

## Что такое электродвижущая сила (ЭДС) и как она соотносится с электрическим полем

Сегодня под термином ЭДС, если говорить по-простому, понимают напряжение на источнике тока и измеряют в вольтах. Но как можно прочесть дословно – электродвижущая сила – это сила, которая движет электричество. То есть, вроде бы всё-таки это сила. А у силы, как известно, есть направление, т. е. сила – это вектор; и измеряется сила в ньютонах. Как так получилось, что термином ЭДС обозначают напряжение, давайте и выясним. А заодно и разъясним физику работы.

### Определения ЭДС

Откроем «классические» учебники курса «Электричество и магнетизм», и посмотрим, как в них определяется ЭДС:

Савельев И. В. [1]:

*«Величина, равная работе сторонних сил над единичным положительным зарядом, называется электродвижущей силой (э.д.с.)  $\mathcal{E}$ , действующей в цепи (электрического тока) или на её участке.»*

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

$A$  – работа,  $q$  – заряд

Не очень удачное определение, поскольку в нём есть «работа». Работа может быть совершена, если цепь замкнута и есть движение зарядов. Но любой источник тока обладает ЭДС, даже если через него не течёт ток и не совершается работа.

Здесь нарочно «выдираются слова из контекста», поскольку стоит задача сформулировать «что такое ЭДС» наиболее корректно с формальной точки зрения.

Если прочитать далее, то ЭДС, действующую на участке цепи 1-2, формулируется через интеграл от напряжённости поля сторонних сил.

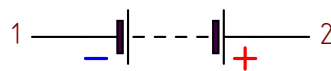

$$\mathcal{E} = \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} \quad (2)$$

Рис. 1. Источник тока

Это следует из того, что:

$$\vec{E}_{cm} = \frac{\vec{F}_{cm}}{q} \quad A_{12} = \int_1^2 \vec{F}_{cm} d\vec{l} = q \cdot \mathcal{E} \quad (3)$$

$E_{ct}$  – напряжённость поля сторонних сил,

$F_{ct}$  – сторонние силы.

$d\vec{l}$  – элемент длины цепи (электрического тока).

Сторонние силы – силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды (со стороны источника тока). Сторонними они являются по отношению к силам электростатическим.

В учебнике Сивухина Д. В. [2] определение строится на основе формулы (2), без

привлечения понятия работы.

Весьма интересно определение в учебнике Тамма И. Е. [3]:

*«Напряжение сторонних ЭДС между точками 1 и 2 (Рис. 1) часто называется просто электродвижущей силой, приложенной между этими точками, и сокращённо обозначается через ЭДС.»*

Как видим, термин «ЭДС» – это всего лишь сокращение понятия «Напряжение сторонних ЭДС».

Учебник Тамма – достаточно древний, первое его издание было в 1929 году. Видимо, с течением времени, некоторые физические термины претерпевают множественные пересказы и теряют свой изначальный смысл («глухой телефон»). Для ЭДС произошла потеря ключевого слова «напряжение» и получилось, что это «сила», что некорректно.

Таким образом, то, что сегодня называют ЭДС – это есть **Напряжение сторонних электродвижущих сил.**

Так как сторонние электродвижущие силы действуют обычно в источнике тока, то можно добавить «**источника тока**».

Теперь выясним, что такое «сторонние электродвижущие силы». У Тамма сначала появляется термин «*электродвижущие силы неэлектростатического происхождения (индукционные, контактные, термоэлектрические)*». Затем следует «*Для краткости мы будем называть эти силы сторонними (электростатическому полю)*». Т.е. термин «сторонние электродвижущие силы» это синоним термину «электродвижущие силы неэлектростатического происхождения». Здесь также сработал «глухой телефон», и полное понятие «сторонние электродвижущие силы» сократилось до «сторонних сил», но сторонние силы могут быть разными, в том числе и диссипативными. А просто «электродвижущая сила» (без слова «сторонняя») может быть и силой электростатического поля. Верно только полное словосочетание.

