

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в
магистратуру

Задания 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,

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

Определить входное напряжение двухполюсника.

Задание 6.2

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано:

Комплексные действующие значения тока и напряжения линейного пассивного двухполюсника

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

Определить:

- комплексную мощность двухполюсника.
- частоту f , при которой индуктивность в последовательной L, R схеме замещения двухполюсника равна 7,5 мГн.

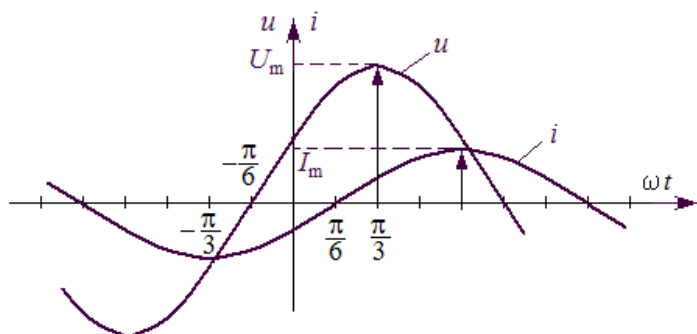
Задание 6.3

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

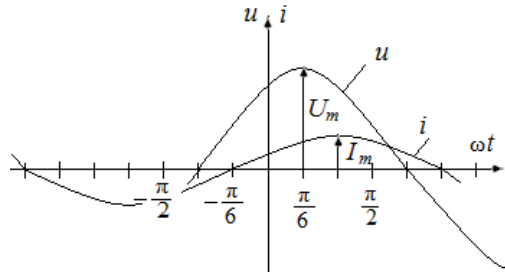
Текст задания

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.

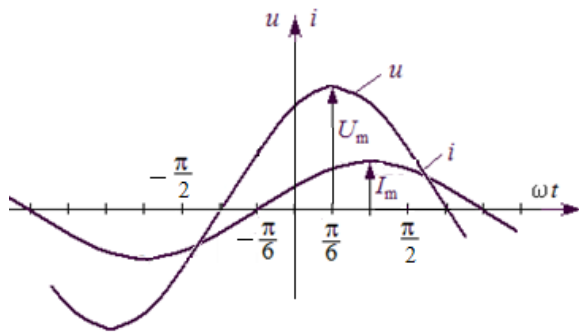
Задание 6.5

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} :

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

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

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

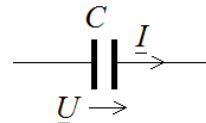
$$\underline{S} = P + jQ = -j400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

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



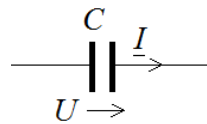
Здесь

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

Ответ:

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

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



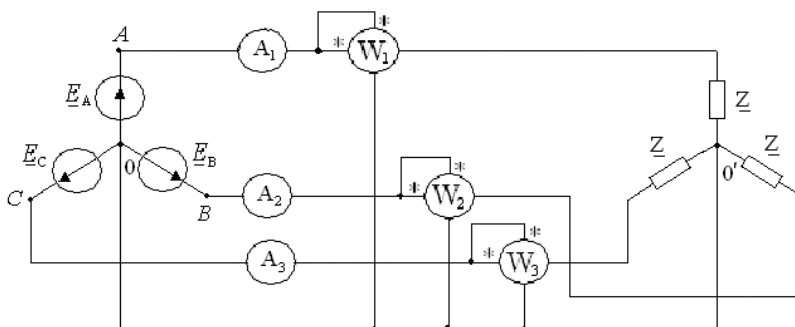
Задания экзаменационного билета №7 (5 баллов)

Задание 7.1

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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



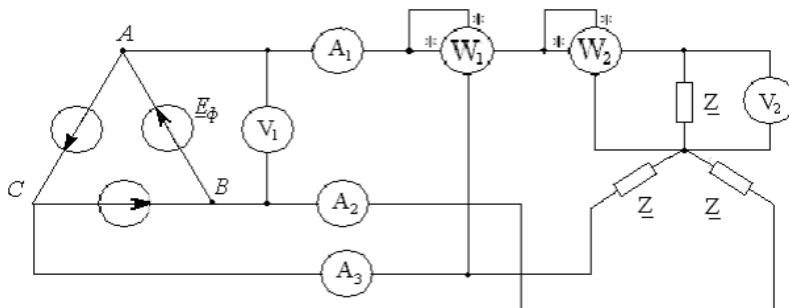
Определить показания всех приборов.

Задание 7.2

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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

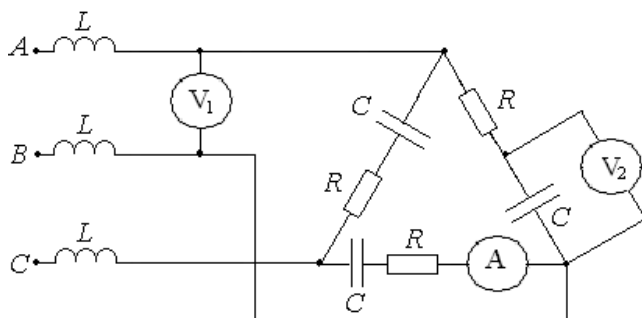


Задание 7.3

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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

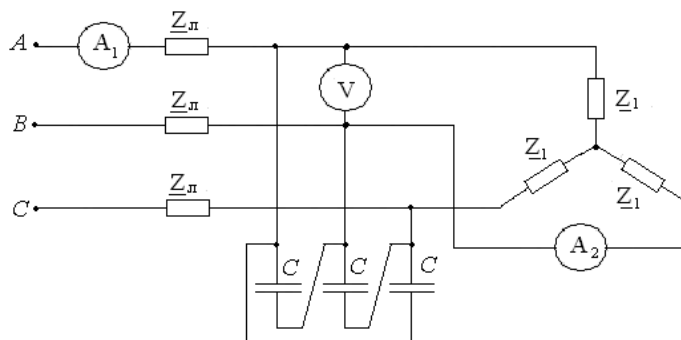


Задание 7.4

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: Линейное напряжение на входе трехфазной цепи $U_\text{л} = 380\ \text{В}$; $\underline{Z}_1 = 10 + j10\ \text{Ом}$, $1/\omega C = 50\ \text{Ом}$, $\underline{Z}_\text{л} = j2\ \text{Ом}$. Составить эквивалентную схему на одну фазу, рассчитать комплексные токи через амперметры и показания приборов.

