

Проблемы электрического тока и напряжения

Нечипуренко Николай Алексеевич

г. Энергодар, Запорожская обл.

Связь с автором: nikola-nech@yandex.ua.

1. Направление электрического тока

Направление электрического тока, оказывает существенное влияние на происходящие в электрических цепях процессы. От направления тока зависит направление вращения электродвигателей, и это свойство электродвигателей успешно используется в процессе управления электроприводами. Некоторые электронные приборы не допускают даже кратковременного прохождения тока в непредусмотренном, так называемом, обратном направлении, потому как токи таких направлений приводят к невосстанавливаемым повреждениям полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров и т. п.). От направления электрического тока зависит то, на какой из двух электродов будет нанесен слой металла в процессе гальванического покрытия. Перечень процессов, конечный результат которых зависит от направления тока, можно было бы продолжать, но и приведенных примеров достаточно, для того, чтобы убедиться, настолько значимо направление тока для происходящих в электрических цепях процессов.

Направление электрического тока уместно было бы совместить с направлением упорядоченного движения зарядов проводимости (с направлением движения свободных электрических зарядов), но совмещение этих двух направлений не представляется возможным.

Считается, что в электрической ветви, которая на всем своем протяжении не имеет ответвлений, как и на всем протяжении уединенного токопроводящего контура, течет один и тот же ток. Однако только свободные электроны, содержащиеся в металлических соединительных проводниках, движутся в одном направлении, а в аккумуляторной батарее G , изображенной на рис. 1, и в гальванической ванне R протекание тока сопровождается встречным движением ионов, обладающих разноименными электрическими зарядами. К этому можно добавить, что в газах электрическим током является одновременное встречное движение положительных ионов и отрицательных электронов, а электрический ток, текущий в полупроводниках, – это одновременное встречное движение дырок и электронов (полупроводники обладают электронно-дырочной проводимостью). С учетом этого можно считать, что выражение: «электрический ток – это упорядоченное движение свободных электрических зарядов» является каким-то урезанным – незавершенным определением тока.

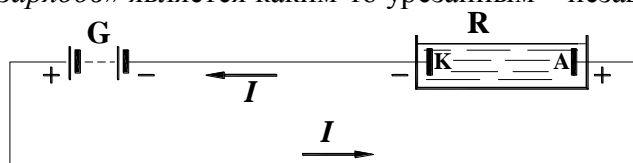


Рис. 1. Цепь замкнутого электрического контура

Для электрического тока завершённым, более полно отображающим суть явления, будет следующее определение: **электрический ток – это одновременное встречное упорядоченное движение разноименных свободных зарядов.** А то однонаправленное движение свободных электронов, которое происходит в металлических проводниках, – это хотя и часто встречающееся явление, но это не более чем исключение из общего правила, гласящего о встречном движении разноименных зарядов.

Если электрический ток – это одновременное встречное движение разноименных зарядов, то очевидно, что **направление электрического тока можно совместить с направлением движения зарядов проводимости только одного какого-либо знака.**

При протекании тока I положительные ионы, которые содержатся в электролите, заполняющем гальваническую ванну R (рис. 1), перемещаются в сторону катода K , который обладает отрицательным потенциалом. Достигнув катода, положительный ион заимствует у металлического катода K свободный электрон. В процессе заимствования электрона положительный ион восстанавливается и превращается в нейтральный атом или нейтральную молекулу. Одновременно с этим отрицательный ион, достигнув анода A , отдает аноду свой избыточный электрон и превращается в нейтральный атом, а отданный аноду электрон продолжает свое движение в металлическом проводнике уже в качестве свободного электрона. Результатом такого обмена является то, что количество свободных электронов в металлических проводниках остается неизменным, а сама токопроводящая цепь, в общем объеме своем, сохраняет электрическую нейтральность

На всем протяжении замкнутого контура (рис. 1) течет один и тот же ток I – это означает, что через любое поперечное сечение токопроводящей цепи контура, за одинаковые промежутки времени, перемещается одинаковое количество элементарных электрических зарядов. При этом если за каждую единицу времени через поперечное сечение металлического проводника перемещается N свободных электронов, то за это же время через поперечное сечение токопроводящей цепи (через электролит) аккумуляторной батареи G и гальванической ванны R , перемещается N элементарных **разноименных** зарядов, которые принадлежат разноименным ионам, движущимся в **противоположных** направлениях. Следовательно, при протекании тока в изображенном на рис. 1 контуре, некоторая часть **положительных** ионов, которые упорядоченно движутся в электролитах в одном направлении, заменяется равновеликим количеством **отрицательно** заряженных электронов, движущихся в металлических проводниках в противоположном направлении.

