

## АКТИВНЫЙ ДВУХПОЛЮСНИК. ЛИНЕЙНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

## I. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой части работы опытным путем определяются параметры активного двухполюсника, проверяется метод эквивалентного источника, а также исследуется передача энергии на постоянном токе от активного двухполюсника нагрузке. Исследование проводится при питании от источника тока и от источника ЭДС.

Во второй части работы опытным путем проверяются линейные зависимости между токами и напряжениями при изменении сопротивления в одной из ветвей разветвленной цепи постоянного тока. Определяются входные и взаимные проводимости по приращениям токов и напряжений.

Работа может выполняться на сильноточном и слаботочном стенде.

## Теоретическая справка

Активный двухполюсник рис.3.1 относительно выходных полюсов  $c, d$  можно заменить эквивалентным источником (рис.3.1,  $a$ ), параметры которого  $R_{вх}$  и  $U_{xx}$  определяются расчетным методом или опытным путем.

Напряжение  $U_{xx}$  рассчитывается по схеме на рис.3.1 при отключенном сопротивлении  $R_n$  (режим XX). Сопротивление пассивного двухполюсника  $R_{вх}$  определяется методом свертывания схемы относительно полюсов  $c, d$  при отключенном источнике тока  $J_1$ , зажимы которого оставляются разомкнутыми, т.к. его внутреннее сопротивление бесконечно велико.

При определении параметров активного двухполюсника опытным путем измеряется вольтметром напряжение  $U_{xx}$  в режиме XX и амперметром ток  $I_n$  при коротком замыкании полюсов  $c, d$ . Сопротивление равно

$$R_{вх} = \frac{U_{xx}}{I_n}.$$

Активный двухполюсник (рис.3.2) можно заменить аналогичным эквивалентным источником (рис.3.1,  $a$ ). При определении его параметров следует учитывать, что внутреннее сопротивление источника ЭДС  $E_1$  равно нулю.

Зависимость мощности нагрузки от тока нагрузки в эквивалентной схеме (рис.3.1,  $a$ ) имеет вид:

$$P_n = (U_{xx} - R_{вх} \cdot I_n) \cdot I_n.$$

Максимальная мощность выделяется в нагрузке при  $R_n = R_{вх}$ ; ее значение  $P_{n \max} = \frac{U_{xx}^2}{4 \cdot R_{вх}}$ . В этом режиме ток в нагрузке составит  $I_n = \frac{I_n}{2}$ .

При изменении сопротивления  $R_n$  в схеме (рис.3.3) зависимости между любыми двумя токами, напряжениями, или током и напряжением имеют вид линейных соотношений. Например:

$$I_3 = a_3 + b_3 \cdot I_2.$$

Коэффициенты  $a_3$ ,  $b_3$  определяются из любых двух режимов работы электрической цепи (удобно использовать ХХ и КЗ).

Расчет входных и взаимных проводимостей по приращениям токов и напряжений при изменении сопротивления  $R_n$  выполняется по формулам

$$g_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}, \quad g_{12} = \frac{\Delta I_1}{\Delta U_2}, \quad g_{32} = \frac{\Delta I_3}{\Delta U_2}.$$

Приращения напряжения и токов берутся из одних и тех же двух режимов работы схемы.

### II. ЗАДАНИЕ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Повторить разделы курса ТОЭ по теме лабораторной работы. Рекомендуемая литература: [5] с. 53–58, [6] с. 49–53, 64–68.

Выполнить в письменной форме следующее задание:

1. Ответить, какие величины называют параметрами активного двухполюсника и как они определяются расчетным методом и экспериментальным путем?

2. Используя параметры активного двухполюсника (эквивалентного источника), привести зависимость мощности нагрузки от тока нагрузки в переменном сопротивлении  $P_n = f(I_n)$ , при питании переменной нагрузкой от активного двухполюсника. При каком условии эта мощность будет максимальной и как ее вычислить?

3. Рассчитать параметры активного двухполюсника для схем (рис.3.1 и 3.2). Значения ЭДС, тока источника тока и сопротивлений резисторов указаны в табл.2.1 (Лабораторная работа № 2).

