Институт
электроэнергетики

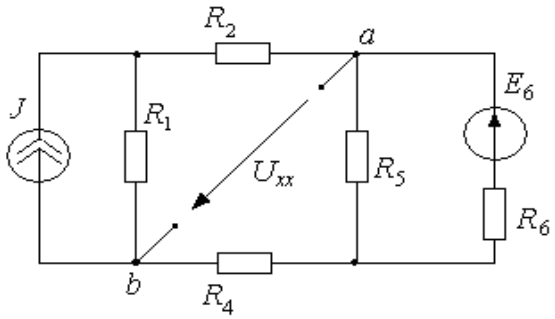
Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру

Базовая часть

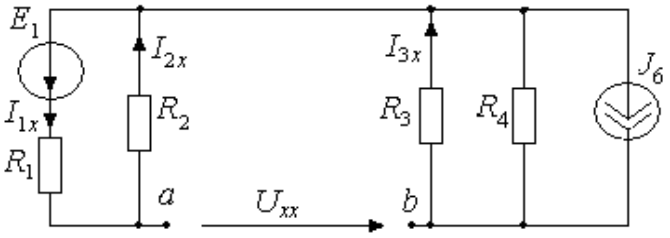
Задания экзаменационного билета №1 (6 баллов)

Задание 1.1
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: J=10 А, R_1=5 Ом, R_2=3 Ом, R_4=2 Ом, R_5=12 Ом, R_6=12 Ом, E_6=36 В



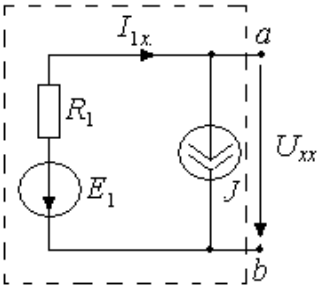
Определить параметры активного двухполюсника ($U_{xx} = U_{ab}$, $R_{вх}$) относительно узлов *a, b*
Ответ: U_{xx}=34 В, $R_{вх}$=4 Ом

Задание 1.2
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: R_1 = 6 Ом, R_2 = 6 Ом, R_3 = 12 Ом, R_4 = 4 Ом, E_1 = 24 В, J_6= 2 А



Определить параметры активного двухполюсника ($U_{xx} = U_{ab}$, $R_{вх}$) относительно узлов *a, b*
Ответ: U_{xx}=6 В, $R_{вх}$=6 Ом

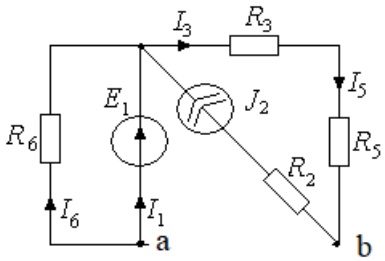
Задание 1.3
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: R_1 = 2 Ом, E_1 = 20 В, J= 6 А



Определить параметры активного двухполюсника ($U_{xx} = U_{ab}$, $R_{вх}$) относительно узлов *a, b*

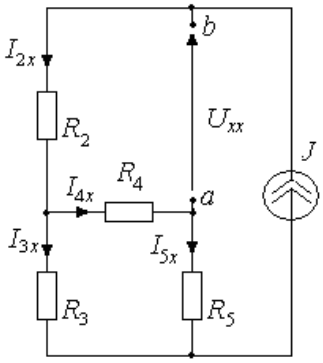
Ответ: U_{xx}= −32 В, $R_{вх}$=2 Ом

Задание 1.4
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: R_2 = 6 Ом, R_3 = 6 Ом, R_5 = 12 Ом, R_6 = 4 Ом, E_1 = 24 В, J_2= 2 А



Определить параметры активного двухполюсника ($U_{xx} = U_{ab}$, $R_{вх}$) относительно узлов *a,b*
Ответ: U_{xx}= U_{ab} =12 В, $R_{вх}$=18 Ом

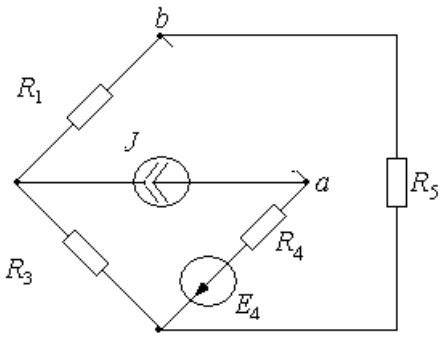
Задание 1.5
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: R_2 = 4 Ом, R_5 = 6 Ом,
R_3 = 12 Ом, R_4 = 6 Ом, J= 2 А



Определить параметры активного двухполюсника (U_{xx}, $R_{вх}$) относительно узлов *a, b*

Ответ: U_{xx}= −14 В, $R_{вх}$=8,5 Ом

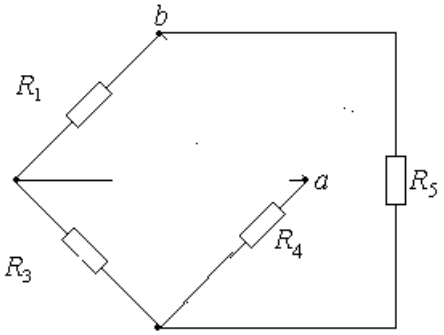
Задание 1.6
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: R_1 = 4 Ом, R_3 = 4 Ом, R_4 = 5 Ом, R_5 = 8 Ом, E_4 = 13 В, J = 3 А



Определить параметры активного двухполюсника (U_{xx}= U_{ab}, $R_{вх}$) относительно узлов *a*,*b*
Решение задания 1.6.
Рассчитаем U_{xx}= U_{ab}

$$U_{xx} = U_{ab} = -J\frac{R_3}{R_1+R_3+R_5}R_5 - E - JR_4 = -3\frac{4}{4+4+8}8 - 13 - 3*5 = -34\,\text{В}.$$

Нарисуем схему для расчета $R_{вх}$

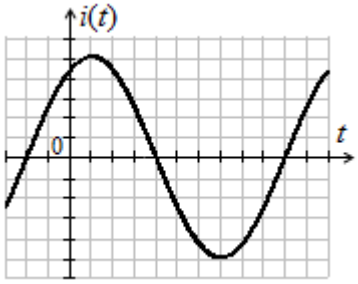


$$R_{вх} = \frac{(R_1+R_3)R_5}{R_1+R_3+R_5} + R_4 = \frac{(4+4)8}{4+4+8} + 5 = 9\,\text{Ом}.$$

Ответ: U_{xx}= –34 В, $R_{вх}$= 9 Ом

Задания экзаменационного билета №2 (6 баллов)

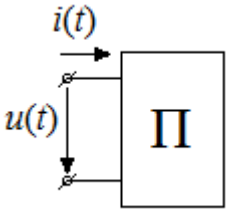
Задание 2.1
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: На рисунке приведена кривая мгновенного значения тока линейного пассивного двухполюсника, амплитуда тока $I_m = 20\sqrt{2}$ А . Активная и реактивная мощности линейного пассивного двухполюсника P = 1 кВт, Q = 1 кВар.



Определить мгновенное значение входного напряжения двухполюсника.

Ответ: $u(t) = 100\sin(\omega t + 105°)$ В

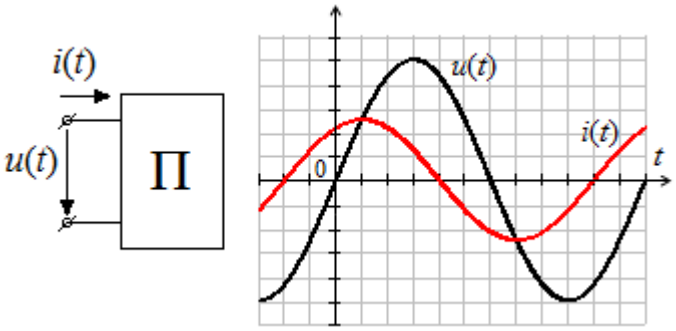
Задание 2.2
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: Известны мгновенные значения напряжения и тока: $u(t) = 300\sqrt{2}\sin(314t + 75°)$ В, $i(t) = 20\sqrt{2}\sin(314t + 30°)$ А.



Определить комплексную мощность двухполюсника и параметры *R, L* последовательной схемы замещения двухполюсника.

Ответ: $\underline{S} = 6000\angle 45°$ ВА, $R = 10,61$ Ом, $L = 33,8$ мГн

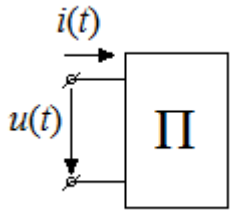
Задание 2.3
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: На рисунке приведены кривые мгновенных значений напряжения и тока пассивного двухполюсника (П), амплитуды синусоидального напряжения и тока $U_m = 127\sqrt{2}$ В, $I_m = 10\sqrt{2}$ А.



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

Ответ: $\underline{Z} = 12,7\angle 60° = 6,35 + j11$ Ом, $\underline{S} = 1270\angle 60°$ ВА, $P = 635$ Вт, $Q = 1100$ Вар

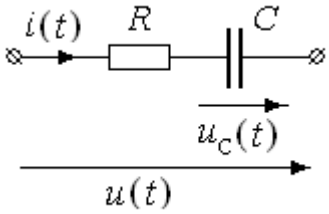
Задание 2.4
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: Известны мгновенные значения напряжения и тока: $u(t) = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 60°)$ В,
$i(t) = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 120°)$ А.



Определить активную, реактивную, полную и комплексную мощности двухполюсника.

Ответ: $P = 500$ Вт, $Q = -866$ Вар, $S = 1000$ ВА, $\underline{S} = 1000\angle -60°$ ВА

Задание 2.5
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано: В пассивном двухполюснике с последовательным соединением $R = 10$ Ом и $C = 318$ мкФ (см. рисунок) мгновенное значение напряжения на емкостном элементе $u_C(t) = 50\sin 314t$ В.

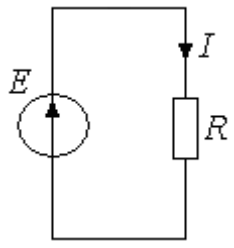


Определить мгновенную и активную мощности двухполюсника.

Ответ: $p(t) = 50\sqrt{2}\sin(\omega t + 45°)\cdot 5\sin(\omega t + 90°) = 125 - 125\sqrt{2}\sin(2\omega t + 135°)$ Вт, $P = 125$ Вт

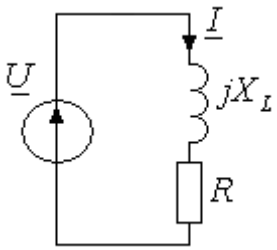
Задание 2.6
Текст задания
Задание базовой части (простое)
Дано:
Неидеальная катушка подключается сначала к источнику постоянного напряжения 100 В, а затем к источнику синусоидального напряжения частотой 50 Гц с действующим значением 100 В. В первом случае ток равен 5 А, во втором 4 А.
Определить индуктивное сопротивление и индуктивность катушки. Активное сопротивление катушки считать равным ее сопротивлению постоянному току.

