

## МОДУЛЬ 1-2. Топология электрических цепей.docx

**Слайд 1.** Добрый день, уважаемые слушатели. Сегодня мы рассмотрим топологию ЭЦ.

**Слайд 2.** Электрическая цепь характеризуется совокупностью элементов, из которых она состоит, и способом их соединения.

На слайде изображена электрическая цепь, включающая в себя следующие элементы:

- 1 – гальваническая батарея, состоящая из двух и более гальванических элементов;
- 2 – лампа накаливания;
- 3 – электрический рубильник, для замыкания и размыкания электрической цепи в ручном режиме;
- 4 – вольтметр для измерения напряжения на участке цепи;
- 5 – амперметр для измерения тока, протекающего в цепи.

**Слайд 3.** Электрическую цепь удобно наглядно представить в виде *схемы*.

На *принципиальной схеме* изображают все электрические элементы или устройства в виде их УГО в соответствии с ГОСТом, а также все электрические взаимосвязи между ними.

*Схема замещения* электрической цепи отображает ее свойства при определенных условиях.

На схеме замещения гальваническая батарея заменена на реальный источник ЭДС с напряжением  $E$  и внутренним сопротивлением  $r_{вн}$ .

Лампа накаливания, амперметр и вольтметр заменены на соответствующие сопротивления  $R_L$ ,  $R_A$  и  $R_V$ .

Отметим, что внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС и амперметра стремится к нулю, а идеального вольтметра к бесконечности.

**Слайд 4.** Способ соединения элементов, из которых состоит электрическая цепь, характеризует ее *топологию*.

В любой электрической цепи можно выделить пути, по которым протекает один и тот же электрический ток, и места соединения таких путей.

Согласно ГОСТ В электрической цепи существуют следующие топологические элементы: ветвь, узел и контур.

**Ветвь** – «Участок электрической цепи, вдоль которой протекает один и тот же ток». Ветвь может содержать один, либо несколько последовательно включенных элементов.

**Узел** – «Место соединения ветвей электрической цепи». Причем количество соединяемых ветвей не должно быть меньше трех. Точка соединения двух ветвей образует вырожденный (устранимый) узел.

**Контур** – «Последовательность ветвей электрической цепи, образующих замкнутый путь, в котором один из узлов одновременно является началом и концом пути, а остальные встречаются только один раз».

В схеме, приведенной на слайде, 2 узла: а и б, а также три ветви, в каждой из которой протекает свой ток ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ).

Общее количество контуров в этой схеме равно трем (левый, правый и внешний).

Однако независимых контуров в данной схеме только два: левый включает в себя 1 и 2 ветвь, а правый – 2 и 3.

Внешний контур зависимый, так как он включает в себя только 1 и 3 ветви, которые уже входили в первые два независимых контура, а новых ветвей не добавилось.

**Слайд 5.** Обратите внимание, что если в узле соединяются 3 ветви, то точка в самом узле может и не стоять.

Если же количество ветвей в узле более трех, то точка должна стоять обязательно.

На схеме справа вверху показана электрическая цепь, у которой 5 узлов (а, б, в, в1, г). Однако, узлы в и в1 удобнее считать за один узел, так как между ними нет элементов.

При этом в схеме семь ветвей и четыре независимых контура. (ПОКАЗАТЬ)

Если же узел в1 считать самостоятельным узлом, то в схеме добавляется еще одна восьмая ветвь без элементов, в которой протекает свой ток, который также подлежит определению.

На схеме справа внизу в месте пересечения ветвей обозначения точки нет. Это значит, что ветви просто пересекаются. А узел остался только в точке «в».

В этой цепи число узлов равно четырем (а, б, в и г). Однако количество ветвей стало на одну меньше по сравнению с верхней схемой. Вместо двух ветвей с сопротивлениями  $R_2$  и  $R_5$  появилась одна ветвь, содержащая последовательно соединенные сопротивления  $R_2$  и  $R_5$ .

**Слайд 6.** В схеме с пересечением ветвей трудно определить количество независимых контуров.

Если же развернуть ветви с элементами  $J$ ,  $E_2$  и  $R_6$  выше узла «б», то в схеме не будет пересечения ветвей и топология цепи станет более понятной.

И на схеме можно выделить 7 контуров (ПОКАЗАТЬ!). (Левый, правый, нижний, контур, включающий в себя левый и правый, два г-образных контура и внешний контур).

**Слайд 7.** Но, только любые три контура, будут независимыми. Например, те, которые показанные голубыми стрелками.

**Слайд 8.** Для любой ветви электрической цепи выполняется закон Ома:  $R = U/I$ .

Рассмотрим связь между током и напряжением в общем случае: для ветви с последовательным соединением резистора  $R$  и источника ЭДС  $E$ .

