

*Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor, head of department, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Timonin Alexey Yurievich, postgraduate, [timonin\\_alexey@bk.ru](mailto:timonin_alexey@bk.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 62-119

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

С.В. Котеленко

*В статье описаны традиционные и нетрадиционные источники энергии, их преимущества и недостатки, рассмотрены способы получения электроэнергии за счет электромагнитной индукции.*

*Ключевые слова: электромагнитная индукция, магнит, электроэнергия.*

Тенденция роста цен на традиционные способы производства электроэнергии, иссякаемость природных запасов ведёт удорожанию производства и, как следствие, снижению покупательной способности. Существующие способы альтернативного производства электроэнергии не могут полностью удовлетворять растущей потребности населения, а в условиях экономической нестабильности, существенно влиять на сдерживание цен для потребителей.

На сегодняшний день альтернативная энергетика становится все более актуальной.

Среди существующих традиционных способов получения энергии от возобновляемых источников энергии можно отметить основные – ветроэнергетика, солнечная, энергия морских приливов, энергия малых рек. К сожалению, данные способы получения энергии имеют ряд существенных недостатков. Ветрогенераторы работают лишь при наличии ветра, в свою очередь, этот ресурс непостоянен и неуправляем, более того ветряные мельницы негативно влияют на экологию окружающей среды, производят большой шум и занимают значительную территорию, что усложняет территориальный выбор их постройки. Солнечные электростанции зависимы от погодных условий и также занимают значительную часть территории для оптимальной выработки электроэнергии, солнечные батареи требуют поддержания чистоты рабочей поверхности, что ведет к дополнительным тратам на обслуживание. Электростанции приливов и отливов зависимы от близости моря, громоздкие и маломощные.

Чтобы быть конкурентоспособным традиционному способу производства энергии, альтернативный источник должен обладать рядом достоинств:

1. Минимизация занимаемой площади при тех же показателях выработки электроэнергии.
2. Непрерывность работы.
3. Дешевизна источника энергии или его возобновляемость.
4. Экологичность добычи и применения альтернативного источника энергии.
5. Независимость от географического положения и климатических условий.

Наиболее подходящими под эти требования являются постоянные магниты. Постоянные магниты еще мало изучены. Магниты для применения в энергетике достаточной мощности были изобретены лишь в конце прошлого века.

Проводник с электрическим током притягивается к магниту. Это взаимодействие происходит по фундаментальному физическому закону Ампера для проводника с электрическим током в магнитном поле. Ампер назвал этот эффект электродинамическим взаимодействием. Эксперименты показали, что модуль силы Ампера  $F$  пропорционален длине проводника  $L$  и зависит от пространственного положения проводника в магнитном поле.

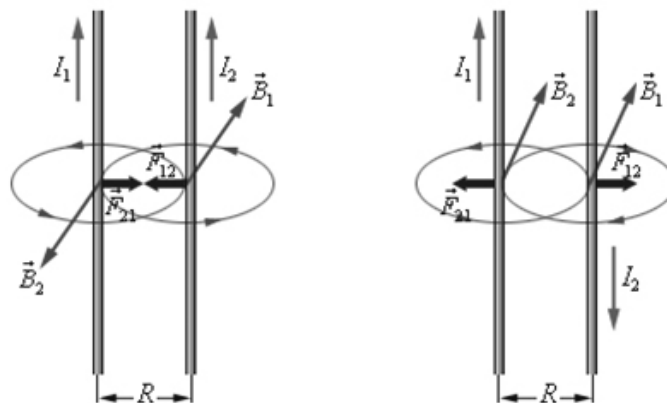
Для количественного описания действия магнитного поля на проводник с током была введена величина, названная магнитной индукцией  $B$ . Тогда сила Ампера будет [1]

$$F = B \cdot I \cdot L, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока. Эта формула справедлива при вычислении модуля максимального значения силы Ампера, действующей на прямолинейный проводник в магнитном поле, вектор магнитного поля  $B$  направлен под  $90^\circ$  к вектору тока  $I$ .

