23.03

**Урок 13-14. Анализ явления электромагнитной индукции, самоиндукции и взаимоиндукции.**

**Ответит на вопросы в тетради.**

# Электромагнитная индукция

*Закон электромагнитной индукции.* Рассмотрим проводник длиной /, который движется со скоростью v в магнитном поле (рис. 6.17). В проводнике имеются свободные электроны, которые вместе с проводником движутся в МП. МП воздействует на эти электроны с силой *F0,* которая смещает электроны к концу 1 проводника. На другом конце 2 проводника будут концентрироваться положительные заряды (там возникает недостаток электронов).

В результате в проводнике возникает электродвижущая сила (ЭДС электромагнитной индукции *е),* а явление ее возникновения называется электромагнитной индукцией.

ЭДС определяется выражением *е = Bvl* sin а. Если скорость v перпендикулярна вектору *В,* то *а* =90° и в этом случае *е = Bvl.* Направление *е* можно определить по правилу правой руки: если магнитные силовые линии *В* входят в ладонь, а отогнутый большой палец расположен по направлению скорости V, то четыре вытянутые пальца ладони показывают направление *е.*



Рис. 6.17. **ЭДС индукции в проводнике**

*Закон электромагнитной индукции* был открыт английским физиком М. Фарадеем. Формулируется он следующим образом: любое изменение МП, в которое помещен проводник произвольной формы, вызывает в проводнике появление ЭДС электромагнитной индукции.

*ЭДС индукции в контуре.* Поместим в МП замкнутый контур — рамку из проводников, которая перемещается со скоростью *V* перпендикулярно линиям индукции (рис. 6.18). Если МП однородное (одинаковое во всех точках поля), то в проводниках 1 — 4 и 2 — 3 рамки будут индуцироваться одинаковые

ЭДС е, в проводниках 1 — 2 и 3 — 4 ЭДС появляться не будут, так как они не пересекают силовые линии поля. Суммарная ЭДС в контуре будет равна нулю.



Рис. 6.18. **ЭДС индукции в рамке**

При перемещении рамки в неоднородном МП в ней будет появляться ЭДС, которую рассчитывают по формуле *е = —АФ/At* (•), где *АФ* — изменение магнитного потока, пронизывающего контур за время *At.*

Изменение магнитного потока может происходить по различным причинам: из-за неоднородности МП при движении рамки; вследствие изменения потока во времени *Ф = f(t*); при деформации самой рамки.

Индуцированная в рамке ЭДС приводит к появлению в ней тока. Русский ученый Э.Х. Ленц первым сформулировал закон, который позволяет определить направление индуцированных ЭДС и тока. Этот закон называют *законом Ленца.* Формулируется он следующим образом: в замкнутом контуре, помещенном в МП, индуцируется ток такого направления, чтобы препятствовать изменению основного магнитного потока, пронизывающего контур.

Если магнитный поток, пронизывающий рамку, увеличивается, индуцируемый в рамке ток старается уменьшить основной поток, и наоборот, при уменьшении потока индуцируемый ток будет увеличивать общий поток. Об этом и говорит знак «минус» в формуле расчета ЭДС.

*ЭДС самоиндукции и индуктивность катушки.* Пропустим через катушку изменяющийся во времени электрический ток *i* (рис. 6.19). Этот ток будет создавать переменный магнитный поток и, следовательно, возникнет ЭДС, которая называется ЭДС самоиндукции *eL.* Для количественной оценки этой ЭДС вводят понятие потокоспепления . Хотя витки катушки пронизываются различным количеством силовых линий, можно определить 'Р, как суммарный магнитный поток самоиндукции, создаваемый током катушки *i*: *Ф1,Ф1,Фъ,...,Фч> ,* где *Ф] +Фп +Ф}* +... + *Фм-* — магнитные потоки самоиндукции от первого, второго, третьего и так далее витков катушки при протекании тока *i.*



Рис. 6.19. **Магнитное поле катушки с током**

В среде с постоянной магнитной проницаемостью существует линейная зависимость от *i,* т.е. *'?=Li,* где *L* — коэффициент пропорциональности, который называется индуктивностью катушки. Единицей индуктивности является генри (Гн).

Применяя формулу (•), получаем выражение для ЭДС самоиндукции где A4\*? и Д*i* — изменения потокосцепления и тока за время Д/.

Так же, как и ЭДС *е* индукции, ЭДС самоиндукции *eL* подчиняется закону Ленца, т.е. препятствует изменению потока (тока) в катушке.

*ЭДС взаимоиндукции.* Рассмотрим случай, когда две катушки расположены рядом и по одной из них протекает ток /,, (рис. 6.20,а). Этот ток создает поток самоиндукции Фп, который полностью пронизывает катушку 1 и частично катушку 2. Поток Ф12, пронизывающий катушку 2, называется потоком взаимоиндукции. Сцепляясь с витками катушек w, и иг,, потоки образуют потокосцепления 

Оба потокосцепления создаются одним током и в среде с постоянной магнитной проницаемостью будут ему пропорциональны, т.е. Ч\*, = *Ly* и где *Lx* — индуктивность первой катушки, М12 — коэффициент пропорциональности, который называется взаимной индуктивностью. Единицей взаимной индуктивности является генри (Гн).

Если при отсутствии тока в первой катушке во второй катушке пропустить ток /2, то возникнет поток самоиндукции второй катушки Ф22 и поток взаимоиндукции Ф2] (рис. 6.20, *б).* Потокосцепление взаимоиндукции Ч^ определяется выражением Ч,|2 = М*12/,.*



Рис 6.20. Магнитное поле индуктивно связанных катушек *а* — ток в катушке 1; *б* — ток в катушке 2

В среде без ферромагнетиков М12 *= М2] = М.* Взаимная индуктивность *М*зависит от размеров и расположения катушек, числа витков и магнитной среды.

Если ток /, будет изменяться во времени, то потокосцепления Ч'п и Ч'ртоже будут изменяться во времени. В обеих катушках будут появляться ЭДС индукции *ел* и е12, при этом *ел* называется ЭДС самоиндукции первой катушки, a *ev* — ЭДС взаимоиндукции (рис. 6.20). Они определяются следующими выражениями:



ЭДС взаимоиндукции образуется в любом замкнутом контуре, который пронизывается изменяющимся потоком. Так, сечение магнитопровода трансформатора можно рассматривать как контур, в котором ЭДС будет генерировать кольцевые токи. Эти токи называются вихревыми. Они вызывают потери в магнитопроводах различных устройств. Чтобы уменьшить вихревые токи маг- нитопроводы трансформаторов набирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга.

1. В чем состоит явление электромагнитной индукции?

2. Изменение каких физических величин может привести к изменению магнитного потока?

3. В каком случае направление индукционного тока считается положительным, а в каком — отрицательным?

4. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Запишите его математическое выражение.

5. Сформулируйте правило Ленца. Приведите примеры его применения