**КУРСОВАЯ РАБОТА**

на тему:

«Разработка сменного модуля для изучения резистивного

соединения типа «Треугольник»»

**Содержание**

Введение

1. Теоретическая часть

1.1 Основные понятия

1.2 Уравнения передачи четырехполюсников

1.3 Применение матриц к расчету четырехполюсников

1.4 Режимы четырехполюсников

1.5 Расчет четырехполюсников

2. Практическая часть

2.1 Проектирование модуля

2.2 Изготовление модуля

3. Расчетная часть

Лабораторная работа

Литература

**Введение**

Целью данной курсовой работы является проектирование и изготовление сменного модуля для проведения лабораторных работ по изучению резистивного соединения типа «треугольник».

На практике часто встречаются соединения элементов, которые нельзя свести только к последовательному или параллельному соединению. Примером подобного соединения являются соединения многолучевой звездой и многоугольником. Наиболее часто встречаются случаи трёхлучевой звезды и треугольника.

В данной работе соединение треугольником реализовано в симметричном П-образном четырехполюснике.

1. Теоретическая часть

**1.1 Основные понятия**

В технике связи под **четырехполюсниками** понимают электрическую цепь (или ее часть) любой сложности, имеющую две пары зажимов для подключения к источнику и приемнику электрической энергии. Зажимы, к которым подключается источник, называются **входными**, а зажимы, к которым присоединяется приемник (нагрузка), – **выходными зажимами (полюсами).**

В общем виде четырехполюсник изображают, как показано на рис. 1. Ко входу четырехполюсника 1–1’ подключен источник электрической энергии с задающим напряжением Uг и внутренним сопротивлением Zг. К выходным зажимам 2–2’ присоединена нагрузка с сопротивлением Zн. На входных зажимах действует напряжение U1; на выходных – U2. Через входные зажимы протекает ток I1, через выходные зажимы – I2. Заметим, что в роли источника и приемника электрической энергии могут выступать другие четырехполюсники.

2’

1’

1

22

I2

ZH

ZВХ

I1

ZГ

UГ

Четырех-

полюсник

U1

U2

Рис. 1.

Различают четырехполюсники **линейные** и **нелинейные**. Линейные четырехполюсники отличаются от нелинейных тем, что не содержат нелинейных элементов (НЭ) и поэтому характеризуются линейной зависимостью напряжения и тока на выходных зажимах от напряжения и тока на входных зажимах. Примерами линейных четырехполюсников являются *электрические фильтры, линия связи, трансформатор без сердечника*; примерами нелинейных – *преобразователь частоты (содержащий диоды) в радиоприемнике, выпрямитель переменного тока, трансформатор со стальным сердечником (при работе с насыщением стали)*.

Четырехполюсники бывают **пассивными** и **активными**. Пассивные схемы не содержат источников электрической энергии, активные – содержат. Последние могут содержать зависимые и независимые источники. Примером активного четырехполюсника с зависимыми источниками может служить любой усилитель; примером пассивного – LC-фильтр.

В зависимости от структуры различают четырехполюсники **мостовые** (рис. 2) и **лестничные**: Г-образные (рис. 3), Т-образные (рис. 4), П-образные (рис. 5). Промежуточное положение занимают Т – **образно-мостовые** (Т – перекрытые) схемы четырехполюсников (рис. 6).

Z4

Z3

Z2

Z1

Z1

Z2

Рис. 2 Рис. 3

Z3

Z1

Z2

Z3

Z2

Z1

Рис. 4 Рис. 5

Z4

Z3

Z1

Z2

Рис. 6

Четырехполюсники делятся на **симметричные** и **несимметричные**. В симметричном четырехполюснике перемена местами входных зажимов не изменяет напряжений и токов в цепи, с которой он соединен. Четырехполюсники, кроме электрической симметрии, могут иметь структурную симметрию, определяемую относительно вертикальной оси симметрии. Так, Т – образный, П – образный и Т – перекрытый четырехполюсники имеют вертикальную ось симметрии при Z1=Z3. Мостовая схема структурно симметрична. Очевидно, четырехполюсники, симметричные в структурном отношении, обладают электрической симметрией.

