

Национальный исследовательский университет "МЭИ"



---

Кафедра Теоретических Основ Электротехники

## Лабораторная работа № 13

### *Исследование пассивных линейных четырехполюсников*

Выполнил:	
Группа:	
Проверил:	

2021

# Лабораторная работа № 13

## Исследование пассивных линейных четырехполюсников

Целью работы является экспериментальное определение  $A$ - параметров несимметричного и симметричного четырехполюсников. Проводится исследование симметричного четырехполюсника в режиме согласованной нагрузки.

**Ключевые слова:** четырехполюсник; сопротивление короткого замыкания четырехполюсника; сопротивление холостого хода четырехполюсника; несимметричный и симметричный четырехполюсник; первичные и вторичные параметры четырехполюсника.

### 1. Теоретическая справка

*Четырехполюсник* – часть электрической цепи, подключенная к остальным участкам цепи двумя парами выводов (рис. 1.1): первичных 1 – 1' и вторичных 2 – 2'.

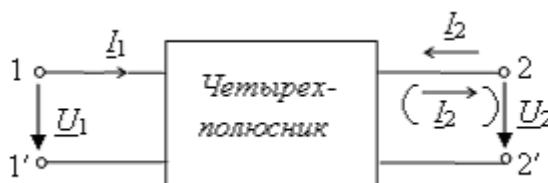


Рис. 1.1

Выбор первичных и вторичных выводов весьма условен, обычно полагают, что в качестве первичных выводов берутся те, от которых идет поток энергии (подсоединенных к источнику питания), в качестве вторичных – выводы, к которым движется этот поток энергии (подсоединенных к приемнику). Будем обозначать токи и напряжения первичных выводов  $I_1$  и  $U_1$ , вторичных выводов  $I_2$  и  $U_2$ . Условно-положительное направление токов и напряжений показано на рис. 1. Выбор направления для тока  $I_2$  возможен в двух вариантах, выбор конкретного направления оговаривается при использовании того или иного типа *уравнений четырехполюсника*. Уравнения четырехполюсника связывают значения входных и

выходных токи и напряжения с помощью четырех констант, три из которых являются независимыми.

Наиболее распространенной являются уравнения, в которых в качестве известных (заданных) считаются ток и напряжения вторичных выводов, а в качестве неизвестных (определяемых) – ток и напряжение первичных. Такие уравнения называют «уравнения в А-параметрах», направление выходного тока  $\underline{I}_2$  выбирают слева направо (на рис. 1.1 в скобках). Уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}_{11}\underline{U}_2 + \underline{A}_{12}\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{A}_{21}\underline{U}_2 + \underline{A}_{22}\underline{I}_2 \end{aligned} \quad \text{или} \quad \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{A}} \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты, входящие в запись уравнения, называют А-параметрами, причем  $\underline{A}_{11}$  и  $\underline{A}_{22}$  из них безразмерны,  $\underline{A}_{12}$  имеет размерность сопротивления,  $\underline{A}_{21}$  - проводимости. Коэффициенты уравнений четырехполюсника называются его *первичными параметрами*. Для А-параметров справедливо соотношение  $\underline{A}_{11}\underline{A}_{22} - \underline{A}_{12}\underline{A}_{21} = 1$ . При обратном питании в качестве известных (заданных) считаются ток и напряжения первичных выводов, а в качестве неизвестных (определяемых) – ток и напряжение вторичных (рис. 1.2). При выбранных направлениях токов уравнения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \underline{U}_2 &= \underline{A}_{22}\underline{U}_1 + \underline{A}_{12}\underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 &= \underline{A}_{21}\underline{U}_1 + \underline{A}_{11}\underline{I}_1 \end{aligned}.$$

*Замечание:* Уравнения получаются из уравнений в А-параметрах путем замены  $\underline{I}_2$  на  $-\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_1$  на  $-\underline{I}_1$ , и с учетом связи А-параметров  $\underline{A}_{11}\underline{A}_{22} - \underline{A}_{12}\underline{A}_{21} = 1$ .

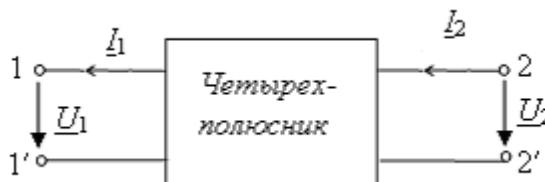


Рис. 1.2

Четырехполюсник называется *симметричным*, если при прямом и обратном питании распределение токов и напряжений в оставшейся части цепи не изменится. Для симметричного четырехполюсника  $\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22}$ , т.е. только два параметра являются независимыми.

Первичные параметры четырехполюсника определяют экспериментальным или расчетным путем. В последнем случае должна быть задана схема четырехполюсника.

