

Униполярные электромашины с однородным и неоднородным магнитом, фарадеева тангенциальная индукция и электромашины, основанные на этом принципе

Ивченков Геннадий, к.т.н.

kashey@kwic.com

Проведена серия экспериментов по детальному исследованию униполярных электромашин с однородным и неоднородным магнитом, а также фарадеевой индукции, возникающей в тангенциальных проводниках в случае движения носителя неоднородного магнитного поля, результатом чего явилось создание электрогенераторов, вырабатывающих большую часть энергии за счет «тангенциальной индукции».

Введение

Современное положение в теории электромагнетизма не может считаться удовлетворительным. Фундаментальные исследования в этой области прекратились более ста лет назад, когда теоретики электромагнетизма посчитали, что все законы открыты и все явления объяснены, а практики нашли, что этих законов вполне достаточно, чтобы создать работающие машины. Однако, за время интенсивного практического применения электромагнетизма накопилось большое количество парадоксальных явлений, необъяснимых с точки зрения современной науки и, даже, появились работающие электрические машины, которые, опять же, согласно современной науке, не могут работать, такие как «униполярный генератор и мотор» [1, 2], «мотор Маринова» [3, 4] и т.п. Кроме того, ряд очевидных электромагнитных природных явлений, таких как шаровая молния и электрофонные метеориты (метеориты, создающие очень сильные электромагнитные поля) не находят вразумительного объяснения и, соответственно, не могут быть воспроизведены в лаборатории. В частности, непонимание механизма шаровой молнии (являющейся чисто МГД образованием), свидетельствует о неполноте современных знаний об электромагнетизме, что, например, привело к 50-летнему застою в создании магнитных ловушек для термоядерной плазмы. Только благодаря огромному количеству экспериментов (50-летняя эдиссоновщина) удалось продлить время удержания плазмы до порядка 2 секунд (сравните с минутами у шаровой молнии). На эти работы были потрачены миллиарды долларов – такова плата за невежество физиков-теоретиков. Далее, в учебниках и справочниках (в частности [5, 6, 7]) вы очень часто не найдете ответа на конкретные практические задачи, такие, например, как экранирование магнитного поля, особенно, постоянного и движущегося [12]. Даже в элементарных вещах, преподаваемых в школе, царит неразбериха – очень часто смешивают

фарадеев и лоренцев механизмы наведения ЭДС и создания электродвигательной силы. Например, закон Ампера (правило левой руки), являющийся следствием проявления лоренцевой силы, «по умолчанию» считается следствием фарадеева механизма [6]. Если вы проведете ревизию формул и положений, записанных в учебниках и справочниках, то выявится масса несуразностей, завуалированных в университетских учебниках тяжелопроходимым лесом математического формализма, что и было отмечено в ряде статей, например [10, 11].

Дело усугубляется вовлечением в электромагнетизм теории относительности (СТО). Некоторые авторы считают электромагнетизм прямым следствием теории относительности [7, 8]. Прочтение же последней книги, в которой два «больших советских физика-теоретика» свели электромагнетизм к СТО, вызывает чувство раздражения и неуважения к авторам данного учебника.

У автора данной статьи, по началу, не было никакого желания проводить эксперименты по проверке и уточнению фундаментальных законов электромагнетизма. Такая необходимость появилась в процессе проведения исследований по вполне конкретной практической задаче – экранированию магнитного поля. После выяснения полной несостоятельности положений, описанных в доступных учебниках и справочниках (например, в [5, 6, 7, 8, 12]), пришлось провести ряд экспериментов, связанных с изучением этого явления, моделируя движение магнитного поля (официально считается, что поле движется вместе с магнитом) движением постоянного магнита. Несоответствие полученных результатов общепринятым законам электромагнетизма привело к необходимости проведения других экспериментов, связанных с уточнением некоторых фундаментальных положений теории электромагнетизма. Эти эксперименты привели к некоторым нетривиальным выводам, позволили уточнить принципы наведения фарадеевой ЭДС для случая движущегося носителя неоднородного магнитного поля, несколько уточнить принцип Ленца и открыть механизм тангенциальной индукции, что, в свою очередь, позволило предложить ряд электрических машин, использующих этот принцип. Некоторые из этих машин были созданы и испытаны автором [16].

1. Схема измерения ЭДС электрогенераторов и стартового момента электродвигателей использованная в данной работе

На Рис. 1 приведен пример схемы измерения ЭДС, индуцированной в униполярном генераторе.

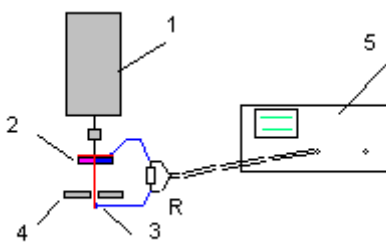


Fig. 1

Рис. 1

Аналогичные схемы применялись для измерения ЭДС, вырабатываемой другими электрогенераторами, исследованными автором (схемы приведены в соответствующих разделах).

Во всех нижеперечисленных экспериментах (кроме измерений крутящих моментов) ротор, содержащий однородный или составной постоянный магнит был закреплен в шпинделе малогабаритного сверлильного станка (1), а для магнитной экранировки нижнего проводника (используемой в некоторых экспериментах) применялась стальная плита (4) с центральным отверстием (столик станка). Относительно небольшая корость вращения шпинделя в 1000 об/мин (станок обеспечивает скорость вращения до 2500 об/мин) была выбрана для избежания биений магнита (2), что особенно важно в случае составного магнита. Для экспериментов были выбраны ферритовые дисковые (кольцевые) магниты 70x30x10 мм с $B_r = 0.27$ Тл, а также NdFeB магниты 65x20x10 мм с $B_r = 1.2$ Тл (две первые цифры – наружный и внутренний диаметры, последняя – толщина). Все электроды и щетки (3) были выполнены из немагнитного никелевого сплава. Для материала дисков был выбран фольгированный стеклотекстолит. Форма и амплитуда сигнала измерялась 2-х лучевым осциллографом “Hitachi V-212” (5). Точность измерения – порядка 0.5 мВ. Кабель, соединяющий измеряемый контур с осциллографом был шунтирован сопротивлением в 27 Ом для уменьшения промышленных наводок (внутреннее сопротивление униполярного генератора крайне мало, поэтому шунтирующее сопротивление никак не сказывается на точности измерений).

Были также проведены эксперименты по определению момента сопротивления электрогенераторов и электромоторов. В этих экспериментах измерялся их стартовый момент. Схема измерения приведена на Рис. 2.

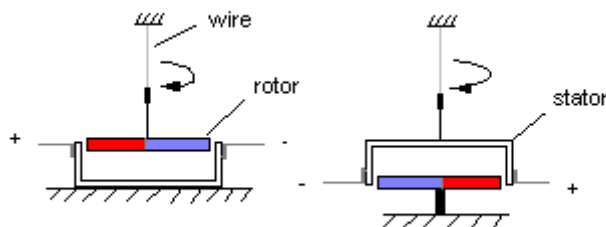


Fig. 2

Ротор (статор) был подвешен на медной проволоке диаметром 0.38 мм, которая являлась торсионом, на котором поворачивался ротор (статор). Фактически, данная конструкция, измеряющая крутящий момент, являлась разновидностью крутильных весов. На торсионе было закреплено зеркальце, на которое был направлен луч лазера. Установка была прокалибрована в гс см. Точность измерения момента составила порядка 0.15 гс см.

Надо отметить, что все описанные в данной статье эксперименты легко могут быть повторены всеми желающими – для этого необходим минимум оборудования. Вообще-то, эти эксперименты могли бы быть проведены во времена Ампера и Фарадея, правда тогда не было двухлучевых осциллографов и сильных магнитов.

1.1. Задача экспериментов

Основной целью экспериментов было исследование механизмов наведения ЭДС и силового взаимодействия в случае движущегося носителя магнитного поля. Вопрос о движении магнитного поля является принципиальным, так как напрямую связан с его физической природой. Согласно современным представлениям (принятым, кстати, по умолчанию, прямых указаний в литературе на это нет - вроде как само собой разумеется), движение носителя поля относительно проводника и движение проводника относительно носителя поля - это одно и то же, а магнитное поле является формой материи и, соответственно, движется вместе с носителем. Но имеется ряд экспериментальных свидетельств, которые противоречат этому положению.

В частности, известен парадокс «униполярного генератора», в котором ЭДС наводится только в движущемся проводнике и не наводится при движении однородного магнита относительно проводника [1, 2]. При этом безразлично, относительно движущегося или неподвижного магнита движется проводник – ЭДС в обоих случаях одинаково. Кроме того, известно, что однородное магнитное поле не предают тангенциальных сил, что широко используется в магнитных подшипниках [14], поездах на магнитной подушке и т.п.

В связи с этим, можно предложить две гипотезы:

- Первая гипотеза (общепринятая) - Поле движется вместе с носителем (магнитом) и является отдельной формой материи.
- Вторая гипотеза - Поле не движется с магнитом и его напряженность (конфигурация) в данной точке пространства может меняться только в случае если движущийся (вращающийся) относительно этой точки магнит имеет неоднородности. **Следовательно, если эта гипотеза верна, то магнитное поле является статическим образованием – возможно деформацией некой среды, вызванной движением зарядов.**

Кроме того, остается не до конца выясненным вопрос о механизмах наведения ЭДС и силового взаимодействия магнитных полей.

По поводу механизмов наведения ЭДС (и, соответственно, выработки механической энергии – для моторов):

Их, собственно, два – фарадеев и лоренцев. Соответственно, возникает ряд вопросов:

- Это что, разные механизмы или же проявления одного и того же механизма?
- Если это разные механизмы, то могут ли они работать одновременно? ЭДС складываются или вычитаются?

Ответа на это нет ни в одном справочнике или учебнике.

Первоначально задачей экспериментальных исследований, проведенных автором данной статьи, была проверка двух приведенных выше гипотез о движении магнитного поля. По мере проведения этих исследований появилась потребность в анализе и экспериментальной проверке механизмов наведения ЭДС и силового взаимодействия магнитных полей. Оказалось, что несмотря на огромный накопленный опыт в области электромагнетизма, существует очевидное непонимание этих механизмов (которые, фактически, являются основой электромагнетизма).

Для ответа на эти вопросы автором была проведена большая серия экспериментов с движущимися (вращающимися) магнитами, как однородными, так

и составными. Полученные результаты, в частности, были использованы для создания ряда электромашин, некоторые модели которых были также исследованы.

Статья разбита на ряд разделов:

- В первом разделе приведены результаты исследования магнитного поля постоянных магнитов, которые были использованы в экспериментах с униполярной и тангенциальной индукцией и в исследованиях сил, возникающих в униполярных машинах.
- Во втором разделе приведены результаты экспериментов с униполярными генераторами и моторами, в которых использовался магнит с однородным магнитным полем
- В третьем разделе приведены результаты экспериментов с униполярными генераторами и моторами, в которых использовался магнит с неоднородным магнитным полем.
- В четвертом разделе приведен анализ и теоретическое обобщение полученных результатов.

При анализе результатов экспериментов автор старался, по возможности, использовать общепринятые понятия, законы и формулы современного электромагнетизма и не вводить без крайней на то необходимости новые принципы и определения. Это было сделано в целях лучшей совместимости материала данной статьи с устоявшимися (хотя далеко не всегда правильными) понятиями современного электромагнетизма. Таким образом, автор в статье использует при анализе результатов экспериментов такие общепринятые и устоявшиеся понятия как «вектор» \vec{B} , «магнитные силовые линии» и «магнитные полюса», хотя далее по тексту автор показывает, что они, фактически, являются ложными физическими сущностями.

В статье математические выкладки сведены до минимума – упор сделан на физический смысл изучаемых явлений.

Раздел I

Магнитные поля однородных и составных магнитов

1.1. Магнитные полюса

Надо отметить, что такие понятия, как «магнитные полюса», также как и «магнитные силовые линии», является историческим заблуждением, пришедшим от первых исследователей постоянных магнитов. Кажущаяся их очевидность привела к созданию ложных физических сущностей, которые прошли через всю теорию электромагнетизма, затруднив понимание реальной физической сущности магнитного поля.

Остановимся на физической сущности «магнитных полюсов».

Совершенно очевидно, что бесконечный проводник с током не создает никаких «полюсов» (Рис. 3,1а).

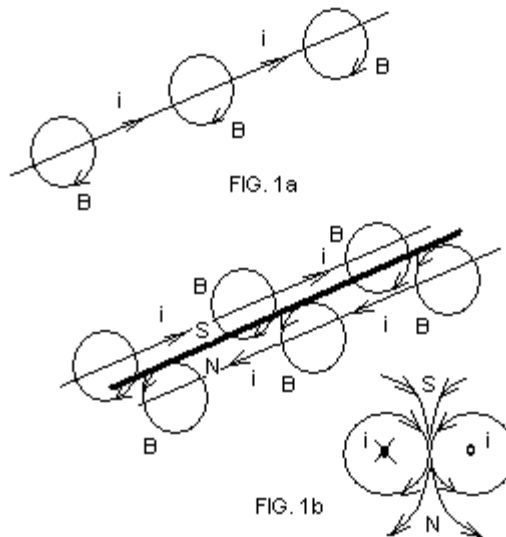


Рис. 3

Полюса появляются только в случае двух (и более) проводников, в которых токи текут в противоположных направлениях. На Рис. 3, 1b приведен случай, когда проводники параллельны, а токи противоположно направлены и равны. Тогда, если определять «полюса» как место на плоскости, в которой лежат эти два проводника, и где вектор \mathbf{B} перпендикулярен этой плоскости, то «полюсами» является линия, лежащая на этой плоскости, параллельная проводникам и проходящая между ними на равном расстоянии.

Два же проводника с противоположно направленными токами, находящиеся на бесконечно большом расстоянии друг от друга, создают однородное магнитное поле.

Положение полюсов контуров с током и магнитов зависит от их конфигурации. Например, полюсами намагниченного по оси кольцевого магнита являются окружности, проходящие по кольцевой поверхности магнита (см. ниже по тексту).

1.2. Магнитные силовые линии и магнитный поток

Понятие «магнитные силовые линии» является одним из заблуждений, нанесшим вред теории электромагнетизма. Ранние исследователи электромагнетизма были зачарованы железными опилками, выстраивавшимися в магнитном поле в некие узоры, напоминающие линии тока текущей жидкости. При этом этот «поток» как бы выходит из «северного» полюса магнита (про «полюса» магнита см. выше по тексту) и втекает в «южный». Но почему опилки так выстраиваются, сейчас очевидно даже школьнику. В поле опилки превращались в игольчатые магниты (как стрелка компаса), к которым прикладывалась пара сил, поворачивая их до совмещения оси опилка с направлением вектора \vec{B} - безградиентной поверхности с $B = \text{const}$. На том же основании был введен «магнитный поток» - то есть «поток магнитных силовых линий». Совершенно

очевидно, то, что называется «магнитными силовыми линиями» является изолиниями индукции магнитного поля \vec{B} , линиями с $B = \text{const}$ и потока изолиний не бывает. Настоящие же силовые линии \vec{F} перпендикулярны этим «магнитным силовым линиям». Для случая двух бесконечных проводников с током, текущим в противоположном направлении, они соединяют эти два проводника совершенно также, как силовые линии электростатического поля, то есть имеют исток и сток. Приложение же теорем Стокса и Гаусса к изолиниям совершенно абсурдно. Там ничего не течет. Изолинии, конечно же, замкнуты. Но потоком они не являются. Тем не менее, «магнитный поток» очень широко использовался и используется при конструировании электромашин. Есть даже закон Кирхгофа для магнитных цепей. То есть, несмотря на то, что «магнитный поток» является откровенной химерой, но эта химера оказалась очень полезной (редкий случай для химер), так как она как бы визуализирует магнитное поле и облегчает конструирование электромашин.

Таким образом, эти «магнитные силовые линии» и «магнитный поток» вместе с вектором \vec{B} успели проникнуть во все уравнения электромагнетизма, исказив физический смысл явлений. Так все магнитное поле стало «вихревым» (концентрические окружности «магнитных силовых линий» вокруг проводников с током).

Что такое – вектор \vec{B} ? Векторным элементом здесь является нормаль к плоскости силового взаимодействия, на которой лежит вектор \vec{F} . Движущийся заряд $q\vec{V}$ создает некие «плоскости взаимодействия» - бесконечное количество плоскостей, в которых лежат вектор скорости движения заряда \vec{V} и вектор силы \vec{F} взаимодействия проводников (см. Рис. 4А, В ниже по тексту).

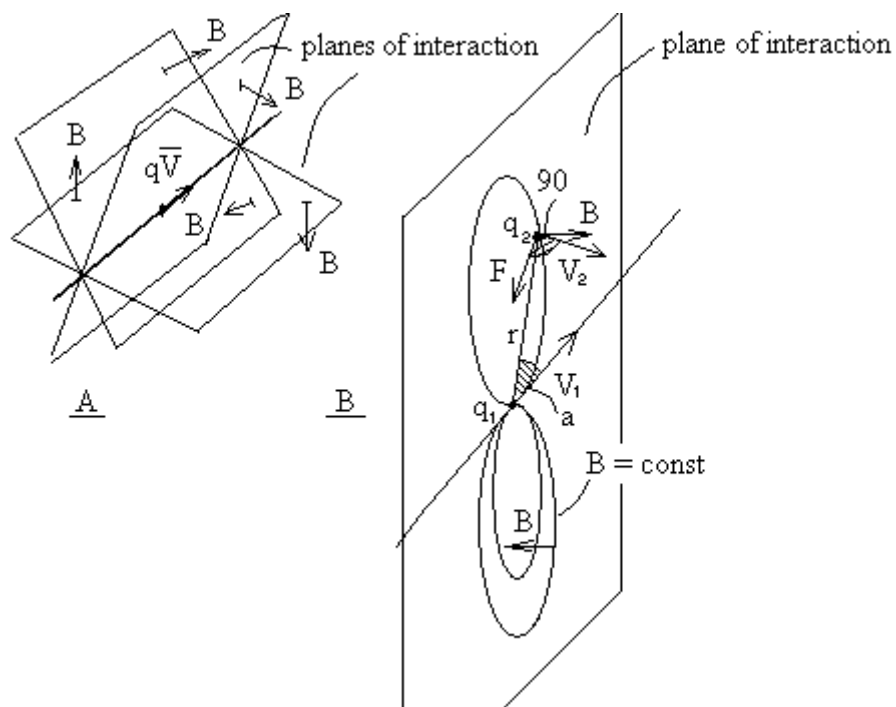


Рис. 4

Если в пространстве находится заряд q_2 , движущийся со скоростью \vec{V}_2 и взаимодействующий с первым зарядом (рис. 4В), то вектор \vec{V} и точка в пространстве, где расположен второй заряд полностью определяют эту плоскость – плоскость силового взаимодействия. При этом, на «плоскости взаимодействия» движущегося заряда образуется система изолиний с $B = const$, которые представляют собой замкнутые кривые, напоминающие эллипс (рис. 4В). В пространстве поверхность $B = const$ движущегося заряда представляет собой тороид.

