

Электрическое напряжение и ЭДС, об этом ещё не все сказано

Нечипуренко Николай Алексеевич г. Энергодар, Запорожская обл.

Связь с автором: E-mail: nikolanech@gmail.com.

ГОСТ Р 52002-2003 **Электротехника. Термины и определения основных понятий.** В этом ГОСТ на позициях 28, 29 содержатся следующие определения:

28 электродвижущая сила; ЭДС: «Скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля и индуктированного электрического поля вызывать электрический ток».

29 (электрическое) напряжение: «Скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути».

ГОСТ устанавливает, что электрическое напряжение и ЭДС – это скалярные величины, а вот теоретики всех мастей и рангов усердно и весьма часто малюют диаграммы, на которых **векторами** изображают напряжение и ЭДС, а практики пошли ещё дальше. Понастроили всяких там осциллографов, на экранах которых наблюдают синусоиды напряжения, но синусоида – это и есть развёрнутый во времени график **вектора** электрического напряжения, а это уже нарушения ГОСТ. Всякие нарушения ГОСТ – это не шалости и не безобидные шутки.

Систематические сознательные нарушения ГОСТ могут квалифицироваться, как преступления, следовательно, всякие там теоретики и практики, тянут, в принципе, на статью. Но теоретики и практики не впадайте в уныние и спокойно занимайтесь векторами электрического напряжения и ЭДС, потому как вы правы, а ГОСТ ошибается, и это доказуемо.

На стр. 139 учебного пособия [3] и во многих других источниках есть утверждение, что **отношение работы A , совершаемой любым электрическим полем при перемещении положительного заряда произвольной величины q из одной точки поля в другую, к значению этого заряда называется электрическим напряжением U между этими двумя точками:**

$$U = \frac{A}{q} \quad (1)$$

Если работа A совершается в процессе перемещения заряда произвольной величины q , и эта работа делится на величину этого заряда q , то это означает, что с помощью уравнения (1) определяется значение работы, совершаемой в процессе перемещения единичного заряда.

Значение работы A равно количеству энергии W , преобразованной в процессе совершения работы: $A=W$. В числитель правой части уравнения (1) входит значение работы (энергии). Иногда звучат утверждения, что энергия W – это скалярная величина, поэтому, если напряжение U пропорционально работе (энергии), то и само напряжение является скалярной величиной.

Напряжение U пропорционально работе: $U \sim A$, но оно ещё и обратно-пропорционально заряду q , поэтому, даже согласившись с тем утверждением, что энергия скалярная величина, нельзя утверждать (нельзя утверждать однозначно), что и напряжение – это скалярная величина.

Значение работы A равно силе F , сопровождающей движение, умноженной на пройденное зарядом расстояние s :

$$A = Fs \quad (2)$$

Подставив правую часть уравнения (2) в числитель левой части уравнения (1), получим:

$$U = \frac{Fs}{q} \quad (3)$$

Все заряды, содержащиеся внутри проводника, независимо от того течёт в нём ток или нет, постоянно находятся под влиянием электрических сил – это силы взаимного притяжения разноименных зарядов и силы отталкивания одноименных зарядов. Эти силы не допускают накопления избыточных зарядов в отдельных областях проводника и появления в результате этого разности потенциалов внутри проводника, поэтому свободные заряды **весьма равномерно** распределены в объеме проводника (заряд q равномерно распределён вдоль проводника). Получается так, что свободные заряды образуют линейный заряд, равномерно распределённый вдоль проводника – это и является основанием для утверждения, что **электрический заряд – это**

аналог расстояния (аналог длины проводника). Следовательно, расстояние s и величина заряда q , входящие в уравнение (3) подлежат взаимному сокращению, и нам необходимо это доказать.

Заряд q перемещается в процессе протекания тока I , значение которого определяется с помощью уравнения: $I=q/t$, преобразовав это уравнение можно определить величина заряда q , переместившегося в проводнике за время t :

$$q = It \quad (4)$$

В знаменатель правой части уравнения (3), вместо заряда q , необходимо подставить правую часть уравнения (4), после чего получим:

$$U = \frac{Fs}{It} \quad (5)$$

Уравнения (1), (3), (5) – это одно уравнение, представленное в трёх формах записи.

Значение тока I определяет интенсивность (скорость) упорядоченного движения свободных зарядов, и эта скорость измеряется амперами (A). В учебнике «Физика» [4] на стр.175-176 рассмотрен пример определения скорости упорядоченного движения свободных зарядов, и единицей измерения этой скорости является метр за секунду (m/c).

Между ампером и метром за секунду, в общем случае, нет прямой пропорциональной зависимости, но для однородного по химическому составу проводника, поперечное сечение которого неизменно вдоль всей его длины, можно определить величину всех свободных зарядов, содержащихся в каждой единице длины этого проводника. После этого не составит труда определить скорость движения свободных зарядов, исчисляемую в метрах за секунду, значение которой будет пропорционально току, выраженному в амперах.

