Задание

- **Проработать лекцию;**
- **Написать краткий конспект;**
- **Фото конспекта отослать на hvstov@rambler.ru**

Лекция. Магнитное поле. Закон Ампера. Принцип действия электродвигателя. Электроизмерительные приборы. Электромагнитная индукция. Правило Ленца.

Магнитные явления были известны еще в древнем мире. Компас был изобретен более 4500 лет тому назад. Он появился в Европе приблизительно в XII веке новой эры. Однако только в XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом и возникло представление о **магнитном поле**.

Начало настоящему пониманию природы магнетизма положил датский физик Эрстед. Он впервые в 1819 г. обнаружил, а последующие многочисленные опыты подтвердили тот факт, что движущиеся электрические заряды взаимодействуют не так, как покоящиеся.

Опыты Эрстеда (1820 г.) показали, что на магнитную стрелку, расположенную вблизи проводника с током, действуют силы, которые стремятся повернуть стрелку.

Исследования, проведенные русским физиком А. А. Эйхенвальдом в 1901 г., показали, что если заряженное тело покоится относительно наблюдателя, то вокруг этого тела существует электрическое поле. Если же оно движется относительно наблюдателя, то возникает магнитное поле которое вызывает отклонение легкоподвижной магнитной стрелки. Аналогичное действие на магнитную стрелку оказывает и проводник с током. Если по прямому проводнику, расположенному по магнитному меридиану в направлении север — юг, пропустить ток, то расположенная под ним магнитная стрелка отклонится (рис. 1). Если пропустить ток в противоположном направлении, то стрелка отклонится в другую сторону.

Большой вклад в понимание природы магнетизма внес французский ученый А. Ампер. Им было установлено, что всякий электрический ток способен взаимодействовать с другим током с силой, которая не может быть объяснена кулоновским взаимодействием.

Одним из важных примеров магнитного взаимодействия токов является взаимодействие параллельных токов. Закономерности этого явления были экспериментально установлены Ампером. *Если по двум параллельным проводникам электрические токи текут в одну и ту же сторону, то наблюдается взаимное притяжение проводников. В случае, когда токи текут в противоположных направлениях, проводники отталкиваются.*

По современным представлениям, проводники с током оказывают силовое действие друг на друга не непосредственно, а через окружающие их магнитные поля: магнитное поле одного тока действует с некоторой силой на другой ток и наоборот

Взаимодействие между проводниками с током, т. е. взаимодействие между движущимися электрическими зарядами, называют **магнитным.**

Силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга, называют **магнитными силами**.

Причиной возникновения сил магнитного взаимодействия является магнитное поле, которое появляется вокруг проводника с током.

Магнитное поле *представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами или телами, обладающими магнитным моментом.*

Магнитное поле *существует реально, независимо от нас, от наших знаний о нем.*

Источниками магнитного поля являются **движущиеся электрические заряды (токи)**. Магнитное поле возникает в пространстве, окружающем проводники с током, подобно тому, как в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды, возникает электрическое поле. Магнитное поле постоянных магнитов также создается электрическими микротоками, циркулирующими внутри молекул вещества (гипотеза Ампера).

Экспериментальным доказательством реальности магнитного и электрического полей является факт существования электромагнитных волн. Магнитное поле, как и электрическое, является частным проявлением единого электромагнитного поля.

Ученые XIX века пытались создать теорию магнитного поля по аналогии с электростатикой, вводя в рассмотрение так называемые **магнитные заряды** двух знаков (например, северный N и южный S полюса магнитной стрелки). Однако, опыт показывает, что **изолированных магнитных зарядов не существует.**

Исследуя магнитное поле, создаваемое током или постоянным магнитом, с помощью маленькой магнитной стрелки, можно представить пространственную структуру магнитного поля. Аналогично силовым линиям в электростатике можно построить силовые линии магнитного поля - **линии магнитной индукции.**

Линии магнитной индукции – *это линии, в каждой точке которых вектор направлен по касательной к ним.*

Пример линий магнитной индукции полей постоянного магнита и катушки с током приведен на рис. 3.

Рисунок 3.

Линии магнитной индукции полей постоянного магнита и катушки с током. Индикаторные магнитные стрелки ориентируются по направлению касательных к линиям индукции.

Обратите внимание на аналогию магнитных полей постоянного магнита и катушки с током. *Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с током*, они нигде не обрываются. Это означает, что **магнитное поле не имеет источников – магнитных зарядов**.

