# **При выполнении и оформлении задания необходимо руководствоваться следующими правилами:**

**1. Работа должна быть написана четким почерком, либо напечатана на сброшюрованных листах машинописного формата, либо в школьной тетради в следующем порядке: титульный лист, текст задания, решение, выводы. На каждой странице обязательно оставляются поля не менее 40 мм для замечаний и исправлений при защите работы. Рисунки и графики помещаются по тексту в соответствующих местах или на отдельных листах; выполняются в удобном для чтения масштабе, аккуратно и в соответствии с требованиями ГОСТа и ЕСКД.**

**2. Исходная схема обязательно вычерчивается на откидном листе и приклеивается.**

**3. Все расчетные формулы сначала записываются в буквенном виде, а затем подставляются численные значения. Принятые обозначения должны быть пояснены и использоваться от начала до конца текста. Решение следует сопровождать краткими пояснениями.**

**4. Итоговые результаты подчеркиваются, либо выносятся в отдельную строку или в таблицы.**

**5. Работа должна быть датирована и подписана студентом.**

**6. Титульный лист выполняется по образцу (приложение 1).**

**7. Номер варианта задания выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки или студенческого билета, или по указанию ведущего преподавателя.**

**1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1**

## Расчет цепей с источниками постоянных воздействий

# **1.1. Задание**

**1. По заданному номеру варианта изобразить цепь, подлежащую расчету, выписать значения параметров элементов.**

**2. Записать необходимое количество уравнений по первому и второму законам Кирхгофа, подставить численные значения всех коэффициентов. Полученную систему уравнений не решать.**

**3. Определить токи во всех ветвях цепи и напряжение на источнике тока методом контурных токов.**

**4. Составить баланс мощностей и оценить погрешность расчета.**

**5. Рассчитать цепь методом узловых потенциалов, определить токи во всех ветвях и напряжение на источнике тока. Результаты расчета сравнить с полученными по п. 1.3.**

**6. Рассчитать ток в одной из ветвей методом эквивалентного источника напряжения.**

**7. Рассчитать ток в одной из ветвей методом наложения.**

**Задание:**

# **1.2. Выбор варианта и параметров элементов цепи**

**1. Конфигурацию электрической цепи (граф цепи) выбрать по рис. 1.1 в соответствии с номером варианта.**

**2. Расположение в ветвях цепи источников напряжения и тока**

**Определить по табл. 1.1 в зависимости от номера варианта. Направление действия источников произвольное.**

**Численные значения параметров источников энергии приведены в табл. 1.2.**


###### **Таблица 1.1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Номер****варианта** | **Граф** | **Расположение элементов в ветвях цепи** |
| **источник напряжения** | **источник тока** | **резисторы** |
| **76** | ***а*** | **7, 2** | **1** | **1, 2, 3, 4, 5, 6** |

**3. Численные значения сопротивлений потребителей определить следующим образом:**

**– для нечетных ветвей:**

***R*1 = *R*3 = *R*5 = *R*7 = *N* + 0,1*M*,**

**– для четных ветвей:**

***R*2 = *R*4 = *R*6 = 1,2*N* + 0,2*M*,**

**где *N* – шифр специальности (для специальности АЭП – 8)**

***M=13* – сумма цифр номера варианта.(Вариант №76)**

###### **Таблица 1.2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вет-ви | ***Е*, В** | ***J*, A** |
|  | **АЭП** |  |  | **АЭП** |  |
| **1** |  | **45** |  |  | **3** |  |
| **2** |  | **40** |  |  | **4** |  |
| **3** |  | **35** |  |  | **5** |  |
| **4** |  | **30** |  |  | **6** |  |
| **5** |  | **25** |  |  | **5** |  |
| **6** |  | **20** |  |  | **4** |  |
| **7** |  | **10** |  |  | **2** |  |

#

# **1.3. Методические указания**

**1.3.1. Метод уравнений Кирхгофа**

**1. Пронумеровать ветви (1, 2, 3,..., 7) и обозначить узлы (*А*, *В*, *С*, *D*) в соответствии с графом цепи.**

**2. Произвольно выбрать и обозначить положительные направления токов в ветвях и полярность напряжения на зажимах источника тока.**

**3. Для (*n*-1) узла записать уравнения по I закону Кирхгофа в форме**

.

**Алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю. Токи, направленные от узла, следует принять условно отрицательными, а направленные к узлу – положительными (или наоборот).**

**4. Произвольно выбрать и обозначить совокупность независимых контуров и направление их обхода. Для каждого контура записать уравнение по II закону Кирхгофа в форме**

**.**

**Алгебраическая сумма падений напряжения на потребителях замкнутого контура равна алгебраической сумме напряжений источников в нем.**

**При записи левой части положительными будут падения напряжения на тех потребителях, в которых выбранное положительное направление тока совпадает с обходом контура. При записи правой части источники ЭДС (тока), потенциал которых возрастает в направлении обхода контура, принимаются положительными.**

**Уравнения, записанные по I и II законам Кирхгофа, образуют систему, число уравнений которой равно числу неизвестных величин.**

**1.3.2. Метод контурных токов (МКТ)**

**Применение метода к расчету электрической цепи позволяет уменьшить общее количество уравнений системы до числа *ρ* (независимых контуров). Для расчета цепи МКТ необходимо:**

**1. В произвольно выбранной совокупности независимых контуров (п. 3.1.4) обозначить контурные токи. Направление контурных токов выбирается совпадающим с направлением обхода контуров.**

**2. Для определения контурных токов составить систему уравнений в следующей форме**



**где *R*11, ..., *Rpp*– собственное сопротивление контура (арифметиче­ская сумма сопротивлений всех ветвей, входящих в контур);**

***R*12 = *R*21, ..., *R*1*p*= *Rp*1 – общее сопротивление двух контуров, которое может быть положительным, если контурные токи по общей ветви протекают согласно; отрицательным, если контурные токи по общей ветви протекают встречно; равным нулю, если два контура не имеют общей ветви;**

***Е*11, ..., *Еpp* – контурные ЭДС (алгебраическая сумма ЭДС, включен­ных в ветви, образующие данный контур. Правило знаков аналогично II закону Кирхгофа).**

**3. Решить полученную систему уравнений любым известным методом, например:**

**– методом Гаусса (при помощи определителей);**

**– методом исключения (подстановки).**

**4. На основании полученных значений контурных токов рассчитать токи во всех ветвях по I закону Кирхгофа как алгебраическую сумму контурных токов, протекающих по данной ветви.**

**1.3.3. Метод узловых потенциалов (МУП)**

**Применение этого расчетного метода позволяет уменьшить количество уравнений системы до (*n*-1), где *n* – число узлов электрической цепи. Для расчета цепи МУП необходимо:**

**1. Потенциал одного из узлов (любого), обозначенных в п. 3.1.1, условно принять равным нулю (этот узел называют опорным).**

**2. Для расчета (*n*-1) неизвестного потенциала составить систему уравнений в следующем виде:**



**где *G*11, …, *Gn*-1,*n*-1 – собственная проводимость соответствующего узла (арифметическая сумма проводимостей ветвей, присоединенных к данному узлу);[[1]](#footnote-2)**

***G*12= *G*21, ..., *G*1,*n*-1 = *Gn*-1,1 – общая проводимость двух узлов (взятая со знаком "минус" сумма проводимостей ветвей, примыкающих одновременно к этой паре узлов);**

***J*11, …, *Jn*-1,*n*-1 – узловой ток некоторого узла, определяемый по формуле**

**,**

**где  – алгебраическая сумма произведений напряжений источников ЭДС на проводимость соответствующих ветвей, сходящихся в узле *k*;**

** – алгебраическая сумма токов источников тока, подключенных к узлу *k*.**

**Со знаком "плюс" в эти суммы входят слагаемые, соответствующие источникам, действующим в направлении рассматриваемого узла, со знаком "минус" – остальные слагаемые.**

**3. Определить значения неизвестных потенциалов (решить систему уравнений).**

**4. Определить токи во всех ветвях и напряжение на источнике тока на основании соотношений, составленных по обобщенному закону Ома. Результаты расчета сравнить с результатами, полученными по п. 3.2.4.**

**1.3.4. Баланс мощностей**

**Для любой автономной электрической цепи сумма мощностей, развиваемых источниками энергии (*Р*ист), равна сумме мощностей, расходуемых в потребителях энергии (*Р*потр).**

****

**или .**

**В левую часть уравнения со знаком "плюс" войдут мощности источников, отдающих энергию (рис. 1.2, *а*, *в*), а со знаком "минус" – мощности источников, работающих в режиме потребителей (рис. 1.2, *б*, *г*).**

