



4-5

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ИГУ»)

Расчет параметров электрической цепи с параллельным соединением

Методические рекомендации

Иркутск 2012

Печатается по решению научно-методического совета кафедры
общей и космической физики
Иркутского государственного университета

Кратко рассматриваются расчет основных характеристик простейших электрических цепей. Студентам предлагается собрать некоторую электрическую цепь, с помощью закона Ома рассчитать её параметры и проследить, как меняются эти параметры с изменением количества элементов экспериментальной цепи.

Предназначены для студентов 1 курса естественных факультетов.

Составитель: к.ф.-м.н., ст. преп. Черных Алексей
Андреевич
(кафедра общей и космической физики)

Цель работы: научиться с помощью закона Ома рассчитывать основные параметры электрической цепи; научиться собирать электрические цепи, строить и анализировать графики экспериментальных зависимостей.

Приборы и принадлежности: источник постоянного напряжения (6.5 В), ламповый реостат, амперметр на 10 А, вольтметр на 15 В, соединительные провода.

Краткая теория

Если в проводнике создать электрическое поле, то носители заряда придут в упорядоченное движение: положительные в направлении поля, отрицательные в противоположную сторону. **Упорядоченное движение зарядов называется электрическим током.** Ток может течь в твердых телах (металлах, полупроводниках), в жидкостях (электролитах), в газах (газовый разряд), в вакууме (пучки электронов, ионов, протонов). Его принято характеризовать силой тока - скалярной величиной, равной заряду, переносимому носителями через рассматриваемую поверхность (например, через поперечное сечение проводника) в единицу времени. Если за время dt переносится заряд dq , то сила тока i по определению равна

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Закон Ома

В 1827 г. немецкий физик Г. Ом, проведя серию точных экспериментов, установил один из основных законов электрического тока, который гласит: постоянный электрический ток в участке электрической цепи прямо пропорционален напряжению на этом участке. Закон Ома имеет различные формы записи. В **дифференциальной форме** для участка цепи без ЭДС он имеет следующий вид:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

где j – плотность тока [A/m^2], векторная величина.

σ – удельная проводимость [$1/(Om \cdot m)$].

E – напряженность электрического поля [V/m], векторная величина.

Рассмотрим прямолинейный проводник постоянного сечения S :

тогда можно записать:

$$I = j \cdot S = \sigma \cdot E \cdot S = \sigma \frac{U}{l} S = \frac{U}{\frac{l}{\sigma S}} = \frac{U}{R}, \text{ итого:}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Это **интегральная форма** записи закона Ома для участка цепи без ЭДС. Закон Ома выражает математическое соотношение между напряжением U , током I и сопротивлением R на участке цепи с сопротивлением.

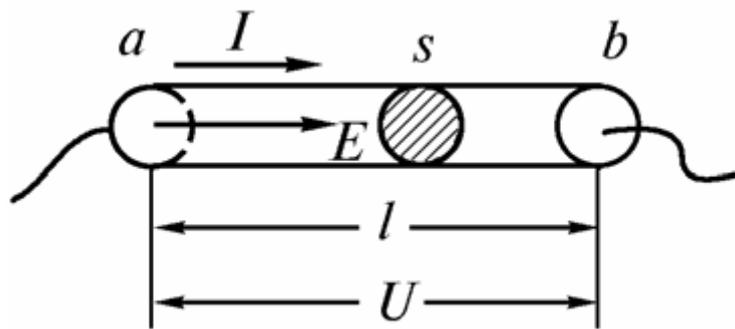


Рис. 1. Электрический ток

В замкнутой цепи с постоянным сопротивлением ток изменяется пропорционально приложенному напряжению.

Если при постоянном напряжении изменяется сопротивление, то ток изменяется обратно пропорционально сопротивлению.

Электрическое сопротивление R прямо пропорционально длине проводника l и обратно пропорционально площади поперечного сечения проводника S :

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где $\rho = \frac{1}{\sigma}$ [1 Ом·м] - удельное сопротивление проводника.

Удельное сопротивление получено экспериментально для всех материалов и приведено в справочниках. Обмотки реостатов и нагревательных приборов изготавливают из сплавов с большим удельным сопротивлением.

