



Э. Х. Ленц

1804—1865

О направлении индукционного тока

В электродинамике XIX в. существовало немало правил, определяющих направление тех или иных действий. Достаточно вспомнить правило «левой руки», правило буравчика, правило «правой руки» и т. д. Все они имеют чисто мнемонический смысл. Подобные правила для определения направления индукционного тока давал и Фарадей. Как известно, сам ученый термином «электромагнитная индукция» не пользовался, заменяя его терминами «магнитоэлектрическая индукция» и «вольто-электрическая индукция», выражающими частные случаи открытого им явления. В соответствии с этим Фарадей вводил различные правила для определения направления индукционного тока, а иногда и по несколько правил для каждого случая. Заслуга установления общего закона, определяющего направление тока индукции, принадлежит Э. Х. Ленцу.

Эмилий Христианович Ленц родился 24 февраля 1804 г. в семье чиновника в городе Дерпте (ныне Тарту Эстонской ССР). Мальчик рано лишился отца, однако благодаря усилиям матери он успешно закончил гимназию и поступил в 1820 г. в университет родного города.

Научная деятельность Ленца началась рано: после второго курса университета он по рекомендации ректора в качестве физика научной экспедиции отправляется в кругосветное плавание (1823—1826). С помощью сконструированных им глубометра и батометра (прибора для снятия проб воды и определения ее температуры на разных глубинах) он занимается физическими исследованиями в водах Берингова пролива, Тихого и Индийского океанов. Отчет Ленца о проведенных исследованиях был высоко оценен учеными, и в 1828 г. его единогласно избрали адъюнктом Петербургской Академии наук.

Исследовательскую деятельность Ленц с успехом сочетал с активной общественной работой в Академии наук, действительным членом которой он стал в 1834 г. С 1838 г. и до конца своей жизни Ленц вел большую преподавательскую работу в качестве профессора, декана физико-математического факультета, а в конце

жизни (умер ученый 10 февраля 1865 г.) — и ректора Петербургского университета, руководил научными исследованиями студентов и аспирантов.

Ленц заложил основы первой в России научной школы физиков-электротехников, из которой вышли впоследствии такие ученые, как А. С. Попов, Ф. Ф. Петрушевский, В. Ф. Миткевич, М. А. Шателен и др.

Экспериментальные исследования по электромагнетизму Ленц начал в 1831 г. в академической лаборатории, перешедшей к нему от первого русского электротехника, открывшего и описавшего электрическую дугу, академика В. В. Петрова. Ленц сконструировал чувствительный гальванометр (мультипликатор — прибор, оценивающий силу тока по отклонению магнитной стрелки, расположенной вблизи катушки с током) и магнитной стрелки, расположенной вблизи катушки с током) и проверил справедливость закона Ома. Он одним из первых в Европе широко применял этот закон в своих исследованиях и немало способствовал признанию закона научной общественностью.

В 1843 г. Ленц после проведения тонких экспериментов независимо от Дж. Джоуля приходит к установлению закона теплового действия тока. На основании выполненных 16 серий измерений Ленц в статье «О законах выделения тепла гальваническим током» сделал следующий вывод: нагревание проволоки гальваническим током пропорционально сопротивлению проволоки и квадрату силы тока.

Ленц также изучал зависимость сопротивления металлов от температуры.

Особым этапом в творчестве Ленца стала его совместная исследовательская работа с другим петербургским академиком, электротехником Б. С. Якоби. Они впервые разработали методы расчета электромагнитов в электрических машинах и установили существование в этих машинах так называемой «реакции якоря». Все это сыграло важную роль в развитии теоретических основ электротехники.

Сразу же после открытия Фарадеем явления электромагнитной индукции Ленц приступил к поискам общего правила определения направления индукционного тока. 29 ноября 1833 г. он докладывает о найденном правиле в Академии наук. Вскоре его доклад перепечатают многие европейские журналы, и правило Ленца становится общепризнанным, а его автор приобретает мировую известность. Но открытие Ленца давало не только удобное правило для определения направления индукционного тока: была найдена закономерность, важная как для теоретической электродинамики, так и для развития электротехники.

В 1846 г. Ф. Нейман первым указывает на энергетический смысл открытия Ленца, а годом позже Г. Гельмгольц в мемуаре «О сохранении силы» показывает, что правило Ленца представляет собой следствие закона сохранения энергии применительно к электромагнитным явлениям. Сходное устройство динамомашин

и электромоторов (что называется в электромашиностроении принципом эквивалентности или обратимости) также является следствием правила Ленца.

Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамической индукцией

Доложено 29 ноября 1833 г.

