

Об одном ошибочном утверждении, связанном с явлением униполярной индукции¹

ЛУПАРЕВ В.В., ХАРИТОНОВ В.И.

В литературе по теоретической электротехнике при рассмотрении явления униполярной индукции с использованием простейших принципиальных схем униполярных генераторов и двигателей в виде цилиндрических магнитов с полюсами на торцах, вращающихся вокруг продольных осей симметрии, и внешнего контура, состоящего из скользящих контактов, размещенных на боковой поверхности магнита и оси вращения [1–4] либо только на боковой поверхности магнита [5], подводящих проводов и измерительного прибора, утверждается, что ЭДС возникает или внутри магнита [1, 3, 4], или на его боковой поверхности [2, 5], или в подводящих проводах [6].

Авторы [1–5] считают, что при вращении цилиндрического магнита с полюсами на торцах вокруг продольной оси симметрии его магнитное поле остается неподвижным, поэтому ЭДС возникает внутри магнита или на его поверхности.

В дискуссиях, упоминаемых в [1, 4], и в дискуссии на страницах журнала «Электричество» [7–9], инициированной статьями [10, 11], также преобладает эта точка зрения.

Авторы данной статьи предлагают два эксперимента, позволяющие преодолеть это заблуждение.

Эксперимент № 1. На магнит надевается изолированная от него трубка из токопроводящего материала (медь, латунь и т.д.). Скользящие контакты устанавливаются на цилиндрической поверхности, как показано на рис. 1. При вращении магнита вместе с трубкой в контуре AVB наблюдается электрический ток. Этот эксперимент показывает, что ЭДС индукции возникает в пространстве, окружающем магнит, а не на поверхности магнита, так как трубка из токопроводящего материала 3 изолирована от магнита 1.

ЭДС возникает на участке контура AVB , так как магнитное поле магнита вращается вместе с ним и таким образом движется относительно неподвижных участков контура AVB . Здесь уместно привести цитату из монографии [12]: «Если магнитное поле

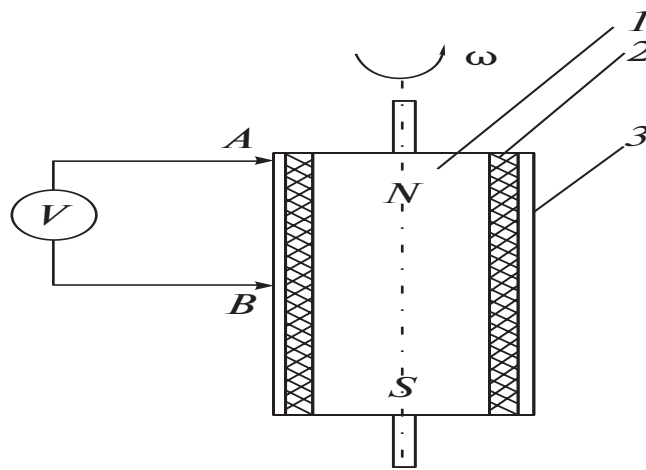


Рис. 1. Униполярный генератор с надетой на магнит токопроводящей трубкой, изолированной от магнита: 1 – магнит; 2 – изолятор; 3 – трубка из токопроводящего материала

B перемещается относительно среды со скоростью V , то в среде возникает дополнительное электрическое поле, определяемое уравнением

$$E \neq [VB]. \quad (10-3)$$

Второе уравнением Максвелла (закон электромагнитной индукции) в таком случае записывают в обобщенной форме:

$$[\tilde{N}E] = - \frac{\partial B}{\partial t} + [\tilde{N}[V \times B]]. \quad (10-4)$$

Первое слагаемое в правой части уравнения (10–4) называется «трансформаторным полем», а второе слагаемое – «полем движения». Оба поля являются индуцированными...».

Для схемы униполярного генератора, приведенной на рис. 1, $-\frac{\partial B}{\partial t} = 0$, и ЭДС возникает за счет $[\tilde{N}[V \times B]]$, т.е. за счет силы Лоренца, или в терминологии автора [12] «поля движения». На участке контура AB ЭДС не возникает, так как этот участок неподвижен относительно магнита.

Эксперимент № 2. Рассматривается цилиндрический кольцевой магнит (рис. 2). При его вращении в контуре AVB возникает электрический ток.

¹ В порядке обсуждения. Редакция рассматривает публикацию данной статьи как возвращение к дискуссии, проводимой журналом «Электричество» в 1994–1996 гг.

При замыкании полюсов магнита разъемным магнитопроводом (рис. 3) тока в контуре AVB не наблюдается, так как замыкание полюсов приводит к существенному ослаблению магнитного поля снаружи магнита.