Силовые поля, линии магнитной индукции которых всегда замкнуты, называются **вихревыми.** Картину магнитной индукции можно наблюдать с помощью мелких железных опилок, которые в магнитном поле намагничиваются и, подобно маленьким магнитным стрелкам, ориентируются вдоль линий индукции.

Принцип действия электродвигателя.

Электродвигатель – *это просто устройство для эффективного преобразования электрической энергии в механическую.*

В основе этого преобразования лежит магнетизм. В электродвигателях используются постоянные магниты и электромагниты, кроме того, используются магнитные свойства различных материалов, чтобы создавать эти удивительные устройства.

Существует несколько типов электродвигателей. Отметим два главных класса: AC и DC.

Электродвигатели класса AC (Alternating Current) требуют для работы источник переменного тока или напряжения (такой источник Вы можете найти в любой электрической розетке в доме).

Электродвигатели класса DC (Direct Current) требуют для работы источник постоянного тока или напряжения (такой источник Вы можете найти в любой батарейке).

Универсальные двигатели могут работать от источника любого типа.

Не только конструкция двигателей различна, различны способы контроля скорости и вращающего момента, хотя принцип преобразования энергии одинаков для всех типов.

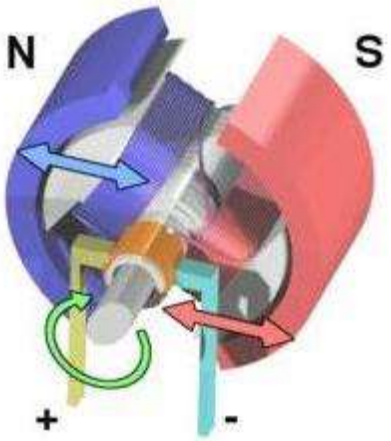
Устройство и принцип работы простейшего электродвигателя.

В основе конструкции электрического двигателя лежит эффект, обнаруженный Майклом Фарадеем в 1821 году: что взаимодействие электрического тока и магнита может вызывать непрерывное вращение. Один из первых двигателей, нашедших практическое применение, был двигатель Бориса Семеновича Якоби (1801 –1874), приводивший в движение катер с 12 пассажирами на борту. Однако для широкого использования электродвигателя необходим был источник дешевой электроэнергии — электромагнитный генератор.

Принцип работы электродвигателя очень прост: вращение вызывается силами магнитного притяжения и отталкивания, действующими между полюсами подвижного электромагнита (ротора) и соответствующими полюсами внешнего магнитного поля, создаваемого неподвижным электромагнитом (или постоянным магнитом) — статором.

Вращающаяся часть электрической машины называется ротором (или якорем), а неподвижная - статором. В простом электродвигателе постоянного тока блок катушки служит ротором, а постоянный магнит - статором.

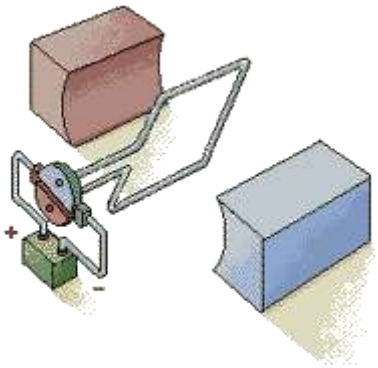
Сложность заключается в том, чтобы добиться непрерывного вращения двигателя. А для этого надо сделать так, чтобы полюс подвижного электромагнита, притянувшись к противоположному полюсу статора, автоматически менялся на противоположный — тогда ротор не замрет на месте, а повернется дальше — по инерции и под действием возникшего в этот момент отталкивания.



Для автоматического переключения полюсов ротора служит коллектор. Он представляет собой пару закрепленных на валу ротора пластин, к которым подключены обмотки ротора. Ток на эти пластины подается через токоснимающие контакты (щетки). При повороте ротора на 180° пластины меняются местами — это автоматически меняет направление тока и, следовательно, полюсы подвижного электромагнита. Так как одноименные полюсы взаимно отталкиваются, катушка продолжает

вращаться, а ее полюсы притягиваются к соответствующим полюсам на другой стороне магнита.