Решение задания 2.6. Расчетная схема с источником постоянного напряжения имеет вид ($u_L = 0$):



Следовательно, активное сопротивление катушки $R = \frac{E}{I} = \frac{100}{5} = 20$ Ом.

Комплексная расчетная схема с источником синусоидального напряжения $u = 100\sqrt{2}\sin\omega t$ В ($\omega = 2\pi f = 314$ рад/с) имеет вид:



Комплексные действующие значения напряжения и тока, комплексное сопротивление:

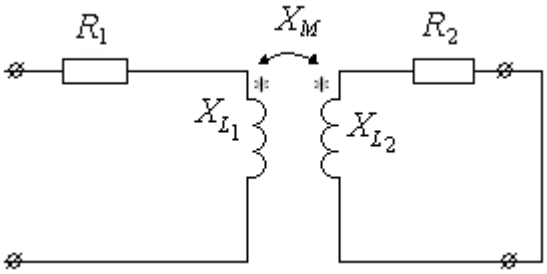
$$\underline{U} = 100\angle 0 \text{ В}, \ \underline{I} = 4\angle\varphi_i \text{ А}, \quad \underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + jX_L = Z\angle(\varphi_u - \varphi_i).$$

В свою очередь, $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \frac{U}{I} = \frac{100}{4} = 25$ Ом, индуктивное сопротивление $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{25^2 - 20^2} = 15$ Ом, индуктивность $L = \frac{X_L}{\omega} = 47{,}8$ мГн.

Ответ: $X_L = \omega L = 15$ Ом, $L = 47{,}8$ мГн.

Задания экзаменационного билета №3 (14 баллов)

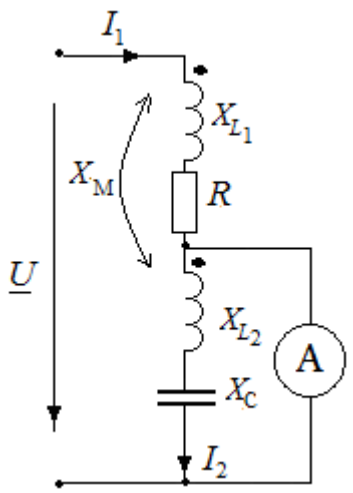
Задание 3.1
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $R_1 = 60$ Ом, $X_{L_1} = 60$ Ом, $R_2 = 90$ Ом, $X_{L_2} = 45$ Ом, $k_{св} = 0{,}5$.



Определить входное сопротивление воздушного трансформатора, вносимое сопротивление из вторичной цепи в первичную.

Ответ: $\underline{Z}_{вх} = 87{,}21\angle 40{,}8° = 66 + j57$ Ом, $\underline{Z}_{внос} = 6{,}71\angle -26{,}6° = 6 - j3$ Ом

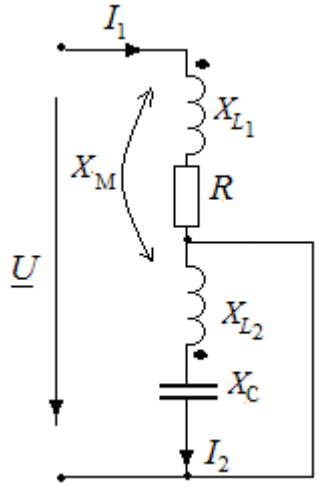
Задание 3.2
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $R = 25$ Ом, $X_{L_1} = 20$ Ом, $X_{L_2} = 20$ Ом, $X_C = 40$ Ом, $X_M = 10$ Ом. Показание амперметра 1 А.



Определить комплекс входного напряжения $\underline{U}$.

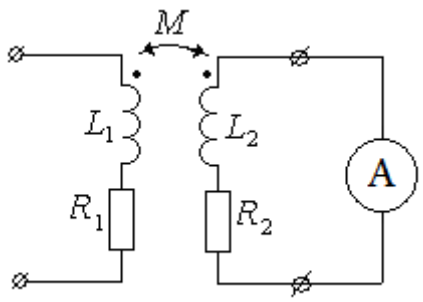
Ответ: $\underline{U} = 50 + j50 = 50\sqrt{2}\angle 45° = 70,7\angle 45°$ В

Задание 3.3
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $R = 15$ Ом, $X_{L_1} = 20$ Ом, $X_{L_2} = 40$ Ом, $X_C = 20$ Ом, $X_M = 10$ Ом.



Определить комплексное входное сопротивление двухполюсника
Ответ: $\underline{Z}_{вх} = 15 + j5 = 15\sqrt{2}\angle 45° = 21,21\angle 45°$ Ом

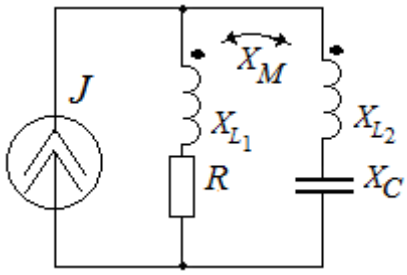
Задание 3.4
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $\omega L_1 = 100$ Ом, $\omega L_2 = 400$ Ом, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 80$ Ом, $k_{св} = 0,5$. Показание амперметра 0,1 А.



Определить комплексы тока и напряжения первичной цепи трансформатора.

Ответ: $\underline{U}_1 = -160 - j284 = 325{,}97\angle -119{,}4°$ В, $\underline{I}_1 = -4 - j0{,}8 = 4{,}08\angle 168{,}7°$ А

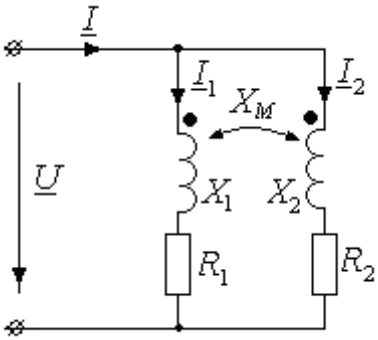
Задание 3.5
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $R = 10$ Ом, $X_{L_1} = 20$ Ом, $X_{L_2} = 40$ Ом, $X_C = 20$ Ом, $X_M = 10$ Ом. Ток источника тока $J = 4$ А.



Определить активную мощность источника тока.

Ответ: P=31,89 Вт

Задание 3.6
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: $\underline{U} = 100\angle 0^\circ$ В, X_1=12 Ом, X_2=8 Ом, R_1=9 Ом, R_2=6 Ом, X_M=7 Ом. Рассчитать комплексные токи ветвей и активную мощность источника.



Решение задания 3.6.
1. Запишем систему уравнений по второму закону Кирхгофа для двух контуров цепи с учетом напряжения взаимоиндукции:

$$(R_1 + jX_1)\underline{I}_1 + jX_M\underline{I}_2 = \underline{U} \quad \Rightarrow \quad (9 + j12)\underline{I}_1 + j7\underline{I}_2 = 100$$
$$jX_M\underline{I}_1 + (R_2 + jX_2)\underline{I}_2 = \underline{U} \quad \Rightarrow \quad j7\underline{I}_1 + (6 + j8)\underline{I}_2 = 100$$

2. Решаем систему уравнений, определяем комплексные токи:

$\underline{I}_1 = 0,91 - j4,15 = 4,25\angle -77,7°$ А,

$\underline{I}_2 = 3,77 - j6,08 = 7,15\angle -58,2°$ А,

$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 4,67 - j10,23 = 11,25\angle -65,4°$ А.

3. Активная мощность источника $P = UI\cos(\varphi_u - \varphi_i) = 100 \cdot 11,25\cos(65,4°)$=468,3 Вт.

Ответ: $\underline{I}_1 = 4,25\angle -77,7°$ А, $\underline{I}_2 = 7,15\angle -58,2°$ А, $\underline{I} = 11,25\angle -65,4°$ А, активная мощность источника 468,3 Вт.

Задания экзаменационного билета №4 (14 баллов)

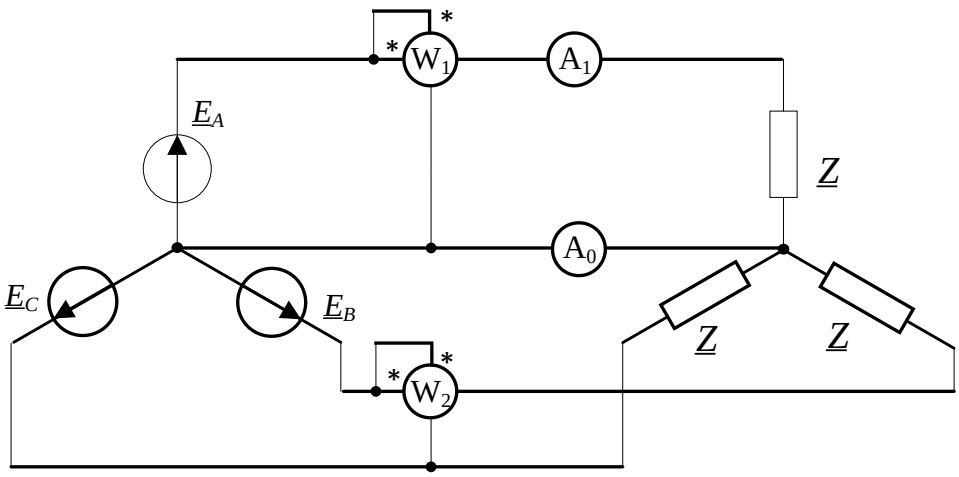
Задание 4.1

Текст задания

Задание базовой части (сложное)

Дано: Линейное напряжение трехфазного источника $U_л = 380$ В, комплексное сопротивление симметричной нагрузки $\underline{Z} = 8 + j6$ Ом.

Определить показания всех приборов. Составить баланс активной мощности трехфазной цепи.