4. Записать в общем виде аналитические зависимости  $I_3 = f(I_2)$ ,  $I_1 = f(U_2)$ ,  $U_2 = f(I_2)$  при изменении сопротивления  $R_n$  в схеме на рис.3.3.

5. Привести формулы для расчета проводимостей  $g_{22}$ ,  $g_{12}$ ,  $g_{32}$  по приращениям токов и напряжений при изменении сопротивления  $R_n$  во второй ветви (рис. 3.3).

6. Составить бланк отчета, содержащий полную разработку всех пунктов рабочего задания.

### III. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

#### Часть I. Активный двухполюсник с переменной нагрузкой.

##### Метод эквивалентного источника

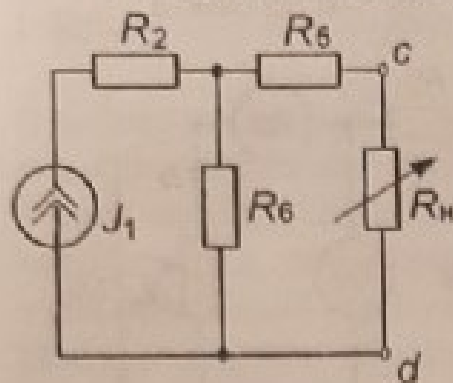


Рисунок 3.1

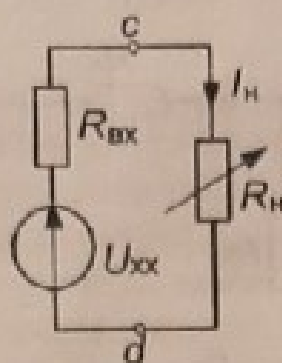


Рисунок 3.1, а

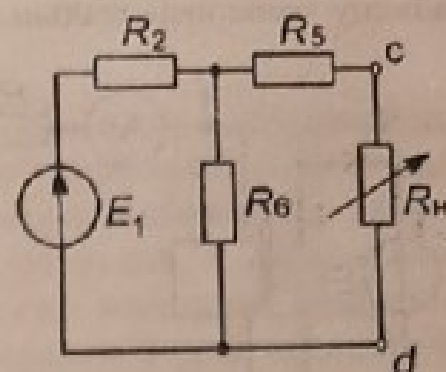


Рисунок 3.2

1. Собрать цепь с активным двухполюсником в соответствии с рис.3.1. Предусмотреть приборы для измерения токов источника тока и нагрузки, а также напряжения на выходе активного двухполюсника (на нагрузке). Значение тока источника тока и сопротивлений резисторов взять из табл.2.1.

2. На выходе активного двухполюсника провести опыты холостого хода и короткого замыкания. По результатам опытов определить параметры активного двухполюсника. Полученный результат сравнить с результатом расчета в п.3 подготовительного задания.

3. К активному двухполюснику (рис.3.1) вместо сопротивления  $R_N$  присоединить ветвь, состоящую из последовательного соединения резистора  $R_1$  и ЭДС  $E_2$ . Величина и направление ЭДС  $E_2$  задаются преподавателем. По методу эквивалентного источника рассчитать ток в присоединенной к двухполюснику ветви. Результаты расчета проверить экспериментально.

4. Собрать цепь с активным двухполюсником в соответствии с рис.3.2. Предусмотреть приборы для измерения напряжения источника и напряжения и тока на выходе активного двухполюсника. Значение ЭДС источника и сопротивлений резисторов взять из табл.2.1.

5. На выходе активного двухполюсника провести опыты холостого хода и короткого замыкания. По результатам опытов определить параметры активного двухполюсника. Полученный результат сравнить с результатом расчета в п.3 подготовительного задания. Сравнить входные сопротивления активного двухполюсника с источником тока (рис.3.1) и активного двухполюсника с источником ЭДС (рис.3.2). Объяснить причину их различия.

