

# **ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

**МОСКВА 2005**

Составители: В. Н. Цыпкин, И. Г. Верещагин, А. В. Бриндеев, В. А. Алешов

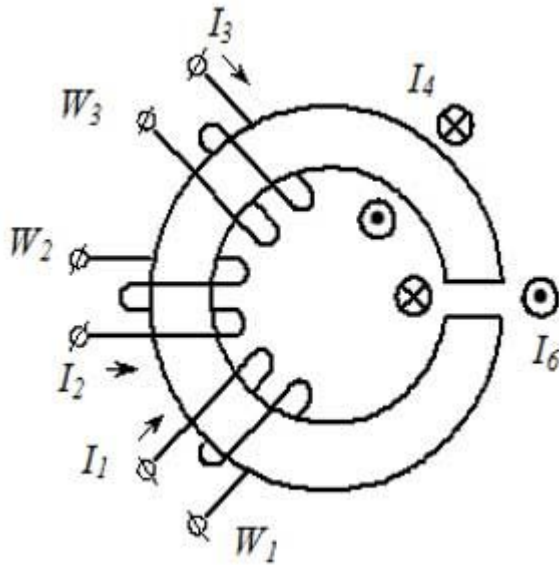
Редактор: И. Г. Верещагин

Контрольные задания являются типовым расчетом по курсу общей электротехнике III семестра. Типовые расчеты выполняются студентами в письменном виде и сдаются преподавателю до начала зачетной сессии. Данное пособие включает в себя 5 задач с 25 вариантами по каждому, а так же примеры решения типовых задач в общем виде. При составлении контрольных заданий за основу были взяты типовые расчеты, разработанные коллективом кафедры ТИССУ.

Печатаются согласно лицензии GPL.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический  
университет)»  
119454, Москва, пр. Вернадского, 78

## Задача № 1. Закон полного тока



На рис.1 изображена магнитная система, состоящая из ферромагнитного сердечника с зазором, трёх намотанных на него обмоток и четырёх шин.

### ОПРЕДЕЛИТЬ:

- напряженности магнитного поля вдоль средних силовых линий сердечника и зазора;
- магнитные напряжения, приложенные к сердечнику и зазору;
- магнитную индукцию в сердечнике и зазоре\*; величину и направление магнитного потока в системе;

Рис.1

№ варианта	$I_1$ [A]	$I_2$ [A]	$I_3$ [A]	$I_4$ [A]	$I_5$ [A]	$I_6$ [A]	$\mu$	$l_{cp}^{**}$ [мм]	$S^{**}$ [мм <sup>2</sup> ]	$\delta^{**}$ [мм]
								$W_1$	$W_2$	$W_3$
1	0.58	1.0	0.5	3.0	5.0	4.0	10000	200	200	0.10
2	1.0	0.5	2.0	2.0	7.0	3.0	10000			
3	1.6	1.5	1.3	4.0	3.0	5.0	10000			
4	0.4	0.9	1.5	1.0	6.0	2.0	10000	100	150	180
5	0.8	1.0	1.6	4.0	2.0	3.0	10000			
6	1.1	0.7	0.25	1.0	6.0	3.0	3000	50	20	0.15
7	0.0	0.25	1.5	0.0	5.0	6.0	3000			
8	1.8	1.12	1.0	4.0	2.0	3.0	3000			
9	1.5	1.0	2.5	2.0	7.0	4.0	3000	50	100	120
10	0.16	1.4	2.0	3.0	5.0	2.0	3000			
11	1.1	0.7	0.38	2.0	3.0	4.0	7000	125	80	0.25
12	0.5	0.6	2.0	6.0	1.0	3.0	7000			
13	0.22	0.3	1.5	5.0	2.0	1.0	7000			
14	1.1	0.29	0.5	3.0	1.0	2.0	7000	150	300	200
15	0.9	0.23	1.7	3.0	4.0	2.0	7000			
16	0.19	0.3	1.0	1.0	3.0	2.0	2000	100	150	0.30
17	0.21	0.5	0.56	6.0	1.0	4.0	2000			
18	0.75	0.0	0.16	1.0	2.0	3.0	2000			
19	0.0	0.12	0.12	0.5	1.0	2.0	2000	200	400	300
20	1.0	0.39	0.6	3.0	4.0	1.0	2000			
21	1.0	0.0	0.5	5.0	0.0	3.0	1000	100	100	0.4
22	0.0	2.5	1.2	4.0	2.0	5.0	1000			
23	0.5	1.0	0.75	1.0	6.0	7.0	1000			
24	0.2	0.1	7.0	10.0	0.0	2.0	1000	150	100	40
25	0.1	0.15	5.0	7.0	2.0	6.0	1000			