Магнитное поле движущегося заряда q_1 воздействует на движущийся заряд q_2 согласно закону Лоренца: $\vec{F}_2 = q_2[\vec{V}_2 \times \vec{B}_1]$. Так как вектор \vec{B}_1 перпендикулярен «плоскости взаимодействия», то сила \vec{F}_2 лежит в этой плоскости и перпендикулярна вектору скорости второго заряда \vec{V}_2 , где $\vec{V}_2 \perp \vec{r}$ (рис. 4В). Для случая, когда \vec{V}_2 не лежит в «плоскости взаимодействия», ее функцию выполняет проекция \vec{V}_2 на эту плоскость. Составляющая, перпендикулярная «плоскости взаимодействия» в создании силы не участвует. Если вектора \vec{V} и \vec{V}_2 взаимно перпендикулярны, то силовое взаимодействие зарядов (проводников) отсутствует, что подтверждается практикой. Следовательно, **сила \vec{F}_2** (в отличии от кулоновой силы) **не направлена вдоль радиус-вектора \vec{R}** , соединяющего эти заряды, а ее направление зависит от направления вектора скорости \vec{V}_2 , которое может быть произвольным.

Магнитное поле заряда в направлении движения заряда $q\vec{V}$ отсутствует, то есть, свое магнитное поле на заряд не действует (рис. 4В).

Магнитное поле постоянных магнитов также можно представить, как результат взаимодействия магнитных полей неких проводников с током. Такой подход не является новым; в литературе, в частности, поле поляризованного по оси кольцевого магнита представляется как поле некой эквивалентной цилиндрической обмотки с током (что, как показано далее в данной статье, не является полностью корректным).

Надо отметить, что корректное замещение реального магнитного поля однородных и неоднородных постоянных магнитов эквивалентным полем, создаваемым проводниками с током позволит провести правильный расчет электрических машин, генераторов и моторов, у которых ротор или статор представляют собой однородные или неоднородные постоянные магниты.

1.3. Магнитные поля кольцевых магнитов. Эквивалентные контура

1.3.1.Схема эксперимента

Как показывают эксперименты, магнитное поле постоянного магнита может быть заменено эквивалентным, создаваемым некими проводниками с током,

которые можно определить как «эквивалентные контура с током», проходящие по поверхности магнита. Далее по тексту автор использует это определение.

Автором данной статьи были проведены эксперименты, направленные на исследование магнитного поля кольцевых постоянных магнитов и определение положения этих «эквивалентных контуров». Для этого, было предположено, что силовое взаимодействие этих «эквивалентных проводников» может быть описано законом Ампера. Это значит, что закон Ампера может быть распространен и на «эквивалентные проводники» и, следовательно, силовое взаимодействие постоянных магнитов происходит не за счет притяжения или отталкивания магнитных полюсов, а за счет взаимодействия «эквивалентных проводников» по закону Ампера, что полностью подтверждается экспериментами. Тут нужно отметить, что замена электросхем на упрощенные эквивалентные схемы является общепринятой практикой (двухполюсники, четырехполюсники). Схема эксперимента представлена на Рис. 4.

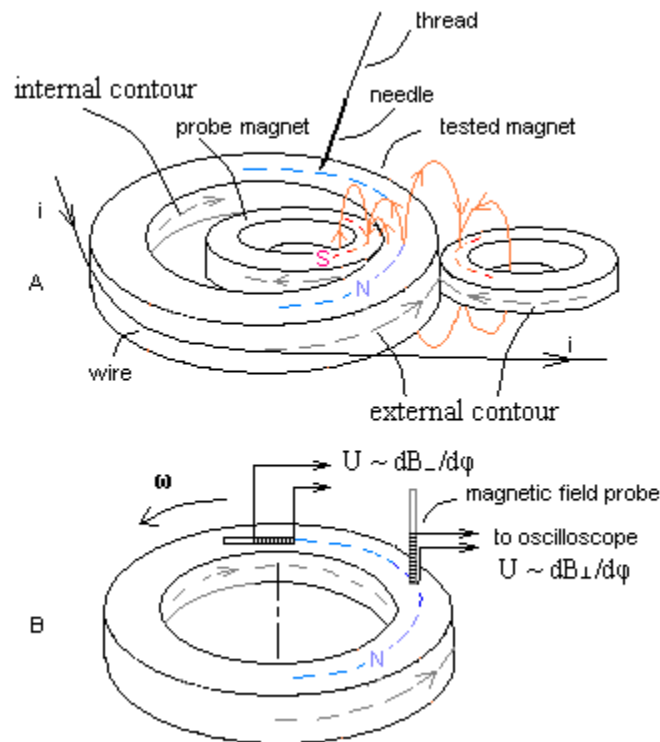


Рис. 5

Для определения положения полюсов на поверхности магнита использовалась стальная игла с ниткой (технология, доступная еще Гильберту).

Положение «эквивалентных контуров» определялось пробным кольцевым магнитом, внешний «эквивалентный контур» которого притягивалась (или отталкивалась) к «эквивалентным проводникам» исследуемого магнита (см. Рис. 5А)

Для более точного определения положения «эквивалентных контуров» использовался тонкий, 0.08 мм, проводник, по которому пропускался ток. Этот проводник притягивался к «эквивалентным контурам» магнита, точно указывая их положение.

Для измерения окружного распределения магнитной индукции (для неоднородных магнитов, при $dB/d\varphi \neq 0$) применялась пробная обмотка малого диаметра, соединенная со входом осциллографа. В положении, когда ось пробной обмотки была перпендикулярна плоскости торцевой поверхности магнита (см. Рис. 5В) измерялась вертикальная (осевая) составляющая вектора магнитной индукции ($dB_{\perp} / d\varphi$), а когда ось пробной обмотки была параллельна плоскости магнита (и параллельно вектору линейной скорости движения магнита \mathbf{V}) то измерялась горизонтальная составляющая ($dB_{\parallel} / d\varphi$).

1.3.2. Магнитное поле кольцевых магнитов

Как показывает эксперимент, в кольцевом магните существуют два «эквивалентных контура с током» (схема на Рис. 5), внутренний и внешний, создающие взаимно противоположные циркуляции вектора \mathbf{B} , при этом, границей раздела их магнитных силовых линий является плоскость полюсов.

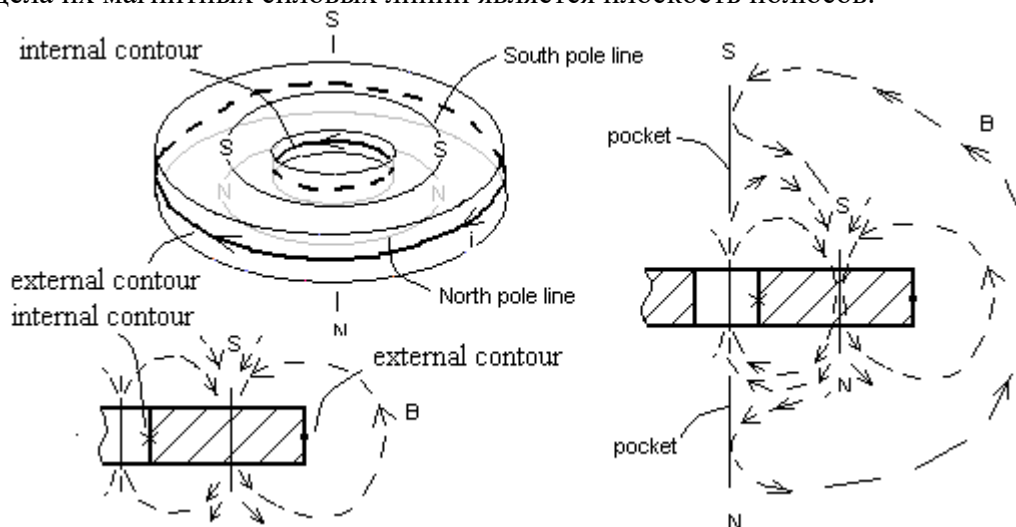


Рис. 6

Для однородного кольцевого магнита, применяемого, в частности, в униполярных машинах, «эквивалентные контура» и полюса являются окружностями. При этом, эти «контура» являются окружностями, находящимися на внешней и внутренней цилиндрических поверхностях магнита (не в теле магнита) и лежат в плоскости, разделяющей магнит пополам, а полюса представляют собой окружности, лежащие сверху и снизу на торцевой поверхности магнита. Как было сказано выше, «эквивалентный контур» дискового (и кольцевого) магнита можно представить, как кольцевой проводник, в котором постоянно течет ток. Например, для кольцевого ферритового магнита (70x30x10 мм с $B_r = 0.27$ Тл) этот «ток», текущий в «кольцевом эквивалентном проводнике» будет равен

$$I = 2 \frac{BR}{\mu_0} = \frac{0.54 \times 3.5 \times 10^5}{4\pi} = 1.5 \times 10^4 \text{ А, то есть порядка } 15000 \text{ А. А для NdFeB}$$

магнита 65x20x10 мм с $B_r = 1.2$ Тл – составляет 60000А.

Магнитное поле, создаваемое внутренним «эквивалентным контуром», «спрятано» внутри поля, создаваемого внешним «эквивалентным контуром». При этом

образуются «карманы» - места перемены знака поля. Для однородного кольцевого магнита (Рис. 6) эти «карманы» расположены на оси магнита – сверху и снизу. Если поместить в них меньший кольцевой магнит, то он будет зафиксирован (будет левитировать) в них в осевом направлении (радиальное направление остается нестабильным). В принципе, эти «карманы» могут быть использованы для удержания плазмы с текущим в ней током (она становится магнитом со своим «эквивалентным контуром») в термоядерных установках. В «дальней» же зоне (на расстоянии больше, чем линейный размер кольцевого магнита) поле выравнивается и полюса перемещаются на ось магнита (Рис. 6). Кроме того, силовое взаимодействие токов в эквивалентных контурах магнита вызывает сильные внутренние напряжения растяжения. То есть **материал любого постоянного магнита находится под действием радиального напряжения растяжения** (и осевого напряжения сжатия) и, например, если ферритовый магнит уронить, то он с силой разлетается на куски, обратно собрать которые практически невозможно. Более сильные магниты, такие как NdFeB, даже взрывоопасны. Это, кстати, относится и к плазменному шнуру в термоядерных установках. Если диаметр внутреннего отверстия кольцевого магнита уменьшать, то, в пределе, останется только внешний контур, а внутренний выродится в точку и линия полюсов превратится в точку, находящуюся на оси диска.

Другая конфигурация магнита также применяемая в униполярных машинах, цилиндрический кольцевой магнит, поляризованный по радиусу, также образует два эквивалентных контура с противоположными направлениями «токов». Их схема представлена на Рис. 7.

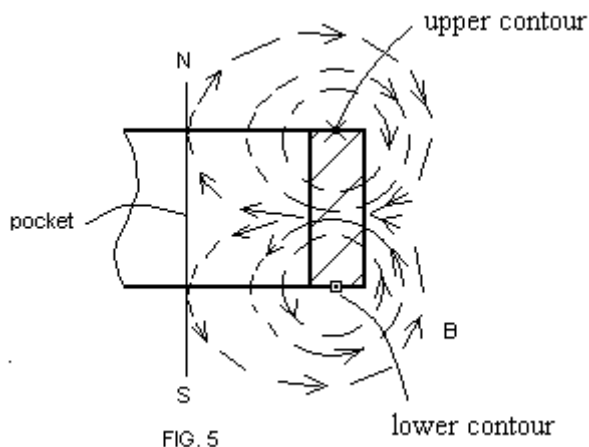


Рис. 7

Как видно на Рис. 7, в этом случае образуются два контура лежащие на верхней и нижней торцевой поверхности магнита, а линии полюсов лежат на внешней и внутренней цилиндрических поверхностях магнита и проходят в плоскости, делящей цилиндр пополам. Магнитный «карман» в данном случае один и расположен он в центре магнита на его оси.

Магнитные «карманы» могут иметь практическое применение, например в магнитных подшипниках. В частности, эксперименты, проведенные автором данной статьи, показали, что однородный кольцевой магнит (см. Рис. 6) может быть подвешен в системе, состоящей из малых кольцевых магнитов, помещенных в

«карманы» (осевая фиксация) и нескольких подковообразных магнитов, помещенных на периферии кольцевого магнита, которые за счет притяжения внешнего контура кольцевого магнита к контурам подковообразных магнитов обеспечивает радиальную фиксацию.

В неоднородных постоянных магнитах, в частности в составных магнитах также образуется система контуров. Например, в составном поляризованном по оси кольцевом магните (Рис. 8), примененном автором данной статьи в конструкциях ряда электромашин образуется система эквивалентных контуров. Их схема приведена на Рис. 8.

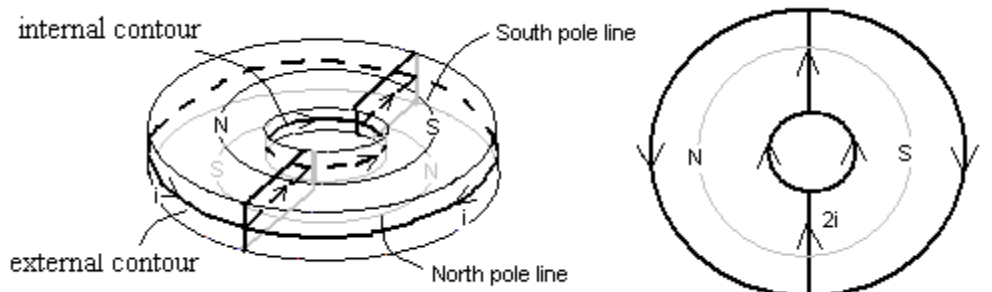


Рис. 8

Данный магнит был получен из однородного ферритового кольцевого магнита путем разламывания его на две половинки (неодимовый магнит не ломается) и последующего их соединения таким образом, что торцы половинок имели противоположную поляризацию. Тут можно видеть, что в каждой половинке магнита образуется контур, то есть, как бы замкнутый контур с током; при этом, в данном случае «токи» в радиальных «проводниках» этих «контурах» текут в одном направлении. И, вследствие этого, в полном соответствии с предположением, что силовое взаимодействие постоянных магнитов – это взаимодействие их эквивалентных контуров с токами, две половинки магнита притягиваются. Восстановить прежний однородный магнит можно, но с приложением достаточных усилий, так как эти две половинки будут стремиться оттолкнуться. В этом случае эквивалентные токи в радиальных «эквивалентных проводниках» будут течь в противоположных направлениях, компенсируя друг друга и, система эквивалентных контуров примет исходный вид – как для цельного магнита, поляризованного по оси. Следовательно, однородный магнит можно представить как набор магнитов, поляризованных в одном направлении (Рис. 9).

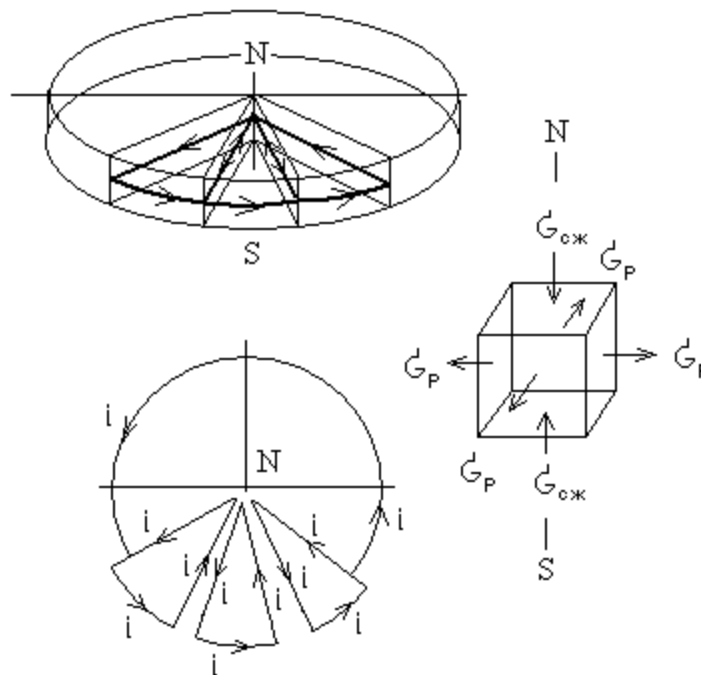


Рис. 9

Это означает, что в плоскости, перпендикулярной оси (N – S) магнита, эти элементы отталкиваются друг от друга и соединяются (для монолитного магнита) только прочностью материала магнита. Таким образом, как уже было отмечено выше по тексту, магнит всегда находится под действием радиальных и окружных напряжений растяжения и некоторые магниты являются, даже, взрывоопасными. В то же время, в осевом направлении материал магнита находится под действием напряжений сжатия (Рис. 9). Эту особенность, также, необходимо учитывать при проектировании электромашин с постоянными магнитами.

Следовательно, заменяя постоянный магнит эквивалентной схемой - системой эквивалентных проводников с током, представляется возможным производить корректный и детальный индукционный и силовой расчет электромашин, использующих постоянные магниты в качестве ротора или статора.