Ответ: $A_1 = I_A = 22$ А, $A_0 = I_N = 0$, $P_{W_1} = 3870,5$ Вт, $P_{W_2} = 3280$ Вт, $P_{ист} = 11611,4$ Вт, $P_н = 11616$ Вт, $P_{ист} \cong P_н$

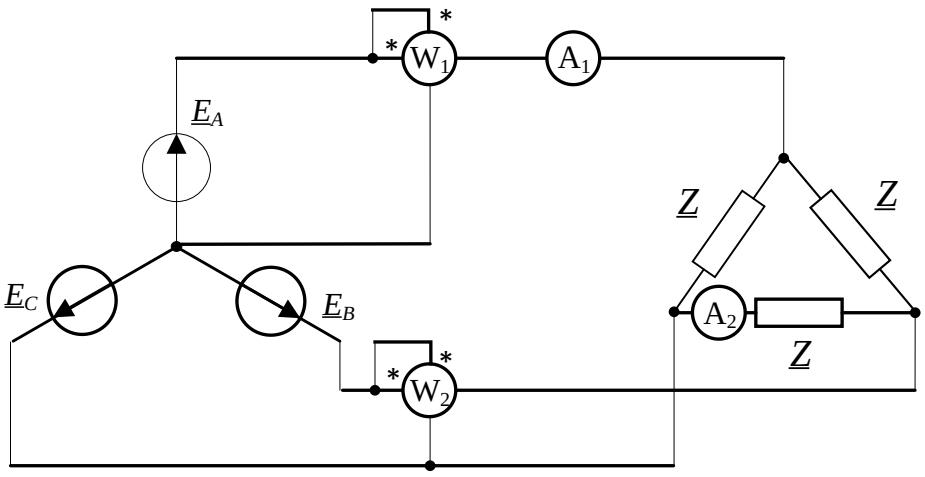
Задание 4.2

Текст задания

Задание базовой части (сложное)

Дано: Фазная ЭДС в трехфазной цепи $E_ф$ = 100 В, комплексное сопротивление симметричной нагрузки $\underline{Z} = 15 + j15$ Ом.

Определить показания всех приборов. Составить баланс активной мощности трехфазной цепи.



Ответ: $A_1 = I_A = 14{,}13$ А, $A_2 = I_{BC} = 8{,}16$ А, $P_{W_1} = 1000$ Вт, $P_{W_2} = 632{,}68$ Вт, $P_{ист} = 2997$ Вт, $P_н = 2996$ Вт, $P_{ист} \cong P_н$

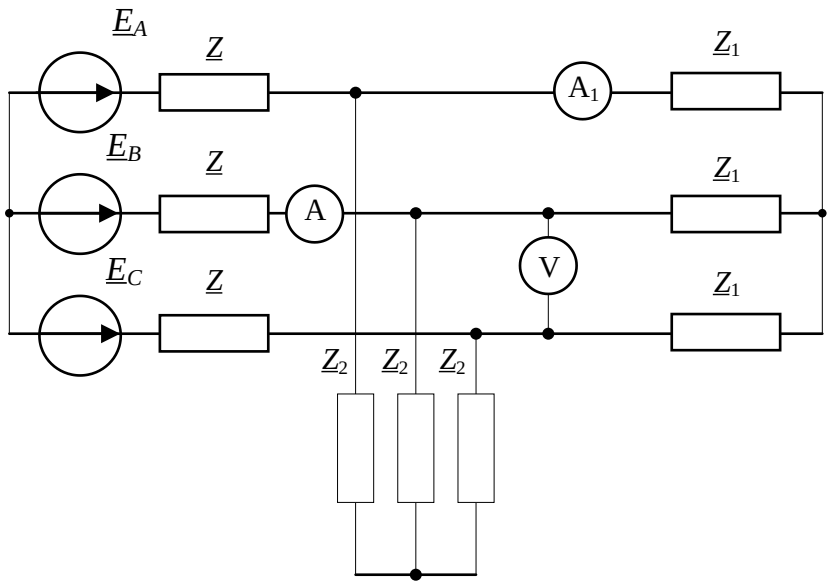
Задание 4.3

Текст задания

Задание базовой части (сложное)

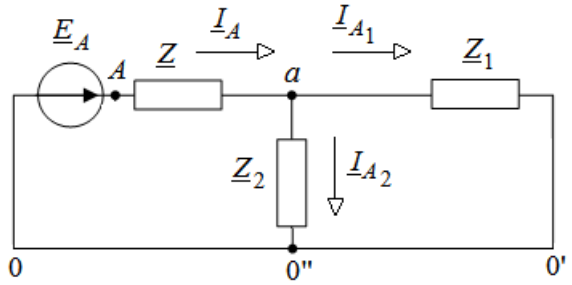
Дано: Линейное напряжение трехфазного источника $U_л = 380$ В; $\underline{Z}_1 = 10 + j10$ Ом $\underline{Z}_2 = -j10$ Ом, $\underline{Z} = 5$ Ом.

Составить эквивалентную схему на одну фазу и **определить** показания всех приборов.

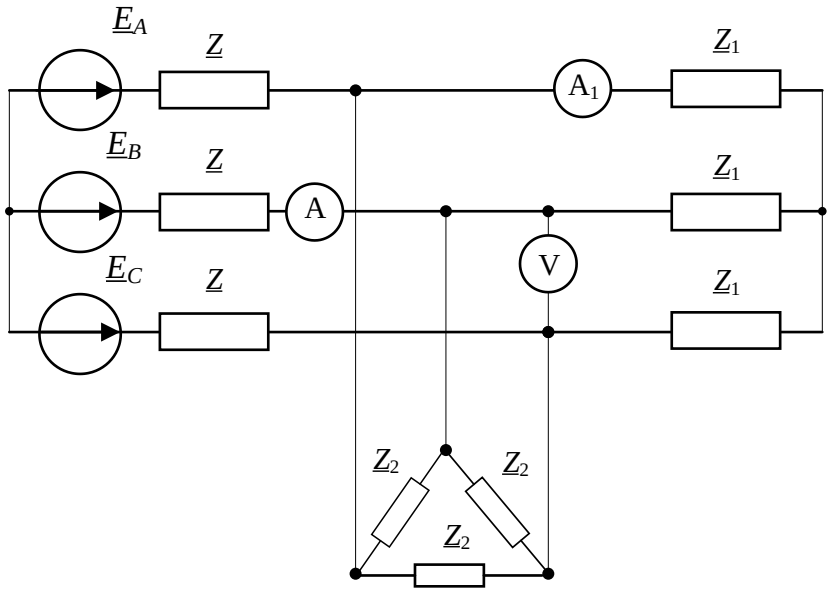


Ответ: $A = I_B = 12{,}2$ А, $A_1 = I_{A_1} = 10{,}06$ А, $V = U_{bc} = 246{,}37$ В

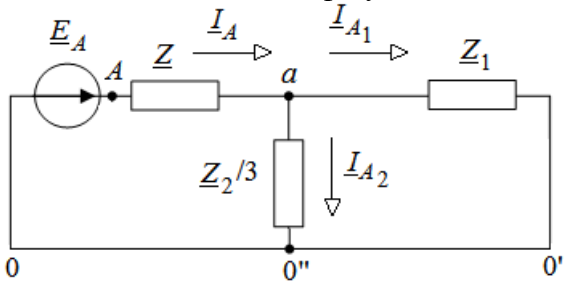
Эквивалентная схема на фазу А



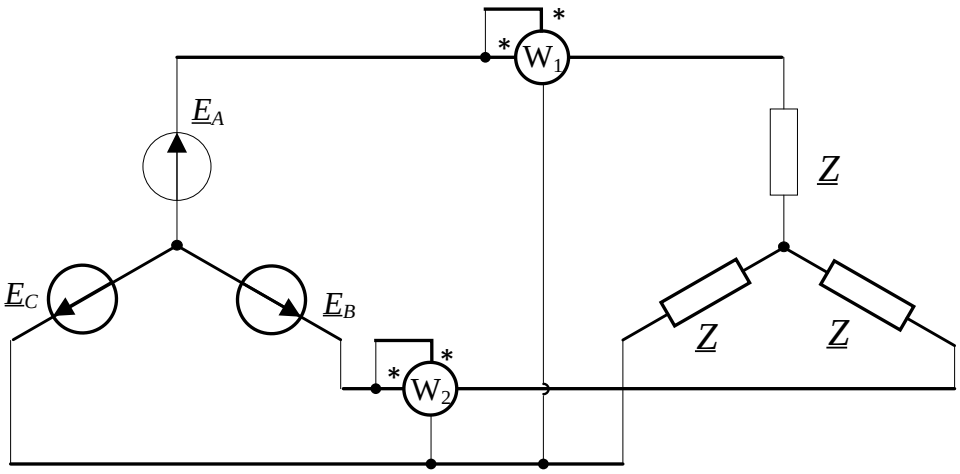
Задание 4.4
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: Линейное напряжение трехфазного источника $U_л = 380$ В; $\underline{Z}_1 = 10 + j10$ Ом $\underline{Z}_2 = 30 - j30$ Ом, $\underline{Z} = 5$ Ом.
Составить эквивалентную схему на одну фазу и **определить** показания всех приборов.



Ответ: $A = I_B = 14,67$ А, $A_1 = I_{A_1} = 10,37$ А, $V = U_{bc} = 253,71$ В
Эквивалентная схема на фазу А



Задание 4.5
Текст задания
Задание базовой части (сложное)
Дано: Линейное напряжение трехфазного источника $U_л = 380$ В, показания ваттметров $P_{W_1} = 1800$ Вт и $P_{W_2} = 600$ Вт.



Определить комплексное сопротивление симметричной нагрузки.

Ответ: $\underline{Z} = 45,44\angle 41° = 34,46 + j29,96$ Ом

Задание 4.6

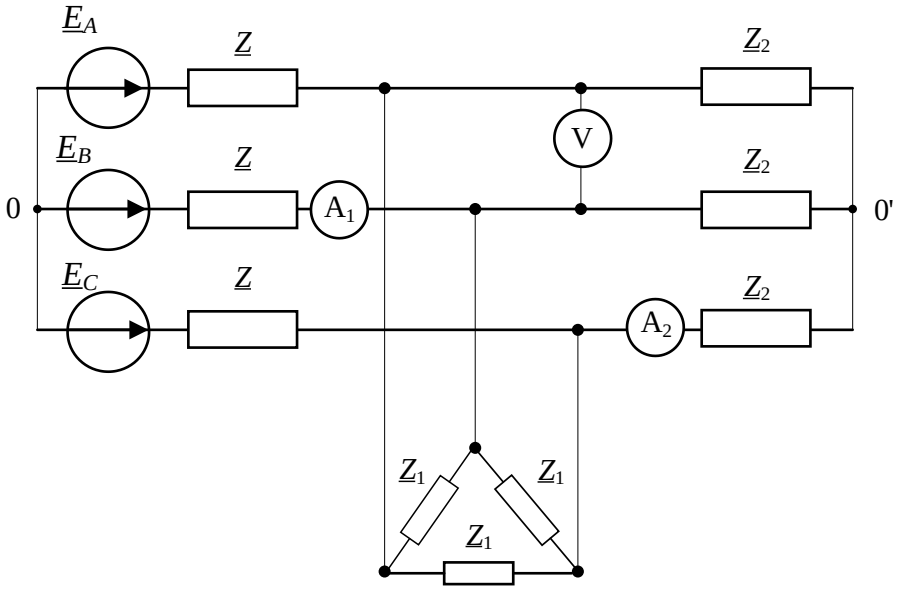
Текст задания

Задание базовой части (сложное)