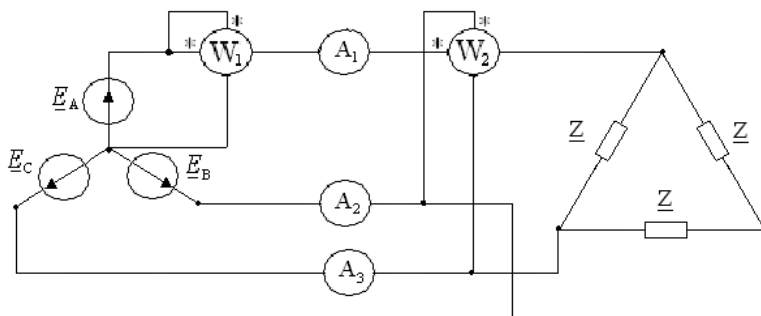


Задание 7.5

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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



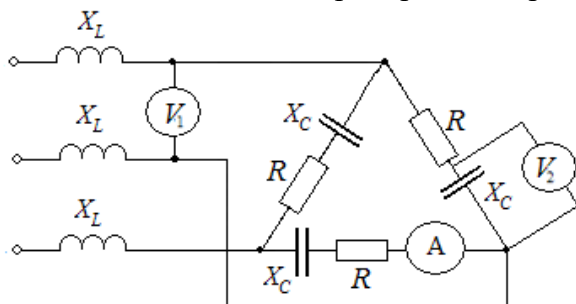
Задача 7-6

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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

Найти показания приборов электромагнитной системы.



Решение задания 7.6.

Преобразование симметричного треугольника в звезду даёт:

$R' = \frac{R}{3} = 2 \text{ Ом}$; $X_C' = \frac{X_C}{3} = 2 \text{ Ом}$. Линейный ток $I_{\text{л}} = \frac{U_A}{Z''} = \frac{120}{|j2 + 2 - j2|} = 60 \text{ А}$, фазный ток

треугольника нагрузки $I_{\phi} = \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{60}{\sqrt{3}} = 34,64 \text{ А}$. Показания приборов:

амперметра А $I = I_{\phi} = 34,64 \text{ А}$,

вольтметра V_1 $U_1 = \sqrt{R^2 + X_C^2} \cdot I_{\phi} = \sqrt{6^2 + 6^2} \cdot 34,64 = 293,93 \text{ В}$,

вольтметра V_2 $U_2 = X_C \cdot I_{\phi} = 6 \cdot 34,64 = 207,84 \text{ В}$.

Ответ: показания амперметра А: 34,6 ампер; вольтметров V_1 : 293,9 В, V_2 : 207,8 В.

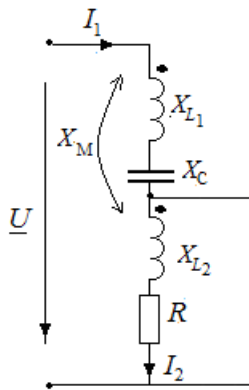
Задания экзаменационного билета №8 (5 баллов)

Задание 8.1

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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



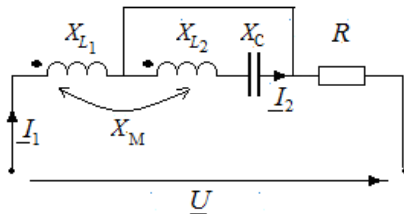
Определить X_C , при котором двухполюсник не потребляет реактивной мощности; входное сопротивление двухполюсника при найденном X_C .

Задание 8.2

Текст задания

Задание специальной части (простое)

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



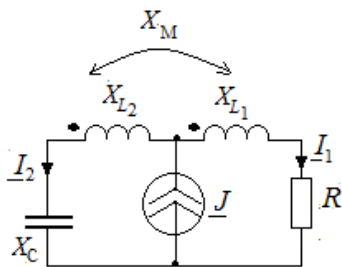
Определить X_{L2} , при котором цепь не потребляет активной мощности, **рассчитать** реактивную мощность цепи.

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.



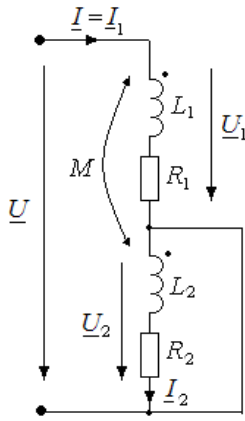
Определить X_C , при котором цепь не потребляет активной мощности, а также найти потребляемую реактивную мощность при этом X_C .

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.

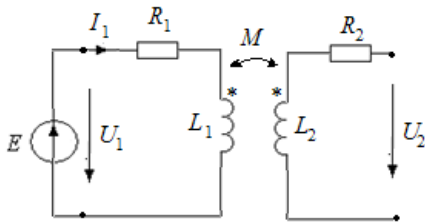
Задание 8.5

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

$$\underline{k}_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{2}(1 + j)$$



Найти сопротивление взаимной индукции.

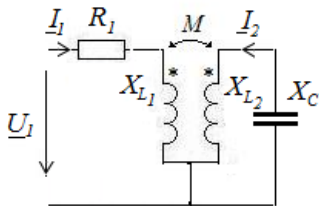
Задача 8-6

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

$$\begin{cases} (R_1 + jX_{L1})\underline{I}_1 + jX_M \underline{I}_2 = \underline{U}_1 \\ j(X_{L2} - X_C)\underline{I}_2 + jX_M \underline{I}_1 = 0 \end{cases}$$

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

$$\underline{I}_2 = \frac{U_1}{jX_M} = \frac{100}{j10} = -j10 \text{ А.}$$

3. Мощность элемента X_C :

$$Q_C = -I_2^2 X_C = -10^2 \cdot 20 = -2 \text{ квар.}$$

Ответ: $Q_C = -2$ квар.

Задания экзаменационного билета №9 (15 баллов)

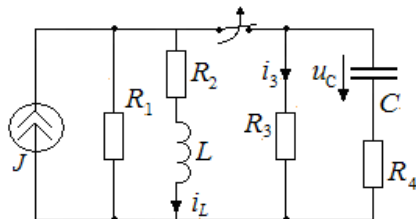
Задание 9.1

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: $J = 9 \text{ А}$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом}$,

$C = 0,5 \text{ мкФ}$, $L = 1 \text{ мГн}$.



Определить переходные токи i_L и i_3 .