1.3.3 Силовое взаимодействие источников магнитного поля (обобщение)

- **Сила взаимодействия (притяжения или отталкивания) источников магнитного поля направлена в сторону «проводников» эквивалентных контуров и, в случае притяжения, стремится их совместить так же, как для проводников с током.**
- Это относится к единичному элементу эквивалентного контура (в частном случае, к элементу проводника с током). Вектор силы взаимодействия

- перпендикулярен к элементу оси (проводника). В случае непараллельности плоскостей эквивалентных контуров возникает крутящий момент, стремящийся совместить проводники в одной плоскости. Поворот и перемещение рамки с током в магнитном поле является частным случаем, в котором каждый элемент рамки участвует в этом процессе.
- Таким образом, **источники магнитного поля, находящиеся в свободном пространстве, поворачиваются до совмещения эквивалентных контуров в одной плоскости, в положение, когда направление тока в них направлены в одну сторону и, далее, стремятся совместить оси эквивалентных контуров.**
 - Так как кольцевые постоянные магниты содержат два разнесенных в пространстве эквивалентных контура с противоположным направлением циркуляции магнитного поля, то вещество магнитов находится в растянутом напряженном состоянии. Такой магнит имеет (в ближней зоне) два выраженных магнитных момента, направленных в противоположные стороны. В дальней зоне магнитное поле сглаживается (магнитные моменты складываются) и поле кольцевого магнита становится похожим на поле шарового магнита с полюсами на оси.
 - Полюса кольцевого постоянного магнита находятся на поверхности, разделяющей эквивалентные контура (поверхность перемены направления циркуляции).
 - «Эквивалентные контура» находятся на поверхности магнита (не в теле).
 - В случае, когда один из источников имеет однородное магнитное поле (эквивалентный контур находится в бесконечности), линейные силы отсутствуют (скомпенсированы), но создается крутящий момент, стремящийся установить эквивалентные контура параллельно друг другу (как стрелка магнита в поле Земли).
 - **Вышеуказанные положения и выводы относятся к статическому взаимодействию, хотя случай притяжения двух проводников, который, как было показано выше, является характерным примером взаимодействия двух источников циркуляции магнитного поля и является проявлением лоренцева механизма.**

Раздел II

Униполярные электромашины с однородным магнитом

2.1. Униполярный генератор

Выдержки из литературы:

Изобретен Фарадеем. Был модифицирован Теслой и используется сейчас когда нужны очень большие токи (миллионы ампер) и малое напряжение. Самый мощный генератор тока из известных. Принцип действия неясен. Есть мнение, что он производит энергию из ничего. Обратим и может быть мотором. 16 патентов

США, выданных на конструкцию униполярных генераторов, помещены на веб-сайте патентного офиса США (<http://www.uspto.gov/web/patents>).

Конструкция и принцип действия:

Состоит (Рис. 9) из проводящего диска 2 и кольцевого или дискового магнита 1 с полюсами расположенными сверху и снизу.

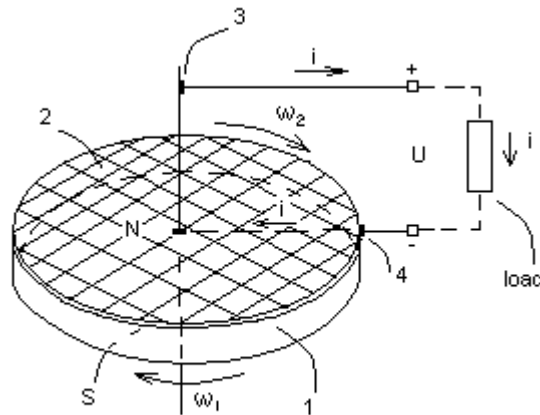


FIG. 7

Рис. 9

ЭДС наводится в диске между осью и краем диска и снимается щетками 3 и 4. В другом варианте используется цилиндрический магнит (рис. 7) и проводящий цилиндр, окружающий магнит. В этом случае ЭДС наводится в проводящем цилиндре между его верхним и нижним торцами.

Эксперименты показывают, что ЭДС наводится в униполярном генераторе при следующих условиях:

- При вращении диска относительно неподвижного магнита,
- При вращении диска вместе с магнитом (генератор без статора!).
- И, что очень важно, не наводится при вращении магнита относительно неподвижного диска (!).

Таким образом, для получения ЭДС необходимо вращение проводящего диска, стоит ли при этом магнит или вращается вместе с диском – не имеет значения (этому, как раз, не могут найти объяснения). Очевидный механизм наведения ЭДС – лоренцев (фарадеев не работает «по определению», т.к. $d\Phi/dt = 0$).

ЭДС легко считается по формуле Лоренца: при движении проводника свободные заряды в нем смещаются вдоль него под действием силы Лоренца:

$d\vec{F}_l = dq[\vec{V} \times \vec{B}]$, при этом сила $d\vec{F}_l$, действующая на заряды, направлена вдоль проводника Δl .

Так как $\Delta E = \Delta l \frac{dF}{dq}$, то $U = \Delta E = \Delta l \frac{dF}{dq} = dq \frac{V}{dq} B \Delta l = VB \Delta l$.

Но феномен наведения ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле был открыт раньше, чем была открыта сила Лоренца. Для объяснения этого эффекта был привлечен тогда уже известный фарадеев механизм. Схема этого объяснения здесь не приводится, так как она всем известна – кочует из учебника в

учебник. Согласно этому объяснению, за движущимся проводником тянется некий контур, площадь которого расширяется при неизменном B :

$$E = \frac{d\Phi}{dt} = B \frac{dS}{dt} = Bl \frac{dx}{dt} = Blv. \text{ Формально формулы совпадают.}$$

Условность такого подхода очевидна: с какой это стати за движущимся проводником должен тянуться некий «контур»? Кроме того, для получения постоянного тока этот «контур» должен тянуться за проводником до

бесконечности, чего быть не может. Далее, $\frac{dS}{dt}$ этого «контур» не имеет никакого отношения к электромагнетизму, а является линейной скоростью движения отрезка l , так же, как, например, $\frac{dW}{dt}$ является линейной скоростью движения поверхности S .

Следовательно, эта ЭДС наводится только лоренцевым механизмом и не имеет ничего общего (кроме совпадения формул) с фарадеевым механизмом.

Таким образом, в случае однородного поля ($B = \text{const}$) когда вектор \mathbf{B} перпендикулярен плоскости диска, при $r_1 = 0$ (напряжение снимается с оси и края диска) наводимая в диске ЭДС будет равна:

$$E = -\frac{1}{2} \omega B R^2,$$

где R – радиус диска.

При этом диск можно представить как набор радиальных проводников пересекающих при вращении магнитные силовые линии. Это объяснение можно было бы признать удовлетворительным, если бы не вышеперечисленные особенности этого генератора (в частности, он может состоять из одного ротора – без статора).

Варианты объяснения особенностей наведения ЭДС в униполярном генераторе

Как было сказано выше, ЭДС в униполярном генераторе наводится при следующих условиях:

1. При вращении диска относительно неподвижного магнита,
2. При вращении диска вместе с магнитом.

ЭДС не наводится:

3. При вращении магнита относительно неподвижного диска.

Эти варианты были экспериментально проверены автором данной статьи. В частности, была испытана модель бесстаторного «униполярного генератора» (второй вариант). Ротор генератора представлял собой поляризованный по оси кольцевой NdFeB магнит с размерами 65x20x10 мм и $B_r = 1.2$ Тл. Магнит был покрыт тонким слоем никеля, являющегося в данном случае проводящим диском. При скорости вращения ротора в 1000 об/мин постоянное напряжение, измеренное между осью (проводник 1) и краем магнита (проводник 2) составило 25 мВ.

Анализ этих вариантов показывает, что первый случай не вызывает вопросов, в то время как второй и третий случаи – парадоксальные и должны быть объяснены.

В ряде работ, например [2] и [10], приводится попытка объяснить этот парадокс компенсацией. Авторы рассматривают как внутренний, так и внешний

контур униполярного генератора (см. Рис. 10). Также они считают, что поле движется с магнитом (первая гипотеза). Это «объяснение» проиллюстрировано на Рис. 10.

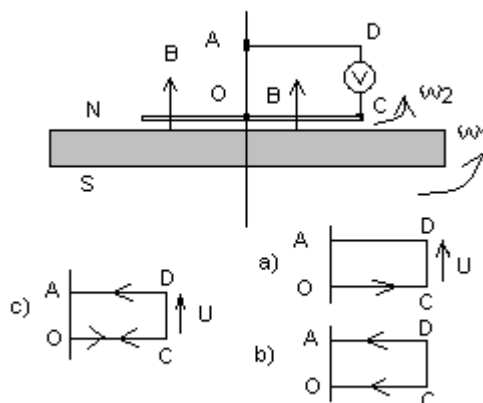


FIG. 8

Рис. 10

- В случае вращающегося диска и неподвижного магнита (случай а, Рис 9), ЭДС наводится в диске (проводник ОС), а во внешнем неподвижном контуре (проводник OADC) ЭДС не наводится.
- В случае неподвижного диска и вращающегося магнита (случай б, Рис 9), наводится одинаковая, но противоположно направленная ЭДС в диске (проводник ОС) и проводнике AD внешнего контура.
- В случае магнита и диска, вращающихся с разными скоростями (случай с, Рис 9), вращение магнита относительно внешнего проводника AD наводит в нем ЭДС, в то время как ЭДС наведенная в диске зависит от относительной скорости вращения диска и магнита и, в предельном случае, когда диск вращается вместе с магнитом, ЭДС, наводимая в диске, равна нулю.

Этот же парадокс также может быть объяснен и с позиции неподвижного магнитного поля. В этом случае предполагается, что магнит вращается, а поле неподвижно (вторая гипотеза). Тогда в проводнике AD внешнего контура не наводится ЭДС во всех случаях. ЭДС наводится только в диске в случае его вращения, и эта ЭДС совершенно не зависит от того, движется ли магнит или нет. Это объясняет все случаи.

Таким образом, эксперименты с униполярным генератором не дают однозначного ответа, какая из предложенных гипотез правильная.

2.2. Униполярный мотор

Конструкция униполярного мотора такая же, как у униполярного генератора (см. Рис. 8), только в данном случае к щеткам прикладывается напряжение и, соответственно, в диске ОС и проводниках OADC течет ток.

Униполярный мотор развивает крутящий момент в случаях, когда:

1. Магнит закреплен, диск может вращаться. При подаче на диск тока (в центр и на периферию, см. рис 9), диск вращается.

2. Диск закреплен на магните. Диск с закрепленным магнитом может вращаться. При подаче тока на диск, он вращается вместе с магнитом. Униполярный мотор не создает крутящий момент в случае, когда:
3. Диск закреплен, магнит может вращаться. При прохождении тока, магнит не вращается.

Эти варианты были экспериментально проверены автором данной статьи. В частности, был испытан вариант 3 с униполярным мотором, содержащим только ротор с тем же магнитом (NdFeB, 65x20x10 с $B_r = 1.2$ Тл), подвешенный на проволоке, выполняющей роль торсиона. Магнит был покрыт тонким слоем никеля, который в данном случае выполнял функцию проводящего диска, закрепленного на магните.

При подаче тока через скользящий по середине цилиндрической никелированной поверхности магнита контакт был отчетливо зарегистрирован поворот ротора, что свидетельствует об обратимости униполярного генератора, состоящего из одного ротора. При токе в 1.3 А был измерен момент в 1.14 гс см.

Таким образом, униполярный мотор создает крутящий момент в тех же случаях, когда униполярный генератор вырабатывает ЭДС.

Также, как и в случае униполярного генератора, первый случай не вызывает вопросов. Диск, являющийся набором радиальных проводников, движется (вращается) в поле магнита согласно закону Ампера (Рис. 11).

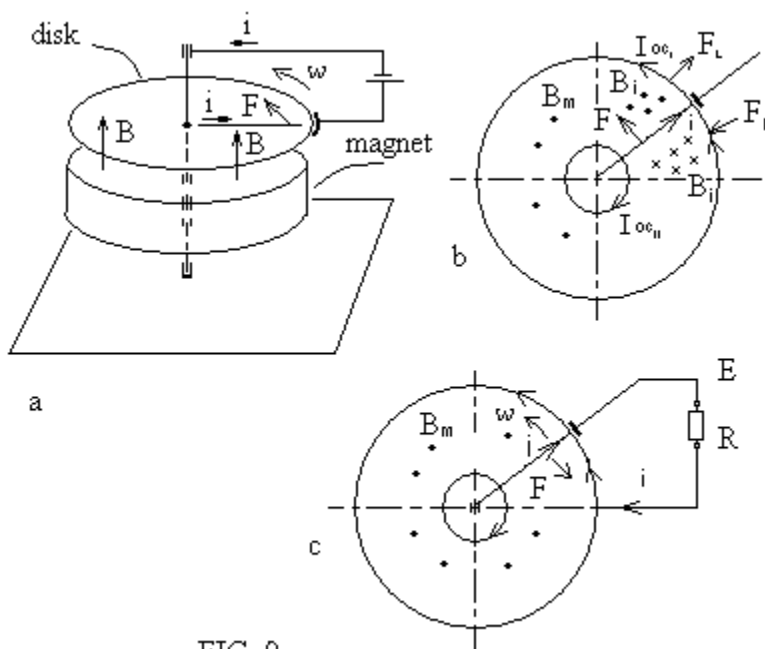


FIG. 9

Рис. 11

Второй и третий случаи не являются тривиальными и требуют отдельного рассмотрения.

В третьем случае магнитное поле, создаваемое током i , текущим в радиальном проводнике (диске) взаимодействует с «эквивалентным током» I_{oc} , текущим в эквивалентных контурах кольцевого магнита (Рис. 10b). Силы F_L и F_R , создаваемые этим взаимодействием (силы Ампера), направлены перпендикулярно

проводнику, которым в данном случае является эквивалентные контура, то есть по радиусу и проходят через центр массы. Очевидно, что такие силы не создает крутящего момента, а только сжимает или растягивает магнит. В то же время, в первом случае, эта сила F приложена перпендикулярно к радиальному проводнику, то есть направлена по окружности, что и создает крутящий момент. Из этого следуют два важных вывода:

Данный случай дополнительно подтверждает тот факт, что сила Лоренца (Ампера) всегда направлена перпендикулярно вектору скорости заряда, который в случае проводника с током совпадает с направлением тока, текущего в проводнике. Это подтверждение является особенно актуальным сейчас, когда в ряде теоретических работ, например [10], [20], авторы пытаются найти некую составляющую силы, параллельную вектору скорости.

Кроме того, если данная электромашина используется как генератор, то в контуре ADCO (Рис. 9) течет ток, который, опять же, взаимодействует с магнитным потоком, создаваемым магнитом, то есть с «эквивалентным током» текущим в эквивалентных контурах кольцевого магнита. Как было показано выше, это взаимодействие не создает крутящего момента, то есть к статору униполярного генератора (магниту) не приложен крутящий момент. В то же время, нагрузочный ток i , текущий в диске, тормозит его в соответствии с законом Ампера (Рис. 10с). Это значит, что, все равно устройство, создающее крутящий момент (например, двигатель, турбина и т.п.), которое вращает диск, должно преодолевать сопротивление, вызванное нагрузочным током. Это, также, означает, что униполярный генератор не является вечным двигателем, но, в то же время, между ротором и статором не происходит никакого обмена моментами и, соответственно, энергией.

И главное, второй случай, когда диск закреплен на магните, не может быть объяснен компенсацией, как в случае униполярного генератора. Согласно логике, изложенной в «компенсационном объяснении» подобного случая для униполярного генератора, сила (и индукция) не может быть приложена к диску, так как относительное движение диска и поля отсутствует. Все эффекты должны проявляться во внешнем контуре. Но, совершенно очевидно, что магнитная индукция, создаваемая внешними проводниками, на порядки меньше индукции магнита (1.2 Тл), а щетки не могут создавать крутящий момент и толкать диск, они могут только тормозить его за счет трения. Таким образом, «компенсационный вариант» объяснения этого парадокса не проходит. Остается только предположить, что магнитное поле не движется вместе с магнитом. То есть, **рассмотренный случай является прямым подтверждением второй гипотезы – гипотезы неподвижного магнитного поля.** Кроме того, и третий случай может быть объяснен с позиции этой гипотезы (при движении однородного магнита его «силовые линии» не двигаются).

Надо отметить, что эта гипотеза объясняет и механизм работы магнитных подшипников.

Надо отметить, что приведенный вывод – достаточно серьезный и проливает свет на истинную природу магнитного поля. Это означает, что **движение одного носителя однородного магнитного поля относительно другого не сопровождается передачей тангенциальных сил; то есть такое движение не**

сопровождается трением. Следовательно, вращения или движения однородного магнитного поля не существует и оно не может быть зарегистрировано никакими приборами. Носитель однородного поля может двигаться (вращаться), а поле при этом остается неподвижным. Движение носителя магнитного поля проявляется только в том случае, когда поле имеет неоднородности. При этом поле («магнитные силовые линии») не движется, а только меняет свою конфигурацию. Применимо к вращающимся магнитам, это значит, что, если магнитное поле однородно по окружности, то такие кольцевые (цилиндрические) магниты могут вращаться относительно друг друга без обмена моментами (без трения). На этом принципе работают магнитные подшипники.

Несколько дополнительных замечаний по поводу униполярного генератора

Ниже приведены особенности работы униполярного генератора и мотора, которые необходимо учитывать при работе с ними:

- В диске униполярного генератора не наводятся круговые токи (аналогичные токам Фуко), потому, что потенциалы точек, расположенных на равных расстояниях от оси диска равны. Следовательно, в любом контуре на диске, ЭДС, наводимые в его проводниках, взаимно компенсируются, суммарная ЭДС равна нулю и ток в контуре не течет. В частности, вольтметр, установленный на диске (вращающийся вместе с диском) и подсоединенный к оси и краю диска не может измерить ЭДС, вырабатываемую генератором, так как эта ЭДС полностью компенсируется ЭДС, наводимой в соединительных проводниках.
- Источник тока, установленный на диске и подсоединенный к оси и краю диска не может вращать диск, так как в данном случае силы, приложенные к диску и соединительным проводникам, взаимно компенсируются.

Эти особенности вытекают из принципа работы униполярных машин. Они могут показаться тривиальными, но в ряде публикаций авторы их не учитывают и, в результате, делают неверные выводы. Например, считается, что ЭДС не наводится в высотных металлических конструкциях (башнях), так как считается, что они вращаются вместе с магнитным полем Земли. Но, и в случае поля, не вращающегося с Землей, измерить эту ЭДС нельзя (хотя она и наводится), так как любой измерительный прибор имеет соединительные проводники, подсоединенные в данном случае к основанию и верхушке башни, в которых и наводится встречная ЭДС. В результате чего измеренная величина будет равна нулю.