**ПРИМЕЧАНИЯ:** \* Расчет проводить, исходя из условия, что индукция в теле сердечника равна индукции в зазоре, т.е. краевым эффектом пренебречь.

\*\*  $l_{cp}$  – длина средней силовой линии сердечника;

$S$  – площадь сечения поперечного сечения сердечника;

$\delta$  – величина воздушного зазора;

Определив направления токов в катушках, мы можем воспользоваться законом полного тока и составить следующие уравнения:

$$H_c = \frac{(I_1 \cdot W_1 + I_2 \cdot W_2 - I_3 \cdot W_3 - I_4 + I_5)}{(1 + \mu \cdot \delta)} \text{ [A/м]}$$

$$H_\delta = \mu \cdot H_c \text{ [A/м]}$$

$$U_c = H_c \cdot l \text{ [A]}$$

$$U_\delta = H_\delta \cdot \delta \text{ [A]}$$

$$B_c = \mu_0 \cdot H_\delta \text{ [Тл]}$$

$$B_\delta = B_c \text{ [Тл]}$$

$$\Phi_c = B_c \cdot S \text{ [Вб]}$$

$$\Phi_\delta = \Phi_c \text{ [Вб]}$$

## Задача № 2. Закон электромагнитной индукции

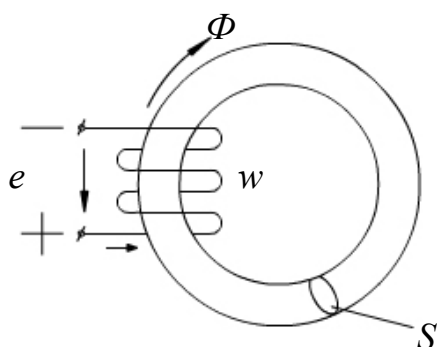


Рис. 1

На рис.1 изображена магнитная система, состоящая из ферромагнитного сердечника и намотанной на него обмотки.

На рис.2 приведены временные диаграммы изменения одной из величин, характеризующих процесс перемagnetизации сердечника\*.

### ПОСТРОИТЬ:

временную диаграмму изменения величины, указанной в задании.

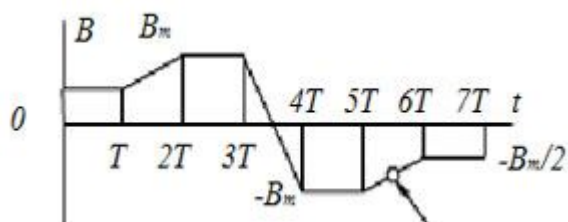
### ОПРЕДЕЛИТЬ:

максимальное (по модулю) значение требуемых величин; полярность ЭДС на зажимах обмотки (+, -) или направление магнитного потока в сердечнике (по или против часовой стрелки) в указанный на диаграмме момент времени.