Четырехполюсники могут быть **уравновешенными** и **неуравновешенными**. Уравновешенные четырехполюсники имеют горизонтальную ось симметрии (например, мостовая схема на рис. 2) и используется, когда необходимо сделать зажимы симметричными относительно какой-либо точки (например – земли). Можно сделать уравновешенной любую из лестничных схем четырехполюсников.

Четырехполюсники также делятся на **обратимые** и **необратимые**. Обратимые четырехполюсники позволяют передавать энергию в обоих направлениях; для них справедлива теорема обратимости или взаимности, в соответствии с которой отношение напряжения на входе к току не меняется при перемене местами зажимов.

**1.2 Уравнения передачи четырехполюсников**

Основной задачей теории четырехполюсников является установление соотношений между четырьмя величинами: напряжениями на входе и выходе, а также токами, протекающими через входные и выходные зажимы. Уравнения, дающие зависимость между U1, U2, I1, и I2, называются **уравнениями передачи четырехполюсника**. Для линейных четырехполюсников эти уравнения будут линейными. Величины, связывающие в уравнениях передачи напряжения и токи, называются **параметрами четырехполюсника**.

Сложная электрическая цепь, имеющая входные и выходные зажимы, может рассматриваться как совокупность четырехполюсников, соединенных по определенной схеме. Зная параметры этих четырехполюсников, можно вычислить параметры сложного четырехполюсника и получить тем самым зависимость между напряжениями и токами на зажимах результирующего сложного четырехполюсника, не производя расчетов всех напряжений и токов внутри заданной схемы.

Кроме того, теория четырехполюсников позволяет решить обратную задачу: по заданным напряжениям и токам найти параметры четырехполюсника и затем построить его схему и рассчитать элементы, т.е. решить задачу синтеза.

Например, если к вторичным выводам четырехполюсника подключен приемник с сопротивлением нагрузки Z*н*, а к первичным – источник ЭДС Е1 (рис. 1), то при заданном напряжении на выводах приемника U2 и токе I2=U2/Z2 можно определить необходимое напряжение источника питания на первичных выводах U1=E1 и ток источника I1 по уравнению:

U1=A11U2+A12I2

I1=A21U2+A22I2 (1)

Коэффициенты, входящие в систему уравнений, связывающую входные U1 и I1 и выходные U2 и I2 напряжения и токи называются **А-параметрами**, или **обобщенными параметрами**. Уравнения называются **уравнениями передачи** **в А-параметрах**. Параметры А11 и А22 являются безразмерными, параметр А12 имеет размерность сопротивления; параметр А21 – размерность проводимости.

**Свойства параметров-коэффициентов**

Параметры, образованные из коэффициентов уравнений передачи, объединяют одним названием **параметры-коэффициенты**.

Свойства:

1. Параметры-коэффициенты определяются только схемой четырехполюсника и ее элементами и не зависят от внешних цепей, между которыми может быть включен четырехполюсник, т.е. они характеризуют собственно четырехполюсник.
2. Все системы параметров-коэффициентов описывают один и тот же четырехполюсник, поэтому между различными системами параметров-коэффициентов существует однозначная взаимосвязь.
3. Пассивный четырехполюсник полностью характеризуется не более чем тремя независимыми параметрами.
4. При изменении направления передачи энергии через четырехполюсник во всех выражениях, включающих А – параметры, коэффициенты А11 и А22 меняются местами.
5. Симметричные пассивные четырехполюсники имеют только два независимых параметра. В самом деле, в случае симметричного пассивного четырехполюсника не имеет значения направление передачи энергии: напряжения и токи на входе и выходе не изменяются при замене местами зажимов.
6. Параметры-коэффициенты имеют определенный физический смысл. Для выявления этого физического смысла следует четырехполюсник поставить в такой режим работы, при котором уравнения передачи содержат лишь один интересующий нас параметр. Подобное произойдет, если использовать режимы холостого хода и короткого замыкания.
7. Из предыдущего свойства следует, что параметры-коэффициенты являются комплексными величинами, так как они определяются отношением комплексных амплитуд (действующих значений) напряжений и токов. В случае анализа четырехполюсника в режиме негармонических колебаний используют спектральные представления электрических величин. Можно показать, что параметры-коэффициенты, рассматриваемые относительно не отдельной частоты, а определенного спектра частот, являются рациональными функциями оператора jω. При переходе от оператора jω к оператору *p* параметры-коэффициенты представляют собой рациональные функции оператора *p*.

