

# **Четырехполюсники**

## **Классификация четырехполюсников**

Четырехполюсники бывают **активные и пассивные**.

Четырехполюсники делятся на **линейные и нелинейные**.

Четырехполюсники могут быть **симметричными и несимметричными**.

2

В активном четырехполюснике есть источники энергии, в пассивном - источников энергии нет.

Четырехполюсник является линейным, если напряжение и ток на его выходных зажимах линейно зависят от напряжения и тока на входных зажимах.

Четырехполюсник симметричен, если перемена местами входных и выходных зажимов не изменяет токов и напряжений в цепи, с которой четырехполюсник соединен. В противном случае – четырехполюсник несимметричен.

## Определение четырехполюсника



Четырехполюсниками являются фильтры, трансформаторы, усилители, каскады радиопередатчиков и радиоприемников, линии связи и т. д.

3

Для передачи информации с помощью электромагнитной энергии (волн, сигналов в электрических схемах) применяются различные устройства, имеющие два входных (первичных) зажима и два выходных (вторичных). К входным зажимам подключается источник электрической энергии, к выходным присоединяется нагрузка. Такие устройства называются четырехполюсниками.

## Классификация четырехполюсников

Четырехполюсники бывают **автономными** и **неавтономными**. В противном случае – четырехполюсник **пассивен**.

Различают также **обратимые** и **необратимые** четырехполюсники.

4

На зажимах автономного четырехполюсника остается напряжение, обусловленное наличием внутренних источников, т. е. такой четырехполюсник обязательно является активным.

В обратимых четырехполюсниках отношение напряжения на входе к току на выходе (передаточное сопротивление) не зависит от того, какая пара зажимов является входной, а какая выходной.

В противном случае – четырехполюсник необратим.

## Системы уравнений четырёхполюсника

Вариант с токами  $\dot{I}_1, \dot{I}_2$  называют **прямой передачей**, а  $\dot{I}'_1, \dot{I}'_2$  – **обратной**. Очевидно, что

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}'_1, \quad \dot{I}_2 = -\dot{I}'_2$$



5

Основной задачей теории четырёхполюсников является установление соотношений между напряжениями на входе и выходе и токами, протекающими через входные и выходные зажимы.

Две из четырех величин, определяющих режим четырёхполюсника можно рассматривать как заданные воздействия, две оставшиеся как отклики на эти воздействия. Таким образом, соотношения между токами и напряжениями на входе и выходе четырёхполюсника могут быть записаны в виде шести систем уравнений.

1. Токи на входе и выходе выражаются в зависимости от напряжений на входных и выходных зажимах:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{U}_2, \\ \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{U}_2. \end{cases}$$

Коэффициенты  $\dot{Y}_{11}$ ,  $\dot{Y}_{12}$ ,  $\dot{Y}_{21}$ ,  $\dot{Y}_{22}$  называются Y-параметрами и являются комплексными проводимостями.

Действительно,

$$\dot{Y}_{11} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

комплексная входная  
проводимость при коротком  
замыкании выходных зажимов;

$$\dot{Y}_{22} = \left. \frac{\dot{I}'_2}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0}$$

комплексная входная проводимость со стороны  
зажимов (2–2) при коротком замыкании входных  
зажимов;

$$\dot{Y}_{12} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0}$$

комплексная передаточная (взаимная)  
проводимость при коротком замыкании  
входных зажимов;

$$\dot{Y}_{21} = \left. \frac{\dot{I}'_2}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

комплексная передаточная (взаимная)  
проводимость при коротком замыкании  
выходных зажимов.

В случае обратимого четырехполюсника  $\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_{21}$

Если четырехполюсник симметричен, то  $\dot{Y}_{11} = \dot{Y}_{22}$   
и его свойства определяются только двумя  
параметрами (например,  $\dot{Y}_{11}, \dot{Y}_{12}$  ).