Простейший электродвигатель



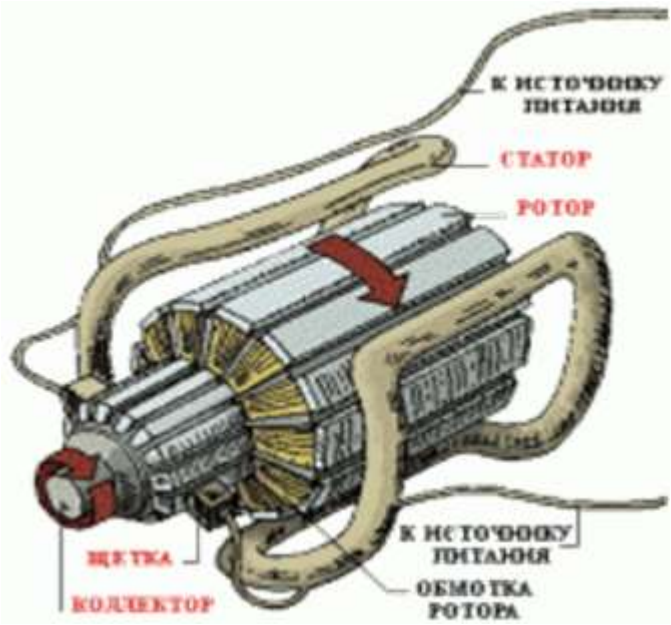
Простейший электродвигатель работает только на постоянном токе (от батарейки). Ток проходит по рамке, расположенной между полюсами постоянного магнита. Взаимодействие магнитных полей рамки с током и магнита заставляет рамку поворачиваться. После каждого полуоборота коллектор переключает контакты рамки, подходящие к батарейке, и поэтому рамка вращается.

В некоторых двигателях для создания магнитного поля вместо постоянного магнита служит электромагнит. Витки проволоки такого электромагнита называются обмоткой возбуждения.

Электродвигатели используются повсюду. Даже дома вы можете обнаружить огромное количество электродвигателей. Электродвигатели используются в часах, в вентиляторе микроволновой печи, в стиральной машине, в компьютерных вентиляторах, в кондиционере, в соковыжималке и т. д. и т. п. Ну а электродвигатели, применяемые в промышленности, можно перечислять бесконечно. Диапазон физических размеров – от размера со спичечную головку до размера локомотивного двигателя.

Показанный ниже промышленный электродвигатель работает и на постоянном, и на переменном токе. Его статор – это электромагнит, создающий магнитное поле. Обмотки двигателя поочередно подключаются через щетки к источнику питания. Одна за другой они поворачивают ротор на небольшой угол, и ротор непрерывно вращается.

Промышленный электродвигатель



Электроизмерительные приборы.

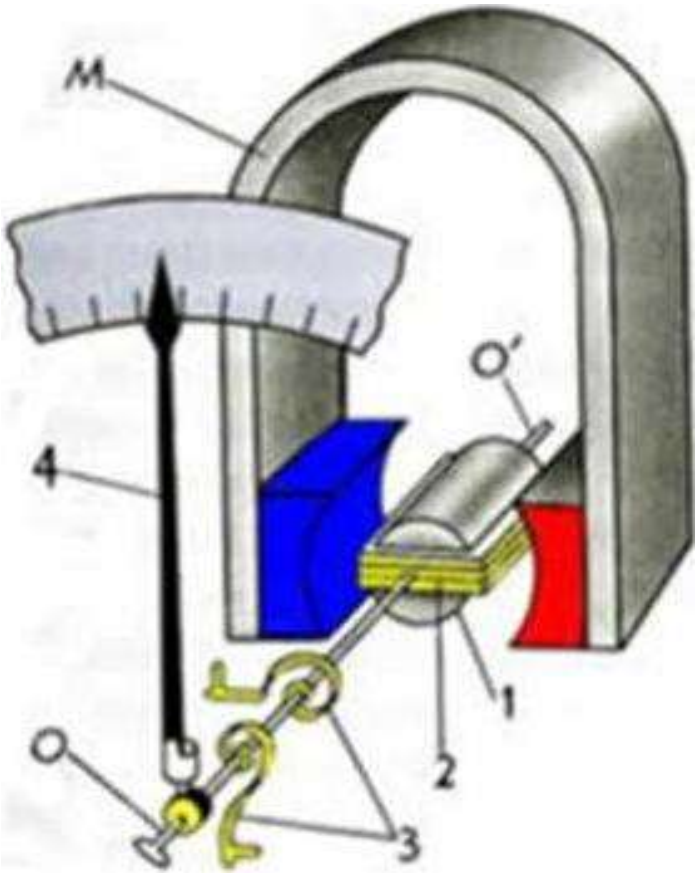
Электроизмерительные приборы - *класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин.*

Группа электромагнитных приборов является наиболее распространенной. Принцип их действия, использованный впервые еще Ф. Кольраушем в 1884 году, основан на перемещении подвижной железной части под влиянием магнитного потока, создаваемого катушкой, по которой пропускается ток. Практическое осуществление этого принципа отличается разнообразием.