Интересно, что в предисловии к первому изданию книги [3] Тамм пишет следующее:

*"Ввиду неразработанности русской научной терминологии я принуждён был ввести два новых термина: «сторонняя» электродвижущая сила и «магнетик»."* – всё-таки 1929 год был на дворе.

В случае, когда указывается конкретная природа силы, то слово «сторонние» можно заменить на указание типа силы, например: «индукционные электродвижущие силы» или «термо-электродвижущие силы».

## ЭДС и электрическое поле

Введение понятия сторонних электродвижущих сил связано с самим фактом существования тока (в электрической цепи). Если в замкнутой цепи существуют участки, где под действием напряжения и электрического поля происходит движение зарядов, то должны существовать участки, где происходит обратное движение зарядов против электрического поля. Это может происходить только под действием сил неэлектростатической природы.

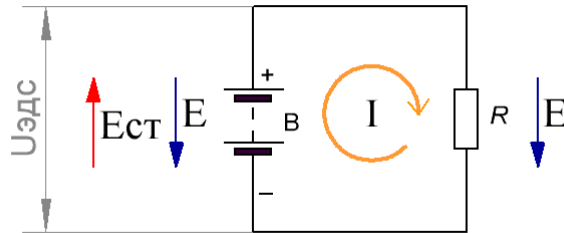


Рис.2. Цепь электрического тока

На рисунке 2 показана простейшая электрическая цепь, состоящая из источника тока  $V$  и нагрузки  $R$ .  $E_{ст}$  – напряжённость поля сторонних электродвижущих сил в источнике тока,  $U_{эдс} = \mathcal{E}$  – напряжение сторонних электродвижущих сил источника тока.  $E$  – электростатическая напряжённость поля, создающая движение зарядов в нагрузке. В результате в цепи постоянно движется ток  $I$  по кругу.

Под действием ЭДС заряды начинают двигаться в источнике тока от минуса к плюсу и создают разность потенциалов (напряжение) на клеммах источника. Это движение будет происходить до тех пор, пока не уравнивается созданным электрическим полем. Т.е. ЭДС первична, а созданное электрическое поле  $E$  – вторично. Таким образом, электрическое поле равно по модулю и обратно по направлению  $E_{ст}$  для любого источника тока.

$$\vec{E}_{cm} = -\vec{E} \quad (4)$$

Для напряжений, разности потенциалов этих двух напряжённостей, также знак различный:

$$\Delta\varphi = \mathcal{E} = \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} = -\int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \quad (5)$$

Измеряют напряжение сторонних ЭДС измеряя напряжение на источнике тока вольтметром при условии, что внутреннее сопротивление вольтметра много больше внутреннего сопротивления источника тока (идеальный вольтметр). Желательно без подключенной нагрузки, чтобы не было падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника из-за прохождения тока.

#### Выводы:

1. То, что сегодня называется термином «ЭДС» есть «Напряжение сторонних электродвижущих сил (источника тока)»
2. Сторонняя электродвижущая сила в любом источнике тока направлена против электрического поля, которое и формируется в результате её работы.
3. Для достижения понимания истины для начала назови вещи своими именами. Одно слово в определении может кардинально изменить его смысл.

#### Литература:

1. Савельев И. В. Курс общей физики. В 5 тт. Т. 2. Электричество и магнетизм: Учебное пособие. 5-е изд., испр. СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с. – ISBN 978-5-8114-1206-8; 978-5-8114-1208-2
  2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. III. Электричество. — 4-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. — 656 с. — ISBN 5-9221-0227-3; 5-89155-086-5.
  3. Тамм. И. Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. — 11-е изд., испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ; 2003. — 616 с. — ISBN 5-9221-0313-X.
- 

В следующих статьях будут освещены темы:

ЭДС Индукции; Как работает катушка индуктивности и трансформатор; Что такое магнитное поле; уравнения Максвелла; ТермоЭДС и её причины.

С уважением, Андрей Борус