

Кентауский политехнический колледж  
Курсовая работа  
На тему: Методы расчета электрических цепей

Студент: Наурызалиев А.  
Преподаватель: Джумартбаева Н.  
Кентау-2015  
Содержание

## Введение

### 1. Методы расчета электрических цепей

#### 1.1 Электрическая цепь и ее элементы

#### 1.2 Основные понятия и определения для электрической цепи

### 2. Основные законы

#### 2.1 Цепь постоянного тока

#### 2.2 Способы соединения сопротивлений и расчет эквивалентного сопротивления электрической цепи

## Заключение

## Список литературы

## Введение

В электротехнике рассматривается устройство и принцип действия основных электротехнических устройств, используемых в быту и промышленности. Чтобы электротехническое устройство работало, должна быть создана электрическая цепь, задача которой передать электрическую энергию этому устройству и обеспечить ему требуемый режим работы. Электрической цепью называется совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электрическом токе, ЭДС (электродвижущая сила) и электрическом напряжении. Расчет и анализ электрических цепей производится с использованием закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа. На основе этих законов устанавливается взаимосвязь между значениями токов, напряжений, ЭДС всей электрической цепи и отдельных ее участков и параметрами элементов, входящих в состав этой цепи. Сопротивления в электрических цепях могут быть соединены последовательно, параллельно, по смешанной схеме и по схемам "звезда", "треугольник". Расчет сложной схемы упрощается, если сопротивления в этой схеме заменяются одним эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{экв}}$ , и вся схема представляется в виде схемы на рис. 1.3, где  $R=R_{\text{экв}}$ , а расчет токов и напряжений производится с помощью законов Ома и

Кирхгофа. Расчет резистивных цепей методом составления уравнений Кирхгофа. С помощью законов Кирхгофа можно рассчитать токи в сколь угодно сложных цепях. Для этого необходимо проделать следующее: определить количество ветвей в заданной цепи; задаться предполагаемыми токами во всех ветвях и направлениями обходов в контурах (например, по часовой стрелке); по первому закону составить  $n-1$  уравнений, где  $n$  - количество узлов цепи; определить количество элементарных контуров в цепи; составить по второму закону Кирхгофа  $m$  уравнений, где  $m$  - число элементарных контуров. Для расчета и анализа реальная электрическая цепь представляется графически в виде расчетной электрической схемы (схемы замещения). В этой схеме реальные элементы цепи изображаются условными обозначениями, причем вспомогательные элементы цепи обычно не изображаются, а если сопротивление соединительных проводов намного меньше сопротивления других элементов цепи, его не учитывают. Источник питания показывается как источник ЭДС  $E$  с внутренним сопротивлением  $r_0$ , реальные потребители электрической энергии постоянного тока заменяются их электрическими параметрами: активными сопротивлениями  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . С помощью сопротивления  $R$  учитывают способность реального элемента цепи необратимо преобразовывать электроэнергию в другие виды, например, тепловую или лучистую. электрический цепь сопротивление

## 1. Методы расчета электрических цепей

### 1.1 Электрическая цепь и ее элементы

В электротехнике рассматривается устройство и принцип действия основных электротехнических устройств, используемых в быту и промышленности. Чтобы электротехническое устройство работало, должна быть создана электрическая цепь, задача которой передать электрическую энергию этому устройству и обеспечить ему требуемый режим работы. Электрической цепью называется совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электрическом токе, ЭДС (электродвижущая сила) и электрическом напряжении. Для анализа и расчета электрическая цепь графически представляется в виде электрической схемы, содержащей условные обозначения ее элементов и способы их соединения. Электрическая схема простейшей электрической цепи, обеспечивающей работу осветительной аппаратуры, представлена на рис. 1.1.

Рис. 1.1

Все устройства и объекты, входящие в состав электрической цепи, могут быть разделены на три группы:

#### 1) Источники электрической энергии (питания).

Общим свойством всех источников питания является преобразование какого-либо вида энергии в электрическую. Источники, в которых происходит преобразование неэлектрической энергии в электрическую, называются первичными источниками. Вторичные источники - это такие источники, у которых и на входе, и на выходе -

электрическая энергия (например, выпрямительные устройства).

2) Потребители электрической энергии.

Общим свойством всех потребителей является преобразование электроэнергии в другие виды энергии (например, нагревательный прибор). Иногда потребители называют нагрузкой.

3) Вспомогательные элементы цепи: соединительные провода, коммутационная аппаратура, аппаратура защиты, измерительные приборы и т.д., без которых реальная цепь не работает.