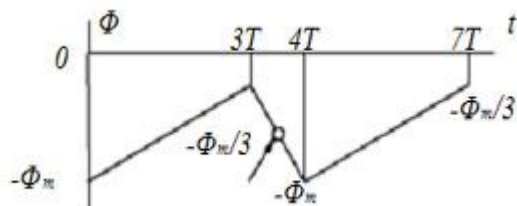
№в ар.	ЗАДАНО**				ОПРЕДЕЛИТЬ**	
	w	s [мм <sup>2</sup> ]	B <sub>m</sub> [Тл]	T [мс]	e(t),  E <sub>m</sub> , Φ <sub>m</sub> ,  Полярность e	
1	300	100	1.6	100		
2	800	50	0.8	50		
3	400	30	0.6	10		
4	250	20	0.4	5		
5	600	15	0.2	1		
	w	s [мм <sup>2</sup> ]	Φ <sub>m</sub> [мкВб]	T [мс]	e(t),  E <sub>m</sub> , B <sub>m</sub> ,  Полярность e	
6	600	75	150	50		
7	750	40	60	20		
8	800	60	45	10		
9	900	125	75	5		
10	450	20	9	2		
	w	s [мм <sup>2</sup> ]	Φ <sub>m</sub> [мкВб]	F [Гц]	e(t),  E <sub>m</sub> , B <sub>m</sub> ,  Полярность e	
11	850	100	220	50		
12	950	75	150	100		
13	670	200	350	200		
14	435	120	180	300		
15	740	80	100	400		
	w	s [мм <sup>2</sup> ]	E <sub>m</sub> [ В ]	T [мс]	Φ(t)***,  Φ <sub>m</sub> , B <sub>m</sub> ,  Направление Φ	
16	600	125	4.0	75		
17	750	375	9.0	50		
18	350	260	6.5	35		
19	750	320	60.0	12		
20	1250	160	100.0	5		
	w	s [мм <sup>2</sup> ]	E <sub>m</sub> [В]	T [мс]	B <sub>0</sub> [Тл]	B(t),  Φ <sub>m</sub> , B <sub>m</sub> ,  Направление Φ
21	500	200	1.5	80	-0.4	
22	800	135	3.6	60	0.2	
23	400	300	6.0	25	-0.25	
24	1350	200	9.0	15	-1.0	
25	500	320	12.0	4	0.2	

Рисунок 2:

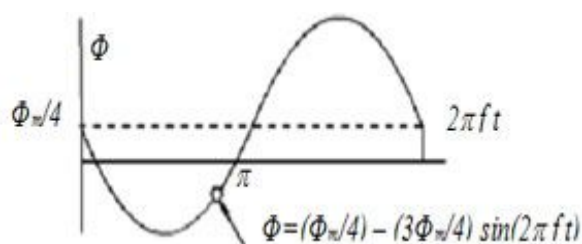
- К вариантам 1-5



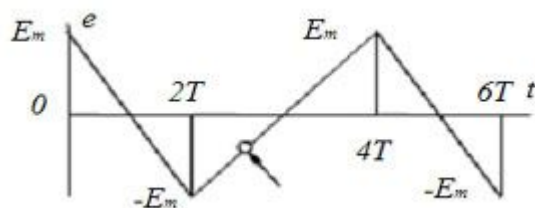
- К Вариантам 6-10



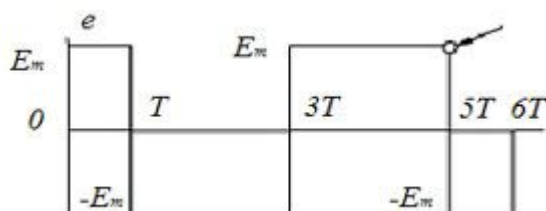
- К Вариантам 11-15



- К Вариантам 16-20



- К Вариантам 21-25



**ПРИМЕЧАНИЯ:** \* На рис.2 положительными считаются полярность ЭДС в обмотке и направление магнитного потока в сердечнике, обозначенные на рис.1 стрелками.

\*\* В таблице:  $E_m$ ,  $B_m$  и  $\Phi_m$  - максимальные (по модулю) величины ЭДС в обмотке  $e(t)$ , магнитной индукции  $B(t)$  и магнитного потока  $\Phi(t)$  в сердечнике;  $B_0$  - значение  $B(t)$  при  $t = 0$ .

