть рассчитан

$$\Phi_1 = \int_{d_{12}}^{d_{12'}} \mu_0 \frac{H_1}{2\pi r} \cdot 1 \cdot dr = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \ln \frac{d_{12'}}{d_{12}}.$$

Здесь учтено, что  $dS = 1 \cdot dr$

Аналогично поток взаимной индукции

$$\Phi_2 = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \ln \frac{d_{1'2'}}{d_{1'2}}.$$

Этот поток направлен в другую сторону. При этом  $\Phi_2 > \Phi_1$ , т.к. провод 1' расположен ближе к линии 2 - 2'. Поэтому общий поток взаимной индукции

$$\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \ln \frac{d_{1'2} d_{12}}{d_{1'2'} d_{12'}}$$

$$d_{12} = \sqrt{(6,5 - 2)^2 + (10 + 0,7 - 0,2)^2} = 11,42 \text{ м,}$$

$$d_{12'} = \sqrt{(6,5 - 2)^2 + (10 + 0,7 + 0,2)^2} = 11,79 \text{ м,}$$

$$d_{1'2} = \sqrt{(6,5 - 2)^2 + (10 - 0,7 - 0,2)^2} = 10,15 \text{ м,}$$

$$d_{1'2'} = \sqrt{(6,5 - 2)^2 + (10 - 0,7 + 0,2)^2} = 10,51 \text{ м.}$$

Взаимная индуктивность двух линий на единицу длины

$$M_0 = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{d_{1'2} d_{12}}{d_{1'2'} d_{12'}} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{10,51 \cdot 11,42}{10,15 \cdot 11,79} = 0,0005936 \frac{\text{мкГн}}{\text{м}},$$

Взаимная индуктивность двух линий длиной 7 км

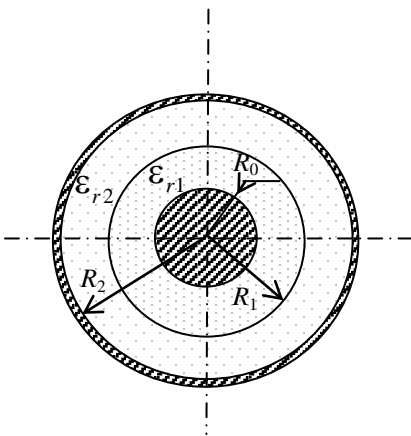
$$M = M_0 l = 0,0005936 \cdot 7000 = 4,155 \text{ мкГн.}$$

**Ответ:** 4,155 мкГн.

### Задание 11.1а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



**Дано:** Цилиндрический конденсатор, где  $R_0 = 2$  мм,  $R_1 = 12$  мм,  $R_2 = 16$  мм заполнен двухслойным диэлектриком:  $\epsilon_{r1} = 4$ ;  $\epsilon_{r2} = 2$ . Определить емкость коаксиального конденсатора. Построить  $E(r)$ , где  $r$  - расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой  $U = 1000$  В.

**Решение:** Для цилиндрического конденсатора с равномерным распределением заряда  $q$  по поверхности обкладок (жилы и оболочки) электростатическое поле в изоляции характеризуется вектором электрического смещения  $D$ . Из цилиндрической симметрии поля следует, что вектор электрического смещения имеет только радиальную составляющую ( $D = D_r$ ), зависящую только от радиуса  $r$ . Следовательно, ее значение постоянно на цилиндре данного радиуса  $r$  и вектор электрического смещения нормален к поверхности цилиндра. Задачу можно решить, применив постулат Максвелла (теорему Гаусса) и выбрав в качестве поверхности интегрирования соосный цилиндр, имеющий длину  $l$ . При  $R_0 \leq r \leq R_2$  в цилиндрической системе координат получим  $D \cdot 2\pi r l = q$  или  $D(r) = \frac{q}{l} = \frac{\tau}{2\pi r}$ , где  $\tau$  - линейная плотность

заряда. В однородной среде  $\mathbf{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{E}$  - вектор напряженности электрического поля. Следовательно, вектор напряженности электрического поля в изоляции также имеет только радиальную составляющую  $E = E_r$ , и может быть определен:

- 1) в первом слое  $R_0 \leq r \leq R_1$   $E_1(r) = \frac{D(r)}{\varepsilon_{r1} \varepsilon_0} = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_{r1} \varepsilon_0} \frac{1}{r}$ ;
- 2) во втором слое  $R_1 \leq r \leq R_2$   $E_2(r) = \frac{D(r)}{\varepsilon_{r2} \varepsilon_0} = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_{r2} \varepsilon_0} \frac{1}{r}$ .