Получается так, что в процессе реального протекания тока, в реально действующих электрических цепях заряды проводимости одного знака (положительные ионы), движущиеся в одном направлении, автоматически заменяются зарядами проводимости другого знака (отрицательными свободными электронами), которые движутся в противоположном направлении. И если мы не только не задумываемся о последствиях таких замен, но и без особой надобности не обращаем на эти замены никакого внимания, то очевидно, что такие замены допустимы и в процессе теоретических выкладок.

Следовательно, при определении направления тока можно и целесообразно придерживаться той **условности**, что в проводниках электрического тока содержатся одни только положительные заряды проводимости и только эти заряды участвуют в упорядоченном движении. Вот поэтому и можно считать, что *в любой электрической цепи направление упорядоченного движения положительных зарядов (положительных ионов и положительных дырок) всегда совпадает с условным направлением электрического тока, а движение отрицательных зарядов (движение свободных электронов и отрицательных ионов) всегда встречно условному направлению тока*. Такое условное направление тока могло быть принято в те далекие времена, когда только начинали применять первые электроизмерительные приборы **магнитоэлектрической** системы.

На рис. 2 представлены два изображения, которые отличаются только тем, что движение положительных зарядов (вектор v_+ , рис. 2-а) противоположно направлено движению отрицательных зарядов (вектор v_- , рис. 2-б), во всем остальном рис. 2-а совпадает во всех деталях с рис. 2-б.

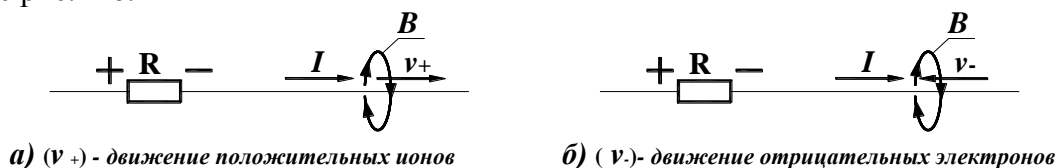


Рис. 2. Магнитные и электрические поля, наводимые в процессе протекания тока

На рис. 2-а и рис. 2-б совпадают направления токов I , совпадают направления наведенных этими токами магнитных полей B , совпадают полярности разностей потенциалов,

присутствующие на выводах резистора R и обозначенные значками (+), (-).

Следовательно, если электрическим током I является упорядоченное движение положительных зарядов (положительных ионов), которые движутся слева-направо (рис. 2-а), то в электрической ветви происходят такие же процессы, как и при движении отрицательных свободных электронов в противоположном направлении – справа-налево (рис. 2-б). Это означает, что замена *реальных* разноименных зарядов проводимости, одними только *условными* положительными зарядами, не приводит к искажению параметров наведенного током *магнитного поля* и не влияет на характеристики *электрических полей*, наводимых в процессе протекания тока. Это и является основанием для того, что бы в процессе теоретических рассуждений, реальные отрицательные заряды проводимости, движущиеся в одном направлении, заменять условными положительными зарядами, движущимися в противоположном направлении. Следовательно, *в процессе теоретических рассуждений допустимо считать, что электрическим током является упорядоченное движение одних только положительных свободных зарядов.*

