

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВРАЩЕНИЕ РАМКИ С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЕ ВНЕШНЕГО ИМПУЛЬСА

Евдокимов А.В., Китаев А.В., Агбомассу В.Л.

Введение. Согласно положений теории известно, что если ток в проводниках рамки не меняет своего направления, то она вращаться не будет. Это суждение легко доказывается при обращении к рис.1. Действительно, согласно закону Ампера на проводники рамки действуют выталкивающие силы. Они то и поставят рамку в состояние устойчивого равновесия, при котором система будет обладать максимальным потокоцеплением (магнитное поле полюсов и самой рамки совпадают по направлению). Известно также, что для обеспечения непрерывного вращения рамки нужно использовать коллектор. В простейшем случае он состоит из двух изолированных друг от друга полуколец, к которым припаяны выводы рамки.

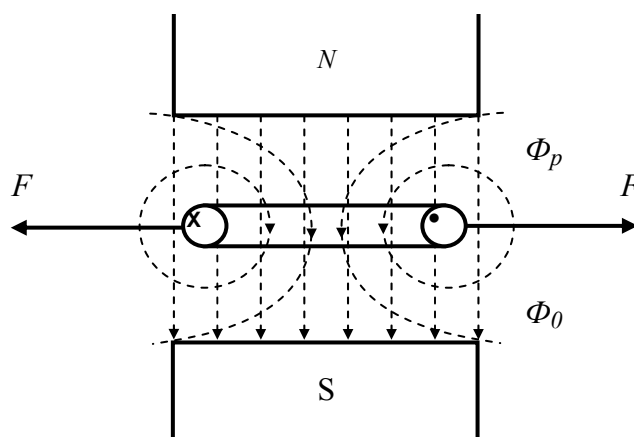


Рис.1 Положение рамки с током при помещении её в магнитное поле

Однако эксперимент показал, что и при отсутствии коллектора рамка будет вращаться. Для этого достаточно вывести ее из состояния устойчивого равновесия воздействием внешнего толчка (импульса). Такой результат был получен на макетном устройстве, конструктивная схема которого приведена на рис.2. Она состоит из двух плоских постоянных магнитов 1, обращенных друг к другу своими разноименными полюсами N и S, непосредственно самой рамки 2, по которой протекает ток I от источника постоянного тока 3, благодаря контактнм стойкам 4. Последние изолированы от тела постоянного магнита прокладками 5.

Полученный итог определил необходимость поиска степени новизны описаного явления и его изученности.

Анализ публикаций. Согласно материала, изложенного во введении были изучены следующие научно-технические источники: учебная литература по физике (раздел „Электромагнетизм”), электротехнике, электрическим машинам и электрическим аппаратам, публикации в форме статей отечественных и зарубежных авторов (в общей сложности более трехсот наименований) и патентная информация. Результаты выполненных исследований позволили сделать вывод, что вопрос устойчивого состояния рамки с током в магнитном поле при малых возмущениях (устойчивость в «малом») подробно рассматривается многими авторами. Однако эффект ее вращения от внешнего толчка (импульса) (неус-

тойчивость в «большом») научной общественности не известен и потому требует подробного описания.

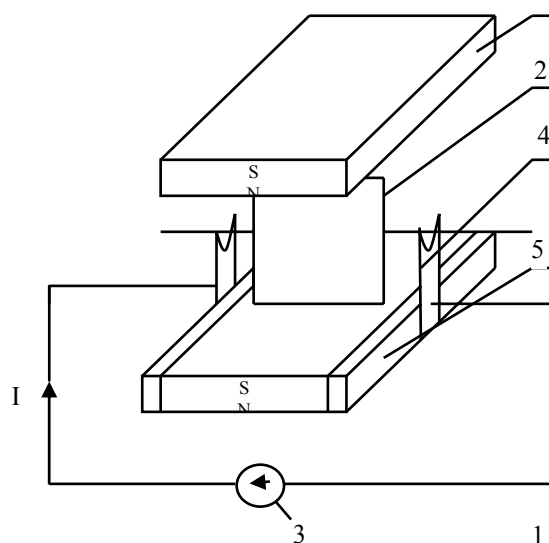


Рис. 2 Принципиальная схема макетного устройства

Постановка задачи. Раскрыть суть физических явлений, определяющих механизм вращения рамки с током в магнитном поле после воздействия на нее внешнего толчка (импульса), и на этой основе построить убедительное научное объяснение.

Изложение материалов исследования. Работа была построена на изучении следующих версий:

- вращение рамки обусловлено её геометрической и магнитной асимметрией;
- моменты вращения и торможения, прикладываемые к рамке за её полный оборот, не равны друг другу из-за разницы сил притяжения и отталкивания взаимодействующих магнитных полей;
- парадокс связан не с рамкой, а с её контактными узлами;
- принятая трактовка механизма формирования воздействующих на рамку механических сил нуждается в уточнении.

