

## Решение парадокса Фарадея

Соколов Геннадий, Бабин Вальтер, Чубукин Анатолий,  
Соколов Виталий, Лойдап Валерий

Более 150 лет назад Майкл Фарадей обнаружил, что в униполярном генераторе при одновременном вращении магнита и диска вольтметр в неподвижной измерительной цепи показывает ЭДС. Возник вопрос: вращается ли поле вместе с магнитом или остаётся неподвижным. На этот вопрос до сих пор безуспешно пытаются ответить многочисленные исследователи [1-9] и принято считать, что прямое измерение эдс выполнить невозможно. Статью «К электродинамике движущихся тел» Эйнштейн начинает с утверждения, что «электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током... зависит только от относительного движения проводника и магнита»[10] Сторонники СТО до сих пор утверждают, что униполярная индукция – это релятивистский эффект.

В данной работе приведены результаты нашего исследования парадокса Фарадея. Показано, что обычные методы измерения в принципе не позволяют экспериментально решить проблему вращения поля. Разработанный нами способ измерения эдс позволил доказать, что вращение магнита не эквивалентно вращению проводника вокруг магнита, при одновременном вращении диска и магнита поле не вращается и ЭДС наводится только в диске.

### Сущность парадокса Фарадея

Парадокс Фарадея возник из-за того, что обычные измерительные устройства не позволяют определить, где именно наводится эдс - в диске униполярного генератора или в измерительной цепи.

Проблема заключается в том, что для измерения наведенной эдс вольтметр подключается к диску двумя проводами, в результате чего вращающийся диск и неподвижные провода образуют замкнутый контур, в котором при движении относительно магнитного поля наводится одинаковая эдс как в случае, если поле вращается, так и в случае, если поле неподвижно.

В наиболее простом случае, когда вращается диск, а магнит неподвижен, эдс очевидно наводится только в диске и подключенный к нему скользящими контактами вольтметр показывает именно эту эдс (Рис.1а).

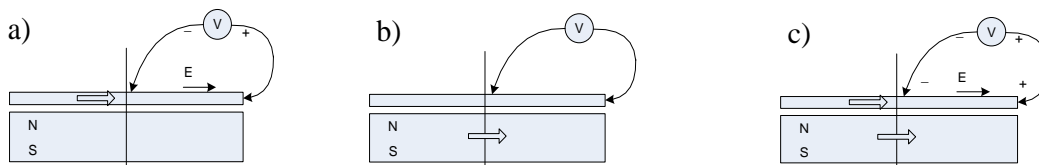


Рис.1

Проблема возникает, когда вращается только магнит (Рис.1b) или когда магнит и диск вращаются вместе (Рис.1с).

Так, в случае Рис.1b вольтметр показывает ноль, но это может быть потому, что поле не вращается и эдс просто нигде не наводятся, или потому, что поле вращается и поэтому в диске и в измерительных проводах наводятся одинаковые встречные эдс.

В случае Рис.1с вольтметр показывает эдс, но это может быть эдс, которая наводится во вращающемся диске, если поле не вращается, или это эдс, которая наводится только в неподвижных проводах измерительной цепи, если поле вращается.

В обоих этих случаях нельзя определённо сказать, где наводятся эдс, так как вольтметр, хотя он подключен к диску, показывает не только эдс диска, а эдс всего контура, состоящего из диска и измерительных проводов.

Как видно из Рис.2, никакие попытки как-то «удалить» провода измерительной цепи от поля магнита, не могут устранить наведение в них эдс, так как на участке провода **mn** наводится такая же эдс, как на участке **km** диска.

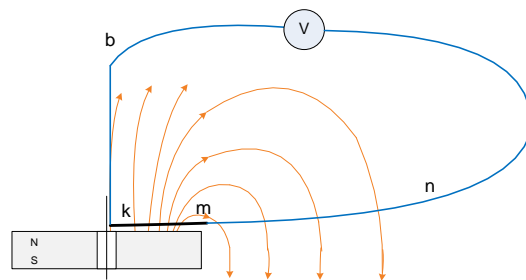


Рис.2

Можно исключить наведение эдс лишь в одном из проводов, если отвести его от диска строго вдоль оси вращения магнита (участок **kb**). Этот факт мы использовали при создании описанного ниже детектора вращения поля. Однако исключить наведение эдс одновременно в обоих проводах в принципе невозможно.

Понятие контура и фарадеевская формула  $E = w \frac{d\Phi}{dt}$  оказываются не достаточными для исследования униполярного генератора. Эта формула прекрасно работает во всех практических случаях: при анализе трансформаторов, электромагнитов, различных датчиков и всех электрических машин как постоянного, так и переменного тока, но оказывается бесполезной при анализе униполярных устройств. Но чтобы понять физический смысл процессов, в контуре необходимо рассматривать каждый проводник в отдельности и для определения эдс использовать формулу  $E = BIV$ , где  $B$  – индукция поля,  $l$  — длина проводника,  $V$  – линейная скорость движения. Это хорошо видно на примере сенсора с проволочным контуром, уложенным в дорожном покрытии, который даёт сигнал на открывание ворот или на переключение светофора при наезде на него автомобиля. Но этот сенсор не чувствует, когда в контур въезжает велосипед. Потому что масса

велосипеда недостаточна для изменения добротности контура? Конечно, но только это не совсем так. Тот же самый сенсор прекрасно срабатывает, если велосипед не просто наезжает на контур, а оказывается точно над пазом, в котором уложен провод. И происходит это потому, что на самом деле работает не контур, а проводники, из которых этот контур состоит.