Дано: Линейное напряжение трехфазного источника $U_л = 380$ В, $\underline{Z}_1 = -j54$ Ом

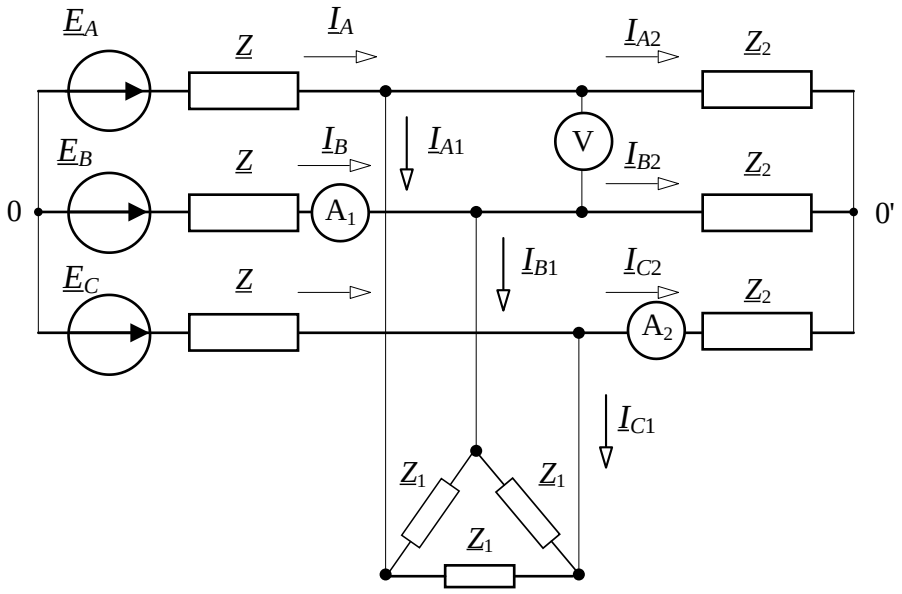
$\underline{Z}_2 = 10 + j8$ Ом, $\underline{Z} = j1,8$ Ом.

Составить эквивалентную схему на одну фазу, рассчитать комплексные токи через амперметры и показания приборов.



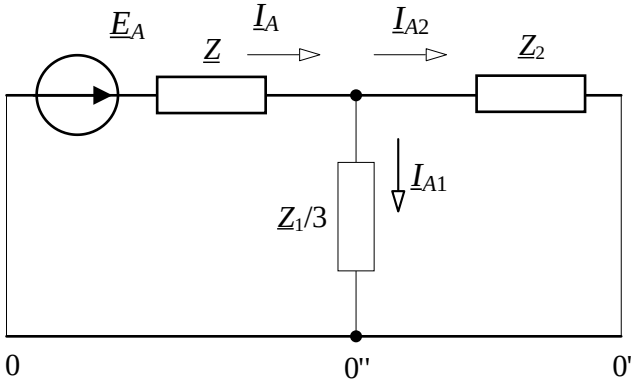
Решение задания 4.6.

Обозначим токи в ветвях трехфазной цепи.



Преобразуем «треугольник» нагрузки в эквивалентную «звезду», $\underline{Z}_1' = \dfrac{\underline{Z}_1}{3} = -j18$ Ом. Потенциал нулевой точки эквивалентной "звезды" будет равен потенциалам нулевых точек источника и нагрузки с соединением фаз "звездой" ($\underline{\varphi}_0 = \underline{\varphi}_{0'} = \underline{\varphi}_{0''}$). В силу симметрии источника и нагрузки расчет токов в линии можно вести по одной фазе.

После преобразования эквивалентная расчетная схема на фазу А имеет вид :



Фазное напряжение: $\underline{U}_A = U_ф\angle 0° = \dfrac{U_л}{\sqrt{3}}\angle 0° = \dfrac{380}{\sqrt{3}}\angle 0° = 220\angle 0°$ В.

Линейный ток фазы A:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z} + \dfrac{\underline{Z}_1'\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1' + \underline{Z}_2}} = \frac{220\angle 0°}{j1,8 + \dfrac{(-j18)(10+j8)}{-j18+10+j8}} = \frac{220}{j1,8+16,2-j1,8} = 13,58 \text{ А},$$ в силу симметрии

$\underline{I}_B = \underline{I}_A \cdot 1\angle -120^\circ = 13,58\angle -120^\circ$ А.

Ток в фазе приемника $\underline{Z}_2$:

$$\underline{I}_{A2} = \underline{I}_A \frac{\underline{Z}_1'}{\underline{Z}_1' + \underline{Z}_2} = 13,58\frac{(-j18)}{10+j8-j18} = 12,26 - j12,26 = 17,28\angle -45^\circ \text{ А},$$ в силу симметрии

$\underline{I}_{C2} = \underline{I}_{A2} \cdot 1\angle 120^\circ = 17,28\angle 75^\circ$ А. Показания амперметров равны 13,58 А и 17,28 А.

Определим показание вольтметра:

$$\underline{U}_V = -\underline{I}_A \cdot \underline{Z} + \underline{U}_{AB} + \underline{I}_B \cdot \underline{Z} = -13,58(j1,8) + 380\angle 30^\circ + 13,58\angle -120^\circ \cdot (j1,8) =$$

$$= -j24,44 + 329 + j190 - j12,22 + 21,17 = 350,17 - j153,34 = 382,3\angle -23,65^\circ \text{ В}.$$

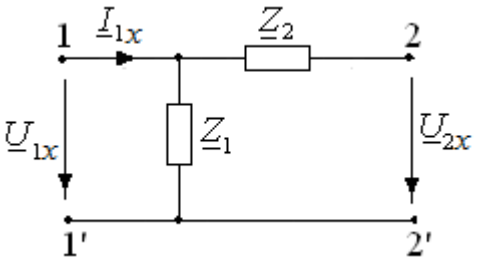
Следовательно, показание вольтметра 382,3 В.

Ответ: показания амперметра А1: 13,58 А; амперметра А2: 17,28 А; вольтметра V: 382,3 В.

Специальная часть

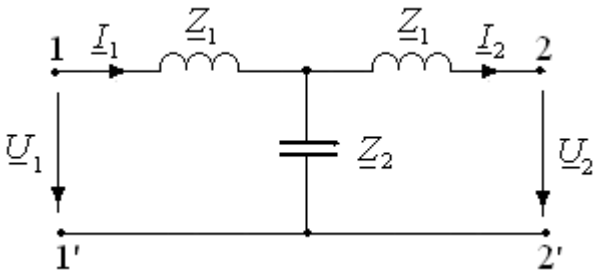
Задания экзаменационного билета №5 (10баллов)

Задание 5.1
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Несимметричный четырехполюсник с $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = 10 - j20$ Ом



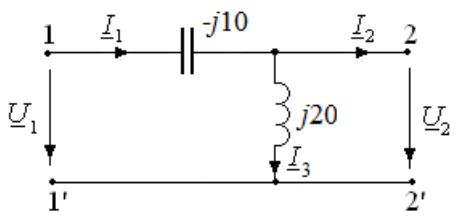
Определить параметры типа А (коэффициенты матрицы **А**).
Ответ: $\underline{A}_{11} = 1, \underline{A}_{12} = 10 - j20$ Ом, $\underline{A}_{21} = 0,02 + j0,04$См, $\underline{A}_{22} = 2$

Задание 5.2
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Симметричный четырехполюсник с $\underline{Z}_1 = j20$ Ом, $\underline{Z}_2 = -j10$ Ом.



Определить параметры типа А (коэффициенты матрицы **А**).
Ответ: $\underline{A}_{11} = 1, \underline{A}_{12} = 0$ Ом, $\underline{A}_{21} = -j0,1$См, $\underline{A}_{22} = 1$

Задание 5.3
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Несимметричный четырехполюсник с $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = 10 - j20$ Ом

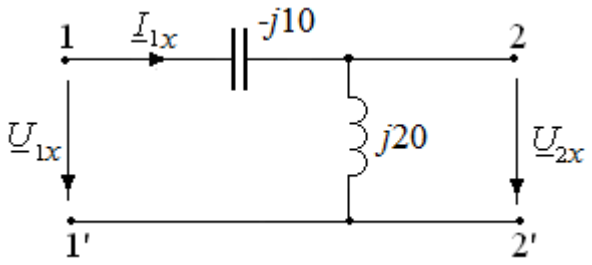


Определить параметры типа А (коэффициенты матрицы **А**).

Решение задания 5.3.

Из режимов холостого хода и короткого замыкания

Для цепи в режиме холостого хода ($\underline{I}_2 = 0$) имеем:



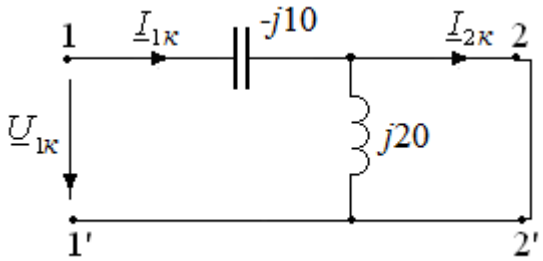
$$\underline{U}_{1x} = \underline{A}_{11}\underline{U}_{2x}, \qquad \underline{I}_{1x} = \underline{A}_{21}\underline{U}_{2x}$$

$$\underline{U}_{1x} = \underline{I}_{1x}(-j10 + j20) = j10\underline{I}_{1x},$$

$$\underline{I}_{1x} = \underline{U}_{2x} / j20, \qquad \underline{U}_{2x} = j20\underline{I}_{1x}.$$

Следовательно, $\underline{A}_{11} = \underline{U}_{1x} / \underline{U}_{2x} = 0{,}5$; $\underline{A}_{12} = \underline{I}_{1x} / \underline{U}_{2x} = 1/j20 = -j\,0{,}05$ См.

Для цепи в режиме короткого замыкания ($\underline{U}_2 = 0$) имеем:



$$\underline{U}_{1к} = \underline{A}_{12}\,\underline{I}_{2к}; \quad \underline{I}_{1к} = \underline{A}_{22}\underline{I}_{2к}$$

$$\underline{U}_{1к} = -j\,10\underline{I}_{1к}; \quad \underline{I}_{1к} = \underline{I}_{2к}.$$

Следовательно, $\underline{A}_{12} = -j\,10$ Ом; $\underline{A}_{22} = 1$.

Через входные сопротивления четырехполюсника.

Определим входные сопротивления несимметричного четырехполюсника в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Для входа 1 – 1′: $\underline{Z}_{1x} = (-j10 + j20) = j10$ Ом, $\underline{Z}_{1к} = -j10$ Ом.

Для входа 2-2′: $\underline{Z}_{2x} = j20$ Ом, $\underline{Z}_{2к} = (-j10)(j20)/(-j10 + j20) = -j20$ Ом.

