

### Лабораторная работа № 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

### 1. Основные теоретические положения

Четырехполюсник, который не содержит источников электрической энергии, а содержит линейные пассивные элементы, называется пассивным линейным четырехполюсником. Четырехполюсник, имеющий два входных 1–1' и два выходных 2–2' зажима (рис. 3.1) называется проходным.

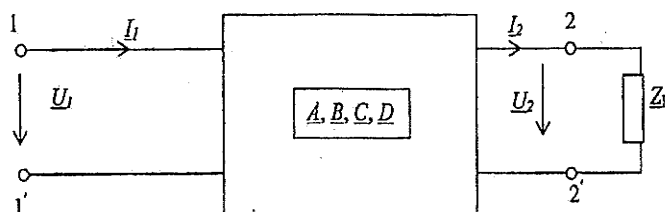


Рис. 3.1

Для пассивного четырехполюсника напряжение и ток на входе  $\underline{U}_1, \underline{I}_1$  связаны с напряжением и током на выходе  $\underline{U}_2, \underline{I}_2$  следующими уравнениями

$$\underline{U}_1 = \underline{A} \cdot \underline{U}_2 + \underline{B} \cdot \underline{I}_2;$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C} \cdot \underline{U}_2 + \underline{D} \cdot \underline{I}_2,$$

(3.1)

где  $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$  – А-параметры – комплексные коэффициенты, зависящие от схемы четырехполюсника.

Параметры пассивного четырехполюсника связаны между собой уравнением

$$\underline{A} \cdot \underline{D} - \underline{B} \cdot \underline{C} = 1. \quad (3.2)$$

А-параметры четырехполюсника могут определяться либо расчетным путем, если известны параметры элементов и схема соединения четырехполюсника, либо экспериментальным путем по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

При подключении источника напряжения к входным зажимам следует провести два указанных опыта. При холостом ходе на выходе четырехполосника его входное сопротивление имеет вид

$$\underline{Z}_{10} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \underline{Z}_{10} \cdot e^{j\varphi_{10}} = \frac{A}{C}, \quad (3.3)$$

где 
$$\underline{Z}_{10} = \frac{U_{10}}{I_{10}}; \quad \varphi_{10} = \arccos \frac{P_{10}}{U_{10} \cdot I_{10}}.$$

При коротком замыкании на выходе входное сопротивление четырехполосника определяется следующим образом

$$\underline{Z}_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} = \underline{Z}_{1K} \cdot e^{j\varphi_{1K}} = \frac{B}{D}, \quad (3.4)$$

где 
$$\underline{Z}_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1K}}, \quad \varphi_{1K} = \arccos \frac{P_{1K}}{U_{1K} \cdot I_{1K}}.$$

При подключении источника к выходным зажимам достаточно провести один опыт, например, короткого замыкания на входе четырехполосника. При этом выходное (со стороны зажимов 2–2') сопротивление четырехполосника определяется по формуле

$$\underline{Z}_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}} = \underline{Z}_{2K} \cdot e^{j\varphi_{2K}} = \frac{B}{A}, \quad (3.5)$$

где 
$$\underline{Z}_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}}, \quad \varphi_{2K} = \arccos \frac{P_{2K}}{U_{2K} \cdot I_{2K}}.$$

В формулах (3.3)–(3.5) нижние индексы  $O$  и  $K$  означают принадлежность величины к опытам холостого хода и короткого замыкания, а индексы 1 и 2 – принадлежность переменной к входным или выходным зажимам соответственно. Выражения (3.3) и (3.4) получены из (3.1) при  $\underline{I}_2=0$  и  $\underline{U}_2=0$ , а (3.5) – из первого уравнения (3.1) при  $\underline{U}_1=0$ .

С помощью соотношений (3.2)–(3.5) можно определить коэффициенты четырехполосника:

$$\underline{A} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{10} \cdot \underline{Z}_{1K}}{\underline{Z}_{2K}(\underline{Z}_{10} - \underline{Z}_{1K})}}; \quad \underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{Z}_{2K}; \quad \underline{C} = \frac{\underline{A}}{\underline{Z}_{10}}; \quad \underline{D} = \frac{\underline{B}}{\underline{Z}_{1K}}. \quad (3.6)$$

Пассивный линейный четырехполюсник можно заменить Т- или П-образной схемой замещения (рис. 3.2 а,б).

