**ТЕОРИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**1. ТОК, НАПРЯЖЕНИЕ, СОПРОТИВЛЕНИЕ, ЭДС.**

**ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭТИХ ВЕЛИЧИН.**

**ВЛИЯНИЕ ТОКА НАГРУЗКИ НА ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**

За направление тока принято направление движения положительных зарядов, при этом направление движения электронов противоположно.

Ток в металлах представляет собой направленное движение электронов. В электролитах ток создается движением положительных и отрицательных ионов. В полупроводниках представляет направленное движение электронов и дырок.

1.1. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ.

Ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению проводника.



Сопротивление - это препятствия прохождения току, созданные проводником или резистором.

Напряжение на резисторе прямо пропорционально сопротивлению резистора и току, проходящему через резистор*.*

При определении сопротивления следует учесть тот факт, что **сопротивление не зависит ни от напряжения, ни от тока**. С ростом напряжения растет и ток, а отношение напряжения ктоку есть величина постоянная, указанная на резисторе. Вольтамперная характеристика резистора линейна отсюда и название резистора – линейное сопротивление. Из графика зависимости тока от напряжения видно, что одному и тому же значению напряжения соответствуют разные токи. Тот резистор, ток которого меньше имеет большее сопротивление, т.е. *R*3 *> R*2 *> R*1.

Ток показывает, какой заряд, проходит через поперечное сечение проводника в единицу времени:



где **заряд проходящий через проводник,

*t* -время, в течении которого проходит этот заряд.

Второе определение тока. Если проводник сопротивлением 1 *Ом* находится под напряжением 1*В*, то по нему идет ток 1 *А*.

Напряжение показывает, какую работу может совершить каждый кулон электричества при прохождению по проводнику.

Напряжение 220 *В* отличается от напряжения 5 *В* тем, что один и тот же заряд в 1 *Кл* в первом случае может совершить работу в 220 *Дж*, а во втором - только 5 *Дж*. Связано это с тем что в первом случае сильное электрическое поле создает большие силы, действующие на заряд а, следовательно, и работа может быть совершена в большем объеме.

*ЭДС-* электродвижущая сила источника питания. Любой источник питания можно представить как сам источник и его внутреннее сопротивление. Когда источник питания будет подключен к потребителю, то ток пойдет не только по потребителю, но и по самому источнику питания.

Эквивалентная схема источника питания представлена на рисунке, на котором внутреннее сопротивление обозначено через , а *ЭДС* источника через *Е.*

Если цепь не замкнута, вольтметр покажет *ЭДС* источника питания.

При включении выключателя *SA* замыкается электрическая цепь, в которой ток нагрузки и ток внутреннего сопротивления одинаков. Общее сопротивление схемы будет равно алгебраической сумме внутреннего сопротивления и сопротивления нагрузки:



Ток схемы:



Закон Ома для замкнутой цепи:



Отсюда:

*I*(*RH +r*) *= E*.

ЭДС равна сумме падений напряжений на нагрузке и внутреннем сопротивлении:

*иR + иr = Е.*

Из формулы следует, что ЭДС равна сумме падения напряжений на резисторе нагрузки и на внутреннем сопротивлении. Разность показаний вольтметра при измерении ЭДС и при измерении напряжения соответствует потере напряжения на внутреннем сопротивлении источника питания:



Для определения внутреннего сопротивления источника питания можно применить формулу:



Приведенная формула нахождения внутреннего сопротивления верна для источников как постоянного, так и переменного тока. Чтобы определить внутреннее сопротивление источника питания надо;

1. измерить ЭДС источника в режиме холостого хода;
2. измерить напряжение на нагрузке при включении нагрузки;
3. измерить общий ток нагрузки.

Внутреннее сопротивление источника питания оказывает влияние на выходное напряжение. На графике приведена зависимость напряжения на нагрузке от тока нагрузки. С увеличением тока нагрузки растет падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника питания, поэтому напряжение на нагрузке будет снижаться.



Из формулы следует что, что при росте тока схемы падение напряжения на внутреннем сопротивление увеличивается, а на нагрузке уменьшается.

Из графика видно, что при внутреннем сопротивлении спад напряжения значительнее, чем при внутреннем сопротивлении *.* Это означает, что внутреннее сопротивление больше чем *.* Потери напряжения на внутреннем сопротивлении источника питания тем больше, чем больше его внутреннее сопротивление и ток нагрузки.