В своих «Экспериментальных исследованиях по электричеству» Фарадей¹ определяет направление гальванических токов, вызываемых индукцией, следующим образом: 1) гальванический ток вызывает в приближаемой к нему параллельной проволоке ток противоположного направления, а в удаляемой — ток того же направления; 2) магнит вызывает в перемещающемся около него проводнике ток, зависящий от направления, в котором проводник при своем движении пересекает магнитные линии. Однако помимо того, что здесь даются два совершенно различных правила для одного и того же явления (так как, по изящной теории Ампера, магнит можно себе представить как систему круговых гальванических токов), это правило является еще и недостаточным, по крайней мере непосредственно, так как оно не охватывает ряда случаев, например того, когда проводник, расположенный перпендикулярно току, перемещается вдоль него. Наконец, второй пункт правила, по моему убеждению, не обладает такой степенью простоты, чтобы его можно было применять к отдельным [конкретным] случаям. Я думаю, что и другие читатели этого, вообще говоря, превосходного произведения согласятся в этом со мной, если вспомнят п. 116, где Фарадей пытается сделать это правило более отчетливым, пользуясь [в качестве проводника] лезвием ножа, перемещаемым по магниту; да Фарадей и сам упоминает о том, как трудно хорошо объяснить направление токов.

Нобили исходит из первого положения Фарадея, а именно, что при приближении проводника к параллельному ему гальваническому току в проводнике возбуждается ток противоположного направления, а при удалении — того же направления, и пытается только этим правилом объяснить все явления электродинамической индукции и направления возбуждаемых ею токов. Однако эта работа, вообще говоря очень ценная, в ряде пунктов не имеет для меня той степени очевидности, которой мы вправе ожидать в физических статьях; сюда относится пункт, содержащий объяснение [появления] токов, которые возникают в проводнике, перпендикулярном гальваническому току и перемещающемся вдоль него.

Фарадей, конечно, прав, когда он против всей теории итальянского физика выдвигает то возражение, что при вращении магни-

та вокруг его собственной оси и при надлежащем наложении на него проводов также возбуждается гальванический ток, хотя здесь никакого приближения или удаления [амперовых] токов магнита относительно последнего нет; напротив, все в нем сохраняет свое относительное положение.

Сейчас же по прочтении статьи Фарадея я пришел к мысли, что все опыты по электродинамической индукции могут быть легко сведены к законам электродинамических движений, так что если эти последние считать известными, то можно определить и первые. Так как это мое представление оправдалось на ряде опытов, то я и изложу его в последующем, проверяя отчасти на уже известных и отчасти на нарочно для этой цели поставленных опытах.

Положение, посредством которого магнитоэлектрическое явление сводится к электромагнитному, заключается в следующем.

Если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, что [если бы данный] проводник был неподвижным, то мог бы обусловить его перемещение в противоположную сторону. При этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении движения или в противоположном направлении.

Поэтому, для того чтобы ясно представить себе направление тока, возбуждаемого в подвижном проводнике посредством электромагнитной индукции, надо сообразить, куда по электромагнитным законам должен быть направлен тот ток, который вызвал бы это движение [проводника]; направление тока, возбужденного в проводнике, будет ему противоположно. Для примера рассмотрим известный фарадеевский опыт с вращением, в котором через вертикально висящий подвижный проводник пропускается гальванический ток сверху вниз. Следовательно, этот проводник обвивает северный полюс находящегося как раз под ним магнита в направлении от севера через восток к югу. Если мы теперь не будем пропускать ток через подвижный проводник, а сообщим проводнику только что упомянутое движение какими-нибудь механическими способами, то, по нашим законам, в нем будет возбуждаться ток, который, будучи направлен в сторону, противоположную предыдущему случаю, пойдет по подвижному проводнику снизу вверх. Он может быть и обнаружен в нем, если соединить его верхний и нижний концы через мультипликатор.

Если мы теперь отчетливо представим себе этот закон, то сможем вывести из него следствие, что каждому явлению электромагнитного движения должен соответствовать случай электродинамической индукции. Нужно только движение, вызываемое электромагнитным путем, осуществлять каким-нибудь другим способом. Тогда в подвижном проводнике будет возбуждаться ток, противоположный по направлению тому, который проходил в электромагнитном опыте. В дальнейшем я приведу несколько

таких соответствующих друг другу явлений, и притом так, что тотчас после электромагнитного явления будет следовать соответствующее ему магнитоэлектрическое. Первое я буду обозначать большими буквами латинского алфавита, а второе — соответствующими малыми. Таким образом, мы одновременно наилучшим образом осветим правильность нашего закона. Еще большую ясность внесут рисунки [рис. 86—88], в которых схемы опытов приведены с теми же обозначениями, как в тексте (*A, a — F, f*). Относительно них я замечу следующее: как направление движения, так и направление тока обозначены стрелками, но стрелки в этих двух случаях имеют различную форму. Стрелка с кружком на конце относится к движению, а стрелка без кружка на конце — к току; стрелки, вычерченные сплошной линией, обозначают осуществляемое в опыте движение или пропущенный ток, а стрелки пунктирные — того же вида движение, или ток, полученные в результате опыта. Помня эти обозначения, можно без труда разобраться в рисунках. Итак, я перехожу к самим опытам.

