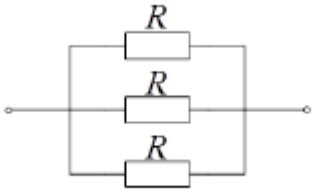
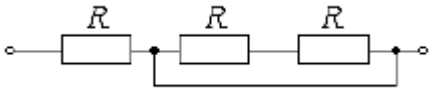
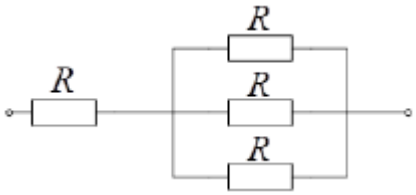
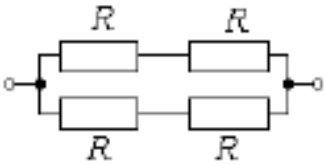
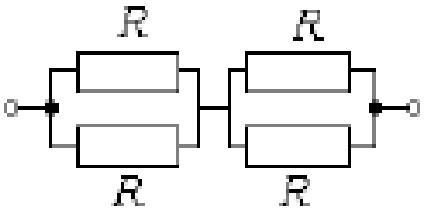
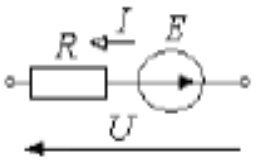
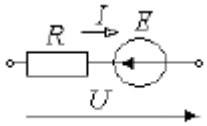
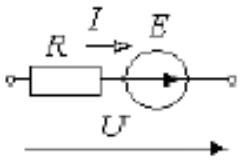
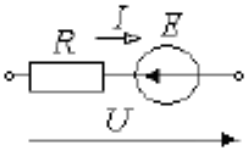
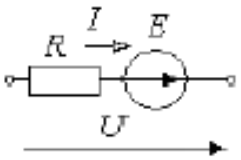
Институт электротехники и электрификации

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника **(очная форма)**

Банк заданий по базовой части вступительного испытания в магистратуру

Задание № 1 – тест (10 баллов)		
Тесты по теме «Основные понятия и законы теории электрических цепей. Элементы и параметры цепей»		
1.1	Определите эквивалентное сопротивление участка цепи (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 3*R* Б. *R*/3 В. 0 Г. 2*R* Д. *R*
1.2	Определите эквивалентное сопротивление участка цепи (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 3*R* Б. *R*/3 В. 0 Г. 2*R* Д. *R*
1.3	Определите эквивалентное сопротивление участка цепи (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 4*R* Б. 3*R* В. 4*R*/3 Г. 2*R* Д. *R* *Правильный ответ: В*
1.4	Определите эквивалентное сопротивление участка цепи (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2*R* Б. *R* В. 4*R* Г. *R*/2 Д. 3*R*
1.5	Определите эквивалентное сопротивление участка цепи (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2*R* Б. *R* В. 4*R* Г. *R*/2 Д. 3*R*

Тесты по теме «Основные понятия и законы теории электрических цепей. Законы

	Кирхгофа и Ома»	
1.6	Известны напряжение на участке цепи и параметры элементов участка: E=10 В, R=2 Ом, U=5 В. Определите ток I (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2,5 А Б. −2,5 А В. 7,5 А Г. −7,5 А Д. 5 А *Правильный ответ: Б*
1.7	Известны напряжение на участке цепи и параметры элементов участка: E=10 В, R=2 Ом, U=5 В. Определите ток I (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2,5 А Б. −2,5 А В. 7,5 А Г. −7,5 А Д. 5 А
1.8	Известны напряжение на участке цепи и параметры элементов участка: E=10 В, R=2 Ом, U=5 В. Определите ток I (выберите правильный ответ из приведенных). . 	А. 2,5 А Б. −2,5 А В. 7,5 А Г. −7,5 А Д. 5 А
1.9	Известны напряжение на участке цепи и параметры элементов участка: E=5 В, R=2 Ом, U=10 В. Определите ток I (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2,5 А Б. −2,5 А В. 7,5 А Г. −7,5 А Д. 5 А
1.10	Известны напряжение на участке цепи и параметры элементов участка: E=5 В, R=2 Ом, U=10 В. Определите ток I (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. 2,5 А Б. −2,5 А В. 7,5 А Г. −7,5 А Д. 5 А

Пример решения Задания 1.3

На схеме представлена группа из трех параллельно соединенных резисторов сопротивлением R каждый, с этой группой последовательно соединен резистор сопротивлением R.

Эквивалентное сопротивление группы трех параллельно соединенных резисторов определяется как $R_{\text{паралл}} = \frac{1}{\frac{1}{R}+\frac{1}{R}+\frac{1}{R}} = \frac{R}{3}$. Суммируя это сопротивление с сопротивлением последовательно соединенного резистора (сопротивления последовательно соединенных элементов цепи суммируются), получим эквивалентное сопротивление участка цепи $R_{\text{э}} = \frac{R}{3} + R = \frac{4}{3}R$. Правильным является ответ В.

При ответе на задание достаточно указать букву правильного ответа, не приводя выкладки.

Пример решения Задания 1.6

Расчет тока можно выполнить, пользуясь законом Ома и учитывая, что напряжение источника ЭДС представляет собой разность потенциалов его положительного и отрицательного полюсов. При последовательном соединении элементов электрической цепи напряжения на них суммируются.

Уравнение по закону Ома запишется в виде:

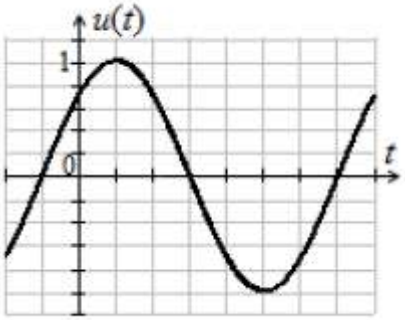
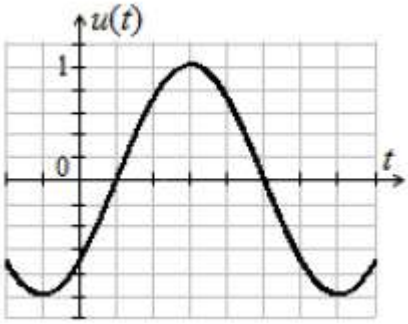
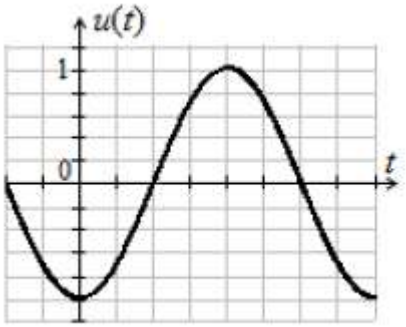
$$U = RI + E \qquad (1)$$

Отсюда получим $I = \frac{U-E}{R} = \frac{5-10}{2} = -2{,}5$ А.

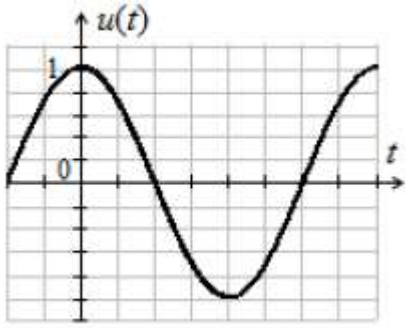
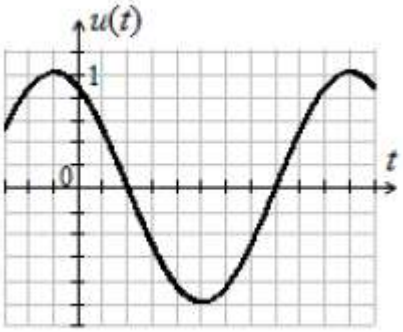
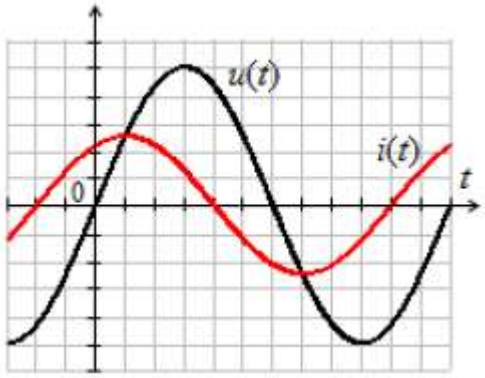
Правильным является ответ Б.

При ответе на задание достаточно указать букву правильного ответа, не приводя выкладки.

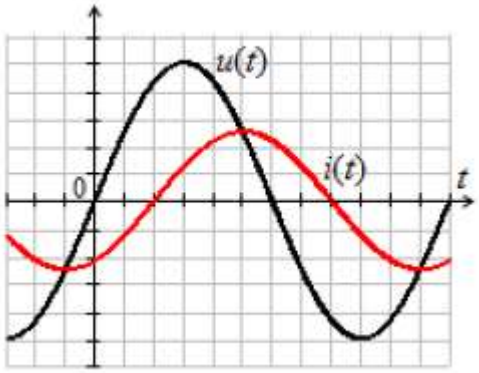
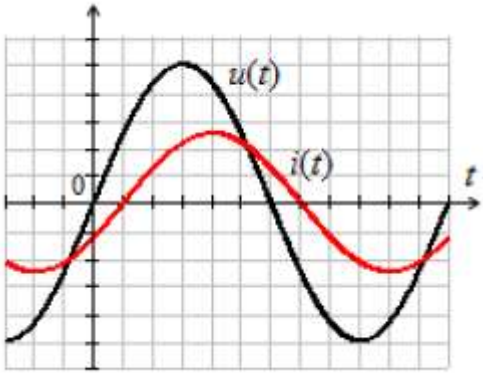
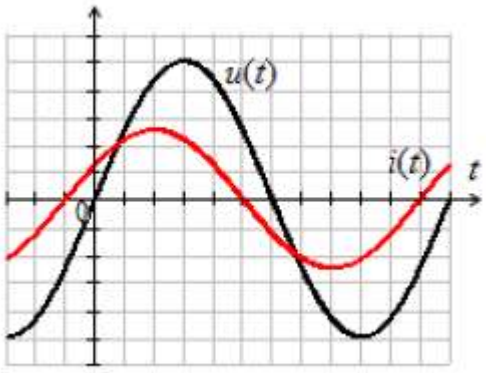
Задание № 2 – тест (10 баллов)

Тесты по теме «Линейные электрические цепи переменного тока. Синусоидальные ЭДС, напряжения и токи»		
2.1	Выберите из приведенного списка выражение мгновенного значения напряжения, временная диаграмма которого представлена: 	А. $u(t) = 1\sin(\omega t - 45°)$ В Б. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 45°)$ В В. $u(t) = 1\sin(\omega t + 45°)$ В Г. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t + 45°)$ В Д. $u(t) = 1\sin(\omega t + 30°)$ В *Правильный ответ: В*
2.2	Выберите из приведенного списка выражение мгновенного значения напряжения, временная диаграмма которого представлена: 	А. $u(t) = 1\sin(\omega t - 45°)$ В Б. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 45°)$ В В. $u(t) = 1\sin(\omega t + 45°)$ В Г. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t + 45°)$ В Д. $u(t) = 1\sin(\omega t + 30°)$ В
2.3	Выберите из приведенного списка выражение мгновенного значения напряжения, временная диаграмма которого представлена: 	А. $u(t) = 1\sin(\omega t + 90°)$ В Б. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 45°)$ В В. $u(t) = 1\sin(\omega t - 90°)$ В Г. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 90°)$ В Д. $u(t) = 1\sin(\omega t + 30°)$ В

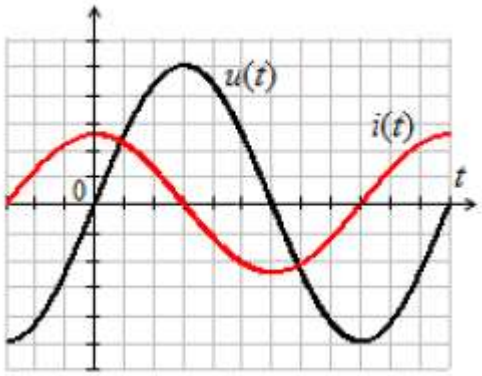
2.4	Выберите из приведенного списка выражение мгновенного значения напряжения, временная диаграмма которого представлена:	А. $u(t) = 1\sin(\omega t + 90°)$ В Б. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 45°)$ В В. $u(t) = 1\sin(\omega t - 90°)$ В

		Г. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t - 90°)$ В Д. $u(t) = 1\sin(\omega t + 30°)$ В
2.5	Выберите из приведенного списка выражение мгновенного значения напряжения, временная диаграмма которого представлена: 	А. $u(t) = 1\sin(\omega t + 60°)$ В Б. $u(t) = 1\sin(\omega t + 240°)$ В В. $u(t) = 1\sin(\omega t + 120°)$ В Г. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t + 60°)$ В Д. $u(t) = \sqrt{2}\sin(\omega t + 120°)$ В
Тесты по теме «Линейные электрические цепи переменного тока. Синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением участков *R*, *L* и *C»*		
2.6	На рисунке приведены осциллограммы (кривые мгновенных значений) напряжения и тока нагрузки. Определите характер сопротивления нагрузки (выберите правильный ответ из приведенных). 	А. Активно-индуктивный. Б. Активно-емкостной. В. Чисто индуктивный. Г. Чисто емкостной. Д. Чисто активный. *Правильный ответ: Б*

2.7	На рисунке приведены осциллограммы (кривые мгновенных значений) напряжения и тока нагрузки.	А. Активно-индуктивный. Б. Активно-емкостной.

	Определите характер сопротивления нагрузки (выберите правильный ответ из приведенных).  	В. Чисто индуктивный. Г. Чисто емкостной. Д. Чисто активный.
2.8	На рисунке приведены осциллограммы (кривые мгновенных значений) напряжения и тока нагрузки. Определите характер сопротивления нагрузки (выберите правильный ответ из приведенных).  	А. Активно-индуктивный. Б. Активно-емкостной. В. Чисто индуктивный. Г. Чисто емкостной. Д. Чисто активный.
2.9	На рисунке приведены осциллограммы (кривые мгновенных значений) напряжения и тока нагрузки. Определите характер сопротивления нагрузки (выберите правильный ответ из приведенных).  	А. Активно-индуктивный. Б. Активно-емкостной. В. Чисто индуктивный. Г. Чисто емкостной. Д. Чисто активный.

2.10	На рисунке приведены осциллограммы (кривые мгновенных значений) напряжения и тока нагрузки.	А. Активно-индуктивный. Б. Активно-емкостной.

	Определите характер сопротивления нагрузки (выберите правильный ответ из приведенных).  	В. Чисто индуктивный. Г. Чисто емкостной. Д. Чисто активный.

Пример решения задания 2.1

Выражение для мгновенного значения синусоидального напряжения имеет вид

$$u = A \cdot \sin(\omega t + \varphi),$$

где A – амплитудное значение напряжения, определяемое как наибольшее мгновенное значение напряжения;

φ - начальная фаза, определяемое как расстояние от нуля на оси времени до ближайшей точки изменения знака синусоидального сигнала с «минуса» на «плюс», причем если такая точка находится слева от нуля на оси времени, то начальная фаза положительна, если справа – отрицательна.

По приведенной осциллограмме определяем A=1, φ=45° (ближайшая к нулю на оси времени точка изменения знака сигнала с «минуса» на плюс расположена слева от нуля (т.е. начальная фаза положительна), расстояние до нее составляет 1 клетку, т.е. ¼ полупериода синусоиды, составляющего 180°, т.е. 45°).

Таким образом,

$$u = 1 \cdot \sin(\omega t + 45°).$$

Правильным является ответ В.

При ответе на задание достаточно указать букву правильного ответа, не приводя выкладки.

Пример решения задания 2.6

В активно-индуктивных и индуктивных цепях синусоидального тока ток отстает по фазе от напряжения, т.е. начальная фаза тока отрицательна при нулевой начальной фазе напряжения (определение начальной фазы см. решение Задания 2.1). С увеличением отношения индуктивности к активному сопротивлению отставание тока по фазе растет и при чисто индуктивной нагрузке составляет 90°.

В активно-емкостных и емкостных цепях синусоидального тока происходит опережение током напряжения по фазе, т.е. начальная фаза тока положительна при нулевой начальной фазе напряжения. С увеличением отношения емкостного сопротивления к активному опережение напряжения током растет и при чисто емкостной нагрузке составляет 90°.

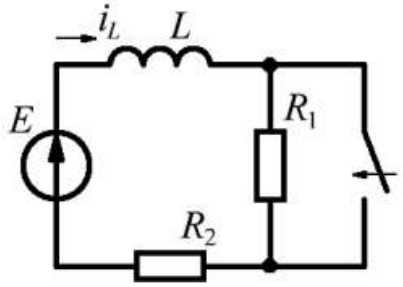
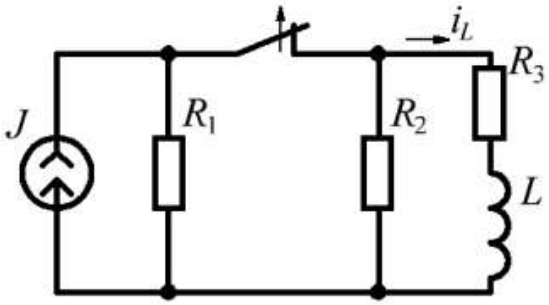
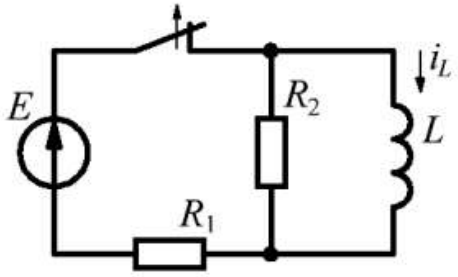
На приведенной осциллограмме происходит опережение током напряжения, но угол опережения меньше 90°. Поэтому можно считать нагрузку активно-емкостной.

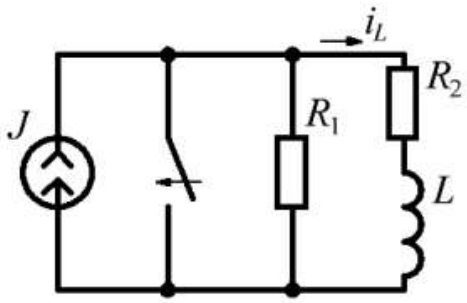
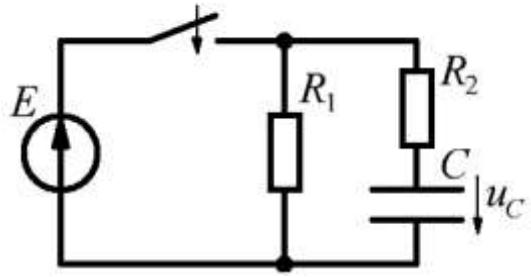
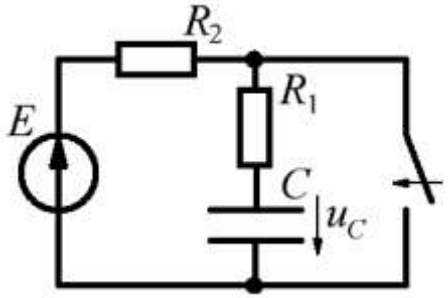
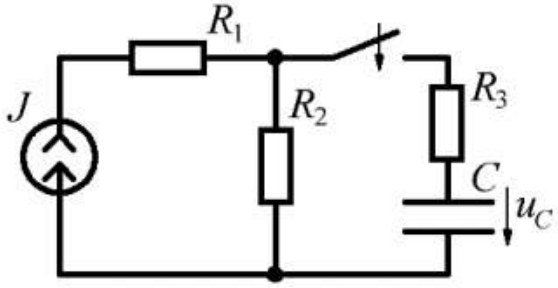
Правильным является ответ Б.