Коэффициент $\underline{A}_{11}$ матрицы **А** определим по формуле:

$$\underline{A}_{11} = \pm\sqrt{\frac{\underline{Z}_{1x}}{\underline{Z}_{2x} - \underline{Z}_{2к}}} = \pm\sqrt{\frac{j10}{j20 + j20}} = \pm 0{,}5.$$

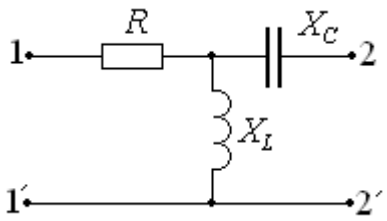
<u>Замечание</u>. Коэффициент $\underline{A}_{11}$ однозначно определяется при рассмотрении режима холостого хода и соотношения $\underline{A}_{11} = \underline{U}_{1x} / \underline{U}_{2x}$. Для данного четырехполюсника $\underline{A}_{11} = 0{,}5$.

Остальные коэффициенты $\underline{A}_{12} = \underline{Z}_{2к}\,\underline{A}_{11} = (-j20)\cdot 0{,}5 = -j10$ Ом,

$$\underline{A}_{21} = \frac{\underline{A}_{11}}{\underline{Z}_{1x}} = \frac{0{,}5}{j10} = -j0{,}05 \text{ См}, \quad \underline{A}_{22} = \frac{\underline{A}_{11}Z_{2x}}{Z_{1x}} = \frac{0{,}5\cdot j20}{j10} = 1.$$

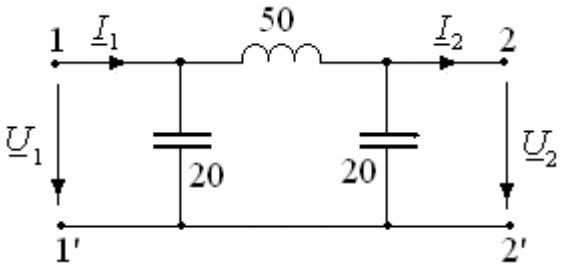
Ответ: $\underline{A}_{11} = 0{,}5, \underline{A}_{12} = -j10$ Ом, $\underline{A}_{21} = -j0{,}05$См, $\underline{A}_{22} = 1$

Задание 5.4
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Несимметричный четырехполюсник с R = 100 Ом, X_L = 200 Ом, X_C = 100 Ом.



Определить параметры типа А (коэффициенты матрицы **А**).
Ответ: $\underline{A}_{11} = 0{,}25 - j1{,}25, \underline{A}_{12} = 25 - j175$ Ом, $\underline{A}_{21} = -(25 + j175)*10^{-4}$См, $\underline{A}_{22} = -0{,}25 - j0{,}25$

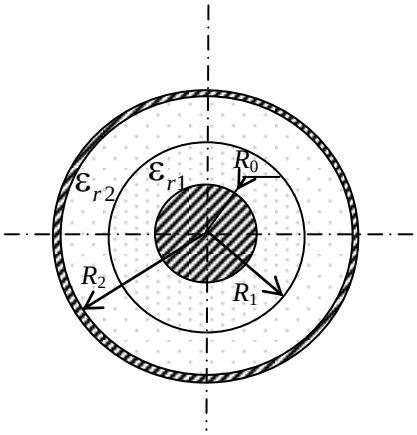
Задание 5.5
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Симметричный четырехполюсник, сопротивления которого заданы на схеме в [Ом].



Определить параметры типа А (коэффициенты матрицы **А**).
Ответ: $\underline{A}_{11} = -1{,}5, \underline{A}_{12} = j50$ Ом, $\underline{A}_{21} = -j0{,}025$См, $\underline{A}_{22} = -1{,}5$

Задания экзаменационного билета №6 (10 баллов)

Задание 6.1
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: Цилиндрический конденсатор, где R_0 = 2 мм, R_1 =12 мм, R_2 = 16 мм заполнен двухслойным диэлектриком: ε_{r1} = 1; ε_{r2} = 3.
Определить емкость коаксиального конденсатора на единицу длины. Построить зависимость $E(r)$, где r – расстояние от оси кабеля, если напряжение между жилой и оболочкой U = 1000 В.



Решение задания 6.1: Для цилиндрического конденсатора с равномерным распределением заряда q по поверхности обкладок (жилы и оболочки) электростатическое поле в изоляции характеризуется вектором электрического смещения $\boldsymbol{D}$. 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 $R_0 \le r \le R_2$ в цилиндрической системе координат получим $\oint_S \boldsymbol{D} d\,\boldsymbol{S} = D \cdot 2\pi r l = q$ или $D(r) = \dfrac{q}{2\pi r l} = \dfrac{\tau}{2\pi r}$, где $\tau = \dfrac{q}{l}$ - линейная плотность заряда. В однородной среде $\boldsymbol{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{E}$ – вектор напряженности электрического поля. Следовательно, вектор напряженности электрического поля в изоляции также имеет только радиальную составляющую $E = E_r$, и его модуль может быть определен:

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

Напряжение между жилой и оболочкой

$$U = \int_{R_0}^{R_1} E_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} E_2 dr = \int_{R_0}^{R_1} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_{r1}\varepsilon_0}\frac{1}{r}\mathrm{d}r + \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_{r2}\varepsilon_0}\frac{1}{r}\mathrm{d}r = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\varepsilon_{r1}}\ln\frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}}\ln\frac{R_2}{R_1}\right)$$

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

$$C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{r1}}\ln\frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}}\ln\frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\left(\frac{1}{1}\ln\frac{8}{4} + \frac{1}{3}\ln\frac{16}{8}\right)} = 60{,}11\cdot10^{-12} \text{ Ф/м},$$

где $\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi}\cdot10^{-9} \approx 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м. Линейная плотность заряда $\tau = C_0 U = 60{,}11\cdot10^{-9}$ Кл/м.

Тогда $E_1(r) = \frac{60{,}11\cdot10^{-9}}{2\pi\cdot1\cdot\varepsilon_0}\frac{1}{r} = \frac{1082}{r}$ В/м, $E_2(r) = \frac{60{,}11\cdot10^{-9}}{2\pi\cdot3\cdot\varepsilon_0}\frac{1}{r} = \frac{360{,}67}{r}$ В/м.

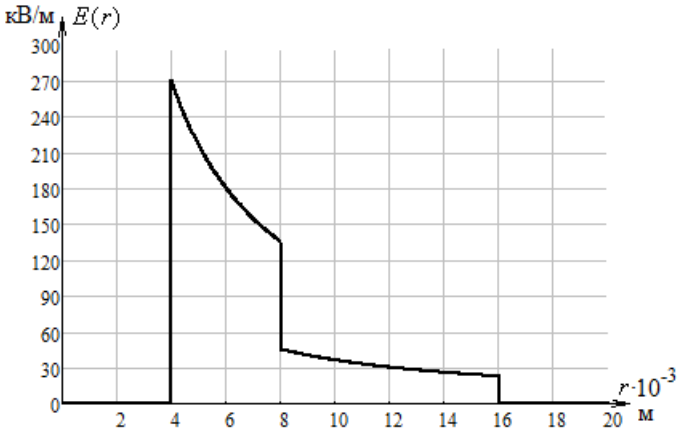
Ответ:

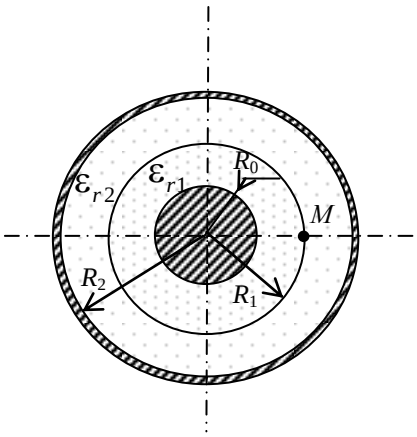
Ёмкость конденсатора на единицу длины $C_0 = 60{,}11\cdot10^{-12}$ Ф/м.

Зависимость $E(r) = \begin{cases} 0 & r \le R_0 \\ \frac{1082}{r} & R_0 \le r \le R_1 \\ \frac{360{,}67}{r} & R_1 \le r \le R_2 \\ 0 & r \ge R_2 \end{cases}$, 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 6.2

Текст задания

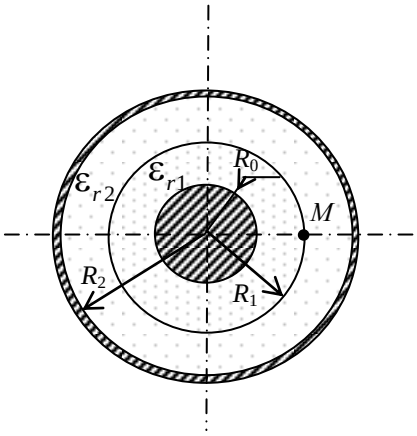
Задание специальной части (простое)

Дано: Цилиндрический конденсатор, где R_0 = 4 мм, R_1 =8 мм, R_2 = 16 мм заполнен двухслойным диэлектриком: ε_{r1} = 4; ε_{r2} = 2. Определить емкость коаксиального конденсатора на единицу длины.

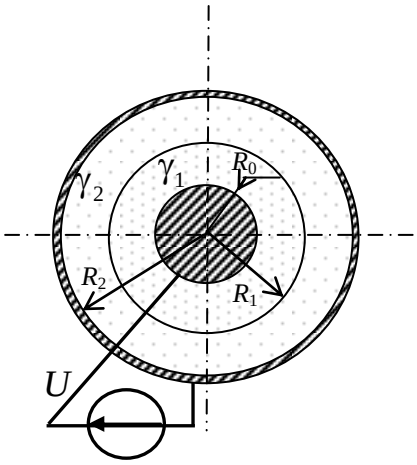
Определить напряжение между жилой и оболочкой, если напряжение между точкой M (на границе, разделяющей два слоя изоляции) и оболочкой кабеля равно 2 кВ.

Задание 6.3

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



Задание 6.4
Текст задания
Задание специальной части (простое)
Дано: 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.
Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины



Решение задания 6.4: Для цилиндрического конденсатора, имеющего несовершенную изоляцию, ток утечки равномерно распределен по поверхности электродов (жилы и оболочки). Стационарное электрическое поле в несовершенной изоляции характеризуется вектором плотности тока утечки $\boldsymbol{J}$. Из цилиндрической симметрии поля следует, что вектор плотности тока утечки имеет только радиальную составляющую ($J = J_r$), 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 $I = \int_S \boldsymbol{J} d\boldsymbol{s}$, где *S* – поверхность интегрирования

(боковая поверхность соосного цилиндра с высотой l). При $R_0 \le r \le R_2$ в цилиндрической системе координат получим $J \cdot 2\pi rl = I$ или $J(r) = \dfrac{I}{2\pi l} = \dfrac{I_0}{2\pi r}$, где $I_0 = \dfrac{I}{l}$ – ток утечки на единицу длины. В однородной проводящей среде $\boldsymbol{J} = \gamma \boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{E}$ – вектор напряженности электрического поля. Следовательно, вектор напряженности электрического поля в изоляции также имеет только радиальную составляющую $E = E_r$, и его модуль может быть определен:

1) в первом слое $R_0 \le r \le R_1$ $E_1(r) = \dfrac{J(r)}{\gamma_1} = \dfrac{I_0}{2\pi\gamma_1}\dfrac{1}{r}$;

2) во втором слое $R_1 \le r \le R_2$ $E_2(r) = \dfrac{J(r)}{\gamma_2} = \dfrac{I_0}{2\pi\gamma_2}\dfrac{1}{r}$.