**1.3 Применение матриц к расчету четырехполюсников**

Любую из систем уравнений передачи четырехполюсника можно записать в матричной форме. В частности для системы уравнений в А – параметрах.

U1=A11U2+A12I2

I1=A21U2+A22I2

получим:

 (2)

где  – квадратная матрица коэффициентов;

 и  – матрицы-столбцы напряжения и тока соответственно на первичных и вторичных выводах.

Всего можно записать шесть различных по форме, но по существу эквивалентных, т.е. математически равносильных, пар уравнений (число сочетаний из четырех по два).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Форма** | **Уравнения** | **Связь с коэффициентами основных уравнений** |
| А-форма | ;  ; |  |
| Y-форма | ;  ; | ; ; ; ; |
| Z-форма | ;  ; | ; ;  ; ; |
| Н-форма | ;  ; | ; ;  ; ; |
| G-форма | ;  ; | ; ;  ; ; |
| B-форма | ;  . | ; ;  ; . |

**1.4 Режимы четырехполюсников**

При расчете режима работы четырехполюсника с применением различных типов уравнений принято выбирать положительные направления токов неодинаковыми. Положительные направления токов по рис. 1 (I1 и I2) часто выбирают для пассивных четырехполюсников с источником питания на первичных – входных выводах и приемником с сопротивлением Zн на вторичных выходных выводах и записи уравнений типа А.

**Входное сопротивление четырехполюсника**

Если к одной паре зажимов четырехполюсника, например 2–2’, подключить произвольное сопротивление Zн (рис. 7), то со стороны другой пары зажимов, т.е. 1–1’, четырехполюсник можно рассматривать как двухполюсник с входным сопротивлением Zвх1, которое называют **входным сопротивлением четырехполюсника.**

Следовательно,

Zвх1=U1/I1. (7)

2’

1’

1

22

I2

ZH

ZВХ1

I1

Четырех-

полюсник

U1

U2

Рис. 7

2’

1’

1

2

I2’

ZВХ2

I1’

U1’

U2’

ZГ

Четырех-

полюсник

Рис. 8

Входное сопротивление можно выразить через параметры четырехполюсника. Проще всего это сделать, воспользовавшись выражениями для U1 и I1 из уравнений передачи в А – параметрах. В этом случае

 (8)

так как

U2=Z2I2

На рис. 8 Показан тот же четырехполюсник, нагруженный со стороны зажимов 1–1’ на сопротивление Zг. Его входное сопротивление со стороны зажимов 2–2’ равно Zвх2=U’1/I’1. (9)

В связи с тем, что изменилось направление передачи энергии, следует воспользоваться уравнениями передачи. Тогда

 (10)

Так как

U’2=ZГ I’2. (11)

Заметим что при изменении направления передачи энергии через четырехполюсник в выражениях (8) и (10) параметры А11 и А22 поменялись местами.

Входное сопротивление четырехполюсника не является его внутренним параметром, так как оно зависит не только от свойств четырехполюсника, но и от свойств внешней цепи (нагрузки), на которую замкнута пара зажимов четырехполюсника.

### 1.5 Расчеты четырехполюсников

Рассмотрим симметричный четырехполюсник. При питании четырехполюсника со стороны первичных выводов и разомкнутых вторичных получаем Z1х=Z11. При питании со стороны вторичных выводов и разомкнутых первичных у симметричного четырехполюсника должно быть такое же входное сопротивление Z2х=Z1х. Из уравнений

U1=Z11I1+Z12I2

U2=Z21I1+Z22I2

или



при I1=0 получаем Z22=U2/I2=Zвх, и, следовательно, Z22=Z11.

Такие же рассуждения приводят к равенствам

A11=A22; Y11=Y22.

U2

2’

I2 2

1’

1 I1

U1

Z3

Z1

Z2

Рис. 9

Найдем коэффициенты уравнений типа А симметричного П – образного четырехполюсника (рис. 9).