Наиболее просто определяют А-параметры по данным *опыта холостого хода* и *короткого замыкания*. Этот способ используют для измерения параметров мощных устройств, в которых режимы холостого хода и короткого замыкания не являются аварийными и мощность в этих режимах меньше мощности в номинальном режиме.

В режиме холостого хода при прямом питании  $I_2 = 0$ . Уравнения типа А принимают вид:  $\underline{U}_{1x} = \underline{A}_{11}\underline{U}_{2x} \Rightarrow \underline{A}_{11} = \frac{\underline{U}_{1x}}{\underline{U}_{2x}}$ ;  $\underline{I}_{1x} = \underline{A}_{21}\underline{U}_{2x} \Rightarrow \underline{A}_{21} = \frac{\underline{I}_{1x}}{\underline{U}_{2x}}$ .

В режиме короткого замыкания при прямом питании  $\underline{U}_2 = 0$ . Уравнения типа А принимают вид:  $\underline{U}_{1к} = \underline{A}_{12}\underline{I}_{2к} \Rightarrow \underline{A}_{12} = \frac{\underline{U}_{1к}}{\underline{I}_{2к}}$ ;  $\underline{I}_{1к} = \underline{A}_{22}\underline{I}_{2к} \Rightarrow \underline{A}_{22} = \frac{\underline{I}_{1к}}{\underline{I}_{2к}}$ .

Возможно определение А-параметров через *входные сопротивления*. Входные сопротивления четырехполюсника со стороны первичных выводов при нагрузке  $\underline{Z}_{2н}$  можно определить как  $\underline{Z}_{1вх} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{A}_{11}\underline{U}_2 + \underline{A}_{12}\underline{I}_2}{\underline{A}_{21}\underline{U}_2 + \underline{A}_{22}\underline{I}_2}$  (рис. 1.3,а).

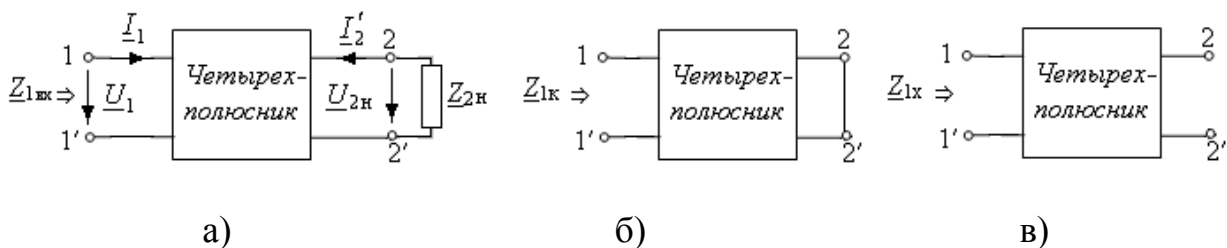


Рис. 1.3

Учитывая, что  $\underline{Z}_{2н} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}'_2}$ , получим  $\underline{Z}_{1вх} = \frac{\underline{A}_{11}\underline{Z}_{2н} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{2н} + \underline{A}_{22}}$ .

В случае, когда  $\underline{Z}_{2н} = 0$  входное сопротивление называют сопротивлением короткого замыкания четырехполюсника  $\underline{Z}_{1к} = \frac{\underline{A}_{12}}{\underline{A}_{22}}$  (рис. 1.3,б). В случае  $\underline{Z}_{2н} \rightarrow \infty$

входное сопротивление называют сопротивлением холостого хода четырехполюсника  $\underline{Z}_{1x} = \frac{A_{11}}{A_{21}}$  (рис. 1.3,в).

Входное сопротивление четырехполюсника со стороны вторичных выводов при обратном питании и нагрузке  $\underline{Z}_{1н}$  можно определить как  $\underline{Z}_{2вх} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{A_{22}U_1 + A_{12}I_1}{A_{21}U_1 + A_{11}I_1} = \frac{A_{22}\underline{Z}_{1н} + A_{12}}{A_{21}\underline{Z}_{1н} + A_{11}}$  (рис. 1.4,а):

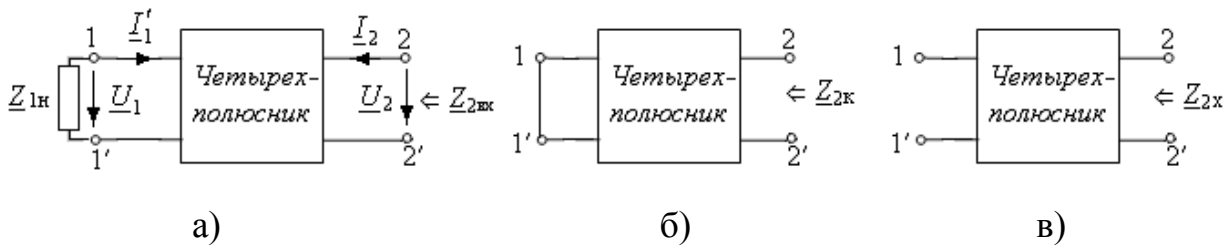


Рис. 1.4

В случае, когда  $\underline{Z}_{1н} = 0$  (рис. 4,б) входное сопротивление - сопротивление короткого замыкания  $\underline{Z}_{2к} = \frac{A_{12}}{A_{11}}$ . В случае  $\underline{Z}_{1н} \rightarrow \infty$  входное сопротивление -