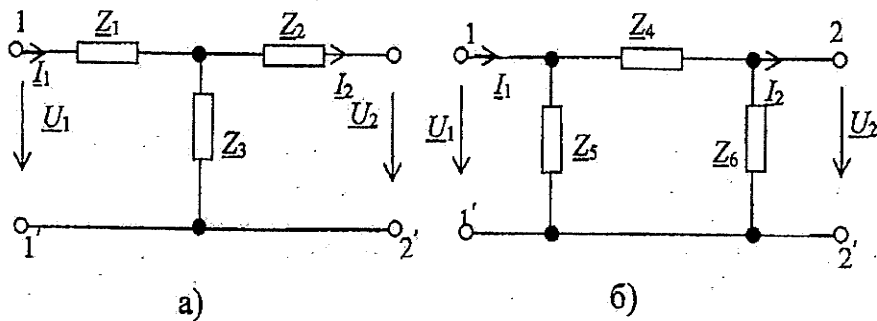


Рис. 3.2

Параметры схем замещения выражаются через коэффициенты соотношениями:

$$\underline{Z}_1 = \frac{A-1}{C}; \quad \underline{Z}_2 = \frac{D-1}{C}; \quad \underline{Z}_3 = \frac{1}{C};$$

$$\underline{Z}_4 = B; \quad \underline{Z}_5 = \frac{B}{D-1}; \quad \underline{Z}_6 = \frac{B}{A-1}.$$

## 2. Цель лабораторной работы

Целью работы является опытное определение А-параметров четырехполюсника.

## 3. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему электрической цепи (рис. 3.3).

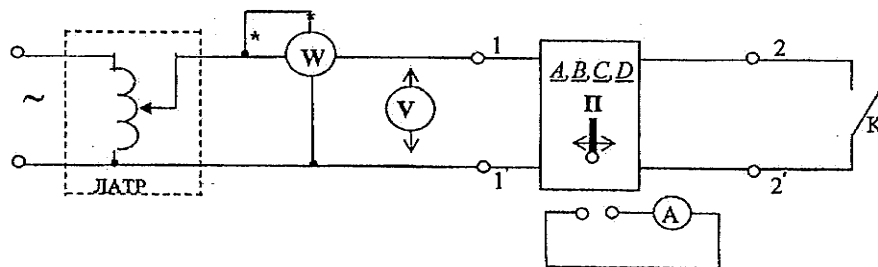


Рис. 3.3

*Примечание. Специальный ключ П позволяет одним амперметром измерять ток в зависимости от положения тумблера на первичной или вторичной стороне четырехполюсника. ЛАТР – лабораторный автотрансформатор.*

2. Провести опыты холостого хода (ключ  $K$  разомкнут) и короткого замыкания (ключ  $K$  замкнут) при прямом питании, которые в строках 1 и 2 табл. 3.1 обозначены сокращенно: Пр. ХХ и Пр. КЗ. Выполнить измерения переменных в соответствии с табл. 3.1 и заполнить указанные строки.

3. Изменить схему на рис. 3.3 – отключить источник и ваттметр от входных зажимов и подключить их аналогичным образом к выходным (2-2') зажимам (обратное питание четырехполюсника). Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания со стороны входных зажимов (в табл. 3.1 обозначены как Обр.ХХ и Обр.КЗ). Провести измерения и заполнить строки 3 и 4 в табл. 3.1.

4. Собрать схему на рис. 3.4.

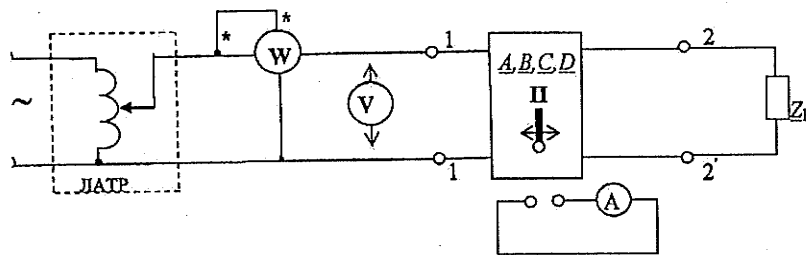


Рис. 3.4

5. Выполнить исследование режима прямого питания при конечной нагрузке  $Z_n$ . Сопротивление нагрузки  $Z_n$  активное, задает преподаватель. Результаты измерений занести в последнюю строку табл. 3.1.

Таблица 3.1

№	Опыт	Измерено					Вычислено	
		$U_1$ , В	$I_1$ , А	$P$ , Вт	$U_2$ , В	$I_2$ , А	$Z$ , Ом	$\varphi$ , град
1.	Пр. ХХ							
2.	Пр. КЗ							
3.	Обр. ХХ							
4.	Обр. КЗ							
5.	Пр. $Z_n$							

#### 4. Работа над отчетом

1. Вычислить комплексные сопротивления  $\underline{Z}_{10}, \underline{Z}_{1K}, \underline{Z}_{2K}$  и занести в табл. 3.1.

*Примечание. При записи комплексных сопротивлений учесть, что цепь внутренней схемы четырехполюсника выполнена на конденсаторах, поэтому угол  $\varphi$  отрицателен.*

2. Вычислить А-параметры четырехполюсника по формулам (3.6).

3. Провести проверку расчета по уравнению (3.2).

4. Воспользовавшись найденными значениями коэффициентов и выходными данными  $U_2$  и  $I_2$  из п.5 в табл. 3.1 четырехполюсника, вычислить по уравнениям напряжение и ток на входе  $U_1$  и  $I_1$ . Результат расчета сопоставить с экспериментальными данными.

5. Рассчитать параметры Т- и П-образных схем замещения через параметры четырехполюсника.

6. Сделать выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Определить А-параметры для четырехполюсника на рис. 3.5.