6. В цепи на рис.3.2 опытным путем определить зависимость  $P_n(I_n)$  при изменении сопротивления нагрузки  $R_N$  от нуля до бесконечности (7–8 режимов, в том числе обязательно режим максимальной мощности). По опытными данным построить график зависимости  $P_n(I_n)$ .

## Часть 2. Линейные соотношения

7. Собрать цепь по схеме на рис.3.3. Значение ЭДС  $E_1$  взять из табл.2.1. Изменяя сопротивление  $R_n$  от нуля (к.з.) до бесконечности (х.х.), занести в таблицу экспериментальные значения  $I_1, I_2, I_3, U_2$  для 5-6 режимов.

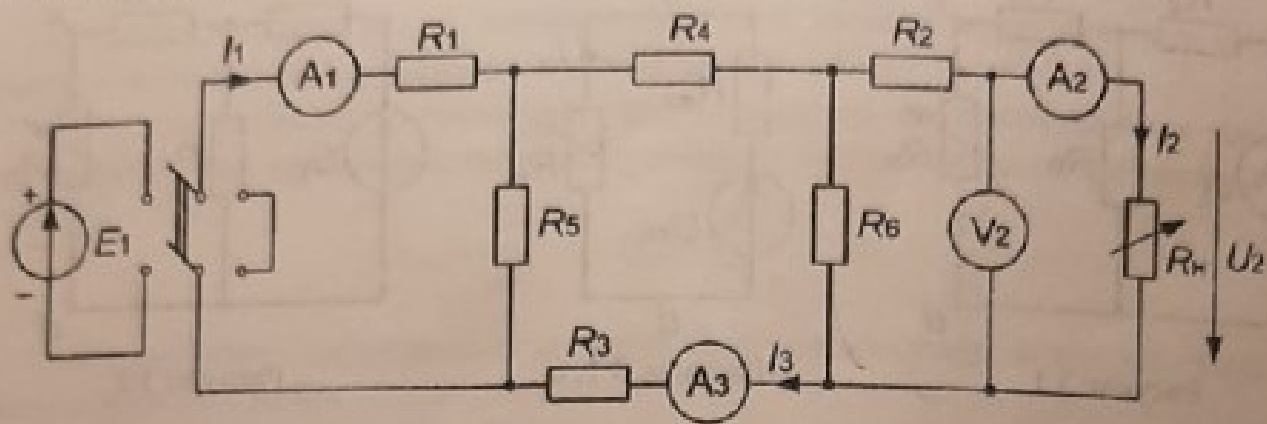


Рисунок 3.3

8. По опытным данным п.7 из двух режимов (х.х. и к.з.) определить коэффициенты линейных зависимостей  $I_3(I_2), I_1(U_2), U_2(I_2)$  и построить графики этих зависимостей.

9. На графики линейных зависимостей из п.8 нанести экспериментальные данные из п.7 и убедиться в их совпадении.

10. Используя опытные данные из п.7, рассчитать по приращениям соответствующих токов и напряжений проводимости  $g_{22}, g_{12}$  и  $g_{32}$  (режимы х.х. и к.з. не использовать).

$$I_2 = \frac{4,3 - U_2}{0,02}$$

Работа может выполняться на сильноточном и слаботочном стендах.

Таблица 2.1

Номер стенда	$E_1,$ В	$E_2,$ В	$J,$ мА	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_6,$ Ом
1	7,0	5,5	150	5,0	10,0	3,0	5,5	29,0	32,0
2	7,5	5,5	180	4,8	10,0	3,0	8,5	25,0	48,0
3	7,5	5,5	150	6,5	10,5	3,0	8,0	27,0	33,0
4	7,5	6	150	4,5	12,0	3,0	10,0	30,0	37,5
5	<del>6,5</del>	5	175	<u>7,0</u>	<u>4,6</u>	<u>3,3</u>	10,0	45,0	<u>34,0</u>
6	8,0	5,5	150	5,0	8,0	2,5	12,0	24,5	48,0
7	7,0	6	175	7,5	4,0	3,0	10,5	45,0	32,0
8	7,5	5	170	5,0	12,0	4,7	8,0	27,0	36,0
9	8,0	6	180	6,0	5,0	4,0	9,0	45,0	32,0
10	7,5	5,5	190	4,0	10,0	1,0	9,0	25,0	46,0
11	8,0	6	160	6,0	10,0	3,5	5,5	27,0	33,0
12	7,5	5,5	150	5,5	9,5	3,0	12,0	25,0	25,0

## ПРОСТЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

## I. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе исследуются соотношения между синусоидальными напряжениями и токами при последовательном и параллельном соединении резистивных, индуктивных и емкостных элементов цепи. По экспериментальным данным производится определение параметров последовательной и параллельной схем замещения реальных элементов цепи, строятся векторные диаграммы токов и напряжений. Для последовательной резонансной цепи исследуются переменные режимы при изменении индуктивности. Все расчеты и анализ экспериментальных результатов выполняются с использованием символического (комплексного) метода. Работа может выполняться на силовоточном стенде.

## Теоретическая справка

Для получения последовательной схемы замещения пассивного двухполюсника определяют его комплексное входное сопротивление  $Z$  по формуле

$$Z = \frac{U}{I} = z \cdot e^{j\phi} = z \cdot \cos \phi + jz \cdot \sin \phi = R + jX,$$

где  $R$  и  $X$  – активная и реактивная составляющие комплексного сопротивления последовательной схемы замещения двухполюсника;  $z = \frac{U}{I}$  – модуль комплексного сопротивления;  $\phi$  – фазовый сдвиг между напряжением и током (показание фазометра).

Таким образом, параметры последовательной схемы замещения определяют по следующим формулам:

$$R = \frac{U}{I} \cdot \cos \phi \text{ – активная составляющая сопротивления;}$$

$$X = \frac{U}{I} \cdot \sin \phi \text{ – реактивная составляющая сопротивления.}$$

Последовательная схема замещения пассивного двухполюсника и соответствующая ей векторная диаграмма представлены на рис. 4.1, а.

На рис. 4.1, а  $\dot{U}_a = R \cdot \dot{I}$  – активная составляющая комплексного напряжения;  $\dot{U}_p = jX \cdot \dot{I}$  – реактивная составляющая комплексного напряжения.

Для получения параллельной схемы замещения пассивного двухполюсника определяют его комплексную входную проводимость  $Y$  по формуле

$$Y = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = \frac{I}{U} \cdot e^{-j\varphi} = y \cdot e^{-j\varphi} = y \cdot \cos \varphi - jy \cdot \sin \varphi = g - jb,$$

где  $g$  и  $b$  – активная и реактивная составляющие комплексной проводимости параллельной схемы замещения двухполюсника;  $y = \frac{I}{U}$  – модуль комплексной проводимости.

Таким образом, параметры параллельной схемы замещения определяют по следующим формулам:

$$g = \frac{I}{U} \cdot \cos \varphi \text{ – активная составляющая проводимости;}$$

$$b = \frac{I}{U} \cdot \sin \varphi \text{ – реактивная составляющая проводимости.}$$

Параллельная схема замещения пассивного двухполюсника и соответствующая ей векторная диаграмма представлены на рис.4.1, б.

На рис.4.1, б  $\dot{I}_a = g \cdot \dot{U}$  – активная составляющая комплекса тока;  $\dot{I}_p = -jb \cdot \dot{U}$  – реактивная составляющая комплекса тока.