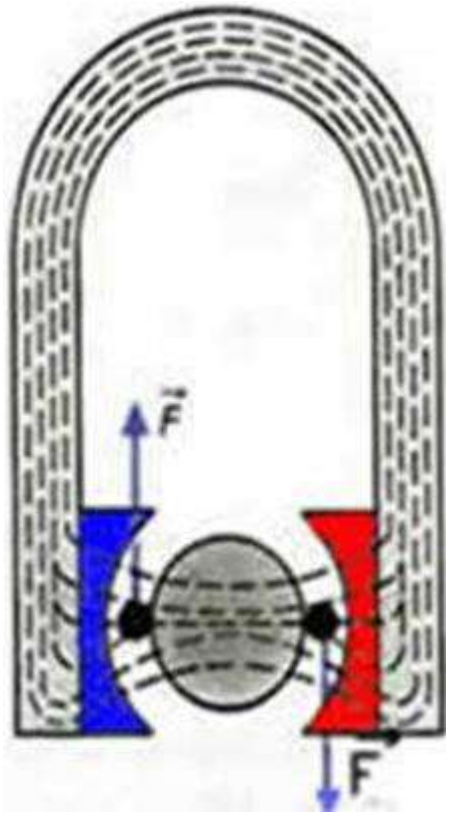
Ориентирующее действие магнитного поля на контур с током используют в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы – **амперметрах, вольтметрах и др.**

Устройство прибора магнитоэлектрической системы

Измерительный прибор магнитоэлектрической системы устроен следующим образом.



Берут лёгкую алюминиевую рамку 2 прямоугольной формы, наматывают на неё катушку из тонкого провода. Рамку крепят на двух полуосях O и O', к которым прикреплена также стрелка прибора 4. Ось удерживается двумя тонкими спиральными пружинами 3. Силы упругости пружин, возвращающие рамку к положению равновесия в отсутствие тока, подобраны такими, чтобы были пропорциональными углу отклонения стрелки от положения равновесия. Катушку помещают между полюсами постоянного магнита M с наконечниками формы полого цилиндра. Внутри катушки располагают цилиндр 1 из мягкого железа. Такая конструкция обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в области нахождения витков катушки (см рисунок).



В результате при любом положении катушки силы, действующие на нее со стороны магнитного поля, максимальны и при неизменной силе тока постоянны. Векторы F и –F изображают силы, действующие на катушку со стороны магнитного поля и поворачивающие ее. Катушка с током поворачивается до тех пор, пока силы упругости со стороны пружины не уравновесят силы, действующие на рамку со стороны магнитного поля. Увеличивая силу тока в рамке в 2 раза, рамка повернётся на угол, вдвое больший. Это происходит потому, что F_m~I.

Силы, действующие на рамку с током прямо пропорциональны силе тока, то есть можно, проградуировав прибор, измерять силу тока в рамке.

Точно так же можно прибор настроить на измерение напряжения в цепи, если проградуировать шкалу в вольтах, причём сопротивление рамки с током должно быть выбрано очень большим по сравнению с сопротивлением участка цепи, на котором измеряем напряжение.

Взаимная связь электрических и магнитных полей была установлена выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Он открыл явление электромагнитной индукции. Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур.

Явление электромагнитной индукции *заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.*

Магнитным потоком Ф через площадь *S* контура называют величину Ф = BScosα

где *B* – модуль вектора магнитной индукции, α – угол между вектором B и нормалью n к плоскости контура.

Явление электромагнитной индукции Фарадей исследовал с помощью двух изолированных друг от друга проволочных спиралей, намотанных на деревянную катушку. Одна спираль была присоединена к гальванической батарее, а другая — к гальванометру, регистрирующему слабые токи. В моменты замыкания и размыкания цепи первой спирали стрелка гальванометра в цепи второй спирали отклонялась.