Напряжение между жилой и оболочкой

$$U = \int_{R_0}^{R_1} \mathbf{E}_1 \mathbf{dr} + \int_{R_1}^{R_2} \mathbf{E}_2 \mathbf{dr} = \int_{R_0}^{R_1} \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_{r1} \varepsilon_0} \frac{1}{r} \mathbf{dr} + \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_{r2} \varepsilon_0} \frac{1}{r} \mathbf{dr} = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_0} \left( \frac{1}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Следовательно, емкость коаксиального двухслойного конденсатора на единицу длины  $C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\left( \frac{1}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)}$ . После подстановки численных значений

$$C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\left( \frac{1}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)} = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\left( \frac{1}{1} \ln \frac{8}{4} + \frac{1}{3} \ln \frac{16}{8} \right)} = 60,11 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м,}$$

где  $\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Линейная плотность заряда  $\tau = C_0 U = 60,11 \cdot 10^{-9}$  Кл/м.

$$\text{Тогда } E_1(r) = \frac{60,11 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 1 \cdot \varepsilon_0} \frac{1}{r} = \frac{1082}{r} \text{ В/м, } E_2(r) = \frac{60,11 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 3 \cdot \varepsilon_0} \frac{1}{r} = \frac{360,67}{r} \text{ В/м.}$$

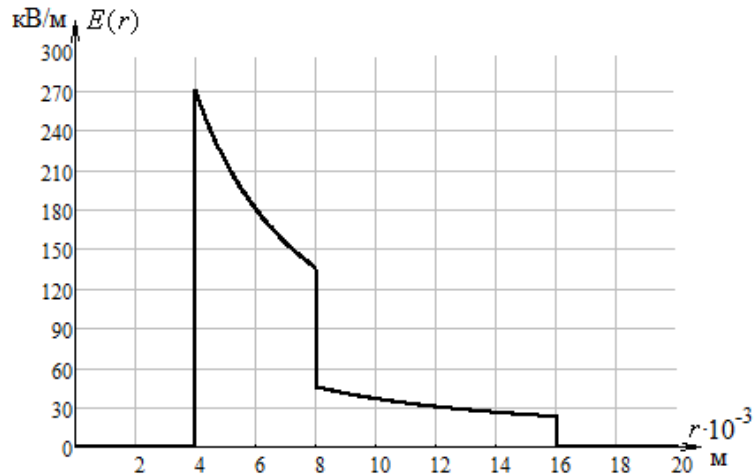
**Ответ:**

$$\text{Зависимость } E(r) = \begin{cases} 0 & r \leq R_0 \\ \frac{1082}{r} & R_0 \leq r \leq R_1 \\ \frac{360,67}{r} & R_1 \leq r \leq R_2 \\ 0 & r \geq R_2 \end{cases}, \text{ В/м.}$$

Для построения графика зависимости рассчитаем напряженность электрического поля

$r$ , мм	4	8 (1 слой)	8 (2 слой)	16
$E$ , кВ/м	270,5	135,25	45,08	22,54

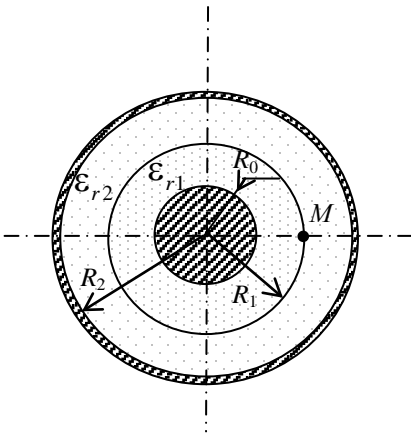




### Задание 11.2а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

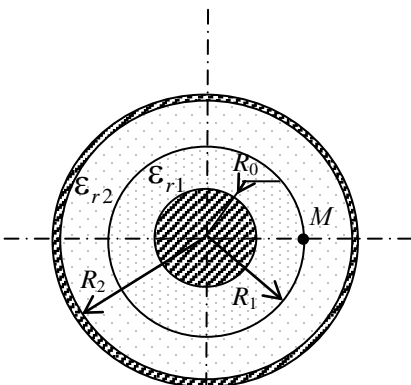


**Дано:** Цилиндрический конденсатор, где  $R_0 = 4$  мм,  $R_1 = 8$  мм,  $R_2 = 16$  мм заполнен двухслойным диэлектриком:  $\epsilon_{r1} = 4$ ;  $\epsilon_{r2} = 2$ . Определить емкость коаксиального конденсатора. Определить напряжение между жилой и оболочкой, если напряжение между точкой  $M$  (на границе, разделяющей два слоя изоляции) и оболочкой кабеля равно 2 кВ.