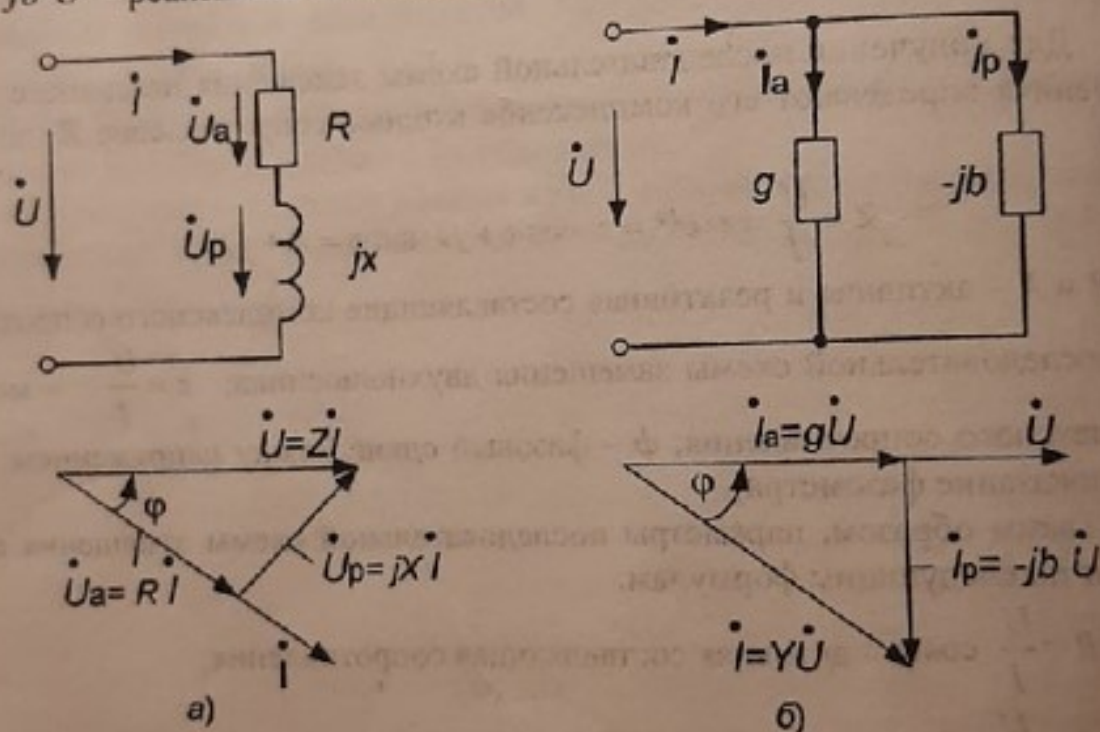


Рисунок 4.1

## II. Задание на подготовительную работу

Повторить разделы курса ТОЭ по теме лабораторной работы. Рекомендуемая литература: [1] с.177–183, с.195–199, с. 213–219, с. 224–233, [5] с. 61–84, [6] с. 86–100, 106–108, 110–112.

Выполнить в письменной форме следующее задание.

1. Определить параметры последовательной и параллельной схем замещения катушки по данным измерений на частоте 50 Гц по показаниям вольтметра, амперметра и фазометра (рис. 4.2, табл.4.1). Рассчитать токи и напряжения обеих схем замещения.

Таблица 4.1

N бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$V, В$	40	30	25	40	30	25	40	30	25	40	30	25
$A, А$	0,5	0,4	0,25	0,4	0,3	0,2	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
$\phi, град$	70	75	80	75	60	70	72	68	65	80	85	75

2. По данным п.1 построить векторные диаграммы токов и напряжений для последовательной и параллельной схем замещения катушки.

3. Определить ток в цепи из последовательно соединенных резистора  $R$  и конденсатора  $C$  при частоте  $f = 50$  Гц (рис.4.3, табл.4.2).

Таблица 4.2

N бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U, В$	40	30	25	40	30	25	40	30	25	40	30	25
$R, Ом$	50	25	25	50	25	25	50	25	25	50	25	25
$C, мкФ$	127	64	80	64	80	80	106	106	80	160	80	106

4. По данным п.3 построить векторные диаграммы тока и напряжений. Определить показания фазометра, вольтметров  $V_R$  и  $V_C$ .

5. Для случая параллельного соединения резистора  $R$  и конденсатора  $C$  (рис.4.4) (значения  $R$  и  $C$  взять из табл.4.2) определить эквивалентное (входное) комплексное сопротивление на частоте 50 Гц. При каком напряжении питания амперметр на входе покажет 1 А? При этом напряжении построить векторную диаграмму токов и напряжений, определить показания амперметров во всех ветвях.