сопротивление холостого хода  $\underline{Z}_{2х} = \frac{A_{22}}{A_{21}}$  (рис. 4,в). Сопротивления холостого хода

и короткого замыкания связаны соотношением:  $\frac{\underline{Z}_{1к}}{\underline{Z}_{1x}} = \frac{\underline{Z}_{2к}}{\underline{Z}_{2x}}$ . Для симметричного четырехполюсника  $\underline{Z}_{1к} = \underline{Z}_{2к} = \underline{Z}_к$ ,  $\underline{Z}_{1x} = \underline{Z}_{2x} = \underline{Z}_х$ .

A-параметры можно определить по входным сопротивлениям холостого хода и короткого замыкания:

$$A_{11} = \pm \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1x}}{\underline{Z}_{2x} - \underline{Z}_{2к}}}, \quad A_{12} = A_{11}\underline{Z}_{2к}, \quad A_{21} = \frac{A_{11}}{\underline{Z}_{1x}}, \quad A_{22} = A_{21}\underline{Z}_{2x} = A_{11} \frac{\underline{Z}_{2x}}{\underline{Z}_{1x}}.$$

*Замечание.* Для выбора знака  $A_{11}$  дополнительно определяют этот параметр по опыту холостого хода:  $A_{11} = \frac{U_{1x}}{U_{2x}}$ .

Так как пассивный четырехполюсник определяется только тремя независимыми параметрами, простейшая эквивалентная схема замещения четырехполюсника должна содержать только три элемента. Две наиболее простые схемы замещения

четыреполюсника называют *T – образной* (рис. 1.5,а) и *Π – образной* (рис. 1.5,б) схемами замещения.

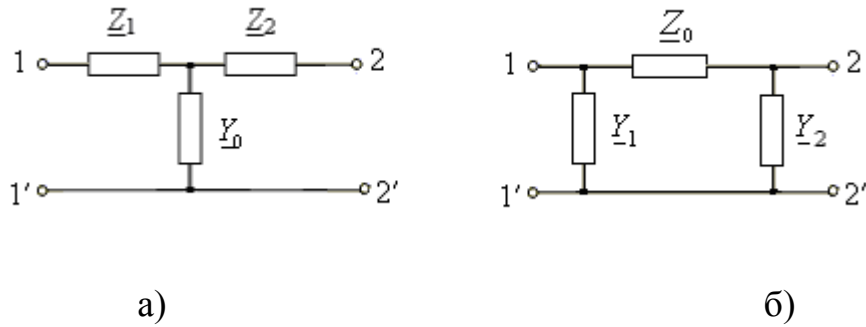


Рис. 1.5

Вторичными параметрами четырехполюсника называются его *характеристические сопротивления*  $\underline{Z}_{c1}$  и  $\underline{Z}_{c2}$  и *постоянная передачи*  $\underline{\Gamma}$ . Характеристическими называют входные сопротивления в режиме *согласованной нагрузки*, когда входное сопротивление численно равно нагрузочному:  $\underline{Z}_{1вх} = \underline{Z}_{2н}$  (при прямом питании) и  $\underline{Z}_{2вх} = \underline{Z}_{1н}$  (при обратном питании). В режиме согласованной

нагрузки при прямом питании 
$$\underline{Z}_{1вх} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{Z_{2н}=Z_{c2}} = \frac{\underline{A}_{11}U_2 + \underline{A}_{12}I_2}{\underline{A}_{21}U_2 + \underline{A}_{22}I_2} \Bigg|_{Z_{2н}=Z_{c2}} = \frac{\underline{A}_{11}\underline{Z}_{c2} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{c2} + \underline{A}_{22}} = \underline{Z}_{c1}$$

и при обратном питании 
$$\underline{Z}_{2вх} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{Z_{1н}=Z_{c1}} = \frac{\underline{A}_{22}U_1 + \underline{A}_{12}I_1}{\underline{A}_{21}U_1 + \underline{A}_{11}I_1} \Bigg|_{Z_{1н}=Z_{c1}} = \frac{\underline{A}_{22}\underline{Z}_{c1} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{c1} + \underline{A}_{11}} = \underline{Z}_{c2}.$$