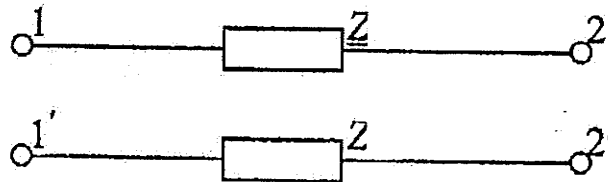


Рис. 3.5

2. Определить комплексное входное сопротивление четырехполюсника при прямом питании в режиме холостого хода и короткого замыкания, схема которого приведена на рис. 3.2,а. Сравнить результат с данными табл. 3.1.

3. Дайте определение пассивного четырехполюсника. Как по матрице А-параметров определить, пассивный или активный четырехполюсник рассматривается?

#### Лабораторная работа № 4

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

В работе исследуется Т-образный фильтр нижних частот типа  $K$ , схема которого представлена на рис. 4.1.

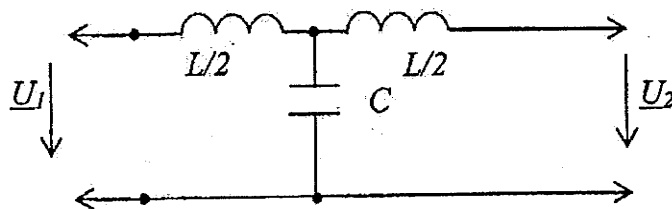


Рис. 4.1

Структура фильтра симметричная: каждое плечо схемы обладает индуктивностью  $\frac{L}{2}$ . Характеристики фильтра и формулы для их определения приведены ниже [4]:

– частота среза  $f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{L \cdot C}}$ ; (4.1)

– характеристическое сопротивление  $Z_c = R_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$ ; (4.2)

– номинальное характеристическое сопротивление  $R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ; (4.3)

– комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$\underline{K}_U = \frac{U_2}{U_1} = K_U e^{j\varphi_k}; \quad (4.4)$$

– комплексный коэффициент ослабления напряжения

$$\underline{A} = \frac{U_1}{U_2} = A e^{j\varphi_A} = \frac{1}{\underline{K}_U}; \quad (4.5)$$

– амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) коэффициента передачи

$$K_U = \frac{U_2}{U_1}; \quad (4.6)$$

– фазо-частотная характеристика (ФЧХ) коэффициента передачи

$$\varphi_K = \psi_{U_2} - \psi_{U_1}; \quad (4.7)$$

Продолжение таблицы

Вариант 6							
Опыт	Эксперимент					Расчет	
	$U_1,$ В	$I_1,$ В	$U_2,$ В	$I_2,$ В	$P,$ Вт	$z,$ Ом	$\varphi_z,$ градус
<i>1</i>	2	3	4	5	6	12	13
1. Прямое включение. ХХ.	13	0,09	8,92	0	0,89		
2. Прямое включение. КЗ.	13	0,084	0	0,057	1,03		
3. Обратное включение. ХХ.	8,9	0	13	0,094	0,89		
4. Обратное включение. КЗ.	0	0,057	13	0,084	1,03		
5. Прямое включение. Рн.	13	0,083	3,54	0,035	0,93	—	—

Вариант 7

<i>1</i>	2	3	4	5	6	12	13
1. Прямое включение. ХХ.	13	0,16	3,24	0	1,58		
2. Прямое включение. КЗ.	13	0,12	0	0,03	1,51		
3. Обратное включение. ХХ.	3,24	0	13	0,12	1,58		
4. Обратное включение. КЗ.	0	0,03	13	0,12	1,5		
5. Прямое включение. Рн.	13	0,12	1,56	0,016	1,54	—	—

Вариант 8

<i>1</i>	2	3	4	5	6	12	13
1. Прямое включение. ХХ.	13	0,23	5,95	0	2,67		
2. Прямое включение. КЗ.	13	0,21	0	0,053	2,54		
3. Обратное включение. ХХ.	3,24	0	13	0,13	1,58		
4. Обратное включение. КЗ.	0	0,053	13	0,11	1,48		
5. Прямое включение. Рн.	13	0,22	2,81	0,028	2,59	—	—

Вариант 9

<i>1</i>	2	3	4	5	6	12	13
1. Прямое включение. ХХ.	13	0,23	5,9	0	2,67		
2. Прямое включение. КЗ.	13	0,2	0	0,093	2,51		
3. Обратное включение. ХХ.	5,9	0	13	0,23	2,67		
4. Обратное включение. КЗ.	0	0,093	13	0,2	2,5		
5. Прямое включение. Рн.	13	0,22	3,68	0,037	2,57	—	—

Вариант 10

<i>1</i>	2	3	4	5	6	12	13
1. Прямое включение. ХХ.	13	0,23	5,9	0	2,67		
2. Прямое включение. КЗ.	13	0,2	0	0,093	2,51		
3. Обратное включение. ХХ.	5,95	0	13	0,23	2,67		
4. Обратное включение. КЗ.	0	0,093	13	0,2	2,5		
5. Прямое включение. Рн.	13	0,21	2,64	0,053	2,54	—	—

