

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'.

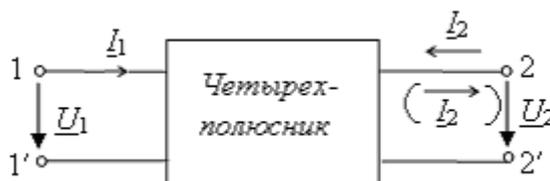


Рис. 1.1

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

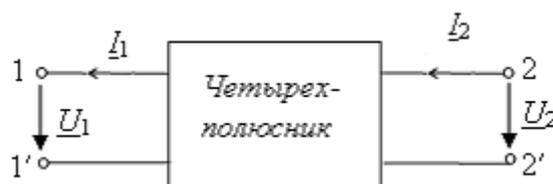


Рис. 1.2

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).

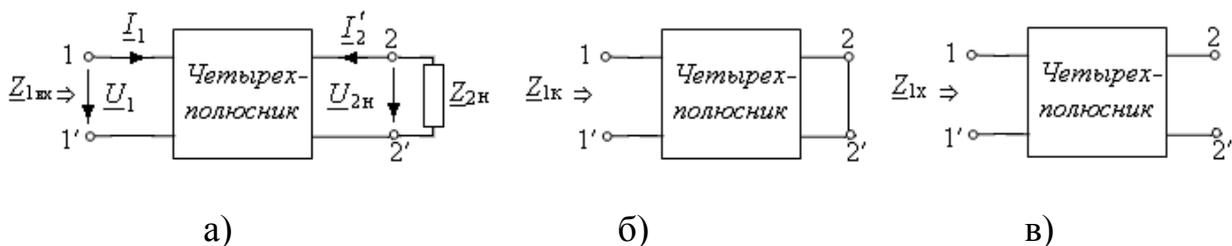


Рис. 1.3

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):

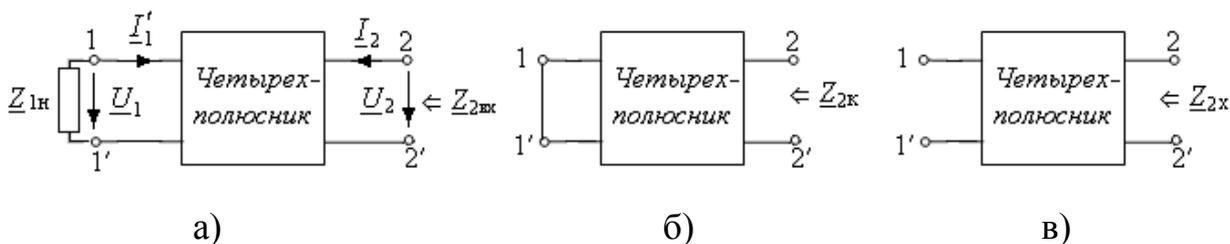


Рис. 1.4

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: $\frac{\underline{Z}_{1к}}{\underline{Z}_{1х}} = \frac{\underline{Z}_{2к}}{\underline{Z}_{2х}}$. Для симметричного четырехполюсника $\underline{Z}_{1к} = \underline{Z}_{2к} = \underline{Z}_к$, $\underline{Z}_{1х} = \underline{Z}_{2х} = \underline{Z}_х$.

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

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

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

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.

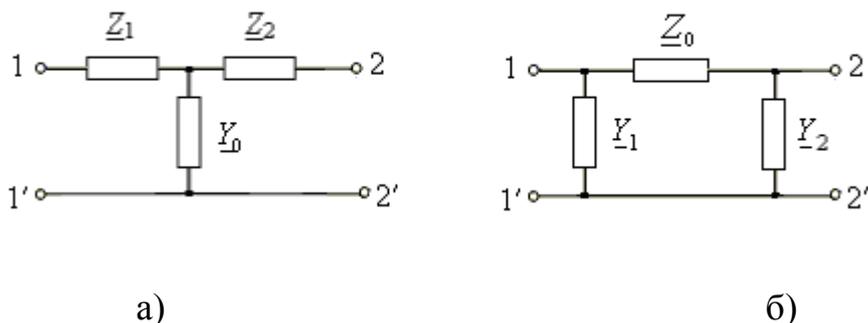


Рис. 1.5

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

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

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

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

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

называют *сопротивлением согласования*, входное сопротивление - *характеристическим сопротивлением* и обозначают Z_c . В согласованном режиме сопротивление нагрузки должно быть согласовано с характеристическим сопротивлением четырехполюсника. *Постоянной передачи* Γ 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 ψ_{u1}