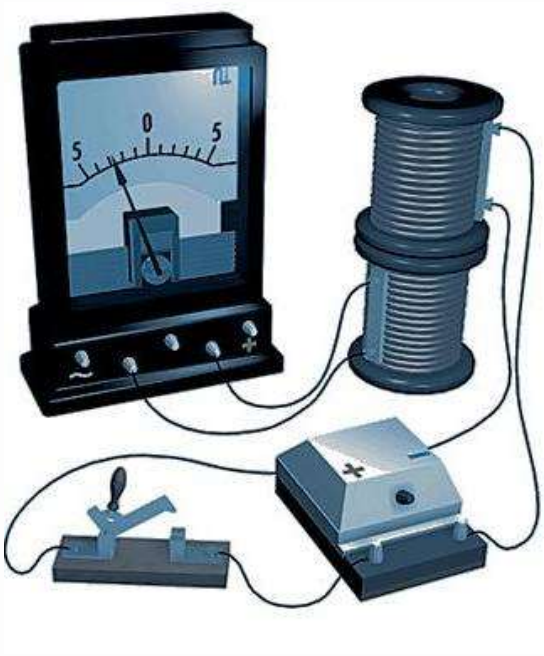
Опыты Фарадея.

Опыты Фарадея по исследованию ЭМИ можно разделить на две серии:

1. возникновение индукционного тока при вдвигании и выдвигании магнита (катушки с током);

Объяснение опыта: При внесении магнита в катушку, соединенную с амперметром в цепи возникает индукционный ток. При удалении так же возникает индукционный ток, но другого направления. Видно, что индукционный ток зависит от направления движения магнита, и каким полюсом он вносится. Сила тока зависит от скорости движения магнита.

2. возникновение индукционного тока в одной катушке при изменении тока в другой катушке.



Объяснение опыта: электрический ток в катушке 2 возникает в моменты замыкания и размыкания ключа в цепи катушки 1. Видно, что направление тока зависит от того, замыкаюи или размыкают цепь катушки 1, т.е. от того, увеличивается (при замыкании цепи) или уменьшаетя (при размыкании цепи) магнитный поток. пронизывающий 1-ю катушку.

Проводя многочисленные опыты Фарадей установил, что в замкнутых проводящих контурах электрический ток возникает лишь в тех случаях, когда они находятся в переменном магнитном поле, независимо от того, каким способом достигается изменение потока индукции магнитного поля во времени.

Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называют **индукционным.**

Строго говоря, при движении контура в магнитном поле генерируется не определенный ток (который зависит от сопротивления), а определенная э. д. с.

Фарадей экспериментально установил, что *при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции* $E_{инд}$, *равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус*:

$$\varepsilon_{инд} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Эта формула выражает **закон Фарадея:** ***э. д. с. индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.***

Знак минус в формуле отражает **правило Ленца**.

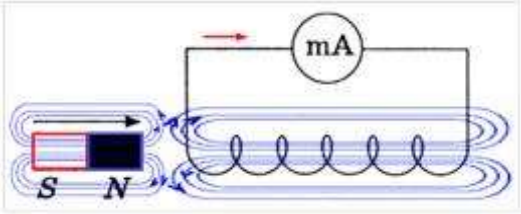
В 1833 году Ленц опытным путем доказал утверждение, которое называется **правилом Ленца:** ***индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.***

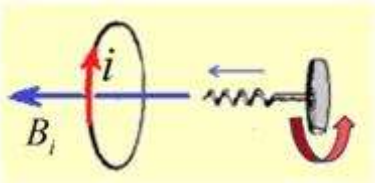
При возрастании магнитного потока $\Phi>0$, а $\varepsilon_{инд} < 0$, т.е. э. д. с. индукции вызывает ток такого направления, при котором его магнитное поле уменьшает магнитный поток через контур.

При уменьшении магнитного потока $\Phi<0$, а $\varepsilon_{инд} > 0$, т.е. магнитное поле индукционного тока увеличивает убывающий магнитный поток через контур.

Правило Ленца имеет глубокий **физический смысл** – *оно выражает закон сохранения энергии*: если магнитное поле через контур увеличивается, то ток в контуре направлен так, что его магнитное поле направлено против внешнего, а если внешнее магнитное поле через контур уменьшается, то ток направлен так, что его магнитное поле поддерживает это убывающее магнитное поле.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой — слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро. В каждом из проведённых в этой работе опыте направление индукционного тока определяется правилом Ленца. Порядок определения направления индукционного тока показан на рисунке.