При холостом ходе на вторичных выводах (I'2=0) из рис. 9 следует, что

I1X=U1/(Z1/2+Z2)

U2X=Z2 I1X (12)

Или

U2X=U1Z2/(Z1/2+Z2). (13)

Сравнив эти выражения с уравнениями при I2’=0, определим

A21=1/Z2

A11=1+Z1/2Z2. (14)

При коротком замыкании вторичных выводов (U2=0) из рис. 9 следует, что I2K’=I1KZ2/(Z2+Z1/2) или

I1K=(1+Z1/2Z2) I2K’;

. (15)

Сравнив эти выражения с уравнениями при U2=0, найдем

A12=Z1(1+Z1/4Z2),

A22=(1+Z1/2Z2), (16)

т.е. A22=A11, как и должно быть у симметричного четырехполюсника.

**Экспериментальное определение коэффициентов и входных сопротивлений**

Первичные параметры каждого данного четырехполюсника могут быть определены экспериментально при измерении режима (напряжений и токов) на первичных и вторичных выводах. Например, при питании четырехполюсника со стороны первичных выводов (напряжение U1) и холостом ходе на вторичных (напряжение Uвх, токи I1=I1Х, I2’=I2Х’=0) находим:

A11=U1/U2X

A21=I1X/U2X, (17)

а при коротком замыкании вторичных выводов (напряжение U2=U2K=0, токи I1=I1K, I2’=I2K’),

A12=U1/I2K’

A22=I1K/I2K’. (18)

При работе четырехполюсника в цепи постоянного тока для вычисления коэффициентов достаточно измерить напряжения и токи.

Сопротивления холостого хода и короткого замыкания могут быть измерены теми же методами, что и любые другие сопротивления, например при помощи измерительного моста или амперметра, вольтметра, включенных только со стороны первичных или только со стороны вторичных выводов.

## 2 Практическая часть

### 2.1 Проектирование модуля

1. Проектируется схема для исследования соединения.
2. Подбираются радиодетали, которые будут располагаться на будущей печатной плате модуля. Определяется подключение к исследуемой схеме измерительных приборов, источника сигнала.
3. Разрабатывается печатная плата.

### 2.2 Изготовление модуля

1. После разработки печатной платы, она выпиливается из текстолита.
2. На стороне, покрытой слоем металла, лаком наносятся дорожки. После этого плата вытравливается в растворе хлористого железа, лак удаляется, и дорожки покрываются оловом. В текстолите для последующей впайки радиодеталей сверлятся отверстия.
3. На плату, в соответствии со схемой, монтируются резисторы, припаиваются провода.
4. Плата помещается в корпус модуля. В соответствии со схемой, провода припаиваются к тумблерам, плате, разъему.
5. Проверяется работоспособность модуля.

Номиналы резистивных элементов:

R1 = 3 кОм,

R2 = 10 кОм,

R3 = 3 кОм.

К входным выводам 1–1’ подключен источник питания, к выходным 2–2’ – нагрузка. Вольтметр V1 имеет возможность переключения с помощью тумблера S1 со входа схемы на выход и обратно.

Тумблеры S2 (S2.1 и S2.2)и S3 (S3.1 и S3.2) переключают амперметр с измерения тока на входе схемы на измерение тока на выходе и обратно.

Итоговая схема:

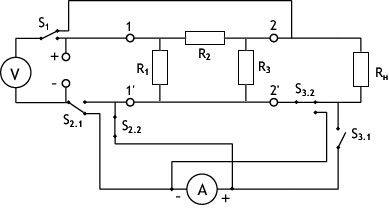


Рис. 14

**3. Расчетная часть**

Разработан сменный модуль по соединению «треугольник» для установки «Каскад». Сменный модуль соединяется с установкой «Каскад», получаем схему цепи, показанную на рисунке 15.

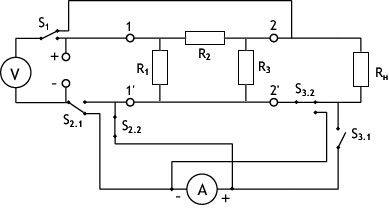


Рис. 15

Сопротивление резистивных элементов:

R1= R3 = 3 кОм,

R2 = 10 кОм.

После проведения лабораторных измерений получили:

напряжение на входе

U1=;

напряжение на выходе

U2=;

ток на входе

I1=;

ток на выходе

I2=.