Внутри электровакуумных приборов (в электронных лампах) электрическим током являются отрицательные электроны, упорядоченно движущиеся от катода к аноду. Может возникнуть вопрос, как определяется направление тока, текущего в электровакуумных приборах? При определении направления тока, текущего в электровакуумных приборах, в полупроводниковых приборах, и в токопроводящих цепях любых других устройств пользуются единым правилом: *направление тока всегда совпадает с направлением движения положительных зарядов, а движение отрицательных зарядов всегда встречно направлению тока.* Если при анализе сложных электрических цепей или при расчете параметров этих цепей придерживаться этого правила, то результаты анализа или расчета совпадут с показаниями измерительных приборов, подсоединенных к характерным точкам указанных цепей. Вместе с тем, помня о том, что движение отрицательных электронов всегда встречно направлению тока, нам никто не запрещает при знакомстве с устройством и принципом действия, например, той же электронной лампы учитывать реальное направление движения электронов.

Заряды проводимости, содержащиеся в проводниках электрического тока, находятся в состоянии непрерывного хаотического движения, и если появляется электрический ток, то хаотическое движение не прекращается, а всего лишь дополняется составляющей упорядоченного перемещения. В некоторых случаях приходится рассматривать траектории зарядов проводимости, а значения скоростей хаотического движения зарядов могут на многие порядки превосходить значение скорости упорядоченного движения. Однако *нет никакой необходимости в учете составляющей хаотического движения потому, что хаотическое движение зарядов не оказывает влияния на конечный результат, являющийся следствием течения тока.* Это обстоятельство позволяет пренебрегать хаотической составляющей движения зарядов, и учитывать только составляющую упорядоченного движения зарядов. В этом случае форма траектории упорядоченно движущихся зарядов проводимости будет повторять форму продольной оси проводника, в котором течет электрический ток.

Предположение о существовании одних только положительных зарядов проводимости и пренебрежение хаотической составляющей движения зарядов проводимости не искажают сути происходящих в электрических цепях процессов, и вместе с тем такие условности значительно упрощают саму процедуру рассмотрения этих процессов.

2. Электрический ток – это скалярная или векторная величина?

Мы настолько много говорили о направлении электрического тока, что не должно возникать сомнений в том, что электрический ток – это векторная величина, которая характеризуется численным значением и направлением. Однако если в поисковую строку Яндекса ввести запрос: «Электрический ток – это скалярная или векторная величина?», то исчерпывающего ответа на введенный запрос мы не получим. Установить истину не удастся по

той простой причине, что в одних публикациях, отвечающих на наш запрос, электрический ток представляется векторной величиной, а в других источниках информации электрический ток однозначно считается скалярной величиной. Чтобы разобраться в сложившейся ситуации обратимся к математике и выясним, для начала, что является вектором, а что – скаляром.

Вот выдержки из справочника по высшей математике [3]: «*Векторной величиной*, или *вектором* (в широком смысле), называется *всякая* величина, обладающая направлением. *Скалярной величиной*, или *скаляром*, называется величина, не обладающая направлением».

А теперь приведем определение электрическому току, скопированное из сборника ГОСТов: «ГОСТ Р52002-2003 *Электротехника. Термины и определения основных понятий. Государственный стандарт Российской Федерации*»:

«43 (электрический) ток проводимости

Явление направленного движения свободных носителей электрического заряда в веществе или в пустоте, количественно характеризуемое скалярной величиной, равной производной по времени от электрического заряда, переносимого свободными носителями заряда сквозь рассматриваемую поверхность».

Направленное движение, количественно характеризуемое *скалярной* величиной, так сказано в ГОСТах. Однако «направленное движение» априори имеет направление, и поэтому должно считаться векторной величиной. Возникает вопрос, а нет ли в ГОСТовском определении тока каких-то изъянов?

Чтобы ответить на этот вопрос обратимся еще раз к справочнику по высшей математике [3], где сказано, что графически векторная величина изображается вектором. Вектор – это линия со стрелкой, указывающей направление, длина этой линии прямо пропорциональна численному значению векторной величины, а далее приведем дословный текст из справочника: «Длина вектора называется так же *модулем*. Модуль есть *скалярная величина*». Вот это, по-видимому, и явилось причиной того, что ГОСТ характеризует *направленное* движение *скалярной* величиной, а уж дальше пошло-поехало.