Все элементы цепи охвачены одним электромагнитным процессом.

В электрической схеме на рис. 1.1 электрическая энергия от источника ЭДС  $E$ , обладающего внутренним сопротивлением  $r_0$ , с помощью вспомогательных элементов цепи передается через регулировочный реостат  $R$  к потребителям (нагрузке): электрическим лампочкам  $EL1$  и  $EL2$ .

## 1.2 Основные понятия и определения для электрической цепи

Для расчета и анализа реальная электрическая цепь представляется графически в виде расчетной электрической схемы (схемы замещения). В этой схеме реальные элементы цепи изображаются условными обозначениями, причем вспомогательные элементы цепи обычно не изображаются, а если сопротивление соединительных проводов намного меньше сопротивления других элементов цепи, его не учитывают. Источник питания показывается как источник ЭДС  $E$  с внутренним сопротивлением  $r_0$ , реальные потребители электрической энергии постоянного тока заменяются их электрическими параметрами: активными сопротивлениями  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . С помощью сопротивления  $R$  учитывают способность реального элемента цепи необратимо преобразовывать электроэнергию в другие виды, например, тепловую или лучистую. При этих условиях схема на рис. 1.1 может быть представлена в виде расчетной электрической схемы (рис. 1.2), в которой есть источник питания с ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением  $r_0$ , а потребители электрической энергии: регулировочный реостат  $R$ , электрические лампочки  $EL1$  и  $EL2$  заменены активными сопротивлениями  $R, R_1$  и  $R_2$ .

Рис. 1.2

Источник ЭДС на электрической схеме (рис. 1.2) может быть заменен источником напряжения  $U$ , причем условное положительное направление напряжения  $U$  источника задается противоположным направлению ЭДС. При расчете в схеме электрической цепи выделяют несколько основных элементов. Ветвь электрической цепи (схемы) - участок цепи с одним и тем же током. Ветвь может состоять из одного или нескольких последовательно соединенных элементов. Схема на рис. 1.2 имеет три ветви: ветвь  $ba$ , в которую включены элементы  $r_0, E, R$  и в которой возникает ток  $I$ ; ветвь  $ab$  с элементом  $R_1$  и током  $I_1$ ; ветвь  $anb$  с элементом  $R_2$  и током  $I_2$ . Узел электрической цепи (схемы) - место соединения трех и более ветвей. В схеме на рис. 1.2 - два узла  $a$  и  $b$ . Ветви, присоединенные к одной паре узлов, называют параллельными. Сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 1.2) находятся в параллельных ветвях. Контур - любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям. В схеме на рис.

1.2 можно выделить три контура: I -  $bmaab$ ; II -  $anba$ ; III -  $manbm$ , на схеме стрелкой показывают направление обхода контура. Условные положительные направления ЭДС источников питания, токов во всех ветвях, напряжений между узлами и на зажимах элементов цепи необходимо задать для правильной записи уравнений, описывающих процессы в электрической цепи или ее элементах. На схеме (рис. 1.2) стрелками укажем положительные направления ЭДС, напряжений и токов: а) для ЭДС источников - произвольно, но при этом следует учитывать, что полюс (зажим источника), к которому направлена стрелка, имеет более высокий потенциал по отношению к другому полюсу; б) для токов в ветвях, содержащих источники ЭДС - совпадающими с направлением ЭДС; во всех других ветвях произвольно; в) для напряжений - совпадающими с направлением тока в ветви или элемента цепи. Все электрические цепи делятся на линейные и нелинейные.

Элемент электрической цепи, параметры которого (сопротивление и др.) не зависят от тока в нем, называют линейным, например электропечь.

Нелинейный элемент, например лампа накаливания, имеет сопротивление, величина которого увеличивается при повышении напряжения, а следовательно и тока, подводимого к лампочке.

Следовательно, в линейной электрической цепи все элементы - линейные, а нелинейной называют электрическую цепь, содержащую хотя бы один нелинейный элемент.

## 2. Основные законы

### 2.1 Цепь постоянного тока

Расчет и анализ электрических цепей производится с использованием закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа. На основе этих законов устанавливается взаимосвязь между значениями токов, напряжений, ЭДС всей электрической цепи и отдельных ее участков и параметрами элементов, входящих в состав этой цепи.