1.2.РАБОТА И МОШНОСТЬ ТОКА. ФОРМУЛЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

При прохождении тока по проводникам он может преобразоваться в механическую, тепловую, химическую и другие виды энергии, при этом ток может совершать работу. Для измерения мощности тока применяют формулы:



Мощность постоянного тока в первой формуле находится как произведение напряжения на ток. Мощность измеряется в *Ватт*ах (вольт-ампер тепловой).

Если известно сопротивление потребителя и ток, который идет по нему, можно найти мощность по второй формуле.

Если известно падение напряжения на нагрузке и номиналы резистора мощность потребителя можно найти по третьей формуле.

Из выше приведенных формул можно найти работу, совершаемую током. Известно, что работа равна произведению мощности на время, в течение которого ток идет по потребителю:



где *А -* работа тока (*Дж*),

*Р -* мощность потребителя (*Вт*),

время, в течение которого ток совершает работу(сек).

При мощности потребителя в 1 *Вт* за 1 секунду совершается работа током в I джоуль.

Но в реальной жизни приходится иметь дело со значительно большими мощностями а ,следовательно, и работа, например, кипятильника за n час может быть выражена огромным шестизначным числом. Поэтому на производстве работу, совершаемую током считают не в джоулях, а в киловатт-часах.

Найдем соотношение между киловатт-часом и джоулем.

1*киловатт* = 1000 *ватт*; 1*час* = 3600*секунд*. Значит 

Это означает, что если кипятильник имеет мощность 1 киловатт, то за один час он совершит работу равную 1 киловатт-часу, т.е. 3 600 000 джоулей.

Счетчики электрической энергии считают работу в киловатт-часах.

Формулы для расчета работы, совершаемой током, приводятся ниже;



Работа тока может быть не обязательно механической, например, в двигателе постоянного тока, но она может быть и тепловой энергией, которая вычисляется по тем же формулам.

Мощность потребителя можно вычислить и по показаниям счетчика. Для этого фиксируем работу, которую покажет счетчик за определенное время. Отсюда мощность тока равна отношению работы которую покажет счетчик, на время, в течение которого этот счетчик работал:



Для определения мощности потребителя надо работу в киловатт-часах, показанную счетчиком перевести в джоули, время перевести в секунды и разделить работу на время. Полученная мощность будет в ваттах.

1.3. ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА ДЛЯ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.



.

Где *n* – число входящих и выходящих токов узла.

Прежде чем написать 1 закон Кирхгофа следует выбрать положительное направление тока.

Например, входящие в узел *А* токи *I*1*, I*6*, I*5 -положительные, *I*2*, I*3*, I*4 -отрицательны. Тогда уравнение первого закона Кирхгофа для узла А примет вид:



Перенесем члены, содержащие знак "-", в правую часть с обратным знаком.

,

т. е. сумма входящих в узел токов равна сумме выходящих.

Для узла *В* получим:



1.4 ВТОРОЙ ЗАКОН КИРХГОФА ДЛЯ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Алгебраическая сумма *ЭДС* источников питания равна алгебраической сумме падений напряжений на элементах замкнутой цепи.



где *n* – число элементов ЭДС.

*m* – число пассивных элементов замкнутого контура.

Для того, чтобы написать второй закон Кирхгофа необходимо выбрать направление хода. Выбор направления хода произволен. Выберем направление хода по часовой стрелке. Если направление *ЭДС* и хода совпадают, то *ЭДС* положительна. Запишем второй закон Кирхгофа для замкнутого контура рис. 1.2

**

В левой части уравнения алгебраическая сумма ЭДС источников питания, а в правой части – сумма падений напряжений потребителей энергии, знак напряжения которых всегда положителен.

Перенесем напряжение в левую часть со знаком 



Отсюда следует, что алгебраическая сумма *ЭДС* и напряжений замкнутой цепи равна нулю.

Из формулы следует, что *ЭДС* *Е*1 и *Е*4 работают в генераторном режиме, а источники питания *Е*2 и *Е*3 работают в режиме потребителя.

1.5. ВЗАИМНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКА СОПРОТИВЛЕНИЙ В ЗВЕЗДУ И ЗВЕЗДЫ В ТРЕУГОЛЬНИК.