Эксперименты доказывают, что ЭДС возникают во внешних проводниках контура, и свидетельствуют о вращении магнитного поля при вращении маг-

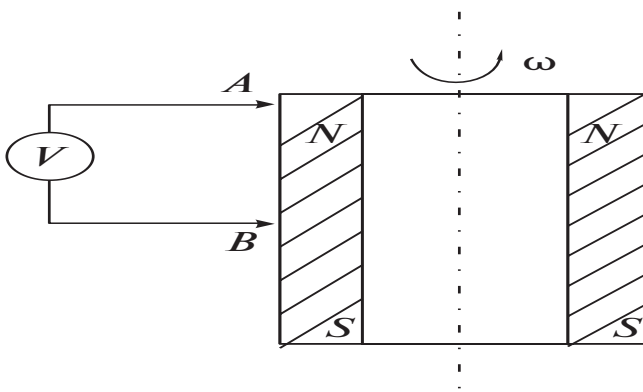


Рис. 2. Униполярный генератор с кольцевым магнитом

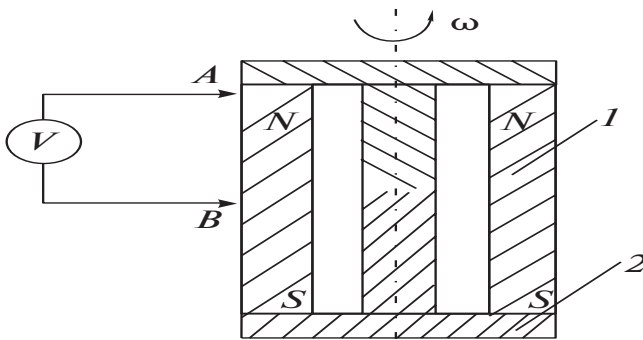


Рис. 3. Униполярный генератор с кольцевым магнитом, полюса которого замкнуты разъемным магнитопроводом: 1 – магнит; 2 – разъемный магнитопровод

нита.

Такие эксперименты проводились с набором из пяти кольцевых ферритовых магнитов, соединенных противоположными полюсами. Размеры кольцевых ферритовых магнитов: наружный диаметр 60 мм, внутренний 25 мм, толщина 9 мм; таким образом, сборка из пяти магнитов имела длину 45 мм. Наружная поверхность сборки магнитов покрывалась двумя слоями медной фольги толщиной 0,2 мм. Фольга закреплялась двумя поясками из липкой ленты (скотча) шириной 10 мм, один из поясков располагался между скользящими контактами (A , B , рис. 2, 3) так, чтобы не препятствовать их работе, другой – симметрично за контактом B (рис. 2 и 3). Токосъем осуществлялся через скользящие контакты A и B , выполненные из подпружиненных медных стержней диаметром 3 мм, касаю-

щихся своей боковой поверхностью медной фольги на магнитах.

Необходимо, чтобы скользящие контакты были изготовлены из того же материала, что и поверхность магнита. В противном случае возникает термоЭДС, искажающая результаты экспериментов.

В качестве измерительного прибора использовался микроамперметр М-122 с ценой деления 1×10^{-7} А, имеющий шкалу ± 20 делений. Может быть взят любой электродвигатель, в нашем случае использовался электродвигатель постоянного тока болгарского производства модели РИК 12-3/10-30N 0469 379-83 ($n = 1100$ об/мин, $P = 45$ Вт, $U = 30$ В). При частоте вращения магнита без магнитопровода (рис. 2) 110 об/мин наблюдалось отклонение стрелки гальванометра на 15 делений (что соответствует току 15×10^{-7} А). При вращении магнита, полюса которого замкнуты разъемным магнитопроводом (рис. 3), стрелка гальванометра не отклонялась (т.е. ток отсутствовал).

Пояснения к схемам униполярных генераторов на рис. 1 и 2. Рассмотрим на каких участках контура возникает ЭДС униполярной индукции. На рис. 4 и 5 с помощью железных опилок показаны магнитные поля стержневого магнита. При вращении магнита (рис. 4) ЭДС возникает на участках BC и CVD . Эти ЭДС дают ток одного направления. На участке AD ЭДС практически не возникает, так как этот участок параллелен направлению силовых линий. На участке AB ЭДС отсутствует, поскольку участок неподвижен относительно магнитного поля. Таким образом, ток в контуре $ABCVD$ определяется значением ЭДС на участках BC и CVD . Направление ЭДС можно определить по правилу правой руки [13].