Напряжение между жилой и оболочкой

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

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.

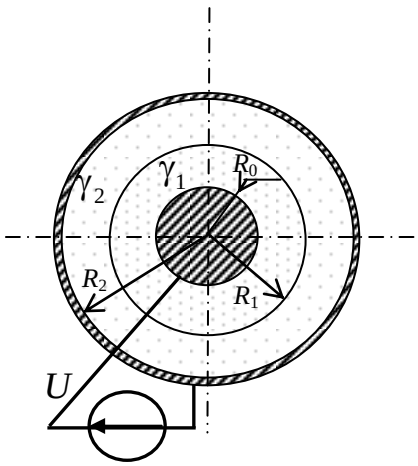
Задание 6.5

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: 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.

Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины



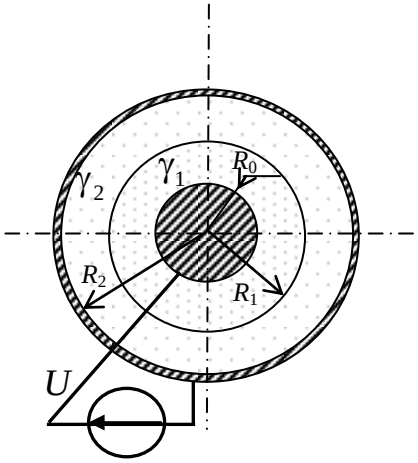
Задание 6.6

Текст задания

Задание специальной части (простое)

Дано: 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.

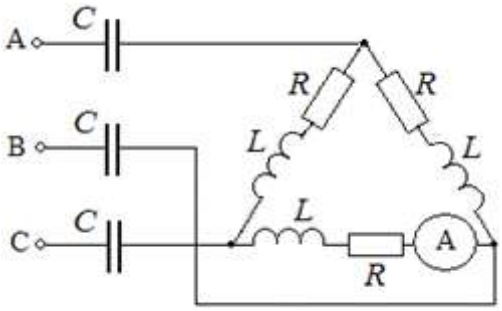
Определить ток утечки и проводимость изоляции двухслойного цилиндрического конденсатора на 1 м длины



Задания экзаменационного билета №7 (15 баллов)

Задание 7.1
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: Линейное напряжение трехфазного генератора

$u_{AB}(t) = 283\sqrt{2}\sin 314t + 42,4\sqrt{2}\sin(5 \cdot 314t + 45°)$ В, R= ωL= 30 Ом, 1/ωC =40 Ом.



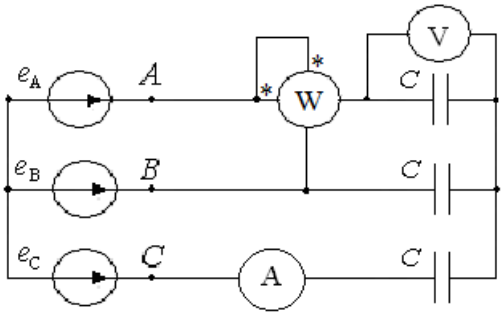
Определить показание амперметра электромагнитной системы.

Ответ: показания амперметра А: 5,27 А

Задание 7.2
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: Фазные обмотки симметричного трехфазного генератора с фазной ЭДС

$e_A(t) = 120\sin\omega t + 80\sin(3\omega t - 45^\circ) + 30\sin(5\omega t - 90^\circ)$ В соединены звездой,

1/ωC = 90 Ом

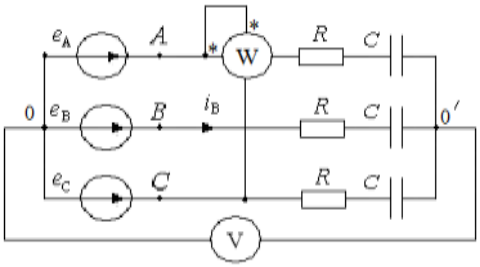


Определить показания приборов электромагнитной системы.

Ответ: показания амперметра А: 1,51 А, вольтметра V: 87,23 В, $P_W = 47,42$ Вт.

Задание 7.3
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: В трехфазной цепи R = 3 Ом, $1/\omega C$ = 9 Ом, фазная ЭДС

$$e_A = 100\sin\omega t + 30\sin(3\omega t + 30°) + 20\sin 5\omega t \text{ В.}$$

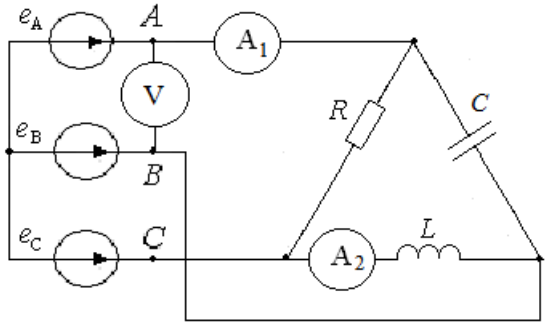


Определить показания приборов электромагнитной системы.

Ответ: показания вольтметра V: 21,21 В, $P_W = 84,06$ Вт.

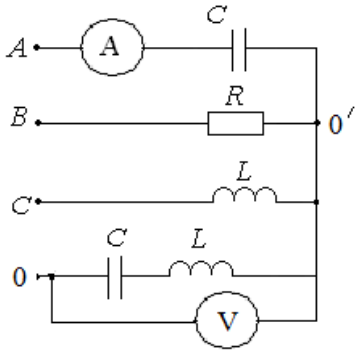
Задание 7.4
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: В трехфазной цепи R =15 Ом, $\omega L = 1/\omega C$ = 45 Ом, фазная ЭДС

$$e_A = 450\sqrt{2}\sin\omega t + 150\sqrt{2}\sin(3\omega t - 60°) \text{ В.}$$



Определить показания амперметра электромагнитной системы.
Ответ: показания амперметра А1: 37,96 А, амперметра А2: 17,32 А, вольтметра V: 779,42 В.

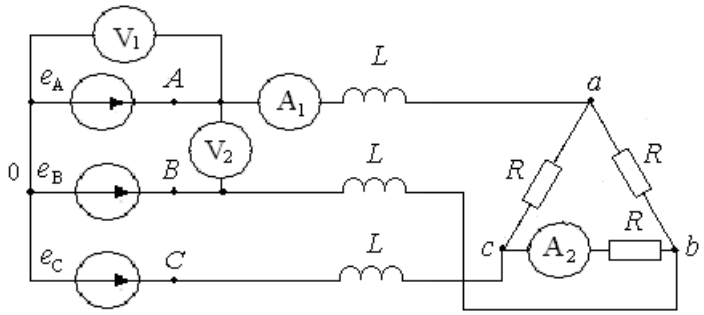
Задание 7.5
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: В трехфазной цепи R =15 Ом, ωL = 1/ωC = 45 Ом, фазное напряжение источника $u_A = 450\sqrt{2}\sin\omega t + 150\sqrt{2}\sin(3\omega t + 60°)$ В.



Определить показания приборов электромагнитной системы.

Ответ: показания амперметра A: 10,05 А, вольтметра V: 158,93 В

Задание 7.6.
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: Фазные обмотки симметричного трехфазного генератора соединены звездой, R = 12 Ом, индуктивное сопротивление линейных проводов на первой гармонике ωL= 3 Ом. Фазная ЭДС $e_A = 283\sin 314t - 82\sin(3\cdot 314t - \frac{\pi}{4}) + 42,4\sin(5\cdot 314t - \frac{\pi}{10})$ В.



Определить показания приборов электромагнитной системы.

Решение задания 7.6. Преобразуем треугольник сопротивлений нагрузки в эквивалентную звезду. Сопротивления фаз эквивалентной звезды вместе с индуктивным сопротивлением линейных проводов составляют эквивалентное сопротивление фазы, для k-ой гармоники $\underline{Z}_A^{(k)} = \underline{Z}_B^{(k)} = \underline{Z}_C^{(k)} = \frac{R}{3} + jk\omega L = 4 + j3\cdot k$, модуль комплексного сопротивления для k-ой гармоники $Z_A^{(k)} = Z_B^{(k)} = Z_C^{(k)} = \sqrt{4^2 + (3\cdot k)^2}$. Так как нейтральный провод отсутствует, то токи гармоник, кратных трем, в линии и нагрузке равны нулю: $\underline{I}_A^{(3)} = \underline{I}_B^{(3)} = \underline{I}_C^{(3)} = 0$. Действующие значения линейных токов первой и пятой гармоник

соответственно равны: $I_A^{(1)} = I_B^{(1)} = I_C^{(1)} = \dfrac{283}{\sqrt{2}\sqrt{4^2+3^2}} = 40{,}1$ А,

$I_A^{(5)} = I_B^{(5)} = I_C^{(5)} = \dfrac{42{,}4}{\sqrt{2}\sqrt{4^2+(5\cdot 3)^2}} = 1{,}94$ А.

Показание амперметра в линейном проводе: $I_{A1} = \sqrt{40{,}1^2 + 1{,}94^2} = 40{,}15$ А. Так как нагрузка симметричная, в линейных и фазных токах отсутствуют гармоники, кратные трем (гармонический состав линейных и фазных токов одинаковый), то действующее значение фазного тока в треугольнике сопротивлений связано с действующим значением линейного тока соотношением $I_{A2} = \dfrac{I_{A1}}{\sqrt{3}} = \dfrac{40{,}15}{\sqrt{3}} = 23{,}21$ А.