\*\*\* При определении  $\Phi(t)$  считать, что при  $t = 0$   $\Phi(t) = 0$ .

$$F = \frac{1}{T} [\Gamma_{\text{ц}}]$$

Согласно графику мы находим максимальное изменение индукции и составляем следующую формулу:

$$E_{\text{м}} = \frac{\left( -w \cdot s \cdot \left( -B_{\text{м}} - B_{\text{м}} \right) \right)}{\left( 4 \cdot T - 3 \cdot T \right)} [\text{В}]$$

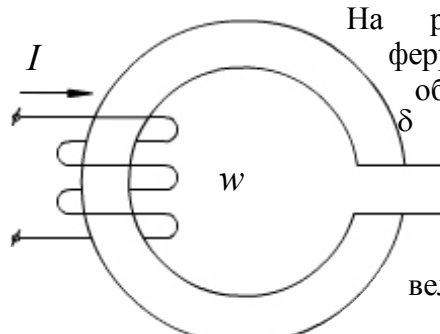
$$\Phi_{\text{м}} = B_{\text{м}} \cdot s [\text{Вб}]$$

### Задача № 3. Нелинейная магнитная цепь

На рис.1 изображена магнитная система, состоящая из ферромагнитного сердечника с зазором и намотанной на него обмотки. Кривая намагничивания материала сердечника аппроксимируется отрезками прямых:

$B = a H$   
и  $B = c H + e$  (см. рис.2).

**ОПРЕДЕЛИТЬ:**  
величину и направление магнитного потока в системе\*; значение индуктивности обмотки  $L = \frac{\Psi}{I}$ .



№ варианта	I [А]	w	δ [мм]	a [А/м]	c [Тл / (А/м)]	e [Тл]	размеры сердечника (D x d x h), [мм]
1	0.5	100	0.10	0.0080	0.0002	0.60	50 x 32 x 25
2	0.8	125	0.25	0.0090	0.0004	0.65	
3	0.6	150	0.15	0.0085	0.0003	0.70	
4	0.5	400	0.12	0.0075	0.0002	0.60	
5	2.0	75	0.05	0.0060	0.0003	0.80	
6	1.0	180	0.09	0.0080	0.0005	0.75	60 x 40 x 20
7	0.9	100	0.12	0.0065	0.0006	0.60	
8	3.0	50	0.15	0.0085	0.0007	0.65	
9	1.5	120	0.10	0.0070	0.0003	0.70	
10	0.8	250	0.20	0.0090	0.0004	0.80	
11	3.0	80	0.15	0.0100	0.0005	0.75	55 x 30 x 10
12	0.5	300	0.11	0.0075	0.0004	0.60	
13	1.2	150	0.10	0.0080	0.0005	0.65	
14	2.5	80	0.12	0.0095	0.0003	0.70	
15	1.5	120	0.08	0.0090	0.0004	0.75	
16	0.9	200	0.15	0.0085	0.0003	0.80	60 x 30 x 25
17	1.3	100	0.20	0.0075	0.0005	0.60	
18	1.0	90	0.05	0.0070	0.0004	0.80	
19	0.6	300	0.10	0.0090	0.0004	0.85	
20	0.8	100	0.06	0.0080	0.0003	0.75	
21	1.4	100	0.09	0.0095	0.0005	0.60	50 x 20 x 15
22	0.4	500	0.08	0.0010	0.0005	0.70	
23	0.7	300	0.20	0.0080	0.0003	0.80	
24	0.9	150	0.11	0.0085	0.0004	0.65	
25	1.0	220	0.10	0.0075	0.0004	0.75	

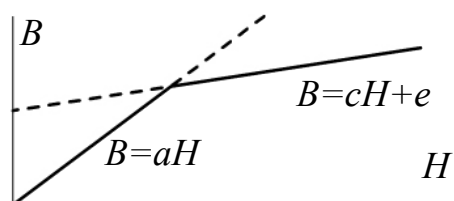


Рис.2.

**\*ПРИМЕЧАНИЯ:** Расчет проводить, исходя из условия равенства значений индукции в теле сердечника и в зазоре, т.е. *краевым эффектом - пренебречь*.