Закон Ома для участка цепи

Соотношение между током  $I$ , напряжением  $UR$  и сопротивлением  $R$  участка  $ab$  электрической цепи (рис. 1.3) выражается законом Ома

Рис. 1.3

(1.1)

или  $UR=RI$ .

В этом случае

$UR=RI$  -

называют напряжением или падением напряжения на резисторе  $R$ , а

- током в резисторе  $R$ .

При расчете электрических цепей иногда удобнее пользоваться не сопротивлением  $R$ , а величиной обратной сопротивлению, т.е. электрической проводимостью:

.

В этом случае закон Ома для участка цепи запишется в виде:

$I=Ug$ .

Закон Ома для всей цепи

Этот закон определяет зависимость между ЭДС  $E$  источника питания с внутренним сопротивлением  $r_0$  (рис. 1.3), током  $I$  электрической цепи и общим эквивалентным сопротивлением

$RЭ=r_0+R$  всей цепи:

(1.2)

.

Сложная электрическая цепь содержит, как правило, несколько ветвей, в которые могут быть включены свои источники питания и режим ее работы не может быть описан только законом Ома. Но это можно выполнить на основании первого и второго законов Кирхгофа, являющихся следствием закона сохранения энергии.

Первый закон Кирхгофа

В любом узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю

(1.3)

,

где  $m$  - число ветвей подключенных к узлу.

При записи уравнений по первому закону Кирхгофа токи, направленные к узлу, берут со знаком "плюс", а токи, направленные от узла - со знаком "минус". Например, для узла  $a$  (см. рис. 1.2)

$I_1 - I_2 = 0$ .

Второй закон Кирхгофа

В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на всех его участках

(1.4)

,

где  $n$  - число источников ЭДС в контуре;

$m$  - число элементов с сопротивлением  $R_k$  в контуре;

$U_k = R_k I_k$  - напряжение или падение напряжения на  $k$ -м элементе контура.

Для схемы (рис. 1.2) запишем уравнение по второму закону Кирхгофа:

$E = UR + U_1$ .

Если в электрической цепи включены источники напряжений, то второй закон Кирхгофа формулируется в следующем виде: алгебраическая сумма напряжений на всех элементах контура, включая источники ЭДС равна нулю

(1.5)

.

При записи уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо:

- 1) задать условные положительные направления ЭДС, токов и напряжений;
- 2) выбрать направление обхода контура, для которого записывается уравнение;
- 3) записать уравнение, пользуясь одной из формулировок второго закона Кирхгофа, причем слагаемые, входящие в уравнение, берут со знаком "плюс", если их условные положительные направления совпадают с обходом контура, и со знаком "минус", если они противоположны. Запишем уравнения по II закону Кирхгофа для контуров электрической схемы (рис. 1.2):

контур I:  $E=RI+R_1I_1+r_0I$ ,  
контур II:  $R_1I_1+R_2I_2=0$ ,  
контур III:  $E=RI+R_2I_2+r_0I$ .

В действующей цепи электрическая энергия источника питания преобразуется в другие виды энергии. На участке цепи с сопротивлением  $R$  в течение времени  $t$  при токе  $I$  расходуется электрическая энергия

(1.6)

$$W=I^2Rt.$$

Скорость преобразования электрической энергии в другие виды представляет электрическую мощность

(1.7)

Из закона сохранения энергии следует, что мощность источников питания в любой момент времени равна сумме мощностей, расходуемой на всех участках цепи. (1.8)

Это соотношение (1.8) называют уравнением баланса мощностей. При составлении уравнения баланса мощностей следует учесть, что если действительные направления ЭДС и тока источника совпадают, то источник ЭДС работает в режиме источника питания, и произведение  $EI$  подставляют в (1.8) со знаком плюс. Если не совпадают, то источник ЭДС работает в режиме потребителя электрической энергии, и произведение  $EI$  подставляют в (1.8) со знаком минус. Для цепи, показанной на рис. 1.2 уравнение баланса мощностей запишется в виде:

$$EI=I_2^2(r_0+R)+I_1^2R_1+I_2^2R_2.$$

При расчете электрических цепей используются определенные единицы измерения. Электрический ток измеряется в амперах (А), напряжение - в вольтах (В), сопротивление - в омах (Ом), мощность - в ваттах (Вт), электрическая энергия - ватт-час (Вт-час) и проводимость - в сименсах (См). Кроме основных единиц используют более мелкие и более крупные единицы измерения: миллиампер ( $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ), килоампер ( $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ ), милливольт ( $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$ ), киловольт ( $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$ ), килоом ( $1 \text{ kOhm} = 10^3 \text{ Ohm}$ ), мегаом ( $1 \text{ MOhm} = 10^6 \text{ Ohm}$ ), киловатт ( $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ ), киловатт-час ( $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$ ).