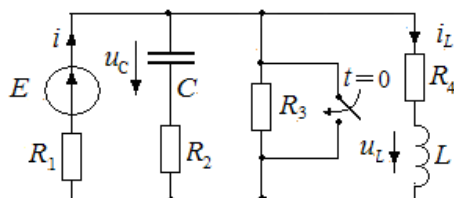
Задание 9.2

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = R_4 = 20 \text{ Ом}$,

$C = 0,5 \text{ мкФ}$, $L = 20 \text{ мГн}$, $E = 200 \text{ В}$.



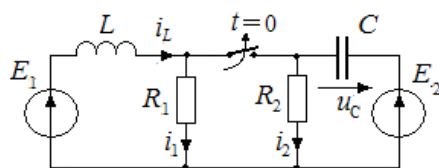
Определить переходное напряжение u_C и потери на тепло Q в резистивном элементе R_4 в переходном процессе.

Задание 9.3

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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



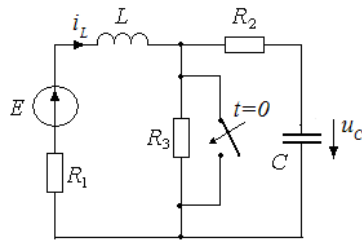
Определить переходные токи i_1 и i_2

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.



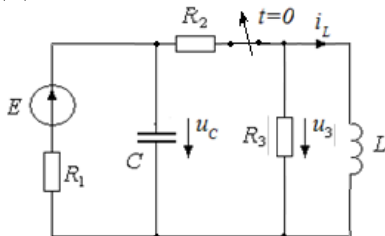
Определить переходные напряжения $u_C(t)$, $u_L(t)$.

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 $u_3(t)$

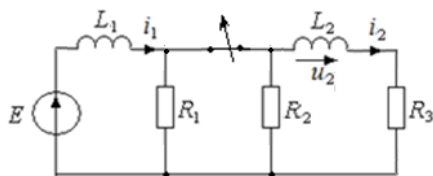
Задание 9.6

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.

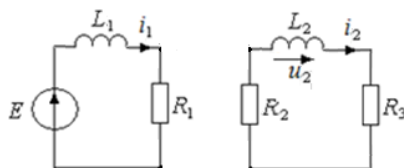
1. Находим независимые начальные условия (ННУ) и начальное условие $u_2(0_+)$.

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

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

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

2. Для установившегося режима подсчет получаем



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

$$u_2' = 0.$$

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

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

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

Окончательно имеем

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

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

Ответ:

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

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

Задания экзаменационного билета №10 (15 баллов)

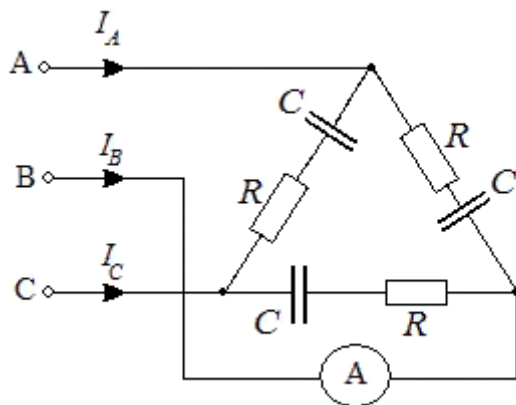
Задание 10.1

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.



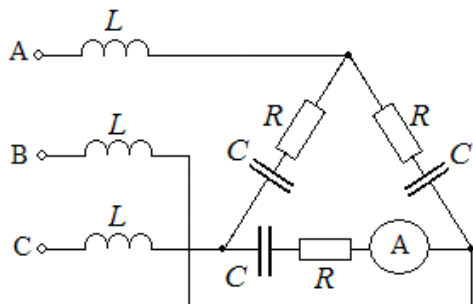
Задание 10.2

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.



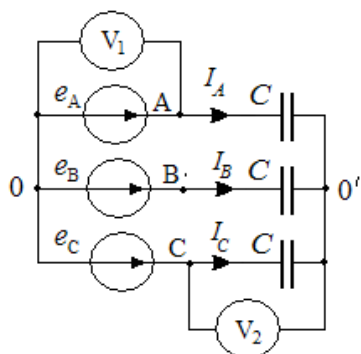
Задание 10.3

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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

Определить показания вольтметров электромагнитной системы.



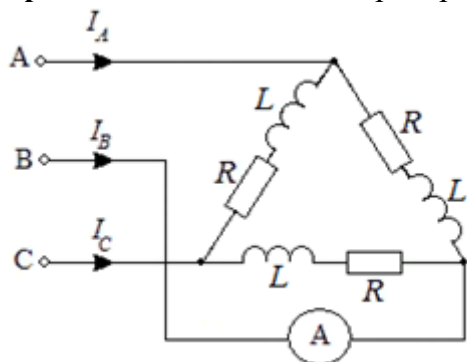
Задание 10.4

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



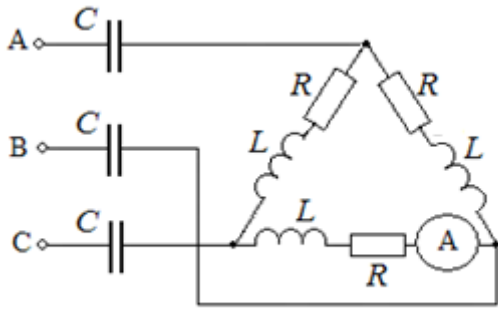
Задание 10.5

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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

Определить показание амперметра электромагнитной системы.



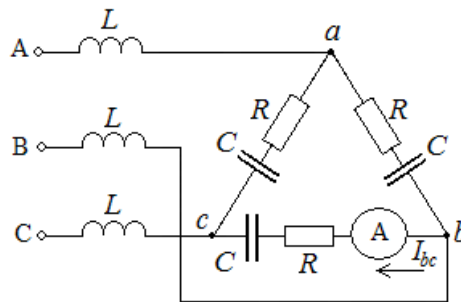
Задача 10.6.

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.



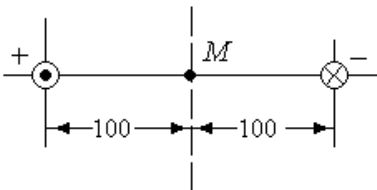
Ответ: 6,359 А.