**ЛИТЕРАТУРА:** Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, ч.1. - М.: Высшая школа, 1978.



$$S_c = \frac{(D-d) \cdot h}{2} \text{ [м}^2\text{]}$$

$$l_c = \frac{\pi \cdot (D+d)}{2} \text{ [м]}$$

$$a \cdot H_k = c \cdot H_k + e$$

$$H_k = \frac{e}{(a-c)} \text{ [А/м]}$$

$$B_k = \frac{H_k}{\mu_0} \text{ [Тл]}$$

$$I \cdot w = \frac{B}{\mu_0} \cdot \delta + \frac{(B-e)}{c} \cdot l_c$$

$$B = \frac{\left( (I \cdot w \cdot c + e \cdot l_c) \cdot \mu_0 \right)}{\left( \delta \cdot c + l_c \cdot \mu_0 \right)} \text{ [Тл]}$$

$$\text{Если } B > B_k$$

$$H_c = \frac{(B-e)}{c} \text{ [А/м]}$$

иначе

$$H_c = \frac{B}{a} \text{ [А/м]}$$

исходя из этого

$$H_\delta = \frac{B}{\mu_0} \text{ [А/м]}$$

$$U_{mc} = H_c \cdot l_c \text{ [А]}$$

$$U_{m\delta} = H_\delta \cdot \delta \text{ [А]}$$

$$\Phi = B \cdot S \text{ [Вб]}$$

$$L = \frac{w \cdot \Phi}{I} \text{ [Гн]}$$

Для проверки результата посмотрите, выполняется ли тождество

$$U_{mc} + U_{m\delta} \equiv I \cdot w$$

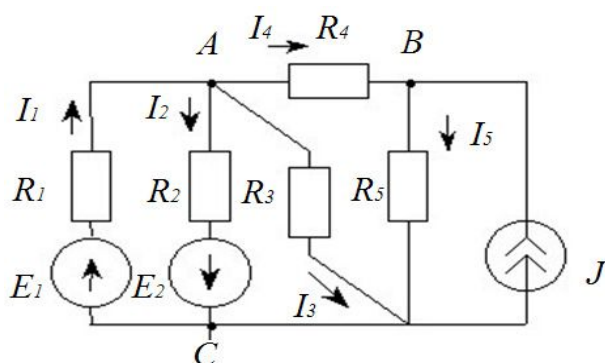
## Задача № 4. Цепь постоянного тока

Рассчитать силы тока  $I_i$  во всех ветвях и определить потенциалы в узлах А и В (полагая узел С заземленным, т.е.  $j_C = 0$ ) данной схемы 3-мя способами:

- 1) по законам Кирхгофа;
- 2) методом контурных токов;
- 3) методом узловых потенциалов.

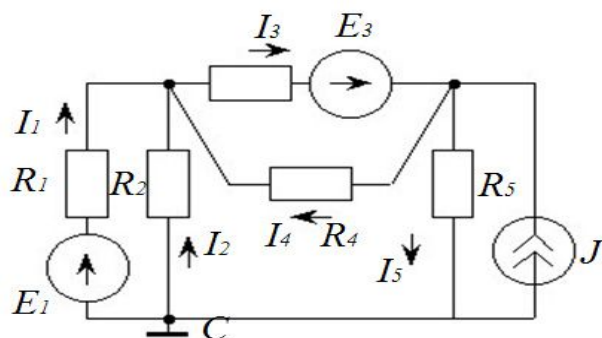
Проверьте: одинаковы ли результаты при разных способах решения.