Кроме того, эти особенности работы униполярных машин не позволяют сделать их обмотку многовитковой, так как ЭДС в каждом витке ротора (виток вращается вместе с ротором) взаимно компенсируется. Единственным местом на роторе, где не наводится ЭДС является ось. Это позволяет удвоить напряжение, вырабатываемое генератором. Схема такого генератора приведена на Рис. 11. Эта конструкция была разработана и испытана автором данной статьи.

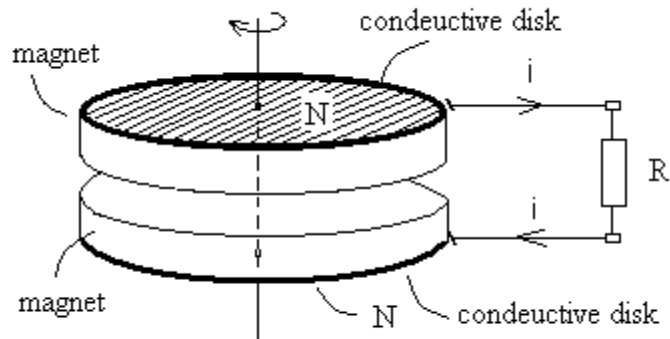


Рис. 11

В ней два кольцевых магнита расположены одноименными полюсами друг к другу. Два проводящих диска закреплены на проводящей оси и вращаются относительно неподвижных магнитов. При этом напряжение, вырабатываемое в верхнем диске складывается с напряжением, вырабатываемым в нижнем диске, то есть удваивается. Диска могут быть жестко закреплены на магнитах, при этом вся эта конструкция вращается вокруг оси. Напряжение вырабатываемое этим генератором будет так же удвоенным. Подобный двухдисковый униполярный генератор был также изобретен Теслой, но у него диски соединялись ремнем и ЭДС снималась с их осей.

2.2.1 Скоростной бесстаторный униполярный мотор

Наиболее показательным экспериментальным подтверждением гипотезы о магнитном поле как статическом образовании, не принадлежащим носителю поля (магниту), является изобретенный неведомым американским студентом униполярный мотор без статора (см. рис. 12). Этот электромотор, по видимому, является самым простым и скоростным из известных. Фактически этот мотор аналогичен тому, который был использован автором данной статьи в экспериментах, но, благодаря своей конструкции, работа этого мотора производит потрясающее впечатление.



Рис. 12

Изобретатель данного мотора взял дисковый неодимовый магнит (NdFeB) с никелевым покрытием, намагниченный по оси, к нему в центре примагнитил шуруп с острым концом, а этот конец примагнитил к плюсу круглой батарейки типа А (на рис.12 он соединен через шарик, но можно обойтись и без шарика) Все это было подвешено на штативе, в результате чего вся конструкция вытягивается под действием силы тяжести. Минусовой вывод батарейки он соединил тонким проводом (как щеткой) с цилиндрической поверхностью магнита. Таким образом между острием шурупа и плюсовым выводом образовался подшипник с очень малым трением.

Когда минус батареи был соединен с окружностью магнита, это все закрутилось! Да так, что ротор (магнит) развил скорость до 20,000 об/мин!. Автор данной статьи повторил опыт (да каждый пионер может это сделать!). Для эксперимента был взят неодимовый дисковый магнит диаметром 25 мм и толщиной 5 мм с никелевым покрытием. Батарейка была взята типа А (большая круглая любого типа), минус которой был соединен проводом ПЭЛ 0,1 с окружностью магнита.

Закрутился магнит сразу и в течении пары секунд развил скорость порядка 15,000 об/мин, после чего за счет дисбаланса сорвался с шурупа и улетел!. Более впечатляющей демонстрации представить трудно! Вопросов больше не возникало.

Таким образом, особенности работы униполярных машин являются однозначным экспериментальным подтверждением второй гипотезы – «гипотезы неподвижного магнитного поля». Это, кстати, позволяет приоткрыть физическую природу магнитного поля.

Исходя из доказанной «неподвижности магнитного поля» можно предположить, что оно не принадлежит носителю (магниту), а является искажением

(«динамическим», вызванном движением зарядов) некой среды. Тогда, по аналогии можно предположить, что и электростатическое (статическое) поле и вторичное электрическое (фарадеево, вызванное ускорением зарядов) поля также являются деформациями этой среды.

Раздел III

Униполярный генератор с неоднородным магнитом

3.1. Возможность разделения ЭДС, наведенной лоренцевым и фарадеевым механизмами

Фарадеев и лоренцев механизмы индукции часто сложно идентифицировать, то есть определить, где наводится лоренцева, а где фарадеева ЭДС. Это, например, относится, к случаю относительного движения проводника и носителя поля, так как формулы для лоренцевой и фарадеевой ЭДС в этом случае формально совпадают («школьное сведение» лоренцевой индукции к фарадеевой). Например, ЭДС, вырабатываемая простейшим генератором постоянного тока (рамка, вращающаяся между двумя магнитами) может быть определена как по Лоренцу, так формально и по Фарадею (некий «тянущийся контур»). Также, в некоторых случаях (см раздел 3.2 ниже по тексту) эти два механизма индукции могут работать одновременно, что вызывает затруднения в определении истинного источника ЭДС (это относится только к ЭДС, силовое взаимодействие определяется только лоренцевым механизмом).

Но, все же, можно создать условия, при которых только один из механизмов индукции, лоренцев или фарадеев, участвует в наведении ЭДС. Классическими примерами является униполярный генератор (лоренцева ЭДС) и трансформатор (фарадеева ЭДС). В сомнительных случаях для определения истинного источника ЭДС можно воспользоваться характерными особенностями формы сигнала $U(t)$, выработанным этими механизмами.

Например:

- Форма сигнала (ЭДС), наведенная за счет движения проводника относительно неравномерного магнитного поля (лоренцева ЭДС), полностью повторяет функцию распределения индукции поля B вдоль движения проводника (и совпадает по фазе).
- Форма электрического сигнала, наведенного за счет движения носителя неравномерного магнитного поля относительно проводника (фарадеева ЭДС), представляет собой дифференцированную функцию распределения индукции B вдоль направления движения носитель поля – проводник (со знаком минус). Вследствии этого, электрический сигнал и функция распределения B сдвинуты по фазе на $3/2 \pi$.

Действительно, для случая вращательного движения и синусоидального распределения напряженности поля $B(\varphi) = B_0 \sin \varphi$, ЭДС $E(t)$, наводимая в движущемся проводнике ΔL будет равна:

$$E_{(0)} = \omega r \Delta L \{ B_0 \sin(\omega t) \} = E_0 \sin(\omega t),$$

Где $E_0 = \omega r \Delta L B_0$.

Это значит, что график ЭДС, наведенной в лоренцевых машинах полностью повторяет форму и совпадает по фазе с функцией распределения напряженности В вдоль направления движения проводника.

В случае же фарадеева механизма (для случая того же синусоидального распределения), ЭДС $E(t)$, наводимая в контуре площадью S (один виток) будет равна:

$$E_{(0)} = - \frac{S d\{B_0 \sin(\omega t)\}}{dt} = -E_0 \cos(\omega t),$$

Где $E_0 = S B_0 \omega$.

Таким образом, электрический сигнал и функция распределения В сдвинуты по фазе на $3/2 \pi$.

Обращаясь к классической электротехнике, необходимо вспомнить, что абсолютно такой же механизм (фарадеев) действует в случае проводника (катушки) с текущим в нем переменным током, который вызывает изменение магнитного поля в месте расположения проводника и, таким образом, наводит в нем ЭДС самоиндукции, сдвинутую на $3/2 \pi$ относительно исходного тока. Если активное и реактивное сопротивления катушки равны (см. учебник по электротехнике), то активный (исходный) и реактивный (вызванный самоиндукцией) токи равны по амплитуде и суммарный ток сдвинут на $1/4 \pi$, а его амплитуда больше в $\sqrt{2}$ амплитуды исходного тока.

Следовательно, анализируя форму электрического сигнала, можно отделить ЭДС, наведенные этими двумя механизмами, друг от друга.

Кроме того, эти особенности лоренцевой и фарадеевой ЭДС позволяют утверждать (что, вообще-то, очевидно):

- Фарадеева ЭДС может быть только переменной, так как для получения постоянного тока необходимо, чтобы $d\Phi/dt = const \neq 0$. Совершенно очевидно, что Φ возрастет до бесконечности не может и, так или иначе, производная $d\Phi/dt$ должна поменять знак и, таким образом фарадеева ЭДС может быть только переменной.
- Лоренцева же ЭДС по форме полностью повторяет зависимость $V = f(x)$ (при постоянной скорости движения проводника). То есть, лоренцева ЭДС может быть как переменной, так и постоянной (униполярный генератор).

3.2 Униполярный генератор с неоднородным магнитом и неподвижными проводниками (магнит вращается)

Конструкция (разработана автором данной статьи) приведена на Рис. 13.

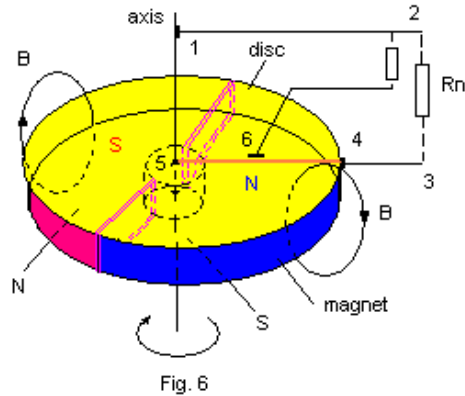


Рис. 13

Кольцевой ферритовый магнит (70x30x10 мм с $B_r = 0.27$ Тл) ломается (неодимовый магнит разломить невозможно) и одна половина переворачивается, так, что на верхнем и нижнем торцах на одной половине S, а на другой N. На поверхности магнита (на Рис. 13 - красный/синий) закрепляется проводящий диск (на Рис. 13 - желтый). ЭДС снимается щетками 1 и 4.

В данном случае, в точках 2 и 3 наводится переменная ЭДС (сигнал – близкий к синусоидальному, с амплитудой примерно ± 2 мВ).

Картина в данном случае получается значительно сложнее, чем в случае униполярного генератора с однородным магнитом, т.к. здесь могут участвовать как подвижные, так и неподвижные участки контура (проводники, соединяющие генератор с нагрузкой), т.е. вместе с лоренцевым механизмом может участвовать и фарадеев (так как $d\Phi/dt \neq 0$).

Разделить эти механизмы, вообще-то, можно:

- Согласно учебникам, лоренцев механизм не работает когда проводник направлен вдоль вектора скорости (или проводник и вектор скорости лежат в одной плоскости) и когда вектор \mathbf{B} параллелен вектору скорости.
- Фарадеев механизм не должен работать в подвижной части контура (закрепленной на магните), т.к. в этом случае проводник подвижной части контура не перемещается относительно неоднородностей магнитного поля.

Таким образом, если вместо проводящего диска поместить проводник (4-5), жестко закрепленный на магните (в принципе, диск работает так же – набор радиальных проводников, но для ясности лучше использовать единичный проводник, правда возникает проблема с коллектором), то образуется контур 1-2-3-4-5 состоящий из неподвижных проводников 5-1, 1-2, 3-4 и нагрузки 2-3. В этом случае фарадеев механизм заведомо не работает в подвижном проводнике (диске), а в неподвижных проводниках ЭДС может наводиться одновременно двумя механизмами или только фарадеевым.

В следующем эксперименте напряжение снималось не с края диска, а со щетки 6 (все электроды и щетки – немагнитные) скользящей по поверхности диска и имеющей возможность радиального перемещения (Рис. 13)

Осциллограммы сигнала, полученные на разных расстояниях от оси диска представлены на Рис. 14

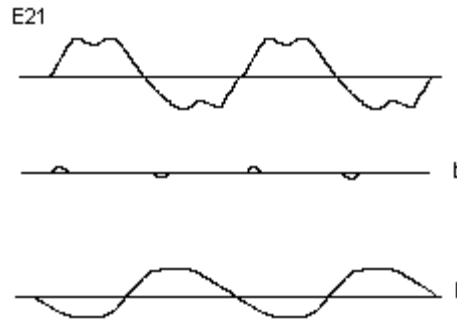


Fig. 7

Рис. 14

Сигнал, полученный при нахождении щетки на оси диска (верхняя осциллограмма) имеет трапециидальную форму с провалами в вершине трапеции ($E = \pm 2.5$ мВ). Далее, по мере смещения щетки по радиусу от оси, амплитуда сигнала падает (форма остается той же), а на некотором расстоянии от оси (средняя осциллограмма) сигнал исчезает. При дальнейшем движении щетки сигнал меняет фазу и становится близким к синусоиде с амплитудой на краю диска равной ± 2 мВ (нижняя осциллограмма).

Если проводник, соединяющий щетку 6 с нагрузкой, расположить перпендикулярно поверхности диска, то форма и амплитуда сигналов несколько меняется.

В частности, сигнал, полученный при нахождении щетки на оси диска при вертикальном расположении проводника, соединяющего щетку с нагрузкой, близка к синусоидальной, а амплитуда – меньше амплитуды сигнала (верхняя осциллограмма, Рис. 14) и составляет $\pm 1.5 - 2$ мВ. По мере передвижения щетки от оси (расположение проводника – вертикальное) форма сигнала становится сглаженной трапециидальной, а амплитуда слегка увеличивается (± 2.5 мВ). Далее амплитуда быстро падает и достигает 0 на некотором расстоянии от оси диска, причем это расстояние меньше, чем в случае горизонтально расположенного проводника. Далее фаза сигнала меняется и на краю диска сигнал имеет форму близкую к синусоидальной с амплитудой ± 2 мВ – то есть сигнал становится таким же, как на нижней осциллограмме (Рис. 14).

Анализ результатов

Можно с достаточным основанием предположить, что в данном случае два механизма, фарадеев и лоренцев, действуют одновременно, создавая ЭДС с противоположной полярностью. В этом случае фарадеева ЭДС наводится на неподвижных участках контура – в проводнике, соединяющем щетку 6. Эта ЭДС (форма и амплитуда) зависит от положения проводника 1 - горизонтального или вертикального так как индукция B (и ее производная dB/dt) в местах расположения проводника в этих случаях имеет разное значение. По мере перемещения проводника фарадеева ЭДС уменьшается (за счет его выдвигания из поля магнита), а лоренцева, наводимая во вращающейся части контура (часть диска между осью и щеткой) – возрастает по мере увеличения расстояния между щеткой

и осью. На расстоянии R (R_2 – для вертикального проводника и R_1 – для горизонтального) они компенсируют друг друга ($E_f = E_l$), при этом на осциллограмме видны небольшие неоднородности (< 0.5 мВ) вызванные неодинаковой формой сигналов (фарадеевского и лоренцева). Далее лоренцев сигнал преобладает, а фарадеев уменьшается практически до 0 на краю диска. Так как фарадеев сигнал для горизонтального проводника (расположенного у поверхности магнита) больше, чем для вертикального, а лоренцев в этих случаях один и тот же (при одинаковых расстояниях щетки от оси диска), то радиальное расстояние, где оба сигнала компенсируют друг друга будут разные (R_1 больше R_2). Таким образом, сигнал, снимаемый с края диска, по видимости, обусловлен только лоренцевым механизмом.

3.1. Униполярный генератор с неоднородным магнитом и неподвижными проводниками (магнит вращается), исключая возникновение лоренцевой ЭДС

Для разделения механизмов наведения ЭДС был проведен эксперимент, где были созданы условия, исключая возникновение лоренцевой ЭДС. В этом эксперименте к двухполюрному вращающемуся магниту (рис. 8, 13) на его боковой цилиндрической поверхности был помещен неподвижный проводник 1 - 2 в форме полупетли, который плотно прилегал к цилиндрической поверхности магнита и, при этом, скользил по ней (Рис. 15).

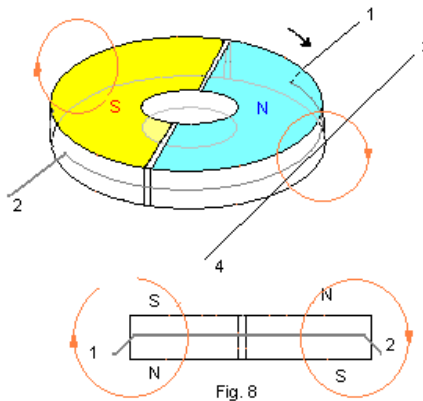


Рис. 15

Как можно видеть, лоренцева ЭДС здесь не может наводиться так как проводник направлен вдоль вектора скорости, и, следовательно, вектор \mathbf{l} по всей длине проводника параллелен вектору линейной скорости \mathbf{V} . В то же время, в эксперименте была зарегистрирована переменная ЭДС. Осциллограмма сигнала приведена на Рис. 16.

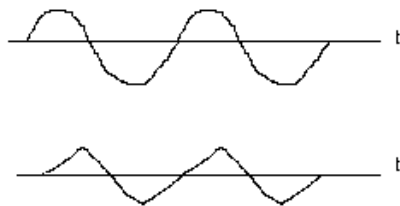


Fig. 9

Рис. 16

Сигнал имеет форму достаточно близкую к синусоидальной с амплитудой ± 7 мВ (частота 17 Гц). При распрямлении петли (проводник 3 – 4) сигнал становится по форме близким к треугольнику. Амплитуда при этом уменьшается до ± 5 мВ. В этом случае лоренцова ЭДС также не наводится, т.к. вектор скорости и проводник лежат в одной плоскости.

Далее, полупетля была помещена с другой стороны магнита. Полярность, форма и амплитуда измеренного сигнала оказались такими же как и для предыдущего случая (полупетля спереди).

Затем, две полупетли были соединены в полную петлю с выводами, расположенными по диаметру (Рис. 17).

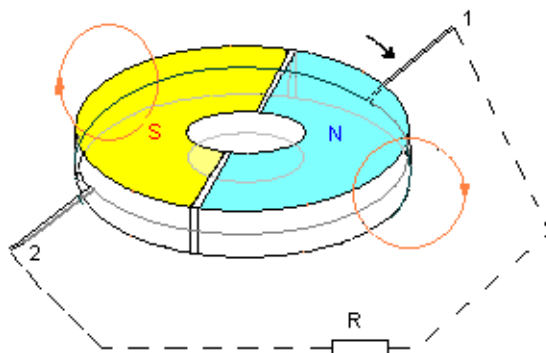


Fig. 10

Рис. 17

Полярность, форма и амплитуда измеренного сигнала оказались такими же как и для предыдущего случаев (полупетля спереди или сзади, см. Рис. 15).