6. Для последовательного резонансного контура качественно построить графики зависимостей тока в цепи, напряжения на индуктивности, напряжения на емкости в зависимости от индуктивного сопротивления  $X_L$ .

### III. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Собрать цепь для измерения параметров катушки переменной индуктивности по схеме рис.4.2 с фазометром. Фазометр при данном включении измеряет угол сдвига между комплексами ЭДС питания и тока.

При напряжении питания  $U=20$  В изменением зазора в магнитной цепи катушки установить ток  $I=0,5$  А и записать показания приборов. По данным измерений рассчитать параметры последовательной и параллельной



схем замещения катушки и построить векторные диаграммы токов и напряжений для обеих схем замещения.

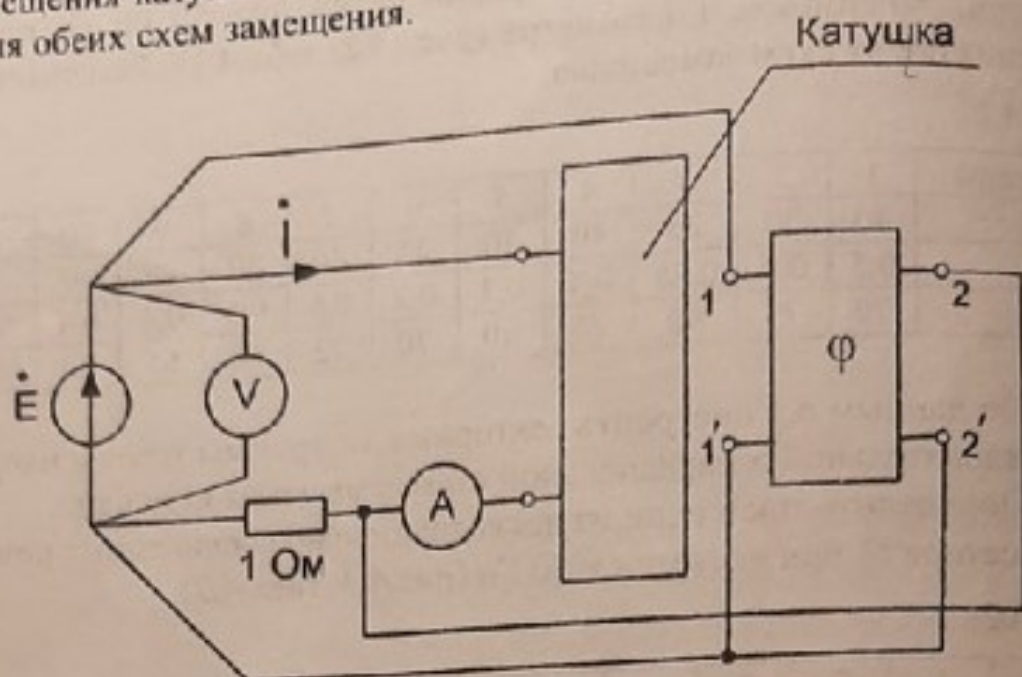


Рисунок 4.2

2. Собрать цепь из последовательно соединенных резистора  $R$  и конденсатора  $C$  (рис.4.3). Величины  $R$  и  $C$  взять из табл.4.2. Необходимое значение сопротивления резистора  $R$  получить настройкой на постоянном токе методом вольтметра и амперметра. Необходимая величина емкости устанавливается магазином емкостей.

Установить напряжение питания в соответствии с табл.4.2, измерить ток в цепи, напряжения на конденсаторе, резисторе, угол сдвига между ЭДС и напряжением на конденсаторе, измеряемый фазометром. Сравнить результаты опыта с расчетом (раздел II, п.п. 3, 4).