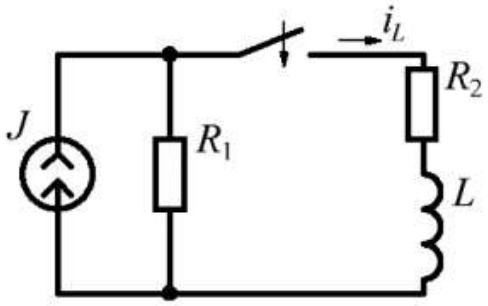
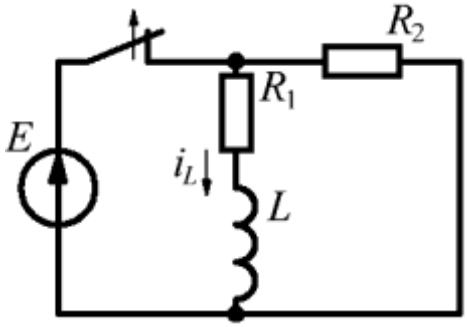
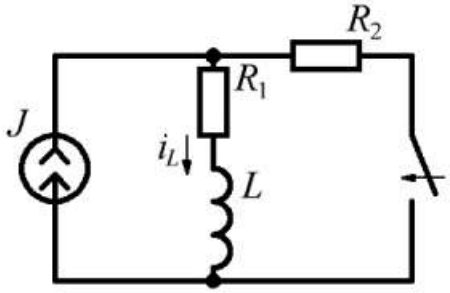
При ответе на задание достаточно указать букву правильного ответа, не приводя выкладки.

Задание № 3 – задача (10 баллов)

Задачи по теме «Линейные электрические цепи постоянного тока. Переходные процессы

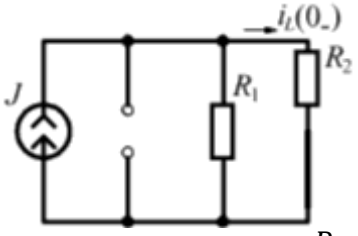
в линейных цепях постоянного тока»	
3.1	Найти ток $i_L(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** E = 100 В, L = 2 мГн, R_1 = 5 Ом, R_2 = 20 Ом. 
3.2	Найти ток $i_L(t)$ при размыкании ключа. **Дано:** J = 5 А, L = 6 мГн, R_1 = 5 Ом, R_2 = 20 Ом, R_3 = 4 Ом. 
3.3	Найти ток $i_L(t)$ при размыкании ключа. **Дано:** E = 20 В, L = 2,4 мГн, R_1 = 5 Ом, R_2 = 3Ом. 

3.4	Найти ток $i_L(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** J=10 А, L= 30 мГн, R_1= 2 Ом, R_2= 3 Ом.  **Ответ:** $i_L(t) = 4e^{-100t} A$.
3.5	Найти напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** E=100 В, C=10 мкФ, R_1= 12 Ом, R_2= 8 Ом.  **Ответ:** $u_C(t) = 100(1 - e^{-5000t})$ В.
3.6	Найти напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** E = 200 В, C = 20 мкФ, R_1 = 5 Ом, R_2 = 25 Ом. 
3.7	Найти напряжение на конденсаторе $u_C(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** J = 2 А, C = 5 мкФ, R_1 = 2 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 10 Ом. 

3.8	Найти ток $i_L(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** J = 30 А, L = 3,6 мГн, R_1= 12 Ом, R_2 = 6 Ом. 
3.9	Найти ток $i_L(t)$ при размыкании ключа. **Дано:** E = 100 В, L = 24 мГн, R_1 = 20 Ом, R_2 = 4 Ом. 
3.10	Найти ток $i_L(t)$ при замыкании ключа. **Дано:** J = 4 А, L = 0,8 мГн, R_1 = 12 Ом, R_2 = 4 Ом. 

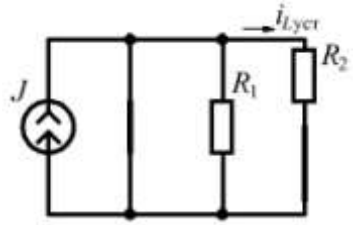
Пример выполнения Задания 3.4

1.Определение начальных условий



$i_L(0_-) = i_L(0_+) = J\dfrac{R_1}{R_1 + R_2} = 10\dfrac{2}{2+3} = 4$ А.

2. Поиск установившегося режима.

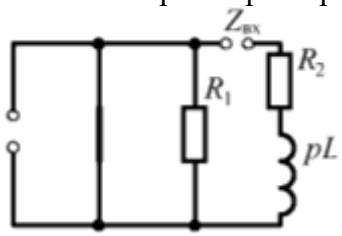


$i_{Lуст} = 0$ А.

3. Уравнение для тока

$i_L(t) = i_{Lуст} + i_{Lпрех} = Ae^{pt}$.

4. Поиск корня характеристического уравнения



$Z_{вх} = pL + R_2 = 0; p = -{}^{R_2}/_{L} = -{}^{3}/_{30 \cdot 10^{-3}} = -100\ {}^{1}/_{с}$

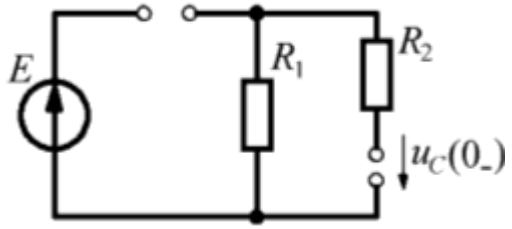
5. Поиск постоянной интегрирования

$i_L(0) = 4 = Ae^0; A = 4$.

Ответ:$i_L(t) = 4e^{-100t}A$

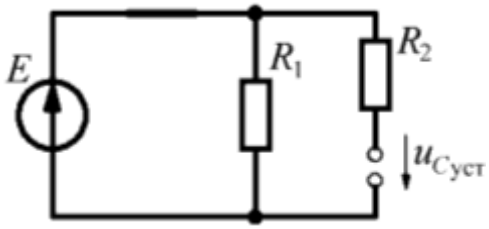
Пример выполнения Задания 3.5

1.Определение начальных условий



$u_C(0_-) = u_C(0_+) = 0$ В.

2. Поиск установившегося режима.

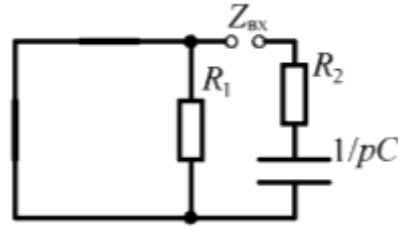


$u_{C\text{уст}} = E = 100$ В.

3. Уравнение для напряжения

$u_C(t) = u_{C\text{уст}} + u_{C\text{прех}} = 100 + Ae^{pt}$.

4. Поиск корня характеристического уравнения

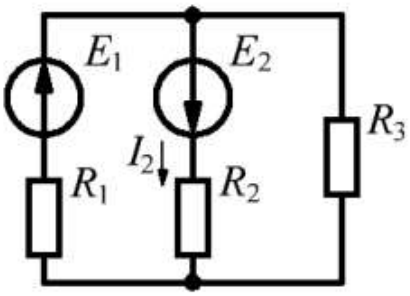
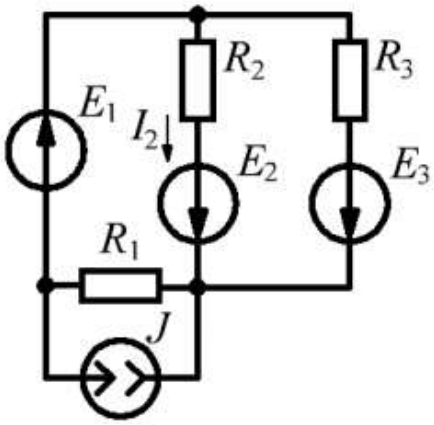
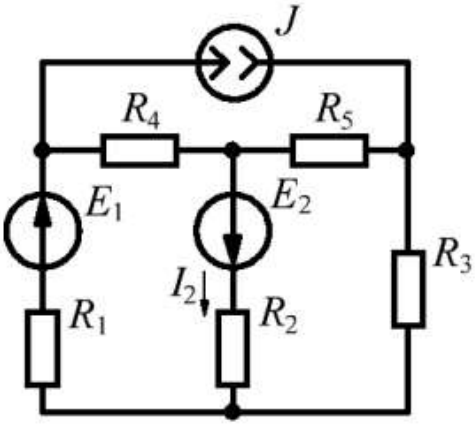


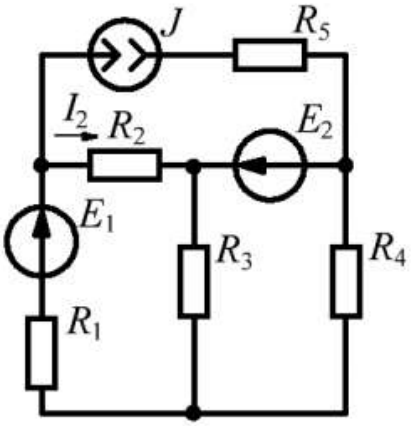
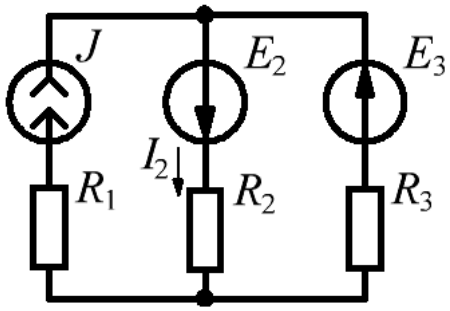
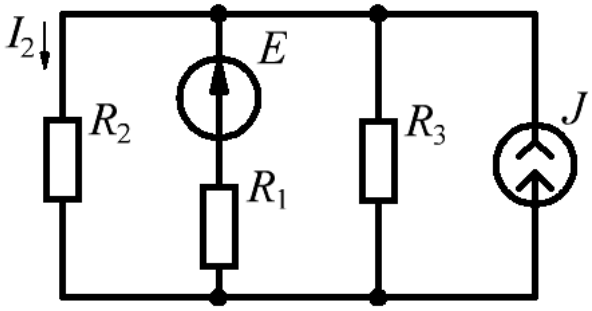
$Z_{\text{вх}} = R_2 + {}^{1}/_{pC} = 0; p = -\dfrac{1}{CR_2} = -\dfrac{1}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 8} = -12500\ {}^{1}/_{\text{с}}$

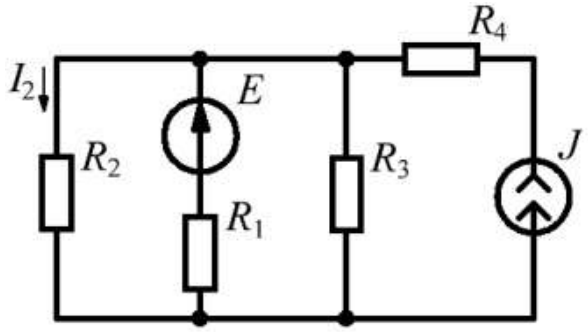
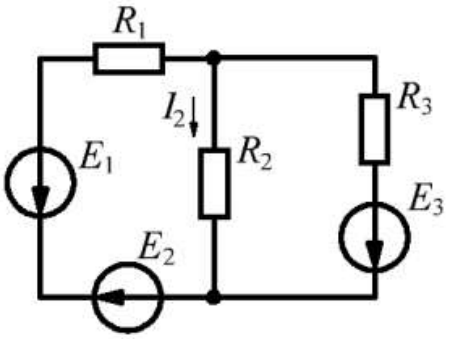
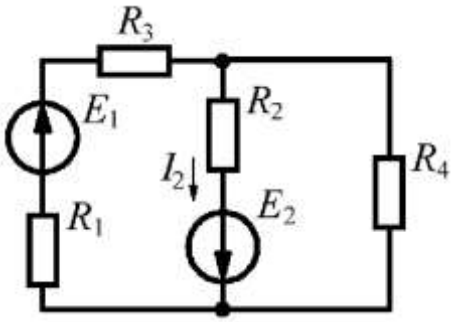
5. Поиск постоянной интегрирования

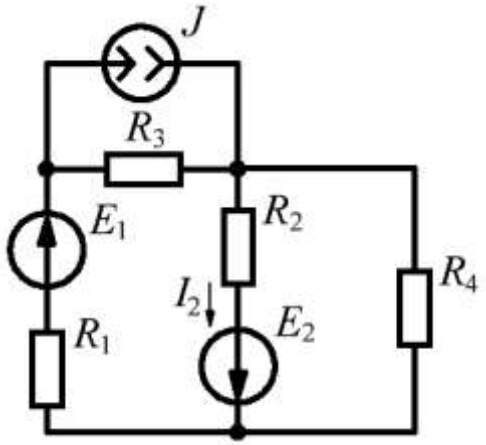
$u_C(0) = 0 = 100 + Ae^0; A = -100.$

Ответ: $u_C(t) = 100(1 - e^{-12500t})$ В

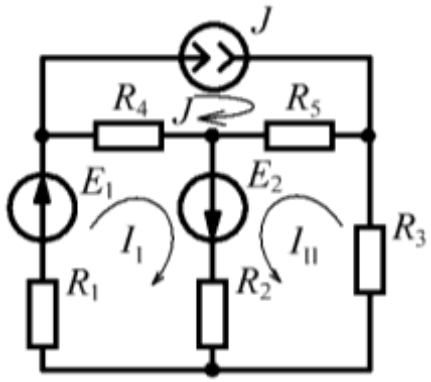
Задание № 4 – задача (10 баллов)	
Задачи по теме «Линейные электрические цепи постоянного тока. Метод контурных токов»	
4.1	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 40 В, E_2 = 20 В; R_1 = 4 Ом, R_2 = 8 Ом, R_3 = 12 Ом. 
4.2	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 20 В, E_2 = 10 В, E_3 = 10 В; J = 10 А; R_1 = 5 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 10 Ом. 
4.3	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 20 В, E_2 = 10 В; J = 10 А; R_1 = 5 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 10 Ом, R_4 = R_5 = 1 Ом.  **Ответ:** $I_2 = 3{,}29$А

4.4	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 100 В, E_2 = 20 В; J = 5 А; R_1 = 10 Ом, R_2 = 20 Ом, R_3 = 5 Ом, R_4 = 10 Ом, R_5 = 25 Ом. 
4.5	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_2 = 16 В, E_4 = 4 В; J = 1 А; R_1 = 5 Ом, R_2 = 8 Ом, R_3 = 2 Ом. 
4.6	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E = 50 В; J = 5 А; R_1 = 2 Ом, R_2 = 3 Ом, R_3 = 4 Ом. 

4.7	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E = 50 В; J = 5 А; R_1 = 2 Ом, R_2 = 3 Ом, R_3 = 4 Ом, R_4 = 5 Ом. 
4.8	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 30 В, E_2 = 50 В, E_3 = 10 В; R_1 = 10 Ом, R_2 = 5 Ом, R_3 = 15 Ом. 
4.9	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 10 В, E_2 = 30 В; R_1 = 5 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 15 Ом, R_4 = 20 Ом. 

4.10	Найти ток I_2 методом контурных токов. **Дано:** E_1 = 10 В, E_2 = 30 В; J = 2 А; R_1 = 5 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 15 Ом, R_4 = 20 Ом. 

Пример выполнения Задания 4.3



$$\begin{cases} E_1 + E_2 = I_I(R_1 + R_2 + R_4) - JR_4 + I_{II}R_2; \\ E_2 = I_{II}(R_2 + R_3 + R_5) - JR_5 + I_I R_2. \end{cases}$$

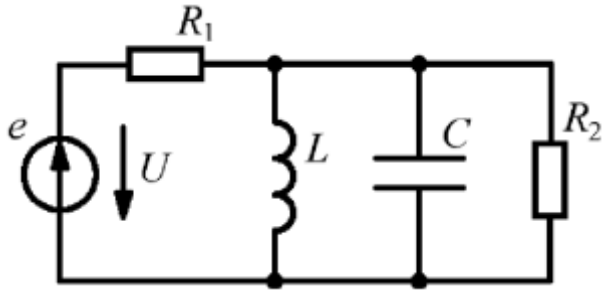
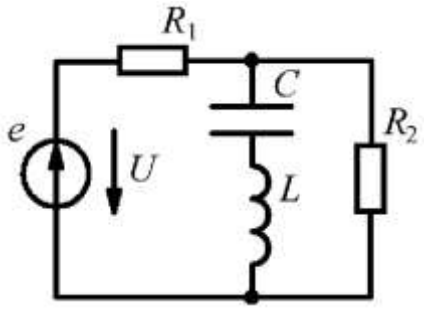
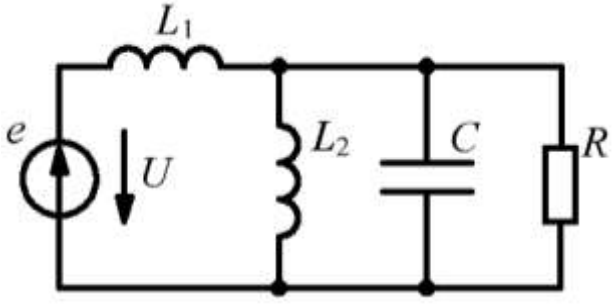
$$\begin{cases} 20 + 10 = I_I(5 + 4 + 1) - 10 * 1 + 4I_{II}; \\ 10 = I_{II}(4 + 10 + 1) + 10 * 1 + 4I_I. \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_I = 4{,}48 \text{ А}; \\ I_{II} = -1{,}19 \text{ А}. \end{cases}$$

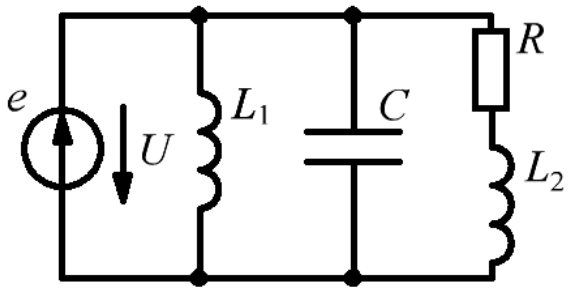
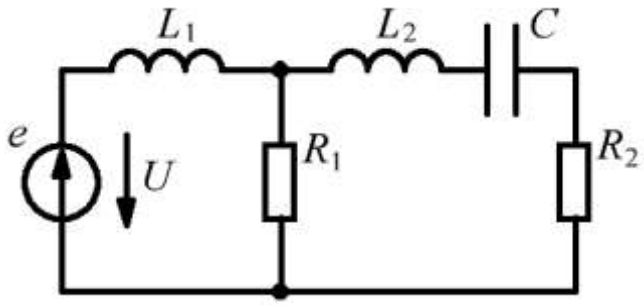
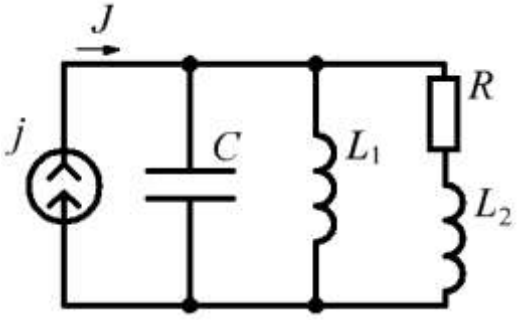
$I_2 = I_I + I_{II} = 4{,}48 - 1{,}19 = 3{,}29$ А.