Задания экзаменационного билета №11 (15 баллов)

Задание 11.1

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

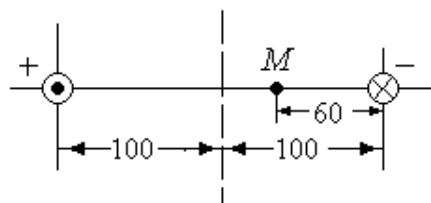


Дано: По двухпроводной линии, радиус проводов которой 5 мм, передается мощность 20 кВт при постоянном напряжении 400 В. На рисунке расстояния указаны в миллиметрах. Пренебрегая сопротивлением проводов, найти значение и направление вектора Пойнтинга в точке М. Объяснить, как изменится решение задачи, 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).

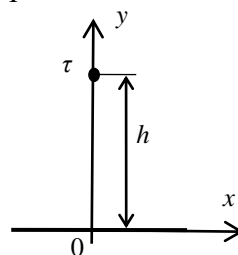
Задание 11.3

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, $y=0$.

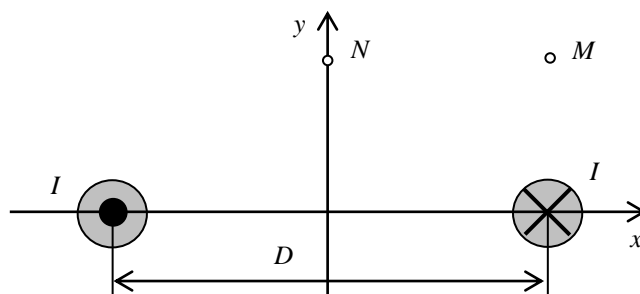


Задание 11.4

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 М и N. Координаты точек: $x_M=1$ м, $y_M=1$ м; $x_N=0$, $y_N=1$ м.



Задание 11.5

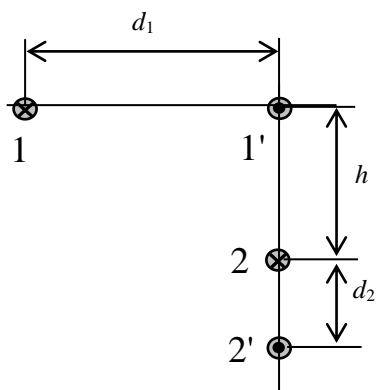
Текст задания

Задание специальной части (сложное)

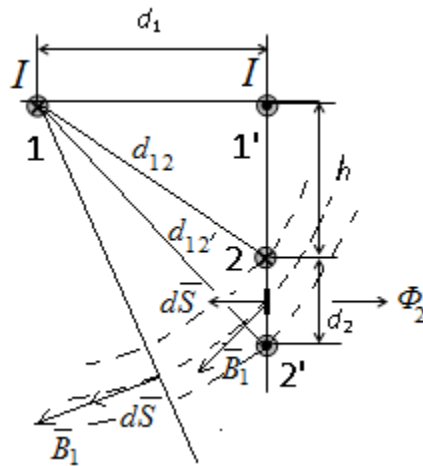
Дано: Расположение проводов двух двухпроводных линий указано на рис.

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

Принять всюду $\mu = \mu_0$.



Решение задания 11.5.



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 \vec{H}_1 связано с направлением тока I правилом правоходового винта. Магнитная индукция $B_1 = \mu H_1$.

Поток взаимной индукции

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

равен потоку в силовой трубке и может быть рассчитан

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

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

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

$$d_{12} = \sqrt{d_1^2 + h^2}, \quad d_{12'} = \sqrt{d_1^2 + (h + d_2)^2}, \quad d_{1'2} = h, \quad d_{1'2'} = h + d_2.$$

$$d_{12} = \sqrt{5^2 + 3^2} = 5,83 \text{ м}, \quad d_{12'} = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,071 \text{ м}, \quad d_{1'2} = 3 \text{ м}, \quad d_{1'2'} = 5 \text{ м}.$$

Взаимная индуктивность двух линий:

$$M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{d_{1'2} d_{12}}{d_{1'2'} d_{12'}} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{5,83 \cdot 5}{7,071 \cdot 3} = 0,6360 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}},$$

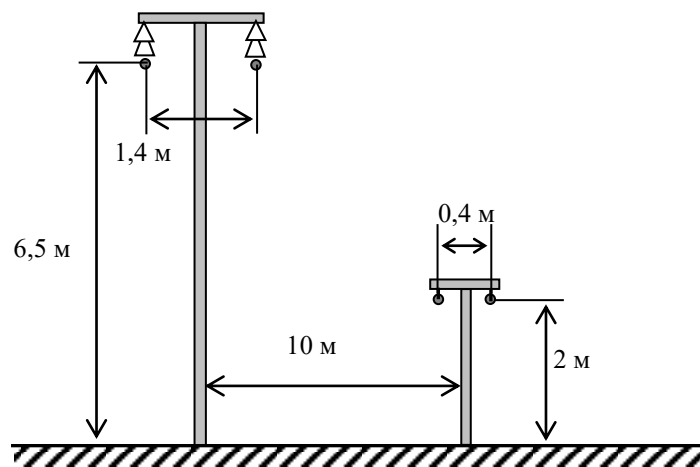
Ответ: $0,6360 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$.

Задание 11.6

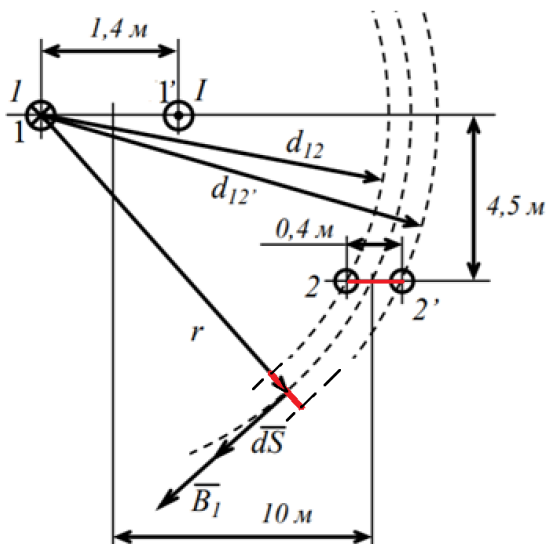
Текст задания

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 правого винта. Магнитная индукция $B_1 = \mu_0 H_1$.