Роль скользящих контактов состоит в том, чтобы выделить в контуре участок, на котором ЭДС

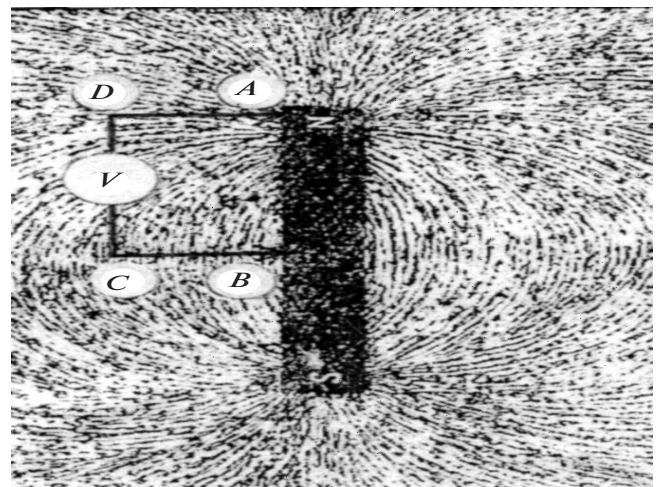


Рис. 4. Визуализация с помощью железных опилок магнитного поля стержневого магнита

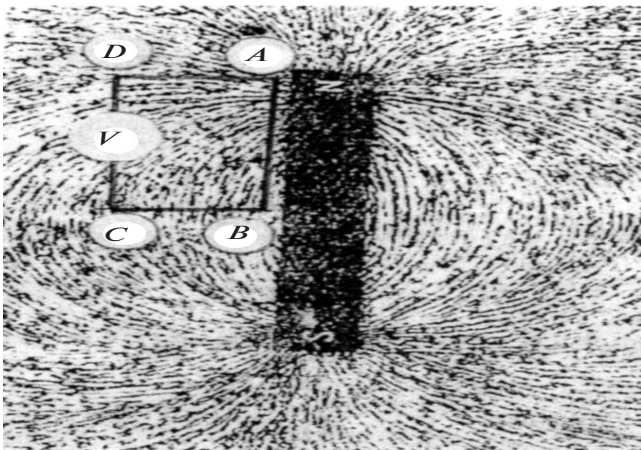


Рис. 5. Замкнутый контур в магнитном поле вращающегося стержневого магнита

не возникает. В монографии [14] говорится о невозможности создания униполярного генератора без скользящих контактов. В настоящее время работы по созданию скользящих контактов, способных передавать большие токи (100000 А и более), продолжают. Делались попытки создания униполярного генератора без скользящих контактов, но они не дали положительных результатов.

На рис. 5 изображен замкнутый контур *ABCVD*, помещенный в магнитное поле вращающегося стержневого магнита. В этом случае ЭДС возникает на участках *AB*, *BC*, *CVD*, причем на участке *AB* ток направлен противоположно току на участках *BC* и *CVD*; в результате взаимной компенсации ток в контуре отсутствует.

Попытки защитить один из участков контура магнитным экраном также не дали положительных результатов, так как для движущегося магнитного поля магнитный экран не является преградой [12]. По этим причинам не удастся создать униполярный генератор без скользящих контактов.

На страницах журнала «Электричество» [7–9] была развернута дискуссия, инициированная статьями А.Л. Родина [10] и О. Сердюкова [11]. В статье [11] «Туман над магнитным полем» сообщалось об экспериментах автора и о некоем «парадоксе», состоящем в том, что при вращении проводящего диска у торца дискового магнита (рис. 6,а) в контуре *ABCVD* наблюдается электрический ток. При вращении токопроводящего диска вместе с магнитом (рис. 6,б) также наблюдается ток, а при вращении магнита при неподвижном диске (рис. 6,в) ток отсутствует.

На этом основании делается вывод, что магнитное поле вращающегося дискового магнита остается неподвижным.

«Парадокс» устраняется, если считать, что магнитное поле вращается вместе с магнитом. Если диск вращается у торца магнита, то электрический ток возникает на участке *AB* контура *ABCVD* (рис. 6,а); если диск вращается вместе с магнитом, то ток возникает на участке *BCVD*, а на участках *AB* и *DA* тока нет; если магнит вращается, а диск неподвижен (рис. 6,в), то на участке *BCVD* появляется ток, а равный ему по абсолютному значению и противоположно направленный ток возникает на участке *AB*; в результате взаимной компенсации ток в контуре *ABCVD* отсутствует.

Явление униполярной индукции используется в МГД-генераторах, электродинамических ускорителях, источниках тока для электродинамических пушек (рельсотронов) [15, 16] и др.

Результаты приведенных в статье экспериментов могут быть учтены в работах по теоретической электротехнике и при создании учебников по этой дисциплине.