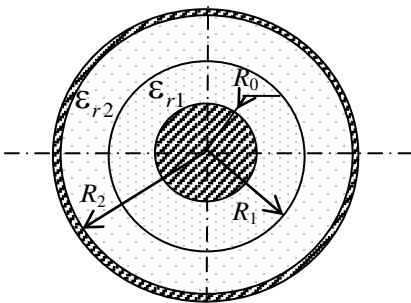
### Задание 11.3а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



**Дано:** Цилиндрический конденсатор, где  $R_0 = 4$  мм,  $R_1 = 8$  мм,  $R_2 = 16$  мм заполнен двухслойным диэлектриком:  $\epsilon_{r1} = 2$ ;  $\epsilon_{r2} = 4$ . Определить емкость коаксиального конденсатора. Определить напряжение между жилой и оболочкой, если напряжение между точкой  $M$  (на границе, разделяющей два слоя изоляции) и оболочкой кабеля равно 2 кВ.



### Задание 11.4а

Текст задания

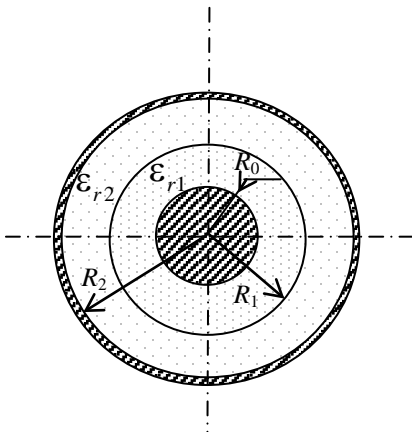
Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Цилиндрический конденсатор, где  $R_0 = 2$  мм,  $R_1 = 12$  мм,  $R_2 = 16$  мм заполнен двухслойным диэлектриком:  $\epsilon_{r1} = 4$ ;  $\epsilon_{r2} = 2$ . Определить емкость коаксиального конденсатора. Построить  $E(r)$ , где  $r$ - расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой  $U = 1000$  В.

### Задание 11.5а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

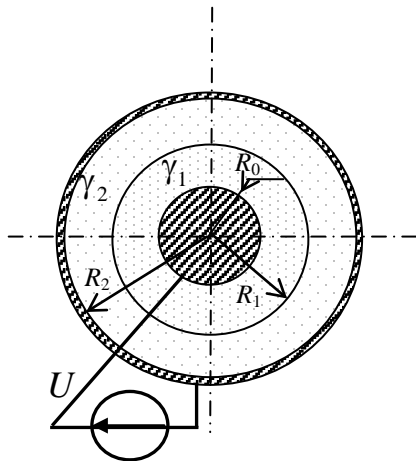


**Дано:** Цилиндрический конденсатор, где  $R_0 = 2$  мм,  $R_1 = 12$  мм,  $R_2 = 16$  мм заполнен двухслойным диэлектриком:  $\epsilon_{r1} = 6$ ;  $\epsilon_{r2} = 3$ . Определить емкость коаксиального конденсатора. Построить  $E(r)$ , где  $r$ - расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой  $U = 500$  В.

### Задание 11.6а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



**Дано:** Определить ток утечки и сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если  $U = 100$  В,  $R_0 = 5$  мм,  $R_1 = 20$  мм,  $R_2 = 40$  мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя  $\gamma_1 = 10^{-7}$  См/м, второго слоя  $\gamma_2 = 2 \cdot 10^{-7}$  См/м.

**Решение:** Для цилиндрического конденсатора, имеющего несовершенную изоляцию, ток утечки равномерно распределен по поверхности электродов (жила и оболочки). Электростационарное поле в несовершенной изоляции характеризуется вектором плотности тока утечки

$\mathbf{J}$ . Из цилиндрической симметрии поля следует, что вектор плотности тока утечки имеет только радиальную составляющую ( $\mathbf{J} = J_r$ ), зависящую только от радиуса  $r$ . Следовательно, значение вектор плотности тока утечки постоянно на цилиндре данного радиуса  $r$  и вектор плотности тока утечки нормален к поверхности цилиндра. Ток утечки  $I = \int_S \mathbf{J} ds$ , поверхности интегрирования соосный цилиндр, имеющий длину  $l$ . При

$R_0 \leq r \leq R_2$  в цилиндрической системе координат получим  $J \cdot 2\pi r l = I$  или  $J(r) = \frac{I}{l} = \frac{I_0}{2\pi r}$ , где  $I_0$  - ток утечки на единицу длины. В однородной проводящей среде  $\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{E}$  -