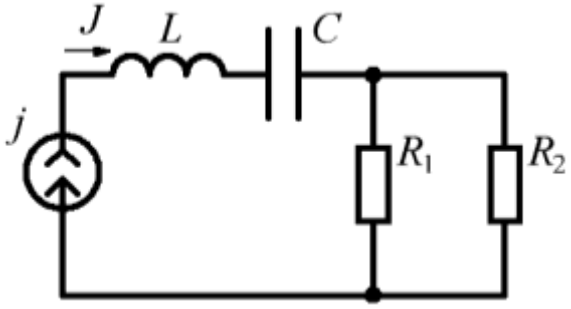
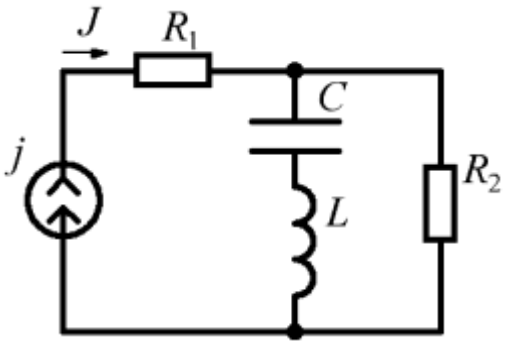
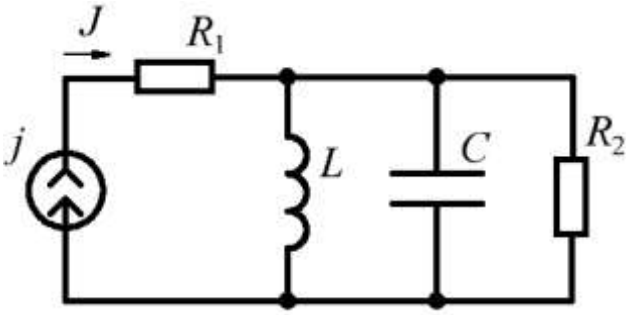
Ответ: $I_2 = 3{,}29$ А

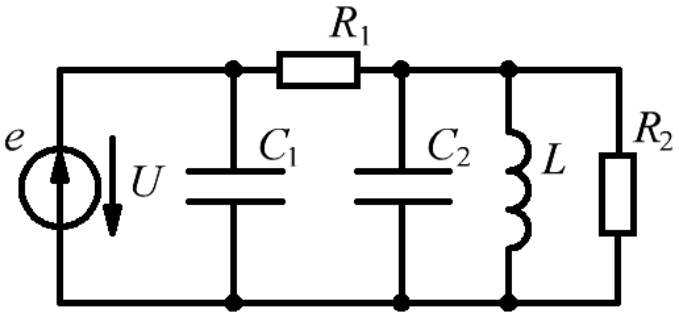
Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру

<table>
<tr><th colspan="2">Задание № 5 – задача (10 баллов)</th></tr>
<tr><td colspan="2">Задачи по теме «Резонанс токов и напряжений»</td></tr>
<tr><td>5.1</td><td>Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение тока I_{R1}.
Дано: U = 20 В, L = 0,2 мГн, C = 2 мкФ, R_1 = 10 Ом, R_2 = 30 Ом.
 
</td></tr>
<tr><td>5.2</td><td>Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс напряжений, и действующее значение тока I_{R1}.
Дано: U = 200 В, L = 4 мГн, C = 20 мкФ, R_1 = 10 Ом, R_2 = 30 Ом.
 
</td></tr>
<tr><td>5.3</td><td>Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение тока I_R.
Дано: U = 50 В, L_1 = 2 мГн, L_2 = 0,2 мГн, C = 2 мкФ, R = 100 Ом.
 

Ответ: $f_0 = 7960$ Гц, $I_R = 0{,}355$ А.</td></tr>
</table>

5.4	Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение тока I_R. **Дано:** U = 70 В, L_1 = 4 мГн, L_2 = 10 мГн, C = 40 мкФ, R = 100 Ом. 
5.5	Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс напряжений, и действующее значение тока I_{R2}. **Дано:** U = 100 В, L_1 = 10 мГн, L_2 = 0,4 мГн, C = 4 мкФ, R_1 = 100 Ом, R_2 = 150 Ом.  **Ответ:** $f_0 = 3980$ Гц, $I_{R2} = 0{,}156$ А.
5.6	Найти частоту f_0 синусоидального тока источника $j(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение напряжения U_{L2} **Дано:** J = 2 А, L_1 = 0,1 мГн, L_2 = 0,5 мГн, C = 2,53 мкФ, R = 10 Ом. 

5.7	Найти частоту f_0 синусоидального тока источника $j(t)$, при которой имеет место резонанс напряжений, и действующее значение напряжения U_{R2} **Дано:** J = 7 А, L = 1,6 мГн, C = 0,5 мкФ, R_1 = 20 Ом, R_2 = 15 Ом. 
5.8	Найти частоту f_0 синусоидального тока источника $j(t)$, при которой имеет место резонанс напряжений, и действующее значение напряжения U_{R1} **Дано:** J = 2 А, L = 0,1 мГн, C = 2,53 мкФ, R_1 = 20 Ом, R_2 = 15 Ом. 
5.9	Найти частоту f_0 синусоидального тока источника $j(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение напряжения U_{R2} **Дано:** J = 2 А, L = 0,1 мГн, C = 2,53 мкФ, R_1 = 20 Ом, R_2 = 15 Ом. 

5.10	Найти частоту f_0 синусоидальной ЭДС $e(t)$, при которой имеет место резонанс токов, и действующее значение тока I_{R1}. **Дано:** U = 150 В, L = 0,4 мГн, C_1 = 4 мкФ, C_2 = 8 мкФ, R_1 = 10 Ом, R_2 = 5 Ом. 

Пример выполнения Задания 5.3

При резонансе $X_{L2} = X_C$;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 50 \cdot 10^3$ рад/с;

$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{50000}{2\pi} = 7960$ Гц;

$$I_R = \frac{U}{\sqrt{(\omega_0 L_1)^2 + R^2}} = \frac{50}{\sqrt{(50 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3})^2 + 100^2}} = \frac{50}{100\sqrt{2}} = 0{,}355\ A$$

Ответ: $I_R = 0{,}355$ А.

Пример выполнения Задания 5.5

При резонансе $X_{L2} = X_C$;

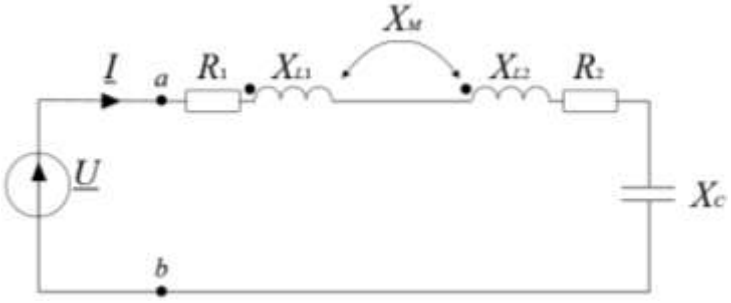
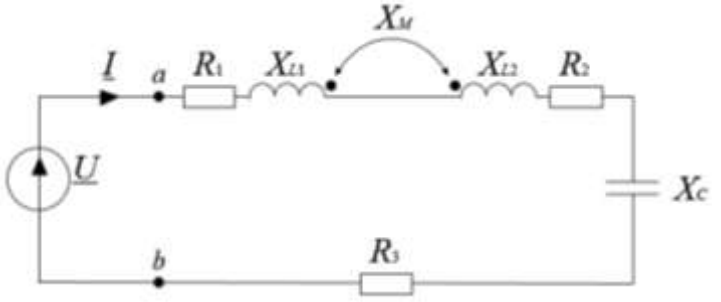
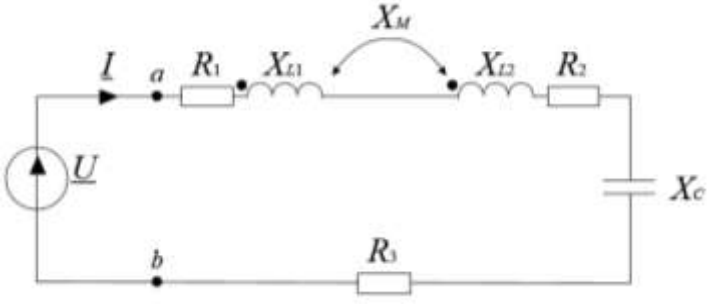
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}} = 25 \cdot 10^3$ рад/с;

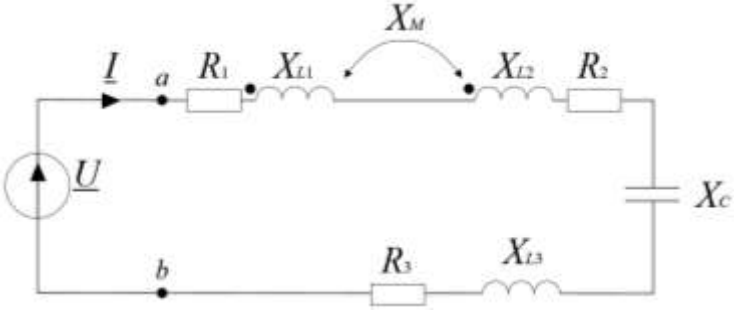
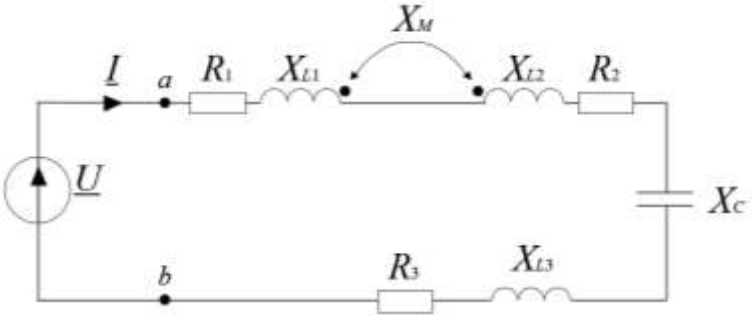
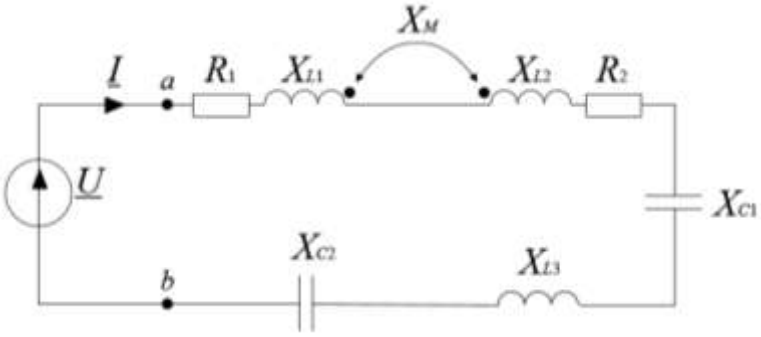
$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{25000}{2\pi} = 3980$ Гц;

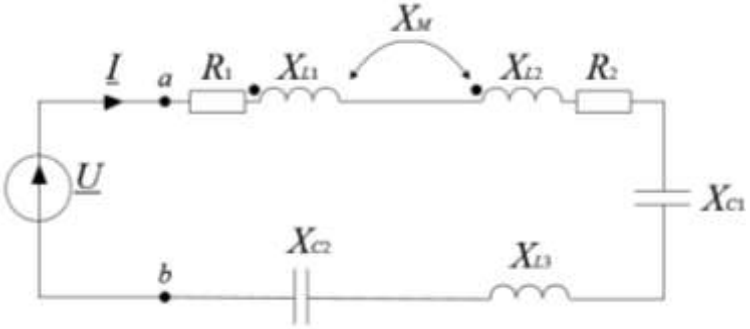
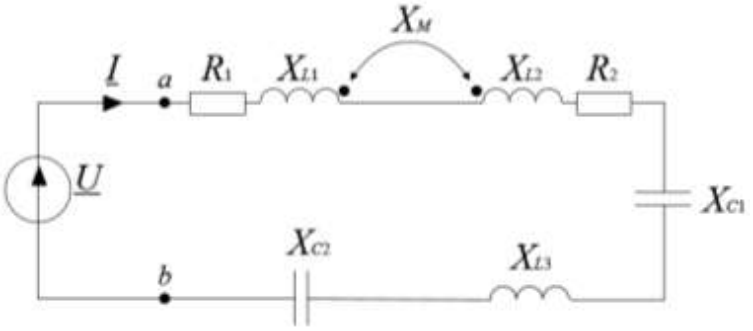
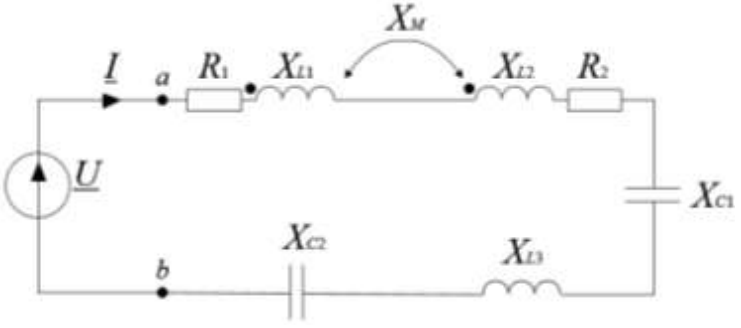
$$I_L = \frac{U}{\sqrt{(\omega_0 L_1)^2 + \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)^2}} = \frac{100}{\sqrt{(25 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3})^2 + \left(\frac{100 \cdot 150}{100 + 150}\right)^2}} = \frac{100}{257} = 0{,}39\ A$$

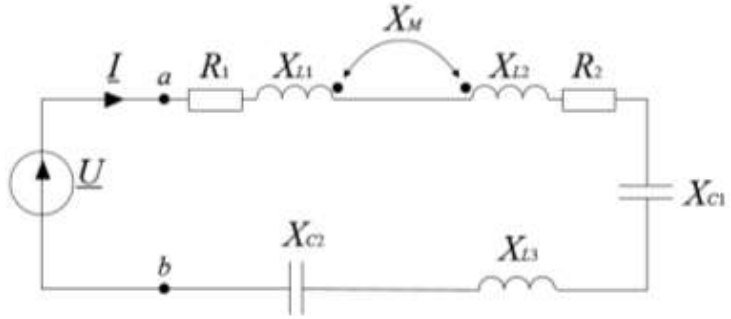
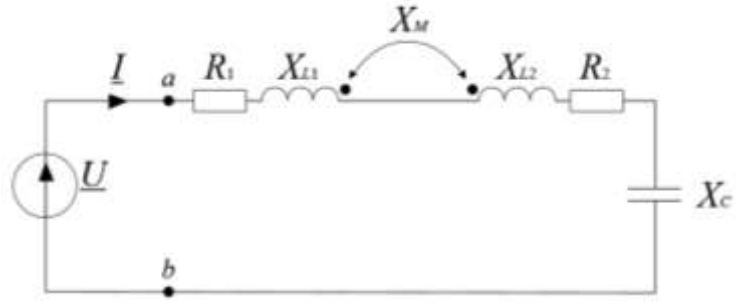
$$I_{R2} = I_L \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0{,}39 \frac{100}{250} = 0{,}156\text{А}$$

Ответ: $I_{R2} = 0{,}156$ А.

Задание № 6 – задача (10 баллов)	
Задачи по теме «Расчет цепи при наличии индуктивно-связанных элементов»	
6.1	**Дано**: $\underline{U}$=20 В; R_1=2 Ом; R_2=4 Ом; X_{L1}=5 Ом; X_{L2}=4 Ом; X_M=3 Ом; X_C=2 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.2	**Дано**: $\underline{U}$=40∠30° В; R_1=4 Ом; R_2=5 Ом; R_3=6 Ом; X_{L1}=8 Ом; X_{L2}=5 Ом; X_M=2,5 Ом; X_C=5 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.3	**Дано**: $\underline{U}$=15∠45° В; R_1=2 Ом; R_2=3 Ом; R_3=2 Ом; X_{L1}=6 Ом; X_{L2}=4 Ом; X_M=1,8 Ом; X_C=6 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов*a*-*b*. 

6.4	**Дано**: $\underline{U}$=25∠60°; R_1=3 Ом; R_2=3 Ом; R_3=3 Ом; X_{L1}=5 Ом; X_{L2}=4 Ом; X_M=2 Ом; X_{L3}=3 Ом; X_C=4 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.5	**Дано**: $\underline{U}$=16 В; R_1=2 Ом; R_2=4 Ом; R_3=1 Ом; X_{L1}=3,5 Ом; X_{L2}=4,5 Ом; X_M=2,25 Ом; X_{L3}=2 Ом; X_C=3,5 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.6	**Дано**: $\underline{U}$=14 В; R_1=2 Ом; R_2=1 Ом; X_{L1}=1,5 Ом; X_{L2}=2,5 Ом; X_M=1,25 Ом; X_{L3}=2 Ом; X_{C1}=2,5 Ом; X_{C2}=2 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 

6.7	**Дано**: $\underline{U}$=50 В; R_1=10 Ом; R_2=8 Ом; X_{L1}=12 Ом; X_{L2}=6 Ом; X_M=7 Ом; X_{L3}=6 Ом; X_{C1}=4 Ом; X_{C2}=5 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.8	**Дано**: $\underline{U}$=35∠45° В; R_1=6 Ом; R_2=3 Ом; X_{L1}=5 Ом; X_{L2}=6 Ом; X_M=2,75 Ом; X_{L3}=1 Ом; X_{C1}=1,75 Ом; X_{C2}=2,2 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.9	**Дано**: $\underline{U}$=40 В; R_1=4 Ом; R_2=7 Ом; X_{L1}=3,5 Ом; X_{L2}=5,25 Ом; X_M=3 Ом; X_{L3}=5,4 Ом; X_{C1}=3,3 Ом; X_{C2}=2,2 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 

6.10	**Дано**: $\underline{U}$=60∠30° В; R_1=9 Ом; R_2=10 Ом; X_{L1}=8 Ом; X_{L2}=9 Ом; X_M=5 Ом; X_{L3}=7 Ом; X_{C1}=5 Ом; X_{C2}=6 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 
6.11	**Дано**: $\underline{U}$=30 В; R_1=8 Ом; R_2=10 Ом; X_{L1}=7 Ом; X_{L2}=5 Ом; X_M=3 Ом; X_C=4 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$ относительно зажимов *a*-*b*. 

Пример выполнения Задания 6.1

1. Определяем коэффициент связи:

$$k_{св} = \frac{X_M}{\sqrt{X_{L1} \cdot X_{L2}}} = \frac{3}{\sqrt{5 \cdot 4}} = 0,67.$$

2. Составляем уравнение по второму закону Кирхгофа с учетом согласного соединения индуктивных катушек:

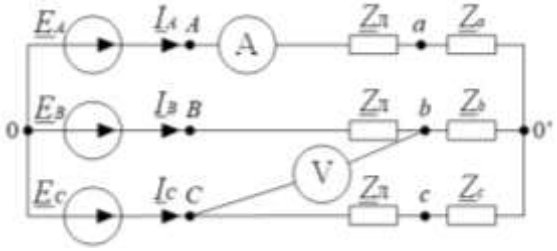
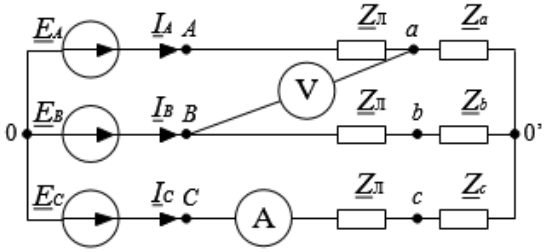
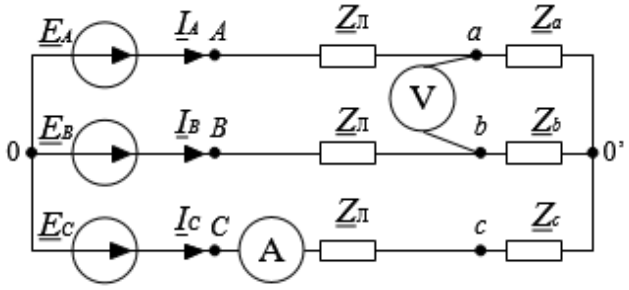
$\underline{U}=\underline{I}\cdot(R_1+R_2+jX_{L1}+jX_{L2}+2jX_M-jX_C)=\underline{I}\cdot\underline{Z}_{ab}$, откуда $\underline{I}=\underline{U}/\underline{Z}_{ab}$=20/(6+13*j*)=**1,4∠-65°А**.