и ψ_{i1} и выходных ψ_{u2} и ψ_{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:

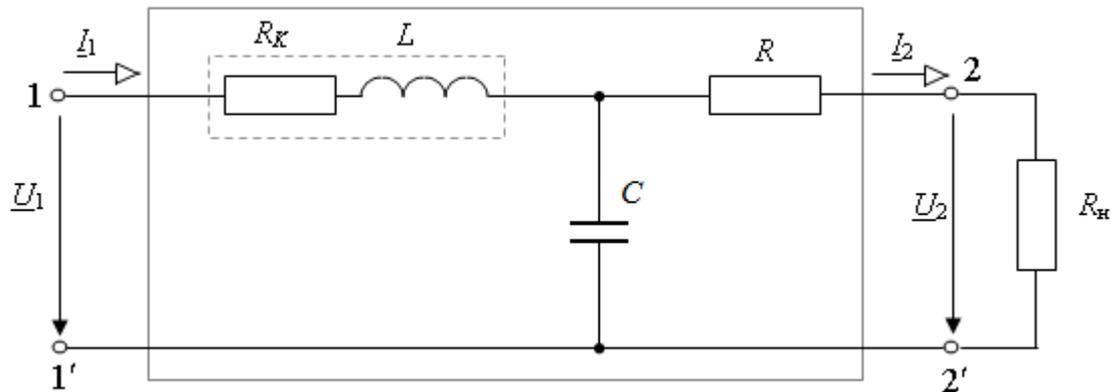
2.1 Рассчитать A – параметры (коэффициенты) \underline{A}_{11} , \underline{A}_{12} , \underline{A}_{21} и \underline{A}_{22} несимметричного четырехполюсника по опыту холостого хода и короткого замыкания. Проверить соотношение $\underline{A}_{11} \underline{A}_{22} - \underline{A}_{12} \underline{A}_{21} = 1$. 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

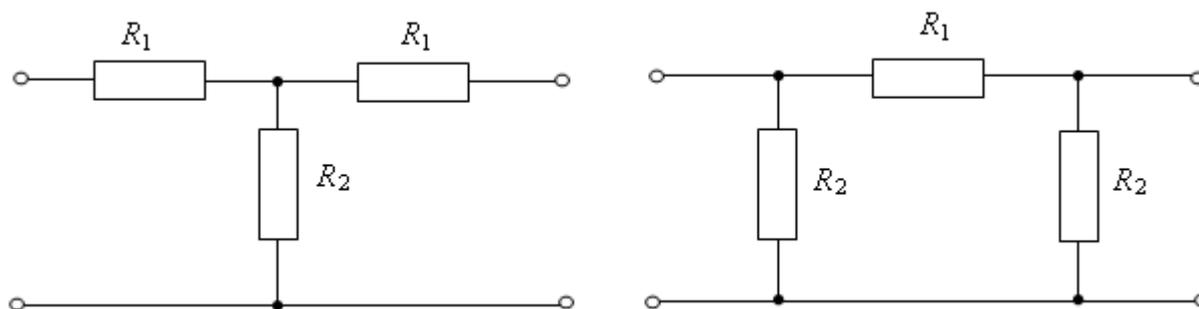
Для четырехполюсника (Рис. 2.2) с параметрами элементов, заданными по номеру бригады:

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 φ 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} .

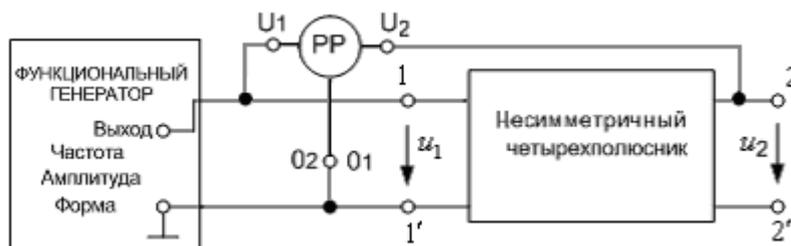


Рис. 4.1

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.