Некоторые авторы публикаций или изданий решили, полагаясь на ГОСТы, что электрический ток – это скалярная величина, а другие авторы остались уверенными в векторном характере электрического тока. Однако *значение электрического тока, то есть скорость, с которой происходит направленное движение зарядов – это векторная величина, которая характеризуется и направлением и численным значением (модулем)*.

А как быть с ГОСТовским утверждением о скалярном характере электрического тока? Может надо искать изъяны в математике. Но в математике нет никаких изъянов. Согласно математическим трактовкам векторные величины характеризуются направлением и численным значением. И если мы, решая какую-либо задачу, будем учитывать численное значение и направление тока, равного, например, пяти амперам, то при одном направлении этого тока он будет иметь значение $I = +5 A$, а значение $I = -5 A$ будет соответствовать противоположному направлению тока. Однако существуют задачи, при решении которых учет направления приведет к искажению конечного результата. В связи с этим в математике и было введено понятие «*абсолютное значение численной величины*».

Абсолютное значение не может отображать какое-либо направление. И модуль векторной величины не может отображать направление потому, как модуль любой векторной величины в математике принято считать скаляром, что равносильно абсолютному значению. Однако, решая одни задачи, мы вынуждены учитывать модуль – абсолютное (скалярное) значение тока, например, $|I|=5 A$. А при решении других задач мы обязаны использовать векторное значение тока: $\vec{I} = \pm 5 A$, и это известно всем, кто систематически занимается решением практических задач. Следовательно, ГОСТовское утверждение о том, значение тока количественно характеризуется *только* скалярной величиной, является ошибочным, *значение тока можно оценить и скалярной величиной и векторной значением*.

Для тех, кто остался уверенным в скалярном характере электрического тока, приведу еще один пример. При длительном протекании тока одного направления, текущего в цепи

электрической емкости значение напряжения на выводах емкости непрерывно увеличивается. Изменение направления тока приводит к уменьшению напряжения, ранее увеличившегося до определенного значения. Ну, и как же после всего этого можно утверждать, что значение электрического тока – это скалярная – не имеющие направления – величина?

Интенсивность механической силы или скорости можно оценить скалярным численным значением – модулем, но при знакомстве с силой и скоростью выделяют наиболее примечательные особенности этих величин, вот поэтому силу и скорость всегда считают векторными величинами. Так же, по-видимому, необходимо относиться и к электрическому току. Значение электрического тока – это в первую очередь векторная величина, но никто не запрещает нам пользоваться абсолютными (скалярными) значениями этих величин. А трактовки «так и только так» из теории электричества необходимо искоренять. Недопустимо считать, что значение тока – это однозначно скаляр, **значение тока – это в первую очередь векторная величина.**

Необходимо отметить, что в текстах многих публикаций, да и при простом разговорном общении, выражениям «ток» или «электрический ток» придают такое же смысловое значение, как и выражениям «значение электрического тока» или «сила электрического тока». По-видимому, и каждому из нас, в силу исторически сложившихся традиций, позволено придавать одно смысловое значение выражениям: «ток», «электрический ток», «значение электрического тока» «сила электрического тока». Но, пользуясь указанными выражениями, необходимо все-таки не забывать о существующих смысловых различиях этих выражений, «значение электрического тока» или «сила электрического тока» – это векторная величина, обладающая направлением и численным значением, а «ток» или «электрический ток» – это безразмерное физическое явление, означающее движение, то есть перемещение электрических зарядов.

Кстати, в сборнике ГОСТов нет выражения «**сила электрического тока**», там для определения интенсивности упорядоченного движения зарядов используются выражение «**значение тока**». И, по-видимому, это правильно. Если до сегодняшнего дня теоретики не разобрались с током и не могут уверенно определить значение тока – это вектор или скаляр, то использование выражения «сила электрического тока», под которым подразумевается скорость движения зарядов, ничего хорошего не даст. Под **силой** электрического тока подразумевают **скорость**, следовательно, сила тока – это **условная** сила, но помимо этой условной силы существуют и другие реально действующие в электрических цепях силы, и в отношении этих сил, как и в отношении силы тока, далеко не все однозначно и понятно. Так зачем же скорость называть силой и вносить тем самым дополнительные вопросы в теорию электричества?