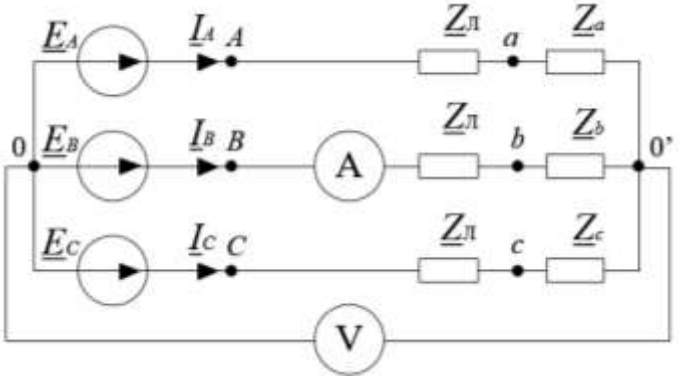
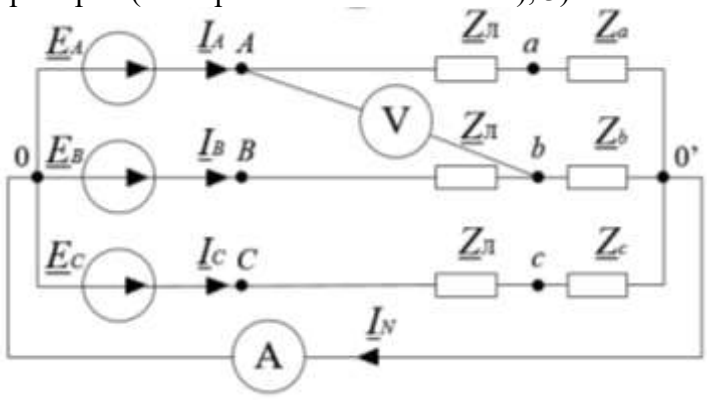
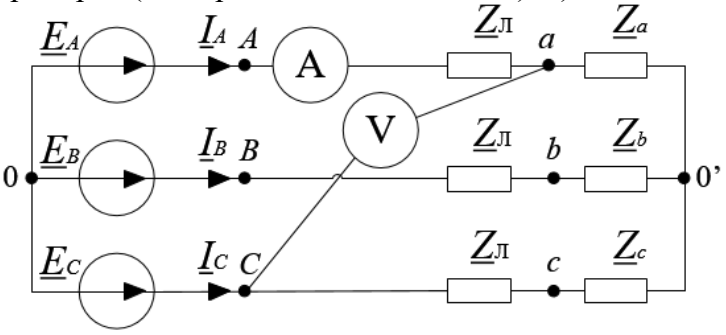
Ответ:

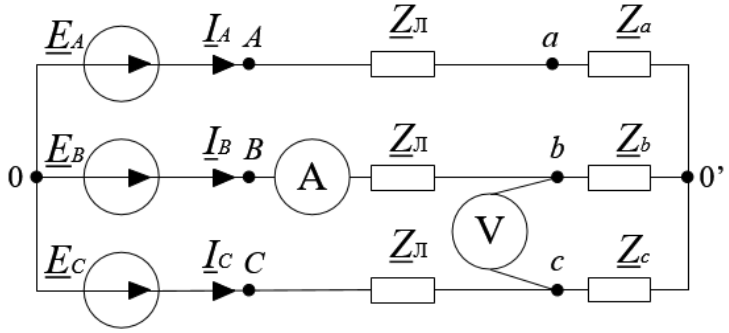
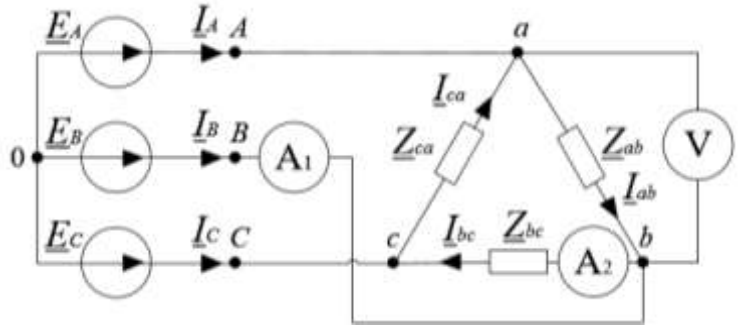
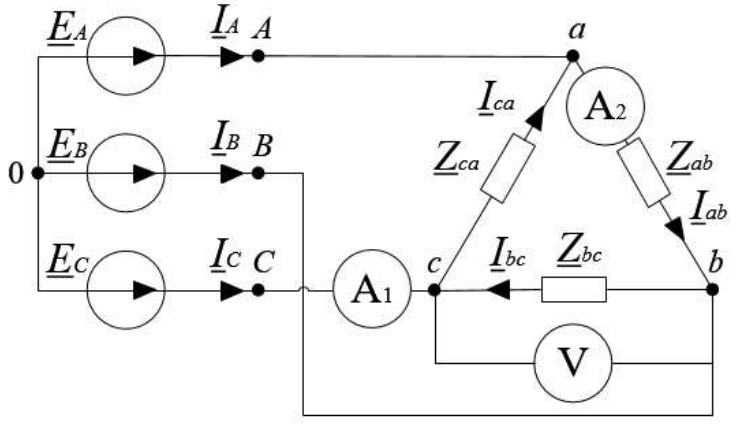
1) $k_{св}$=0,67.

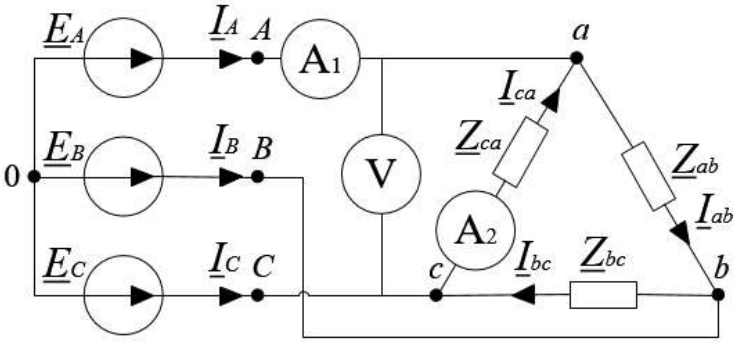
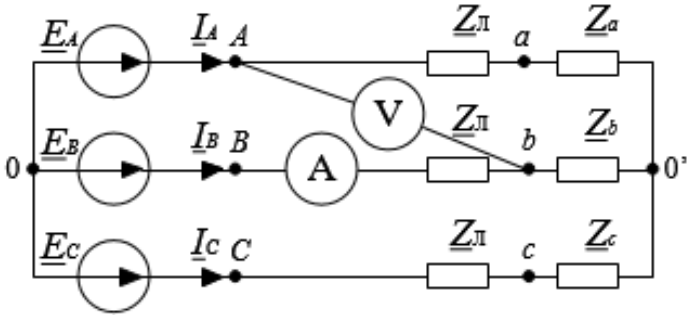
2) $\underline{I}$=1,4∠-65°А.

3) $\underline{Z}_{ab}$=6+13*j* Ом.

Задание № 7 – задача (20 баллов)	
Задачи по теме «Расчет трехфазных цепей»	
7.1	**Дано**: $\underline{E}_A$=220 В; $\underline{E}_B$=220∠-120° В; $\underline{E}_C$=220∠120° В; $\underline{Z}_Л$=2+2j Ом; $\underline{Z}_a$=10-10j Ом; $\underline{Z}_b$=10+10j В; $\underline{Z}_c$=5+15jОм. **Определить:**1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы);3) составить баланс мощности. 
7.2	**Дано**: $\underline{E}_A$=150 В; $\underline{E}_B$=150∠-120° В; $\underline{E}_C$=150∠120° В; $\underline{Z}_Л$=1+2j Ом; $\underline{Z}_a$=5-5j Ом; $\underline{Z}_b$=5+5j В; $\underline{Z}_c$=5Ом. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.3	**Дано**: $\underline{E}_A$=200 В; $\underline{E}_B$=200∠-120° В; $\underline{E}_C$=200∠120° В; $\underline{Z}_Л$=3+3j Ом; $\underline{Z}_a$=15+15j Ом; $\underline{Z}_b$=20+10j В; $\underline{Z}_c$=15jОм. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 

7.4	R_1=3 Ом; R_2=3 Ом; R_3=3 Ом; X_{L1}=5 Ом; X_{L2}=4 Ом; X_M=2 Ом; X_{L3}=3 Ом; X_C=4 Ом. **Определить:** 1) коэффициент связи $k_{св}$; 2) значение входного тока $\underline{I}$; 3) значение входного сопротивления $\underline{Z}_{ab}$относительно зажимов *a*-*b*. **Дано**: $\underline{E}_A$=300 В; $\underline{E}_B$=300∠-120° В; $\underline{E}_C$=300∠120° В; $\underline{Z}_Л$=3+3*j* Ом; $\underline{Z}_a$=30+10*j* Ом; $\underline{Z}_b$=20+5*j* В;$\underline{Z}_c$=10-10*j*Ом. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.5	**Дано**: $\underline{E}_A$=170 В; $\underline{E}_B$=170∠-120° В; $\underline{E}_C$=170∠120° В; $\underline{Z}_Л$=1+1*j* Ом; $\underline{Z}_a$=5-5*j* Ом; $\underline{Z}_b$=5+5*j* В; $\underline{Z}_c$=2+12*j*Ом. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_N$(в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.6	**Дано**: $\underline{E}_A$=250 В; $\underline{E}_B$=250∠-120° В; $\underline{E}_C$=250∠120° В; $\underline{Z}_Л$=1+3*j* Ом; $\underline{Z}_a$=12-12*j* Ом; $\underline{Z}_b$=12+12*j* В; $\underline{Z}_c$=-12*j*Ом. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 

7.7	**Дано**: $\underline{E}_A$=330 В; $\underline{E}_B$=330∠-120° В; $\underline{E}_C$=330∠120° В; $\underline{Z}_Л$=5+5j Ом; $\underline{Z}_a$=20-20j Ом; $\underline{Z}_b$=30+30j В; $\underline{Z}_c$=50+50jОм. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.8	**Дано**: $\underline{E}_A$=220 В; $\underline{E}_B$=220∠-120° В; $\underline{E}_C$=220∠120° В; $\underline{Z}_{ab}$=10-10j Ом; $\underline{Z}_{bc}$=10+10j В; $\underline{Z}_{ca}$=10+10jОм. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_{bc}$, $\underline{I}_{ca}$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.9	**Дано**: $\underline{E}_A$=127 В; $\underline{E}_B$=127∠-120° В; $\underline{E}_C$=127∠120° В; $\underline{Z}_{ab}$=8+8j Ом; $\underline{Z}_{bc}$=15+15j В; $\underline{Z}_{ca}$=5-5jОм. **Определить:**1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_{bc}$, $\underline{I}_{ca}$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 

7.10	**Дано**: $\underline{E}_A$=100 В; $\underline{E}_B$=100∠-120° В; $\underline{E}_C$=100∠120° В; $\underline{Z}_{ab}$=15+15j Ом; $\underline{Z}_{bc}$=5+20j В; $\underline{Z}_{ca}$=20+5jОм. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_{bc}$, $\underline{I}_{ca}$(в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 
7.11	**Дано**: $\underline{E}_A$=100 В; $\underline{E}_B$=100∠-120° В; $\underline{E}_C$=100∠120° В; $\underline{Z}_Л$=1+j Ом; $\underline{Z}_a$=8+8j Ом; $\underline{Z}_b$=5+5j В; $\underline{Z}_c$=6-6jОм. **Определить:** 1) значения токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ (в комплексной форме); 2) показания приборов (электромагнитной системы); 3) составить баланс мощности. 

<u>Пример выполнения Задания 7.1</u>

1. Определяем напряжение смещения нейтрали $\underline{U}_{0'0}$:

$$\underline{U}_{0'0}=\frac{\dfrac{\underline{E}_A}{\underline{Z}_a+\underline{Z}_Л}+\dfrac{\underline{E}_B}{\underline{Z}_b+\underline{Z}_Л}+\dfrac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_c+\underline{Z}_Л}}{\dfrac{1}{\underline{Z}_a+\underline{Z}_Л}+\dfrac{1}{\underline{Z}_b+\underline{Z}_Л}+\dfrac{1}{\underline{Z}_c+\underline{Z}_Л}}=\frac{\dfrac{220}{12-8j}+\dfrac{220\angle-120°}{12+12j}+\dfrac{220\angle120°}{7+17j}}{\dfrac{1}{12-8j}+\dfrac{1}{12+12j}+\dfrac{1}{7+17j}}=$$

$$=124,68\angle86,9°\text{ В}.$$

Определяем значения искомых токов:

$$\underline{I}_A=\frac{\underline{E}_A-\underline{U}_{0'0}}{\underline{Z}_a+\underline{Z}_Л}=\frac{220-124,68\angle86,9°}{12-8j}=17,12\angle3,4°\text{А};$$

$$\underline{I}_B=\frac{\underline{E}_B-\underline{U}_{0'0}}{\underline{Z}_b+\underline{Z}_Л}=\frac{220\angle-120°-124,68\angle86,9°}{12+12j}=19,8\angle-155,3°\text{А};$$

$$\underline{I}_C=\frac{\underline{E}_C-\underline{U}_{0'0}}{\underline{Z}_c+\underline{Z}_Л}=\frac{220\angle120°-124,68\angle86,9°}{7+17j}=7,295\angle82,9°\text{А};$$

2. Определяем показания приборов:

$\underline{I}_A$=17,12∠3,4°А. Следовательно, показание амперметра «А» составляет I_A=**17,12А**.

$\underline{U}_{bC}=\underline{I}_B\cdot\underline{Z}_b-\underline{I}_C\cdot(\underline{Z}_c+\underline{Z}_Л)$=329,2∠-86,6° В. Следовательно, показание вольтметра «V» составляет U_{bC}=**329,2 В**.

3. Составляем баланс мощности:

Мощность источников: $\underline{S}_{\text{и}} = \underline{E}_A \cdot \overset{*}{\underline{I}}_A + \underline{E}_B \cdot \overset{*}{\underline{I}}_B + \underline{E}_C \cdot \overset{*}{\underline{I}}_C = 8594{,}91 + 3261{,}87\,j$ ВА.

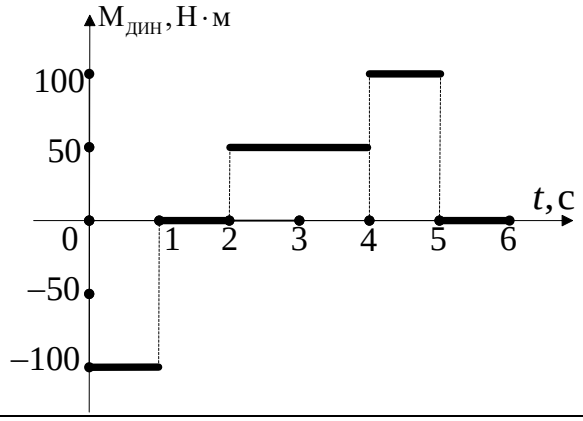
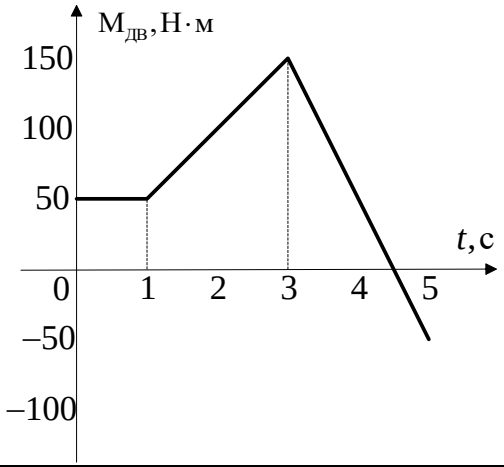
Мощность нагрузки: $\underline{S}_{\text{н}} = I_A^2 \cdot (\underline{Z}_a + \underline{Z}_{\text{Л}}) + I_B^2 \cdot (\underline{Z}_b + \underline{Z}_{\text{Л}}) + I_C^2 \cdot (\underline{Z}_c + \underline{Z}_{\text{Л}}) = 8594{,}13 + 3264{,}41\,j$ ВА.

Ответ:

1) $\underline{I}_A$=17,12$\angle$3,4° А; $\underline{I}_B$=19,8$\angle$-155,3°А; $\underline{I}_C$=7,295$\angle$82,9° А.

2) I_A=17,12 А; U_{bC}=329,2В.

3) 8594,91+3261,87j ВА≈8594,13+3264,41j ВА.

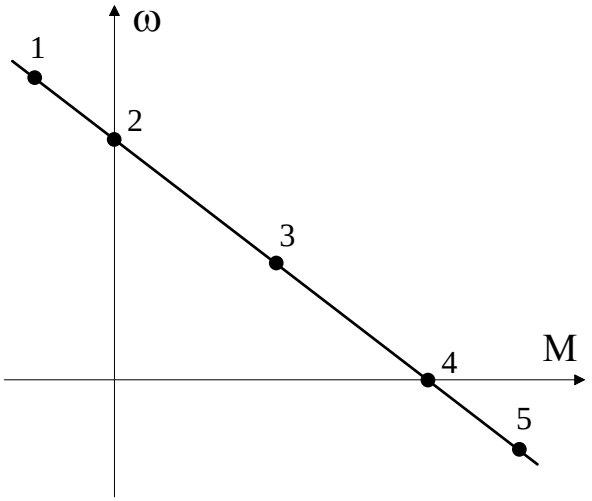
Задание № 8 – по выбору (10 баллов)	
Поступающий выбирает для выполнения один из 8 вариантов задания № 8. Каждый вариант задания № 8 соответствует отдельному профилю программы магистратуры	
Вариант 1. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА	
8.1.1	Заданы временные зависимости моментов электродвигателя (ЭД) и исполнительного органа (ИО): ЭД: $M(t) = 30t - 15$; ИО: $M_C(t) = -25 + 10t$, а также начальная угловая частота вращения $\omega_{НАЧ.}$ = 50 рад/с. Рассчитать и построить графики $M_{ДИН}(t), \omega(t)$ при заданных начальных условиях и моменте инерции двигателя $J_{ЭД}$ = 0,8 кг·м^2.
8.1.2	Постройте график скорости ω(*t*) и угла поворота φ(*t*) жесткого приведенного механического звена с моментом инерции $J_\Sigma = 1$ кг·м^2. График зависимости динамического момента электропривода от времени представлен на рисунке. 
8.1.3	Постройте график скорости ω(*t*) жесткого приведенного механического звена с моментом инерции $J_\Sigma = 1$ кг·м^2. График зависимости момента электродвигателя $M(t)$ представлен на рисунке ниже, а активный момент сопротивления равен 50 Н·м, начальная угловая частота вращения $\omega_{НАЧ.} = 100$ рад/с. 
8.1.4	Естественная механическая характеристика двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) проходит через точки с координатами (0 Н·м, 110 рад/с) и (10 Н·м, 100 рад/с), а характеристика при питании якорной цепи от управляемого источника напряжения – через точки (0 Н·м, 75 рад/с) и (10 Н·м, 60 рад/с). Найти ЭДС управляемого источника напряжения и его внутреннее сопротивление, если

	номинальное напряжение якоря ДПТ НВ равно 110 В.
8.1.5	Скорость холостого хода электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения на естественной характеристике составляет 100 рад/с. Номинальный электромагнитный момент составляет 10 Н·м. Определить длительно допустимый электромагнитный момент на искусственной характеристике, если скорость холостого хода $\omega_{XX.И}$ на ней 150 Н·м, а напряжение на обмотке якоря равно номинальному $U_{Я.Н}$.
8.1.6	Постройте естественные электромеханическую и механическую характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа МП-41, имеющего следующие паспортные данные, приведенные в таблице: **Таблица – Параметры ДПТ НВ типа МП-41** Номинальная мощность, $P_{Н}$ — 12 кВт Номинальная частота вращения, $n_{Н}$ — 685 об/мин Номинальное напряжение, $U_{Я.Н.}$ — 220 В Номинальный ток якоря, $I_{Я.Н.}$ — 64 А Сопротивление якоря и дополнительных полюсов (при температуре 20°С), $R_{ЯΣ}$ — 0,248 Ом
8.1.7	Данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения приведены в таблице: **Таблица – Параметры ДПТ НВ** Номинальная мощность, $P_{Н}$ — 1,9 кВт Номинальная частота вращения, $n_{Н}$ — 1000 об/мин Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{Н}$ — 80,4% Номинальное напряжение, $U_{Я.Н.}$ — 110 В Номинальный ток якоря, $I_{Я.Н.}$ — 21 А Активное сопротивление цепи якоря, $R_{Я}$ — 0,41 Ом Момент инерции, J — 0,057 кг·м^2 Для заданного двигателя найти значение магнитного потока kФ, при котором искусственная характеристика пройдет через точку с координатами ($M_{ЭМ.Н.}$, $1{,}1\cdot\omega_{Н}$), где $M_{ЭМ.Н.}$ – электромагнитный номинальный момент. Построить эту характеристику и найти длительно допустимый момент при работе на ней.
8.1.8	Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) имеет следующие паспортные данные: **Таблица – Параметры ДПТ НВ** Номинальная мощность, $P_{Н}$ — 16 кВт Номинальная частота вращения, $\omega_{Н}$ — 72 рад/с Номинальное напряжение, $U_{Я.Н.}$ — 220 В Номинальный ток якоря, $I_{Я.Н.}$ — 86 А

	Сопротивление якоря и дополнительных полюсов (при температуре 20°С), $R_{ЯΣ}$	0,21 Ом

Как следует изменить напряжение, приложенное к якорю ДПТ НВ, чтобы механическая характеристика прошла через точку с координатами $\omega_{И} = 36$ рад/с, $M_{И} = 36$ Н·м? Постройте полученные искусственные механическую и электромеханическую характеристики.