Для 1-го – 5-го вариантов



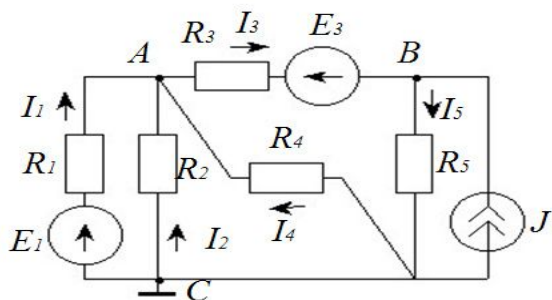
№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_2$	$J$
1	2	1	5	3	2	10	5	1
2	1	3	3	2	4	24	12	4
3	5	2	7	6	1	15	4.5	2
4	3	1	1	1	6	12	30	5
5	2	6	3	7	2	4.5	20	1

Для 6-го – 10-го вариантов



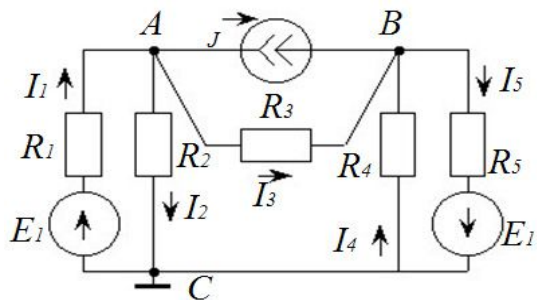
№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_3$	$J$
6	4	2	10	3	7	5	5	6
7	1	7	3	2	1	10	12	3
8	10	3	7	8	10	12	4.5	7
9	1	4	1	1	2	3	15	3
10	12	1	5	4	7	15	8	2

Для 11-го – 15-го вариантов



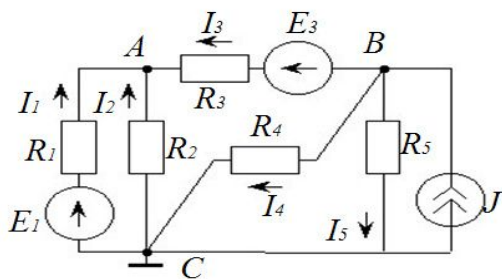
№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_3$	$J$
11	2	2	2	5	2.5	20	7.5	6
12	4	4	8	2	1	12	20	4
13	3	3	2	6	3	30	13	2
14	2	8	4	9	6	10	3	6
15	5	10	1	1	1	7.5	12	1

Для 16-го – 20-го вариантов



№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_5$	$J$
16	6	2	10	5	5	5	8	2
17	3	1	5	2	2	1.5	3	5
18	5	8	2	1	10	12	24	1
19	1	12	7	7	2	30	5	3
20	3	3	2	3	6	24	18	7

Для 21-го – 25-го вариантов



№	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_2$	$J$
21	1	1	1	2.5	3	5	4	15
22	2	7	9	1	1	6	9	2
23	10	1	1	6	8	14	12	5
24	7	10	2.5	2	2	4	10	1
25	3	1	2	4	2.5	30	10	3

Для 1-5 вариантов мы составляем систему уравнений на основе двух законов Кирхгофа:

$$I_1 - I_2 - I_4 - I_3 = 0$$

$$I_4 - I_5 + J = 0$$

$$E_1 + E_2 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot R_5$$

$$E_2 = I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3$$

И по закону Ома:

$$\varphi_A = E_1 - I_1 \cdot R_1$$

$$\varphi_B = I_5 \cdot R_5$$

По методу контурных токов мы можем составить следующую систему:

$$E_1 + E_2 = (I_{\kappa_1} + I_{\kappa_2}) \cdot R_1 + (I_{\kappa_1} + I_{\kappa_3}) \cdot R_2$$

$$E_2 = (I_{\kappa_1} + I_{\kappa_3}) \cdot R_3 + I_{\kappa_3} \cdot R_3$$

$$E_1 = (I_{\kappa_1} + I_{\kappa_2}) \cdot R_1 + I_{\kappa_2} \cdot R_4 + (I_{\kappa_2} + J) \cdot R_5$$

Решив ее, мы можем найти интересующие нас токи:

$$I_1 = I_{\kappa_1} + I_{\kappa_2}$$

$$I_2 = I_{\kappa_1} + I_{\kappa_3}$$

$$I_3 = I_{\kappa_3}$$

$$I_4 = I_{\kappa_2}$$

$$I_5 = I_{\kappa_2} + J$$

Потенциалы ищем тем же образом, что и по законам Кирхгофа.