Геометрическая асимметрия возможна при исполнении рамки согласно рис.3а. Тогда из-за явно выраженного дебаланса (с одной стороны рамка имеет два проводника, с другой – всего один) рамка всегда будет занимать неизменное стартовое положение, при котором воздействующий на неё момент имеет максимальное значение и зависит от задаваемого направления тока.

При использовании рамки описанной конструкции выгодно создание магнитной асимметрии, например, за счёт удаления верхнего магнитного полюса. Это связано с тем, что тормозной момент, действующий на рамку при прохождении проводником верхнего полюса исчезнет, и тогда она приобретёт не только способность к вращению, но и к самозапуску. Эти явления, следующие из анализа формулы закона Ампера, подтверждает эксперимент. Их действительно можно наблюдать после подбора соответствующего значения тока. Однако исключение магнитной асимметрии, т.е. при возвращении магнитного полюса на предназначенное ему в конструкции место при условии уже вращающейся рамки лишь способствует усилению вращения. А это обстоятельство на основании использования формулы закона Ампера объяснению не поддаётся.

Рассмотренная картина более или менее сохраняется и при использовании рамки симметричной конструкции (см. рис. 3б), но при явно сниженной способности к самозапуску.

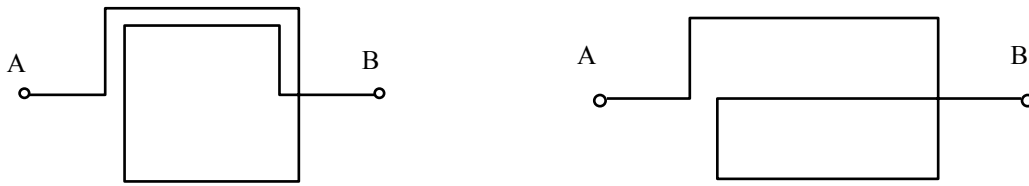


Рис. 3 Возможные конструкции рамок

Вторая версия была рассмотрена в связи с вынужденным отходом от закона Ампера и попыткой объяснить эффект вращения рамки через взаимодействие магнитных полей Φ_0 и Φ_R , полюса которых за один полный оборот то притягиваются, то отталкиваются. В принципе здесь можно было ожидать, что из-за разницы картин магнитных полей произойдет изменение магнитной проводимости, которая определит отличие в значениях моментов, способствующих вращению и торможению рамки. Но специально поставленный эксперимент по определению сил притяжения и отталкивания при различных воздушных зазорах разницы между ними не выявил.

Причиной создания третьей версии послужила демонстрация А.В.Нетушилом на одной из конференций в 1991 году явления вращения одиночного ротора асинхронного двигателя, сохранившего на своём валу шарикоподшипниковые узлы, к которым и было подведено напряжение питания. Автор объяснил этот феномен особыми физическими процессами, при которых возникающая электрическая дуга толкает шарик, а через него и вал ротора. Так и в нашем случае можно было говорить о создании в месте контакта локального магнитного поля, расположенного перпендикулярно основному от постоянных магнитов. При внешнем толчке рамки место контакта смещается, что ведёт к повороту локального поля. Это определит появление силовой составляющей, толкающей ось (провод рамки) в направлении вращения. Однако, если описанная картина явлений справедлива, то явление вращения сохранится и при замене рамки на одиночный провод, касающийся тех же контактных узлов. Но практическая реализация этого предложения убедила в том, что одиночный провод способностью к вращению не обладает.

Итак, выдвинутые в обход закона Ампера версии себя не оправдали и определили возврат к последнему, но с намерением ввести уточнения в механизм образования выталкивающей силы. Поиск решения задачи заставил обратить внимание на аналогию в формировании векторов выталкивающей силы F и вектора Умова-Пойтинга Π [1, 2]. За приемлемость такой аналогии выступают следующие аргументы:

- единая энергетическая природа обоих процессов;
- использование для их описания системы правоходового винта;
- наличие в них общей компоненты магнитного поля, по отношению к которой результирующие векторы F и Π расположены перпендикулярно и т.д.

Но, как известно, вектор Π есть результат векторного произведения двух компонент: магнитной и электрической, т.е. $\Pi = [E \times H]$, где E и H - векторы напряжённости соответственно электрического и магнитных полей.