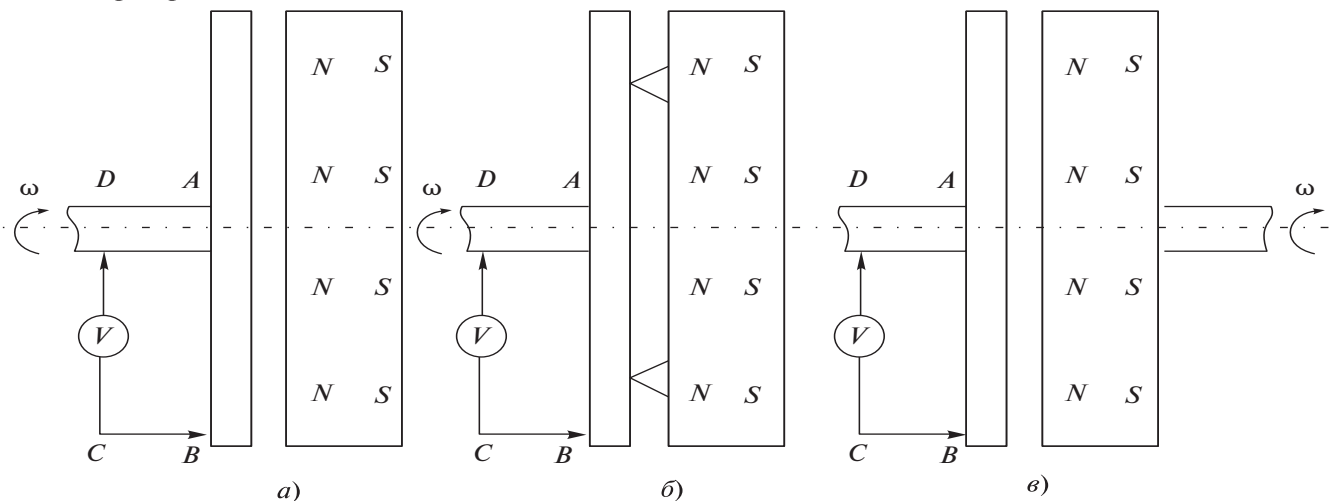


Рис. 6. Схемы униполярных машин: а – вращается диск, магнит неподвижен; б – диск вращается вместе с магнитом; в – диск неподвижен, магнит вращается

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тамм И.Е.** Основы теории электричество. — М.: Наука, 1976.
2. **Калашников С.Г.** Электричество. — М.: Наука, 1970.
3. **Каменецкий С.Е., Пустильник И.Г.** Электродинамика в курсе физики средней школы. — М.: Просвещение, 1978.
4. **Меерович Э.А.** Методы релятивистской электродинамики в электротехнике. — М.; Л.: Энергия, 1966.
5. **Порль Р.В.** Учение об электричестве. — М.: Физматгиз, 1962.
6. **Зильберман Г.Е.** Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970.
7. **Иванов-Смоленский А.В.** Комментарий к статье Родина А.Л. «О неизвестных опытах по электромагнитной индукции». — Электричество, 1994, № 7.
8. **Базанов В.П.** О неизвестных опытах по электромагнитной индукции. — Электричество, 1996, № 11.
9. **Шаталов Н.С.** О неизвестных опытах по электромагнитной индукции. — Электричество, 1995, № 11.
10. **Родин А.Л.** О неизвестных опытах по электромагнитной индукции. — Электричество, 1994, № 7.
11. **Сердюков О.** Туман над магнитным полем. — Изобретатель и рационализатор, 1982, № 2.
12. **Говорков В.А.** Электрические и магнитные поля. — Л.: Госэнергоиздат, 1960.
13. **Попов В.С.** Теоретическая электротехника. — М.: Энергия, 1975.
14. **Бергинов А.И., Алиевский Б.Л., Троицкий С.Р.** Униполярные машины. — М.; Л.: Энергия, 1966.
15. **Иродов И.Е.** Основные законы электромагнетизма. — М.: Высшая школа, 1991.
16. **Милехин Ю.М. и др.** Использование технологии электродинамического ускорения для предварительного разгона ракеты при выводе полезного груза на околоземную орбиту. — Изв. РАН, 2006, вып. 2(47).
17. **Космическое оружие: дилемма безопасности/Под ред. Е.П. Велихова, Р.З. Сагдеева, А.А. Кокошина.** — М.: Мир, 1986.

[08.11.11]

Авторы: Лупарев Владимир Васильевич окончил радиотехнический факультет Уральского государственного политехнического института (УПИ) в 1972 г. Кандидатскую диссертацию защитил в 1987 г. в ЦНИИ химического машиностроения. Доцент кафедры специального машиностроения, начальник отдела ФКП «Нижнетагильский институт испытания металлов».

Харитонов Василий Иванович окончил приборостроительный факультет Ленинградского военно-механического института (ныне Балтийский государственный технический университет) в 1961 г. Кандидатскую диссертацию защитил в 1972 г. в НИИ технологии машиностроения по специальности «Ультразвуковая техника и технология». Ученый секретарь Научно-технического совета ФКП «Нижнетагильский институт испытания металлов».