Последовательное соединение резисторов

Если несколько резисторов соединены один за другим без разветвлений и по ним протекает один и тот же ток $I = const$, такое соединение называется **последовательным** (рис. 1.а). Обозначим сопротивления отдельных резисторов через R_1, R_2, R_3 , а напряжения на них соответственно U_1, U_2, U_3

По второму закону Кирхгофа имеем

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Разделим обе части данного уравнения на ток I

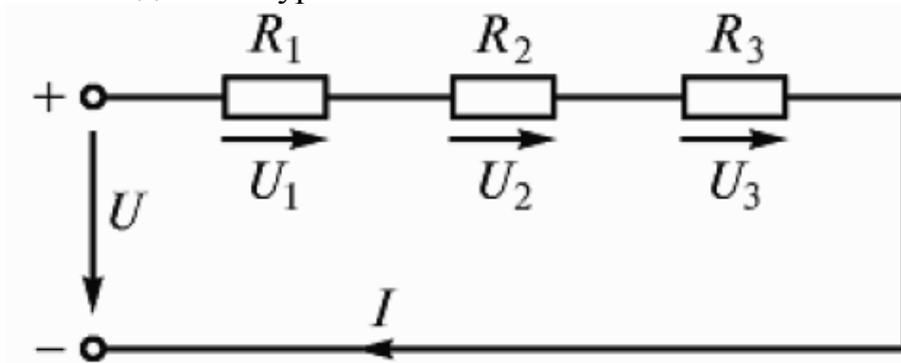


Рис. 2. Последовательное соединение проводников в результате получим

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I}$$

или

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$$

Таким образом, при последовательном соединении эквивалентное или общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных участков цепи. В общем случае

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i$$

где n – число последовательно соединенных резисторов. n

Ток в этой цепи

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}}$$

Напряжения на отдельных участках определяются по формулам

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3$$

Последовательное соединение приемников энергии широко применяется в различных областях техники. Оно используется обычно в тех случаях, когда расчетное напряжение приемника меньше напряжения источника электрической энергии.

Параллельное соединение резисторов

Параллельным соединением приемников называется такое соединение, при котором к одним и тем же двум узлам электрической цепи присоединяется несколько ветвей (рис. 1). При параллельном соединении все резисторы или любые другие нагрузки находятся под одинаковым напряжением $U=const$.

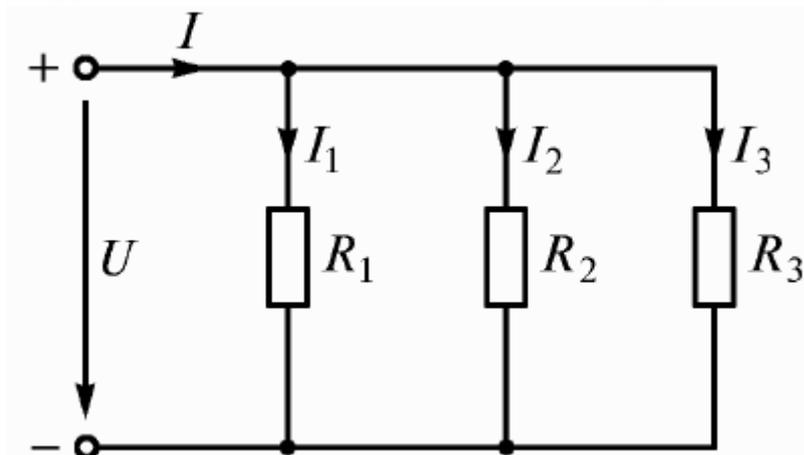


Рис 3. Параллельное соединение проводников

В каждой ветви протекает свой ток. Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Величина тока ветви зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви в соответствии с законом Ома

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного (полного) сопротивления цепи

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}}$$

Для вычисления эквивалентного сопротивления цепи служит формула

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Для цепи с двумя параллельно соединенными резисторами

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Параллельное соединение имеет свои особенности: все приемники находятся под одним напряжением; при неизменном напряжении отключение одного или нескольких приемников энергии не нарушает режима работы оставшихся включенными приемников.

Мощность тока

Пусть на концах участка цепи существует и поддерживается напряжение U . Тогда за время t через любое сечение проходит заряд $q = I \cdot t$, это равносильно переносу силами электрического поля заряда q с одного конца проводника на другой. Работа по переносу заряда совершается кулоновскими и сторонними силами и равна:

$$A = qU = IUt = I^2 R t$$

Мощность, выделяющаяся на некотором элементе цепи при протекании по нему тока, можно определить по формуле:

$$P_i = \frac{A_i}{t} = U_i I_i,$$

где U_i и I_i – ток и напряжение на этом i -том элементе (проводнике, лампочке и т.п.). Тогда суммарная мощность тока, потребляемая данной электрической

цепью будет равна $P = \sum_{i=1}^n P_i$.