****

**1.3.5. Метод эквивалентного источника напряжения**

**Применение метода целесообразно для определения тока в какой-либо одной ветви сложной электрической цепи. При определении тока *k*-й ветви методом эквивалентного источника напряжения исследуемая ветвь размыкается, а вся остальная часть цепи, подключенная к зажимам этой ветви, представляется в виде эквивалентного источника напряжения, ЭДС которого равна *Е*э.и, а внутреннее сопротивление *R*вн. Расчет целесообразно вести в следующем порядке:**

**1. Определить напряжение на зажимах эквивалентного источника *Е*э.и, равного *U*хx (напряжению на зажимах разомкнутой ветви *k* в режиме холостого хода). Для этого составить уравнение по II закону Кирхгофа для любого контура цепи, включающего в себя разомкнутые зажимы исследуемой ветви, предварительно рассчитав токи в ветвях цепи в режиме холостого хода ветви *k*.**

**2. Определить внутреннее сопротивление эквивалентного источника *R*вн, равного *R*вх (входному сопротивлению пассивной цепи относительно зажимов ветви *k*; при этом все источники напряжения заменить короткозамкнутыми участками, а ветви с источниками тока – разомкнуть).**

**3. Определить ток в ветви с сопротивлением *Rk* по закону Ома:**

**.**

**1.3.6. Метод наложения**

**Линейная электрическая цепь описывается системой линейных уравнений Кирхгофа. Это означает, что она подчиняется *принципу наложения (суперпозиции)*, согласно которому *совместное действие всех источников в электрической цепи совпадает с суммой действий каждого из них в отдельности.***

**Метод наложения опирается на принцип наложения и заключается в следующем: ток или напряжение произвольной ветви или участка разветвленной электрической цепи постоянного тока определяется как алгебраическая сумма токов или напряжений, вызванных каждым из источников в отдельности.**

**При использовании этого метода задача расчета разветвленной электрической цепи с *n* источниками сводится к совместному решению *n* цепей с одним источником.**

**Порядок расчета линейной электрической цепи методом наложения:**

**1. Произвольно задать направление токов в ветвях исследуемой цепи.**

**2. Исходную цепь, содержащую *n* источников, преобразовать в *n* подсхем, каждая из которых содержит только один из источников, прочие источники исключаются следующим образом: источники напряжения замыкаются накоротко, а ветви с источниками тока обрываются. При этом необходимо помнить, что внутренние сопротивления реальных источников играют роль потребителей, и поэтому они должны оставаться в подсхемах.**

**3. Определить токи каждой из подсхем, задавшись их направлением в соответствии с полярностью источника, любым из известных методов. В большинстве случаев расчет ведется по закону Ома с использованием метода эквивалентных преобразований пассивных цепей.**

**4. Полный ток в любой ветви исходной цепи определяется как алгебраическая сумма токов вспомогательных подсхем, причем при суммировании со знаком «+» берутся токи подсхем, направление которых совпадает с направлением тока в исходной цепи, со знаком «–» – остальные.**

# **1.4. Пример расчета**

**1.4.1. Задание**

**Рассчитать цепь, изображенную графом *а*, с параметрами: *Е*1= 20 В; *Е*6= 40 В; *J*3= 2А; *R*1= *R*3= *R*5= *R*7= 5,4 Ом; *R*2= *R*4= *R*6= 6,8 Ом.**

**Подлежащая расчету цепь будет иметь вид (рис. 1.3).**

**1.4.2. Запись уравнений Кирхгофа**

**Для произвольно выбранных и обозначенных на схеме (см. рис. 1.3) положительных направлений токов ветвей и совокупности независимых контуров запишем:**

**– уравнения по I закону Кирхгофа:**

**для узла *А*: *I*1 – *I*2 – *J*3 = 0,**

**для узла *В*: *I*7 – *I*6 – *I*4 – *I*1  = 0,**

**для узла *С*: *I*4 + *I*2 – *I*5 = 0,**

**– уравнения по II закону Кирхгофа:**

**для контура I: *I*1*R*1 + *I*2*R*2 – *I*4*R*4 = *E*1,**

**для контура II: *I*4*R*4 + *I*5*R*5 – *I*6*R*6 = –*E*6,**

**для контура III: *I*6*R*6 + *I*7*R*7 = *E*6,**

**для контура IV: *J*3*R*3 – *I*5*R*5 – *I*2*R*2 = *UJ*.**

**После подстановки численных значений коэффициентов получаем разрешимую систему уравнений с семью неизвестными величинами :**