Например, если в каждом метре проводника содержатся свободные заряды, суммарная величина которых составляет $q=1000$ Кл и заряды **равномерно распределены** в объеме проводника, то при скорости движения свободных зарядов $v=0,033$ м/с, через поперечное сечение проводника в продолжение каждой секунды перемещается заряд величиной **33 Кл**, что соответствует току **33 А**, а если скорость уменьшается до $v=0,001$ м/с, то и значение тока уменьшается до **1 А**. Следовательно, в однородных по составу и сечению проводниках скорость упорядоченного движения свободных зарядов, исчисляемая метрами за секунду, находится в прямой пропорциональной зависимости от этой же скорости, выраженной в амперах.

Если в однородном по составу проводнике, обладающем неизменным поперечным сечением, в результате протекания тока, свободные заряды, двигаясь упорядоченно, за время t переместились на расстояние s , то скорость v движения зарядов определяется уравнением

$$v = \frac{s}{t} \quad (6)$$

Скорость, определяемая уравнением (6), имеет размерность метр за секунду (m/c), и численное значение этой скорости оказывается в прямой пропорциональной зависимости, от этой же скорости, выраженной в амперах. Следовательно, в знаменатель правой части уравнения (5) вместо значения тока I , можно подставить правую часть уравнения (6):

$$U = \frac{Fs}{It} \sim \frac{Fs}{\frac{s}{t}t} \sim F \quad (7)$$

В левой части выражения (7) стоит знак равенства (=), а в средней и правой части этого выражения стоит знак пропорции (~) – это потому, что скорость v пропорциональна, но не равна току I , следовательно, электрическое напряжение U пропорционально силе F :

$$U \sim F \quad (8)$$

После определения коэффициент пропорциональности k , который устанавливает характер и степень зависимости U от F выражение (8) превратится в равенство:

$$U = kF \quad (9)$$

Следовательно, **электрическое напряжение U – это векторная электрическая сила, действующая на заряды проводника.**

Невозможно определить значение коэффициента k одновременно для всех проводников, потому что значение коэффициента k зависит и от поперечного сечения проводника, и от

материала проводника, но, по большому счёту, нам этот коэффициент k и не нужен, а упомянули о нём лишь для того, чтобы получить уравнение (9) и убедиться в том, что электрическое напряжение U – это векторная электрическая сила.

Может появиться вопрос, не ошибся ли автор текста при выполнении преобразований, позволивших получить уравнение (9)? Приведём ещё один пример, отвечающий на этот вопрос.

Электрическое поле характеризуется не только электрическим напряжением, но ещё и электрической напряжённостью, обозначим её символом ϵ . Электрическая напряжённость ϵ равна силе F , действующей на заряд произвольной величины q , который находится в определённой точке электрического поля:

$$\epsilon = \frac{F}{q} \quad (10)$$

Если в правую часть уравнения (3) вместо отношения F/q подставить значение напряжённости ϵ , то получим уравнение, отображающее взаимозависимость между электрическим напряжением U и электрической напряжённостью ϵ :

$$U = \epsilon s \quad (11)$$

Уравнение (9) и (11) составлены для участка электрической цепи однородной по составу и с неизменным поперечным сечением. Однако участками одной и той же реально существующей электрической цепи могут быть и медные, и алюминиевые, и какие-либо другие проводники, обладающими различными поперечными сечениями. Как быть в этом случае?

Любую электрическую цепь, обладающую столь угодно сложным составом и сечением, теоретически можно разбить на участки, обладающие однородной структурой и неизменным сечением, и для всех этих участков справедливыми будут уравнения (9), (11). Если уравнения (9), (11) подойдут для всех участков электрической цепи, то они подойдут и для всей цепи в целом. Уравнение (1) можно представить интегральной зависимостью, и это, не меняя физической сути уравнения (1), автоматически учитывает неоднородность электрической цепи.

В ГОСТ Р 52002-2003, который упоминался в самом начале статьи, на позиции 10 есть такое определение: «10 напряжённость электрического поля. Векторная величина, характеризующая электрическое поле и определяющая силу, действующую на электрически заряженную частицу со стороны электрического поля». Вместе с тем в справочнике [5] сформулировано правило, в соответствие с которым произведение векторной и скалярной величин даёт в результате векторную величину. Следовательно, если электрическая напряжённость ϵ является по определению ГОСТ векторной величиной, а расстояние s – скаляр, то произведение ϵs , находящееся в правой части уравнения (11), и само напряжение U является векторной величиной. И что же мы получили в итоге?

Определение ГОСТовской позиции 29 вступает в противоречия и с законами физики, и с правилами математики, более того определение самого ГОСТ Р 52002-2003 вступают во внутренние взаимные противоречия – определение 29 противоречит определению 10.

