Тема: Вихревые токи и их использование в технике

Перейдите по ссылке и посмотрите фильм по теме, а затем изучите теоретический материал по теме и ответить на вопросы

<https://www.youtube.com/watch?v=wlQGLtXQjXk>

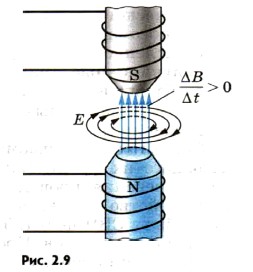
Магнитный поток Ф = BS cos α. Изменение магнитного потока через контур может происходить: 1) в случае неподвижного проводящего контура, помещенного в изменяющееся во времени поле; 2) в случае проводника, движущегося в магнитном поле, которое может и не меняться со временем. Значение ЭДС индукции в обоих случаях определяется законом (2.4), но происхождение этой ЭДС различно.

Рассмотрим сначала первый случай возникновения индукционного тока. Поместим круговой проволочный виток радиусом r в переменное во времени однородное магнитное поле (рис. 2.8). Пусть индукция магнитного поля увеличивается, тогда будет увеличиваться со временем и магнитный поток через поверхность, ограниченную витком. Согласно закону электромагнитной индукции в витке появится индукционный ток. При изменении индукции магнитного поля по линейному закону индукционный ток будет постоянен.

Какие же силы заставляют заряды в витке двигаться? Само магнитное поле, пронизывающее катушку, этого сделать не может, так как магнитное поле действует исключительно на движущиеся заряды (этим-то оно и отличается от электрического), а проводник с находящимися в нем электронами неподвижен.

Кроме магнитного поля, на заряды, причем как на движущиеся, так и на неподвижные, действует еще электрическое поле. Но ведь те поля, о которых пока шла речь (электростатическое или стационарное), создаются электрическими зарядами, а индукционный ток появляется в результате действия меняющегося магнитного поля. Поэтому можно предположить, что *электроны в неподвижном проводнике приводятся в движение электрическим полем и это поле непосредственно порождается меняющимся магнитным полем*. Тем самым утверждается новое фундаментальное свойство поля: **изменяясь во времени, магнитное поле порождает электрическое поле.** К этому выводу впервые пришел Дж. Максвелл.

Теперь явление электромагнитной индукции предстает перед нами в новом свете. Главное в нем — это процесс порождения полем магнитным поля электрического. При этом наличие проводящего контура, например катушки, не меняет существа процесса. Проводник с запасом свободных электронов (или других частиц) играет роль прибора: он лишь позволяет обнаружить возникающее электрическое поле. Поле приводит в движение электроны в проводнике и тем самым обнаруживает себя. Сущность явления электромагнитной индукции в неподвижном проводнике состоит не столько в появлении индукционного тока, сколько в возникновении электрического поля, которое приводит в движение электрические заряды.

Электрическое поле, возникающее при изменении магнитного поля, имеет совсем другую природу, чем электростатическое.

Оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его линии напряженности не могут на них начинаться и кончаться. Они вообще нигде не начинаются и не кончаются, а представляют собой замкнутые линии, подобные линиям индукции магнитного поля. Это так называемое вихревое электрическое поле (рис. 2.9).

Чем быстрее меняется магнитная индукция, тем больше напряженность электрического поля. Согласно правилу Ленца при возрастании магнитной индукции  направление вектора напряженности  электрического поля образует *левый* винт с направлением вектора . Это означает, что при вращении винта с левой нарезкой в направлении линий напряженности электрического поля поступательное перемещение винта совпадает с направлением вектора магнитной индукции. Напротив, при *убывании* магнитной индукции  направление вектора напряженности  образует правый винт с направлением вектора .

Направление силовых линий напряженности  совпадает с направлением индукционного тока. Сила, действующая со стороны вихревого электрического поля на заряд q (сторонняя сила), по-прежнему равна  = q. Но в отличие от случая стационарного электрического поля работа вихревого поля по перемещению заряда q на замкнутом пути не равна нулю. Ведь при перемещении заряда вдоль замкнутой линии напряженности электрического поля работа на всех участках пути имеет один и тот же знак, так как сила и перемещение совпадают по направлению. **Работа вихревого электрического поля** при перемещении единичного положительного заряда вдоль замкнутого неподвижного проводника численно равна ЭДС индукции в этом проводнике.

**Индукционные токи в массивных проводниках.** Особенно большого числового значения индукционные токи достигают в массивных проводниках, из-за того, что их сопротивление мало.

Такие токи, называемые *токами Фуко* по имени исследовавшего их французского физика, можно использовать для нагревания проводников. На этом принципе основано устройство индукционных печей, например используемых в быту СВЧ-печей. Также этот принцип используется для плавки металлов. Кроме этого явление электромагнитной индукции используется в детекторах металла, устанавливаемых при входах в здания аэровокзалов, театров и т. д.

Однако во многих устройствах возникновение токов Фуко приводит к бесполезным и даже нежелательным потерям энергии на выделение тепла. Поэтому железные сердечники трансформаторов, электродвигателей, генераторов и т. д. делают не сплошными, а состоящими из отдельных пластин, изолированных друг от друга. Поверхности пластин должны быть перпендикулярны направлению вектора напряженности вихревого электрического поля. Сопротивление электрическому току пластин будет при этом максимальным, а выделение тепла — минимальным.

**Применение ферритов.** Радиоэлектронная аппаратура работает в области очень высоких частот (миллионы колебаний в секунду). Здесь применение сердечников катушек из отдельных пластин уже не дает нужного эффекта, так как большие токи Фуко возникают в каждой пластине.

Мы уже отмечали, что существуют магнитные изоляторы — ферриты. При перемагничивании в ферритах не возникают вихревые токи. В результате потери энергии на выделение в них тепла сводятся к минимуму. Поэтому из ферритов делают сердечники высокочастотных трансформаторов, магнитные антенны транзисторов и др. Ферритовые сердечники изготовляют из смеси порошков исходных веществ. Смесь прессуется и подвергается значительной термической обработке.

При быстром изменении магнитного поля в обычном ферромагнетике возникают индукционные токи, магнитное поле которых, в соответствии с правилом Ленца, препятствует изменению магнитного потока в сердечнике катушки. Из-за этого поток магнитной индукции практически не меняется и сердечник не перемагничивается. В ферритах вихревые токи очень малы, поэтому их можно быстро перемагничивать.

Наряду с потенциальным кулоновским электрическим полем существует вихревое электрическое поле. Линии напряженности этого поля замкнуты. Вихревое поле порождается меняющимся магнитным полем.

Ответы на вопросы сдать 20.05.20 на эл. адрес [ris-alena@mail.ru](mailto:ris-alena@mail.ru) или Viber, WhatsApp

**Вопросы**

1. Какова природа сторонних сил, вызывающих появление индукционного тока в неподвижном проводнике?

2. В чем отличие вихревого электрического поля от электростатического или стационарного?

3. Что такое токи Фуко?

4. В чем преимущества ферритов по сравнению с обычными ферромагнетиками?