3. Электрическое напряжение – это векторная величина!

Обратимся еще раз к сборнику: «ГОСТ Р52002-2003 *Электротехника. Термины и определения основных понятий*» и приведем два определения, скопированные из этого сборника:

«**28 электродвижущая сила; ЭДС**

Скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля и индуцированного электрического поля вызывать электрический ток».

«**29 (электрическое) напряжение**

Скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути».

А вот какую таблицу электромеханических аналогов (таблица 1) удалось обнаружить на странице 214 первой части учебного издания [2], допущенного Министерством высшего и среднего образования СССР в качестве учебника для студентов высших технических учебных заведений.

В таблице 1 собран наиболее полный перечень электромеханических аналогов, который удалось обнаружить автору этих строк, но существуют и другие учебники, в которых приводятся перечни электромеханических аналогов, и суть этих аналогов одинакова во всех учебниках, независимо от года издания того или иного учебника.

Таблица 1

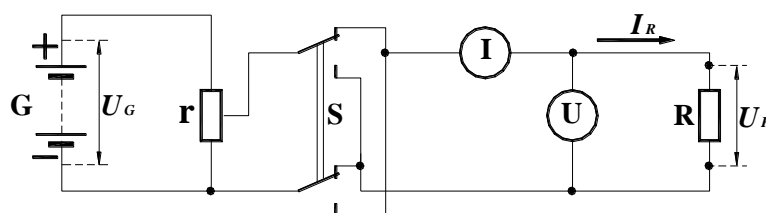
Механическая цепь	Электрическая цепь
Сила F (н) или вращающий момент M (Н·м)	Напряжение U (В)
Перемещение линейное x (м) или угловое φ (рад)	Заряд q (Кл)
Скорость линейная v (м/с) или угловая ω (рад/с)	Ток I (А)
Масса m (кг) или момент инерции J (кг·м ²)	Индуктивность L (Гн)
Податливость K^{-1} при поступательном движении (м/Н) или кручении (рад/Н·м)	Емкость C (Ф)
Коэффициент трения f при поступательном движении (кг/с) или вращении (кг·м ² /с·рад)	Активное сопротивление R (Ом)
Кинетическая энергия $(1/2)mv^2$ или $(1/2)J\omega^2$ (Дж)	Магнитная энергия $(1/2) \cdot LI^2$ (Дж)
Потенциальная энергия $(1/2)Kx^2$ или $(1/2)K\varphi^2$ (Дж)	Электрическая энергия $(1/2) \cdot CU^2$ (Дж)
Мощность от трения $f v^2$ или $f \omega^2$ (Вт)	Мощность в сопротивлении RI^2 (Вт)
Мощность Fv или $M\omega$ (Вт)	Мгновенная мощность ui (Вт)

Примечание к таблице. Заряды проводимости, как и связанные электрические заряды, равномерно распределены во всем объеме однородного по химическому составу проводника. Поэтому если площадь поперечного сечения проводника неизменна вдоль всей его длины, то в каждой единице длины такого проводника содержится одинаковое количество (одинаковая величина) зарядов проводимости и одинаковое количество связанных зарядов. На основании этого и делается заключение о том, что электрический заряд – это аналог длины проводника (аналог расстояния) или, что в принципе одно и то же, электрический заряд – это аналог перемещения.

Согласно данным, включенным в таблицу ЭМ аналогов электрическое напряжение – это аналог механической силы, следовательно, электрическое напряжение является такой же векторной величиной, как и сила. Однако по определению ГОСТа электрическое напряжение – это скалярная величина. И это явилось причиной того, что в отношении напряжения, также как и в отношении тока, мнение авторов различных публикаций разделились. Некоторые авторы приписывают напряжению скалярный характер, а другие авторы убеждены в том, что электрическое напряжение – это, вне всякого сомнения, векторная величина. Чтобы разобраться в этих противоречиях рассмотрим схему, представленную на рис. 3.