После этого, петля была увеличена в диаметре (центр петли совпадал с центром магнита). В этом случае неподвижная петля не скользила по магниту, а отстояла от его некоторое расстояние. Полярность сигнала при этом осталась прежняя, форма сигнала существенно сгладилась, еще более приблизившись к синусоидальной, а амплитуда сигнала существенно упала (с ± 7 мВ непосредственно на цилиндрической поверхности магнита – 35 мм от оси - до ± 3.5 мВ на расстоянии 44 мм от оси).

В следующем эксперименте скользящая петля была заменена на проводящее кольцо, жестко закрепленное на магните, а сигнал снимался щеткам, расположенными по диаметру. Полярность, форма и амплитуда сигнала оказались такими же, как и в предыдущих случаях.

Здесь надо отметить, что конструкция генератора приведенная на Рис. 17 (петля с двумя выводами) напоминает «электромотор Маринова» (рис. 18), названный так по имени его изобретателя – австрийского электротехника – но только инвертированный (генератор) и с несколько другим магнитом (Рис. 17).

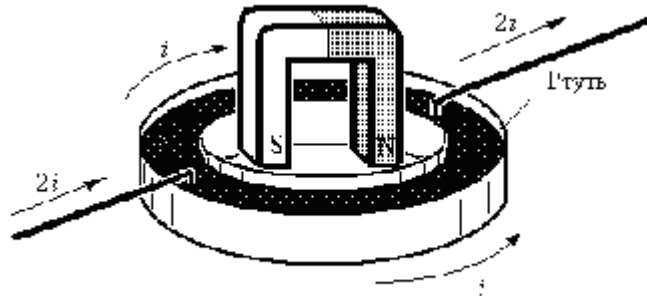


Fig. 11

Рис. 18

Можно предположить, что и генератор, конструкция которого приведена на Рис. 17 также можно инвертировать и использовать как электромотор.

Анализ результатов

В данных экспериментах лоренцев механизм не участвовал в создании ЭДС «по определению». Следовательно, за ЭДС наведенную в проводниках 1 – 2 и 3 – 4 ответственен фарадеев механизм, но в современной теории электромагнетизма принцип и формула, описывающие наведение фарадеевой ЭДС для каждого отдельного проводника контура отсутствуют.

В этом случае, для качественного объяснения результатов эксперимента автор воспользовался законом Фарадея и принципом Ленца, но в модифицированном виде:

- Наведенная в проводнике ЭДС является функцией dV/dt (точнее, производной циркуляции вектора \mathbf{V} по времени) в месте расположения проводника.
- При этом, ток, создаваемый наводимой в проводнике ЭДС вызывает циркуляцию магнитного поля которая стремится скомпенсировать изменение циркуляции в месте расположения проводника.

Вышеизложенный принцип можно назвать «модифицированным принципом Ленца».

Как было показано выше (раздел 1.3.2), постоянные магниты (в частности, кольцевой) имеют два эквивалентных контура с противоположно текущими токами – внешний и внутренний, которые можно представить, как два кольцевых проводника с током, текущим в противоположных направлениях. В частности, для кольцевых ферритовых магнитов, использованных в данных экспериментах, (см. раздел 1) этот постоянно текущий «эквивалентный ток» составляет порядка 15000А. Для составного магнита «токи», текущие в этих «контурах» меняют знак и, следовательно, при вращении магнита циркуляция вектора \mathbf{V} , охватывающая неподвижную полупетлю периодически возрастает, убывает и меняет знак. Таким образом, в контуре циркуляции вектора \mathbf{V} , созданной составным постоянным

магнитом, оказывается полупетля и, фактически, здесь имеет место случай взаимной индукции как в трансформаторе (но, опять же, для отдельного проводника, а не для контура), которая и наводит в проводнике ЭДС, которая, в свою очередь, создает циркуляцию магнитного поля, стремящуюся скомпенсировать это изменение (согласно приведенному выше «модифицированному принципу Ленца»). Как было отмечено выше, эксперимент показывает, что полярность, форма и амплитуда сигнала одинаковы для полупетель, расположенных спереди и сзади от магнита (Рис. 15), а также, для полной петли (Рис. 17).

Основываясь на «модифицированном принципе Ленца» можно качественно проанализировать механизм появления ЭДС в полувитках (схема на Рис. 19).

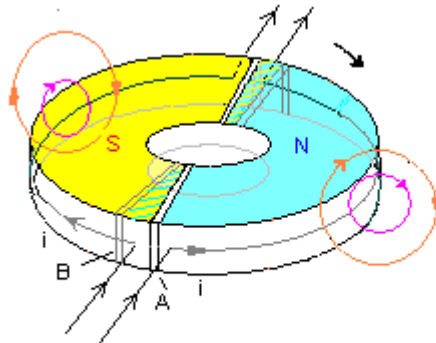


Fig. 12

Рис. 19

Как можно видеть, в момент, когда полувитки охватывают половины магнита с разными полюсами (положение А), циркуляция магнитного поля в месте расположения полувитков, создаваемая магнитом, максимальная. При повороте магнита в положение В она уменьшается, т. к. полувитки «переезжают» на другую половину магнита с противоположной полярностью. Чтобы скомпенсировать это уменьшение, в полувитках возникает ток создающий циркуляцию магнитного поля, совпадающую с циркуляцией поля магнита и компенсирующей это уменьшение. На Рис. 19 видно, что эти токи направлены в одну сторону, что и подтверждается экспериментом. ЭДС, наведенная в полувитках равна 0 (меняет знак) в момент показанный на Рис. 19, когда полувитки полностью охватывают половины магнита с разной полярностью и достигает максимума, когда середины полувитков совпадают с плоскостью раздела магнитов.

Таким образом, что особенно очевидно для полного кольца (Рис. 17), магнит вращается внутри контура, образованного двумя полукольцами, полностью охватывающими магнит, и проводниками, соединяющими их с нагрузкой, и, следовательно, суммарный магнитный поток внутри контура не меняется ($\Phi = \text{const}$) и, таким образом, согласно закону Фарадея, ЭДС не должна наводиться, что противоречит результатам эксперимента. Исходя из этого, можно предположить, что боковые проводники охватывают половинки магнитов и в каждом таком полу-контуре наводится фарадеева ЭДС. Если заменить эти половинные проводники (рис. 17) сплошным кольцом, то суммарный ток в этом кольце будет равен нулю, так как ЭДС в полукольцах компенсируют друг друга. Но если снимать ЭДС с диаметра - по диаметру поставить щетки, то на них будет зарегистрирована

переменная ЭДС (см. выше по тексту). Таким образом, здесь ЭДС создается и отдельными полукольцами, а не только полным контуром. И, так как лоренцева сила в данном случае отсутствует, то эта ЭДС создается без электродинамического сопротивления. Но тут остается вопрос насчет соединительных проводников, в которых при вращении магнита может возникнуть лоренцева сила, тормозящая магнит (ротор). Их влияние необходимо уточнить также и потому, что эти проводники и вольтметр совместно с полукольцами создают замкнутый контур.

Этот механизм наведения ЭДС в тангенциальных проводниках (полукольцах) может быть назван «тангенциальной индукцией».

Электромашин, основанные на этом принципе описаны в последующих разделах.

Тогда сразу возникает вопрос о силовом взаимодействии ротора и статора таких электромашин. Очевидно, что, согласно 3-му закону Ньютона для вращательного движения, крутящий момент ротора должен быть равен и противоположен крутящему моменту, создаваемому в статоре под нагрузкой (трение в подшипниках не учитывается). Силы, возникающие в тангенциальных проводниках в магнитном поле ротора при протекании в них нагрузочного тока, направлены строго радиально, их векторы проходят через центр массы (ось) статора и, соответственно, не создают крутящего момента, а только растягивают и сжимают тангенциальные проводники статора в радиальном направлении. Следовательно, отсутствует обмен моментами между ротором и статором, и ротор, вращаясь, вырабатывает электроэнергию в статоре без механического сопротивления!

Тут возможны два варианта:

- Генератор, действительно, не создает тормозящий момент (что позволяет создать «вечный двигатель» и противоречит 3-му закону Ньютона).
- Существует некий механизм создания тангенциальной силы в случае тангенциальной индукции. В этом случае, законы электромагнетизма должны быть пересмотрены и дополнены.

Иллюстрацией отсутствия закона, описывающего силовое взаимодействие для фарадеева механизма может быть следующий пример:

Предположим, что замкнутый плоский контур помещен в однородное магнитное поле и вектор магнитной индукции \mathbf{B} перпендикулярен плоскости контура. Интенсивность поля начинает меняться, при этом в контуре наводится ЭДС и течет ток, создающий поле, стремящееся скомпенсировать это изменение (принцип Ленца). Тогда, согласно закону Ампера, на проводники контура действуют радиальные силы, которые компенсируют друг друга и контур остается неподвижным, а только сжимается (при возрастании поля) или растягивается (при убывании поля). Такие силы, например, приложены к проводникам в трансформаторе. Контур неподвижен, лоренцевы силы скомпенсированы, хотя в контуре течет ток и вырабатывается энергия. Аналогичный случай описан выше, когда в тангенциальных проводниках наводится ЭДС, а ток нагрузки, согласно закону Ампера, не создает реактивного момента.

3.2. Взаимодействие вращающегося магнита с неподвижными радиальными проводниками.

При исследовании «тангенциальной индукции» возникает вопрос, а какой вклад вносят радиальные проводники, соединяющие полукольцо (кольцо) с нагрузкой, ведь в них также может наводиться ЭДС. Для ответа на этот вопрос была проведена серия экспериментов.

В этих экспериментах у поверхности составного вращающегося магнита (примененного в предыдущем эксперименте) были расположены неподвижные проводники (Рис. 20), при этом измерялось наведенное в них ЭДС.

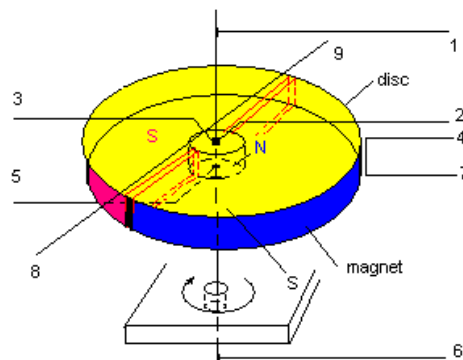


Fig. 13

Рис. 20

Были получены следующие результаты (осциллограммы приведены на Рис.21):

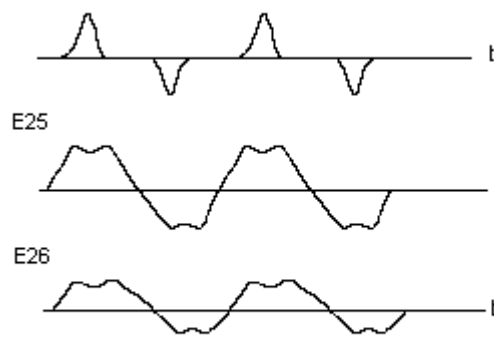


Fig. 14

Рис. 21

- E_{35} примерно = 0 (если проводники 3 и 5 лежат в плоскости оси).
- При повороте проводника 3 на малый угол (в плоскости диска) появляются пики противоположной полярности (верхняя осциллограмма). Далее сигнал приобретает вид изломанной пилы и при повороте на 180 градусов (E_{25}) приобретает вид трапеции с провалом в середине (средняя осциллограмма). Амплитуда импульсов порядка ± 5 мВ, частота 17 Гц (для 1000 о/мин).

- Далее, с целью магнитной экранировки ось была пропущена через отверстие в стальной плите (см. Рис. 20). Сигнал снимаемый в точках 2 и 6 (E_{26}) полностью повторяет по форме сигнал E_{25} , но его амплитуда примерно (в пределах погрешности) в два раза меньше - ± 2.5 мВ (нижняя осциллограмма). При этом его форма и амплитуда никак не зависят от поворота проводника 2. При перемещении проводника 2 вверх по оси (в позицию 1) сигнал сглаживается, превращаясь вначале в сглаженную трапецию, а потом в синус и резко уменьшается по амплитуде – на расстоянии порядка 5 см от диска он близок к 0.
- Кроме того, если сверху или снизу от магнита протянуть изолированный проводник 8 – 9 (желательно ближе к поверхности магнита, см. Рис.13) проходящий через центр магнита, то на нем наводится ЭДС, форма и амплитуда сигнала такие же как у E_{25} (± 3.5 мВ - трапеция с небольшими провалами). При этом безразлично, где протянут проводник, сверху или снизу.
- E_{47} не превышает 0.5 мВ.

Таким образом:

- При расположении проводников в плоскости оси на одинаковом расстоянии от поверхностей магнита (проводники 3 и 5) ЭДС, наводимые в верхнем и нижнем проводниках, компенсируют друг друга.
- Конструкция нижней части контура – вертикальная ось проходящая через отверстие в стальной плите обеспечивает магнитную экранировку нижней части контура. Следовательно, в нижней части оси и проводнике 6 не наводится ничего.
- Величина и форма наводимой ЭДС очень сильно зависит от конфигурации поля и его напряженности в месте расположении проводника. Суммарный магнитный поток, $\Phi = \Sigma(B S)$, охватываемый контуром (и его изменение) на ЭДС не влияет никак. Более того, при перемещении проводника 2 вверх по оси E должно возрастать т.к. контур охватывает большую площадь с большим суммарным магнитным потоком), а этого не наблюдается, наоборот E убывает.

Анализ результатов

Ниже приведен качественный анализ данного явления (упрощенный, в 2-х мерном приближении).

Полученные результаты могут быть объяснены в рамках «модифицированного принципа Ленца».

Рассмотрим проводник 8 – 9, подвешенный над магнитом в непосредственной близости от его поверхности и проходящий через центр (схема на Рис. 20).

Предположим, что в данный момент проводник находится в плоскости раздела двух половинок магнита (магнит при этом вращается). В этой плоскости (относительно оси лежащей в этой плоскости) циркуляция магнитного поля достигает максимального значения. При дальнейшем вращении магнита циркуляция начинает убывать как с одной стороны магнита, так и с другой. Для поддержания магнитного поля (в данном случае, его циркуляции) в проводнике

возникает ток, компенсирующий это уменьшение (только в месте расположения проводника; в данном случае проводник не отвечает за весь контур и не компенсирует изменение магнитного потока, проходящего через плоскость контура). Уменьшение циркуляции продолжается до достижения полюсов, S и N, где циркуляция равна 0 (силовые линии направлены перпендикулярно плоскости магнита). После прохождения полюсов направление циркуляции меняется на обратное, но она возрастает – таким образом, направление тока в проводнике сохраняется до достижения максимального значения в плоскости разделяющей магниты. В ней начинается уменьшение циркуляции при том же ее направлении, т.е ток в проводнике меняет знак. Так как циркуляция внизу магнита имеет такое же направление и величину, что и наверху, то не имеет значение, проходит ли проводник сверху или снизу магнита – амплитуда и фаза сигнала остается теми же. Следовательно, сигнал равен 0 при прохождении проводником плоскости раздела магнитов, и достигает максимума при прохождении полюсов. Трапециидальная форма импульсов объясняется тем, что полюса половинок магнита не точечные – это отрезки дуги на поверхности магнита, как изображено на верхнем рис. 22 (у однородного магнита это окружности, где S на одной стороне магнита, а N – на другой, см. нижний рис. 22), а провалы объясняются отсутствием изменения циркуляции на этом участке (фарадеева ЭДС пропорциональна производной).

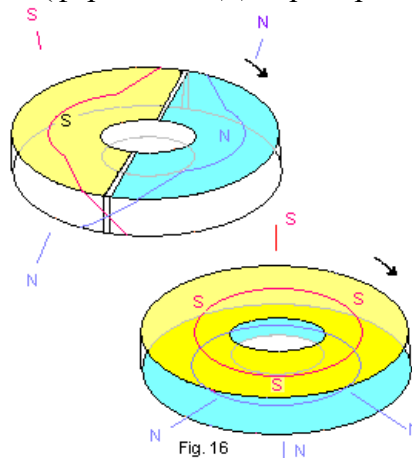


Рис. 22

В то же время, как было описано в разделе 1, полюса однородного магнита на его поверхности имеют форму окружностей, а при удалении поле «собирается» и полюсами становятся точки на оси магнита.

Для неоднородного магнита картина похожая, но более сложная (рис.22). Полюса на поверхности – это отрезки дуги (примерно $\frac{1}{4}$ окружности каждый) «сползающие» затем на край магнита и переходящие на другую сторону. На расстоянии над магнитом, примерно равным диаметру диска, поле сглаживается и полюсами становятся некие точки в пространстве расположенные напротив центров этих отрезков.

При удалении проводника от поверхности магнита, форма сигнала сглаживается, пропадают провалы и, далее форма сигнала становится синусоидальной (амплитуда при этом резко падает). Это объясняется сглаживанием магнитного поля и уменьшением его напряженности по мере удаления от магнита.

При перемещении проводника 1 – 2 (Рис. 23) в радиальном направлении от оси магнита (проводник 4 – 5) трапециидальная форма импульсов искажается, появляются провалы, объясняемые в данном случае неодновременностью прохождения разделительной плоскости проводником.

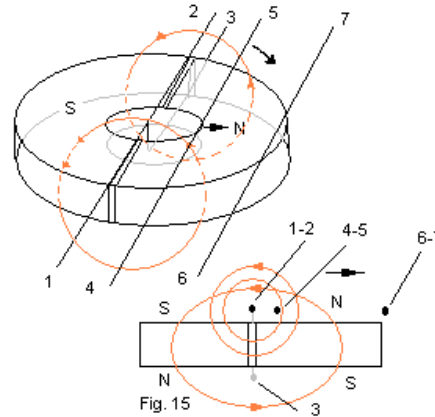


Рис. 23

В этом случае на одной половине магнита циркуляция \mathbf{B} в этот промежуток времени падает, а на другой возрастает, таким образом ЭДС, наводимые в двух частях проводника, частично компенсируют друг друга. При дальнейшем перемещении сигнал меняет фазу и при выходе проводника за пределы магнита (положение 6 – 7 на рис. 23) импульсы преобретают трехугольную форму.