2. Напряжения на входе и выходе выражаются в зависимости от токов, протекающих через входные и выходные зажимы:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{Z}_{11} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{12} \dot{I}'_2, \\ \dot{U}_2 = \dot{Z}_{21} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{22} \dot{I}'_2. \end{cases}$$

$$\dot{Z}_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}'_2=0}$$

входное сопротивление со стороны зажимов (1–1) при разомкнутых выходных зажимах;

$$\dot{Z}_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}'_2} \right|_{\dot{I}_1=0}$$

передаточное (взаимное) сопротивление при разомкнутых зажимах (1–1);

$$\dot{Z}_{21} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \Big|_{j_2'=0}$$

передаточное (взаимное)  
сопротивление при разомкнутых  
зажимах (2–2);

$$\dot{Z}_{22} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2'} \Big|_{i_1=0}$$

входное сопротивление со стороны  
зажимов (2–2) при разомкнутых  
зажимах (1–1).

Если четырехполюсник симметричен, то  $\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21}$   
и его свойства определяются только двумя  $\dot{Z}_{22} = \dot{Z}_{11}$   
параметрами (например,  $\dot{Z}_{11}$ ,  $\dot{Z}_{12}$  ).

3. В случае, когда четырехполюсник выполняет роль промежуточного звена, между источником сигнала и сопротивлением нагрузки, заданными являются напряжение и ток на выходе ( $\dot{U}_2$ ,  $\dot{I}_2$ ), а искомыми – величины, характеризующие режим на входе четырехполюсника ( $\dot{U}_1$ ,  $\dot{I}_1$ ):

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{A}_{11}\dot{U}_2 + \dot{A}_{12}\dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 = \dot{A}_{21}\dot{U}_2 + \dot{A}_{22}\dot{I}_2. \end{cases}$$

11

Связь между входными и выходными напряжениями и токами устанавливает система параметров прямой передачи

$$\dot{A}_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{i_2=0}$$

отношение напряжений в режиме холостого хода на выходе;

$$\dot{A}_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{i_2=0}$$

величина, обратная передаточному сопротивлению в режиме холостого хода на выходе;

$$\dot{A}_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

величина, обратная передаточной проводимости в режиме короткого замыкания на выходе;

$$\dot{A}_{22} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

отношение токов в режиме короткого замыкания на выходе.

4. Для анализа передачи сигнала от зажимов (2–2) к зажимам (1–1) используется система уравнений обратной передачи:

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = \dot{B}_{11}\dot{U}_1 + \dot{B}_{12}\dot{I}'_1, \\ \dot{I}'_2 = \dot{B}_{21}\dot{U}_1 + \dot{B}_{22}\dot{I}'_1. \end{cases}$$

Значения  $\dot{B}$  – параметров определяются также из опытов холостого хода входной цепи ( $\dot{U}_1=0$ ) и короткого замыкания ( $\dot{I}'_1=0$ ).

5. Когда заданными являются комплексные амплитуды тока на входе  $\dot{I}_1$  и напряжения на выходе  $\dot{U}_2$ , искомые величины  $\dot{U}_1$  и  $\dot{I}'_2$  могут быть найдены из системы уравнений в  $H$ -параметрах:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{H}_{11}\dot{I}_1 + \dot{H}_{12}\dot{U}_2, \\ \dot{I}'_2 = \dot{H}_{21}\dot{I}_1 + \dot{H}_{22}\dot{U}_2. \end{cases}$$

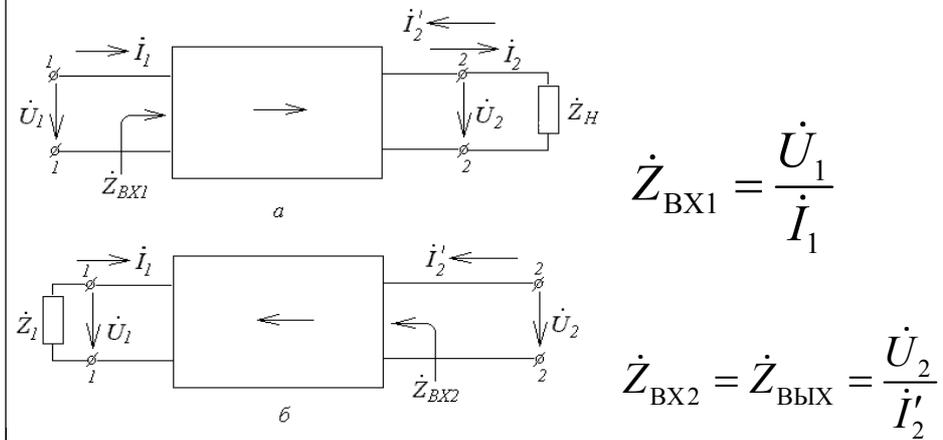
6. В том случае, когда задаются величины  $\dot{U}_1$  и  $\dot{I}_2$ , ток на входе  $\dot{I}_1$  и напряжение на выходе  $\dot{U}_2$  определяются из уравнений в  $\dot{G}$ -параметрах:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{G}_{11}\dot{U}_1 + \dot{G}_{12}\dot{I}_2, \\ \dot{U}_2 = \dot{G}_{21}\dot{U}_1 + \dot{G}_{22}\dot{I}_2. \end{cases}$$