В сложных электрических цепях часто встречаются соединения, которые нельзя отнести ни к последовательным, ни к параллельным. К таким соединениям относится «трехлучевая звезда» и «треугольник» сопротивлений представленных на рисунке

Их взаимное преобразование позволяет во многих случаях упростить схему и свести ее к схеме смешанного соединения сопротивлений. Эквивалентной следует считать такую замену, при которой потенциалы точек *А, В* и *С* не изменяться при замене схемы треугольника на звезду.

Не производя вывода формул, получим их вид и найдем закономерность. Сопротивление звезды равно отношению произведения смежных сопротивлений, расположенных по обе стороны сопротивления звезды, к алгебраической сумме сопротивлений треугольника.







Формулы позволяют преобразовать треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений и значительно упрощают решение задач, содержащих пассивный треугольник сопротивлений

Иногда бывает необходимо преобразовать звезду сопротивлений в треугольник сопротивлений. Формулы обратного преобразования звезды сопротивлений в треугольник сопротивлений имеют вид:







Такие преобразования используются реже, но они тоже применяются для упрощения задач при расчете сложных электрических цепей постоянного тока.

Задана мостовая схема ABCD рис. 2.2, в которой сопротивления и *ЭДС* известны. Необходимо найти токи каждого сопротивления схемы. Для эквивалентной замены треугольника сопротивлений звездой существуют формулы для нахождения значений эквивалентных резисторов эквивалентной звезды.

Заменим треугольник сопротивлений *R*1*,* *R*2*, R*3 эквивалентной звездой сопротивлений *R*12, *R*23 и *R*31*,* которые на рисунке изображены красным цветом. В результате получим упрощенную схему с эквивалентным сопротивлением



Ток в неразветвленной части цепи



Нахождение токов каждого из сопротивлений при такой схеме значительно упрощается.

2. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1. МЕТОД УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ (ДВУХ УЗЛОВ)

Применяется для расчета электрических цепей содержащих два узла. Или сложная электрическая схема приводится к схеме подобного вида рис. 3.1.

Выберем произвольно направление результирующего напряжения *UАВ.*Запишем второй закон Кирхгофа для каждой ветви отдельно.

*Е*1 *= I*1 *⋅R*1 *+ UAB*

*E*2 *= I*2*R*2 *– UAB*

*E*3 *= I*3 *R*3 *+ UAB*

*UAB = I*4*R*н

Определим проводимость каждой ветви



Выразим ток каждой ветви через проводимость:

 (2.1)

Запишем первый закон Кирхгофа для узла *А* и решим систему уравнений (2.1) относительно *UAB*, подставив значения токов в Ш закон Кирхгофа:





 (2.2)

В общем виде формула примет вид;



Токи ветвей находятся по формулам (2.1)

2.2. МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ

Рассмотрим сложную электрическую цепь, содержащую два источника *ЭДС* рис 3.2.

При внимательном рассмотрении схемы видим, что она содержит три контура. Контур I содержит источник *ЭДС* *E*1 с резисторами контура *R*1 *R*3 и *R*5*.* Контур II содержит источник *ЭДС* *E*2 с резисторами контура *R*2, *R*3 и *R*6. Контур III с резисторами *R*1*,R*2 и *R*4 не содержит источников *ЭДС*, и ток этого контура формируется за счет источников *ЭДС E*1 и *E*2 соседних смежных контуров.

Выберем **произвольно** направление хода каждого контура. В контур I и II выберем направление хода по часовой стрелке, а в контуре II против часовой.

Оговорим условия написания системы уравнений. Если направление тока в контуре и направление *ЭДС* совпадают с направлением хода этого контура, то в уравнение они войдут со знаком (+). Если же направление выбранного тока и *ЭДС* противоположны направлению хода, то они войдут во второй закон Кирхгофа для данного контура со знаком минус.

 (2.5)

Анализ формулы показывает, что данная система уравнений может быть написана сразу без предварительной математической обработки. В левой части уравнений записывается алгебраическая сумма *ЭДС*, входящих в данный контур с учетом направления *ЭДС* и хода.

Смежными называются соседние контуры.