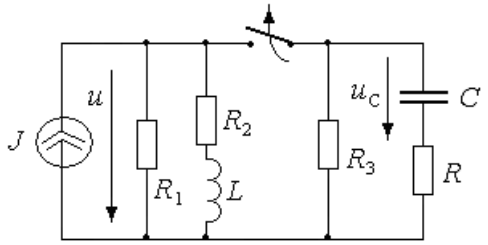
Показание вольтметра V_1 определяется действующим значением фазного напряжения: $U_{\mathrm{V}1} = U_A = \sqrt{\dfrac{283^2}{2} + \dfrac{82^2}{2} + \dfrac{42{,}4^2}{2}} \approx 210$ В. Показание вольтметра V_2 определяется действующим значением линейного напряжения (отсутствуют гармоники, кратные трем):

$$U_{\mathrm{V}2} = U_{CA} = \sqrt{\frac{\left(\sqrt{3}\cdot 283\right)^2}{2} + 0 + \frac{\left(\sqrt{3}\cdot 42{,}4\right)^2}{2}} \approx 351 \text{ В.}$$

Ответ: $I_{A1} = 40{,}15$ А, $I_{A2} = 23{,}21$ А, $U_{\mathrm{V}1} = 210$ В, $U_{\mathrm{V}2} = 351$ В

Задания экзаменационного билета №8 (15 баллов)

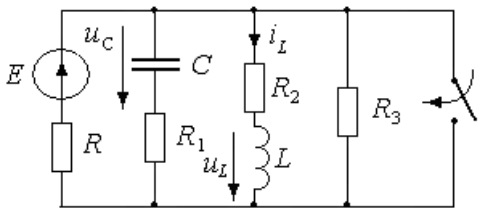
Задание 8.1
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: J = 18 А, $R_1 = R_2 = R_3 = R$ =10 Ом, C = 0,5 мкФ, L = 1 мГн.



Определить напряжение на источнике $u(t)$ и напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ после коммутации.

Ответ: $u(t) = 90 + 30e^{-2\cdot 10^4 t}$ В, $u_C(t) = 60e^{-10^5 t}$ В

Задание 8.2
Текст задания
Задание специальной части (сложное)
Дано: $R_1 = R$ = 10 Ом, $R_2 = R_3$ =20 Ом, C = 0,5 мкФ, L = 20 мГн, E = 200 В.



Определить напряжение на конденсаторе $u_C(t)$, ток $i_L(t)$ и напряжение $u_L(t)$ катушки после коммутации.

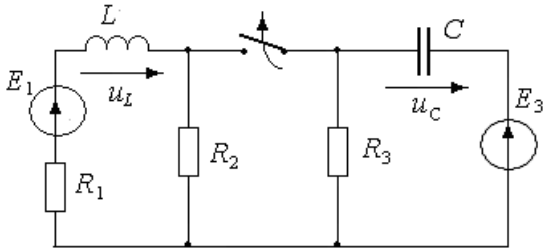
Ответ: $u_C(t)=100e^{-2\cdot10^5 t}$ В, $i_L(t)=5e^{-10^3 t}$ А, $u_L(t)=-100e^{-10^3 t}$ В

Задание 8.3

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: E_1 = 200 В, E_3 = 50 В, $R_1 = R_2 = R_3$ = 20 Ом, C = 5 мкФ, L = 4 мГн.



Определить напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ и напряжение на катушке u_L после коммутации.

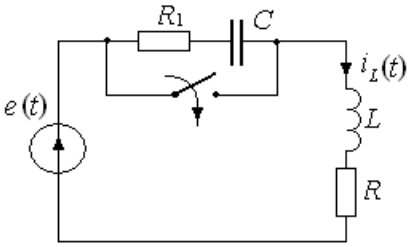
Ответ: $u_C(t)=-50+66,67e^{-10^4 t}$ В , $u_L(t)=140e^{-7500t}$ В

Задание 8.4

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: $e(t)$ = 100sin(2500t + 30°), R_1 = 30 Ом, R = 20 Ом, C = 4 мкФ, L = 40 мГн.



Определить ток в катушке $i_L(t)$ после коммутации.

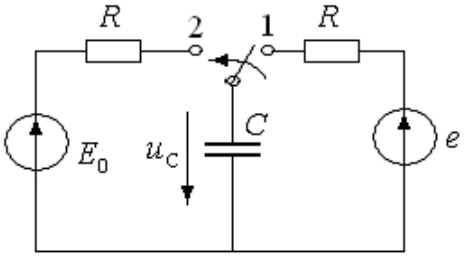
Ответ: $i_L(t)=0,98\sin(2500t-48,7°)+1,74e^{-500t}$ А

Задание 8.5

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

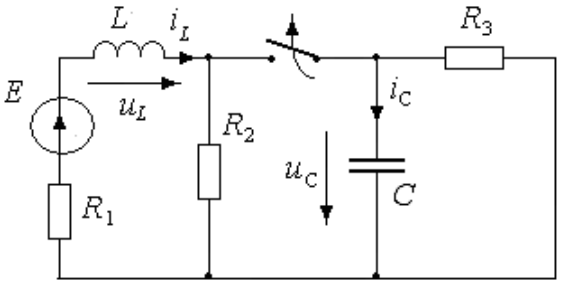
Дано: $e(t) = 100\sin(\omega t + 30°)$ В, ω=1000 1/с, R = 100 Ом, C = 10 мкФ, E_0 = 300 В. Ключ K переключается из положения 1 в положение 2 в момент t = 0.



Определить напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ после коммутации.

Ответ: $u_C(t)$=$300 - 318{,}3e^{-1000t}$ В

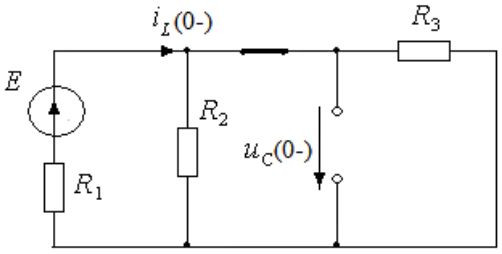
Задание 8.6
Текст задания
Задание специальной части (сложное
Дано: E = 300 В, L=10 мГн, C=10 мкФ, R_1 = 10 Ом, R_2 = R_3 = 20 Ом.



Определить ток и напряжение на катушке $i_L(t)$ и $u_L(t)$ и конденсаторе $i_C(t)$ и $u_C(t)$ после коммутации.

Решение задания 8.6.

1. Находим независимые начальные условия (ННУ) по схеме до коммутации. Ключ замкнут, а в цепи действует источник постоянного напряжения.

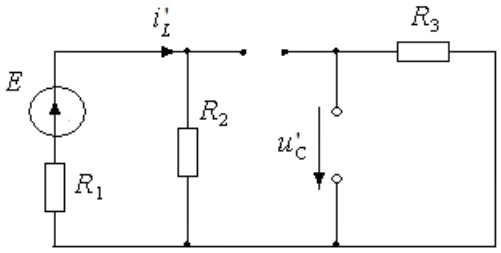


$$i_L(0_) = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = 15 \text{ А},$$

$$u_C(0_) = E - i_L(0_)R_1 = 150 \text{ В}$$

Законы коммутации $i_L(0_+) = i_L(0_) = 15$ А, $u_C(0_+) = u_C(0_) = 150$ В

2. Расчет установившегося режима: ключ разомкнут, действует источник постоянного напряжения.



$$i'_L = i_L(\infty) = \frac{E}{R_1 + R_2} = 10 \text{ А}$$

$$i'_C = i_C(\infty) = 0$$

$$u'_C = u_C(\infty) = 0$$

$$u'_L = u_L(\infty) = 0$$

3. Составляем характеристические уравнения и находим корни этих уравнений

$$pL_1 + R_1 + R_2 = 0 \to p_1 = -\frac{R_1 + R_2}{L_1} = -3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$$

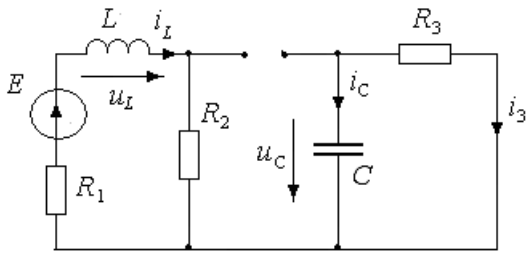
$$\frac{1}{pC} + R_3 = 0 \to p_2 = -\frac{1}{R_3 C} = -5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$$

4. Записываем выражение переходных токов и напряжений:

$$i_L(t) = i'_L + A_1 e^{p_1 t} = 10 + A_1 e^{-3000t},\ u_L(t) = u'_L + A_2 e^{p_1 t} = A_2 e^{-3000t},$$

$$i_C(t) = i'_C + B_1 e^{p_2 t} = B_1 e^{-5000t},\ u_C(t) = u'_C + B_2 e^{p_2 t} = B_2 e^{-5000t}$$

5. Начальные условия определяем по законам коммутации (ННУ) или по законам Кирхгофа для схемы после коммутации (ЗНУ)



$$E = u_L(0_+) + i_L(0_+)\left(R_2 + R_1\right),$$

$$u_L(0_+) = E - i_L(0_+)\left(R_2 + R_1\right) = -150 \text{ В}$$

$$0 = u_C(0_+) - i_3(0_+)R_3,\ i_3(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{R_3} = 7{,}5 \text{ А},$$

$$i_C(0_+) = -i_3(0_+) = -7{,}5 \text{ А}$$

Определяем постоянные интегрирования

$$A_1 = i_L(0_+) - i'_L = 15 - 10 = 5 \text{ А},\ A_2 = u_L(0_+) - u'_L = -150 \text{ В}$$

$$B_1 = i_C(0_+) - i'_C = -7{,}5 \text{ А},\ B_2 = u_C(0_+) - u'_C = 150 \text{ В}$$

Окончательно имеем

$$i_L(t) = i'_L + A_1 e^{p_1 t} = 10 + 5e^{-3000t} \text{ А},\ u_L(t) = u'_L + A_2 e^{p_1 t} = -150e^{-3000t} \text{ В}$$

$$i_C(t) = i'_C + B_1 e^{p_2 t} = -7{,}5e^{-5000t} \text{ А},\ u_C(t) = u'_C + 150e^{p_2 t} = 150e^{-5000t} \text{ В}$$

Ответ:

$$i_L(t) = 10 + 5e^{-3000t} \text{ А},\ u_L(t) = -150e^{-3000t} \text{ В}$$

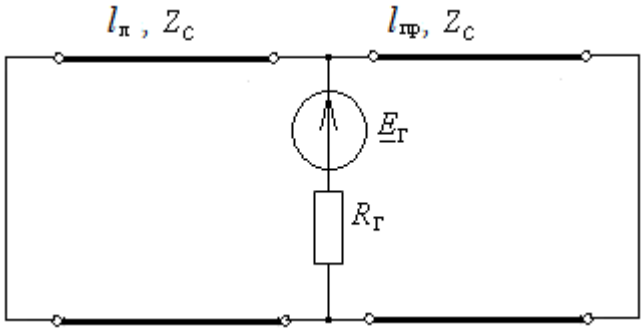
$$i_C(t) = -7{,}5e^{-5000t} \text{ А},\ u_C(t) = 150e^{-5000t} \text{ В}$$

Задания экзаменационного билета №9 (15 баллов)

Задание 9.1

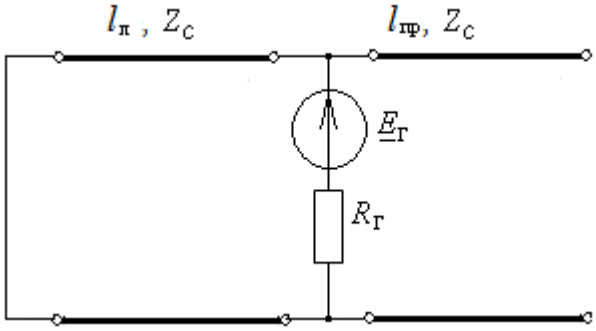
Текст задания
Задание специальной части (сложное)

Дано: Длина линии левого участка $l_л$ =λ/4, правого участка $l_{пр}$ =λ/8. Волновое сопротивление правой и левой линий Z_c = 400 Ом. На обоих концах линий произошло короткое замыкание. Простроить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если $\underline{E}_г$=100 В, $R_г$=200 Ом.