8.1.9 Изобразите диаграммы потоков энергии и составьте баланс мощностей для двигателя постоянного тока независимого возбуждения при работе в точках 1, 2, 3, 4, 5 на характеристике, представленной на рисунке.



8.1.10 Для быстрой остановки двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), работающего в номинальном режиме, применяют динамическое торможение. Рассчитайте дополнительное сопротивление, которое необходимо включить в цепь якоря, если известно, что перегрузочная способность двигателя равна 2 ($I_{ДОП.} = 2 \cdot I_{Н}$). Постройте механическую и электромеханическую характеристики ДПТ НВ в режиме динамического торможения и определите время торможения. Суммарный момент инерции ДПТ и механизма $J_{Σ} = 1,6$ кг·м2, момент статической нагрузки реактивный. Параметры двигателя представлены в таблице:

Таблица – Параметры ДПТ НВ

Номинальная мощность, $P_{Н}$	4,6 кВт
Номинальная частота вращения, $n_{Н}$	975 об/мин
Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{Н}$	80,4%
Номинальное напряжение, $U_{Я.Н}$	115 В
Номинальный ток якоря, $I_{Я.Н}$	39,1 А
Активное сопротивление цепи якоря, $R_{Я}$	0,07 Ом
Индуктивность цепи якоря, $L_{я}$	0,0003 Гн

	Момент инерции, J_Σ	0,3 кг·м^2

Пример выполнения Задания 8.1.1

$$M_{\text{ДИН}}(t) = M(t) - M_{\text{С}}(t)$$

$$M_{\text{ДИН}}(t) = 30t - 15 - (-25 + 10t)$$

$$M_{\text{ДИН}}(t) = 20t + 10$$

Из уравнения движения следует, что:

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{M(t) - M_{\text{С}}(t)}{J_{ЭД}} = \frac{M_{\text{ДИН}}(t)}{J_{ЭД}}$$

Получаем:

$$\omega(t) = \frac{10t^2 + 10t}{J_{ЭД}} + \omega_{\text{НАЧ.}}$$

$$\omega(t) = 12{,}5t^2 + 12{,}5t + 50$$

Далее строим графики полученных зависимостей.

Пример выполнения Задания 8.1.5

Для ДПТ НВ $\omega_{XX} = \frac{U_Я}{k\Phi}$.

Отсюда $k\Phi_E$ для естественной характеристики равен:

$$k\Phi_E = \frac{U_{Я.Н}}{\omega_{XX.E}}$$

$k\Phi_И$ для искусственной характеристики равен:

$$k\Phi_И = \frac{U_{Я.Н}}{\omega_{XX.И}}.$$

При ослаблении магнитного потока допустимый момент для искусственной характеристики $M_{\text{Д.И}}$ можно оценить как:

$$M_{\text{Д}} = M_{\text{Н}} \cdot \frac{k\Phi_И}{k\Phi_E},$$

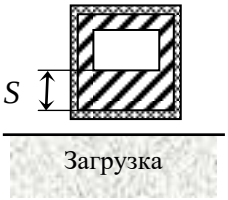
где $\frac{k\Phi_И}{k\Phi_E} = \frac{\omega_{XX.E}}{\omega_{XX.И}} = \frac{100}{150}$

Отсюда:

$$M_{\text{Д.И}} = 10 \cdot \frac{100}{150} \approx 6{,}67$$

Вариант 2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ	
Задачи по теме «Основы теплопередачи в электротермических установках»	
8.2.1	Стенка температурой 60°С охлаждается путем естественной конвекции воздухом температурой 20°С. Какая тепловая мощность отводится от стенки, если коэффициент теплоотдачи равен 10 Вт/(м^2·°С), а площадь поверхности стенки 1,5 м^2? Как изменится

	(увеличится, уменьшится или останется неизменным) коэффициент теплоотдачи, если установить вентилятор, обеспечивающий принудительный обдув стенки воздухом?
	Ответ: 600 Вт; увеличится.
8.2.2	Рассчитайте плотность теплового потока (тепловых потерь) через плоскую двухслойную футерованную стенку электропечи температуру на границе раздела слоев футеровки. При расчете пренебречь зависимостью теплопроводности футеровочных материалов от температуры. **Исходные данные:** огнеупорный слой – шамотный кирпич класса А (толщина S_1=460 мм, теплопроводность λ_1=1,34 Вт/(м·°С)); теплоизоляционный слой – диатомит марки Д-500 (толщина S_2=230 мм, теплопроводность λ_2=0,20 Вт/(м·°С)); температура печи (внутренней поверхности футеровки) 1150°С; температура кожуха печи 50°С.
	Ответ: плотность теплового потока 736 Вт/м^2; температура на границе слоев 897°С.
9.2.3	Рассчитайте плотность теплового потока (тепловых потерь) через плоскую однослойную футерованную стенку электропечи, температуру внутренней поверхности футеровки и температуру кожуха печи. Теплообмен между стенкой и средой (воздухом) внутри и снаружи печи считается чисто конвективным. При расчете пренебречь зависимостью теплопроводности футеровочных материалов от температуры. **Исходные данные:** материал футеровки – минеральная вата (толщина S=150 мм, теплопроводность λ=0,096 Вт/(м·°С)); температура среды внутри и снаружи печи соответственно 400°С и 20°С; коэффициент теплоотдачи конвекцией для внутренней поверхности футеровки 40 Вт/(м^2·°С), для наружной 10 Вт/(м^2·°С).
	Ответ: плотность теплового потока 225 Вт/м^2; температура внутренней поверхности футеровки 394°С, температура кожуха 43°С.
8.2.4	Загрузка выпуклой формы площадью поверхности 1 м^2 находится в камере печи, площадь внутренней поверхности футеровки которой составляет 2,5 м^2. Степень черноты загрузки 0,8, стенки печи 0,9. Рассчитайте значение приведенного коэффициента теплообмена излучением между стенкой и загрузкой.
	Ответ: 4,38 Вт/(м^2·К^4)
8.2.5	Нагрев загрузки в электропечи сопротивления происходит при постоянном тепловом потоке на поверхности, имеет место регулярный режим. Скорость нагрева загрузки составляет 5°С/с, перепад температуры по сечению загрузки (разность температур поверхности и центра) 6,5°С. Каким будет перепад температуры по сечению, если при прочих равных условиях скорость нагрева снизится (вследствие снижения температуры печи) до 2,5°С/с?
	Ответ: 3,25°С
Задачи по теме «Установки индукционного и диэлектрического нагрева»	
8.2.6	Рассчитайте глубину проникновения электромагнитной волны в материал (алюминий) при индукционном нагреве. Целесообразно ли использовать указанную частоту тока f при нагреве алюминиевой цилиндрической заготовки радиусом R=15 мм под пластическую деформацию. **Исходные данные:** частота тока f=50 Гц; удельное электрическое сопротивление алюминия (при конечной температуре нагрева 550°С) ρ=8,7·10^{-7} Ом·м.
	Ответ: 66 мм; нецелесообразно (низкий КПД)
8.2.7	Рассчитайте глубину проникновения электромагнитной волны в материал (углеродистую сталь) при индукционном нагреве. Целесообразно ли использовать указанную частоту тока f при нагреве стальной детали под закалку, если глубина закаленного слоя должна составлять 4 мм. **Исходные данные:** частота тока f=8 кГц; удельное электрическое сопротивление стали (при конечной температуре нагрева 900°С) ρ=7,5·10^{-7} Ом·м.

	Ответ: 4,9 мм; целесообразно
8.2.8	Активная мощность, потребляемая установкой индукционного нагрева, работающей на частоте 50 Гц, составляет 25 кВт. Установка работает с cosφ=0,3. Определите значение емкости конденсаторной батареи (подключенной параллельно индуктору), обеспечивающей компенсацию реактивной мощности до уровня cosφ=0,96, если напряжение питания индуктора составляет 500 В.
	Ответ: 1010 мкФ
8.2.9	Цилиндрический индуктор установки индукционного нагрева, работающей на частоте 50 Гц, изготовлен из медной неравностенной трубки (см. рис.). Определите толщину стенки трубки, обращенной к загрузке, *S*, из соображений минимума потерь в индукторе. Выбор толщины стенки подтвердите расчетом. 
	Ответ: 13 мм
8.2.10	Рассчитайте частоту тока индуктора индукционной тигельной печи, потребную для плавки 40 кг стали (удельное сопротивление в жидком состоянии $1{,}4\cdot10^{-6}$ Ом·м, плотность в жидком состоянии 6550 кг/м^3). Подберите ближайшую частоту из стандартного ряда.
	Ответ: $f\geq$1130 Гц, из стандартного ряда выбираем 2400 Гц

<u>Пример выполнения Задания 8.2.3</u>

Плотность теплового потока через стенку с учетом конвективного теплообмена со средой

$$q = \frac{t_{вн} - t_н}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_н}},$$

где $t_{вн}$, $t_н$ – температура среды (воздуха) внутри и снаружи печи, °С; S – толщина однослойной стенки, м; λ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·°С); $\alpha_{вн}$, $\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией для внутренней и наружной поверхностей футеровки, Вт/(м^2·°С).

$$q = \frac{400 - 20}{\frac{1}{40} + \frac{0{,}15}{0{,}096} + \frac{1}{10}} = \frac{380}{0{,}025 + 1{,}563 + 0{,}1} = \mathbf{225}\ \text{Вт/м}^2.$$

Температура внутренней поверхности футеровки

$$t' = t_{вн} - q \cdot \frac{1}{\alpha_{вн}},$$
$$t' = 400 - 225 \cdot 0{,}025 = \mathbf{394}\text{°С}$$

Температура кожуха печи

$$t'' = t_н + q \cdot \frac{1}{\alpha_н},$$
$$t' = 20 + 225 \cdot 0{,}1 = \mathbf{43}\text{°С}.$$

<u>Пример выполнения Задания 8.2.10</u>

Объем жидкого металла в тигле

$$V = G/\gamma_ж,$$

где G – емкость печи, кг; $\gamma_ж$ – плотность расплава, кг/м^3.

$$V = 40/6550 = 0{,}0061\ \text{м}^3.$$

Внутренний диаметр тигля

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi} \cdot 0{,}7V_т},$$

где 0,7 – соотношение внутреннего диаметра тигля к высоте металла в тигле.

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4}{3{,}14} \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}0061} = 0{,}176 \text{ м}.$$

Частота тока индуктора определяется из условия $\frac{d_0}{\Delta_{э\ гор}} \geq 10$, где $\Delta_{э\ гор}$ – глубина проникновения электромагнитной волны в горячий жидкий металл. Упрощенное выражение для расчета частоты

$$f \geq 25 \cdot 10^6 \rho_ж / d_0^2,$$

где $\rho_ж$ – удельное электрическое сопротивление жидкого металла, Ом·м.

$$f \geq 25 \cdot 10^6 \cdot 1{,}4 \cdot \frac{10^{-6}}{0{,}176^2} = \mathbf{1130} \text{ Гц}.$$

Из стандартного ряда выбираем ближайшую частоту **2400** Гц.

Вариант 4. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	
8.4.1	К подстанции 10/0,4 кВ для потребителей 1 категории на напряжении 0,4 кВ подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=170 кВт; P_2=120 кВт; P_3=150 кВт; P_4=90 кВт; P_5=140 кВт; P_6=100 кВт Средневзвешенный cos φ =0,9. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность, выбрать число и мощность трансформаторов подстанции.
8.4.2	К двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=210 кВт; P_2=120 кВт; P_3=70 кВт; P_4=120 кВт; P_5=240 кВт Средневзвешенный cos φ =0,87. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность и выбрать мощность трансформаторов подстанции.
8.4.3	К однотрансформаторной подстанции 6/0,4 кВ подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=150 кВт; P_2=100 кВт; P_3=120 кВт; P_4=100 кВт Средневзвешенный cos φ =0,7. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность и выбрать мощность трансформатора подстанции.
8.4.4	К подстанции 6/0,4 кВ для потребителей 1 категории подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=170 кВт; P_2=120 кВт; P_3=150 кВт; P_4=90 кВт; P_5=140 кВт; P_6=100 кВт Средневзвешенный cos φ =0,9. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность, выбрать число и мощность трансформаторов подстанции.

8.4.5	К подстанции для потребителей 3 категории 10/0,4 кВ подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=110 кВт; P_2=100 кВт; P_3=170 кВт; P_4=50 кВт Средневзвешенный cos φ =0,85. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность, выбрать число и мощность трансформаторов подстанции.
8.4.6	К двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ подключены следующие расчетные нагрузки: P_1=210 кВт; P_2=220 кВт; P_3=270 кВт; P_4=120 кВт; P_5=140 кВт Средневзвешенный cos φ =0,7. Определить с учетом коэффициента одновременности полную мощность и выбрать мощность трансформаторов подстанции.
8.4.7	Объект мощностью S=1500+j600 кВА запитан двумя кабелями АВВГ на напряжении 10 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока (1,4 А/мм^2).
8.4.8	Объект мощностью S=1500+j600 кВА запитан двумя кабелями АВВГ на напряжении 10 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока 1,4 А/мм^2.
8.4.9	Объект мощностью P = 900 кВт; Q = 400 квар запитан одним кабелем АВВГ на напряжении 10 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока 1,4 А/мм^2.
8.4.10	Объект мощностью S=1600+j700 кВА запитан одним кабелем ВВГ на напряжении 10 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока 2,0 А/мм^2.
8.4.11	Объект мощностью S=800+j450 кВА запитан двумя кабелями ВВГ на напряжении 6 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока 1,4 А/мм^2.
8.4.12	Объект мощностью P = 1500 кВт; Q = 700 квар запитан двумя кабелями АВВГ на напряжении 6 кВ. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока 1,4 А/мм^2.

Пример выполнения задания 8.4.1

Для определения полной расчетной нагрузки подстанции сложим расчетные нагрузки с коэффициентом одновременности 0,9:

$P_р$ = (170+120+150+90+140+100) · 0,9 = 770 кВт.

Полная мощность $S_р = P_р / \cos \varphi$ = 855,6 кВА.

Для потребителей 1 категории необходимо иметь 2 трансформатора.

Мощность каждого трансформатора определяется с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме. Для масляного трансформатора коэффициент перегрузки не должен превышать 1,4:

$S_{тр} \geq S_р / 1{,}4$.

Соответственно, мощность каждого трансформатора должна быть

$S_{тр} \geq 611$ кВА.

(рекомендуется также указать, что необходимо выбрать два трансформатора по 630 кВА – из стандартного ряда мощностей трансформаторов).

Пример выполнения задания 8.4.7

Необходимо выбрать кабель по экономической плотности тока с учетом тока по одному кабелю в рабочем режиме:

$$I_р = \sqrt{P^2 + Q^2} / n\,(\sqrt{3}U) = \sqrt{1500^2 + 600^2} / 2\,(1{,}73 \cdot 10) = 46{,}7 \text{ А},$$

где n = 2 – число кабелей.

Тогда сечение кабеля составит $I_р / j_{эк}$ = 46,7 / 1,4 = 33 мм^2.

(рекомендуется также привести стандартное значение сечения - 35 мм^2).

Вариант 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ	
8.5.1	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 100 кВА, $U_{ВН}$ = 6 кВ, $U_{НН}$ = 440 В. Схема и группа соединения обмоток Y/Y-0. Данные опытов холостого хода и короткого замыкания: $P_{хх}$ = 365 Вт, $I_{хх}$ = 2,6%, $P_{кз}$ = 900 Вт, $u_{кз}$ = 4,5%. Найти параметры схемы замещения трансформатора: r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_{12}, x_{12}.
8.5.2	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 100 кВА, $U_{ВН}$ = 10 кВ, $U_{НН}$ = 400 В. Схема и группа соединения обмоток Y/Y-0. Параметры холостого хода и короткого замыкания: $P_{хх}$ = 365 Вт, $I_{хх}$ = 2,6%, $P_{кз}$ = 900 Вт, $u_{кз}$ = 4,5%. Найти параметры схемы замещения трансформатора: r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_{12}, x_{12}.
8.5.3	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 250 кВА, $U_{ВН}$ = 10 кВ, $U_{НН}$ = 400 В. Схема и группа соединения обмоток Y/Y-0. Параметры холостого хода и короткого замыкания: $P_{хх}$ = 820 Вт, $I_{хх}$ = 2,3%, $P_{кз}$ = 1500 Вт, $u_{кз}$ = 4,5%. Найти параметры схемы замещения трансформатора: r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_{12}, x_{12}.
8.5.4	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 1600 кВА, $U_{ВН}$ = 10 кВ, $U_{НН}$ = 400 В. Схема и группа соединения обмоток Y/Y-0. Параметры холостого хода и короткого замыкания: $P_{хх}$ = 3100 Вт, $I_{хх}$ = 1,3%, $P_{кз}$ = 10000 Вт, $u_{кз}$ = 5%. Найти параметры схемы замещения трансформатора: r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_{12}, x_{12}.
8.5.5	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 250 кВА, $U_{ВН}$ = 11 кВ, $U_{НН}$ = 440 В. Схема и группа соединения обмоток Y/Y-0. Параметры холостого хода и короткого замыкания: $P_{хх}$ = 650 Вт, $I_{хх}$ = 2,3%, $P_{кз}$ = 2000 Вт, $u_{кз}$ = 4,5%. Найти параметры схемы замещения трансформатора: r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_{12}, x_{12}.
8.5.6	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 16 МВА, $U_{ВН}$ = 121 кВ, $U_{НН}$ = 6,3 кВ. Схема и группа соединения обмоток Y/Δ-11. Найти коэффициент трансформации $n_{тр}$ и номинальные токи обмоток $I_{1н}$, $I_{2н}$.
8.5.7	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 4 МВА, $U_{ВН}$ = 10,5 кВ, $U_{НН}$ = 6,3 кВ. Схема и группа соединения обмоток Y/Δ-11. Найти коэффициент трансформации $n_{тр}$ и номинальные токи обмоток $I_{1н}$, $I_{2н}$.
8.5.8	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 25 МВА, $U_{ВН}$ = 115 кВ, $U_{НН}$ = 10,5 кВ. Схема и группа соединения обмоток Y/Δ-11. Найти коэффициент трансформации $n_{тр}$ и номинальные токи обмоток $I_{1н}$, $I_{2н}$.
8.5.9	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: Sн = 20 МВА, $U_{ВН}$ = 121 кВ, $U_{НН}$ = 10,5 кВ. Схема и группа соединения обмоток Y/Δ-11. Найти коэффициент трансформации $n_{тр}$ и номинальные токи обмоток $I_{1н}$, $I_{2н}$.
8.5.10	Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: $S_н$ = 2,5 МВА, $U_{ВН}$ = 110 кВ, $U_{НН}$ = 11 кВ. Схема и группа соединения обмоток Y/Δ-11. Найти коэффициент трансформации $n_{тр}$ и номинальные токи обмоток $I_{1н}$, $I_{2н}$.