вектор напряженности электрического поля. Следовательно, вектор напряженности электрического поля в изоляции также имеет только радиальную составляющую  $E = E_r$ , и может быть определен:

$$1) \text{ в первом слое } R_0 \leq r \leq R_1 \quad E_1(r) = \frac{J(r)}{\gamma_1} = \frac{I_0}{2\pi\gamma_1} \frac{1}{r};$$

$$2) \text{ во втором слое } R_1 \leq r \leq R_2 \quad E_2(r) = \frac{J(r)}{\gamma_2} = \frac{I_0}{2\pi\gamma_2} \frac{1}{r}.$$

Напряжение между жилой и оболочкой

$$U = \int_{R_0}^{R_1} E_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} E_2 dr = \int_{R_0}^{R_1} \frac{I_0}{2\pi\gamma_1} \frac{1}{r} dr + \int_{R_1}^{R_2} \frac{I_0}{2\pi\gamma_2} \frac{1}{r} dr = \frac{I_0}{2\pi} \left( \frac{1}{\gamma_1} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\gamma_2} \ln \frac{R_2}{R_1} \right).$$

Следовательно, проводимость двухслойного конденсатора с несовершенной изоляцией на единицу длины:

$$G_0 = \frac{I_0}{U} = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{\gamma_1} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\gamma_2} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)} = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{10^{-7}} \ln \frac{20}{5} + \frac{1}{2 \cdot 10^{-7}} \ln \frac{40}{20} \right)} = 3,624 \cdot 10^{-7} \text{ См/м.}$$

Сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора

$$R_0 = \frac{U}{I_0} = \frac{1}{G_0} = \frac{1}{3,624 \cdot 10^{-7}} \approx 2,76 \cdot 10^6 \text{ Ом/м.}$$

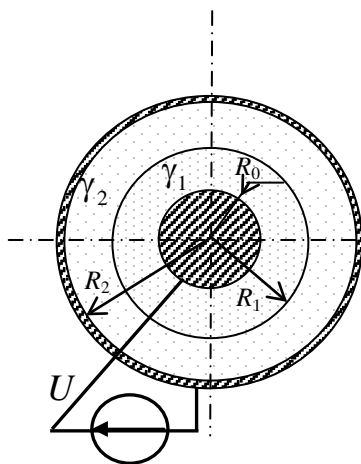
Ток утечки на единицу длины  $I_0 = \frac{U}{R_0} = G_0 U = 3,624 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \approx 36,24 \cdot 10^{-6} \text{ А/м.}$

**Ответ:**  $R_0 = 2,76 \cdot 10^6 \text{ Ом/м, } I_0 = 36,24 \cdot 10^{-6} \text{ А/м.}$

### Задание 11.7а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

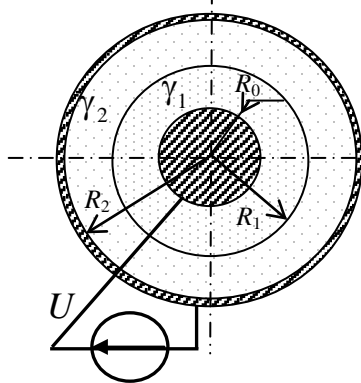


**Дано:** Определить ток утечки и сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если  $U = 100 \text{ В}$ ,  $R_0 = 5 \text{ мм}$ ,  $R_1 = 20 \text{ мм}$ ,  $R_2 = 40 \text{ мм}$ , удельная проводимость идеальной изоляции первого слоя  $\gamma_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ См/м}$ , второго слоя  $\gamma_2 = 10^{-7} \text{ См/м}$ .

### Задание 11.8а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



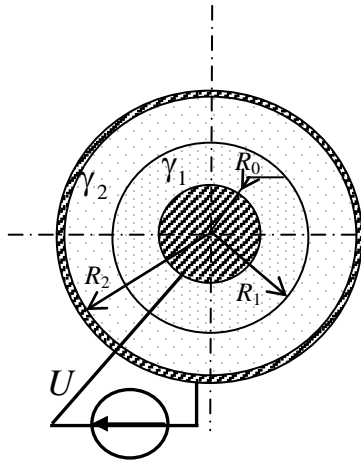
**Дано:** Определить ток утечки и сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если  $U = 500 \text{ В}$ ,  $R_0 = 10 \text{ мм}$ ,  $R_1 = 20 \text{ мм}$ ,  $R_2 = 40 \text{ мм}$ , удельная проводимость идеальной изоляции

первого слоя  $\gamma_1 = 2 \cdot 10^{-7}$  См/м, второго слоя  $\gamma_2 = 4 \cdot 10^{-7}$  См/м.