Здесь еще раз надо отметить, что путаница с механизмами наведения ЭДС (фарадеевым и лоренцевым) возникает при анализе электромагнитных устройств во многих случаях, например при анализе работы электродвигателя постоянного тока (классический школьный генератор постоянного тока – рамка вращается между двумя магнитами) или при вдвижении – выдвигании магнита из рамки. В этом случае направление ЭДС в рамке можно найти по «правилу правой руки» - однозначно работает лоренцев механизм. Во втором же случае работает фарадеев механизм. И если выдвигаемый магнит однородный и бесконечной длины, то ЭДС не будет.

Как было отмечено в разделе 2.1, количественно ЭДС, наводимая в движущемся поперек магнитных силовых линий проводнике, вычисляется по «школьной формуле», выведенной при допущении некоего «скольжения» проводника по двум другим проводникам, ему перпендикулярным [6]. В результате этого площадь контура как бы «увеличивается» и формула для ЭДС выглядит следующим образом (для однородного поля, проводника длиной L и скорости проводника \mathbf{V} перпендикулярной вектору индукции \mathbf{B}): $E = V B L$.

Как уже было отмечено в разделе 2.1, это «объяснение» является надуманным – оно было придумано, когда лоренцева сила еще не была открыта, а $d\Phi/dt$ этого фиктивного «контура» является скоростью движения отрезка проводника L , то есть скоростью движения зарядов в нем.

Опять же, формула, выведенная на основании лоренцева механизма (разделение зарядов под действием лоренцевой силы) выглядит абсолютно так же (см. раздел 2.1). В то же время, очевидно, что реальным механизмом наведения ЭДС в этом случае является именно лоренцев.

Но нужно отметить, что это «объяснение» и совпадение формул помогло ввести лоренцеву ЭДС в систему уравнений Максвелла, где все сведено к фарадеевой индукции.

3.3. Многообмоточный униполярный генератор с неоднородным вращающимся магнитом и неподвижной катушкой

Конструкция этого генератора является практическим приложением выводов, сделанных в предыдущих разделах. Так как ЭДС, наводимая в полукольцах имеет одинаковую полярность, то соединив полукольца встречно можно увеличить ЭДС в N раз, где N – число полуколец. При встречном соединении полуколец их концы должны быть соединены проводниками, в которых также может наводиться ЭДС. Самый короткое расстояние между противоположными концами полуколец проходит через центр магнита (Рис. 24), но на этих соединительных проводниках также наводится ЭДС (см. Рис. 23), которая может складываться или вычитаться из ЭДС, наводимой в полукольцах (в зависимости от ее полярности).

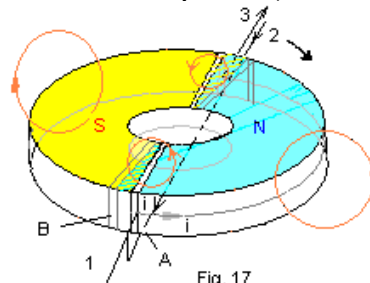


Рис. 24

Здесь нужно отметить, что эти ЭДС наводятся фарадеевым механизмом так как проводники неподвижны, а вращается магнит. Для определения полярности сигналов в полукольцах и радиальных проводниках был проведен эксперимент, в котором оба этих элемента были подсоединены ко входам двухлучевого осциллографа. Осциллограммы сигналов 1–3 (полувиток) и 1-2 (радиальный проводник) приведены на Рис. 25.

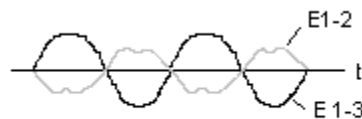


Fig. 18

Рис. 25

На осциллограмме видно, что ЭДС полувитка и радиального проводника находятся в противофазе и соединение противоположных концов полуколец радиальными проводниками позволяет получить многообмоточный генератор и увеличить

величину ЭДС. Также, удаление радиальных проводников от плоскости магнита (или их магнитное экранирование) может, при необходимости, уменьшить их вклад в создание ЭДС.

Основываясь на «модифицированном принципе Ленца», можно объяснить почему ЭДС в радиальном проводнике 1 – 3 и полукольце 1 – 2 наводится в противофазе. Согласно анализу, приведенному в предыдущих разделах, в момент времени, когда расположение проводников соответствует показанному на Рис. 24 (положение А), циркуляция магнитного поля в месте расположения обоих проводников максимальна и ЭДС в этих проводниках, полувитке и радиальном, равна 0. При дальнейшем вращении магнита, полувиток и радиальный проводник смещаются из положения А в положение В (Рис. 24), циркуляция в обоих случаях уменьшается и в проводниках возникает ток, создающий циркуляцию В, совпадающую по направлению с циркуляцией поля магнита и компенсирующую это уменьшение. При этом, полярность ЭДС, наводимой в полувитке и радиальном проводнике – противоположная (Рис. 25).

Надо отметить, что в данном генераторе полувитки могут быть расположены только с одной стороны катушки – ЭДС при этом не изменится. На основе этих экспериментов была разработана конструкция электрогенератора и был создан и испытан его прототип [15].

Но здесь необходимо отметить, что под нагрузкой в радиальных проводниках течет ток, который при взаимодействии с эквивалентными проводниками (радиальными) магнита будет создавать тормозящий момент за счет лоренцевых сил. Это может существенно снизить эффективность работы такого генератора.

Анализ работы многовиткового генератора, разработанного на вышеизложенном принципе

Были испытаны макеты такого генератора с разным количеством полувитков. Схема соединения полувитков приведена на Рис. 26.

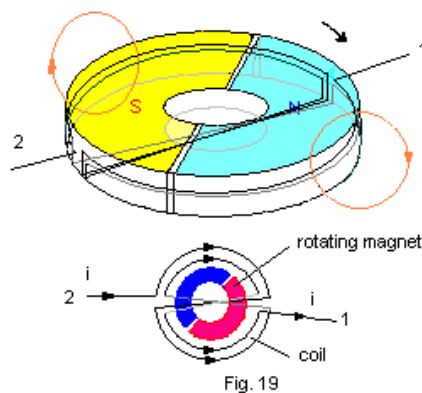


Рис. 26

Ротор генератора был выполнен из ферритовых магнитных колец 70x30x10 мм с $B_r = 0.274$ Тл, каждое из которых было разломано пополам и одна половина перевернута (рис. 26).

Первый макет содержал 120 полувитков (83 мм в диаметре) и развивал $\pm 0.6\text{В}$ в режиме холостого хода, что подтверждает идеи, высказанные в разделах 5 и 6 и заложенные в данной конструкции.

При этом, ЭДС, наводимая в одном полукольце, была равна $\pm 3.5\text{ мВ}$ (ЭДС очень сильно зависит от индукции B в месте расположения проводника, составляя $\pm 7\text{ мВ}$ на поверхности магнита и резко уменьшаясь с увеличением диаметра витка). Помещение катушки в тонкий пермалловый цилиндр увеличивало ЭДС холостого хода до $\pm 0.75\text{ В}$. Максимальная ЭДС наводилась тогда, когда плоскость полуколец совпадала с горизонтальной плоскостью симметрии магнита (середина между двумя торцами магнита, см. Рис. 26). При этом, радиальные соединительные проводники были расположены ниже на расстоянии 45 мм от полуколец (полувитков) и в каждом из них наводилась ЭДС $\pm 1.5\text{ мВ}$.

По мере углубления магнита в катушку (плоскость полуколец выше плоскости магнита) возрастало влияние радиальных проводников и уменьшалось влияние полуколец и в случае, когда радиальные проводники были приближены вплотную к нижней плоскости магнита, величина ЭДС уменьшилась примерно в 3 раза (до $\pm 0.15\text{ В}$) и сигнал приобрел характерную трапециидальную форму.

Установка тонкого пермаллового диска между магнитом и радиальными проводниками (ближе к проводникам) практически полностью их магнитно экранирует, наводимая в них ЭДС была практически равна 0, а ЭДС, снимаемая с генератора уменьшалась до 0.48 В.

Другой макет, фотография статора которого приведена на Рис. 28, содержал 460 полувитков (ЭДС снимаемая с одного полувитка была равна $\pm 3.5\text{ мВ}$).

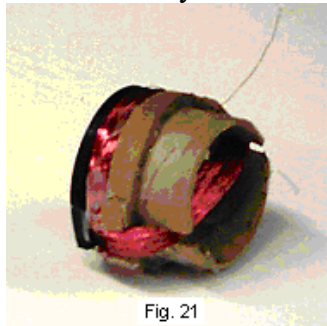


Fig. 21

Рис. 28

Напряжение, развиваемое генератором в режиме холостого хода, составило $\pm 2\text{ В}$ с магнитно неэкранированными радиальными проводниками и 1.6 В с экранированными.

Согласно расчетам, при увеличении скорости вращения ротора до 2000 об/мин, размещении обмотки в непосредственной близости от поверхности магнита и замене ферритового магнита на NdFeB, напряжение снимаемое во втором случае будет составлять порядка 40 В (к сожалению неодимовый магнит не ломается).

Здесь надо отметить, что, формально, данная конструкция статора (многовитковая) может быть представлена как две обмотки, содержащие N витков каждая и расположенные на противоположных сторонах двухполюсного магнита. Таким образом (опять же, формально) в каждой обмотке периодически меняется магнитный поток и, таким образом, наводится ЭДС в соответствии с законом

Фарадея. Но, как было указано выше, этот подход не отражает истинный механизм работы этого генератора, так как основная ЭДС производится полувитками независимо от других элементов контура, которые могут быть исключены из этого процесса, например, магнитным экранированием. В то же время, взаимодействие полувитков с магнитным полем (индукция и механическое взаимодействие) не может быть описано стандартными законами Фарадея и Ампера.

Таким образом, данная конструкция также ставит вопрос о механическом взаимодействии ротора и статора. Тангенциальная сила, создающая в нагруженном статоре реактивный момент, должна быть приложена к полувиткам и направлена вдоль проводников ($d\mathbf{F} \parallel d\mathbf{l}$), что противоречит закону Ампера. В этом случае, если следовать закону Ампера, то когда середина полувитка не дошла до середины сектора магнита (циркуляция возрастает) то полувитки растягиваются по радиусу, а после прохождения середины сектора – сжимаются, при этом тангенциальная составляющая отсутствует, а результирующая сила, приложенная к оси равна нулю. При прохождении полувитками плоскости раздела магнита, к полувитку прикладываются две радиальные силы, разнесенные на некоторый угол и противоположно направленные. Но и в этом случае крутящий момент не возникает, так как обе эти силы проходят через центр массы статора (его ось). На противоположный полувиток действуют такие же силы, но противоположно направленные. Они радиально сжимают и растягивают полувиток, а результирующая сила, приложенная к оси также равна нулю (схема на Рис. 29).

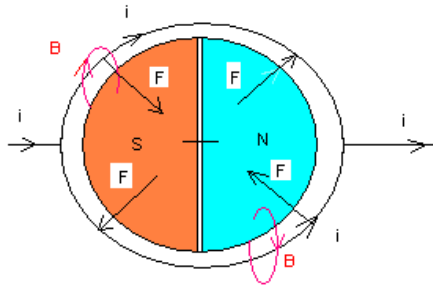


Fig. 22

Рис. 29

Радиальные же проводники создают тормозящий момент в соответствии с законом Ампера. Кроме того, конструкция генератора, содержащая один полный виток, жестко закрепленный на роторе и вращающийся вместе с ним, где ЭДС снимается радиальными щеткам (см. выше), вообще не имеет статора и неизвестно, куда должен быть приложен реактивный момент.

3.4 Силовое взаимодействие ротора и статора многовиткового генератора

Идея измерения момента сопротивления фарадеевых генераторов под нагрузкой возникла из за гипотетической возможностью получения ЭДС от фарадеева генератора за счет «свободной энергии», то есть с КПД больше 1 (см. выше по тексту).

Но, так как непосредственное измерение момента сопротивления генератора под нагрузкой является сложной задачей, для решения которой требуется

установка мотор-генератор с калиброванными потерями, то была предпринята попытка имитации моментов сопротивления, возникающих в синхронных генераторах. В результате были проведены эксперименты, где синхронный (фарадеев) генератор с многовитковым статором был инвертирован и проверен как электромотор (раздел 1).

В этом случае, для проверки силового взаимодействия статора и ротора оба они были подвешены на проволоке (которая выполняла функцию торсиона в крутильных весах) и могли свободно вращаться относительно друг друга (рис. 2, 30). Здесь нужно еще раз отметить, что крутящий момент в фардеевых генераторах создается только лоренцевыми силами (силами Ампера), приложенными к радиальным проводникам катушки и радиальными проводниками «эквивалентного контура» магнита (рис. 8). Тангенциальные проводники в этом не участвуют.

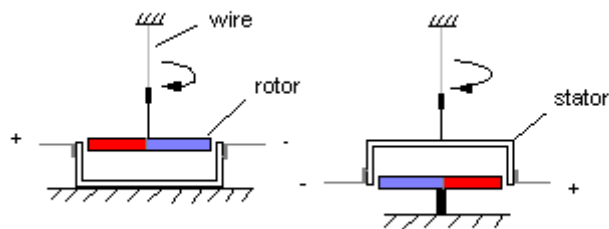


Fig. 23

Рис. 30

В первом случае радиальные проводники были не экранированы. В следующих экспериментах для избежания влияния радиальных проводников, они были магнитно заэкранированы.

Качественный эксперимент показал, что в обоих случаях при подаче тока в обмотку ротор и статор поворачивались в противоположных направлениях, т.е. происходил обмен моментами, что соответствует 3-му закону Ньютона для вращательного движения. Так как сумма моментов в замкнутой системе должна быть равна 0 ($\Sigma \mathbf{M} = 0$), то моменты силы, приложенные к ротору и статору, должны быть равны и противоположны по знаку, и тогда углы поворота ротора и статора также должны быть равны (при одинаковой жесткости торсиона).

Для проверки этого положения был проведен эксперимент по количественному определению моментов сил, приложенных к статору и ротору. В первом варианте ротор был подвешен на упругой проволоке, выполняющей функцию торсиона в крутильных весах, статор же был закреплен неподвижно. Во втором – ротор (составной магнит) был закреплен, а статор подвешен на такой же проволоке с такой же длиной (сопротивления скручиванию торсионов были равны и прокалиброваны, см. ниже по тексту).

Здесь получается, что момент сопротивления генератора и крутящий момент мотора в синхронных электромашинах, опять же, создается **только лоренцевым механизмом** и возникает из за взаимодействия радиальных проводников катушки и радиальных проводников «эквивалентного контура» магнита (рис. 8 и рис. 26), которое стремится совместить проводники с одинаково направленным током.

Кроме того, конструкция статора содержала вертикальные проводники, соединяющие полувитки с радиальными проводниками. Их влияние на создание ЭДС было проверено в предыдущих экспериментах с единичными проводниками и показало практически полное отсутствие вклада вертикальных проводников в создание ЭДС. Тогда, так как токи в радиальных проводниках катушки в обоих экспериментах были одинаковые и одинаковым было их взаимное расположение в обоих случаях, то и моменты должны были бы быть тождественно равны.

Схема экспериментов по измерению крутящего момента ротора и статора представлена на Рис. 30.

Надо отметить, что, так как данный генератор есть генератор (и, соответственно, мотор) переменного тока, то при свободном повороте ротор останавливается в устойчивом нейтральном положении (момент $M=0$), когда разделительная плоскость полувитков совпадает с разделительной плоскостью магнитов (середина полувитков совпадает с серединой магнитов), то есть когда радиальные проводники статора совпадают с «радиальным проводником» эквивалентного контура магнита за счет взаимодействия их магнитных полей, которые создают крутящий момент их совмещающий. Соответственно, максимальный момент (M_{\max}) развивается, когда середина полувитков лежит в плоскости раздела магнитов, а оба этих положения отличаются на 90 градусов, что также было подтверждено экспериментально. Кроме того, существует второе нейтральное положение, отличающееся от первого на 180 градусов, когда токи в радиальных проводниках и в «радиальном проводнике» эквивалентного контура магнита направлены в противоположные стороны. Оно является неустойчивым (при подаче постоянного тока) и установленный в это положение ротор может повернуться как в одном так и противоположном направлении в направлении первого нейтрального положения. При изменении направления тока эти нейтральные положения меняются местами. Такое поведение, опять же, объясняется взаимодействием двух проводников с током (статора и «эквивалентного»).

Таким образом, в данном эксперименте допустимые углы поворота не должны превышать 45 – 50 градусов, что достигается подачей малого тока (0.1 - 0.2 А) в обмотку статора.

В данном эксперименте ротор устанавливался относительно статора в положение максимального момента, далее подавался постоянный ток (0.06 – 0.2 А) и измерялись углы отклонения ротора при неподвижном статоре и статора при неподвижном роторе, при этом, ротор и статор поочередно подвешивались на том же торсионе (медная эмалированная проволока диаметром 0.38 мм). Момент сопротивления скручиванию торсиона был прокалиброван и составил 0.078 гс см/град. Схема калибровки приведена на Рис. 31.

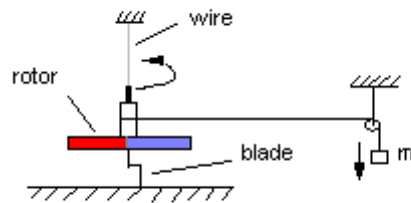


Fig. 24

Рис. 31

Момент сопротивления проволоки (торсиона) калибровался грузиками m , подвешенными на проволоке диаметром 0.1 мм, пропущенной через блок. Лезвие, упирающееся в ось (снизу ротора) предотвращает поворот ротора, подвешенного на торсионе, в вертикальной плоскости.

В таком случае, если крутящий момент образуется только за счет взаимодействия радиальных проводников катушки с током и «радиального проводника» магнита с эквивалентным током, то крутящие моменты в обоих случаях должны быть тождественно равны.

Результаты измерения крутящих моментов этих двух вариантов приведены ниже :

Измеренные углы поворота подвешенного на торсионе ротора и подвешенного на том же торсионе статора для первого макета (120 полувитков) приведены в Табл. 1:

I (A)	Ротор		Статор	
	Ω (град)	M (гс см)	Ω (град)	M (гс см)
0.06	18	1.4	12.4	0.97
0.1	30	2.3	20.7	1.61
0.15	45	3.5	30.3	2.36
0.2			41.4	3.23

Момент силы в таблице приведен в граммах силы на сантиметр (техническая система единиц, $1 \text{ гс см} = 9.8 \cdot 10^{-5} \text{ н м}$). Как видно из таблицы, зависимость угла отклонения от тока – линейная, что, собственно, и следовало ожидать.