Если проводник расположен под углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции  $B$ , то вместо формулы (1) следует применять следующую формулу:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (2)$$



**Рис. 1. Опыт Ампера по взаимодействию токов в параллельных проводниках**

Для объяснения этого явления Ампер ввел понятие магнитного поля, которое возникает вокруг любого движущегося электрического заряда. Магнитное поле непрерывно в пространстве и проявляет себя, оказывая силовое воздействие на другие движущиеся электрические заряды. Предшественники Ампера пытались построить теорию магнитного поля по аналогии с электрическим полем с помощью магнитных зарядов с разными знаками – северным  $N$  и южным  $S$ . Однако, эксперименты показали, что отдельных магнитных зарядов в природе не существует. Магнитное поле возникает только в результате движения электрических зарядов [1].

**Электромагнитная индукция** – явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, проходящего через него.

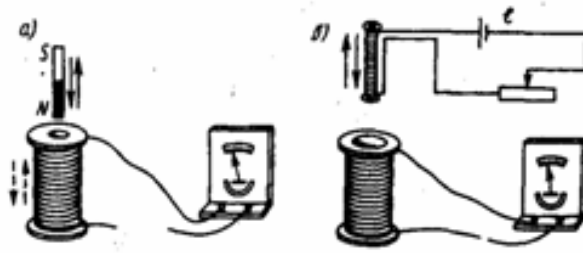
Электромагнитная индукция была открыта Майклом Фарадеем в 1831 году. Он обнаружил, что электродвижущая сила, возникающая в замкнутом проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром. Величина электродвижущей силы (ЭДС) не зависит от того, что является причиной изменения потока – изменение самого магнитного поля или движение контура или его части в магнитном поле. Электрический ток, вызванный этой ЭДС, называется индукционным током [2].

Как известно, электрические токи порождают вокруг себя магнитное поле. Связь магнитного поля с током дала толчок к многочисленным попыткам возбудить ток в контуре с помощью магнитного поля. Оно говорит о том, что в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции, охватываемого этим контуром, возникает электрический ток, получивший название индукционного.

Классические опыты Фарадея, ярко демонстрируют явление электромагнитной индукции.

**Опыт I** (рис. 2, а). Если в соленоид, который замкнут на гальванометр, вдвигать или выдвигать постоянный магнит, то в моменты его вдвигания или выдвигания мы видим отклонение стрелки гальванометра (возникает индукционный ток); при этом отклонения стрелки при вдвигании и выдвигании магнита имеют противоположные направления. Отклонение стрелки гальванометра тем больше, чем больше скорость движения магнита относительно катушки. При смене в опыте полюсов магнита направление отклонения стрелки также изменится.

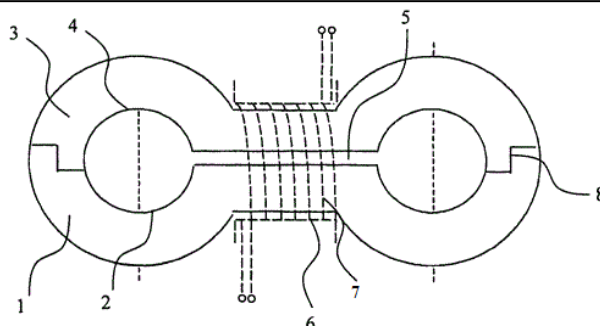
**Опыт II** (рис. 2, б). Концы одной из катушек, которая вставлена одна в другую, присоединяются к гальванометру, а через другую катушку пропускается ток. В моменты включения или выключения тока наблюдается отклонение стрелки гальванометра, а также в моменты его уменьшения или увеличения, а также при перемещении катушек друг относительно друга (рис. 2, б). Направления отклонений стрелки гальванометра также имеют противоположные направления при включении или выключении тока, его увеличении или уменьшении, приближении или удалении катушек.