В методе узловых потенциалов мы можем составить систему:

$$\frac{(E_1 - \varphi_A)}{R_1} - \frac{(E_2 + \varphi_A)}{R_2} - \frac{\varphi_A}{R_3} - \frac{(\varphi_A - \varphi_B)}{R_4} = 0$$

$$\frac{(\varphi_A - \varphi_B)}{R_4} - \frac{\varphi_B}{R_5} + J = 0$$

Зная потенциалы, мы можем найти все остальное:

$$I_1 = \frac{(E_1 - \varphi_A)}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{(E_2 + \varphi_A)}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_A}{R_3}$$

$$I_4 = \frac{(\varphi_A - \varphi_B)}{R_4}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_B}{R_5}$$

Для остальных вариантов мы приведем только системы уравнений по законам Кирхгофа. Решение же методом узловых потенциалов и контурных токов осуществляется подобным образом.

Для 6-10 варианта:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 + J = 0$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2$$

$$E_1 + E_2 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5$$

$$E_2 = I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4$$

$$\varphi_A = X3X3X3$$

$$\varphi_B = X3X3X3$$

Для 11-15 варианта:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$I_3 - I_5 + J = 0$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2$$

$$E_1 + E_2 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5$$

$$E_2 = I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5 + I_4 \cdot R_4$$

$$\varphi_A = X3X3$$

$$\varphi_B = X3X3$$

Для 16-20 варианта:

$$I_1 - I_2 - I_3 + J = 0$$

$$I_3 + I_4 - I_5 - J = 0$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

$$E_1 + E_2 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5$$

$$E_2 = I_5 \cdot R_5 + I_4 \cdot R_4$$

$$\varphi_A = X3X3X3$$

$$\varphi_B = X3X3X3$$

Для 21-25 варианта:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$J - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2$$

$$E_1 - E_2 = I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5$$

$$E_2 = I_3 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_2 - I_4 \cdot R_4$$

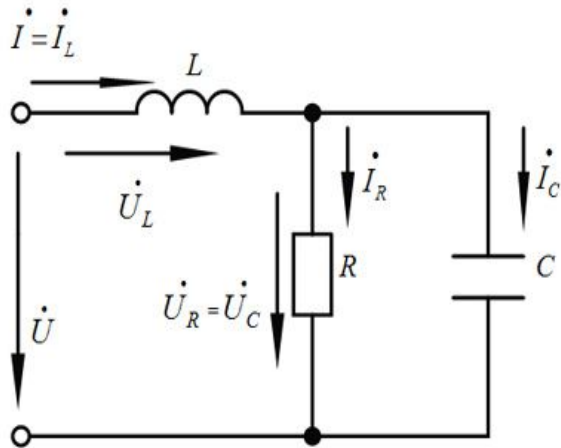
$$\varphi_A = X3$$

$$\varphi_B = X3$$

## Задача № 5. Цепь переменного тока

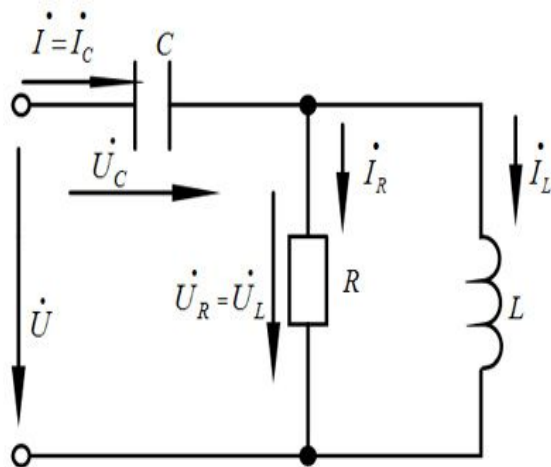
Анализ состояния цепи переменного синусоидального тока