Для симметричного четырехполюсника  $\underline{Z}_{c1} = \underline{Z}_{c2}$ , в режиме согласованной нагрузки должно выполняется численное равенство  $\underline{Z}_{1вх} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \underline{Z}_{н}$ . Т.е. *условием*

*согласования* при известных А-параметрах является выполнение равенства 
$$\frac{\underline{A}_{11}\underline{Z}_{н} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{н} + \underline{A}_{22}} = \underline{Z}_{н}.$$
 Сопротивление нагрузки, обеспечивающее это равенство,

называют *сопротивлением согласования*, входное сопротивление - *характеристическим сопротивлением* и обозначают  $\underline{Z}_c$ . В согласованном режиме сопротивление нагрузки должно быть согласовано с характеристическим сопротивлением четырехполюсника. *Постоянной передачи*  $\underline{\Gamma}$  называют безразмерную комплексную величину, характеризующую изменение напряжений и/или токов четырехполюсника в режиме согласованной нагрузки, т.е. когда

выполняется условие численного равенства  $\frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{U_1 \angle \psi_{u1}}{I_1 \angle \psi_{i1}} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \frac{U_2 \angle \psi_{u2}}{I_2 \angle \psi_{i2}}$ ,

постоянная передачи  $\underline{\Gamma} = A + jB = \ln \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \ln \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{\underline{U}_1 \underline{I}_1}{\underline{U}_2 \underline{I}_2}$ . Величину  $A$  называют

*постоянной ослабления*, единицами измерения являются неперы [Нп]:

$A = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{I_1}{I_2}$ . Величину  $B$ , определяемую разностью фаз входных  $\psi_{u1}$

и  $\psi_{i1}$  и выходных  $\psi_{u2}$  и  $\psi_{i2}$  напряжений и токов - *постоянной фазы*:

$B = \frac{1}{2}(\psi_{u1} - \psi_{u2}) + \frac{1}{2}(\psi_{i1} - \psi_{i2}) = \psi_{u1} - \psi_{u2} = \psi_{i1} - \psi_{i2}$  в [рад].

## 2. Подготовка к работе и вопросы для допуска студентов к работе

### Несимметричный четырехполюсник

Для четырехполюсника (Рис. 2.1) с параметрами элементов, заданными в таблице 1:

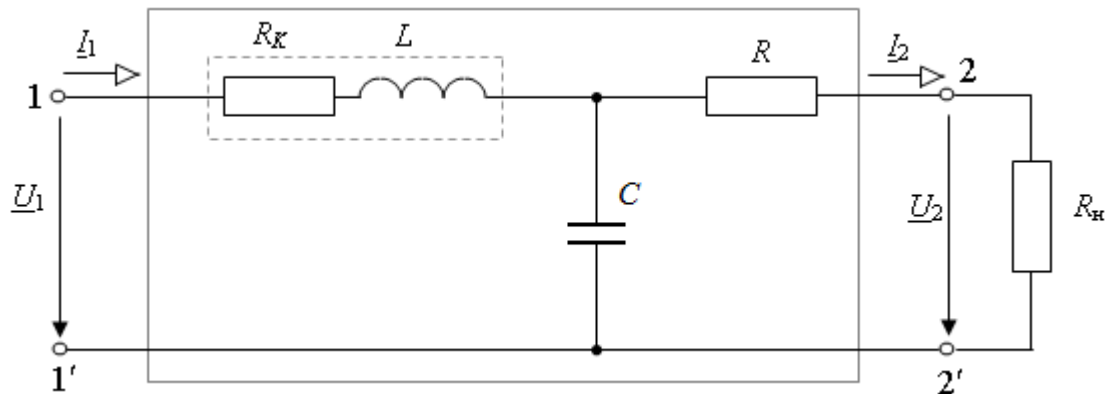
2.1 Рассчитать  $A$  – параметры (коэффициенты)  $\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$  и  $\underline{A}_{22}$  несимметричного четырехполюсника по опыту холостого хода и короткого замыкания. Проверить соотношение  $\underline{A}_{11} \underline{A}_{22} - \underline{A}_{12} \underline{A}_{21} = 1$ . Качественно построить векторные диаграммы комплексных напряжений и токов на входе и выходе четырехполюсника, приняв  $\underline{U}_2 = U_2 \angle 0$  для режима холостого хода и  $\underline{I}_2 = I_2 \angle 0$  для режима короткого замыкания.

2.2 Рассчитать первичные параметры несимметричного четырехполюсника  $\underline{Z}_{1x}$ ,  $\underline{Z}_{1к}$ ,  $\underline{Z}_{2x}$ ,  $\underline{Z}_{2к}$ . Проверить соотношение  $\underline{Z}_{1x}/\underline{Z}_{1к} = \underline{Z}_{2x}/\underline{Z}_{2к}$ . Рассчитать коэффициенты  $\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$  и  $\underline{A}_{22}$  используя  $\underline{Z}_{1x}$ ,  $\underline{Z}_{1к}$ ,  $\underline{Z}_{2x}$ ,  $\underline{Z}_{2к}$ .

