

09. Электрическое напряжение – это, что ещё такое?

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 списке терминов и определений ГОСТ на позициях 28, 29 содержатся следующие определения:

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

Примечание - Электродвижущая сила равна линейному интегралу напряженности стороннего поля и индуцированного электрического поля вдоль рассматриваемого пути между двумя точками или вдоль рассматриваемого замкнутого контура; в случае движения элементов контура напряженность индуцированного электрического поля определяют с учетом силы Лоренца».

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

Примечание - Электрическое напряжение U_{12} вдоль рассматриваемого пути от точки **1** к точке **2** определяют по формуле

$$U_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \epsilon dl \quad (1)$$

где ϵ – напряженность электрического поля; dl – бесконечно малый элемент пути; r_1, r_2 – радиусы-векторы точек **1** и **2**».

ГОСТ устанавливает, что электрическое напряжение и ЭДС – это скалярные величины, а вот теоретики всех мастей и рангов усердно и весьма часто представляют 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 электрического напряжения – это и есть развёрнутый во времени график **вектора** электрического напряжения, следовательно, теоретики и практики систематически и сознательно нарушают ГОСТ. Напряжение и ЭДС являются основными параметрами электрических цепей, поэтому необходимо разобраться, что представляют собой электрическое напряжение и ЭДС?

С помощью уравнения (1) определяется значение напряжения между двумя точками **любого** электрического поля, но если значение напряжения определять между двумя точками **однородного** электрического поля, то интегральная зависимость (1) превратится в следующее линейное уравнение

$$U_{12} = \epsilon \cdot l \quad (2)$$

где l – расстояние, между точками **1** и **2**.

Напряжённость электрического поля ϵ равна силе F , действующей на помещённый в это поле заряд q , и определяется с помощью уравнения

$$\epsilon = \frac{F}{q} \quad (3)$$

В уравнении (2), необходимо напряжённость ϵ заменить правой частью уравнения (3), в результате получится уравнение $U_{12} = F/q \cdot l$ или

$$U_{12} = F \cdot \frac{l}{q} \quad (4)$$

Расстояние l и заряд q – это скалярные величины, поэтому и отношение l/q – это скалярная величина, а сила F – это векторная величина. Есть математическое правило [3], в соответствие с которым произведение векторной и скалярной величин даёт в результате векторную величину. Напряжение U_{12} , находящееся в левой части уравнения (4), равно произведению векторной F и скалярной l/q величин, **поэтому напряжение U_{12} является векторной величиной**. На этом можно было бы и закончить, но существуют и другие аргументы, подтверждающие векторный (силовой) характер электрического напряжения, поэтому продолжим знакомство с напряжением.

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). Следовательно, суммарный заряд q , принадлежащий всем свободным электронам, образует линейный заряд, равномерно распределённый вдоль длины проводника – это и является основанием для утверждения, что *электрический заряд – это аналог расстояния* (аналог длины проводника). Например, в каждом метре медного проводника, сечение которого 1 мм^2 содержатся свободные электроны, суммарный отрицательный заряд которых $q=13600 \text{ Кл}$. Это означает, что расстояние l и заряда q , входящие в уравнение (4), могут иметь одинаковую размерность, поэтому отношение lq является безразмерной величиной, а *напряжение U_{12} равно силе F , и является векторной величиной*. (Значение заряда q определено в примере 4, прилагаемом к статье «Среда распространения ЭМ волн»).

Рассмотрим ещё один аргумент, подтверждающий векторный характер напряжения.

В упоминавшемся ранее ГОСТ Р 52002-2003, на позиции 10 находится такое определение: **10 напряженность электрического поля.** «Векторная величина, характеризующая электрическое поле и определяющая силу, действующую на электрически заряженную частицу со стороны электрического поля».

Если электрическая напряжённость ϵ является по определению ГОСТ векторной величиной, а расстояние l – скалярная величина, то в соответствии с правилами математики [3] произведение ϵl , находящееся в правой части уравнений (1) и уравнения (2), а значит и напряжение U_{12} , находящееся в левой части этих уравнений является векторной величиной. Получается так, что определения ГОСТ Р 52002-2003 вступают во внутренние взаимные противоречия – определение 29 противоречит определению 10.