**Рис. 2. Лабораторные установки, демонстрирующие явление электромагнитной индукции**

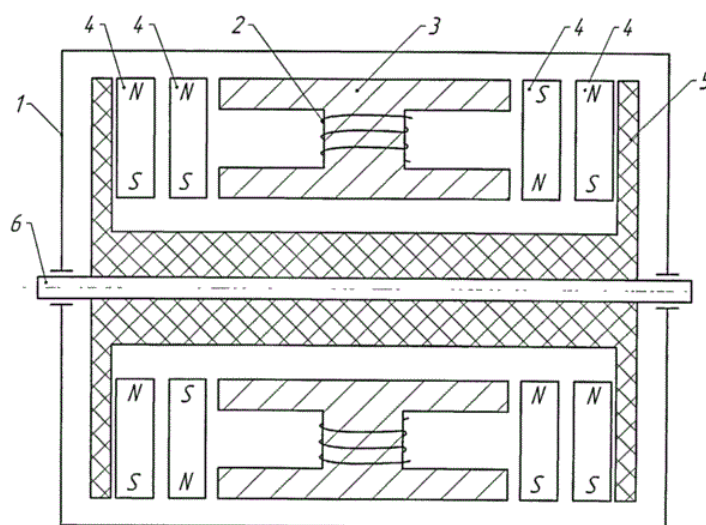
По результатам многочисленных опытов, возникает вывод, что индукционный ток возникает всегда, когда в опыте осуществляется изменение сцепленного с контуром потока магнитной индукции. Например, при повороте в однородном магнитном поле замкнутого проводящего контура в нем также появляется индукционный ток – в этом случае, индукция магнитного поля вблизи контура остается постоянной, а меняется только поток магнитной индукции сквозь контур [2].

Опираясь на фундаментальные законы, характеризующие свойства постоянных магнитов все больше набирают обороты новые технические решения, позволяющие снижать затраты на электроэнергию и повышать эффективность применения их на производстве. Примером может служить патент на изобретение [3]. Изобретение относится к электротехнике, к комбинированному генератору магнитной энергии с внешней обмоткой и лампе, работающей на магнитной энергии, с таким генератором, которая используется в области освещения. На рисунке 3 изображен магнит в генераторе магнитной энергии в соответствии с изобретением состоит из двух отдельных магнитов, которые соединены друг с другом. Один магнит 1 имеет боковую поверхность, на которой предусмотрены две выемки 2, и другой магнит 3 также имеет боковую поверхность с двумя выемками 4. Эти два магнита прилегают друг к другу своими поверхностями, и на боковой поверхности одного магнита предусмотрено два оконечных участка, соответственно, входящие в контакт с двумя оконечными участками, предусмотренными на боковой поверхности другого магнита, в результате чего выемки на одном магните обращены к выемкам другого магнита, соответственно, для формирования фиксированного зазора 5, который соединен с двумя выемками. На каждом из оконечных участков образована соответствующая ступенька 8. На каждом из магнитов предусмотрен участок стороны, предназначенный для формирования зазора, и снаружи этого участка стороны предусмотрена изолированная бакелитовая рамка 6, на которой намотана электромагнитная индуктивная обмотка 7.



**Рис. 3. Комбинированный генератор магнитной энергии с внешней обмоткой**

Еще одним примером может служить изобретение [4], (рис.4) которое относится к области производства электрической энергии. Технический результат заключается в повышении КПД генератора. Магнитный генератор содержит корпус 1, выполненный из немагнитного материала, на котором неподвижно установлены и равномерно распределены по окружности сердечники и рабочие обмотки 2 статора, по крайней мере один сердечник рабочей обмотки 2 статора состоит из Н-образного магнитопровода 3 и четырех двухполюсных постоянных магнитов 4, два из которых закреплены на роторе 5, выполненном из немагнитного материала, с валом 6. Сердечники рабочей обмотки статора состоят из Н-образных магнитопроводов и двухполюсных постоянных магнитов. Двухполюсные постоянные магниты установлены на торцах магнитопроводов статора и взаимодействуют с двухполюсными постоянными магнитами, установленными на роторе, поочередно однополярно и разнополярно, обеспечивая индуцирование ЭДС переключением магнитных потоков через рабочие обмотки статора. Одновременное взаимодействие двухполюсных постоянных магнитов ротора и статора, сориентированных однополярно и разнополярно, обеспечивает также эффект магнитной балансировки.