2.3 Определить входное сопротивление нагруженного четырехполюсника при  $R_H = R$ :

- по рассчитанным коэффициентам  $\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$  и  $\underline{A}_{22}$ ;
- используя последовательно-параллельное преобразование, сравнить полученные результаты;

в) качественно построить векторные диаграммы комплексных напряжений и токов на входе и выходе четырехполюсника, приняв  $\underline{U}_2 = U_2 \angle 0$ .



$R = 47 \text{ Ом}$  для бригад № 1 ÷ 6;  $R = 68 \text{ Ом}$  для бригад № 7 ÷ 12

Рис. 2.1

Таблица 1

№	$f=100 \text{ Гц}$	№	$f=200 \text{ Гц}$	№	$f=300 \text{ Гц}$
1	$C=10 \text{ мкФ}$	5	$C=10 \text{ мкФ}$	9	$C=10 \text{ мкФ}$
	$L=50 \text{ мГн}$		$L=30 \text{ мГн}$		$L=30 \text{ мГн}$
	$R_K=50 \text{ Ом}$		$R_K=30 \text{ Ом}$		$R_K=30 \text{ Ом}$
2	$C=22 \text{ мкФ}$	6	$C=10 \text{ мкФ}$	10	$C=10 \text{ мкФ}$
	$L=30 \text{ мГн}$		$L=40 \text{ мГн}$		$L=40 \text{ мГн}$
	$R_K=30 \text{ Ом}$		$R_K=40 \text{ Ом}$		$R_K=40 \text{ Ом}$
3	$C=22 \text{ мкФ}$	7	$C=22 \text{ мкФ}$	11	$C=22 \text{ мкФ}$
	$L=40 \text{ мГн}$		$L=40 \text{ мГн}$		$L=20 \text{ мГн}$
	$R_K=40 \text{ Ом}$		$R_K=40 \text{ Ом}$		$R_K=20 \text{ Ом}$
4	$C=10 \text{ мкФ}$	8	$C=22 \text{ мкФ}$	12	$C=22 \text{ мкФ}$
	$L=40 \text{ мГн}$		$L=30 \text{ мГн}$		$L=30 \text{ мГн}$
	$R_K=40 \text{ Ом}$		$R_K=30 \text{ Ом}$		$R_K=30 \text{ Ом}$

### Симметричный четырехполюсник

Для четырехполюсника (Рис. 2.2) с параметрами элементов, заданными по номеру бригады:

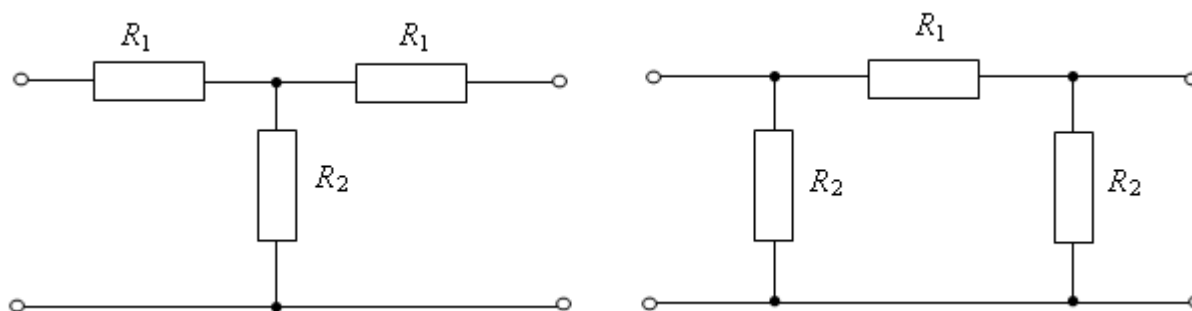


2.4 Рассчитать коэффициенты  $\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$  и  $\underline{A}_{22}$  по опыту холостого хода и короткого замыкания.

Проверить соотношение  $\underline{A}_{11} \underline{A}_{22} - \underline{A}_{12} \underline{A}_{21} = 1$ .

2.5 Рассчитать первичные параметры симметричного четырехполюсника  $\underline{Z}_x$ ,  $\underline{Z}_k$  и характеристическое сопротивление  $\underline{Z}_c$ .