На рисунке синим цветом обозначены силовые линии магнитного поля постоянного магнита и линии магнитного поля индукционного тока. Силовые линии магнитного поля всегда направлены от N к S – от северного полюса

к южному полюсу магнита.

По правилу Ленца индукционный электрический ток в проводнике, возникающий при изменении магнитного потока, направлен таким образом, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Поэтому в катушке направление силовых линий магнитного поля противоположно силовым линиям постоянного магнита, ведь магнит движется в сторону катушки. Направление тока находим по правилу буравчика: если буравчик (с правой нарезкой) ввинчивать так, чтобы его поступательное движение совпало с направлением линий индукции в катушке, тогда направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукционного тока.

Поэтому ток через миллиамперметр течёт слева направо, как показано на рисунке красной стрелкой. В случае, когда магнит отодвигается от катушки, силовые линии магнитного поля индукционного тока будут совпадать по направлению с силовыми линиями постоянного магнита, и ток будет течь справа налево.

Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум причинам.

1. Магнитный поток изменяется вследствие **перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле**. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле. Возникновение ЭДС индукции объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках.. Электродвижущая сила в цепи — это результат действия сторонних сил, т.е. сил неэлектрического происхождения. **Сила Лоренца** играет в этом случае роль **сторонней силы,** под действием которой происходит разделение зарядов, в результате чего на концах проводника появляется разность потенциалов.

Рассмотрим в качестве примера возникновение ЭДС индукции в прямоугольном контуре, помещенном в однородное магнитное поле B, перпендикулярное плоскости контура. Пусть одна из сторон контура длиной l скользит со скоростью v по двум другим сторонам.

На свободные заряды на этом участке контура действует сила Лоренца. Составляющая силы Лоренца, действующая на свободный электрон, связанная с **переносной** скоростью v зарядов, направлена вдоль проводника. Эта составляющая указана на рис. 3. Это она играет роль сторонней силы. Ее модуль равен $F_Л = e\upsilon B$

Э. д. с. индукции в проводнике характеризует работу по перемещению единичного положительного заряда вдоль проводника.

Работа силы $F_Л$ на пути l равна $A = F_Л \cdot l = e\upsilon Bl$

По определению ЭДС

В других неподвижных частях контура сторонняя сила равна нулю. Соотношению для $_{инд}$ можно придать привычный вид. За времы Δt площадь контура изменяется на $\Delta S = l\upsilon\Delta t$. Изменение магнитного потока за это время равно $\Delta\Phi = Bl\upsilon\Delta t$. Следовательно,

Если сопротивление всей цепи равно R, то по ней будет протекать индукционный ток, равный

$\boldsymbol{I_{инд} = {}_{инд}/R}$.

За время Δt на сопротивлении R выделится джоулево тепло

Возникает вопрос: откуда берется эта энергия, ведь сила Лоренца работы не совершает! Этот парадокс возник потому, что мы учли работу только одной составляющей силы Лоренца. При протекании индукционного тока по проводнику, находящемуся в магнитном поле, на свободные заряды действует еще одна составляющая силы Лоренца, связанная с **относительной** скоростью движения зарядов вдоль проводника. Эта составляющая ответственна за появление силы Ампера F_A . Для случая, изображенного на рис. 3, модуль силы Ампера равен $F_A = IBl$. Сила Ампера направлена навстречу движения проводника; поэтому она совершает отрицательную механическую работу. За время Δt эта работа $A_{мех}$ равна

Движущийся в магнитном поле проводник, по которому протекает индукционный ток, испытывает **магнитное торможение**. **Полная работа силы Лоренца равна нулю**.

Джоулево тепло в контуре выделяется либо за счет работы внешней силы, которая поддерживает скорость проводника неизменной, либо за счет уменьшения кинетической энергии проводника.

При движении проводника вправо свободные электроны, содержащиеся в нем, будут двигаться также вправо, т. е. возникает конвекционный ток. Направление этого тока обратно направлению движения электронов.

На каждый движущийся электрон со стороны магнитного поля действует сила Лоренца $F_л$. Заряд электрона — отрицательный. Поэтому сила Лоренца направлена вниз.