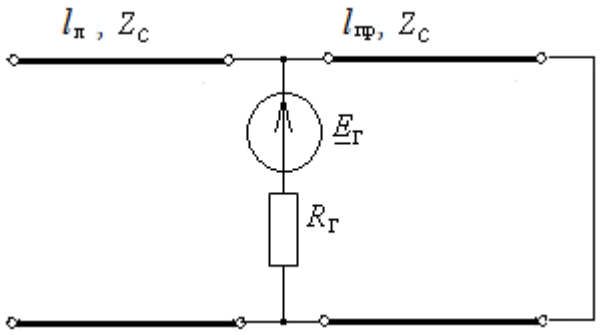
Задание 9.2
Текст задания
Задание специальной части (сложное)

Дано: Длина линии левого участка $l_л$ =λ/8, правого участка $l_{пр}$ =λ/2. Волновое сопротивление правой и левой линий Z_c = 100 Ом. Правая линия разомкнута, а левая линия короткозамкнута. Простроить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии, если $\underline{E}_г$=100 В, $R_г$=100 Ом.

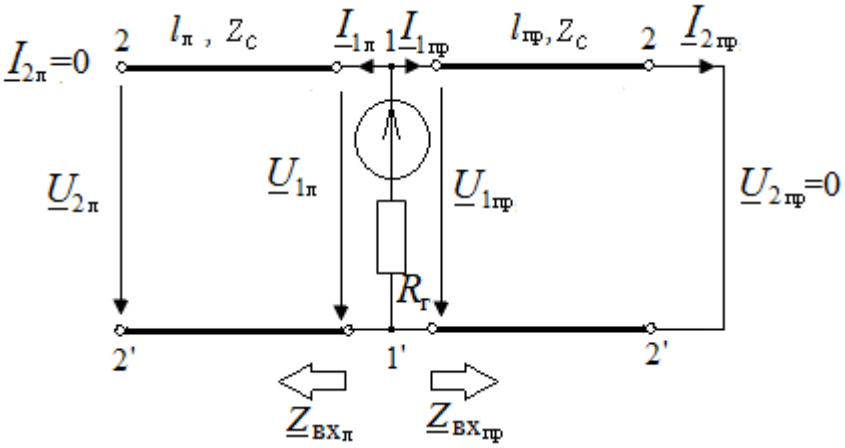


Задание 9.3
Текст задания
Задание специальной части (сложное)

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



Решение задания 9.3. 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.

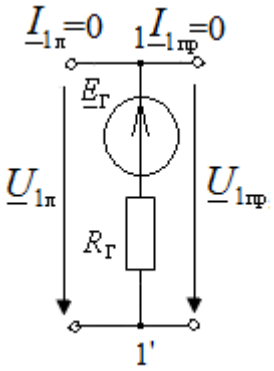


Определим входное сопротивление правой и левой линий относительно сечения 1-1':

а) $l_{пр} = \dfrac{3\lambda}{4} \Rightarrow \underline{Z}_{вхпр} = jZ_c \operatorname{tg}\beta\dfrac{3\lambda}{4} = jZ_c \operatorname{tg}\dfrac{2\pi}{\lambda}\dfrac{3\lambda}{4} = \infty$ Ом;

б) $l_л = \dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow \underline{Z}_{вхл} = -jZ_c \operatorname{ctg}\beta\dfrac{\lambda}{2} = -jZ_c \operatorname{ctg}\dfrac{2\pi}{\lambda}\dfrac{\lambda}{2} = \infty$ Ом; в сечении 1-1' справа и слева узел тока $\underline{I}_{1пр} = \underline{I}_{1л} = 0$ и пучность напряжения;

Расчетная схема в сечении 1-1':



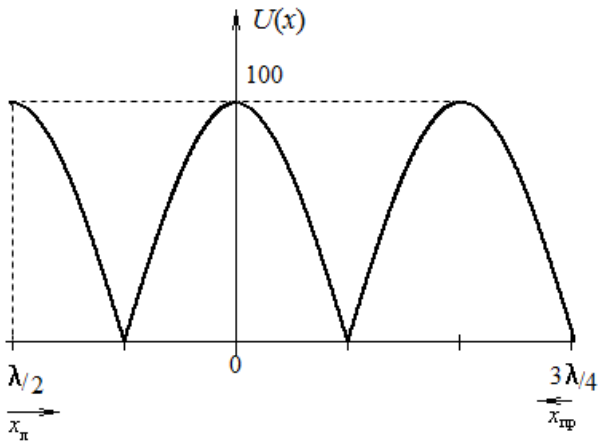
$\underline{I}_Г = \underline{I}_{1пр} = \underline{I}_{1л} = 0$,

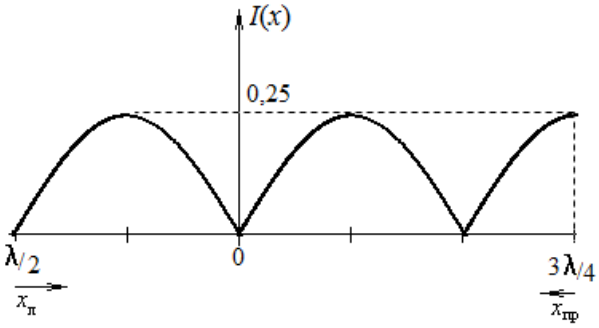
$\underline{U}_{1пр} = \underline{U}_{1л} = \underline{E}_Г = 100\angle 0$ В.

Для правой короткозамкнутой линии $I_{2пр}$ - пучность тока, пучность напряжения $U_{1пр} = U_{max\,пр}$. Следовательно, пучность тока $I_{2пр} = I_{max\,пр} = \dfrac{U_{max\,пр}}{Z_c} = \dfrac{100}{400} = 0,25$ А.

Для левой разомкнутой линии пучность напряжения $U_{1л}=U_{max\,л}$, тогда пучность тока $I_{max\,л}=\dfrac{U_{max\,л}}{Z_c}=\dfrac{100}{400}=0,25$ А.

Распределение действующего значения напряжения и тока:





Задание 9.4

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

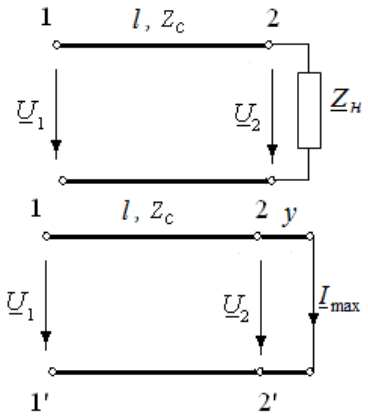
Дано: Воздушная линия без потерь с волновым сопротивлением Z_c = 600 Ом подключена к реактивной нагрузке. Длина линии l =λ/2, частота источника f =100 МГц. Расстояние до первого узла напряжения x_0=1,125 м. Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего значения $U(x)$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

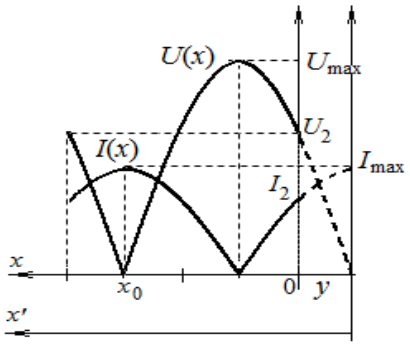
Решение задания 9.4.

Длина волны воздушной линии на заданной частоте $\lambda=\dfrac{v_ф}{f}=\dfrac{3\cdot10^8}{100\cdot10^6}=3$ м.

Коэффициент фазы $\beta=\dfrac{2\pi}{\lambda}=\dfrac{2\pi}{3}=\dfrac{360°}{3}=120$ °/м.

Заменим нагрузку с сопротивлением $\underline{Z}_н=jX$ отрезком линии длиной y, короткозамкнутой на конце, так чтобы режим в заданной линии не изменился. Условие эквивалентной замены $\underline{Z}_{вх}(y)=jX$, следовательно, $jZ_c\mathrm{tg}\beta y=jX$. В таком случае для линии длиной $l+y$ в конце будет наблюдаться узел напряжения и пучность тока, $x_0+y=\dfrac{\lambda}{2}$. Длина эквивалентного участка $y=\dfrac{\lambda}{2}-x_0=0,375=\dfrac{\lambda}{8}$. Индуктивное сопротивление $X=Z_c\mathrm{tg}\beta y=600\mathrm{tg}45°=600$ Ом. Для расчетов можно использовать уравнения короткозамкнутой линии, но с введением координаты: $x'=x+y$





$$\underline{I}(x) = \underline{I}_{\max}\cos\beta(x+y)\ ,\ \underline{I}_{\max} = \frac{\underline{I}_2}{\cos\beta y} = 2\sqrt{2} \approx 2{,}82\ \text{ А.}$$

Пучность тока $I_{\max} = 2\sqrt{2} \approx 2{,}82$ А, пучность напряжения1 В.

Напряжение в начале линии

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

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

Проще $U_1 = U_2 = XI_2 = 1200$ В, $\underline{I}_1 = I_2 = 2$ А, так как $l = \lambda/2$.

Задание 9.5

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=0,375 м. Определить реактивное сопротивление нагрузки. Построить распределение действующего значения $U(x)$ и $I(x)$ вдоль линии, если I_2=2 А.

Задание 9.6

Текст задания

Задание специальной части (сложное)

Дано: на выходе линии без потерь с волновым сопротивлением Z_c = 500 Ом, $v_ф$ = $250\cdot 10^3$ км/с, длиной l =62,5 км измерено напряжение U_2=100 В, частота f =2500 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.

РАЗРАБОТАЛИ:

Зав. кафедрой ТОЭ	Тульский В.Н.
Доцент кафедры ТОЭ	Козьмина И.С
Доцент кафедры ТОЭ	Жохова М.П.

УТВЕРДИЛ:

Директор ИЭЭ	Тульский В.Н.