Уравнение (3), как любое другое математическое уравнение – это простое словесное изречение, зашифрованное условными символами, и если расшифровать уравнение (3), то получится следующее – электрическое напряжение U равно силе F , которая действует на суммарный заряд q , принадлежащий всем свободным зарядам, которые содержатся в участке электрической цепи, обладающей протяжённостью s . Можно по-другому трактовать уравнение (3), но если обойти (пропустить) то, что напряжение U равно или пропорционально силе F , то это будет искажённая (ложная) трактовка уравнения (3), отсюда вывод **электрическое напряжение U – это векторная силовая характеристика электрического поля.**

В поисковую строку Яндекса я ввел запрос: «Энергия – это скаляр или вектор». Из открывшихся на мой запрос ответов я выяснил, что энергия – это в одних случаях скалярная величина, и вместе с тем, энергия – это векторная величина в других случаях. Например, общее количество электроэнергии, выработанной электростанцией за определённый период времени, оценивается скалярной величиной. Однако мы рассматриваем энергию, преобразуемую в процессе движения, которое сопровождается действием силы F , а сила F – это векторная величина, в этом случае и энергия – это векторная величина. Следовательно, ошибается тот, кто утверждает, что энергия – это однозначно скалярная величина. Энергия может иметь и векторное,

и скалярное выражение, а энергия (работа), входящая в уравнение (1) – это векторная величина.

Значение ЭДС E , действующей между 1-й и 2-й точками стороннего поля, равно работе $A_{ст}$, совершённой сторонними силами в процессе перемещения положительного заряда произвольной величины q из 1-й во 2-ю точку:

$$E = \frac{A_{ст}}{q} \quad (12)$$

Уравнение (12) имеет такой же вид, а, следовательно, и такой же физический смысл, как и уравнение (1), поэтому, если напряжение является векторной величиной, что было уже доказано, то и ЭДС E – это силовая векторная величина.

Действие ЭДС направлено на разделение разноименных зарядов, содержащихся в проводниках, а силы электрического напряжения действуют на слияние зарядов. Следовательно, **электрическое напряжение и ЭДС – это противодействующие силы – силы антиподы.**

Энергия никогда не исчезает бесследно и не появляется из ничего, энергия бывает в состоянии взаимобмена между объектами, а такой взаимобмен возможен только при наличии противодействующих сил. Должен существовать источник силы, поддерживающей движение, который одновременно является источником энергии, и источник силы противодействующей движению – это потребитель энергии. Внутри источника энергии, ЭДС поддерживает течение тока, а напряжение, присутствующее на выводах источника ЭДС, противодействует току, текущему внутри источника ЭДС. В этом случае, источник ЭДС отдает энергию потребителям, находящимся под действием напряжения, а ЭДС и напряжение находятся в состоянии противодействия, поэтому и получается, что **ЭДС и напряжение – это силы антиподы.**

В заключение добавим таблицу электромеханических аналогов, в которой содержатся сведения о скалярных и векторных величинах. Упоминания об электромеханических аналогах встречаются во многих учебниках, в первой части учебника ТОЭ [2], на стр. 214 имеется хорошая таблица электромеханических аналогов, но и её пришлось редактировать.

Электромеханические аналогии

№ п/п	Электрическая цепь	Ед. изм.	Механическая цепь	Ед. изм.
1	Эл. напряжение U или ЭДС E	B	Сила F	H
2	Эл. ток	-	Упорядоченное движение	-
3	Значение (сила) эл. тока I	A	Скорость упорядоченного движения v	$м/с$
4	Эл. заряд q внутри проводника	$Кл$	Расстояние s (длина проводника)	$м$
5	Актив. сопротивление R (резистор)	$Ом$	Сила трения $F_{тр}$ (волоком да по суху)	H
6	Эл. индуктивность L (дроссель)	$Гн$	Масса m (маховик)	$кг$
7	Эл. емкость C (конденсатор)	$Ф$	Мех. емкость V (кастрюля)	$л$
8	Магнитная энергия $LI^2/2$	$Дж$	Кинетическая энергия $mv^2/2$	$Дж$
9	Эл. энергия $CU^2/2$	$Дж$	Потенциальная энергия $Ks^2/2$	$Дж$
10	Активная энергия UIt	$Дж$	Тепло, выделяемое при трении Q	$Дж$

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 3-х частях. Издательство «Энергия», Москва, 1970.
3. Кабардин О. Ф. Физика. Справочные материалы. Издательство «Просвещение», Москва, 1991
4. Шахмаев Н. М., Шахмаев С. Н., Шодиев Д. Ш. Физика учебник для 10 класса. Издательство «Просвещение», Москва, 1992 г.
5. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва. 1963.

Дополнительная информация на сайте <http://sites.google.com/site/nikolanech/>