

УДК 537.612

Шиллер Михаил Павлович

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Камалетдинова Алина Ильдаровна

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Иванова Олеся Сергеевна

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Трандин Семён Евгеньевич

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И ЗАКОНА ФАРАДЕЯ

Аннотация. В работе рассматривается явление электромагнитной индукции — возникновение электродвижущей силы в проводящем контуре при изменении магнитного потока через него. Целью является систематизация знаний о законе Фарадея и правиле Ленца. Введено понятие магнитного потока, выведено выражение для ЭДС индукции, проанализирован энергетический смысл знака минус в законе. Результаты лежат в основе работы генераторов, трансформаторов и индукционных устройств.

Ключевые слова: электромагнитная индукция, магнитный поток, ЭДС индукции, закон Фарадея, правило Ленца, генератор, трансформатор.

Shiller Mikhail Pavlovich

Student, ULSU(Ulyanovsk State University)

Ulyanovsk, Russia

Kamaletdinova Alina Ildarovna

Student, ULSU(Ulyanovsk State University)

Ulyanovsk, Russia

Ivanova Olesya Sergeevna

Student, ULSU(Ulyanovsk State University)

Ulyanovsk, Russia

Trandin Semyon Evgenievich

Student, ULSU(Ulyanovsk State University)

Ulyanovsk, Russia

THEORETICAL ANALYSIS OF THE PHENOMENON OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION AND FARADAY'S LAW

Abstract. The paper considers the phenomenon of electromagnetic induction — the appearance of an electromotive force in a conducting circuit when the magnetic flux through it changes. The goal is to systematize knowledge about Faraday's law and Lenz's rule. The concept of magnetic flux is introduced, an expression for the induced EMF is derived, and the energy meaning of the minus sign in the law is analyzed. The results underlie the operation of generators, transformers, and induction devices.

Keywords: electromagnetic induction, magnetic flux, induced EMF, Faraday's law, Lenz's rule, generator, transformer.

Введение

Открытие электромагнитной индукции Майклом Фарадеем в 1831 году стало одним из важнейших событий в истории физики и техники. Именно это явление установило глубокую связь между электрическими и магнитными полями и легло в основу всей современной электроэнергетики.

Суть явления электромагнитной индукции состоит в том, что при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в этом контуре возникает электродвижущая сила (ЭДС индукции), а при замкнутости контура — индукционный ток. Принципиально важно, что источником ЭДС является именно изменение потока во времени, а не само его наличие.

Актуальность изучения электромагнитной индукции трудно переоценить: на ней основана работа практически всех электрических генераторов, преобразующих механическую энергию в электрическую, трансформаторов, изменяющих напряжение в линиях электропередачи, а также индукционных двигателей, нагревателей и многих измерительных приборов.

Целью данного исследования является теоретический анализ явления электромагнитной индукции, вывод закона Фарадея и обоснование физического смысла правила Ленца как следствия закона сохранения энергии.

Методы и теоретические основы

Для количественного описания явления вводится понятие магнитного потока — величины, характеризующей число линий магнитной индукции, пронизывающих данную поверхность. Для плоского контура площадью S , помещённого в однородное магнитное поле с индукцией B , магнитный поток определяется выражением:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

где α — угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости контура. Из формулы видно, что поток можно изменять тремя способами: изменяя величину магнитного поля, площадь контура или его ориентацию относительно поля. Любой из этих способов приводит к возникновению индукции.

Основной закон явления — закон электромагнитной индукции Фарадея — утверждает, что электродвижущая сила индукции в контуре равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром, взятой с противоположным знаком:

$$\varepsilon = - d\Phi / dt$$

Знак минус в формуле отражает правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать изменению магнитного потока, которое его вызвало. Это правило является непосредственным следствием закона сохранения энергии.

Если контур содержит N последовательно соединённых витков (катушка), то магнитные потоки через отдельные витки складываются, и суммарная ЭДС индукции возрастает в N раз:

$$\varepsilon = - N \cdot d\Phi / dt$$

Это соотношение объясняет, почему в реальных генераторах и трансформаторах используются многovitковые катушки: увеличение числа витков пропорционально увеличивает наводимую ЭДС при том же изменении потока.

Результаты теоретического анализа

Анализ закона Фарадея позволяет сделать ряд принципиальных выводов. Во-первых, ЭДС индукции определяется не самим значением магнитного потока, а скоростью его изменения. Постоянный во времени поток, сколь бы большим он ни был, не наводит никакой ЭДС.

Во-вторых, правило Ленца и связанный с ним знак минус имеют глубокий энергетический смысл. Если бы индукционный ток поддерживал, а не препятствовал породившему его изменению потока, то система самопроизвольно усиливала бы собственное движение, что означало бы возникновение энергии из ничего. Правило Ленца гарантирует, что для поддержания индукционного тока всегда необходимо совершать работу против сил, тормозящих изменение потока.

В-третьих, явление электромагнитной индукции наглядно демонстрирует единство электрического и магнитного полей: переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, способное приводить заряды в

движение даже в отсутствие классического источника тока. Эта идея получила развитие в уравнениях Максвелла.

Практическое применение явления чрезвычайно широко. В электрических генераторах механическое вращение рамки в магнитном поле периодически изменяет угол α и, следовательно, магнитный поток, порождая переменную ЭДС. В трансформаторах переменный ток в первичной обмотке создаёт переменный поток, наводящий ЭДС во вторичной обмотке, что позволяет преобразовывать напряжение. На индукционных принципах работают также электромагнитные тормоза, металлоискатели и индукционные плиты.

Заключение

Проведённый теоретический анализ подтверждает, что электромагнитная индукция является фундаментальным явлением, связывающим изменяющееся магнитное поле с возникновением электродвижущей силы.

Основные выводы исследования:

ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока, а не его абсолютной величиной.

Правило Ленца и знак минус в законе Фарадея являются прямым следствием закона сохранения энергии.

Явление демонстрирует неразрывную связь электрических и магнитных полей и лежит в основе всей современной электроэнергетики.

Перспективы дальнейших исследований связаны с анализом явления самоиндукции и взаимной индукции, а также с описанием вихревого электрического поля в рамках полной системы уравнений Максвелла.

Использованные источники

Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. — М.: Лаборатория знаний, 2014. — 320 с.

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. — М.: Физматлит, 2009. — 656 с.

Калашников С.Г. Электричество. — М.: Физматлит, 2008. — 624 с.

Тамм И.Е. Основы теории электричества. — М.: Физматлит, 2003. — 616 с.