### Варианты 1-5



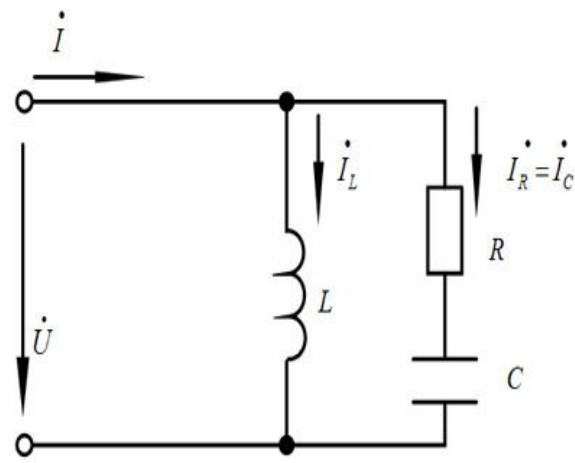
№ варианта	$U$ [В]	$f$ [Гц]	$R$ [Ом]	$C$ [мкФ]	$L$ [мГн]
1	220	50	40	50	120
2	380	50	30	60	100
3	127	50	20	70	80
4	110	400	50	10	15
5	200	400	70	8	25

### Варианты 6-10



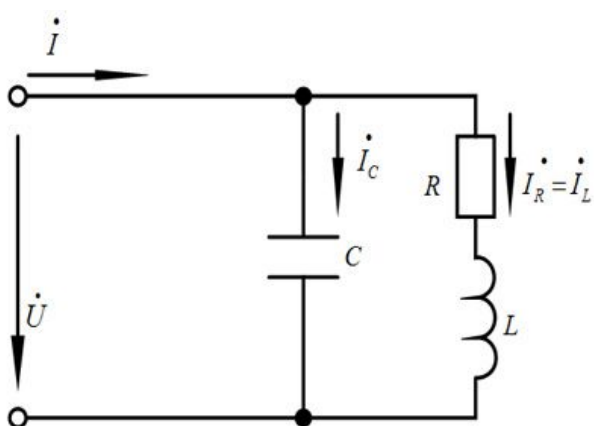
№ варианта	$U$ [В]	$f$ [Гц]	$R$ [Ом]	$C$ [мкФ]	$L$ [мГн]
6	220	50	50	60	100
7	380	50	40	70	80
8	127	50	30	80	80
9	110	400	60	10	30
10	200	400	50	6	15

### Варианты 11-15



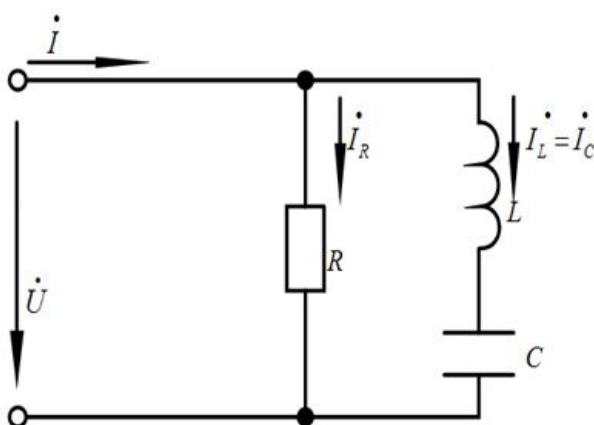
№ варианта	$U$ [В]	$f$ [Гц]	$R$ [Ом]	$C$ [мкФ]	$L$ [мГн]
11	220	50	40	60	80
12	380	50	50	80	90
13	127	50	30	80	70

**Варианты 16-20**



№ варианта	$U$ [В]	$f$ [Гц]	$R$ [Ом]	$C$ [мкФ]	$L$ [мГн]
16	220	50	30	80	80
17	380	50	20	120	90
18	127	50	25	100	90
19	110	400	50	10	25
20	200	400	60	5	30

**Варианты 21-25**



№ варианта	$U$ [В]	$f$ [Гц]	$R$ [Ом]	$C$ [мкФ]	$L$ [мГн]
21	220	50	50	80	100
22	380	50	30	120	140
23	127	50	60	90	60
24	110	400	40	15	20
25	200	400	70	8	15