Под действием этой силы электроны будут двигаться вниз, поэтому в нижней части проводника l накапливаются отрицательные заряды, а в верхней —

положительные. Образуется разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$, в проводнике возникает электрическое поле напряженностью E, которое препятствует дальнейшему перемещению электронов.

В момент, когда сила $F_{эл} = eE$, действующая на заряды со стороны этого электрического поля, станет равной по модулю силе $F_л = evB\sin\alpha$, действующей на заряды со стороны магнитного поля, т.е. при $eE = evB\sin\alpha$ или $E = vB\sin\alpha$, заряды перестанут перемещаться.

Напряженность электрического поля E в движущемся проводнике длиной l и разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ связаны между собой соотношением

$$\varphi_1 - \varphi_2 = El$$

или

$$\varphi_1 - \varphi_2 = vBl\sin\alpha$$

Если такой проводник замкнуть, то по цепи пойдет ток. Таким образом, на концах проводника индуцируется э.д. с.

$$\varepsilon_{инд} = vBl\sin\alpha$$

2. Вторая причина изменения магнитного потока, пронизывающего контур, – **изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре**. В этом случае возникновение ЭДС индукции уже нельзя объяснить действием силы Лоренца. Электроны в неподвижном проводнике могут приводиться в движение только электрическим полем. Это электрическое поле порождается изменяющимся во времени магнитным полем. Работа этого поля при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому контуру равна ЭДС индукции в неподвижном проводнике. Следовательно, электрическое поле, порожденное изменяющимся магнитным полем, **не является** потенциальным. Его называют **вихревым электрическим полем**. Представление о вихревом электрическом поле было введено в физику великим английским физиком Дж. Максвеллом (1861 г.).

Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках, возникающее при изменении окружающего магнитного поля, также описывается формулой Фарадея.

Таким образом, явления индукции в движущихся и неподвижных проводниках **протекают одинаково**, но физическая причина возникновения индукционного тока оказывается в этих двух случаях различной: в случае движущихся проводников ЭДС индукции обусловлена силой Лоренца; в случае неподвижных проводников ЭДС индукции является следствием действия на свободные заряды вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля.

Явление электромагнитной индукции лежит в основе действия **электрических генераторов**. Если равномерно вращать проволочную рамку в однородном магнитном поле, то возникает индуцированный ток, периодически изменяющий свое направление. Даже одиночная рамка, вращающаяся в однородном магнитном поле, представляет собой генератор переменного тока. Более сложные генераторы обычно являются улучшенными вариантами такого устройства.

Литература:

1. Основная:
   1.1. Мякишев Г.Я. Физика: Учебник для 11 класса общеобразовательных организаций: базовый уровень/ Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под Н.А. Парфентьевой – 2-е изд. - М: Просвещение, 2016.
   1.2. Рымкевич А.П., “***Сборник задач по физике”*** – Москва, 2004р.
2. Дополнительная:
   1.1. „Естествознание: учебное пособие”. Саенко О.Е., Трушина Т.П., Арутюнян О.В. М.: КНОРУС, 2014.-368с.
   1.2. „***Элементарный учебник физики”;*** под ред. Г.С. Ландсберга – Москва, 1986р

Вопросы для самопроверки

1. В чём особенность постоянных магнитов?
2. Как передаётся силовое взаимодействие между магнитами?
3. Только ли магниты являются источниками магнитного поля?
4. Как доказать, что проводник с током тоже источник магнитного поля?
5. Почему проводники с током взаимодействуют, а без тока нет, ведь ток не производит изменений состава проводника?
6. Опишите силовое взаимодействие двух проводников.
7. Какие характеристики существуют для описания магнитного поля?
8. Как определить направление магнитных силовых линий?
9. В чём отличие магнитных силовых линий от электрических?

Дополнительные материалы.

1. Видео-ролик "Принцип работы электродвигателя"
2. Презентация "Электроизмерительные приборы" скачать с **Яндекса**

Медиа-материалы из Единой коллекции Цифровых Образовательных Ресурсов:

Рисунок "Вольтметр" 8_140
Рисунок-плакат "Электродвигатель" 8_224
Слайд-шоу "Работа электродвигателя" 8_225
Рисунок-плакат "Электроизмерительный прибор электродинамической системы" 8_227
Рисунок-плакат "Электроизмерительный прибор" 8_228
Слайд-шоу "Работа амперметра" 8_229
Слайд-шоу "Работа электроизмерительного прибора" 8_230