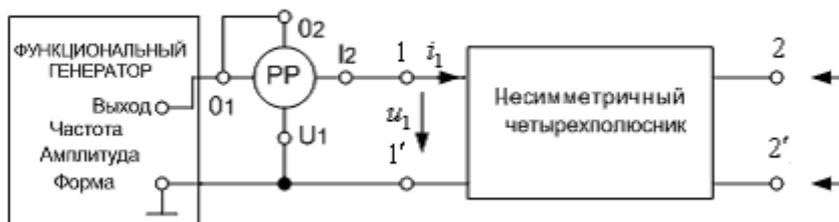


Рис. 4.2

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 $\underline{Z}_{1x} / \underline{Z}_{1k} = \underline{Z}_{2x} / \underline{Z}_{2k} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Расчет А-параметров: $\underline{A}_{11} = \underline{\hspace{2cm}}$; $\underline{A}_{12} = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом;

$\underline{A}_{21} = \underline{\hspace{2cm}}$ См; $\underline{A}_{22} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Проверка соотношения: $\underline{A}_{11}\underline{A}_{22} - \underline{A}_{12}\underline{A}_{21} = \underline{\hspace{2cm}}$

Режим произвольной нагрузки

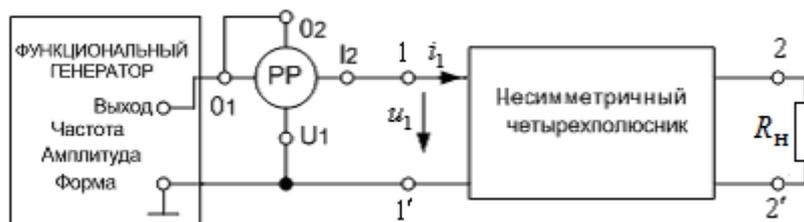


Рис. 4.3

Нагрузка $R_H = \underline{\hspace{2cm}}$ 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}			
$\underline{Z}_{1\text{ВХ}}$			
$R_H = R = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом			

Часть 2. Экспериментальное определение первичных и вторичных параметров симметричного четырехполюсника

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

Параметры элементов: $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом; $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом, $Z_c = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом.

Тип симметричного четырехполюсника:

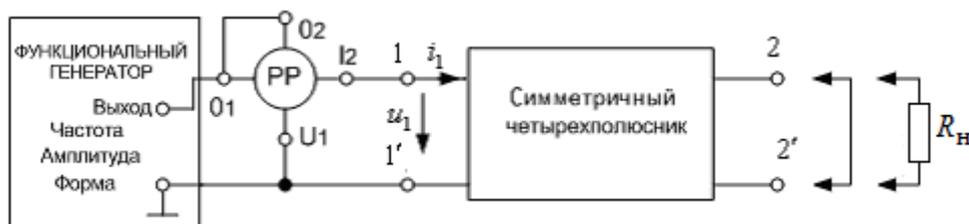


Рис. 4.4

Таблица 4.4

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

Сравнение опытных и теоретических данных:

	Эксперимент	Теоретический расчет
Z_x		
Z_k		
Z_c		
Γ		

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.

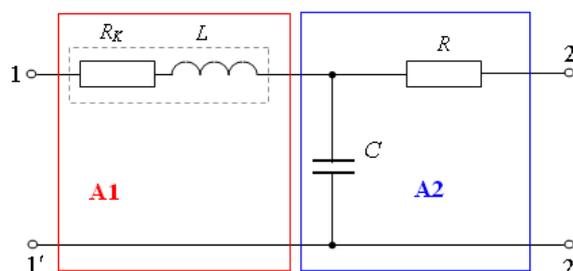
6.2 Построить векторную диаграмму входных и выходных комплексов напряжений и токов нагруженного четырехполюсника.

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.