Найдем А-параметры для данного четырехполюсника из уравнений (17), (18):

A11=U1/U2X

А11=

А11=

A21=I1X/U2X

А21=

А21=

A12=U1/I2K’

А12=

А12=

A22=I1K/I2K’

А22=

А22=

Сделаем проверку по формулам (14), (16).

A12=Z1(1+Z1/4Z2),

A12=

A12=

A22=(1+Z1/2Z2)

A22=

A22=

A21=1/Z2

A21=

A21=

A11=1+Z1/2Z2.

A11=

A11=

Вычисления по формулам (14), (16) отличается от результатов, полученных по формулам (17), (18) на величину погрешности измерений.

Расчет погрешностей:

∆U=0,01 B

∆I=0,01 mA

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A =

∆ A=

∆ A =

∆ A =

**Лабораторная работа**

**Исследование соединения типа «Треугольник»**

**Приборы и оборудование:**

блок питания, сменный модуль, измерительные приборы.

**Методические указания**

В технике связи под четырехполюсниками понимают электрическую цепь (или ее часть) любой сложности, имеющую две пары зажимов для подключения к источнику и приемнику электрической энергии.

В общем виде четырехполюсник изображают, как показано на рис. 1. Ко входу четырехполюсника 1–1’ подключен источник электрической энергии с задающим напряжением Uг и внутренним сопротивлением Zг. К выходным зажимам 2–2’ присоединена нагрузка с сопротивлением Zн. На входных зажимах действует напряжение U1; на выходных – U2. Через входные зажимы протекает ток I1, через выходные зажимы – I2. Заметим, что в роли источника и приемника электрической энергии могут выступать другие четырехполюсники.

2’

1’

1

22

I2

ZH

ZВХ

I1

ZГ

UГ

Четырех-

полюсник

U1

U2

Рис. 1.

**Системы уравнений четырехполюсника**

Основной задачей теории четырехполюсников является установление соотношений между четырьмя величинами: напряжениями на входе и выходе, а также токами, протекающими через входные и выходные зажимы. Уравнения, дающие зависимость между U1, U2, I1, и I2, называются уравнениями передачи четырехполюсника. Для линейных четырехполюсников эти уравнения будут линейными. Величины, связывающие в уравнениях передачи напряжения и токи, называются параметрами четырехполюсника.

Например, если к вторичным выводам четырехполюсника подключен приемник с сопротивлением нагрузки Z*н*, а к первичным – источник ЭДС Е1 (рис. 1), то при заданном напряжении на выводах приемника U2 и токе I2=U2/Z2 можно определить необходимое напряжение источника питания на первичных выводах U1=E1 и ток источника I1 по уравнению:

U1=A11U2+A12I2

I1=A21U2+A22I2 (1)

Коэффициенты, входящие в систему уравнений, связывающую входные U1 и I1 и выходные U2 и I2 напряжения и токи называются А-параметрами, или обобщенными параметрами. Уравнения называются уравнениями передачи в А-параметрах. Параметры А11 и А22 являются безразмерными, параметр А12 имеет размерность сопротивления; параметр А21 – размерность проводимости.

Любую из систем уравнений передачи четырехполюсника можно записать в матричной форме. В частности для системы уравнений в А – параметрах.

U1=A11U2+A12I2

I1=A21U2+A22I2 (2)

получим:

 (3)

где  – квадратная матрица коэффициентов;

 и  – матрицы-столбцы напряжения и тока соответственно на первичных и вторичных выводах.

При расчете режима работы четырехполюсника с применением различных типов уравнений принято выбирать положительные направления токов неодинаковым. Положительные направления токов по рис. 1 (I1 и I2) часто выбирают для пассивных четырехполюсников с источником питания на первичных – входных выводах и приемником с сопротивлением Zн на вторичных выходных выводах и записи уравнений типа А.