Как можно видеть, измеренные значения углов отклонения и моментов меньше для статора, чем для ротора (порядка 67% от момента ротора), что, естественно, может вызывать сомнения, потому, что эти моменты должны быть равны (см. выше).

Это несоответствие, в частности, может быть объяснено методическими ошибками эксперимента, например разным натяжением проволоки (торсиона) при подвешивании магнита (200 г) и статора (60 г), хотя, согласно сопромату, напряжения растяжения и кручения не связаны друг с другом. Кроме того, катушка

статора имела отводы, выполненные из тонкой медной проволоки (0.1 мм в диаметре), которые при повороте статора теоретически могла создавать сопротивление.

Для выявления возможных методических ошибок была проведена серия испытаний. В частности, влияние отводов было проверено и было установлено, что ошибка, вызванная изгибом такой проволоки (0.1 мм в диаметре) составляет менее 1 градуса поворота статора. Во всех экспериментах использовалась та же проволока (торсион), на которой поочередно подвешивался ротор и статор. Измерения были многократно повторены в разных условиях (расположение проводников и блока питания относительно статора и т.п.) для определения возможного влияния внешних полей. Результаты измерений, при этом совпали с точностью до $\pm 10\%$.

Далее, аналогичные испытания были проведены для второго генератора (460 полувитков) с неэкранированными радиальными проводниками (их вклад в ЭДС – порядка 20%). Точность экспериментов с использованием второго генератора была существенно выше по сравнению с первым (число витков статора в 3.8 раза больше). Качественно и количественно было зарегистрировано явно выраженное существенное превышение момента ротора над моментом статора, при этом момент статора составлял порядка 50% от момента ротора. Была также зарегистрирована зависимость стартового момента от положения плоскости раздела магнита относительно статора. Момент был равен 0 в первом (устойчивом) нейтральном положении (см. выше), постепенно увеличивался при повороте ротора, и достигал максимума при повороте ротора на угол порядка 115 градусов относительно устойчивого нейтрального положения.

В связи с этим, измерения моментов ротора и статора проводились в одинаковых положениях (Рис. 32), когда плоскость раздела магнита (при отсутствии тока в обмотке) совпадала с серединой полувитков (или линия соединяющая середины половинок магнита – полюсов S – N – совпадала с плоскостью раздела полувитков), т. е. ротор был повернут на 90 градусов относительно устойчивого нейтрального положения (см. выше) и при повороте на 115 градусов (моменты максимальны).

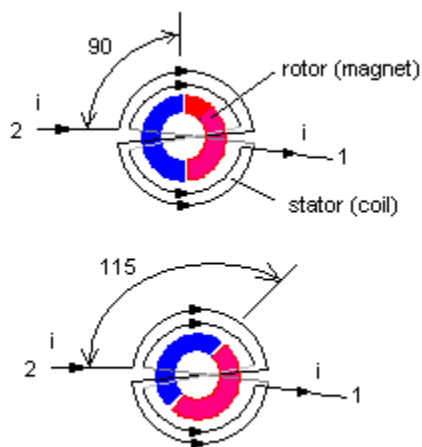


Fig. 25

Рис. 32

Для тока 0.04 А моменты статора и ротора составили 2.05 гс см и 4.29 гс см соответственно при 90 градусах и 2.6 и 5.3 гс см - при 115 градусах. Точность измерения углов поворота составляла порядка 1 – 2 градуса (0.078 – 0.156 гс см – для момента).

Анализ возможных методических ошибок

Для выяснения влияния внешних магнитных полей на результаты эксперимента было проверено взаимодействие подвешенного статора с возможными внешними полями (ротор был удален). Оказалось, что статор сам поворачивается на малый угол при подаче тока в обмотку. При токе в 1 А статор первого генератора поворачивался на 1.5 – 2 градуса (направление зависело от направления тока), что соответствует моменту в 0.11 – 0.16 гс см.

Далее, на том же торсионе был подвешен статор второго генератора. При токе в 1А угол поворота составил 8.4 градуса и, соответственно, крутящий момент составил 0.66 гс см.

Теоретически, поворот статора мог быть вызван взаимодействием магнитного поля статора с магнитным полем Земли. Анализ, основанный на законе Ампера показывает, что полувитки и радиальные проводники в однородном магнитном поле не создают крутящего момента, и только вертикальные проводники при прохождении тока создают пару сил, которая может повернуть статор вокруг вертикальной оси (Рис. 26).

Оценка возможного вклада вертикальных проводников в поворот статора, рассчитанная по формуле $B = M/Pm$ (где M – крутящий момент, а Pm – магнитный момент катушки) показывает, что для создания момента в 0.16 гс см (83 x 35 мм вертикальная рамка, содержащая 120 витков) при токе в 1 А внешнее магнитное поле должно достигать примерно 4 Гс (горизонтальная и вертикальная составляющие поля Земли равны порядка 0.16 и 0.55 Гс соответственно).

Более точная оценка внешнего магнитного поля была проведена с помощью цилиндрической катушки с горизонтальной осью ($\Phi = 45$ мм, $N = 300$ витков), подвешенной на том же торсионе, лазера и зеркала, закрепленного на торсионе в месте его закрепления на катушке. Измерения показали, что внешнее магнитное поле в лаборатории составляет порядка 3.5 Гс и, таким образом, вышеуказанный поворот статора (без ротора) происходит во внешнем магнитном поле, вызванным промышленными наводками. Если конструкция статора не имеет вертикальных проводников (они практически не участвуют в создании ЭДС и не существенны для работы генератора), то этот эффект должен отсутствовать.

Надо отметить, что этот эффект никак не влияет на представленные выше результаты измерения моментов ротора и статора, так как для тока 0.1 А отклонение, вызванное этим внешним полем, составит всего 0.2 градуса.

Далее, ротор и статор второго генератора были жестко скелены друг с другом и подвешены на том же торсионе. Угловое отклонение при токе в 1 А составило от 1 до 7 градусов, в зависимости от положения статора относительно направления внешнего поля. Это свидетельствует о том, что и в этом случае статор поворачивается во внешнем поле. Т. е. связанная система ротор – статор фактически не поворачивается. Но, если бы существовал нескомпенсированный статический момент, то эта система должна была повернуться. В то же время, надо

заметить, что вышеуказанный эффект (различие моментов) проявляется в динамике – поворот ротора относительно статора и наоборот.

Так как крутящий момент в обоих случаях (стартовый момент) создается лоренцевыми силами, стремящимися совместить радиальные проводники статора и магнита, а условия в обоих случаях были одинаковые, то эти моменты должны были быть равны. То есть, в статике они должны определяться только взаимодействиям радиальных проводников и должны были быть равны в обоих случаях. Таким образом, для получения достоверного результата **моменты сопротивления необходимо измерять в динамике при вращении ротора.**

Но, тем не менее, результаты экспериментов показали существенную разницу статических крутящих моментов (стартовых) у синхронного и лоренцева моторов, которую автор данной статьи пока не может объяснить. Единственная разница в этих экспериментах (рис. 30), заключалась в разнице в токах, протекающих в радиальных проводниках статора и в радиальном проводнике «эквивалентного контура» магнита. Так «эквивалентный ток» в эквивалентном радиальном проводнике составлял порядка 30000 А (единичный проводник), в то время, как ток (ампервитки) в радиальных проводниках составлял порядка 20 ампервитков (460 витков). Но, сила взаимодействия двух проводников определяется произведением токов и не должна зависеть от силы тока в каждом из них [6].

Выводы

1. Данная конструкция генератора, несомненно работает, напряжение, вырабатываемое генератором пропорционально числу полувитков, длине полувитка и скорости изменения магнитной индукции в месте расположения полувитка (dB/dt).
2. Наблюдаемое самопроизвольное вращение статора может быть объяснено внешними магнитными полями в которых статор поворачивается (как рамка с током) при пропускании тока через обмотку. Это внешнее поле, вызванное индустриальными наводками, было обнаружено и составило порядка 3.5 Гс. В то же время, это поле, в связи с его малостью, никак не сказывается на результатах измерений.
3. Взаимодействие радиальных проводников статора с радиальными «проводниками» эквивалентного контура магнита (ротора) за счет силы Ампера (они стремятся совместиться) создает под нагрузкой крутящий момент сопротивления.
4. Эксперименты с фарадеевыми генераторами (инвертированными в моторы, см. рис. 30), разработанными автором данной статьи, показали, что моменты, приложенные к составному магниту, являющемуся ротором (синхронный мотор) и к катушке с тангенциальными проводниками в варианте, когда она является ротором (лоренцев мотор) при одинаковом токе в катушке не равны и крутящий момент в первом случае примерно вдвое больше, чем во втором. Нужно отметить, что и в том и в другом случае крутящий момент создается лоренцевыми силами..

- приложенными к радиальным проводникам катушки и радиальным проводникам «эквивалентного контура» магнита.
5. Неравенство моментов ротора и статора не может быть объяснено методическими и инструментальными ошибками эксперимента и этот возможный эффект нуждается в **дополнительном исследовании**, тем более, что жестко связанная система ротор – статор не поворачивается. Но тут надо отметить неравноправность относительных движений проводника и магнита, отмеченную выше. При этом, в данных экспериментах в первом случае ротор (магнит) поворачивается относительно неподвижного статора и наоборот – во втором. В разделах 2.1 и 2.2 на примере униполярного генератора было показано, что движение магнита относительно неподвижного проводника и движение проводника относительно неподвижного магнита – это не одно и то же, в частности, в первом случае (магнит вращается) во время прохождения проводником участка магнита с однородным полем (рис. 22) лоренцева ЭДС не наводится и крутящий момент у мотора не создается.

3.5. Генератор с двухдисковым ротором

Этот генератор разработан автором данной работы и является дальнейшим развитием многовиткового генератора тангенциальной индукции, описанного в разделе 3.5.

В нем удалось избавиться от радиальных проводников, соединяющих полувитки и существенно упростить конструкцию статорной обмотки.

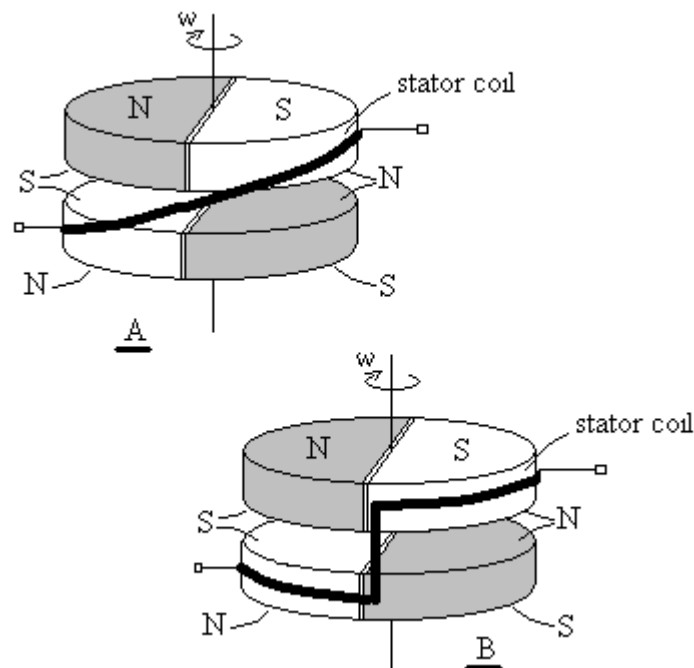


Рис. 33

Как можно видеть на Рис. 33А, генератор содержит составной ротор, содержащий два составных кольцевых магнита, подобных примененным в конструкции, описанной в разделе 3.5. При этом магниты развернуты так, что половинки магнитов в дисках, обращенных друг к другу, имеют одинаковую полярность и, соответственно, отталкиваются друг от друга. Многовитковая статорная катушка имеет эллиптическую форму и расположена таким образом, что верхняя точка эллипса находится рядом с «эквивалентным контуром» верхнего магнитного диска, а нижняя точка эллипса – рядом с «эквивалентным контуром» нижнего магнитного диска. В другом варианте конструкции этого генератора полукольца располагались в плоскости «эквивалентных контуров» и соединялись в обмотку вертикальными проводниками (Рис. 33В). Анализ работы генератора показал, что наклонная эллиптическая катушка полностью заменяет полувитки и вертикальные проводники, при этом наводимая ЭДС остается прежней.

Генератор, приведенный на Рис. 33А, может быть выполнен многофазным с несколькими обмотками, при этом оси эллипсов должны быть смещены на 120 градусов для 3-х фазного генератора. Обмотки в этом случае могут быть включены обычным способом – звездой или треугольником.

Испытания генератора показали, что он выдает синусоидальное напряжение, при этом напряжение, снимаемое с катушки, имеющей 20 витков составило 0.14 В (то есть, порядка ± 3.5 мВ с полувитка, как и в генераторе с однодисковым ротором).

При уменьшении технологического зазора между обмоткой и ротором, напряжение, вырабатываемое генератором можно увеличить примерно вдвое.

Можно видеть, что ЭДС в данном генераторе наводится в тангенциальных полукольцах, аналогично генератору, приведенному в разделе 3.2, а, также в вертикальных проводниках. Момент сопротивления в этом случае создается силой, приложенной к вертикальным проводникам.

3.6 Некоторые замечания по поводу «свободной энергии»

Поиск источников «свободной энергии», или, выражаясь проще, «вечного двигателя» является «сверхзадачей», то есть, древней мечтой физиков и инженеров (догматики не в счет), также, как «философский камень» для химиков, гомункулус и «эликсир молодости» для биологов или «священный грааль» для монахов и мистиков.

Другой мечтой, может быть, менее значимой, чем «вечный двигатель», но, также очень важной, является нахождения принципа «безопорного движения», нарушающего 3-й закон Ньютона.

Все эти идеи считаются неосуществимыми и в течении 300 лет постоянно опровергаются учеными. Известно, также, что во Франции патенты на «вечный двигатель» вообще не рассматриваются уже 200 лет.

Но в последнее время, в связи с истощением природных источников энергии, отношение к «вечным двигателям» изменилось. Программы, направленные на нахождение путей извлечения «свободной энергии» сейчас финансируются на уровне правительства, в частности, в Японии. На восклицания «маститых ученых»:

«Но послушайте! Ведь это же запрещено законами природы!» японцы отвечают: «А у нас страна маленькая. Нефти нет. Нам это очень нужно.».

По поводу «вечного двигателя» автор уже высказал свое мнение в части I. Коротко повторюсь: энергии «из ничего» не бывает, но возможно ее извлечение из еще не открытых источников. Сейчас даже самый «маститый» из ученых догматиков не может утвердительно сказать, что все источники энергии известны. Наиболее неизведанная область, где могут находиться эти источники – это фундаментальные основы пространства и материи, названные в разное время эфиром, «физическим вакуумом», «темной материей и энергией». Что это такое, не знает никто, делаются только догадки. Но наиболее близкими к этим фундаментальным основам являются поля – электрическое, магнитное и гравитационное. Таким образом, изучая природу этих полей, в частности, магнитного, можно добиться прорыва в открытии неизвестных пока источников энергии.

К сожалению, существующая теория электромагнетизма полностью себя исчерпала и из двигателя, которой она, вообще-то, была в 19-ом и в начале 20-го века, превратилась в тормоз, в окостенелую догму. Дальнейшее применение этой «теории» с ее математическим аппаратом приводит к появлению уродцев, типа «векторного потенциала», и большого количества нестыковок ее с практикой. Знакомство с трудами современных «теоретиков электромагнетизма» свидетельствует об их окончательной трансформации в догматиков и шарлатанов.

Вместо радикальной ревизии теории электромагнетизма на основе огромного количества накопленного экспериментального материала, говорящем о несоответствии «современной теории электромагнетизма», ее физических и математических положений практике, они продолжают, как корова жвачку, «жевать» формулы столетней давности, пытаясь выжать из них что-то. Но кроме очередного абсурда не получается ничего (и не получится)!

Впрочем, история это старая. Еще Тесла «выслал далеко» всех этих «теоретиков» с их «теорией» (кстати, со времен Теслы теория электромагнетизма почти не претерпела изменений) и изобрел современную электротехнику!

Таким образом, к сожалению, только эксперимент и его правильный анализ (подчеркиваю, правильный) могут разорвать этот заколдованный круг.

3.7 «Свободная энергия» и электрогенераторы

При анализе работы генераторов на предмет возможности выработки «свободной энергии», необходимо анализировать моменты, приложенные к ротору за счет токов нагрузки, протекающих в статоре.

Согласно 3-му закону Ньютона для вращательного движения, $\sum M_i = M_{rot} + M_{stat} \equiv 0$ для замкнутых систем. Также должен соблюдаться закон сохранения момента количества движения $\sum J\omega = const$. В ненагруженном генераторе замкнутой системой является источник вращения и ротор (момент трения в подшипниках не учитывается). Это значит, что ненагруженный статор не связан с ротором и раскручивание ротора не вызывает реакции статора. При протекании же токов нагрузки в статоре, он оказывается связан с ротором за счет момента, вызванного взаимодействием магнитных полей ротора и статора, что

вызывают его вращение в направлении, противоположном ротору, а если статор закреплен, то это взаимодействие создает соответствующий момент сопротивления, направленный противоположно направлению вращения ротора и пропорциональный току нагрузки. Следовательно, источник вращения (мотор, турбина и т.п.) должен поддерживать этот момент за счет вырабатываемой им, источником, мощности. Так в данном случае должен соблюдаться закон сохранения – сколько энергии выработал электрогенератор, столько же должен выработать мотор (без учета потерь).

Как уже было указано в части I, униполярный (лоренцев) генератор не является «вечным двигателем» из-за торможения ротора за счет сил Ампера (лоренцевых сил) возникающих при протекании тока нагрузки в роторе (диске). При этом, к статору, которым в случае униполярного генератора является однородный кольцевой магнит, не приложены никакие силы и моменты, какой бы нагрузочный ток не протекал – он нужен только для создания магнитного поля. Эксперименты показывают, что магнитное поле никак механически не связано с носителем – кольцевым магнитом и он может стоять, произвольно вращаться в любом направлении или даже быть жестко скрепленным с диском.