**Рис. 4. Магнитный генератор**

Применение свойств постоянных магнитов доказывает реальную возможность применения роли альтернативного источника энергии.

Внедрение в промышленное производство технических решений на основе постоянных магнитов позволит значительно сократить траты на электроэнергию, а простые конструкции технических решений повысят надежность и технологический уровень производства в целом.

### Список литературы

1. Информационный ресурс Образовака. Действие магнитного поля на проводник с током [Электронный ресурс]. URL: <https://obrazovaka.ru/fizika/deystvie-magnitnogo-polya-na-provodnik-s-tokom.html> (дата обращения: 10.08.2019).

2. Информационный ресурс Студопедия [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/8\\_37436\\_vopros-yavlenie-elektromagnitnoy-induktsii-induktsionniy-tok-opiti-faradeya-peremenniy-tok.html](https://studopedia.ru/8_37436_vopros-yavlenie-elektromagnitnoy-induktsii-induktsionniy-tok-opiti-faradeya-peremenniy-tok.html) (дата обращения: 10.08.2019).

3. Патент на изобретение «Генераторы магнитной энергии с внешней обмоткой и лампы, работающие на магнитной энергии, с такими генераторами» № 2007128010/09. Бюл. № 26, 2010.

4. Патент на изобретение «Магнитный генератор» № 2012104292/07. Бюл. № 5, 2016.

5. Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы: учебник. Харьков, 2003. 400 с.

6. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. 2004. 174 с.

7. Зубарев В.В. Ветроэнергетика. М.: Энергоатомиздат, 2007. 487 с.

8. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М.: ДМК Пресс, 2011. 144 с.

*Котеленко Светлана Владимировна, канд. техн. наук, ассистент, [S.V.Kuzmina@yandex.ru](mailto:S.V.Kuzmina@yandex.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### *ELECTROMAGNETIC INDUCTION AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE*

*S.V. Kotelenko*

*The article describes traditional and non-traditional energy sources, their advantages and disadvantages, the ways of obtaining electricity by electromagnetic induction.*

*Key words: electromagnetic induction, magnet, electric power.*

УДК 621.311

## **ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В.М. Степанов, Н.А. Свистунов

*Рассматривается структура устройства непрерывного контроля и управления режимами работы электрооборудования силовой электрической подстанции в условиях эксплуатации, повышающего эффективность диагностики высоковольтных аппаратов за счёт комплексного подхода, а также эффективность управления режимами работы электрооборудования.*

*Ключевые слова: силовая электрическая подстанция, частичный разряд, диэлектрические потери, регулирование напряжения.*

Одной из главных причин расхода остаточного ресурса электрооборудования силовых электрических подстанций является старение изоляции его токоведущих частей. Выделяют несколько видов износа электроизоляции, среди которых наибольшее влияние оказывают электрический и тепловой. Анализ функциональных, структурных и принципиальных электрических схем диагностики изоляции токоведущих частей электрооборудования силовых подстанций показал, что рационально использовать детектор частичного разряда со щупами для диагностики электрического старения, а также анализатор диэлектрических потерь и ёмкости для диагностики теплового старения.

Обобщённая структура устройства непрерывного контроля и управления режимами работы электрооборудования силовой электрической подстанции должна включать в себя элементы комплексной диагностики, элементы обработки данных осуществляющие прогнозирование формирования остаточного ресурса, элементы управления, позволяющие регулировать режимы работы электроустановок.

Таким образом, основными элементами обобщённой структуры устройства непрерывного контроля и управления режимами работы электрооборудования силовой электрической подстанции в условиях эксплуатации являются: электрооборудование, детектор частичного разряда, анализатор диэлектрических потерь и ёмкости, аналого-цифровой преобразователь, интерфейс, компьютер, датчик напряжения, элемент сравнения, накопитель, перестраиваемый тиристорный преобразователь частоты.