**Входное сопротивление четырехполюсника**

Если к одной паре зажимов четырехполюсника, например 2–2’, подключить произвольное сопротивление Zн (рис. 2), то со стороны другой пары зажимов, т.е. 1–1’, четырехполюсник можно рассматривать как двухполюсник с входным сопротивлением Zвх1, которое называют входным сопротивлением четырехполюсника. Следовательно,

Zвх1=U1/I1. (4)

2’

1’

1

22

I2

ZH

ZВХ1

I1

Четырех-

полюсник

U1

U2

Рис. 2

2’

1’

1

2

I2’

ZВХ2

I1’

U1’

U2’

ZГ

Четырех-

полюсник

Рис. 3

Входное сопротивление можно выразить через параметры четырехполюсника. Проще всего это сделать, воспользовавшись выражениями для U1 и I1 из уравнений передачи в А – параметрах. В этом случае

 (5)

так как

U2=Z2I2 (6)

На рис. 3 Показан тот же четырехполюсник, нагруженный со стороны зажимов 1–1’ на сопротивление Zг. Его входное сопротивление со стороны зажимов 2–2’ равно

Zвх2=U’1/I’1. (7)

В связи с тем, что изменилось направление передачи энергии, следует воспользоваться уравнениями передачи. Тогда

 (8)

Так как

U’2=ZГ I’2. (9)

Заметим что при изменении направления передачи энергии через четырехполюсник в выражениях (5) и (8) параметры А11 и А22 поменялись местами.

Входное сопротивление четырехполюсника не является его внутренним параметром, так как оно зависит не только от свойств четырехполюсника, но и от свойств внешней цепи (нагрузки), на которую замкнута пара зажимов четырехполюсника.

Рассмотрим симметричный четырехполюсник. При питании четырехполюсника со стороны первичных выводов и разомкнутых вторичных получаем Z1х=Z11. При питании со стороны вторичных выводов и разомкнутых первичных у симметричного четырехполюсника должно быть такое же входное сопротивление Z2х=Z1х. Из уравнений

U1=Z11Z1+Z12I2

U2=Z21I1+Z22I2

или



при I1=0 получаем Z22=U2/I2=Zвх, и, следовательно, Z22=Z11.

Такие же рассуждения приводят к равенствам

A11=A22; Y11=Y22.

U2

2’

I2 2

1’

1 I1

U1

Z3

Z1

Z2

Рис. 4

Найдем коэффициенты уравнений типа А симметричного П – образного четырехполюсника (рис. 4).

При холостом ходе на вторичных выводах (I'2=0) из рис. 4 следует, что

I1X=U1/(Z1/2+Z2)

U2X=Z2 I1X (10)

Или

U2X=U1Z2/(Z1/2+Z2). (11)

Сравнив эти выражения с уравнениями при I2’=0, определим

A21=1/Z2

A11=1+Z1/2Z2. (12)

При коротком замыкании вторичных выводов (U2=0) из рис. 4 следует, что I2K’=I1KZ2/(Z2+Z1/2) или I1K=(1+Z1/2Z2) I2K’;

. (13)

Сравнив эти выражения с уравнениями при U2=0, найдем

A12=Z1(1+Z1/4Z2),

A22=(1+Z1/2Z2), т.е. A22=A11, как и должно быть у симметричного четырехполюсника.

**Экспериментальное определение коэффициентов и входных сопротивлений**

Первичные параметры каждого данного четырехполюсника могут быть определены экспериментально при измерении режима (напряжений и токов) на первичных и вторичных выводах. Например, при питании четырехполюсника со стороны первичных выводов (напряжение U1) и холостом ходе на вторичных (напряжение Uвх, токи I1=I1Х, I2’=I2Х’=0) находим:

A11=U1/U2X

A21=I1X/U2X (14)

а при коротком замыкании вторичных выводов (напряжение U2=U2K=0, токи I1=I1K, I2’=I2K’),

A12=U1/I2K’

A22=I1K/I2K’. (15)

При работе четырехполюсника в цепи постоянного тока для вычисления коэффициентов достаточно измерить напряжения и токи.

Сопротивления холостого хода и короткого замыкания могут быть измерены теми же методами, что и любые другие сопротивления, например при помощи измерительного моста или амперметра, вольтметра, включенных только со стороны первичных или только со стороны вторичных выводов.

**Список литературы**

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. – М.: Радио и связь, 2000.

2. Зевеке Г.В., Ионкин П.А. Основы теории цепей. М.: ЭнергоАтомИздат, 1989.

3. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики – М.: Высшая школа, 2003.