2.2 Способы соединения сопротивлений и расчет эквивалентного сопротивления электрической цепи

Сопротивления в электрических цепях могут быть соединены последовательно, параллельно, по смешанной схеме и по схемам "звезда", "треугольник". Расчет сложной схемы упрощается, если сопротивления в этой схеме заменяются одним эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{экв}}$ , и вся схема представляется в виде схемы на рис. 1.3, где  $R=R_{\text{экв}}$ , а расчет токов и напряжений производится с помощью законов Ома и Кирхгофа.

Электрическая цепь с последовательным соединением элементов

Рис. 1.4

Рис. 1.5

Последовательным называют такое соединение элементов цепи, при котором во всех включенных в цепь элементах возникает один и тот же ток  $I$  (рис. 1.4).

На основании второго закона Кирхгофа (1.5) общее напряжение  $U$  всей цепи равно сумме напряжений на отдельных участках:

$$U=U_1+U_2+U_3 \text{ или } IR_{\text{экв}}=IR_1+IR_2+IR_3,$$

откуда следует

$$(1.5)$$

$$R_{\text{экв}}=R_1+R_2+R_3.$$

Таким образом, при последовательном соединении элементов цепи общее эквивалентное сопротивление цепи равно арифметической сумме сопротивлений отдельных участков. Следовательно, цепь с любым числом последовательно включенных сопротивлений можно заменить простой цепью с одним эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{экв}}$  (рис. 1.5). После этого расчет цепи сводится к определению тока  $I$  всей цепи по закону Ома

,

и по вышеприведенным формулам рассчитывают падение напряжений  $U_1, U_2, U_3$  на соответствующих участках электрической цепи (рис. 1.4). Недостаток последовательного включения элементов заключается в том, что при выходе из строя хотя бы одного элемента, прекращается работа всех остальных элементов цепи.

Электрическая цепь с параллельным соединением элементов

Параллельным называют такое соединение, при котором все включенные в цепь потребители электрической энергии, находятся под одним и тем же напряжением (рис. 1.6).

Рис. 1.6

В этом случае они присоединены к двум узлам цепи  $a$  и  $b$ , и на основании первого закона Кирхгофа (1.3) можно записать, что общий ток  $I$  всей цепи равен алгебраической сумме токов отдельных ветвей:

$$I=I_1+I_2+I_3, \text{ т.е. ,}$$

откуда следует, что

$$(1.6)$$

.

В том случае, когда параллельно включены два сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , они заменяются одним эквивалентным сопротивлением (1.7)

.

Из соотношения (1.6), следует, что эквивалентная проводимость цепи равна арифметической сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$g_{\text{экв}}=g_1+g_2+g_3.$$

По мере роста числа параллельно включенных потребителей проводимость цепи экв возрастает, и наоборот, общее сопротивление  $R_{\text{экв}}$  уменьшается.

Напряжения в электрической цепи с параллельно соединенными сопротивлениями (рис. 1.6)

$$U=IR_{\text{экв}}=I_1R_1=I_2R_2=I_3R_3.$$

Отсюда следует, что

,

т.е. ток в цепи распределяется между параллельными ветвями обратно пропорционально их сопротивлениям.

По параллельно включенной схеме работают в номинальном режиме потребители любой мощности, рассчитанные на одно и то же напряжение. Причем включение или отключение одного или нескольких потребителей не отражается на работе остальных. Поэтому эта схема является основной схемой подключения потребителей к источнику электрической энергии.

Электрическая цепь со смешанным соединением элементов

Смешанным называется такое соединение, при котором в цепи имеются группы параллельно и последовательно включенных сопротивлений.

Рис. 1.7

Для цепи, представленной на рис. 1.7, расчет эквивалентного сопротивления начинается с конца схемы. Для упрощения расчетов примем, что все сопротивления в этой схеме являются одинаковыми:

$$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R.$$

Сопротивления  $R_4$  и  $R_5$  включены параллельно, тогда сопротивление участка цепи  $cd$  равно:

.

В этом случае исходную схему (рис. 1.7) можно представить в следующем виде (рис. 1.8):

Рис. 1.8

На схеме (рис. 1.8) сопротивление  $R_3$  и  $R_{cd}$  соединены последовательно, и тогда сопротивление участка цепи  $ad$  равно:

.