**Задание 11.9а**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



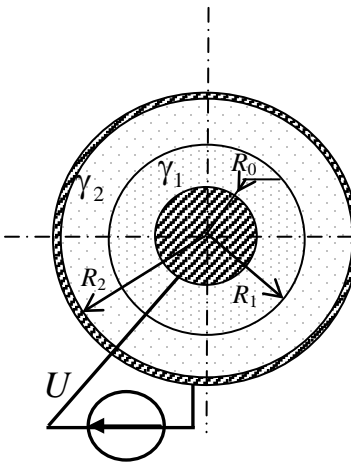
**Дано:** Определить ток утечки и сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если  $U = 500$  В,  $R_0 = 5$  мм,  $R_1 = 15$  мм,  $R_2 = 25$  мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя  $\gamma_1 = 10^{-8}$  См/м, второго слоя  $\gamma_2 = 4 \cdot 10^{-8}$  См/м.

**Задание 11.10а**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Определить ток изоляции двухслойного конденсатора на 1 м длины, мм,  $R_1 = 25$  мм,  $R_2 = 40$  мм, неидеальной изоляции См/м, второго слоя



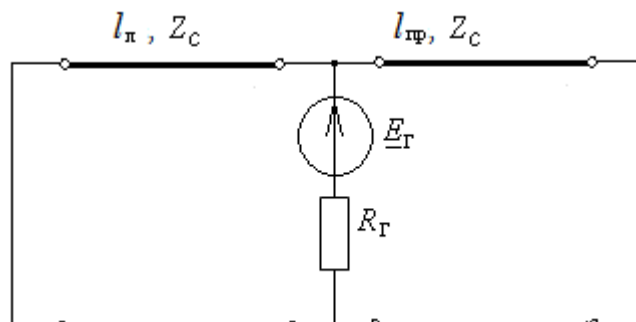
утечки и сопротивление цилиндрического если  $U = 1500$  В,  $R_0 = 10$  мм, удельная проводимость первого слоя  $\gamma_1 = 5 \cdot 10^{-8}$  См/м, второго слоя  $\gamma_2 = 10^{-7}$  См/м.

**Задание 11.16**

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Длина линии левого участка  $l_{л} = \lambda/4$ , правого участка  $l_{пр} = \lambda/8$ . Волновое сопротивление правой и левой линий  $Z_c = 400$  Ом. На обоих концах линий произошло короткое замыкание. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если  $E_{г} = 100$  В,  $R_{г} = 200$  Ом.

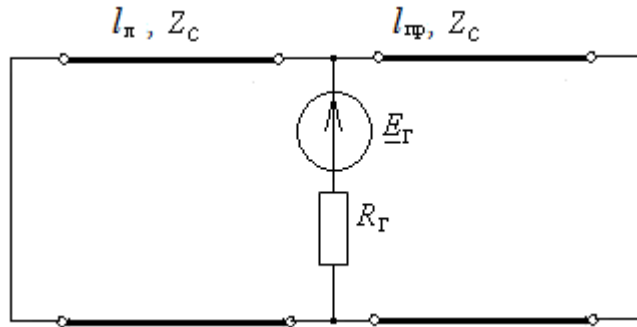


### Задание 11.26

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Длина линии левого участка  $l_{\text{л}} = \lambda/8$ , правого участка  $l_{\text{пр}} = \lambda/2$ . Волновое сопротивление правой и левой линий  $Z_c = 100$  Ом. Правая линия разомкнута, а левая линия короткозамкнута. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если  $\underline{E}_{\Gamma} = 100$  В,  $R_{\Gamma} = 100$  Ом.

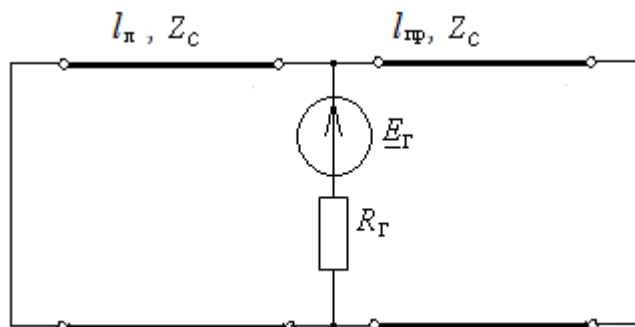


### Задание 11.36

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Длина линии левого участка  $l_{\text{л}} = \lambda/8$ , правого участка  $l_{\text{пр}} = \lambda/4$ . Волновое сопротивление правой и левой линий  $Z_c = 200$  Ом. На обоих концах линий произошло короткое замыкание. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если  $\underline{E}_{\Gamma} = 100$  В,  $R_{\Gamma} = 200$  Ом.