Поток взаимной индукции на единицу длины

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

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

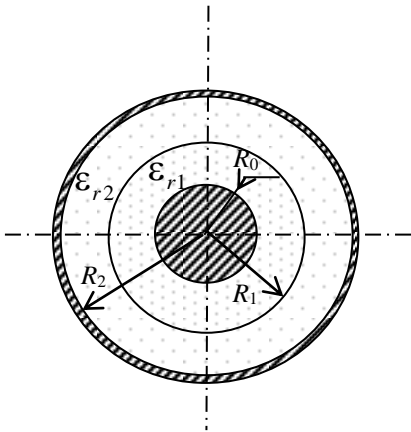
$$M = M_0 l = 0,0005936 \cdot 7000 = 4,155 \text{ мкГн}.$$

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: $\epsilon_{r1} = 1$; $\epsilon_{r2} = 3$. 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 (жила 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 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 $\oint_S \bar{D} d\bar{S} = D \cdot 2\pi r l = q$ или $D(r) = \frac{q}{2\pi r l} = \frac{\tau}{2\pi r}$, где $\tau = \frac{q}{l}$ - линейная плотность заряда. В однородной среде $D = \epsilon_r \epsilon_0 E$, 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 $R_0 \leq r \leq R_1$ $E_1(r) = \frac{D(r)}{\epsilon_{r1} \epsilon_0} = \frac{\tau}{2\pi \epsilon_{r1} \epsilon_0} \frac{1}{r}$;
- 2) во втором слое $R_1 \leq r \leq R_2$ $E_2(r) = \frac{D(r)}{\epsilon_{r2} \epsilon_0} = \frac{\tau}{2\pi \epsilon_{r2} \epsilon_0} \frac{1}{r}$.

Напряжение между жилой и оболочкой

$$U = \int_{R_0}^{R_1} E_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} E_2 dr = \int_{R_0}^{R_1} \frac{\tau}{2\pi \epsilon_{r1} \epsilon_0} \frac{1}{r} dr + \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau}{2\pi \epsilon_{r2} \epsilon_0} \frac{1}{r} dr = \frac{\tau}{2\pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Следовательно, емкость коаксиального двухслойного конденсатора на единицу длины $C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\left(\frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)}$. После подстановки численных значений

$$C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\left(\frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\left(\frac{1}{1} \ln \frac{8}{4} + \frac{1}{3} \ln \frac{16}{8} \right)} = 60,11 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м,}$$

где $\epsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Линейная плотность заряда $\tau = C_0 U = 60,11 \cdot 10^{-9}$ Кл/м.

$$\text{Тогда } E_1(r) = \frac{60,11 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 1 \cdot \epsilon_0} \frac{1}{r} = \frac{1082}{r} \text{ В/м, } E_2(r) = \frac{60,11 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 3 \cdot \epsilon_0} \frac{1}{r} = \frac{360,67}{r} \text{ В/м.}$$

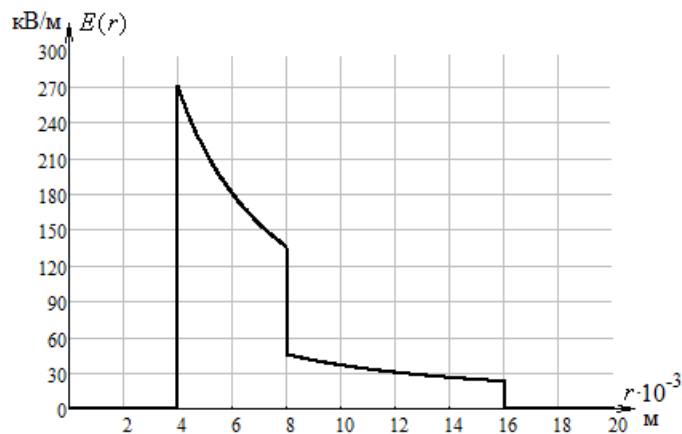
Ответ:

Ёмкость конденсатора на единицу длины $C_0 = 60,11 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

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

Для построения графика зависимости рассчитаем напряженность электрического поля

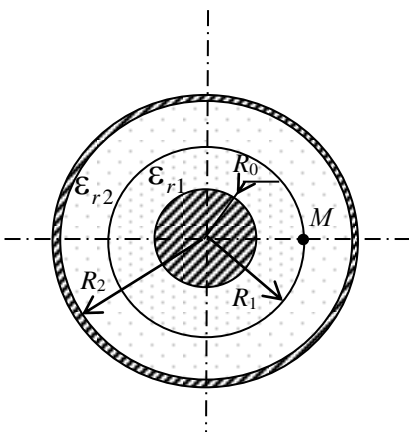
r , мм	4	8 (1 слой)	8 (2 слой)	16
E , кВ/м	270,5	135,25	45,08	22,54



Задание 11.2а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

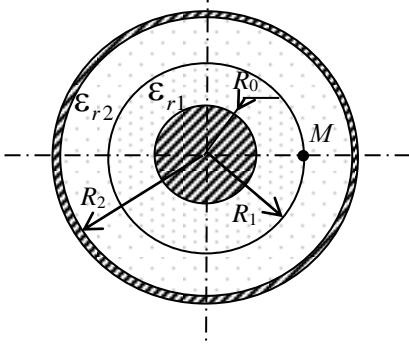


Дано: Цилиндрический конденсатор, где $R_0 = 4$ мм, $R_1 = 8$ мм, $R_2 = 16$ мм заполнен двухслойным диэлектриком: $\epsilon_{r1} = 4$; $\epsilon_{r2} = 2$. Определить емкость коаксиального конденсатора. Определить напряжение между жилой и оболочкой, если напряжение между точкой M (на границе, разделяющей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

Задание 11.3а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



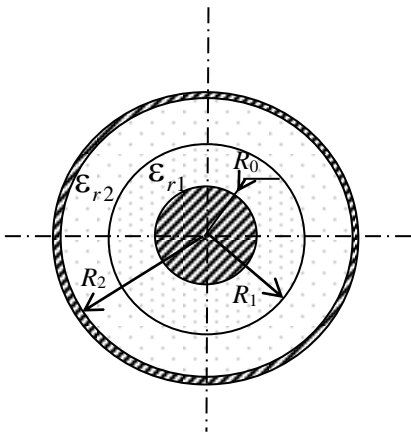
Дано: Цилиндрический конденсатор, где $R_0 = 4$ мм, $R_1 = 8$ мм, $R_2 = 16$ мм заполнен двухслойным диэлектриком: $\epsilon_{r1} = 2$; $\epsilon_{r2} = 4$. Определить емкость коаксиального

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)