Согласно предложенной к рассмотрению аналогии при формировании выталкивающей силы также должна участвовать электрическая компонента, вектор которой расположен перпендикулярно по отношению к силе F магнитному полю H . Можно говорить, что по тому же принципу построен и закон Ампера и в качестве электрической ком-

поненты здесь использован ток I , протекающий по виткам рамки. Но ток - скаляр и потому нарушает избранную систему рассуждений. По формальным и физическим понятиям здесь, по нашему мнению, более выгодно использовать другой показатель, а именно: тангенциальную составляющую вектора электрической напряжённости \vec{E}_t , которая по своему направлению совпадает с током I и при неподвижной рамке создаётся под воздействием ЭДС источника. Примем для неё обозначение \vec{E}_{tu} и тогда для силы \vec{F} можно написать следующее соотношение пропорциональности:

$$\vec{F} \equiv [\vec{E}_{tu} \vec{H}]$$

Если же рамка вращается, то формирование E_t , определяют уже два фактора: источник энергии и ЭДС вращения $e_v = Blv$, где B - магнитная индукция; l - активная длина проводника витка рамки; v - линейная скорость движения проводника в магнитном поле. Очевидно, что ЭДС вращения, непосредственно воздействуя на величину тангенциальной составляющей электрической напряжённости значением $E_{te} = e/l$, ведёт себя по разному по отношению к \vec{E}_{tu} любого проводника рамки в зависимости от его положения (см. рис. 4).

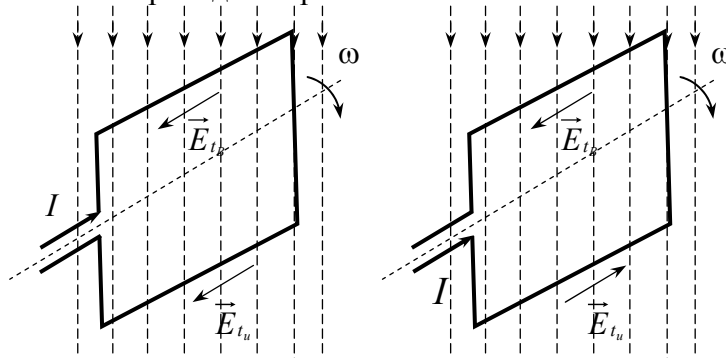


Рис.4 Иллюстрация к суммированию и вычитанию E_{te} и E_{tu} при различных положениях рамки

Анализ рисунка убеждает, что в одном положении рамки \vec{E}_{tu} и \vec{E}_{te} проводников вычитаются, в другом, наоборот, складываются. Это означает, что аналитическое выражение для силы приобретает вид:

$$\vec{F} \equiv [(\vec{E}_{tu} \pm \vec{E}_{te}) \vec{H}]$$

т.е. выталкивающие силы, действующие на верхний и нижний проводники при каждом полуобороте рамки разные. В таком случае среднее значение момента за один оборот вращения рамки будет отлично от нуля и, если оно превысит момент сил трения, препятствующих движению, то рамка придет во вращение.

Таким образом, физической причиной вращения рамки в магнитном поле при неизменном по величине и направлению токе является модуляция тангенциальной составляющей электрической напряжённости, развивающая и поддерживающая момент вращения. Описанный принцип открывает возможность построения бесколлекторных двигателей постоянного тока [3] со следующими достоинствами: простота, повышенная надёжность и дешевизна. По своему конструктивному исполнению они имеют сходство с исполнительными двигателями постоянного тока, содержащими полый или дисковый якорь [4]. Их возможный недостаток (недостаточный момент при пуске) может быть преодолён за счёт введения в состав конструкции известных толкающих устройств (например, пусковой пружины) или за счёт выбора схемных решений.

Выводы:

1). Симметричная рамка с током, помещенная в равномерное магнитное поле, имеет положение устойчивого равновесия и всегда вернется к нему, если относительно малые внешние возмущения приведут к ее отклонению на сравнительно небольшие углы, т.е. она устойчива в «малом».

2). Если воздействующий импульс способен сообщить рамке один и более оборотов, то в дальнейшем она будет вращаться самостоятельно по причине неустойчивости в «большом».

3). Физический механизм вращения рамки обусловлен модуляцией тангенциальной составляющей электрической напряженности.

4). На основе изложенного могут быть построены бесколлекторные двигатели постоянного тока.

In work it is shown, that according to the positions of the theory following from the law of the Ampere, in the stipulated conditions rotation of a framework cannot be. At the same time experiment convinces of the opposite. The analysis of the reasons of this phenomenon is executed and is established, that rotation of a mobile part of the device is defined with modulation of tangential making electric intensity in which creation participate the power supply and EMF, directed in conductors of a framework.

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.- М.: Высшая школа, 1978, с.230.

2. Ионкин П.А. и др. Теоретические основы электротехники.- М.: Высшая школа, 1976, с.383.

3. Євдокімов О.В., Китаєв О.В., Шутов С.В. Електричний двигун постійного струму/ Патент на корисну модель № 33172. Заявка u2008 01873 від 13.02.2008 Бюл.№11 10.06.2008 р.

4. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматики.- М.: ГЭИ, 1969, с.270.