2.6 При  $\underline{Z}_H = \underline{Z}_c$  определить постоянную передачи  $\underline{\Gamma} = A = \ln \frac{U_1}{U_2}$ .



$$R_1 = 47 \text{ Ом} \quad R_2 = 68 \text{ Ом} \text{ для бригад № 1 ÷ 6}$$

$$R_1 = 68 \text{ Ом} \quad R_2 = 47 \text{ Ом} \text{ для бригад № 7 ÷ 12}$$

Рис. 2.2. Т-образный (бригады № 1 ÷ 6) и П-образный (бригады № 7 ÷ 12) четырехполюсники

### 3. Описание установки

В лабораторной работе используют: источник синусоидального напряжения из модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**; измерительные приборы блока **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ**. Пассивные элементы цепи выбирают из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** и **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ**.

### 4. Содержание и порядок выполнения работы

Установить значение частоты синусоидального напряжения и действующее значение входного напряжения  $U_1 = 5 \div 7 \text{ В}$  (**МОДУЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**). Собрать четырехполюсник по схеме Рис. 1 из элементов блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. В работе используются мультиметр и измерительные приборы из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ФАЗЫ**.

## Часть 1. Исследование несимметричного четырехполюсника

- 4.1 Собрать несимметричный четырехполюсник по схеме рис. 2.1. Установить заданные параметры  $R, L, C$  в блоках **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. Измерить активное сопротивление катушки  $R_k$  мультиметром.
- 4.2 Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Настроить генератор на синусоидальное напряжение заданной частоты  $f$  и действующее значение  $U_1 = 5-7$  В. Записать данные в протокол.
- 4.3 Выполнить опыт холостого хода при питании со стороны  $1-1'$ . Для измерения действующих значений напряжений  $u_1$  и  $u_2$  и угла сдвига фаз  $\varphi = \varphi_{u_1} - \varphi_{u_2}$  использовать **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ФАЗЫ** при подключении по схеме на Рис. 4.1. Опытные данные занести в табл. 4.1 протокола измерений. Рассчитать параметр  $A_{11}$ .
- 4.4 Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания при питании со стороны  $1-1'$ . Для измерения действующих значений напряжения  $u_1$  и тока  $i_1$  и угла сдвига фаз  $\varphi$  использовать **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ФАЗЫ** при подключении по схеме 2П. Опытные данные занести в табл. 4.2 протокола измерений.
- 4.5 Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания при обратном питании со стороны  $2-2'$ . Измерить действующее значение напряжения  $u_2$  и тока  $i_2$  и угол сдвига фаз. Опытные данные занести в табл. 4.2 протокола измерений.
- 4.6 Рассчитать  $Z_{1x}, Z_{1k}, Z_{2x}, Z_{2k}$ . Проверить соотношение  $Z_{1x}/Z_{1k} = Z_{2x}/Z_{2k}$ .
- 4.7 Восстановить питание со стороны  $1-1'$ . Подключить к зажимам  $2-2'$  сопротивление  $R_n=R$  (рис. 4.3). Измерить действующее значение напряжения  $u_1$  и тока  $i_1$  и угол сдвига фаз между напряжением и током. Опытные данные занести в табл. 4.3 протокола измерений. Рассчитать  $Z_{1вх}$ .
- 4.8 Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.
- 4.9 Сравнить результаты эксперимента и теоретический расчет .

## Часть 2. Исследование симметричного четырехполюсника

4.10 Собрать симметричный четырехполюсник по схеме рис. 2.2. Установить заданные параметры  $R$  в блоках **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ**. Для проведения эксперимента собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 4.2.

4.11 Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Настроить генератор на синусоидальное напряжение заданной частоты  $f$  и действующее значение  $U_1 = 5-7$  В. Записать данные в протокол.

4.12 Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания для симметричного Т- или П-образного четырехполюсника. Измерить действующее значение входного напряжения и тока и угол сдвига фаз между ними. Рассчитать  $\underline{Z}_x$ ,  $\underline{Z}_k$  и характеристическое сопротивление  $\underline{Z}_c$ . Сравнить опытные и расчетные данные.

4.13 Измерить действующее значение  $U_1$  и  $U_2$  четырехполюсника при  $\underline{Z}_n = \underline{Z}_c$  (использовать магазин сопротивлений). Рассчитать постоянную передачу

$$\underline{\Gamma} = A = \ln \frac{U_1}{U_2}. \text{ Сравнить опытные и расчетные данные.}$$

### Протокол измерений к лабораторной работе № 13

#### Экспериментальное определение А-параметров несимметричного четырехполюсника

Частота  $f =$  \_\_\_\_\_ Гц. Параметры элементов:  $L =$  \_\_\_\_\_ мГн;  $C =$  \_\_\_\_\_ мкФ;  
 $R =$  \_\_\_\_\_ Ом. Активное сопротивление катушки  $R_k =$  \_\_\_\_\_ Ом.