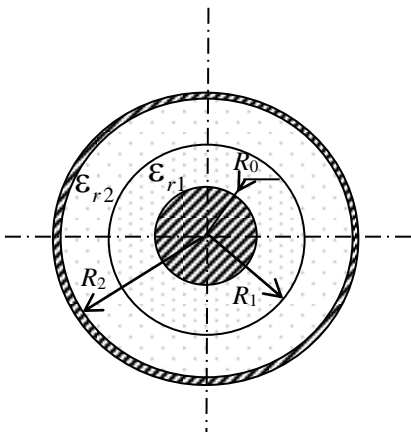


Дано: Цилиндрический конденсатор, где $R_0 = 2$ мм, $R_1 = 12$ мм, $R_2 = 16$ мм заполнен двухслойным диэлектриком: $\epsilon_{r1} = 4$; $\epsilon_{r2} = 2$. Определить емкость коаксиального конденсатора. Построить $E(r)$, где r - расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой $U =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

Задание 11.5а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

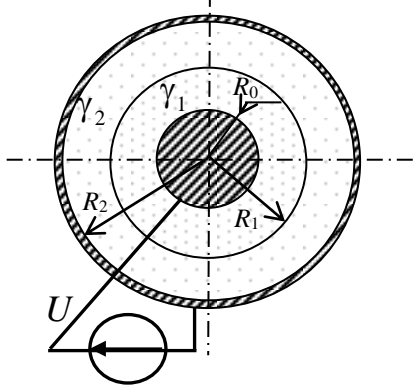


Дано: Цилиндрический конденсатор, где $R_0 = 2$ мм, $R_1 = 12$ мм, $R_2 = 16$ мм заполнен двухслойным диэлектриком: $\epsilon_{r1} = 6$; $\epsilon_{r2} = 3$. Определить емкость коаксиального конденсатора. Построить $E(r)$, где r - расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой $U =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

Задание 11.6а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



Дано: Определить ток утечки и проводимость 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 задания 11.6а: Для цилиндрического конденсатора, имеющего несовершенную изоляцию, ток утечки равномерно распределен по поверхности электродов (жила и оболочки). Стационарное электрическое 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 вектора плотности тока утечки постоянно на цилиндре радиуса r и вектор плотности тока утечки нормален к поверхности цилиндра. Ток утечки $I = \int_S \mathbf{J} ds$, S - поверхность 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 $J(r) = \frac{I}{2\pi l} = \frac{I_0}{2\pi r}$, где $I_0 = \frac{I}{l}$ - 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

$$U = \int_{R_0}^{R_1} \mathbf{E}_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} \mathbf{E}_2 dr = \int_{R_0}^{R_1} \frac{I_0}{2\pi\gamma_1} \frac{1}{r} dr + \int_{R_1}^{R_2} \frac{I_0}{2\pi\gamma_2} \frac{1}{r} dr = \frac{I_0}{2\pi} \left(\frac{1}{\gamma_1} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\gamma_2} \ln \frac{R_2}{R_1} \right).$$

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

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

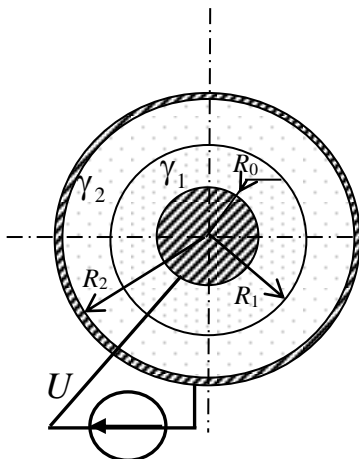
Ток утечки на единицу длины $I_0 = G_0 U = 3,624 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \approx 36,24 \cdot 10^{-6}$ А/м.

Ответ: $G_0 = 3,624 \cdot 10^{-7}$ См/м, $I_0 = 36,24 \cdot 10^{-6}$ А/м.

Задание 11.7а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

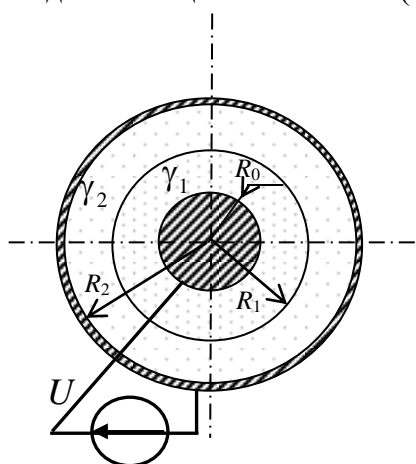


Дано: Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если $U = 100$ В, $R_0 = 5$ мм, $R_1 = 20$ мм, $R_2 = 40$ мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя $\gamma_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ См/м, второго слоя $\gamma_2 = 10^{-7}$ См/м.

Задание 11.8а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

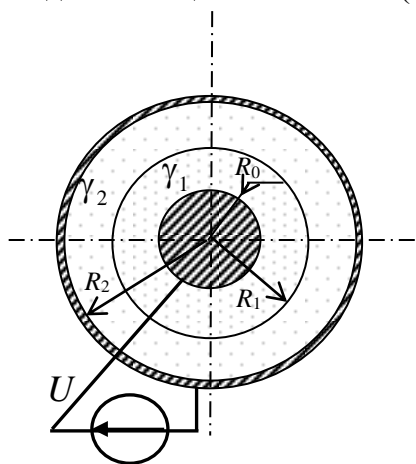


Дано: Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если $U = 500$ В, $R_0 = 10$ мм, $R_1 = 20$ мм, $R_2 = 40$ мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя $\gamma_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ См/м, второго слоя $\gamma_2 = 4 \cdot 10^{-7}$ См/м.

Задание 11.9а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

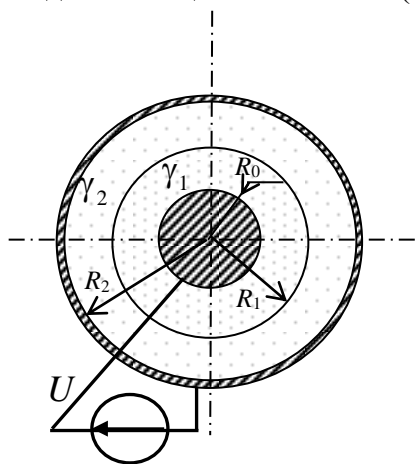


Дано: Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если $U = 500$ В, $R_0 = 5$ мм, $R_1 = 15$ мм, $R_2 = 25$ мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя $\gamma_1 = 10^{-8}$ См/м, второго слоя $\gamma_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ См/м.