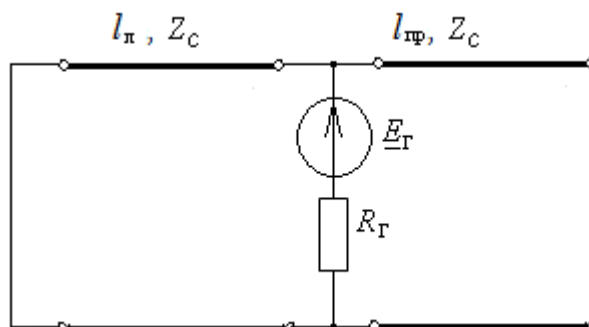


### Задание 11.46

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Длина линии левого участка  $l_{\text{л}} = 3\lambda/4$ , правого участка  $l_{\text{пр}} = \lambda/2$ . Волновое сопротивление правой и левой линий  $Z_c = 400$  Ом. Правая линия разомкнута, а левая линия короткозамкнута. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если  $\underline{E}_{\Gamma} = 100$  В,  $R_{\Gamma} = 200$  Ом.

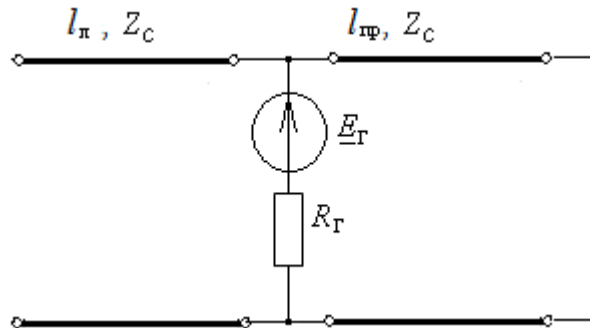


### Задание 11.56

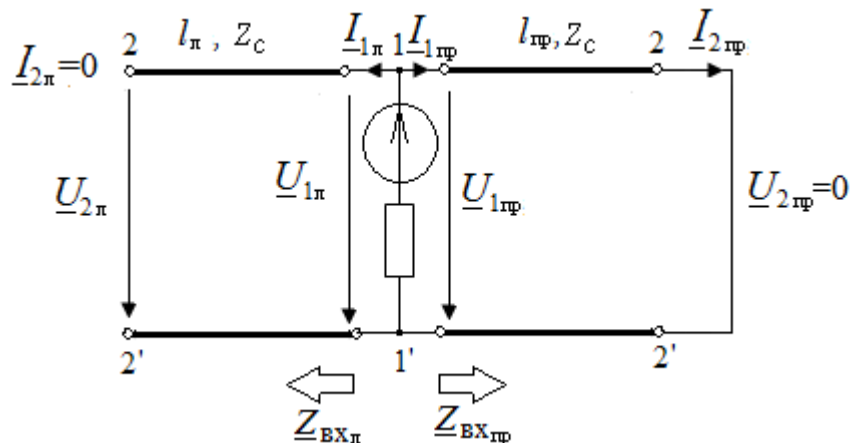
Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Длина линии левого участка  $l_{л} = \lambda/2$ , правого участка  $l_{пр} = 3\lambda/4$ . Волновое сопротивление правой и левой линий  $Z_c = 400$  Ом. Левая линия разомкнута, а правая линия короткозамкнута. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если  $\underline{E}_r = 100$  В,  $R_r = 200$  Ом.



**Решение:** Обозначим токи и напряжения на входе и выходе правой и левой линии. При коротком замыкании или в случае разомкнутой линии наблюдаются стоячие волны, на конце левой линии узел тока  $I_{2л} = 0$  и пучность напряжения; в конце правой линии узел напряжения  $U_{2пр} = 0$  и пучность тока.



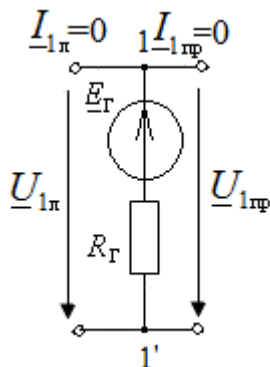
Определим входное сопротивление правой и левой линий относительно сечения 1-1':

$$а) \quad l_{пр} = \frac{3\lambda}{4} \Rightarrow Z_{вхпр} = jZ_c \operatorname{tg} \beta \frac{3\lambda}{4} = jZ_c \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} \frac{3\lambda}{4} = \infty \text{ Ом};$$

$$б) \quad l_{л} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow Z_{вхл} = -jZ_c \operatorname{ctg} \beta \frac{\lambda}{2} = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \infty \text{ Ом};$$