Второй закон Кирхгофа имеет следующую математическую зависимость $\sum E = \sum Ir$ и читается следующим образом: сумма всех ЭДС E , содержащихся в замкнутом электрическом контуре, равна сумме всех падений напряжений Ir , присутствующих в этом контуре. Это означает, что все ЭДС контура находятся в состоянии взаимной уравновешенности со всеми падениями напряжения этого контура, следовательно, *ЭДС находится в состоянии взаимно уравновешенного противодействия с электрическим напряжением* и, если напряжение – это сила, действующая в электрических цепях, то и *ЭДС – это сила – векторная величина*.

Действие ЭДС направлено на разделение разноимённых зарядов, содержащихся во внутренней цепи всякого источника ЭДС, который одновременно является источником ЭМ энергии. Подчиняясь действию ЭДС, разноименные заряды проводника смещаются к его противоположным концам и одновременно формируют электрическое поле с его разностью электрических потенциалов.

Действие сил электрического поля – действие разности потенциалов – направлено на слияние разноимённых зарядов. Получается так, что действие ЭДС направлено на разделение разноимённых зарядов, а действие разности потенциалов, то есть действие электрического напряжения направлено на слияние зарядов, следовательно, ЭДС и электрическое напряжение – это противодействующие силы – силы антиподы. Без противодействия ЭДС и напряжения невозможно преобразовывать энергию и передавать её от источника энергии – от источника ЭДС – к потребителям.

Во внутренней цепи источника ЭДС, ЭДС поддерживает течение тока, который протекает от отрицательного к положительному потенциалу.

Разность электрических потенциалов (электрическое напряжение) противодействует течению тока во внутренней цепи источника ЭДС и поддерживает течение тока во внешних, по

отношению к источнику ЭДС, цепях. В источнике ЭДС ток направлен от положительного к отрицательному потенциалу (см. направление протекания тока в любом замкнутом контуре).

К сожалению, учебная и научная литература составлены так, что многие, даже весьма опытные специалисты, не находят принципиальной разницы между напряжением и ЭДС, и отмечают, как правило, только то, что значение напряжения меньше ЭДС на величину падения напряжения внутри источника ЭДС. Всё это затрудняет поиск ответа на вопрос: какие силы поддерживают течение тока в проводниках?

На сайте <http://sites.google.com>site/nikolanech/> на странице 1 с PDF-файлами размещено учебное пособие «Основы электротехники». В этом пособии есть глава 3 «Силы, действующие на заряды проводников», в которой объяснена суть сил, поддерживающих течение тока и даны объяснения принципиальным отличиям между ЭДС и электрическим напряжением, а также между электрическим напряжением и падением напряжения.

Электромеханические аналоги

В заключение добавим таблицу электромеханических аналогов, в которой содержатся сведения о скалярных и векторных величинах. Упоминания об электромеханических аналогах встречаются во многих учебниках, например, в первой части учебника ТОЭ [2], на стр. 214 имеется таблица электромеханических аналогов, она приведена ниже в редакции автора.

№ п/п	Электрическая цепь	Ед. изм.	Механическая цепь	Ед. изм.
1	Эл. напряжение U или ЭДС E	V	Сила F	H
2	Эл. ток	-	Упорядоченное движение	-
3	Значение (сила) эл. тока I	A	Скорость упорядоченного движения v	m/c
4	Эл. заряд q внутри проводника	$Kл$	Расстояние l (длина проводника)	m
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. Часть 1. Издательство «Энергия», Москва, 1970.
3. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва. 1963.

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

Входа на указанный сайт можно осуществить двумя способами:

1. В адресную строку Яндекса ввести адрес сайта.
2. В поисковую строку Яндекса ввести запрос: «Среда распространения электромагнитных волн». На одной из первых позиций в списке, открывшихся на запрос ответов, будет ссылка на мой сайт.