Задание 11.10а

Текст задания

Задание специальной части (сложное)



Дано: Определить ток утечки и сопротивление изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины, если $U = 1500$ В, $R_0 = 10$ мм, $R_1 = 25$ мм, $R_2 = 40$ мм, удельная проводимость неидеальной изоляции первого слоя $\gamma_1 = 5 \cdot 10^{-8}$ См/м, второго слоя $\gamma_2 = 10^{-7}$ См/м.

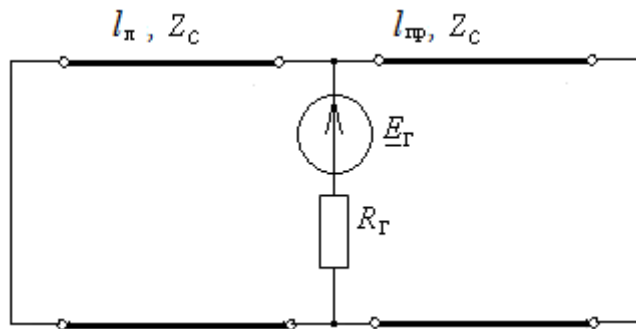
Задание 11.16

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 $Z_c = 400 \text{ Ом}$. На обоих концах линий произошло короткое замыкание. Построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если $\underline{E}_r = 100 \text{ В}$, $R_r = 200 \text{ Ом}$.

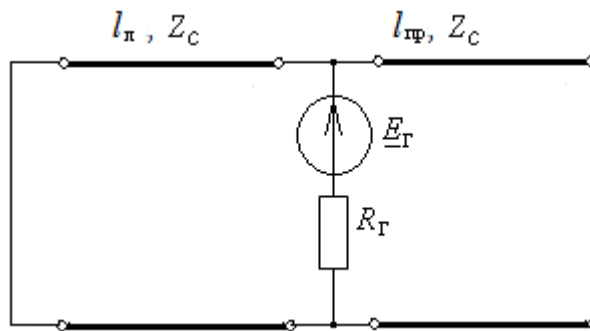


Задание 11.26

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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

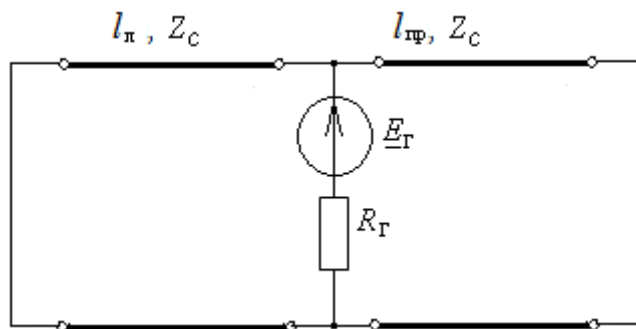


Задание 11.36

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

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

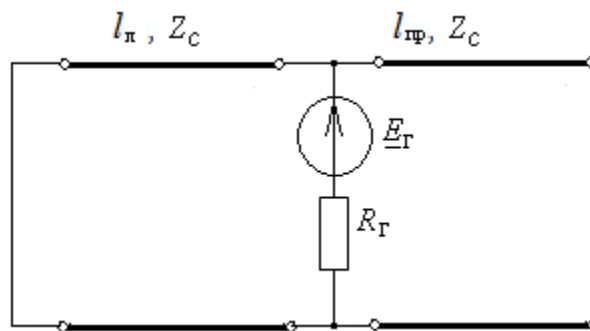


Задание 11.46

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: Длина линии левого участка $l_{л} = 3\lambda/4$, правого участка $l_{пр} = \lambda/2$. 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 $\underline{E}_Г = 100$ В, $R_Г = 200$ Ом.

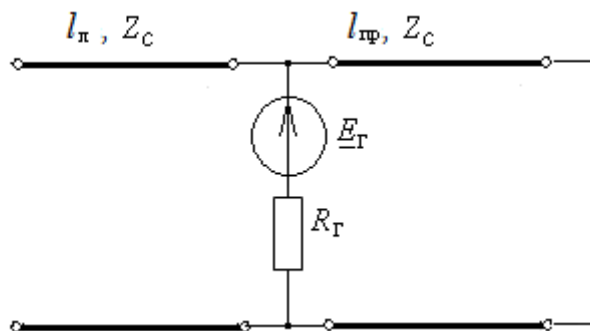


Задание 11.56

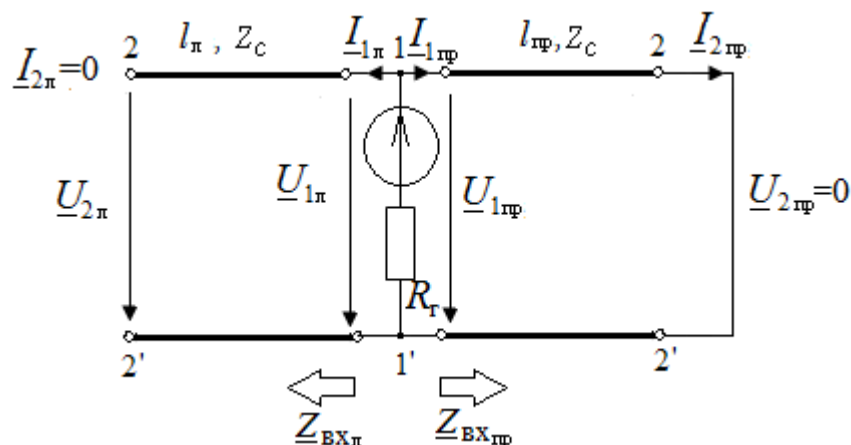
Текст задания

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 $\underline{E}_Г = 100$ В, $R_Г = 200$ 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.