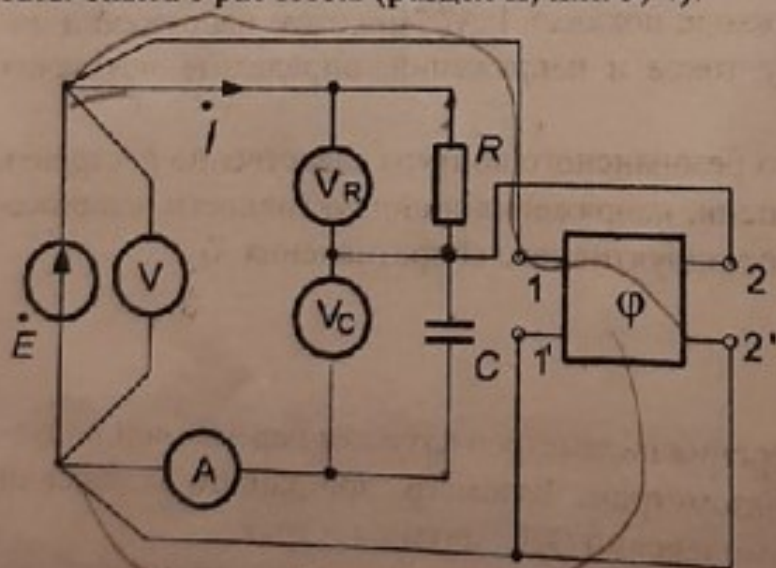


Рисунок 4.3

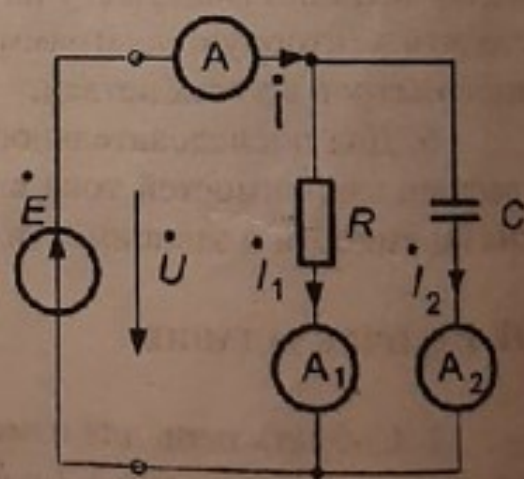


Рисунок 4.4

✓ 3. Включить резистор и конденсатор параллельно (рис.4.4). Величины  $R$  и  $C$  те же, что и для последовательного соединения (п.2). Плавное увеличение напряжения питания, установить ток на входе, равный 1 А. Записать показания всех амперметров и вольтметра на входе. Сравнить результаты опыта с расчетом (раздел II, п.5).

4. Собрать последовательную цепь из резистора  $R=20\div30$  Ом, катушки переменной индуктивности  $L$  и конденсатора  $C=30\div35$  мкФ. Предусмотреть приборы для измерения тока и напряжений на резисторе, катушке, конденсаторе и на входе цепи. Учесть, что напряжения на индуктивности и емкости в режиме резонанса значительно превышают напряжение питания. (К этим элементам цепи следует подключать вольтметры с пределом измерений 100 В).

При неизменном напряжении на входе  $U=20\div30$  В исследовать зависимость тока в цепи и напряжений на ее элементах при изменении индуктивности катушки от минимальной до максимальной величины (10–15 значений). Более часто следует производить измерения вблизи резонанса (т.е. в области максимального тока).

5. Используя результаты измерений из п.4, построить резонансные кривые  $I(X_L)$ ,  $U_K(X_L)$ ,  $U_C(X_L)$ ,  $U_R(X_L)$ . Для построения графиков величину индуктивного сопротивления можно приближенно считать равной  $X_L = \frac{U_K}{I}$ ,

поскольку  $X_L = \sqrt{z_K^2 - R_K^2} \approx z_K$  при  $R_K \ll z_K$ .

6. По данным п.4 построить векторные диаграммы тока и напряжений с учетом активного сопротивления катушки для трех режимов: до резонанса ( $U_K < U_C$ ), близком к резонансу, после резонанса ( $U_K > U_C$ ). При построении диаграммы учесть, что угол между вектором тока и вектором напряжения на катушке меньше, чем  $\frac{\pi}{2}$ .