#### Экспериментальное определение параметра $A_{11}$ .

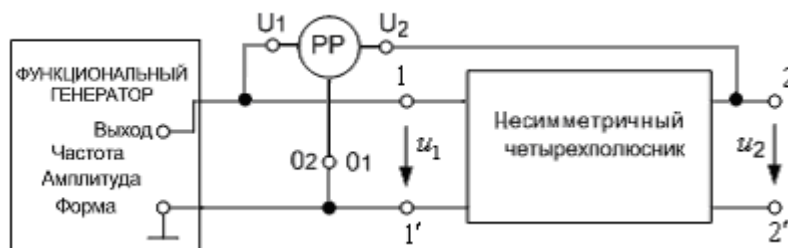


Рис. 4.1

Таблица 4.1

$U_{1x}, \text{В}$	$U_{2x}, \text{В}$	$\varphi = \varphi_{u_1} - \varphi_{u_2}$	$\underline{A}_{11}$

**Экспериментальное определение А-параметров несимметричного четырехполюсника.**

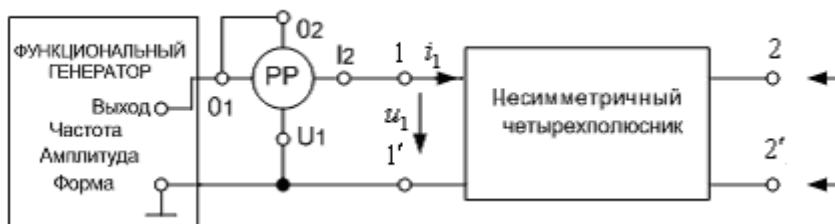


Рис. 4.2

Таблица 4.2

Прямое питание	Режим холостого хода	Режим короткого замыкания
Результаты измерений	$U_{1x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$ $I_{1x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мА,}$ $\varphi_{1x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ град}$	$U_{1к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$ $I_{1к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мА,}$ $\varphi_{1к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ град}$
Расчет первичных параметров	$\underline{Z}_{1x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом;}$	$\underline{Z}_{1к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом;}$
Обратное питание	Режим холостого хода	Режим короткого замыкания
Результаты измерений	$U_{2x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$ $I_{2x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мА,}$ $\varphi_{2x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ град}$	$U_{2к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$ $I_{2к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мА,}$ $\varphi_{2к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ град}$
Расчет первичных параметров	$\underline{Z}_{2x} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом;}$	$\underline{Z}_{2к} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$

Проверка соотношения  $\underline{Z}_{1x}/\underline{Z}_{1k} = \underline{Z}_{2x}/\underline{Z}_{2k} = \underline{\quad} = \underline{\quad}$ .

Расчет А-параметров:  $\underline{A}_{11} = \underline{\quad}$ ;  $\underline{A}_{12} = \underline{\quad}$  Ом;

$\underline{A}_{21} = \underline{\quad}$  См;  $\underline{A}_{22} = \underline{\quad}$ .

Проверка соотношения:  $\underline{A}_{11}\underline{A}_{22} - \underline{A}_{12}\underline{A}_{21} = \underline{\quad}$

### Режим произвольной нагрузки

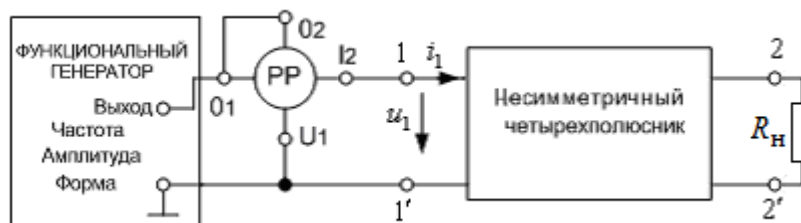


Рис. 4.3

Нагрузка  $R_H = \underline{\quad}$  Ом

Таблица 4.3

$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$\varphi = \varphi_{u_1} - \varphi_{i_1}, \text{град}$	$\underline{Z}_{1\text{ВХ}}, \text{Ом}$

### Сравнение опытных и теоретических данных:

	Эксперимент		Теоретический расчет
	опыт холостого хода	по первичным параметрам	
$\underline{A}_{11}$			
$\underline{A}_{12}$			
$\underline{A}_{21}$			
$\underline{A}_{22}$			
$\underline{Z}_{1\text{ВХ}}$			
$R_H = R = \underline{\quad}$ Ом			

## Часть 2. Экспериментальное определение первичных и вторичных параметров симметричного четырехполюсника

Частота  $f = \underline{\hspace{2cm}}$  Гц.

Параметры элементов:  $R_1 = \underline{\hspace{1cm}}$  Ом;  $R_2 = \underline{\hspace{1cm}}$  Ом,  $Z_c = \underline{\hspace{1cm}}$  Ом.