Тогда схему (рис. 1.8) можно представить в сокращенном варианте (рис. 1.9):

Рис. 1.9

На схеме (рис. 1.9) сопротивление  $R_2$  и  $R_{ad}$  соединены параллельно, тогда сопротивление участка цепи  $ab$  равно

.

Схему (рис. 1.9) можно представить в упрощенном варианте (рис. 1.10), где сопротивления  $R_1$  и  $R_{ab}$  включены последовательно. Тогда эквивалентное сопротивление исходной схемы (рис. 1.7) будет равно:

.

Рис. 1.10

Рис. 1.11

В результате преобразований исходная схема (рис. 1.7) представлена в виде схемы (рис. 1.11) с одним сопротивлением  $R_{\text{экв}}$ . Расчет токов и напряжений для всех элементов схемы можно произвести по законам Ома и Кирхгофа.

Соединение элементов электрической цепи по схемам "звезда" и "треугольник"

В электротехнических и электронных устройствах элементы цепи соединяются по



мостовой схеме (рис. 1.12). Сопротивления  $R_{12}, R_{13}, R_{24}, R_{34}$  включены в плечи моста, в диагональ 1-4 включен источник питания с ЭДС  $E$ , другая диагональ 3-4 называется измерительной диагональю моста.

Рис. 1.12

Рис. 1.13

В мостовой схеме сопротивления  $R_{13}, R_{12}, R_{23}$  и  $R_{24}, R_{34}, R_{23}$  соединены по схеме "треугольник". Эквивалентное сопротивление этой схемы можно определить только после замены одного из треугольников, например треугольника  $R_{24}R_{34}R_{23}$  звездой  $R_{2R}R_{3R}R_{4R}$  (рис. 1.13). Такая замена будет эквивалентной, если она не вызовет изменения токов всех остальных элементов цепи. Для этого величины сопротивлений звезды должны рассчитываться по следующим соотношениям: (1.8)

;; .

Для замены схемы "звезда" эквивалентным треугольником необходимо рассчитать сопротивления треугольника: (1.9)

;; .

После проведенных преобразований (рис. 1.13) можно определить величину эквивалентного сопротивления мостовой схемы (рис. 1.12)

.

Заключение

При подключении к источнику питания различного количества потребителей или изменения их параметров будут изменяться величины напряжений, токов и мощностей в электрической цепи, от значений которых зависит режим работы цепи и ее элементов. Реальная электрическая цепь может быть представлена в виде активного и пассивного двухполюсников (рис. 1.23).

Рис. 1.23

Двухполюсником называют цепь, которая соединяется с внешней относительно нее частью цепи через два вывода  $a$  и  $b$  - полюса. Активный двухполюсник содержит источники электрической энергии, а пассивный двухполюсник их не содержит. Для расчета цепей с двухполюсниками реальные активные и пассивные элементы цепи представляются схемами замещения. Схема замещения пассивного двухполюсника  $\Pi$  представляется в виде его входного сопротивления

.

Схема замещения активного двухполюсника  $A$  представляется эквивалентным источником с ЭДС  $E_{\Sigma}$  и внутренним сопротивлением  $r_{0\Sigma}$ , нагрузкой для которого является входное сопротивление пассивного двухполюсника  $R_{вх} = R_{\Pi}$ . Режим работы электрической цепи (рис. 1.23) определяется изменениями параметров пассивного двухполюсника, в общем случае величиной сопротивления нагрузки  $R_{\Pi}$ . При анализе электрической цепи рассматривают следующие режимы работы: холостого хода, номинальный, короткого замыкания и согласованный. Работа активного двухполюсника под нагрузкой  $R_{\Pi}$  определяется его вольт-амперной (внешней) характеристикой, уравнение которой (1.10) для данной цепи запишется в виде (1.12)

Список литературы

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника./А.С. Касаткин, М.В. Немцов. - Изд. - 8-е, перераб.-М.: "Высшая школа", 2005. - 542 с.
2. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: Учеб. Пособие для неэлектротех. спец. вузов/ Г.Г. Рекус, А.И.
3. Белоусов; Ред. Л.В. Честная, -2-е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 2001.-416 с.
4. Электротехника и электроника. Электрические цепи: Учебное пособие для студентов неэлектротехнических специальностей. /Р.В. Ахмадеев, И.В. Вавилова, Т.М. Крымская: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.: - Уфа, 1999. -91 с.