С помощью переменного резистора r (рис. 3) можно изменять значение напряжения U_R , подводимого к выводам резистора R , а двухполюсный переключатель S позволяет изменять полярность напряжения U_R .

Вольтметр U и амперметр I (рис. 3) – это стрелочные приборы магнитоэлектрической системы, с помощью которых измеряются не только численные значения тока I_R и напряжения U_R , но и определяется направление этого тока и полярность (направление) напряжения.

Рис. 3. Зависимость значения тока I_R от значения напряжения U_R

Экспериментируя со схемой, представленной на рис. 3, не составит труда убедиться в том, что значение тока I_R , текущего в резисторе R , находится в прямой пропорциональной зависимости от значения напряжения U_R , что вполне ожидаемо, так как это соответствует закону Ома: $I_R = U_R/R$, а направление тока I_R находится в строгой зависимости от полярности (от направления действия) напряжения U_R .

Резистор R обладает определенным значением активного сопротивления, а активное сопротивление противодействует течению тока. Подобно тому, как в механических системах силы трения противодействуют движению, так и активное сопротивление противодействует

течению тока. Следовательно, обязательно должна существовать сила, которая, преодолевая противодействие активного сопротивления, поддерживает течение тока I_R , поэтому значение этого тока и его направление будет зависеть от значения и направления действия силы, поддерживающей течение тока.

Можно морочить всем голову и придумывать какие-то мифические силы, которые поддерживают течение тока в электрических цепях. Но результаты опытов, проведенных со схемой, представленной на рис. 3, и закон Ома – основной закон теории электричества – свидетельствуют о том, что **силой, поддерживающей течение тока, является не что иное, как электрическое напряжение, поэтому значение напряжения – это векторная величина.**

Разность электрических потенциалов – электрическое напряжение – появляется на выводах индуктивных элементов и на выводах источников электроэнергии и является результатом действия электродвижущей силы (ЭДС). Следовательно, если электрическое напряжение, будучи векторной величиной, является результатом действия ЭДС, то и сама ЭДС – **это векторная величина – аналог силы, действующей в механической системе (аналог силы, развиваемой насосом, перекачивающим жидкость).**

В заключение необходимо обратить внимание на тот факт, что наука разминулась с **эфиром** только потому, что никто всерьез не занимался силами, поддерживающими электрический ток и противодействующими току, текущему в электрических проводниках. Если же всерьез заниматься силами, действующими в электрических цепях, то невозможно не заметить **эфира** – среды распространения электромагнитных волн.

Эфир – это могильщик Теории относительности (ТО) Эйнштейна, а представители администрации от официальной (академической) науки приходят в ужас от возможных последствий, вызванных крушением ТО. Крах ТО – это революция во всех областях науки. А какому администратору, пригревшему уютное государственное кресло, понравится какая-то революция, вносящая в умы и души смуту и, как следствие, угрожающая покою и благополучию самих администраторов. Вот и спускаются низам директивы, запрещающие критиковать ТО или заниматься работами, суть которых вступает в противоречие с положениями ТО. Любому администратору – человеку, зачастую, весьма далекому от науки, совершенно непонятно, что можно нарыть, занимаясь силами, действующими в электрических цепях, поэтому администрация не заинтересована в изучении этих сил. Возможно – это является причиной той векторно-скалярной путаницы, которая связана с электрическим током и напряжением, и причиной того, что абсолютное большинство специалистов, занимающихся электротехникой, не находят принципиальной разницы между ЭДС и напряжением, а разработчики ГОСТов уверены в скалярном характере ЭДС и напряжения.

Более подробную информацию об эфире и о силах, действующих в электрических цепях, можно найти на сайте <http://sites.google.com/site/nikolanech/>.

Литература

1. Кузнецов М. И. Основы электротехники. Издательство «Высшая школа». Москва, 1970.
2. Атабеков Г. И., Тимофеев А. Б., Хухриков С. С., Купалян С. Д. Теоретические основы электротехники. В трех частях. Издательство «Энергия», Москва, 1970.
3. М. Я. Выгодский. Справочник по высшей математике. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва 1963.