Падение напряжения на концах участка а-в равно сумме напряжений  $U_{ав} = U_{аб} + U_{бв}$ .

При этом направление напряжения на участке а-б совпадает по направлению с током  $I$ , а направление напряжения  $U_{бв}$  противоположно направлению ЭДС  $E$ .

Таким образом, общее напряжение будет равно  $U_{ав} = IR - E$ .

Отсюда получим выражение для тока  $I = \frac{U_{ав} + E}{R}$ .

Если изменить полярность ЭДС на противоположное, то в последнем выражении изменится знак при  $E$  на минус.

Отметим, что уравнения по закону Ома называются **компонентными уравнениями**.

**Слайд 9.** Запишем для примера, чему будет равно напряжение  $U_{аг}$  в схеме на слайде.

Для наглядности покажем синими стрелками направления напряжений на различных участках схемы. Напряжения на сопротивлениях совпадают по направлению с токами, протекающими через эти элементы, а на ЭДС – направлены противоположно направлению ЭДС.

**ПОКАЗАТЬ!**

Проще всего выражение для  $U_{аг}$  можно записать, как падение напряжения на  $R_2$  и  $R_5$  от тока  $I_2$  со знаком минус, так как напряжение  $U_{аг}$  на совпадает по направлению с  $I_2$ .

Также  $U_{аг}$  можно получить, как сумму  $U_{аб}$  и  $U_{бг}$ .

Или как сумму  $U_{аб}$ ,  $U_{бв}$  и  $U_{вг}$

Однако, как бы мы не подсчитали  $U_{аг}$  во всех трех случаях оно получится одинаковым, равным разности потенциалов  $\varphi_a - \varphi_g$ .

**Слайд 10.** Для любой электрической цепи выполняются законы Кирхгофа, которые называют **уравнениями равновесия**. Они являются одной из форм закона сохранения

энергии и относятся к фундаментальным законам природы.

При составлении уравнений по законам Кирхгофа необходимо сначала показать на схеме условно положительные направления токов в ветвях.

Если в результате расчета какие-то токи получатся отрицательными, это говорит о том, что токи направлены противоположно выбранному направлению.

*Первый закон Кирхгофа* выполняется для любого узла и является следствием принципа непрерывности электрического тока.

Физический смысл первого закона Кирхгофа заключается в том, что в узле электрический заряд не накапливается и не расходуется.

Можно дать две формулировки первого закона Кирхгофа.

1) *Первая формулировка*: Алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю: 
$$\sum_{k=1}^n \pm I_k = 0,$$

где  $n$  – количество ветвей, сходящихся в узле.

Слово «алгебраическая» обозначает, что токи, направленные к узлу и от него, следует брать с разными знаками. В электротехнике принято токи, направленные к узлу, брать со знаком минус, а токи, направленные от узла – со знаком плюс. Хотя с точки зрения математики можно и наоборот.

Например, уравнение по первому закону Кирхгофа для схемы на слайде в узле «а» имеет следующий вид:

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

2) *Вторая формулировка*: Сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных от него:

$$\sum_{k=1}^m I_k = \sum_{k=1}^{n-m} I_k,$$

где  $n$  – общее количество токов, сходящихся в узле;  $m$  – количество токов, направленных к узлу.

Запишем второй вариант уравнения по первому закону Кирхгофа для схемы на слайде в узле «а»:

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

**Слайд 11.** *Второй закон Кирхгофа* выполняется для любого контура электрической цепи. Можно дать две формулировки второго закона Кирхгофа.

1) *Первая формулировка*: Алгебраическая сумма напряжений во всех ветвях любого контура электрической цепи равна нулю: 
$$\sum_{k=1}^n \pm (U_k - E_k) = 0,$$

где  $n$  – количество ветвей в контуре;  $\pm (U_k - E_k)$  – напряжение на  $k$ -й ветви контура.

2) *Вторая формулировка*: Алгебраическая сумма падений напряжения на пассивных участках любого контура электрической цепи равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$\sum_{k=1}^p \pm U_k = \sum_{k=1}^q \pm E_k,$$

где  $p$  – количество пассивных участков в контуре;  $q$  – количество источников ЭДС в контуре.

При написании уравнений по второму закону Кирхгофа следует придерживаться следующего правила: «Слагаемые берутся со знаком плюс, если направление обхода контура совпадает с направлением тока на участке цепи или с направлением ЭДС и со знаком минус – если иначе».

**Слайд 12.** Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для внешнего контура схемы, двигаясь в нем по часовой стрелке, по первой и второй формулировке соответственно:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 + I_3 R_3 - E &= 0; \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 &= E. \end{aligned}$$

**Слайд 13.** Спасибо за внимание!