

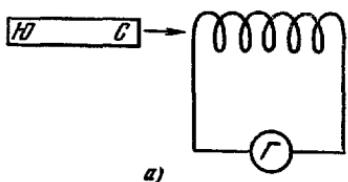
## ГЛАВА IX

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

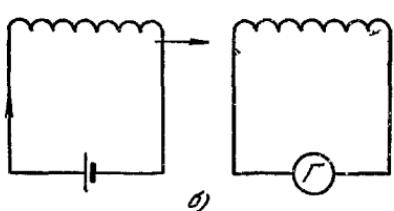
#### § 40. Открытие явления электромагнитной индукции

С момента открытия связи магнитного поля с током (Эрстед, 1820 г.) делались многочисленные попытки возбудить ток в контуре с помощью магнитного поля. Задача эта была решена М. Фарадеем, открывшим в 1831 г. явление электромагнитной индукции.

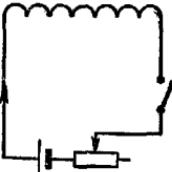
Явление это состоит в следующем. Если поток вектора индукции, пронизывающий замкнутый проводящий контур, меняется, то в контуре возникает электрический ток. При этом явление *совершенно не зависит от способа изменения потока индукции*. В качестве иллюстрации приведем некоторые из классических опытов Фарадея. Если свитый в катушку проводник замкнуть на гальванометр и вдвигать в нее постоянный



а)



б)



в)

Рис. 356.

магнит (рис. 3.56, а), то гальванометр покажет возникновение кратковременного импульса тока. При прекращении движения магнита прекращается и ток. Если изменить направление движения магнита и вытягивать его из катушки, то направление тока в контуре изменяется на обратное. Такое же изменение направления тока

происходит при перемене полюсов магнита. Для получения индукционного тока можно держать магнит неподвижным, а двигать с той же скоростью, но в обратном направлении катушку.

Точно такая же картина наблюдается и при замене постоянного магнита электромагнитом. Если соленоид, по которому пропускается постоянный ток, перемещать относительно катушки (рис. 3.56, б), то в последней также возникает индукционный ток.

Наконец, если обе катушки закрепить неподвижно, но менять магнитное поле, создаваемое первой катушкой, включая или выключая

источник тока или изменения ток реостатом (рис. 3.56, в), то во второй катушке возникает индукционный ток, тем больше, чем быстрее изменяется ток в первой катушке.

Обобщая результаты всех своих опытов, Фарадей пришел к выводу, что индукционный ток возникает всегда, когда проводник пересекает линии магнитной индукции и в замкнутом контуре изменяется число охватываемых им линий, т. е. изменяется сцепленный с ним

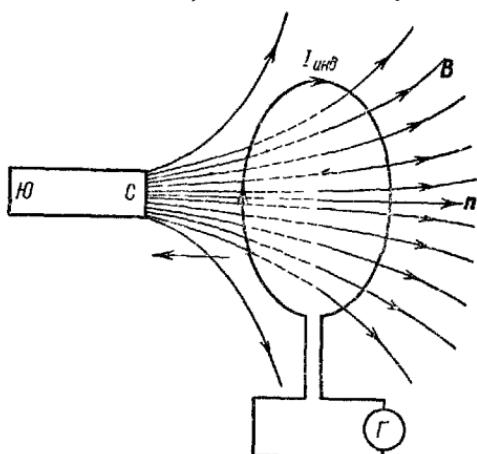


Рис. 3.57.

магнитный поток  $\Phi$ . Переводя представления Фарадея на современный язык, мы можем сформулировать это так:

*э. д. с. индукции, возникающая в замкнутом контуре, зависит от скорости изменения магнитного потока, сцепленного с контуром, т. е. от  $d\Phi/dt$ .*

Для каждого случая индукции Фарадей указывал направление индуцированного тока. Общее правило для нахождения направления этих токов было установлено в 1833 г. Э. Х. Ленцем: «... если металлический проводник передвигается вблизи гальванического тока или вблизи магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, которое вызвало бы движение покоящегося провода в направлении, прямо противоположном направлению движения, навязанному проводу извне ...».

Таким образом, изменяя магнитный поток  $\Phi$ , сцепленный с данным контуром (например, перемещая проводник во внешнем магнитном поле), мы найдем, что индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им дополнительное магнитное поле препятствует изменению начального магнитного потока  $\Phi$ .

Если, например, приближать виток (с выбранным направлением нормали  $n$ ) к северному полюсу постоянного магнита и тем самым увеличивать магнитный поток, пронизывающий виток ( $d\Phi/dt > 0$ ), то в витке возникнет индукционный ток  $I_{инд}$  такого направления (рис. 3.57), что на ближайшей к магниту стороне витка образуется тоже северный полюс, препятствующий дальнейшему приближению витка. Ток в витке пойдет против часовой стрелки ( $\mathcal{E}_{инд} < 0$ ), и его собственное магнитное поле будет уменьшать магнитный поток, сцепленный с контуром.

Если же виток на рис. 3.57 удалять от северного полюса постоянного магнита, то магнитный поток в нем будет убывать ( $d\Phi/dt < 0$ ) и индукционный ток пойдет по часовой стрелке ( $\mathcal{E}_{инд} > 0$ ) так, что его собственное магнитное поле увеличит магнитный поток.

В обоих случаях магнитное поле возникающего индукционного тока стремится препятствовать вызвавшему его изменению магнитного потока. Это и есть формулировка правила Ленца.

## § 41. Природа и величина электродвижущей силы индукции

При индуктировании тока в проводнике в последнем начинают двигаться электрические заряды и возникает обусловленное их движением магнитное поле. При этом в контуре накапливается энергия, которая локализована в магнитном поле тока. Эта энергия накапливается контуром (его полем) за счет работы внешних сил, возбуждающих индуцированный ток, например, за счет механической работы перемещения магнитов или контуров. В свою очередь энергия индукционного тока может переходить в другие формы энергии, в частности в тепловую. В результате контур будет нагреваться, а ток в контуре — убывать.

В этих процессах так же, как и при всех механических, тепловых и электрических явлениях, строго соблюдается закон сохранения энергии. Поэтому вывод количественного выражения для э. д. с. индукции проще всего сделать, исходя из закона сохранения энергии.

Рассмотрим плоский контур с подвижной стороной, изображенный на рис. 3.58. Батарея с э. д. с.  $\mathcal{E}_0$  создает в этом контуре

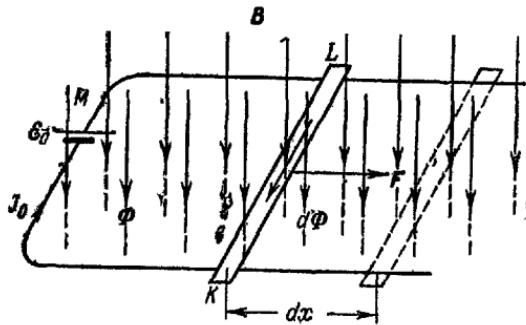


Рис. 3.58.