в сечении 1-1' справа и слева узел тока  $I_{1пр} = I_{1л} = 0$  и пучность напряжения;

Расчетная схема в сечении 1-1':



$$I_r = I_{1пр} = I_{1л} = 0,$$

$$\underline{U}_{1пр} = \underline{U}_{1л} = \underline{E}_r = 100 \angle 0 \text{ В}.$$

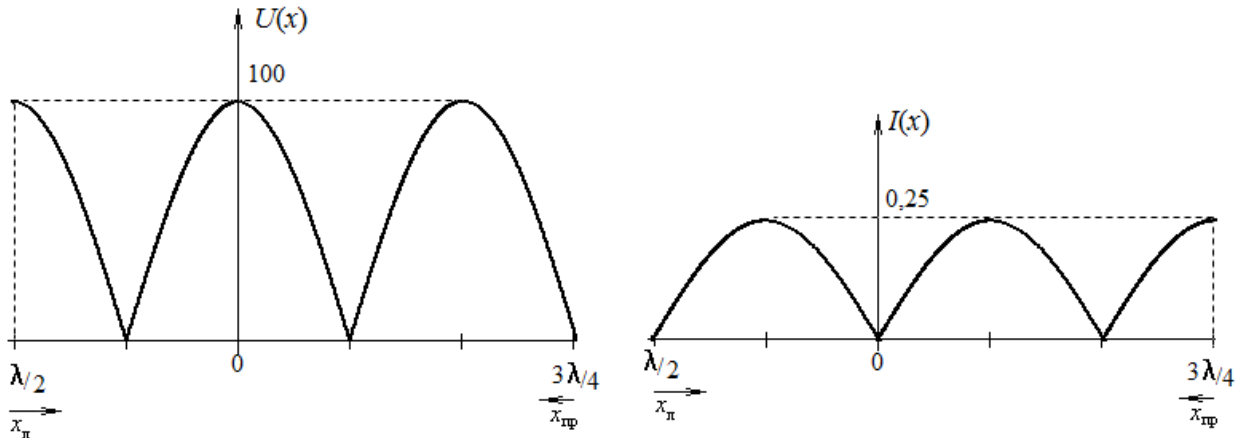
Для правой короткозамкнутой линии  $I_{2пр}$  - пучность тока, пучность напряжения

$$U_{1пр} = U_{\max пр}. \text{ Следовательно, пучность тока } I_{2пр} = I_{\max пр} = \frac{U_{\max пр}}{Z_c} = \frac{100}{400} = 0,25 \text{ А.}$$

Для левой разомкнутой линии пучность напряжения  $U_{1л} = U_{\max л}$ , тогда пучность тока

$$I_{\max л} = \frac{U_{\max л}}{Z_c} = \frac{100}{400} = 0,25 \text{ А.}$$

Распределение действующего значения напряжения и тока:



### Задание 11.66

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

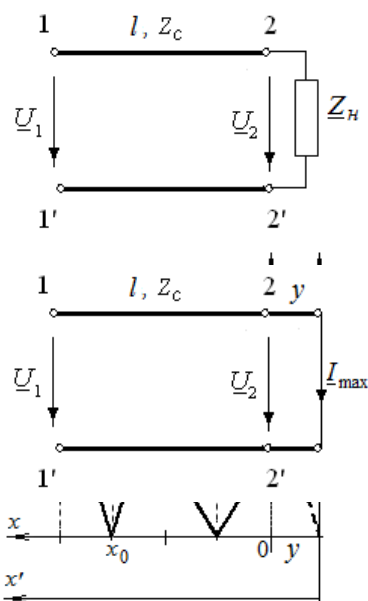
**Дано:** Воздушная линия без потерь с волновым сопротивлением  $Z_c = 600 \text{ Ом}$  подключена к реактивной нагрузке. Длина линии  $l = \lambda/2$ , частота источника  $f = 100 \text{ МГц}$ . Расстояние до первого узла напряжения  $x_0 = 1,125 \text{ м}$ . Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего значения  $U(x)$  и  $I(x)$  вдоль линии, если  $I_2 = 2 \text{ А}$ .

**Решение:**

Длина волны воздушной линии на заданной частоте  $\lambda = \frac{v_\phi}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} = 3 \text{ м}$ .

Коэффициент фазы  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{3} = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ/\text{м}$ .