Правая часть состоит из двух составляющих

а) произведение контурного (независимого) тока на сумму сопротивлений, входящих в данный контур

б) суммы произведений смежных контурных токов на сопротивления входящие в оба смежных контура. Знак произведения зависит от направлений контурных токов смежных контуров. Если направления контурных токов через смежное сопротивление совпадают, то знак произведения положительный. Если направления контурных токов через смежное сопротивление противоположны, то знак произведения отрицателен.

2.3. МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

В сложных электрических схемах бывают варианты с параллельным соединением источников питания. Эти источники питают некоторую нагрузку с активным сопротивлением *Rн* (рис. 4.1.). Если сопротивления *r*1, *r*2 и *r*3 считать внутренним сопротивлением источников питания, то эти три источника питания можно заменить одним источником с некоторой эквивалентной *ЭДС* *Еэкв* и некоторым эквивалентным внутренним сопротивлением *rэ*. Такой условный источник энергии называют эквивалентным генератором или активным двухполюсником *А*. Если в части схемы, относящейся к двухполюснику, нет источника энергии, то двухполюсник называется пассивным ( П).

Ток исследуемой ветви может быть найден в эквивалентной схеме по формуле



Решение поставленной задачи по определению тока *Iн* сводится к определению эквивалентной *ЭДС* – *Еэкв* эквивалентного генератора и его внутреннего сопротивления *rэкв*, которое называется так же входным сопротивлением активного двухполюсника *rвх*.

Для определения этих величин рассмотрим режим холостого хода.

Отключим источники *ЭДС* - *Е*1*, Е*2*, Е*3 от потребителя *Rн*. Тогда источники *ЭДС* будут находиться в режиме холостого хода. Найдем *ЭДС* холостого хода методом узлового напряжения. Для этого выберем произвольно направление напряжения *UAB .*

Найдем напряжение холостого хода *Uхх* методом узловых напряжений



Найдем эквивалентное сопротивление источника *ЭДС- Rэ*;



Эквивалентное сопротивление источника *ЭДС* можно найти и через проводимость;



Заменим источники *ЭДС* и их сопротивления на эквивалентное сопротивление источника с напряжением *Uхх* и эквивалентным сопротивлением *Rэ*, при этом схема примет вид;

Ток нагрузки резистора *Rн*:



Токи отдельных ветвей схемы находятся по первому и второму законам Кирхгофа.

2.4. МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ

При расчете простых электрических цепей, содержащих один источник питания, достаточно воспользоваться наиболее простыми методами расчетов, т.е. использовать законы Кирхгофа и Ома.

При расчете сложных электрических цепей зачастую бывает не возможно сразу указать направление тока и приступить к расчетам. Особенно сложно указать направление тока в схемах, содержащих несколько источников питания.

В таких случаях направления токов в схемах указываются произвольно и являются исходными при расчетах. На рис. 5.1. а изображена схема, в которой имеются два источника питания создающие ток на три потребителя. Сразу указать направление токов в таких схемах не возможно, поэтому указываем произвольное направление токов *I*1; *I*2; *I*3 . Поскольку в этой схеме сложно сразу приступить к решению задачи предлагается следующий вариант решения этой задачи.

Исключим один из источников питания этой схемы, например: источник *Е*2. Построим схему без данного источника, рис. 5.1.б. Такая схема позволяет точно указать направления токов в схеме, и данная задача имеет простое решение.

Сопротивления *R*2 и *R*3 между собой включены параллельно. Эквивалентное сопротивление этих резисторов



Сопротивление *R*1 включено последовательно с резисторами *R*23 тогда эквивалентное сопротивление всей схемы равно



Найдем общий ток схемы рис. 5.1.б:



Существует формула для нахождения тока одной из двух ветвей при известном общем токе и известных сопротивлениях, включенных параллельно. Для нашего случая



Ток *I’*3 находится или аналогичным путем или проще.



Приступаем ко второму этапу расчета. Убираем источник питания *Е*1 и оставляем источник питания *Е*2. Расчет схемы аналогичен предыдущему. Мы можем точно указать направление токов в схеме рис. 5.1.в и найти их численные значения







Последний этап сводится к нахождению непосредственно токов *I*1*; I*2; и *I*3.

Наложим схемы в) и б) на схему а).

Сравниваются о направленияодноименных токв *, * и .Из сравнения следует, что одинаковые по направлению токи положительны, а противоположные по направлению - отрицательны.

Тогда для токов *I*1,  *I*2 и *I*3 имеют место конечные уравнения

.