A. Прямолинейный проводник, через который проходит гальванический ток, притягивает параллельный ему подвижный проводник, когда через него пропущен ток, имеющий одинаковое направление с током в первом проводнике [рис. 86]. Но он его отталкивает, если направление тока в подвижном проводнике противоположно направлению в неподвижном (Ампер).

a. Если через один из двух прямолинейных параллельных друг другу проводников проходит гальванический ток и если второй проводник приближается к первому в *параллельном направлении*, то в подвижном проводнике во время перемещения возбуждается ток, противоположный току в неподвижном проводнике; но если его удалять, то возбуждаемый ток имеет то же направление, что и возбуждающий (Фарадей). <...>

D. Если прямолинейный ток проходит над свободно висящей магнитной стрелкой, ориентируемой силой земного магнетизма в направлении с юга на север и притом параллельно стрелке, то северный полюс магнитной стрелки отклонится к западу [рис. 87]. Если же ток идет с севера на юг, то стрелка отклоняется на восток. Если проволока расположена под стрелкой, то в первом случае стрелка отклоняется на восток, а во втором — на запад (Эрстед).

d. Если над магнитом, ориентированным в его естественном положении с юга на север, расположить параллельно ему проводник, а затем магнит внезапно повернуть вокруг его средней точки северным полюсом на запад, то в проводнике возбуждается ток, идущий с севера на юг; если магнит повернуть на восток,



Рис. 86

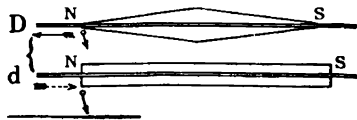


Рис. 87

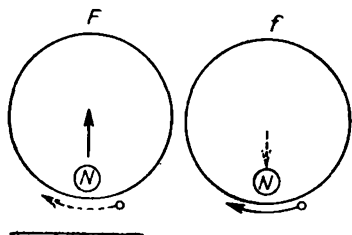


Рис. 88

то ток пойдет с юга на север. Если проводник находится под магнитом, то ток в первом случае идет с юга на север, а во втором — с севера на юг (Ленц). Для этого опыта я взял в качестве проводника сторону квадрата длиной 1 фут, состоящую из нескольких витков оплетенной шелком медной проволоки. Эту сторону я располагал на

таком расстоянии от магнита длиной 5 дюймов, чтобы можно было пренебречь электродинамическим действием его на другие три стороны по сравнению с действием на эту сторону. Для того чтобы определить направление возникающего в проводнике тока по вышеприведенному правилу, надо себе представить, что магнит неподвижен и что проводник поворачивается в первом случае на восток, а во втором — на запад, что, очевидно, одно и то же; так можно легко ориентироваться. <...>

Г. Если столь известное в электромагнитных опытах колесо Барлоу² расположить в плоскости меридиана, пропустить через него ток *от окружности к центру* и так установить у его нижнего конца подковообразный магнит, чтобы северный полюс был расположен к западу от колеса, а южный — к востоку, то колесо будет вращаться вокруг своей оси в направлении стрелки часов, циферблат которых обращен на запад [рис. 88]. Если ток идет *от центра к периферии*, то движение происходит в противоположном направлении. Если магнит повернуть так, чтобы его северный полюс был расположен на восток, то и направления вращения в обоих случаях также меняются на обратные (Барлоу).

г. Если насадить медный диск на ось, вокруг которой он мог бы вращаться, и поднести к диску подковообразный магнит так, чтобы его северный полюс приходился над диском, а южный — под ним, и поворачивать затем диск по направлению стрелки часов, циферблат которых обращен кверху, то в диске возникает ток, идущий *от центра к окружности*. Если вращение происходит против направления стрелки часов, обращенных кверху, то ток идет *от окружности к центру*. При перемене полюсов меняются также направления токов во вращающемся диске (Фарадей).

Соответствие этих двух опытов станет совершенно очевидным, если представить себе, что колесо Барлоу расположено горизонтально своей западной частью кверху, что и показано на рисунке (рис. 88). <...>

Я надеюсь, что на основании вышеизложенного можно считать достаточно доказанным совпадение вышеуказанного закона в его следствиях с опытом.

Комментарий

Перевод с немецкого статьи Э. Х. Ленца, опубликованной в журнале «Annalen der Physik und Chemie» (1834, Bd. 31, s. 483—494), выполнен М. В. Савостьяновой. Статья с незначительными сокращениями воспроизводится по изданию: Ленц Э. Х. Избранные труды. М., 1950.

- ¹ Ленц цитирует здесь те работы Фарадея об электромагнитной индукции, которые вышли в свет ранее 20 ноября 1833 г., т. е. первую и вторую серии.
- ² «Колесо Барлоу» — одна из первых моделей электромотора постоянного тока (1820). По традиции это устройство в XIX в. описывалось практически во всех учебниках физики.

Литература

- [1] Ленц Э. Х. Избранные труды. М., 1950.
- [2] Лежнева О. А., Ржонсницкий Б. Н. Эмилий Христианович Ленц. М. — Л., 1952.
- [3] Шателен М. А. Русские электротехники XIX века. М. — Л., 1955.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3