Заменяем нагрузку с сопротивлением  $Z_H = jX$  отрезком линии длиной  $y$ , короткозамкнутой на конце, так чтобы режим в заданной линии не изменился. Условие эквивалентной замены  $Z_{вх}(y) = jX$ , следовательно,  $jZ_c \operatorname{tg} \beta y = jX$ . В таком случае для линии длиной  $l + y$  в конце будет наблюдаться узел напряжения и пучность тока,  $x_0 + y = \frac{\lambda}{2}$ . Длина



эквивалентного участка  $y = \frac{\lambda}{2} - x_0 = 0,375 = \frac{\lambda}{8}$ . Индуктивное сопротивление  $X = Z_c \operatorname{tg} \beta y = 600 \operatorname{tg} 45^\circ = 600 \text{ Ом}$ . Для расчетов

можно использовать уравнения короткозамкнутой линии, но с введением координаты  $x' = x + y$ :

$$\underline{I}(x) = \underline{I}_{\max} \cos \beta(x + y), \quad \underline{I}_{\max} = \frac{I_2}{\cos \beta y} = 2\sqrt{2} \approx 2,82 \text{ А.}$$

Пучность тока  $\underline{I}_{\max} = 2\sqrt{2} \approx 2,82 \text{ А}$ , пучность напряжения  $\underline{U}_{\max} = Z_c \underline{I}_{\max} = 1200\sqrt{2} \approx 1692 \text{ В}$ .

Напряжение в начале линии

$$\underline{U}_1 = \underline{U}(l) = jZ_c \underline{I}_{\max} \sin \beta(x + y) = j600 \cdot 2\sqrt{2} \sin(180^\circ + 45^\circ) = -j1200 \text{ В,}$$

ток в начале линии  $\underline{I}_1 = \underline{I}(l) = \underline{I}_{\max} \cos \beta(x + y) = 2\sqrt{2} \cos(180^\circ + 45^\circ) = -2 = 2 \angle 180^\circ \text{ А}$ .

Проще  $U_1 = U_2 = XI_2 = 1200 \text{ В}$ ,  $I_1 = I_2 = 2 \text{ А}$ , так как  $l = \lambda/2$ .

### Задание 11.76

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Воздушная линия без потерь с волновым сопротивлением  $Z_c = 600 \text{ Ом}$  подключена к реактивной нагрузке. Длина линии  $l = \lambda/2$ , частота источника  $f = 100 \text{ МГц}$ . Расстояние до первого узла напряжения  $x_0 = 0,375 \text{ м}$ . Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего значения  $U(x)$  и  $I(x)$  вдоль линии, если  $I_2 = 2 \text{ А}$ .

### Задание 11.86

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** На выходе линии без потерь с волновым сопротивлением  $Z_c = 500 \text{ Ом}$ ,  $v_\phi = 250 \cdot 10^3 \text{ км/с}$ , длиной  $l = 62,5 \text{ км}$  измерено напряжение  $U_2 = 100 \text{ В}$ , частота  $f = 2500 \text{ Гц}$ . Сопротивление нагрузки линии  $\underline{Z}_н = -j\sqrt{3}Z_c$ . Определить действующее значение напряжения и тока в начале линии. Построить распределение действующего значения  $U(x)$  и  $I(x)$  вдоль линии.

### Задание 11.96

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** На выходе линии без потерь с волновым сопротивлением  $Z_c = 500 \text{ Ом}$ ,  $v_\phi = 250 \cdot 10^3 \text{ км/с}$ , длиной  $l = 62,5 \text{ км}$  измерено напряжение  $U_2 = 100 \text{ В}$ , частота  $f = 2500 \text{ Гц}$ . Сопротивление нагрузки линии  $\underline{Z}_н = j\sqrt{3}Z_c$ . Определить действующее значение напряжения и тока в начале линии. Построить распределение действующего значения  $U(x)$  и  $I(x)$  вдоль линии.

### Задание 11.106

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

**Дано:** Воздушная линия без потерь с волновым сопротивлением  $Z_c = 400 \text{ Ом}$  подключена к реактивной нагрузке. Длина линии  $l = 3/4\lambda$ , частота источника  $f = 100$



МГц. Расстояние до первого узла напряжения  $x_0=0,375$  м. Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего значения  $U(x)$  и  $I(x)$  вдоль линии, если  $U_2=100$  В.

РАЗРАБОТАЛИ:

Зав. кафедрой ТОЭ

Профессор кафедры ТОЭ

Доцент кафедры ТОЭ

Доцент кафедры ТОЭ

Бутырин П.А.

Шакирзянов Ф.Н.

Толчеев О.В.

Жохова М.П.

УТВЕРДИЛ:

Директор ИЭЭ

Тульский В.Н.