Тип симметричного четырехполюсника:

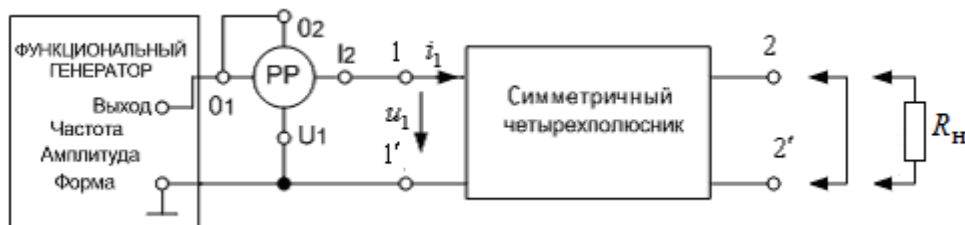


Рис. 4.4

Таблица 4.4

Режим	Прямое питание, результаты измерений	Расчет
Холостой ход	$U_{1x} = \underline{\hspace{2cm}}$ В, $I_{1x} = \underline{\hspace{2cm}}$ мА	$Z_x = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом;
Короткое замыкание	$U_{1к} = \underline{\hspace{2cm}}$ В, $I_{1к} = \underline{\hspace{2cm}}$ мА	$Z_k = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом;
Нагрузка $Z_n = Z_c = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом	$U_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ В, $U_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ В	$\Gamma = A = \ln \frac{U_1}{U_2} = \underline{\hspace{1cm}}$ Нп.

### Сравнение опытных и теоретических данных:

	Эксперимент	Теоретический расчет
$Z_x$		
$Z_k$		
$Z_c$		
$\Gamma$		

## 5. Содержание отчета

5.1 Для опыта холостого хода при прямом питании построить векторные диаграммы входных и выходных комплексов напряжений и токов; для опытов холостого хода и короткого замыкания при прямом и обратном питании построить векторные диаграммы комплексов напряжений и токов на входе и выходе четырехполюсника.

5.2 Расчеты должны быть подробными, с приведением расчетных формул.

## 6. Контрольные вопросы

6.1 Как изменятся первичные и вторичные параметры исследуемого четырехполюсника, если:

- а) увеличить частоту исследуемого четырехполюсника в два раза;
- б) увеличить действующее значение входного напряжения в два раза.

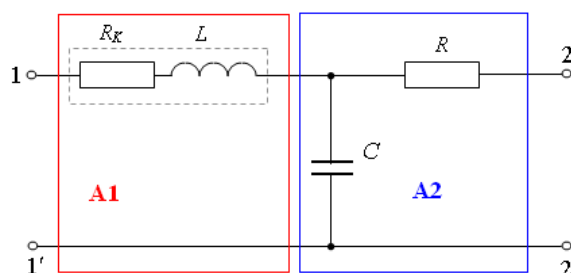
6.2 Построить векторную диаграмму входных и выходных комплексов напряжений и токов нагруженного четырехполюсника.

6.3 Сопротивление нагрузки  $R_n$  увеличилось в два раза (рис. 4.3). Рассчитать ток и напряжение на выходе четырехполюсника, ток на входе, построить векторные диаграммы входных и выходных комплексов напряжений и токов. Напряжение на входе четырехполюсника  $U_1$  из Таблицы 4.3.

6.4 Нарисуйте схему для измерения параметра  $A_{22}$  исследуемого четырехполюсника.

6.5 Для исследуемого четырехполюсника рассчитать параметры элементов эквивалентной П-образной схемы.

6.6 Рассмотреть исходный четырехполюсник как каскадное соединение двух четырехполюсников. Рассчитать А-параметры отдельных четырехполюсников и проверить соотношение  $\mathbf{A} = \mathbf{A1} \cdot \mathbf{A2}$ .



6.7 Исключить из схемы исследуемого четырехполюсника неидеальную катушку. Рассчитать первичные параметры полученного четырехполюсника. Построить векторные диаграммы входных и выходных комплексов напряжений и токов в режиме холостого хода.

6.8 Исключить из схемы исследуемого четырехполюсника резистор. Рассчитать первичные параметры полученного четырехполюсника. Построить векторные диаграммы входных и выходных комплексов напряжений и токов в режиме холостого хода.

6.9 Исключить из схемы исследуемого четырехполюсника ветвь с конденсатором. Рассчитать первичные и вторичные параметры полученного четырехполюсника. Построить векторные диаграммы входных и выходных комплексов напряжений и токов в режиме холостого хода, короткого замыкания, в режиме согласования с нагрузкой.

6.10 Рассчитать вторичные параметры резистивного четырехполюсника, представляющего цепочку из  $n$  одинаковых Т-образных симметричных четырехполюсников (Рис. 2.2).

6.11 Рассчитать вторичные параметры резистивного четырехполюсника, представляющего цепочку из  $n$  одинаковых П-образных симметричных четырехполюсников (Рис. 2.2).

### Литература

1. Теоретические основы электротехники: В 3 т. Т.2/К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. –СПб.: Питер, 2004.
2. Основы теории цепей /Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.