Пример выполнения Задания 8.5.1

Сопротивление ветви намагничивания может быть найдено из опыта холостого хода $z_{12} = z_0 = U_{1н} / I_{хх}$. Величина тока холостого хода $I_{хх} = I_{1н} I_{хх\%}$. Номинальный ток первичной обмотки $I_{1н} = S_н / \left(\sqrt{3} U_{ВН}\right) = 100 \cdot 10^3 / \left(\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3\right)$ = 9,6 А. Номинальное фазное напряжение первичной обмотки при схеме соединения Y $U_{1н} = U_{ВН} / \sqrt{3} = 6 \cdot 10^3 / \sqrt{3}$ = 3464 В. Величина тока холостого хода $I_{хх} = 9,6 \cdot 2,6 / 100$ = 0,25 А. Полное сопротивление ветви намагничивания $z_{12} = 3464 / 0,25$ = 13856 Ом.

Активное сопротивление ветви намагничивания $r_{12} = r_0 = P_{хх} / (3 I_{хх}^2) = 365 / (3 \cdot 0,25^2)$ = 1947 Ом.

Индуктивное сопротивление взаимоиндукции $x_{12} = \sqrt{z_{12}^2 - r_{12}^2} = \sqrt{13856^2 - 1947^2}$ = 13718 Ом.

Сопротивления ветвей первичной и вторичной обмоток могут быть найдены из опыта короткого замыкания $z_1 = z_2' = z_к / 2$. Сопротивление короткого замыкания $z_к = U_{1к} / I_{1н}$. Напряжение короткого замыкания $U_{1к} = U_{1н} u_{кз} = 3464 \cdot 4,5 / 100$ = 156 В. Тогда $z_к = 156 / 9,6$ = 16,25 Ом.

Активное сопротивление короткого замыкания $r_к = P_{кз} / (3I_{1н}^2) = 900 / (3 \cdot 9,6^2)$ = 3,26 Ом.

Индуктивное сопротивление короткого замыкания $x_к = \sqrt{z_к^2 - r_к^2} = \sqrt{16,25^2 - 3,26^2}$ = 15,92 Ом.

Тогда активные сопротивления первичной и вторичной обмоток $r_1 = r_2' = r_к / 2 = 3,26 / 2$ = 1,63 Ом, индуктивные сопротивления первичной и вторичной обмоток $x_1 = x_2' = x_к / 2 = 15,92 / 2$ = 7,96 Ом.

Ответ: r_1 = 1,63 Ом, x_1 = 7,96 Ом, r_2' = 1,63 Ом, x_2' = 7,96 Ом, r_{12} = 1947 Ом, x_{12} = 13718 Ом.

Вариант 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

8.6.1 Медный кабель, питает осветительную нагрузку мощностью P = 4 кВт, cosφ= 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 150 м, выбрать номинальный ток и характеристику срабатывания модульного автоматического выключателя для защиты кабеля. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесёнными на неё рассчитанными значениями.

Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.

Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

8.6.2 Медный кабель, питает двигатель мощностью P = 5 кВт, cosφ = 0,86. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 50 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями.

Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 380 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.

Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

8.6.3 Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 1 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 100 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями.

Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.

Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

		Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
		Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
		Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50
8.6.4	Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 5 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 60 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями. Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь. Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А					
		Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
		Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
		Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50
8.6.5	Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 6 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 80 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями. Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь. Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А					
		Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
		Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
		Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50
8.6.6	Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 4 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 100 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями. Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь. Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А					
		Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
		Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
		Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50
8.6.7	Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 2 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 100 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями. Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь. Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А					
		Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6

Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

8.6.8 Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 2 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 200 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями.
Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.
Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

8.6.9 Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 8 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 45 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями.
Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.
Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

8.6.10 Медный кабель, питает нагрузку мощностью P = 8 кВт, cosφ нагрузки равен 0,95. Необходимо выбрать сечение кабеля, рассчитать ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии длинной 90 м, выбрать модульный автоматический выключатель для защиты линии. Обосновать выбор, используя времятоковую характеристику аппарата с нанесенными рассчитанными значениями.
Напряжение на зажимах аппарата $U_н$ = 220 В. Реактивным сопротивлением кабеля пренебречь.
Стандартный ряд номинальных токов модульных автоматических выключателей: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40 А

Сечение кабеля, мм^2	1,5	2,5	4	6
Удельное активное сопротивление, мОм/м	15,3	9,2	5,9	4,0
Длительно допустимый ток, А	19	27	38	50

Пример выполнения Задания 8.6.1

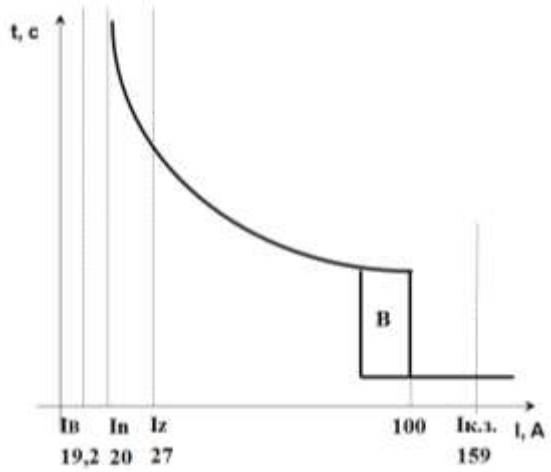
Рабочий ток линии с однофазной нагрузкой, $I_В$ А

$$I_В = \frac{P}{U_н \cdot \cos\varphi} = \frac{4000}{220 \cdot 0,95} = 19,1 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель с номинальным током расцепителя больше рабочего тока в линии $I_n > I_В$; 20 А
Выбираем сечение кабеля, таким образом, чтобы его длительно допустимый ток был больше номинального тока расцепителя, $I_n < I_z$; 2,5 мм^2, 27 А
Ожидаемый ток короткого замыкания в конце линии

$$I_{КЗ} = \frac{U_н}{r_{уд} \cdot l} = \frac{220}{9,2 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 159 \text{ А},$$

Выбираем характеристику срабатывания автомата I ср < $I_{КЗ}$ из стандартных кривых
B (3 – 5)I_n, C (5 – 10) I_n, D (10 – 20) I_n
Полученным данным удовлетворяет кривая B, т.к. этот аппарат обеспечит защиту линии от короткого замыкания при токе более 100 А.
Наносим полученные значения на времятоковую характеристику автоматического выключателя.

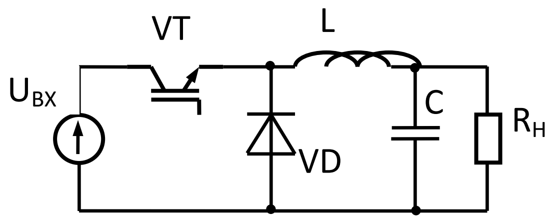


Вариант 7. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

8.7.1	Привести схему силовой части импульсного регулятора напряжения понижающего типа с использованием *IGBT* транзистора. Привести, в общем виде, уравнение зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ от входного $U_{вх}$ в режиме непрерывных токов дросселя I_L, с пояснением используемых в уравнении обозначений. Привести, в общем виде синхронизированные по временной оси, осциллограммы напряжений и токов на входе регулятора, на транзисторе, на диоде, на дросселе, на нагрузке при коэффициенте заполнения импульса 0,5 в граничном режиме тока дросселя.
8.7.2	Привести схему силовой части импульсного регулятора напряжения повышающего типа с использованием *N*-канального полевого транзистора с индуцированным каналом. Привести, в общем виде, уравнение зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ от входного $U_{вх}$ в режиме непрерывных токов дросселя I_L, с пояснением используемых в уравнении обозначений. Привести, в общем виде синхронизированные по временной оси, осциллограммы напряжений и токов на входе регулятора, на транзисторе, на диоде, на дросселе, на нагрузке при коэффициенте заполнения импульса 0,3 в режиме непрерывного тока дросселя.
8.7.3	Привести схему силовой части мостового трехфазного инвертора напряжения с использованием *P*-канальных и *N*-канальных полевых транзисторов с индуцированным каналом. Привести, в общем виде синхронизированные по временной оси, осциллограммы линейных и фазных напряжений на симметричной резистивной трехфазной нагрузке соединенной по схеме "звезда" и подключенной к выходу инвертора, при 180-градусной коммутации транзисторов в стойках инвертора. Привести соотношение действующего значения выходного фазного напряжения от напряжения в звене постоянного тока при заданных условиях.
8.7.4	Привести условно-графическое обозначение транзисторов различных типов проводимости: биполярных, полевых с изолированным затвором и биполярных с изолированным затвором. Привести название электродов. У транзисторов с полевым управлением указать для открытого состояния полярность напряжений между всеми электродами и направление силового тока. У транзисторов с токовым управлением указать для открытого состояния полярность напряжений между всеми электродами и

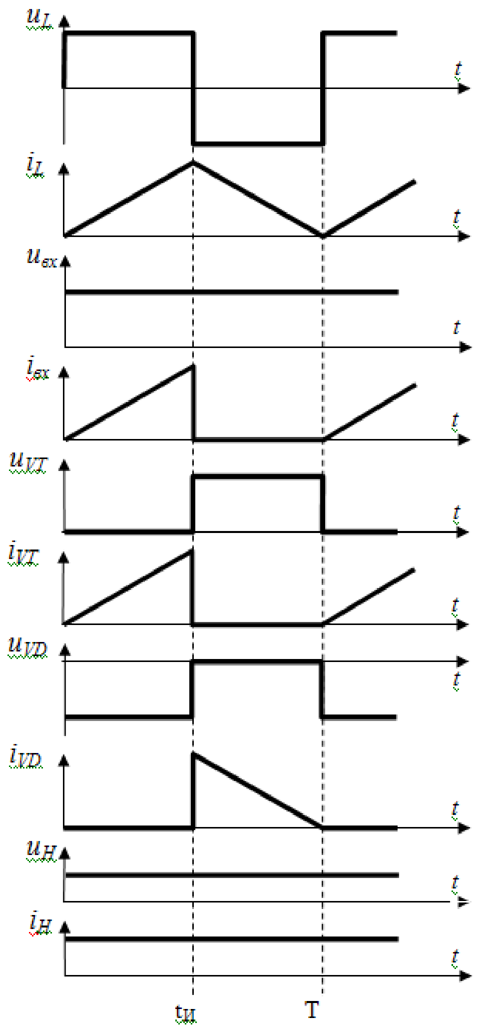
	направление управляющего и силового токов.
8.7.5	Привести схему силовой части мостового трехфазного диодного выпрямителя напряжения. Привести, в общем виде синхронизированные по временной оси, осциллограммы линейных синусоидальных напряжений на входе и выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя при отсутствии сглаживающих фильтров. Привести соотношение среднего значения выпрямленного напряжения и действующего значения линейного напряжения при заданных условиях.

Пример выполнения Задания 8.7.1



$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} \times \gamma$$

$\gamma = T/t_и$ - коэффициент заполнения импульса



Задание № 9 – по выбору (10 баллов)

Поступающий выбирает для выполнения один из 8 вариантов задания № 9. Каждый вариант задания № 8 соответствует отдельному профилю программы магистратуры

Вариант 1. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

9.1.1 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД с КЗ ротором) имеет следующие паспортные данные, представленные в таблице:

Таблица – Параметры АД с КЗ ротором

Номинальная мощность, $P_{\text{Н}}$	7,5 кВт
Номинальное напряжение статора, $U_{1\text{Н}}$	380/220 В
Число пар полюсов, $p_{П}$	2
Номинальное скольжение, $s_{\text{Н}}$	2,9%
Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{Н}}$	87,5%
Номинальный коэффициент мощности, $\cos\varphi_{\text{Н}}$	0,86
Кратность критического момента, λ ($M_{\text{КР}}/M_{\text{Н}}$)	3
Кратность пускового момента, $k_{\text{М}}$ ($M_{\text{П}}/M_{\text{Н}}$)	2,2
Кратность пускового тока, k_I ($I_{\text{П}}/I_{1\text{Н}}$)	7

Необходимо рассчитать значения характерных точек на естественных электромеханической $\omega(I_1)$ и механической $\omega(M)$ характеристиках двигателя и построить по этим точкам данные характеристики.

9.1.2 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД с КЗ ротором) имеет следующие паспортные данные, представленные в таблице:

Таблица – Параметры АД с КЗ ротором

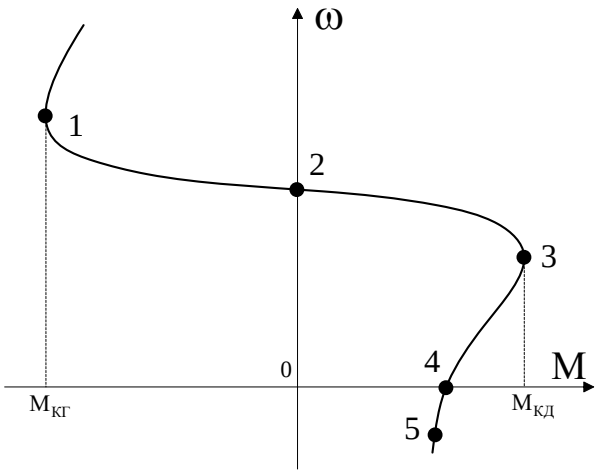
Номинальная мощность, $P_{\text{Н}}$	7,5 кВт
Номинальное напряжение статора, $U_{1\text{Н}}$	380/220 В
Число пар полюсов, $p_{П}$	2
Номинальное скольжение, $s_{\text{Н}}$	2,9%
Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{Н}}$	87,5%
Номинальный коэффициент мощности, $\cos\varphi_{\text{Н}}$	0,86
Кратность критического момента, λ ($M_{\text{КР}}/M_{\text{Н}}$)	3
Кратность пускового момента, $k_{\text{М}}$ ($M_{\text{П}}/M_{\text{Н}}$)	2,2
Кратность пускового тока, k_I ($I_{\text{П}}/I_{1\text{Н}}$)	7

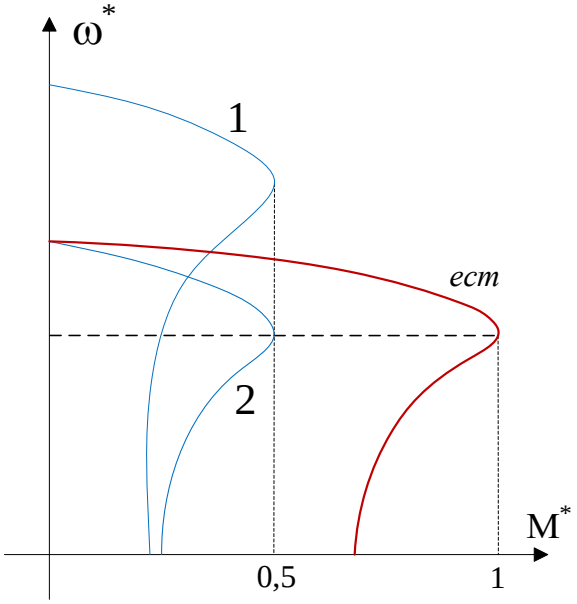
Необходимо рассчитать и построить искусственные механические характеристики при работе от преобразователя частоты для случаев: $f_{\text{ИСК.1}}$ = 30 Гц; $f_{\text{ИСК.2}}$ = 60 Гц. Рассчитать длительно допустимый момент $M_{\text{ДОП}}$ при работе на этих характеристиках.

9.1.3 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД с КЗ ротором) имеет следующие паспортные данные, представленные в таблице:

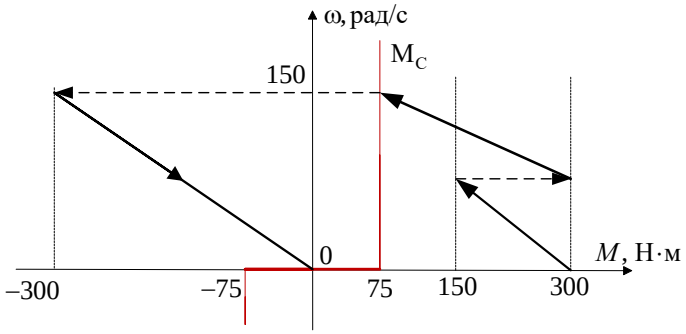
Таблица – Параметры АД с КЗ ротором

Номинальная мощность, $P_{\text{Н}}$	7,5 кВт
Номинальное напряжение статора, $U_{1\text{Н}}$	380/220 В

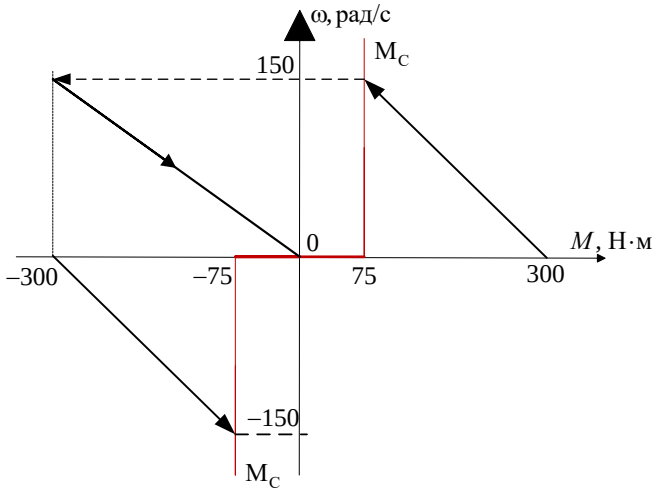
	Число пар полюсов, $p_П$	2
	Номинальное скольжение, $s_{\text{Н}}$	2,9%
	Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{Н}}$	87,5%
	Номинальный коэффициент мощности, $\cos\varphi_{\text{Н}}$	0,86
	Кратность критического момента, λ ($M_{КР}/M_{Н}$)	3
	Кратность пускового момента, $k_{\text{М}}$ ($M_{П}/M_{Н}$)	2,2
	Кратность пускового тока, k_I ($I_{П}/I_{1Н}$)	7
	Указанный двигатель работает от преобразователя напряжения, к обмоткам статора приложено пониженное напряжение $U_{1ФАЗ.} = 0{,}8 \cdot U_{1Н.ФАЗ.}$. Необходимо рассчитать и построить искусственную механическую характеристику при работе с пониженным напряжением.	
9.1.4	Определите частоту тока в роторе асинхронного двигателя в точках 1, 2, 3, 4 и 5 для характеристики, представленной на рисунке. Частота тока статора f_1=50 Гц; число пар полюсов $p_П$ = 2. ω_1 = 180 рад/с; ω_2 = 157 рад/с; ω_3 = 120 рад/с; ω_4 = 0 рад/с; ω_5 = -30 рад/с. 	
9.1.5	На рисунке представлены естественная механическая характеристика асинхронного двигателя в относительных единицах при $U_{1Н.ФАЗ.} = 220$ В, $f_{1.Н}$ = 50 Гц и искусственные характеристики 1 и 2. По виду искусственных характеристик определить для каждой из них: способ регулирования скорости и изобразить схему подключения двигателя; указать условия регулирования (найти значения напряжения и частоты $U_{1И}$, $f_{1И}$).	



