

## Задача 2

Схема электрической цепи (рис. 2.1) состоит из последовательно соединенных активного  $R$  и реактивного  $X$  сопротивлений.

Требуется определить параметры  $R$  и  $X$ , а также  $L$  или  $C$  этой цепи, используя дополнительное сопротивление  $R_1$ , величина которого известна, и только амперметры или только вольтметры электромагнитной системы\*. Частота  $f$  источника питания цепи известна.

Данные для расчета представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Последняя цифра студента по списку										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер схемы	2	1	4	2	1	2	4	2	1	4
$U_1$ , В	20	10	20	15	10	20	15	10	15	10
$U_2$ , В	20	20	14	14	14	11,5	11,5	11,5	20	30
$U$ , В	34,5	26,5	31,5	27	22,5	30,5	25,5	21	30,5	35,5
$R_1$ , Ом	10	5	4	10	2,5	10	3	2	7,5	5
$I_1$ , А	10	15	10	10	15	20	15	10	15	15
$I_2$ , А	16	16	20	16	20	20	24	20	16	20
$I$ , А	25	30	27,5	22,5	32	38,5	34	26,5	27	31
$R_1$ , Ом	5	2	4	6	3	5	3	4	6	2
$f$ , Гц	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500

### Методические указания

Определить параметры с последовательным соединением  $R$  и  $X$  при помощи дополнительного сопротивления  $R_1$  известной величины можно без применения ваттметра двумя способами: а) с помощью трех вольтметров, б) с помощью трех амперметров.

В случае а) сопротивление  $R_1$  известной величины включается последовательно с исследуемой цепью и измеряется действующее значение напряжения на зажимах цепи  $U$ , действующее значение напряжения  $U_1$  на сопротивление  $R_1$  и

\* Амперметры и вольтметры электромагнитной системы регистрируют действующие значения токов и напряжений.

действующее значение напряжения  $U_2$  на исследуемой цепи (схемы 1 и 3 на рис. 1.1).

В случае б) сопротивление  $R_1$  известной величины включается параллельно исследуемой цепи и измеряется действующее значение тока всей цепи  $I$ , действующее значение тока  $I_2$  в исследуемой цепи и действующее значение тока  $I_1$  в сопротивлении  $R_1$  (схемы 2 и 4 на рис. 2.1).

По результатам этих измерений можно определить величины  $R$  и  $X$  исследуемой цепи, а также емкость  $C$  (схемы 1 и 2 рис. 2.1) или индуктивность  $L$  (схемы 3 и 4 рис. 2.1), если известна частота  $f$  цепи.

При решении этой задачи необходимо учитывать ряд важных положений. Синусоидальные токи и напряжения изображают графически в полярных координатах в виде векторов  $\bar{I}$  и  $\bar{U}$ , длина которых равна действующему значению  $I$  и  $U$ , а угол между вектором и полярной осью равен начальной фазе  $\psi_I$  или  $\psi_U$ . Угол сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением и током определяется как разность начальных фаз напряжения и тока:  $\varphi = \psi_U - \psi_I$ . Угол сдвига фаз  $\varphi$  зависит от соотношения между активным  $R$  и реактивным  $X$  сопротивлениями цепи.

Для действующих значений токов и напряжений справедливы законы Кирхгофа в векторной форме записи.

**Первый закон Кирхгофа** относится к узлам цепи: геометрическая сумма векторов действующих значений токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^K \bar{I}_k = 0,$$

где  $K$  - число ветвей, подходящих к узлу.

**Второй закон Кирхгофа** относится к контурам цепи: геометрическая сумма векторов действующих значений напряжений на участках контура равна геометрической сумме векторов действующих значений ЭДС этого контура:

$$\sum_{v=1}^V \bar{E}_v = \sum_{n=1}^N \bar{U}_n,$$

где  $V$  - число источников ЭДС контура;  $N$  - число сопротивлений контура.

Расчет исследуемой цепи производится графоаналитическим способом с помощью векторной диаграммы, выполненной в масштабе. Масштабы токов и напряжений следует выбрать такими, чтобы векторная диаграмма разместилась на половине тетрадного листа. Общий вид векторных диаграмм для каждой из четырех схем представлен на рис. 2.1.

Для схем 1 и 3 рис. 2.1 по трем известным действующим значениям напряжений  $U$ ,  $U_1$  и  $U_2$  строится треугольник векторов напряжений в соответствии

со вторым законом Кирхгофа:  $\bar{U}_1 + \bar{U}_2 = \bar{U}$ . За основу берется вектор напряжения на известном сопротивлении  $R_1$ . Этот вектор совпадает по фазе с вектором общего тока  $I$  цепи.