Порядок выполнения работы

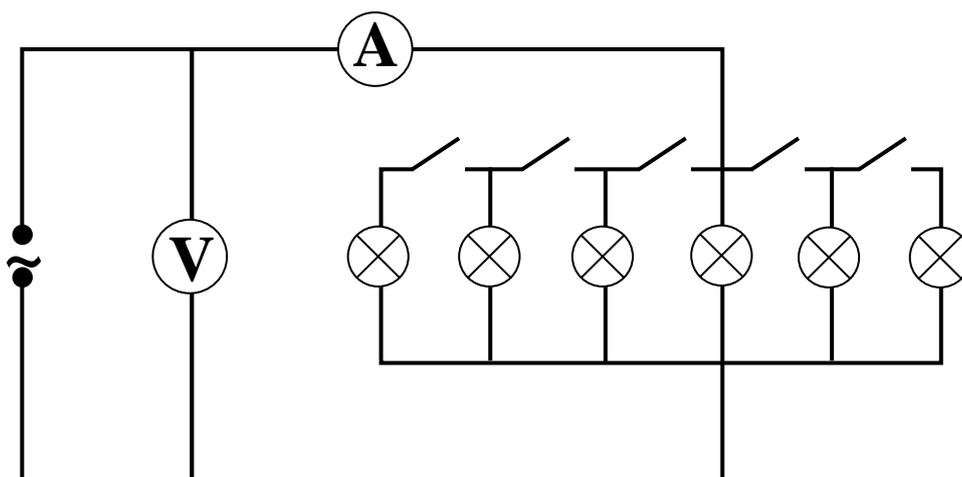


Рис.4. Схема эксперимента

- 1) Собрать электрическую цепь по следующей схеме (рис.4.)
- 2) Проверить цепь, показав преподавателю.
- 3) Включить источник питания, включить все лампочки.
- 4) Определить цену деления амперметра и вольтметра.
- 5) Измерить значения напряжения и тока. Выключая последовательно по одной лампочке, измерить напряжение и ток. Данные занести в таблицу, где n – число горящих лампочек, U – показания вольтметра в В, I – показания амперметра в А. В таблице будет $N+1$ измерений, где N – общее количество лампочек (последнее измерение, когда выключены все лампочки).
- 6) По закону Ома рассчитать общее сопротивление $R_{общ}$ для каждого измерения.
- 7) Рассчитать потребляемую цепью мощность для разного количества горящих лампочек.
- 8) Построить **четыре** графика для всей цепи с лампочками:
 - зависимость **общего** сопротивления $R_{общ}$ от количества лампочек, $R_{общ}(n)$;
 - зависимость **общего** напряжения U от количества лампочек n , $U(n)$;
 - зависимость **общего** тока I от количества лампочек n , $I(n)$;
 - зависимость **общей** мощности P от количества лампочек n , $P(n)$.
- 9) Проанализируйте графики, сопоставьте с формулами и объясните, почему именно так меняются $R_{общ}$, U , I , P с изменением числа горящих лампочек n . Соответствуют ли ваши экспериментальные графики теоретическим зависимостям? Если нет, то объясните почему (ответ запишите в протокол).

Контрольные вопросы

1. Выведете формулу расчёта общего сопротивления параллельно соединённых проводников.
2. Чему соответствует показание вольтметра при выключенных лампочках? Чему соответствуют показания того же вольтметра при включении лампочек? Почему на вольтметре наблюдается падение напряжения в цепи по мере **включения** лампочек?
3. Как рассчитывается, когда применяется, и как включается добавочное сопротивление к вольтметру?
4. Почему электрические (бытовые в том числе) приборы и осветительные лампы в помещениях включаются в сеть параллельно друг к другу, а лампочки в ёлочной гирлянде – последовательно?
5. Рассчитайте, какое количество лампочек, аналогичных тем, что были у вас в эксперименте, необходимо соединить в ёлочную гирлянду так, чтобы при включении в сеть (~ 220 В) ничего не сгорело.