9.1.6 Изобразите графики переходного процесса ω(*t*) и *M*(*t*) для характеристики, изображенной на рисунке. Какой тип торможения реализован? Каков характер момента сопротивления (активный, реактивный)?



9.1.7 Изобразите графики переходного процесса ω(t) и M(t) для характеристики, изображенной на рисунке. Какой тип торможения реализован? Каков характер момента сопротивления (активный, реактивный)?



9.1.8 Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) имеет номинальные данные, указанные в таблице:

Таблица – Параметры ДПТ НВ

Номинальная мощность, $P_{Н}$	4,6 кВт

	Номинальная частота вращения, $n_{\text{Н}}$	975 об/мин
	Номинальный коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{Н}}$	80,4%
	Номинальное напряжение, $U_{\text{Я.Н}}$	115 В
	Номинальный ток якоря, $I_{\text{Я.Н}}$	39,1 А
	Активное сопротивление цепи якоря, $R_{\text{Я}}$	0,07 Ом
	Индуктивность цепи якоря, $L_{я}$	0,0003 Гн
	Момент инерции, J_{Σ}	0,3 кг·м^2

Определить электромеханическую и электрическую постоянные времени и указать характер переходного процесса (колебательный или апериодический).

9.1.9 Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) имеет номинальные данные, указанные в таблице:

Таблица – Параметры ДПТ НВ

Номинальная мощность, $P_{\text{Н}}$	4,8 кВт
Номинальная частота вращения, $n_{\text{Н}}$	1500 об/мин
Номинальное напряжение, $U_{\text{Я.Н}}$	220 В
Номинальный ток якоря, $I_{\text{Я.Н}}$	24,2 А
Активное сопротивление цепи якоря, $R_{\text{Я}}$	0,38 Ом
Индуктивность цепи якоря, $L_{\text{Я}}$	0,2 Гн
Момент инерции, J_{Σ}	0,5 кг·м^2

Определить характер изменения скорости ДПТ при пуске (колебательный или апериодический процесс), если кратность пусковых тока и момента двигателя равна 2 ($I_{\text{ПУСК.}} = 2 \cdot I_{\text{Н}}$, $M_{\text{ПУСК.}} = 2 \cdot M_{\text{Н}}$).

9.1.10 Рассчитать постоянные времени для процесса, представленного на рисунке и заполнить таблицу с соответствующими показателями переходного процесса.

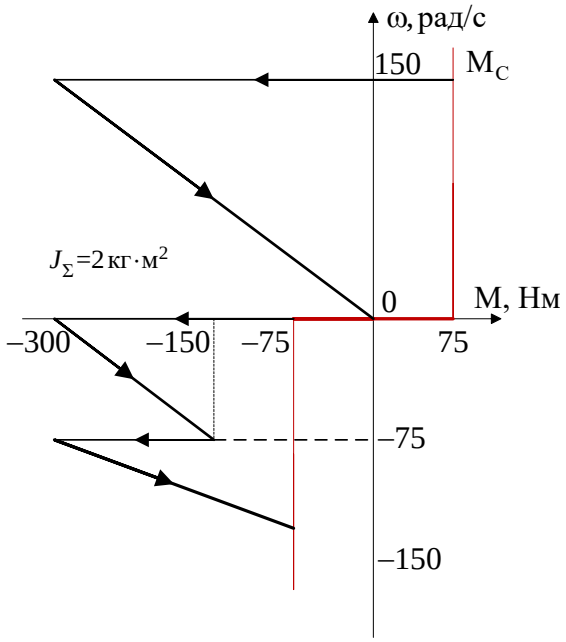


Таблица для заполнения – Показатели переходного процесса

№ участка	$\omega_{\text{НАЧ.}}$, рад/с	$\omega_{\text{КОН.}}$, рад/с	$M_{\text{НАЧ.}}$, Н·м	$M_{\text{КОН.}}$, Н·м	$T_{\text{М}}$, с

1						
2						
3						

Пример выполнения задания 9.1.1

I. Точка идеального холостого хода

$(\omega = \omega_0, M = 0, I_1 = I_{XX} \approx 0{,}35 I_1)$.

При известном числе пар полюсов ($p_П$ = 2) и номинальной частоте статора $f_{1Н}$ = 50 Гц находим n_0 и ω_0:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_{1Н}}{p_П} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с}.$$

II. Номинальная точка

$(\omega = \omega_Н,\ M = M_Н)$.

При известном номинальном скольжении $s_Н$ = 0,029 и рассчитанной ранее $\omega_0 = 157$ оценим $\omega_Н$:

$$\omega_Н = \omega_0 \cdot (1 - s_Н) = 157 \cdot (1 - 0{,}029) = 152{,}4 \text{ рад/с}.$$

Тогда

$$M_Н = \frac{P_Н}{\omega_Н} = \frac{7500}{152{,}4} = 49{,}2 \text{ Н·м}.$$

Номинальный ток $I_{1Н}$ фазы статора можем рассчитать по следующему выражению:

$$I_{1Н} = \frac{P_Н}{3 \cdot U_{1Н.ФАЗ.} \cdot \eta_Н \cdot \cos\varphi_Н} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}875 \cdot 0{,}86} = 15{,}1 \text{ А}.$$

III. Критическая точка

$(\omega = \omega_К, M = M_К)$.

$M_К$ определяем из известной кратности критического момента:

$$M_К = \lambda M_Н = 3 \cdot 49{,}2 = 147{,}6 \text{ Н·м}.$$

Для оценки $s_К$ воспользуемся упрощенной формулой Клосса, подставив $M = M_Н$ и $s = s_Н$:

$$M_{\text{Н}} = \frac{2M_{\text{К}}}{s_{\text{Н}}/s_{\text{К}} + s_{\text{К}}/s_{\text{Н}}},$$

получаем $s_{\text{К}} = 0{,}16$.

Отсюда $\omega_{\text{К}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{К}}) = 157 \cdot (1 - 0{,}16) = 131{,}9$ рад/с.

IV. Пусковая точка

$(\omega = 0, M = M_{\text{П}}, I_1 = I_{1\text{П}})$.

$M_{\text{П}} = k_{\text{М}} \cdot M_{\text{Н}} = 2{,}2 \cdot 49{,}2 = 108{,}24$ Н·м,

$I_{\text{П}} = k_I \cdot I_{1\text{Н}} = 7 \cdot 15{,}1 = 105{,}7$ А.

Пример выполнения Задания 9.1.9

I. Определение номинальных параметров заданного двигателя

$\omega_{\text{Н}} = 2\pi n_{\text{Н}} / 60 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1500 / 60 = 157$ рад/с,

$M_{\text{Н}} = P_{\text{Н}} / \omega_{\text{Н}} = 4800 / 157 = 30{,}6$ Н·м.

$\kappa\Phi_{\text{Н}} = \left(U_{\text{Я.Н}} - I_{\text{Я.Н}} R_{\text{Я}}\right) / \omega_{\text{Н}} = (220 - 24{,}2 \cdot 0{,}38) / 157 = 1{,}34$ В·с.

II. Определение скорости холостого хода

$\omega_0 = U_{\text{Я.Н}} / \kappa\Phi_{\text{Н}} = 220 / 1{,}34 = 164$ рад/с.

III. Расчёт величины суммарного активного сопротивления цепи якоря, при котором пусковые ток и момент будут в два раза превышать их номинальные значения

$R_{\Sigma} = U_{\text{Я.Н}} / (2 \cdot I_{\text{Я.Н}}) = 220 / 2 \cdot 24{,}2 = 4{,}54$ Ом.

IV. Расчёт электромеханической ($T_{\text{М}}$) и электрической ($T_{\text{Я}}$) постоянных времени

$T_{\text{М}} = J / \beta = J\omega_0 / M_{\text{ПУСК}} = J\omega_0 / (2 \cdot M_{\text{Н}}) \Rightarrow$

$T_{\text{М}} = 0{,}5 \cdot 164 / (2 \cdot 30{,}6) = 1{,}34$ с.

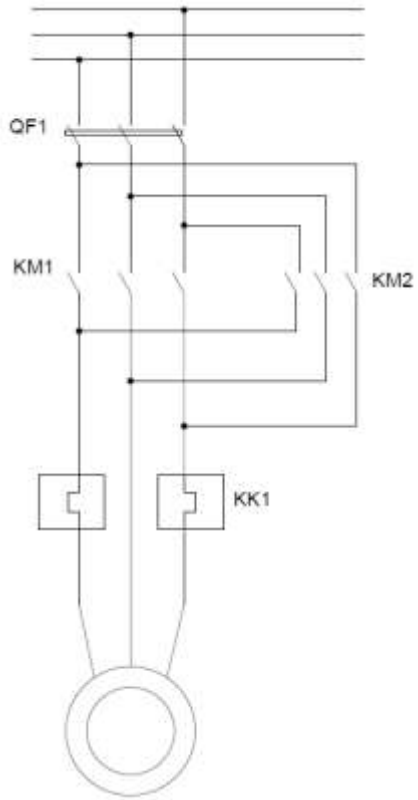
$T_{\text{Я}} = L_{\text{Я}} / R_{\text{Я}} = 0{,}2 / 4{,}54 = 0{,}044$ с.

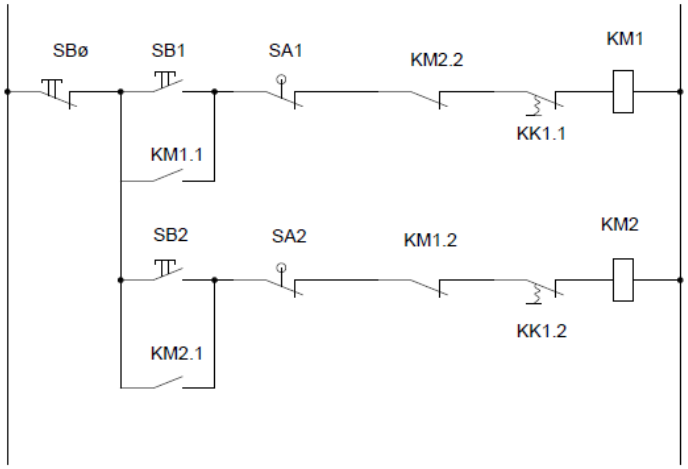
Так как $T_{\text{М}} = 1{,}34$ с, $4 \cdot T_{\text{Я}} = 4 \cdot 0{,}044 = 0{,}176$ с, то $T_{\text{М}} > 4 \cdot T_{\text{Я}}$, следовательно, переходный процесс будет иметь монотонный (апериодический) характер.

Вариант 2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ	
9.2.1	Составьте схему электрическую принципиальную питания и управления транспортным механизмом электротермической установки, состоящим из двух последовательно расположенных конвейеров, приводимых в движение асинхронными двигателями. Схема должна обеспечивать включение и выключение механизма (по нажатию соответствующих кнопок), защиту от короткого замыкания и перегрузок по току и блокировку, делающую невозможным движение первого конвейера при неподвижном втором конвейере.
9.2.2	Составьте схему электрическую принципиальную системы двухпозиционного регулирования температуры электропечи сопротивления. В качестве регулирующего устройства необходимо использовать микропроцессорный регулятор температуры с

	релейным выходом.
9.2.3	Составьте схему электрическую принципиальную питания и управления приводом двери электропечи. Схема должна обеспечивать открывание и закрывание двери (по нажатию соответствующих кнопок), остановку двери в любой момент (при нажатии кнопки «Стоп») и автоматическую остановку двери в крайних положениях (при срабатывании конечных выключателей).
9.2.4	Составьте схему электрическую принципиальную системы непрерывного регулирования температуры электропечи сопротивления с тиристорным регулятором напряжения в качестве исполнительного устройства. В качестве регулирующего устройства необходимо использовать микропроцессорный регулятор температуры со встроенным модулем импульсно-фазового управления.
9.2.5	Составьте схему электрическую принципиальную (упрощенную) установки индукционной тигельной печи промышленной частоты. Питание должно осуществляться от трехфазной сети 6 (10) кВ. через понижающий трансформатор. Предусматриваются симметрирующее устройство и устройство компенсации реактивной мощности. Должна быть предусмотрена возможность регулирования режима (мощности) и коэффициента мощности. На схеме необходимо показать коммутационные устройства, элементы устройств симметрирования и компенсации реактивной мощности, а также (функциональными блоками) датчики и регулирующие устройства.

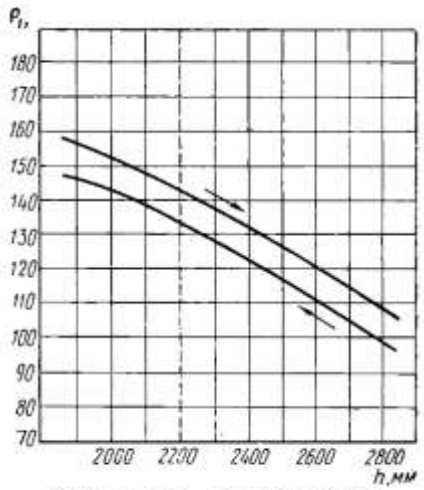
Пример выполнения Задания 9.2.3





Условные обозначения на схеме:
QF1 – автоматический выключатель
KM1 – контактор, подключающий двигатель для открывания двери
KM2 – контактор, подключающий двигатель для закрывания двери
(вспомогательные контакты KM1.2, KM2.2 обеспечивают блокировку от одновременного включенного состояния KM1 и KM2, то есть от глухого межфазного короткого замыкания)
KK1 – тепловое реле
SB0 – кнопка «СТОП»
SB1 – кнопка «ОТКРЫТЬ ДВЕРЬ»

SB2 – кнопка «ЗАКРЫТЬ ДВЕРЬ»
SA1 – конечный выключатель, срабатывающий в крайнем (открытом) положении двери
SA1 – конечный выключатель, срабатывающий в крайнем (закрытом) положении двери

Вариант 3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА	
9.3.1	Определить коэффициент инерции вращающихся масс $(1 + \gamma)$ поезда, состоящего из электровоза массой 80 т и 10 прицепных вагонов, каждый из которых имеет массу 40 т; для электровоза $(1 + \gamma)_л = 1, 08$; для вагонов $(1 + \gamma)_в = 1,05$.
9.3.2	При реостатном пуске в момент трогания величина пускового тока равна 250 А. Сопротивление обмоток якоря и полюсов – 0,1 Ом, Напряжение контактной сети – 550 В. Найти величину сопротивления пускового реостата.
9.3.3	Определить коэффициент пуска при двух схемах переключения четырёх тяговых двигателей.
9.3.4	Моторный вагон трамвая массой 20 т имеет сопротивление движению 5 Н/кН, прицепной вагон массой 10 т имеет сопротивление движению 2 Н/кН. Определить сопротивление движению всего поезда.
9.3.5	Дан моторный вагон трамвая массой 20 т и с сопротивлением движению 5 Н/кН и прицепной вагон массой 15 т и с сопротивлением движению 2 Н/кН. Определить удельное сопротивление движению всего поезда.
9.3.6	Вес локомотива 1342,6 кН, скорость 30 км/ч, формула коэффициента сцепления $\psi(v) = 0,25 + 8 / (100 +20*v)$. Определить допустимую по сцеплению силу тяги при заданной скорости движения.
9.3.7	По заданным формулам удельного основного сопротивления движения (Н/кН) локомотива под током $w_т = 1,9 + 0,008V + 0,00025V^2$ и без тока $w_0 = 2,4 + 0,009V + 0,00035V^2$ и весе локомотива 1764 кН. Определить силу тяги, необходимую для его трогания с места с помощью своих двигателей.
9.3.8	Имеется статическая характеристика токоприемника РТ-3 при подъеме и опускании штанг.  Статические характеристики токоприемника РТ-3 Определить силу трения в подшипниках токоприемника.

9.3.9	Сила тока возбуждения двигателя постоянного тока 50А, коэффициент ослабления потока 25%. Определить силу тока якоря.
9.3.10	Сила тока якоря двигателя постоянного тока 300А, сила тока возбуждения двигателя 60А. Определить коэффициент ослабления потока.

Пример выполнения Задания 9.3.1

Для заданного поезда коэффициент инерции вращающихся масс определяется как средневзвешенное значение с учетом масс электровоза и вагонов:

$(1 + \gamma) = [1{,}08 \times 80 + 1{,}05 \times 40 \times 10] / (80 + 400) =$ **1,055**

Вариант 4. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	
9.4.1	Объект подключен к энергосистеме на напряжении 35 кВ. Мощность объекта S=8400+j6200 кВА. Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,4.
9.4.2	Объект подключен к энергосистеме на напряжении 35 кВ. Мощность объекта S=8400+j6200 кВА. Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,4.
9.4.3	Предприятие подключено к энергосистеме на напряжении 110 кВ. Расчетная мощность предприятия P = 12000 кВт; Q = 9100 квар. Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,5.
9.4.4	Завод подключен к энергосистеме на напряжении 20 кВ. Мощность завода S=7200+j3500 кВА. Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,4.
9.4.5	Предприятие подключено к энергосистеме на напряжении 10 кВ. Мощность объекта P = 1200 кВт; Q = 700 квар Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,35.
9.4.6	Объект подключен к энергосистеме на напряжении 110 кВ. Мощность объекта S=16500+j9000 кВА. Определить необходимую мощность устройств компенсации РМ при требуемом tg φ = 0,5.
9.4.7	За год на объекте потребление активной энергии составило 4680 тыс. кВт ч. Мощность объекта S=900+j200 кВА. Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.
9.4.8	За год на объекте потребление активной энергии составило 4680 тыс. кВт ч. Мощность объекта S=900+j200 кВА Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.
9.4.9	За год потребление активной энергии заводом составило 58 800 тыс. кВт ч. Мощность завода P = 12000 кВт; Q = 9100 квар. Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.

9.4.10	За год на объекте потребление активной энергии составило 48 680 тыс. кВт ч. Мощность объекта S=7200+j3500 кВА Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.
9.4.11	За год на объекте потребление активной энергии составило 5180 тыс. кВт ч. Мощность объекта S=950+j400 кВА Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.
9.4.12	За год потребление активной энергии заводом составило 34 525 тыс. кВт ч. Мощность завода P = 7325 кВт; Q = 5121 квар. Определить число часов использования максимума и число часов наибольших потерь.

Пример выполнения задания 9.4.1

Требуемый tg φ = 0,4, следовательно, объект должен получать от энергосистемы реактивную мощность не более требуемой величины:

$Q_{сист} = P \cdot tg\,\varphi = 8400 \cdot 0,4 = 3360$ квар.

Расчетная реактивная мощность объекта Q = 6200 квар, следовательно, требуемая мощность устройств компенсации

$Q_{КУ} = Q - Q_{сист} = 6200 - 3360 = 2840$ квар.

Пример выполнения задания 9.4.7

Число часов использования максимума определяется следующим образом:

$$T_м = W_{год} / P_м = 4680 / 900 = 5200 \text{ ч.}$$

Число часов наибольших потерь:

$\tau = (0,124 + T_м/10000)^2 \cdot 8760 = (0,124 + 5200/10000)^2 \cdot 8760 = 3634$ ч.