**1.4.3. Метод контурных токов**

**Для рассматриваемой четырехконтурной цепи (см. рис. 1.3) система уравнений относительно контурных токов, совпадающих по направлению с обходом контуров, примет вид**



**Для выбранных контурных токов *I*44 = *J*3. Подсчитаем значения коэффициентов системы:**

**– собственные сопротивления контуров:**



**– общие сопротивления контуров:**



**– контурные ЭДС:**

****

**После подстановки численных значений коэффициентов и необходимых преобразований система уравнений примет вид**



**В случае решения данной системы при помощи определителей необходимо совместно решить систему из первых трех уравнений относительно неизвестных токов *I*11, *I*22, *I*33, а затем из четвертого уравнения системы определить *UJ*.**

**Результаты расчета системы уравнений следующие:**

****

**В соответствии с принятыми (см. рис. 1.3) положительными направлениями токов в ветвях вычисляем их значения:**



**1.4.3. Баланс мощности**

**Мощность источников**

****

**Мощность потребителей**

****

**Оценим относительную погрешность расчета,**



**1.4.4. Метод узловых потенциалов**

**Принимаем потенциал узла *А* равным нулю (см. рис. 1.3). Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов относительно ϕ*В*, ϕ*С*, ϕ*D*:**



**Выпишем и подсчитаем значения коэффициентов системы:**

**– собственная проводимость узлов**

****

**– общие проводимости узлов**

****

**– узловые токи**

****

**Система уравнений после подстановки численных значений коэффициентов примет вид**



**Результаты расчета системы уравнений:**

****

**Рассчитаем значения токов в ветвях по обобщенному закону Ома**





**1.4.5. Метод эквивалентного источника напряжения**

**Определим ток *I*2 методом эквивалентного источника напряжения в соответствии с разделом 1.3.5 по формуле**

.

**Определим напряжение холостого хода *U*xx между точками *А* и *С*, когда ветвь 2 разомкнута, а сопротивление *R*2 удалено (рис. 1.4).**

**Для определения *U*xx составим уравнение по II закону Кирхгофа для контура цепи, обозначенного на рис. 1.4 и включающего в себя участок *AС* с напряжением *U*xx:**

****

**так как *I*1x= *J*, то из вышеприведенного выражения следует, что для определения *U*xx необходимо вычислить ток *I*4x:**



**Методом двух узлов определим**



**Тогда *U*хх = –1,406 В.**

**Для подсчета *R*вх относительно зажимов ветви 2 необходимо из цепи, показанной на рис. 1.4, образовать пассивную цепь (рис. 1.5).**

**Тогда**

****

**Окончательно получаем**



**что совпадает с результатом, полученным в разделах 4.2 и 4.3.**

**1.4.6. Метод наложения**

### Определим ток *I*2 методом наложения в соответствии с разделом 1.3.6.

### Подлежащая расчету цепь представляет собой суперпозицию трех подсхем (рис. 1.6).

**Рассчитаем составляющую тока второй ветви от действия источника ЭДС *E*1 (рис. 1.6, *а*), для чего воспользуемся законом Ома:**



**Рассчитаем составляющую тока второй ветви от действия источника ЭДС *E*6 (рис. 1.6, *б*), для чего сначала определим ток  по закону Ома:**

****

**По формуле токов в параллельных ветвях определим ток ,**

****

**Воспользовавшись формулой токов в параллельных ветвях, определим искомый ток ,**

****

**Для определения составляющей тока второй ветви  от действия источника тока  необходимо преобразовать треугольник сопротивлений  в эквивалентную звезду (рис. 1.6, *в*, *г*) с сопротивлениями**

****

**и треугольник сопротивлений  в эквивалентную звезду (рис. 1.6, *д*) с сопротивлениями**

****

**После преобразований ток  определяется по формуле токов в параллельных ветвях,**

****

**Полный ток**

****

**Полученный результат совпадает со значением, полученным другими методами.**

1. **При расчете собственной и общей проводимостей не учитываются ветви с источниками тока, проводимость которых полагается равной нулю.** [↑](#footnote-ref-2)