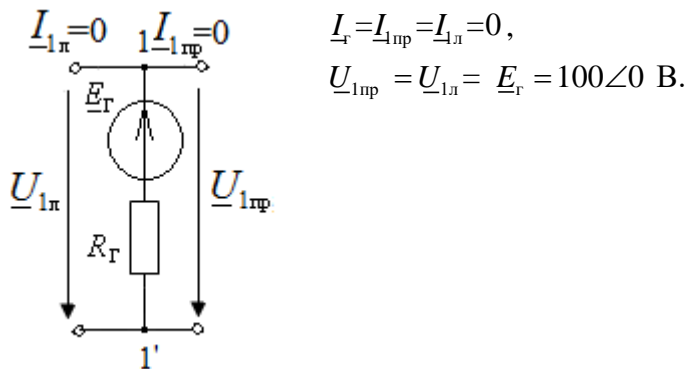


Определим входное сопротивление правой и левой линий относительно сечения 1-1':

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

б) $l_{\pi} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow Z_{\text{вхл}} = -jZ_c \operatorname{ctg} \beta \frac{\lambda}{2} = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi \lambda}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \infty$ Ом; в сечении 1-1' справа и слева узел тока $I_{1\text{пр}} = I_{1\text{л}} = 0$ и пучность напряжения;

Расчетная схема в сечении 1-1':



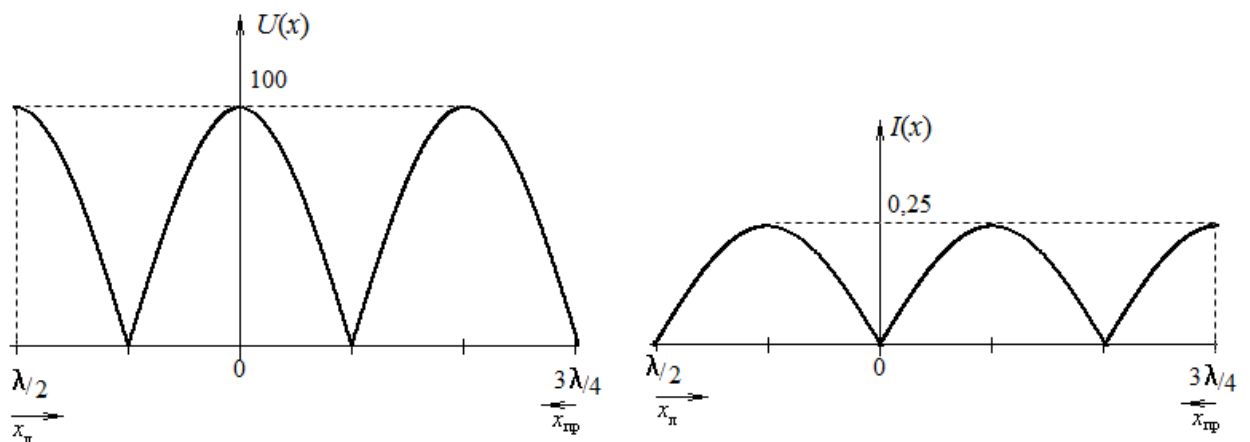
Для правой короткозамкнутой линии $I_{2\text{пр}}$ - пучность тока, пучность напряжения

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

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

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

Распределение действующего значения напряжения и тока:



Задание 11.66

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

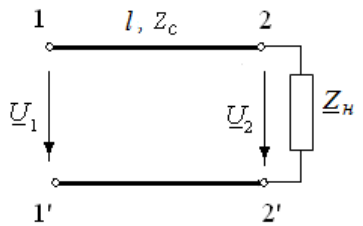
Дано: Воздушная линия без потерь с волновым сопротивлением $Z_c = 600$ Ом подключена к реактивной нагрузке. Длина линии $l = \lambda/2$, частота источника $f = 100$ МГц. Расстояние до первого узла напряжения $x_0 = 1,125$ м. Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего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

Решение:

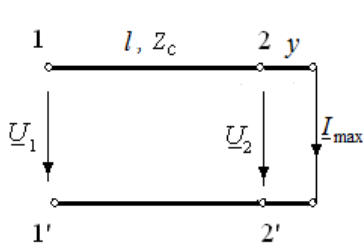
$$\text{Длина волны воздушной линии на заданной частоте } \lambda = \frac{v_{\phi}}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} = 3 \text{ м.}$$

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

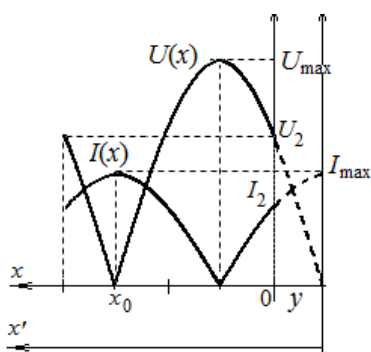
Заменяем нагрузку с сопротивлением $Z_H = jX$ отрезком линии длиной y , короткозамкнутой на конце, так чтобы режим в заданной линии не изменился. Условие эквивалентной замены $Z_{\text{вх}}(y) = jX$, следовательно, $jZ_c \text{tg}\beta y = jX$. В таком случае для линии длиной $l+y$ в конце будет наблюдаться 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 $X = Z_c \text{tg}\beta y = 600 \text{tg}45^\circ = 600 \text{ Ом}$. Для расчетов можно использовать уравнения короткозамкнутой линии, но с введением координаты $x' = x + y$:



$$I(x) = I_{\text{max}} \cos \beta(x+y), \quad I_{\text{max}} = \frac{I_2}{\cos \beta y}$$



Пучность тока $I_{\text{max}} = 2\sqrt{2} \approx 2,82 \text{ А}$, пучность напряжения $U_{\text{max}} = 1200 \text{ В}$.

Напряжение в начале линии

$$U_1 = U(l) = jZ_c I_{\text{max}} \sin \beta(x+y) = j600 \cdot 2\sqrt{2} \sin(180^\circ + 45^\circ) = -j1200 \text{ В},$$

ток в начале линии $I_1 = I(l) = I_{\text{max}} \cos \beta(x+y) = 2\sqrt{2} \cos(180^\circ + 45^\circ) = -2 = 2 \angle 180^\circ \text{ А}$.

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 $Z_c = 500 \text{ Ом}$, $v_{\text{ф}} = 250 \cdot 10^3 \text{ км/с}$, длиной $l = 62,5 \text{ км}$ измерено напряжение $U_2 = 100 \text{ В}$, частота $f = 2500 \text{ Гц}$. Сопротивление нагрузки линии $Z_H = -j\sqrt{3}Z_c$. Определить действующее значение напряжения и тока в начале линии. Построить распределение действующего значения $U(x)$ и $I(x)$ вдоль линии.

Задание 11.9б

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 $Z_n = j\sqrt{3}Z_c$. Определить действующее значение напряжения и тока в начале линии. Построить распределение действующего значения $U(x)$ и $I(x)$ вдоль линии.

Задание 11.10б

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 $f = 100 \text{ МГц}$. 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 $U_2 = 100 \text{ В}$.

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.