Вариант 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

9.5.1	Трехфазный асинхронный двигатель промышленного исполнения с напряжением 220/380 В имеет следующие номинальные данные: коэффициент полезного действия – 81%, коэффициент мощности – 0,85. Также известна кратность пускового тока $k_{пI}$ = 6,5 и параметры схемы замещения: r_1 = 0,84 Ом, r'_2 = 0,49 Ом, x_1 = 0,51 Ом, x'_2 = 0,81 Ом. Найти значение номинального тока статора.
9.5.2	Асинхронный двигатель мощностью 10 кВт имеет номинальную частоту вращения 1440 об/мин, кратность пускового момента $k_{ПМ}$ = 1,5. Найти номинальное скольжение, номинальный момент и пусковой момент двигателя.
9.5.3	Асинхронный двигатель промышленного исполнения мощностью 22 кВт с напряжением 220/380 Вимеет следующие номинальные значения: КПД – 88,5%, коэффициент мощности – 0,91, частота вращения – 2960 об/мин. Определите номинальные фазные значения тока и напряжения обмотки статора.
9.5.4	Асинхронный двигатель промышленного исполнения мощностью 22 кВт с напряжением 220/380 В имеет следующие номинальные значения: коэффициент полезного действия – 88,5%, коэффициент мощности – 0,91, частота вращения – 2960 об/мин. Определите частоту тока ротора в пусковом и номинальном режимах работы.
9.5.5	Двухполюсный асинхронный двигатель промышленного исполнения мощностью 15 кВт в номинальном режиме работает со скольжением 0,02. С какой скоростью поле, созданное токами ротора, вращается относительно статора?
9.5.6	В цепь фазного ротора двухполюсного асинхронного двигателя включен магнитоэлектрический амперметр. При работе двигателя от сети с частотой 50 Гц стрелка амперметра в цепи ротора совершает 150 полных колебаний за 60 секунд. Найти частоту вращения двигателя.

9.5.7	Асинхронный двигатель мощностью 15 кВт имеет номинальную частоту вращения 1420 об/мин, кратность пускового момента $k_{ПМ}$ = 1,5. Найти номинальное скольжение, номинальный момент и пусковой момент двигателя.
9.5.8	Асинхронный двигатель мощностью 12 кВт имеет номинальную частоту вращения 2880 об/мин, кратность максимального момента k_M = 2,25. Найти номинальное скольжение, номинальный момент и пусковой момент двигателя.
9.5.9	Трехфазный асинхронный двигатель мощностью 15 кВт, предназначенный для работы от сети 50 Гц с напряжением 220 В, имеет номинальный ток 35 А, номинальный коэффициент мощности 0,85 и номинальную частоту вращения 940 об/мин. Найти значения потребляемой активной мощности и КПД двигателя при номинальной нагрузке.
9.5.10	Асинхронный двигатель мощностью 15 кВт имеет номинальную частоту вращения 1420 об/мин, кратность максимального момента k_M = 2,15. Найти номинальное скольжение, номинальный момент и максимальный момент двигателя.

Пример выполнения задания 9.5.1

Номинальный ток статора может быть найден через кратность пускового тока и величину пускового тока $I_{1н} = I_{1п} / k_{пI}$.

Величину пускового тока можно найти по схеме замещения асинхронного двигателя для режима пуска (для скольжения s = 1). При пуске (при коротком замыкании двигателя) величина активного сопротивления, моделирующего механическую нагрузку, $r_{мех} = r_2'(1-s)/s = 0$. Сопротивлением ветви намагничивания, имеющим большое значение по сравнению с сопротивлениями ветвей статора и ротора, можно пренебречь. Тогда полное сопротивление схемы замещения асинхронного двигателя в пусковом режиме будет состоять лишь из последовательно соединенных сопротивлений ветвей статора и ротора $z_к = (r_1 + jx_1) + (r_2' + jx_2')$.

Величина этого сопротивления равна $z_к = \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} = \sqrt{(0,08+0,07)^2 + (0,75+0,81)^2}$ = 1,567 Ом.

При номинальном фазном напряжении U_1 = 220 В пусковой ток будет равен $I_{1п} = U_1 / z_к = 220/1,567$ = 140,4 А.

Тогда номинальный ток статора равен $I_{1н} = I_{1п} / k_{пI} = 140,4/6,5$ = 21,6 А.

Ответ: номинальный ток статора равен 21,6 А.

Вариант 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

9.6.1	Рассчитать частоту коммутации транзистора, при которой возникает граничный режим работы схемы понижающего импульсного регулятора, если входное напряжение E = 200 В, индуктивность дросселя L = 14 мкГн, среднее значение тока нагрузки $I_Н$ = 30 А, а коэффициент заполнения γ = 0,7. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.2	Определить величину пульсации выходного напряжения повышающего импульсного регулятора $\Delta U_Н = (U_{max} - U_{min})$, если входное напряжение E = 800 В, индуктивность дросселя L = 400 мкГн, сопротивление нагрузки $R_Н$ = 100 Ом, коэффициент заполнения γ = 0,6, частота коммутации транзистора f = 30 кГц, емкость конденсатора C = 20 мкФ. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.3	Вычислить среднее значение тока нагрузки, соответствующее граничному режиму работы схемы инвертирующего импульсного регулятора, если входное напряжение E = 50 В, коэффициент заполнения γ = 0,6, индуктивность дросселя L = 30 мкГн, а частота переключения транзистора f = 50 кГц. Построить диаграммы тока и напряжения

	на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.4	Определить емкость фильтрующего конденсатора в схеме понижающего импульсного регулятора, при которой обеспечивается заданная величина пульсации напряжения на нагрузке $\Delta U_{\text{Н}} = (U_{\max} - U_{\min}) = 0{,}5$ В, если входное напряжение $E = 400$ В, коэффициент заполнения $\gamma = 0{,}5$, частота переключения транзистора $f = 50$ кГц, индуктивность дросселя $L = 200$ мкГн. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.5	Рассчитать индуктивность дросселя, при которой возникает граничный режим работы схемы повышающего импульсного регулятора, если входное напряжение $E = 500$ В, коэффициент заполнения $\gamma = 0{,}6$, среднее значение тока дросселя $I_L = 50$ А, частота коммутации транзистора $f = 40$ кГц. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.6	Определить емкость фильтрующего конденсатора в схеме инвертирующего импульсного регулятора, при которой обеспечивается заданная величина пульсации напряжения на нагрузке $\Delta U_{\text{Н}} = (U_{\max} - U_{\min}) = 2$ В, если входное напряжение $E = 120$ В, индуктивность дросселя $L = 300$ мкГн, сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}} = 20$ Ом, коэффициент заполнения $\gamma = 0{,}5$, частота коммутации транзистора $f = 20$ кГц. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.7	Рассчитать индуктивность дросселя, при которой возникает граничный режим работы схемы понижающего импульсного регулятора, если входное напряжение $E = 150$ В, среднее значение тока транзистора $I_{VT} = 12{,}5$ А, частота коммутации транзистора $f = 25$ кГц, коэффициент заполнения $\gamma = 0{,}5$. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.8	Определить коэффициент заполнения и величину пульсации выходного напряжения повышающего импульсного регулятора $\Delta U_{\text{Н}} = (U_{\max} - U_{\min})$, если входное напряжение $E = 100$ В, индуктивность дросселя $L = 10$ мкГн, частота переключения транзистора $f = 250$ кГц, среднее значение тока дросселя $I_L = 20$ А, среднее значение тока нагрузки $I_{\text{Н}} = 10$ А, емкость конденсатора $C = 2$ мкФ. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.9	Определить величину пульсации выходного напряжения инвертирующего импульсного регулятора $\Delta U_{\text{Н}} = (U_{\max} - U_{\min})$, если входное напряжение $E = 120$ В, индуктивность дросселя $L = 300$ мкГн, сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}} = 20$ Ом, емкость конденсатора $C = 150$ мкФ, коэффициент заполнения $\gamma = 0{,}5$, частота коммутации транзистора $f = 20$ кГц. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.
9.6.10	Рассчитать коэффициент заполнения, при котором возникает граничный режим работы схемы понижающего импульсного регулятора, если входное напряжение $E = 150$ В, среднее значение тока дросселя $I_L = 25$ А, частота переключения транзистора $f = 25$ кГц, индуктивность дросселя $L = 30$ мкГн. Построить диаграммы тока и напряжения на дросселе, отметив интервалы включенного и выключенного состояний транзистора.

Пример выполнения Задания 9.6.1

При анализе процессов в схеме импульсного регулятора (см. рис. 1) делается допущение об идеальной сглаженности напряжения на нагрузке, т.е. не учитывается влияние емкости конденсатора ($C = \infty$). Составляются эквивалентные схемы замещения регулятора для включенного и выключенного состояния транзистора, считая полупроводниковые приборы идеальными (см. рис. 2). В результате получают выражения $i_L(t)$ для режима работы с непрерывным током дросселя:

$$i_L^{(\text{I})} = \frac{E - U_{\text{Н}}}{L} t + I_{\min},\ i_L^{(\text{II})} = -\frac{U_{\text{Н}}}{L} t + I_{\max},$$

где $U_Н = U_{вых} = \gamma E$ – напряжение на нагрузке (выходное напряжение регулятора), I_{min} и I_{max} – минимальное и максимальное значение тока. Соответствующая диаграмма тока показана на рис. 3.

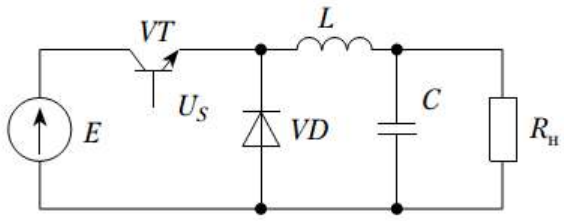


Рис. 1. **Импульсный регулятор с последовательным ключом**

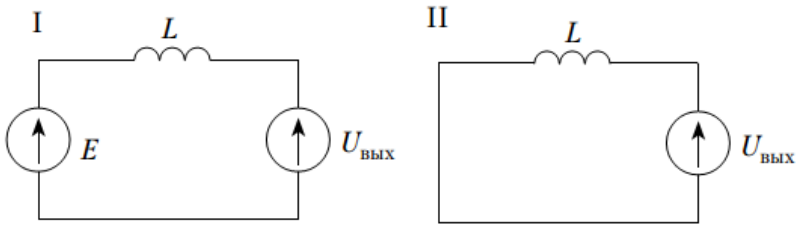


Рис. 2. **Схемы замещения регулятора: I– *VT* включен; II–*VT* выключен**

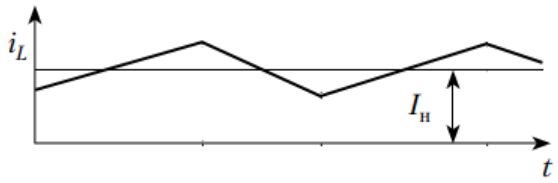


Рис. 3. **Диаграмма тока дросселя**

Граничный режим работы схемы регулятора – это режим, при котором ток дросселя спадает до нуля в момент включения транзистора (в конце интервала непроводящего состояния транзистора). Поэтому

$$I_{min} = 0,$$

$$I_{max} = \frac{E - U_Н}{L} \cdot \gamma T = \frac{E(1-\gamma)\gamma}{L \cdot f},$$

где $T = 1 / f$ – период переключения транзистора. Соответствующая диаграмма тока дросселя при коэффициенте заполнения $\gamma = 0{,}7$ представлена на рис. 4.

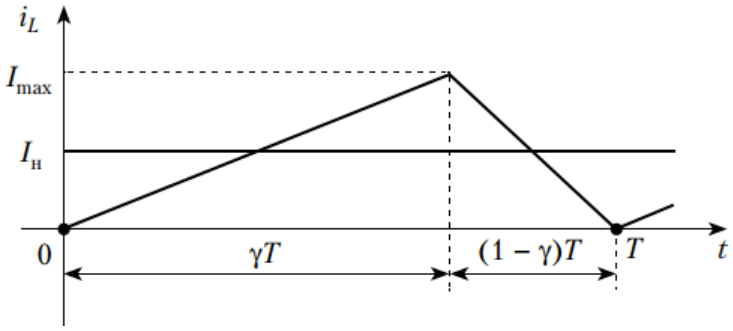


Рис. 4. **Диаграмма тока дросселя в схеме понижающего регулятора при условии граничного режима работы (γ = 0,7)**

Поскольку пульсацией выходного напряжения регулятора мы пренебрегаем, то ток нагрузки будет постоянным и равным среднему значению тока дросселя, т.е. его постоянной составляющей:

$$I_{\text{Н}} = I_{L\,\text{ср}} = \frac{1}{T}\int_0^T i_L(t)dt = \frac{1}{T}\left(\int_0^{\gamma T}\frac{E-U_{\text{Н}}}{L}\cdot t\cdot dt + \int_0^{(1-\gamma)T}\left(I_{\max}-\frac{U_{\text{Н}}}{L}\cdot t\right)dt\right).$$

Подставив выражения для $U_{\text{Н}}$ и проинтегрировав, получим:

$$I_{\text{Н}} = \frac{1}{T}\left(\frac{E(1-\gamma)}{L}\cdot\frac{(\gamma T)^2}{2} + I_{\max}(1-\gamma)T - \frac{\gamma E}{L}\cdot\frac{\left((1-\gamma)T\right)^2}{2}\right).$$

Подставив выражение для $I_{\max}$, получим выражение, связывающее ток нагрузки и максимальный ток в граничном режиме работы схемы:

$$I_{\text{Н}} = \frac{1}{T}\left(\frac{I_{\max}}{2}\gamma T + I_{\max}(1-\gamma)T - \frac{I_{\max}}{2}\cdot(1-\gamma)T\right) = \frac{I_{\max}}{2}.$$

Тогда требуемое значение частоты находится как

$$f = \frac{E(1-\gamma)\gamma}{L\cdot I_{\max}} = \frac{E(1-\gamma)\gamma}{2I_{\text{Н}}\cdot L} = \frac{200(1-0{,}7)0{,}7}{2\cdot 30\cdot 14\cdot 10^{-6}} = 50\ \text{кГц}.$$

Вариант 7. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

9.7.1	Используя 1 байт, записать десятичное число -80 (минус восемьдесят) в дополнительном двоичном коде. Представить результат в шестнадцатеричной системе счисления.
	Ответ: $-80_{10} = 10110000_2 = B0_{16}$.
9.7.2	Используя 1 байт, записать число 1,3 в двоичном коде с максимально возможной точностью. Представить результат в шестнадцатеричной системе счисления.
	Ответ: $1{,}3_{10} = 10100110_2 = A6_{16}$.
9.7.3	Записать двоичный код идеального результата преобразования 8-ми разрядным АЦП аналогового сигнала напряжения 3 В, при условии, что полный диапазон преобразования АЦП составляет 0 – 5 В.
	Ответ: 10011001_2
9.7.4	Записать значение выходного напряжения 8-ми разрядного ЦАП для идеального результата преобразования двоичного кода 00110011_2, при условии, что полный диапазон выходного напряжения ЦАП составляет 0 – 5В.
	Ответ: 0,99609375 В
9.7.5	Определить время достижения максимального значения счета 8-ми разрядного таймера-счетчика при его тактировании от генератора сигнала с частотой 1 кГц и начальном значении – 0.
	Ответ: 0,255 с

Пример выполнения Задания 9.7.1

Отрицательные десятичные числа в двоичной системе счисления представляются в дополнительном коде. Для получения значения дополнительного кода нужно выполнить следующие действия:

а) записать двоичный код модуля числа;

б) записать обратный код полученного двоичного кода;

в) выполнить сложение с переносом обратного кода и двоичной единицы.

Т.е. для числа -80:

а) $80_{10} = 01010000_2$;

б) обратный код $01010000_2 = 10101111_2$;

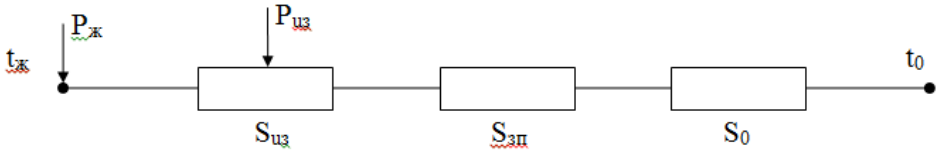
в) $10101111_2 + 00000001_2 = \mathbf{10110000_2}$ – искомый дополнительный код.

Для представления двоичного числа в шестнадцатеричной системе счисления двоичное число надо разбить на тетрады (по четыре разряда) и записать каждую тетраду в виде шестнадцатеричной цифры:

$$1011\ 0000_2 = \mathbf{B0_{16}}$$

Ответ: $-80_{10} = 10110000_2 = B0_{16}$.

Вариант 8. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

9.8.1	В процессе саморазряда конденсатора с емкостью 0,2 мкФ измеряемое на его выводах напряжение U уменьшилось до 0,37Uнач за время 100000 секунд. Рассчитайте величину сопротивления изоляции такого конденсатора.
9.8.2	В герметичном конденсаторе с емкостью $C = 5\cdot10^{-6}$ Ф при нормальных атмосферных условиях величина сопротивления изоляции $R_v = 5\cdot10^{11}$ Ом, величина поверхностного сопротивления $R_s = 1\cdot10^{12}$ Ом. Как изменится постоянная времени τ конденсатора при помещении его в среду с высокой влажностью воздуха, где поверхностное сопротивление снизится до $R_s = 10^9$ Ом ?
9.8.3	Определить допустимый ток нагрузки на постоянном токе при прокладке провода в воздухе (T_0=25 С), алюминиевое сечение жилы 25 мм^2, удельное электрическое сопротивление алюминия 0,0282 Ом·мм²/м, тепловое сопротивление ПВХ изоляции 700°С·см/Вт, коэффициент теплоотдачи в окру жающую среду 10 Вт/м^2·К. Диэлектрическими потерями в изоляции пренебречь.
9.8.4	Рассчитать допустимый ток нагрузки для тепловой схемы замещения силового кабеля:  где $t_ж$ – температура жилы, $P_ж$ – потери в жиле, $P_{из}$ – потери в изоляции, $S_{из}$ – тепловое сопротивление изоляции, $S_{зп}$ – тепловое сопротивление защитных покровов, S_0 – тепловое сопротивление окружающей среды, t_0 – температура окружающей среды.
9.8.5	Композиционный твердый диэлектрик для конденсатора состоит из смеси полистирола ($\varepsilon_1 = 2{,}5$; $TK\varepsilon_1 = -120\cdot10^{-6}$) и титаната кальция ($\varepsilon_2 = 180$; $TK\varepsilon_2 = -1300\cdot10^{-6}$). Рассчитайте величину температурного коэффициента диэлектрической проницаемости ($TK\varepsilon_{диэл}$) композиционного диэлектрика, если объемная концентрация полистирола в смеси равна 0,2.

Пример выполнения Задания 9.8.2

Постоянная времени конденсатора равна произведению его сопротивления на емкость. В свою очередь сопротивление конденсатора определяется его объемным и поверхностным сопротивлениями. Поскольку объемное сопротивление R_v шунтируется поверхностным сопротивлением R_s, то сопротивление конденсатора R определяется по формуле:

$$R = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s}.$$

Так как по условию задачи конденсатор герметичен, то его емкость и удельное сопротивление не меняются под действием влажности и для постоянных времени при нормальных условиях $\tau_{норм}$ и в среде с высокой влажностью $\tau_{влажн}$ имеем

$$\tau_{норм} = R_{норм} \cdot C = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s} \cdot C$$

$$\tau_{влажн} = R_{влажн} \cdot C = \frac{R_v \cdot R_{s_{влажн}}}{R_v + R_{s_{влажн}}} \cdot C.$$

Постоянная времени при размещении конденсатора во влажной среде уменьшится в

$$\frac{\tau_{норм}}{\tau_{влажн}} = \frac{R_s \cdot (R_v + R_{s_{влажн}})}{(R_v + R_s) \cdot R_{s_{влажн}}} = \frac{10^{12} \cdot (5 \cdot 10^{11} + 10^9)}{(5 \cdot 10^{11} + 10^{12}) \cdot 10^9} = 334 \text{ раза}$$