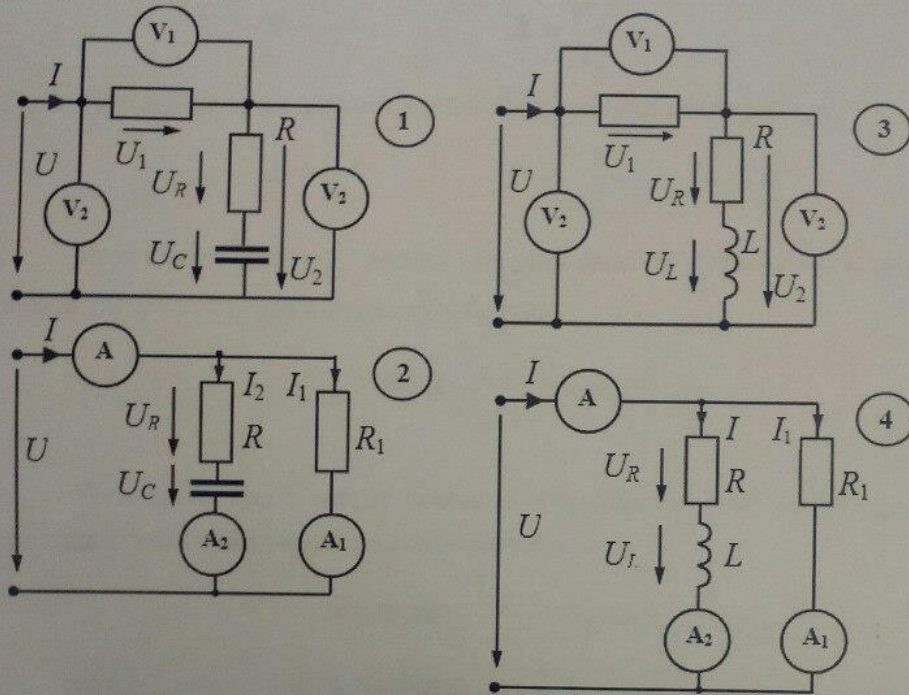


Рис.2.1.

После построения вектора  $U_1$  из его начала (точка  $a$ ) проводится (циркулем) окружность радиуса  $U_1$ , а из его конца (точка  $b$ ) – окружность радиуса  $U_2$ . Пересечение этих окружностей (точка  $c$ ) определяет положение векторов  $\bar{U}$  и  $\bar{U}_2$  на векторной диаграмме. Заметим, что для схемы 1 (рис. 2.1) треугольник напряжений следует строить относительно вектора тока  $\bar{I}$  против направления положительного вращения векторов (указано на рис. 1.1 стрелками), так как в цепи с емкостью напряжение цепи отстает по фазе от тока; для схемы 3 (рис. 2.1) треугольник напряжений строится относительно вектора тока  $\bar{I}$  по направлению положительного вращения векторов, так как в цепи с индуктивностью напряжение в цепи опережает по фазе ток. После построения треугольника напряжений из вершины  $C$  следует опустить перпендикуляр  $cd$  на направление вектора  $\bar{I}$  и таким образом разложить вектор  $\bar{U}_2$  на две составляющие: вектор  $\bar{U}_R$ , совпадающий по фазе с вектором тока  $\bar{I}_2$ , и вектор  $\bar{U}_X$  ( $U_C$  для схемы 1 и  $U_L$  для схемы 3), перпендикулярный направлению тока  $\bar{I}_2$ . Зная длины век-

торов  $\bar{U}_R$  и  $\bar{U}_X$ , легко определить активное  $R$  и реактивное  $X$  сопротивления исследуемой цепи:

$$R = \frac{U_R}{I_2}; \quad X = \frac{U_X}{I_2}.$$

Для определения параметров  $L$  и  $C$  используют соотношения

$$L = \frac{X_L}{\omega}; \quad C = \frac{1}{\omega X_C}, \quad \omega = 2\pi f.$$

Угол сдвига фаз  $\varphi_{RX}$  между напряжением  $\bar{U}$  и током  $\bar{I}_2$  определяется с помощью транспортира или из соотношения

$$\varphi_{RX} = \arctg \frac{U_X}{U_R} = \arctg \frac{X}{R_1 + R_2}.$$

Угол сдвига фаз  $\varphi$  между током и напряжением всей цепи определяем с помощью транспортира или по соотношению

$$\varphi = \arctg \frac{U_X}{U_1 + U_R} = \arctg \frac{X}{R_1 + R_2}.$$

Для схем 2 и 4 рис. 2.1 по трем известным действующим значениям тока  $I_1$  и  $I_2$  строится треугольник векторов токов в соответствии с первым законом Кирхгофа:  $\bar{I}_1 + \bar{I}_2 = \bar{I}$ . За основу берется вектор тока в известном сопротивлении  $R_1$ . Этот вектор совпадает по фазе с вектором приложенного к цепи напряжения  $\bar{U}$ . Действующее значение этого напряжения  $U = I_1 R_1$ .

После построения вектора  $\bar{I}_1$  из его начала (точка  $a$ ) проводится (циркулем) окружность радиуса  $I_1$ , а из конца вектора  $\bar{I}_1$  (точка  $b$ ) проводится окружность радиуса  $I_2$ . Точка пересечения этих окружностей определяет положение векторов  $\bar{I}_2$  и  $\bar{I}$  на векторной диаграмме. Заметим, что для схемы 2 (рис. 2.1) треугольник токов следует строить относительно вектора  $\bar{U}$  в сторону положительного вращения векторов (против часовой стрелки), так как в цепи с емкостью ток опережает по фазе приложенное напряжение; для схемы 4 (рис. 2.1) треугольник токов следует строить относительно вектора  $\bar{U}$  в сторону, противоположную положительному вращению векторов (по часовой стрелке), так как в цепи с индуктивностью ток отстает по фазе от приложенного напряжения. После построения треугольников токов из конца вектора  $\bar{U}$  (точка

е) следует опустить перпендикуляр  $ed$  на направление вектора тока  $\bar{I}_2$  и таким образом разложить вектор  $\bar{U}$  на две  $\bar{U}_R$ , совпадающее с током  $\bar{I}_2$ , и вектор  $\bar{U}_X$  ( $U_C$  для схемы 2 рис. 2.1 и  $U_L$  для схемы 4 рис. 2.1), перпендикулярный направлению вектора тока  $\bar{I}_2$ . Зная длины векторов,  $\bar{U}_R$  и  $\bar{U}_X$  легко определить активное  $R$  и реактивное  $X$  сопротивления исследуемой цепи:

$$R = \frac{U_R}{I_2}; \quad X = \frac{U_X}{I_2}.$$