Входящие в эту систему уравнений  $\dot{G}$ -параметры могут быть найдены из опытов холостого хода выходной цепи ( $\dot{I}'_2 = 0$ ) и короткого замыкания на входе ( $\dot{U}_1 = 0$ ).

Поскольку все шесть систем параметров описывают один четырехполюсник, то они связаны между собой формулами пересчета, приведенными в справочных таблицах.

## Входное сопротивление четырёхполюсника



Влияние четырёхполюсника на режим цепи, с которой он соединен, оценивается входными сопротивлениями:

## Входное сопротивление четырёхполюсника

Входные сопротивления могут быть выражены через любую систему параметров четырёхполюсника. Удобнее всего это сделать, воспользовавшись системой  $\dot{A}$ -параметров:

$$\dot{Z}_{\text{ВХ1}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{A}_{11}\dot{U}_2 + \dot{A}_{12}\dot{I}_2}{\dot{A}_{21}\dot{U}_2 + \dot{A}_{22}\dot{I}_2} = \frac{\dot{A}_{11}\dot{Z}_H + \dot{A}_{12}}{\dot{A}_{21}\dot{Z}_H + \dot{A}_{22}}$$

где  $\dot{Z}_H = \dot{U}_2 / \dot{I}_2$

$$\dot{Z}_{\text{BX2}} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}'_2} = \frac{\dot{A}_{22}\dot{U}_1 + \dot{A}_{12}\dot{I}'_1}{\dot{A}_{21}\dot{U}_1 + \dot{A}_{11}\dot{I}'_1} = \frac{\dot{A}_{22}\dot{Z}_1 + \dot{A}_{12}}{\dot{A}_{21}\dot{Z}_1 + \dot{A}_{11}}$$

так как  $\dot{Z}_1 = \dot{U}_1 / \dot{I}'_1$

Выражения для входных сопротивлений могут быть представлены и в иной форме.

Действительно,

$$\dot{Z}_{\text{BX1}} = \frac{\dot{A}_{11} \frac{\dot{A}_{12}}{\dot{A}_{11}} + \dot{Z}_{\text{H}}}{\dot{A}_{21} \frac{\dot{A}_{22}}{\dot{A}_{21}} + \dot{Z}_{\text{H}}} = \dot{Z}_{1\text{X}} \frac{\dot{Z}_{2\text{K}} + \dot{Z}_{\text{H}}}{\dot{Z}_{2\text{X}} + \dot{Z}_{\text{H}}} \quad \dot{Z}_{\text{BX2}} = \dot{Z}_{2\text{X}} \frac{\dot{Z}_{1\text{K}} + \dot{Z}_1}{\dot{Z}_{1\text{X}} + \dot{Z}_1}$$

где  $\dot{Z}_{1\text{X}} = \frac{\dot{A}_{11}}{\dot{A}_{21}}$   $\dot{Z}_{1\text{K}} = \frac{\dot{A}_{12}}{\dot{A}_{22}}$  входные сопротивления в режиме холостого хода и короткого замыкания на выходе;

$\dot{Z}_{2\text{X}} = \frac{\dot{A}_{22}}{\dot{A}_{21}}$   $\dot{Z}_{2\text{K}} = \frac{\dot{A}_{12}}{\dot{A}_{11}}$  – входные сопротивления холостого хода и короткого замыкания – в режиме на входе.

Таким образом, четырехполюсник трансформирует сопротивление нагрузки в новое сопротивление, зависящее как от величины нагрузки, так и от параметров четырехполюсника.