

УДК 621.313.333.2

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Овчаров В.В., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-32-63

Аннотация – в работе систематизированы научные знания физических основ электротехники.

Ключевые слова – физическое явление, физическая величина, физический закон, алгоритм изучения физического явления, применение физических явлений и законов.

Постановка проблемы. При проведении научных исследований формулируется научная задача (проблема), которая детально раскрывается путём формулирования объекта и предмета исследования. Объектом исследования всегда является процесс, а предметом исследования – раскрытие закономерностей исследуемого процесса. Вся техника в мире создана на базе физических явлений и законов. А часть техники – электротехника базируется, в частности, на семи электромагнитных физических явлениях и законах: электризации тел, взаимодействия заряженных тел, электрического тока, теплового действия электрического тока, электромагнетизма, электромагнитной индукции, электромагнитной силы.

Поэтому научные исследования в области электротехники должны базироваться на описании физических процессов. Например, теоретические основы электротехники – это описание электромагнитных физических процессов в электрических и магнитных цепях языком высшей математики.

Анализ последних достижений. Современные научные исследования используют в сложных системах метод планирования эксперимента, так как иногда очень сложно описать аналитическим путём физические и другие процессы, протекающие в исследуемом объекте. Однако не всегда удаётся в результате понять физику исследуемых процессов и практически использовать полученные результаты исследований.

Формулировка целей статьи. Задачей данной статьи является систематизация физических электромагнитных явлений и законов с

целью успешного их применения при анализе исследуемых процессов в электротехнике.

Основная часть. Прежде всего, выделим предлагаемые пять шагов в инженерии знаний физических явлений и законов:

- суть физического явления;
- характеристика физических величин, введённых для описания физического явления;
- формулирование закона физического явления;
- математическая запись закона;
- применение явления и закона в технике.

В свою очередь характеристика физической величины даётся по следующему алгоритму:

- для чего введена;
- определение физической величины;
- определяющая формула;
- единица;
- скалярная или векторная величина;
- как находится.

Рассмотрим все семь электромагнитных физических явлений, используемых при конструировании и проявляющихся в работе электротехнических устройств.

Явление электризации тел

1. Физическая суть явления электризации состоит в потере или приобретении телом свободных электронов. Тела, которые приобрели электроны, заряжаются отрицательно, а тела, которые потеряли электроны – положительно.

2. Для характеристики явления введена физическая величина – заряд, которая характеризуется следующим образом:

- введена для определения интенсивности взаимодействия заряженных частиц;
- электрический заряд – это источник электромагнитного поля, связанный с материальными носителями (например, электронами и протонами);
- заряд не имеет определяющей формулы;
- единицей заряда является кулон (Кл), элементарный электрический заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
- заряд это скалярная величина;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон сохранения электрических зарядов: алгебраическая сумма зарядов в изолированной системе сохраняется постоянной.

4. Математическая запись закона сохранения электрических зарядов:

$$\sum_{i=1}^n q_i = const. \quad (1)$$

5. Явление электризации тел используется в электротехнологиях, проявляется при трении в изолированных системах.

Явление взаимодействия заряженных тел

1. Физическая суть явления взаимодействия заряженных тел состоит в том, что одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно – притягиваются.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: электрическая сила взаимодействия, заряды тел, расстояние между зарядами, относительная диэлектрическая проницаемость среды, электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума).

Электрическая сила взаимодействия

- введена для оценки интенсивности взаимодействия заряженных тел;
- электрическая сила – это мера взаимодействия зарядов;
- обозначение – F ;
- единица – ньютон (Н);
- сила взаимодействия величина векторная;
- находится расчётом или измерением.

Электрический заряд

Характеристика дана ранее.

Расстояние между заряженными телами

- введено для пространственной характеристики точечных зарядов, эквивалентно заменяющих заряженные тела;
- расстояние между точечными зарядами – кратчайший путь между ними;
- единица – метр (м);
- находится расчётом или измерением;

Относительная диэлектрическая проницаемость среды

- введена для характеристики среды, в которой находятся заряды;
- представляет собой отношение диэлектрической проницаемости среды к электрической постоянной;
- определяющая формула – $\varepsilon = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}$;
- где ε_c – диэлектрическая проницаемая среды, Ф/м;

- ε_0 – діелектрическа проницаема вакуума (електрическа постоянна), Ф/м;
- величина безразмерна;
- величина скалярна;
- находится расчётом или измерением.

Електрическа постоянна

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

3. Закон взаимодействия точечных электрических зарядов (закон Кулона): сила взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна величине этих зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и диэлектрической проницаемостью среды.

4. Математическая запись закона Кулона в скалярной форме:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \quad (2)$$

$$[F] = \frac{\frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

5. Применяется в электротехнологиях.

Явление электрического тока

1. Физическая суть явления состоит в упорядоченном направленном движении свободных заряженных частиц под действием сил электрического поля;

2. Для описания явления введены следующие физические величины: электродвижущая сила, сопротивление проводника, сила электрического тока.

Электродвижущая сила

- введена для энергетической характеристики источника электрического тока;

- электродвижущая сила – это физическая величина, численно равная отношению работы, которую совершают сторонние силы источника по перенесению зарядов против сил электрического поля, к величине переносимых зарядов;

- определяющая формула для постоянного тока $E = \frac{A}{q}$,

где A – работа, Дж;

q – величина заряда, Кл;

- единица – вольт (В);

- величина скалярная;

- находится расчётом или измерением.