А вот в фарадеевых генераторах сопротивление также возникает за счет силы Ампера (силы Лоренца), возникающей из-за взаимодействия тока нагрузки, протекающего в части обмотки, с магнитным полем генератора и являющейся проявлением только лоренцева механизма. Таким образом, **в тангенциальных проводниках фарадеевых электрогенераторов наводится ЭДС, а при протекании по ним нагрузочного тока возникают только силы Ампера, направленные по радиусу и не создающие крутящий момент.** В случае «генераторов тангенциальной индукции», приведенных в данной работе, тангенциальными проводниками ротора являются «эквивалентные контура» половинок магнита или эквивалентного вращающегося электромагнита. То есть, взаимодействие магнитного поля, создаваемого статором, содержащим только тангенциальные проводники, с тангенциальными «эквивалентными контурами» ротора (неоднородного магнита, см. рис. 26) не может создать тормозящий момент на роторе.

В то же время, взаимодействие магнитного поля, создаваемого статором под нагрузкой, с радиальными проводниками «эквивалентного контура» ротора (неоднородного магнита, см. рис. 26) вызывает тангенциальные силы и, соответственно, момент сопротивления на роторе (вращающимся магните). Таким образом, в «тангенциальных генераторах» торможение создается только частью обмотки в которой вырабатывается меньшая часть электричества, в то время, как в лоренцевых машинах ЭДС и амперова сила неразделимы и, при этом ЭДС вырабатывается в тех же проводниках, в которых возникают силы Ампера и создается момент сопротивления.

Здесь надо отметить, что в известных фарадеевых электромашинах, таких, например, как синхронные генераторы также есть тангенциальные (направленные вдоль вектора скорости) проводники, но в многополюсных машинах доминируют проводники, перпендикулярные вектору скорости (в которых при нагрузке как раз и создается сила Ампера). Соответственно, можно в первом приближении предположить, что отношение длин тангенциальных и радиальных проводников

определяет долю электроэнергии, выработанной за счет «свободной энергии». Таким образом, фарадеевы электромашины, такие, например, как синхронные генераторы, вероятно могут вырабатывать часть энергии за счет «свободной энергии», но в существующих машинах эта доля мала и может маскироваться потерями на трение, потерями в сердечнике и т.п.

Таким образом, экспериментальное сравнение электрической мощности, выработанной генератором и мощности, потраченной на преодоление сопротивления ротора может дать ответ, вырабатывает ли данная электромашина электричество за счет «свободной энергии» или нет. Наиболее подходящей в данном случае является схема мотор-генератор, но такой эксперимент требует создания генератора с малыми (калиброванными) потерями на трение и, кроме того, раскручивающий его электромотор тоже должен иметь калиброванный КПД (у маломощных электромоторов обычно низкий КПД, не превышающий 70%), иначе результаты будут недостоверными. Здесь необходима точность измерения, достаточная для достоверного определения эффекта (или установления его отсутствия), так, как показано выше, тангенциальный генератор не может вырабатывать 100% энергии за счет «свободной энергии».

Эксперименты по измерению стартового момента инвертированного тангенциального генератора (работающего как мотор), проведенные автором с помощью крутильных весов показали, что силовое взаимодействие в случае тангенциального генератора осуществляется за счет радиальных проводников (раздел 3.4). При этом существует довольно большая нейтральная зона (порядка 60 градусов) в середине половинок магнита (или между радиальными проводниками у статора), что вызвано удалением от радиальных проводников в этом месте. Таким образом, мотор из тангенциального генератора получится плохой, с провалами момента на участках, равных примерно 120 градусам. Зависимость момента от угла поворота будет выглядеть, примерно, как верхний график на Рис. 21. Но, в то же время генератор вырабатывает синусоидальное напряжение. Получается, что графики ЭДС и нагрузки не совпадают и в упомянутых промежутках вырабатывается ЭДС без тормозящего момента.

Раздел IV

4.1. Кратко о механизмах наведения ЭДС и силового взаимодействия в электромагнетизме (обобщение)

В этом разделе автор сделал попытку кратко систематизировать известные данные о механизмах наведения ЭДС и силового взаимодействия магнитных полей.

Этих механизмов известно два – фарадеев и лоренцев.

При этом, надо обратить внимание, что исторически, фарадеев механизм был открыт и исследован на 50 лет раньше лоренцева. В то же время, такие проявления лоренцева механизма, как сила Ампера и феномен наведения ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле, были известны задолго до появления работ Лоренца и, для некоторых из них были предприняты попытки их

интерпретации с позиции фарадеева механизма. Более того, фундаментальная система уравнений Максвелла была также выведена до открытия лоренцева механизма. Очевидно, что в таком случае появляется возможность ошибочной интерпретации некоторых явлений в электромагнетизме, искажение их физической сущности и, как результат, использования некорректных формул для их описания.

Тем не менее, следуя современным знаниям в области электромагнетизма (вообще-то сформировавшимся 100 лет назад) и достаточно проверенным практикой, а также экспериментам, проведенным автором данной статьи, выходит, что **эти механизмы являются принципиально разными.**

В частности:

- Фарадеев механизм – это статический механизм не связанный с движением проводника и носителя поля (если только при движении неоднородного носителя поля не меняется его напряженность в пространстве – но и в этом случае это также статика, так как при прохождении такого носителя через некую точку в пространстве, в ней меняется только конфигурация поля). Он вызван ускорением зарядов в проводнике при нестационарном режиме или при протекании переменного тока. Фарадеев механизм ответственен только за наведение ЭДС. Он не описывает силовое взаимодействие, и сила Ампера никак не может быть объяснена с позиции фарадеева механизма. Классической фарадеевой электромашиной является трансформатор.
- Лоренцев – чисто динамический – движение проводника (электрических зарядов) в магнитном поле. Он вызван механическими силами, приложенными к движущимся зарядам в проводнике. Лоренцев механизм вызывает силовое взаимодействие заряда с полем (сила Лоренца, приложенная к заряду и сила Ампера, приложенная к потоку зарядов, текущих в проводнике) и, также, наводит ЭДС (благодаря той же силе Лоренца, приложенной к движущемуся заряду). Классической лоренцевой электромашиной является униполярный генератор с однородным магнитом.

Тут нужно отметить, что согласно современным представлениям (принятым, кстати, по умолчанию, прямых указаний в литературе на это нет - вроде как само собой разумеется), движение носителя поля относительно проводника и движение проводника относительно носителя поля – это одно и то же.

Но, как было убедительно доказано выше на примере униполярного генератора и мотора, **движение носителя не сопровождается движением магнитного поля (движением магнитных силовых линий). Это позволяет приоткрыть физическую сущность магнитного поля, которая, по видимому, является деформацией некой среды.**

Кроме того:

- Оба механизма могут быть разделены, то есть, в одном случае может работать только фарадеев механизм (трансформатор), в другом – только лоренцев (униполярные машины).
- Формула Фарадея (и первое уравнение Максвелла) является интегральной и применима только для замкнутых контуров, при этом учитывается только магнитный поток, пересекающий плоскость контура и ограниченный этим

контуром. Это вписывается в официально принятую трактовку электромагнетизма, трактующего магнитное поле как результат круговых токов – циркуляции электрических зарядов, происходящих на макро и микро уровнях. В то же время, логично предположить, что механизм Фарадея должен быть также применен и к отдельным проводникам, образующим контур.

- Лоренцев же механизм не связан с замкнутым контуром и работает для каждого отдельного элемента проводника (заряда). При этом лоренцев механизм позволяет объяснить (и рассчитать) как наведенную ЭДС, так и возникающую при этом силу.
- Закон Ампера («правило левой руки») является очевидным проявлением лоренцевой силы и не имеет никакого отношения к фарадееву механизму.

Следовательно, для случая фарадеева механизма, отсутствуют:

- Принцип и формулы, описывающие наведение ЭДС в отдельных проводниках, образующих контур.
- Принцип и формулы, описывающие силовое взаимодействие источников переменных статических магнитных полей.

Это свидетельствует о том, **что фарадеев механизм принципиально не может вызывать силовое взаимодействие**. Если проанализировать случаи силового взаимодействия токов с полем, **то все они обусловлены лоренцевыми силами**. Например, ток, текущий в катушке трансформатора вызван изменением напряженности магнитного поля во времени (фарадеев механизм). Он создает поле, которое взаимодействует с током, текущим в другом элементе катушки, вызывая возникновение силы Ампера, которая является очевидным проявлением силы Лоренца (катушка с током всегда растянута по радиусу). В синхронных генераторах ЭДС вырабатывается за в основном за счет фарадеева механизма, а момент сопротивления под нагрузкой возникает за счет лоренцевых сил, приложенных к проводникам, перпендикулярным силовым линиям (см. раздел 3).

4.2. Очень кратко о «векторном потенциале» в электромагнетизме

Вначале нужно отметить, что частный случай (например, одномерный) не всегда может полностью определить зависимость (например 3-х мерную) – он ее как бы иллюстрирует. В то же время, если рассмотренный частный случай противоречит некому закону (зависимости), частным случаем которого он является, то этот закон однозначно неправильный и должен быть пересмотрен.

Таким случаем является применение «векторного потенциала» \mathbf{A} ($\vec{B} = \text{rot}\vec{A}$) для нахождения ЭДС в разомкнутом проводнике ΔL , находящемся на расстоянии r от проводника с током.

Вывод зависимости для «векторного потенциала» в точке, находящейся на расстоянии r от бесконечного проводника с током приведен у А. Анго «Математика для электро и радио инженеров» на стр. 152 -153. Там приведено следующее

выражение для \vec{A} : $\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{I}(-\ln r^2)$. Там, также, оговаривается, что «векторный потенциал определен лишь с точностью до градиента скалярной функции». Воспользуемся этим выражением:

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{I}(-\ln r^2) = -\frac{2\mu_0}{4\pi} \vec{I} \ln r.$$

Тогда, если $\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$ (выражение красивое, будто бы позволяющее найти ЭДС в элементе проводника ΔL), то:

$$E = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln r \frac{dI}{dt}, \text{ и ЭДС, наведенная в элементе проводника } \Delta L \text{ будет равна:}$$

$$U = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln r \frac{dI}{dt} \Delta L.$$

Абсурдность этой формулы, полученной для ЭДС, наведенной в отрезке ΔL с «помощью векторного потенциала», очевидна – напряженность поля E и ЭДС тем больше, чем дальше отрезок ΔL от проводника с током, а такой размерности, как «логарифмический метр» не бывает. Более того, формула не описывает случай самоиндукции, так как при $r = 0$ $E \rightarrow \infty$.

Анализируя полученные выражения можно видеть, что в зависимости, полученные с помощью «векторного потенциала» входит член $\ln \dots$. Очевидно, что под логарифмом обязана стоять безразмерная величина, например, отношение, иначе выражение становится бессмысленным (какая, например, размерность у $\ln r$, если r имеет размерность в метрах?). В то же время, формула для контура получается вполне нормального вида – интеграл превращается в определенный и

$$U = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{dI}{dt} \Delta L, \text{ в формула в точности получилась такая же, как из первого}$$

уравнения Максвелла.

Совершенно очевидно, что полученные выражения могут работать только для замкнутого контура.

Таким образом, можно утверждать, что «векторный потенциал» не позволяет найти выражение для ЭДС, наведенной в отрезке проводника и не добавляет ничего нового к формуле Фарадея, кроме «красивой записи» и является очевидной математической химерой.

Кроме того, «векторный потенциал», искусственно введенный Гельмгольцем, является интегралом интегральной величины и не может иметь физической сущности (впрочем, так же, как и «действие» S в лагранжевой механике).

Вводимые величины и функции всегда обязаны иметь физический смысл в данной области!

Заключение

На основании проведенных работ, а, также, систематизируя известный материал, можно сделать следующие выводы:

- Постоянные магниты могут быть представлены системой эквивалентных проводников с током. Такая эквивалентная схема полностью определяет их поле, их силовое взаимодействие между собой и с проводниками с током.
- Магнитное поле является статическим образованием не «принадлежит» носителю поля (магниту) и не движется с ним. Никакими приборами невозможно определить движение носителя однородного магнитного поля.
- Магнитное поле скорее всего является деформацией некой среды, ответственной за все взаимодействия в электромагнетизме.
- По аналогии электростатическое и вторичное электрическое (фарадеево) поля также являются деформациями этой среды.
- Лоренцев и фарадеев механизмы индукции имеют разную физическую природу.
- Сила Ампера и ЭДС в движущемся проводнике являются проявлением только сил Лоренца, приложенным к зарядам.
- Лоренцева сила появляется при **движении проводника (заряда)** относительно упомянутой среды в однородном или неоднородном магнитном поле. В случае неоднородного поля лоренцева ЭДС совпадает по фазе и полностью повторяет график функции распределения индукции **\mathbf{B}** вдоль пути проводника относительно носителя поля. ЭДС, наведенная лоренцевым механизмом, может быть как постоянная, так и переменная.
- Фарадеева индукция вызвана изменением напряженности магнитного поля в точке пространства, или в случае **движения носителя неоднородного поля в пространстве**, опять же, вызывающее изменение напряженности магнитного поля в точке пространства. Фарадеева индукция вызывает появление в пространстве электрического (вихревого) поля без участия электрических зарядов, которое наводит ЭДС в расположенном рядом контуре, создает токи Фуко в проводящих и диэлектрических субстанциях и вызывает радиоизлучение. ЭДС, наведенная фарадеевым механизмом, может быть только переменная и характеризуется дифференциальной формой сигнала. В случае движения носителя поля относительно проводника (контура), ЭДС сдвинута по фазе на $\frac{3}{4}\pi$ относительно графика функции распределения индукции **\mathbf{B}** вдоль пути проводника (контура) относительно носителя поля.
- Фарадеев механизм не создает силы. За силовое взаимодействие в электромагнетизме ответственен только лоренцев механизм. При этом, ЭДС, наведенная фарадеевым механизмом может вызвать ток, протекание которого в данном магнитном поле создает лоренцеву силу (силу Ампера). Момент сопротивления, возникающий во всех фарадеевых электромашинах (синхронных генераторах) под нагрузкой, создается именно таким путем.
- Возможно создание условий, при которых фарадеев механизм наводит ЭДС в проводнике, а ток нагрузки, протекающий в этом проводнике, не создает силу Ампера, которая вызвала бы сопротивление движению. В частности, такими проводниками являются проводники, направленные вдоль вектора скорости относительного движения проводника и носителя поля

- (тангенциальные проводники). В таких проводниках может наводиться только фарадеева ЭДС и не может наводиться лоренцева.
- Фарадеева ЭДС наводится в замкнутом контуре и может, при этом, складываться или вычитаться с лоренцевой. Можно предположить, что фарадеева ЭДС наводится и в элементе контура, но формулы для фарадеевой ЭДС, наведенной в незамкнутом проводнике отсутствуют. Попытки применения для этого математического формализма, именуемого «векторным потенциалом», рекомендованные в ряде работ [10, 27], приводят к абсурдным результатам. «Векторный потенциал» и его производная не способны определить ЭДС, наведенную в отдельном проводнике, а определяют ЭДС только в контуре аналогично первому уравнению системы Максвелла. ЭДС в незамкнутом проводнике наводит только лоренцев механизм.

Литература:

1. Müller, F.J., "Unipolar Induction", *Galilean Electrodynamics*, Vol. 1, p. 27, (1990).
2. Jorge Guala-Valverde and Pedro Mazzoni, "The Unipolar Dynamotor: A Genuine Relational Engine", *APEIRON* Vol.8 Nr.4, October 2001, <http://redshift.vif.com/Apeiron%20Home.htm>.
3. Thomas E. Phillips, Jr., "Observations of the Marinov Motor", *APEIRON* Vol.5 Nr.3-4, July – October 1998
4. J. P. Wesley, "The Marinov Motor, Notional Induction without a Magnetic B Field", *APEIRON* Vol.5 Nr.3-4, July – October 1998.
5. И. В. Савельев. "Курс общей физики", "Наука" 1978г.
6. Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. "Справочник по физике", "Наука" 1979г.
7. Э. Парселл, «Электричество и магнетизм», Берклевский Курс Физики, том II, Наука, 1983.
8. Г. С. Ландсберг, «Оптика», Наука, 1976.
9. З. И. Докторович, «Несостоятельность теории электоромагнетизма и выход из сложившегося тупика», Москва, 1994.
10. Кулигин В.А., Кулигина Г.А., Корнева М.В. [Кризис релятивистских теорий](#), Часть 6 ([Магнитные взаимодействия движущихся зарядов](#)). *НиТ*, 2001.
11. "Magnetic Field of a Hollow Cylinder", Waterloo Maple Inc., 1998.
12. Андре Анго, «Математика для электро-и радиоинженеров», Наука, 1965.
13. Philip Gibbs and Andre Geim, "Is Magnetic Levitation Possible?", March 1997.
14. Eric Maslen, "Magnetic Bearings" University of Virginia, Department of Mechanical, Aerospace and Nuclear Engineering, Charlottesville, Virginia, 2000.
15. <http://www.uspto.gov/web/patents>
16. Г. В Николаев, «Тайны электромагнетизма и свободная энеенргия», <http://mwaso.narod.ru/>.
17. <http://macmep.h12.ru/nikolaev/004.htm>

18. G. Ivchenkov, "Tangential induction dynamoelectric machine", US Patent Application No 11/162916, Sept. 28, 2005, Publication No 20060158055.
19. STS 75, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/STS-75>.
20. Richard Walters "Scientists Claim to Tap the Free Energy of Space", <http://www.mufor.org/nmachine.html>.
21. «Векторный потенциал», <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1175627>.
22. А. А. Шпильман, «Генератор аксионного поля с использованием векторного потенциала спиральной структуры», http://ftp.bspu.unibel.by/pub/Entertain/texts/torsion/MISC/UFL/Almanach/N2_96/Na_2.htm.
23. В. В. Сидоренков, «Электромагнитные векторные потенциалы проводника при стационарной электропроводности», <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8367.html>.
24. Г. В. Николаев, «Современная электродинамика и причины ее парадоксальности», <http://macmep.h12.ru/nikolaev/027.htm>.
25. Z.Y. Wang, et al., "On Superluminal Propagation of Electromagnetic Wave in Nondispersive Media", School of Optics/CREOL, University of Central Florida, Orlando FL32816 USA
26. Стефан Маринов, «Экспериментальные нарушения принципов относительности, эквивалентности и сохранения энергии», ФИЗИЧЕСКАЯ МЫСЛЬ РОССИИ 1 – 1995.
27. [Альтернативная идеология электродинамики](#), **Ф. Ф. Менде, А. С. Дубровин**, 19.10.2019