Сопротивление проводника

- введено для характеристики проводника;
- зависит от структуры материала проводника;
- расчётная формула на постоянном токе $R = \rho \frac{l}{s}$,

где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·мм²/м (в технической системе единиц);

l – длина проводника, м;

s – площадь поперечного сечения проводника, мм² (в технической системе единиц).

- единица – Ом (Ом);
- величина скалярная;
- находится расчетом или измерением.

Сила электрического тока

- введена для характеристики интенсивности электрического тока;
- сила электрического тока – это физическая величина, численно равная количеству заряда, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени;

- определяющая формула для постоянного тока $I = \frac{q}{t}$,

где q – величина заряда, Кл;

t – время, с.

- единица – ампер (А);
- величина векторная;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон Ома: сила электрического тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна э.д.с. и обратно пропорциональна сопротивлению цепи.

4. Математическая запись закона Ома для постоянного тока:

$$I = \frac{E}{R}. \quad (3)$$

6. Применяется во всех электротехнических устройствах.

Явление теплового действия электрического тока

1. Физическая суть явления состоит в том, что за счёт столкновения движущихся заряженных частиц с атомами (молекулами) вещества проводника повышается их внутренняя энергия (проводник нагревается);

2. Для описания явления введены следующие физические величины: количество теплоты, сопротивление проводника, сила электрического тока, время.

Количество теплоты

– введено для энергетической характеристики процесса нагрева проводника;

- единица – джоуль (Дж);
- величина скалярная;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон Ленца – Джоуля: количество теплоты, которое выделяется в проводнике, прямо пропорционально сопротивлению проводника, квадрату силы электрического тока и времени его прохождения.

4. Математическая запись закона Ленца-Джоуля на постоянном токе:

$$Q = RI^2t. \quad (4)$$

5. Применяется в электронагревательных устройствах.

Явление электромагнетизма

1. Физическая суть явления состоит в том, что при прохождении электрического тока по проводнику вокруг него образуется магнитное поле;

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: число витков проводящего контура, магнитный поток, индуктивность проводящего контура, сила электрического тока.

Число витков контура

- введено для конструктивной характеристики контура;
- величина безразмерная;
- величина скалярная;
- находится расчётом.

Магнитный поток

– введен для характеристики интенсивности магнитного поля;

– магнитный поток – это физическая величина, численно равная для однородного магнитного поля произведению магнитной индукции на площадь поперечного сечения магнитопровода;

– определяющая формула для однородного магнитного поля при постоянных намагничивающих силах $\Phi = B \cdot S$,

где B – магнитная индукция, Тл;

S – площадь, м²;

- единица – вебер (Вб);
- величина векторная;
- находится расчётом или измерением.

Индуктивность проводящего контура

– введена для конструктивной характеристики проводящего контура;

– расчётная формула
$$L = \frac{w^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{l},$$

где w – число витков контура;

μ – относительная магнитная проницаемость магнитопровода;

μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м;

S – площадь магнитопровода, м²;

l – длина средней магнитной силовой линии, м;

– единица – генри (Гн);

– величина скалярная;

– находится расчётом или измерением.

3. Закон электромагнетизма: магнитный поток прямо пропорционален индуктивности проводящего контура и силе тока в контуре.

4. Математическая запись закона электромагнетизма для постоянного тока:

$$w \cdot \Phi = L \cdot I, \quad (5)$$

где w – число витков;

Φ – магнитный поток, Вб;

L – индуктивность, Гн;

I – сила электрического тока, А.

6. Применяется в электромагнитных устройствах.

Явление электромагнитной индукции

1. Физическая суть явления состоит в том, что, если проводящий контур пронизывается меняющимся во времени магнитным полем, то в контуре наводится электродвижущая сила.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: электродвижущая сила, число витков контура, магнитный поток, время.

3. Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): величина э.д.с., наводимой в проводящем контуре, прямо пропорциональна числу витков контура и скорости изменения магнитного потока.

4. Математическая запись закона электромагнитной индукции:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (6)$$

где e – э.д.с., В;

w – число витков;

Φ – магнитный поток, Вб;

t – время, с.

5. Применяется в электрических генераторах.

Явление электромагнитной силы

1. Физическая суть явления состоит в том, что на проводник с током, помещённый в магнитное поле, действует сила выталкивания.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: сила выталкивания, магнитная индукция, длина проводника, сила электрического тока, угол между направлением тока и направлением вектора магнитной индукции.

3. Закон электромагнитной силы (закон Ампера): сила выталкивания, действующая на проводник с током, помещённый в магнитное поле, прямо пропорционально магнитной индукции, длине проводника, силе электрического тока и синусу угла между направлением тока и вектором магнитной индукции.

4. Математическая запись закона Ампера:

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha , \quad (7)$$

где F – сила выталкивания, Н;

B – магнитная индукция, Тл;

l – длина проводника, м;

I – сила тока, А.

α – угол между направлениями силы электрического тока и вектора магнитной индукции, град.

Выводы. Предложенный систематизированный материал физических явлений и законов может быть использован при аналитическом исследовании электромагнитных и тепловых процессов в электротехнических устройствах.

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Овчаров В.В.

Анотація

В роботі систематизовані наукові знання фізичних основ електротехніки.

PHYSICAL BASIS OF ELECTRICAL ENGINEERING RESEARCH

V. Ovcharov

Summary

There have been systematized a scientific knowledge of the physical basis of electrical engineering.