Поэтому все наши исследования проводились с учётом эдс  $E=BLV$ , наводимых в каждом отдельном проводнике, а не в абстрактном фарадеевском «контуре»,

### Разработка датчика движения проводника относительно поля аксиального магнита

Для того, чтобы разрешить парадокс Фарадея, нужно было найти способ бесконтактно измерять эдс индукции отдельно во вращающемся диске или в измерительных проводах. Поэтому основной целью наших исследований стала разработка измерительного устройства.

На первом этапе мы исследовали возможность создать датчик с экранированными измерительными проводами, который мог бы измерять только эдс, наводимую в диске, но не реагировал на эдс, наводимую в измерительных проводах. В результате мы пришли к выводу, что датчик с экранированными проводами создать невозможно в принципе. Однако в ходе этих исследований мы обнаружили не известный нам эффект: экраны, уверенно защищающие проводник от наведения эдс изменяющимся по величине магнитным полем, не работают в том случае, когда проводник движется относительно однородного магнитного поля.

После попытки создать датчик с экранированием проводов мы решили создать детектор движения поля, непосредственно реагирующий как на движение проводника относительно поля, так и на движение поля относительно проводника. Такой детектор нам удалось создать, использовав нашу идею измерения эдс индукции с подключением вольтметра «одним концом» к усилителю, выполненному на полевом транзисторе с последующим усилением сигнала операционным усилителем. Этот детектор позволил однозначно доказать, что при вращении аксиального магнита его поле не вращается и остаётся неподвижным относительно инерциальной системы.

### Попытка экранировать один измерительный провод

Когда проводник вращается вокруг магнита, в нём наводится эдс  $E=BLV$ . Если относительно магнита вращается контур, в нём одновременно наводятся две эдс и результирующая эдс определяется их разностью, которая всегда равна нулю.

Первые измерения мы проводили с использованием контактных токосъёмников, но затем, чтобы исключить влияние возникающих на контактах эдс, перешли к бесконтактным схемам, подобным схеме Рис.3.

Идея измерения с экранированием заключалась в том, чтобы для измерения эдс использовать петлю, одна ветвь которой экранирована от магнитного поля и не создаёт противо-эдс.

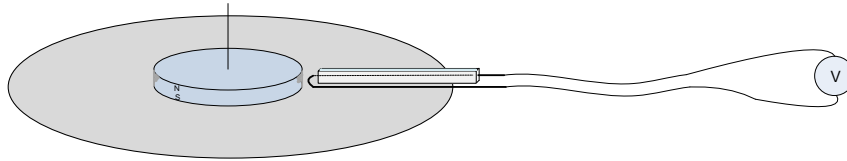


Рис.3

Наполовину заэкранированная петля укреплена на пластмассовом диске, который вручную можно быстро поворачивать вокруг оси магнита на некоторый угол. При смещении идущих к вольтметру проводов в них наводятся одинаковые встречно направленные эдс. При отсутствии экрана в обеих ветвях движущейся относительно поля петли наводятся одинаковые эдс и прибор показывает ноль. Если одна ветвь заэкранирована, наведенные в движущейся петле эдс должны быть разными и прибор должен увидеть разность эдс. Если окажется, что такой петлевой датчик реагирует на движение относительно поля, он может быть использован для обнаружения вращающегося поля: если поле вращается, расположенный вблизи вращающегося магнита такой датчик должен выдавать эдс. Отсутствие эдс докажет, что поле не вращается.

Однако осуществить эту идею оказалось невозможно, так как в ходе исследований мы обнаружили, что никакой ферромагнитный экран не защищает проводник от наведения в нём эдс, когда проводник вращается относительно аксиального магнита.

Наиболее эффективным оказывается экран, в котором стальные пластины отводят поле от проводника (Рис.4). Датчик Холла, помещённый внутри такого экрана, показывает, что при приближении магнита поле внутри экрана практически отсутствует. Геркон, помещённый внутри этого экрана, также не срабатывает.

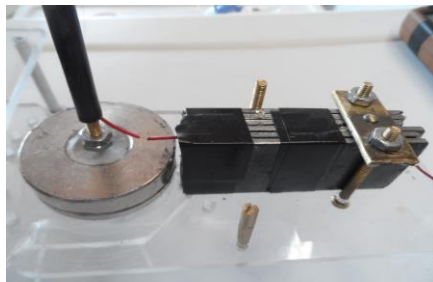


Рис.4

Однако, когда проводник с таким экраном вращается относительно аксиального магнита, в обоих случаях – когда проводник помещён в экран или когда экран отсутствует - в проводнике наводится одна и та же ЭДС.

## Детектор движения проводника относительно магнитного поля

Чтобы выяснить, вращается ли поле вместе с магнитом, нужно иметь детектор, позволяющий определить, наводится ли эдс в каждом отдельном элементе униполярного генератора. При этом нет необходимости точно измерять величину эдс, а достаточно лишь определять сам факт, наводится ли эдс, например, во вращающемся диске или в неподвижном диске, или во вращающемся проводнике, или в неподвижном проводнике. Возможность такого детектирования может обеспечить только измерительное устройство, подключаемое к вращающемуся диску или проводнику одним, а не двумя проводниками.

Принцип работы такого детектора заключается в следующем.

Когда диск вращается относительно неподвижного аксиального магнита, в нём наводится эдс  $E=BLV$ . Под действием этой эдс в зависимости от направления вращения электроны смещаются к оси вращения или к краю диска и между центром диска и его краем возникает разность потенциалов. При вращении диска рукой около неодимового магнита эта разность потенциалов составляет доли или единицы милливольтов.

Тот факт, что при появлении эдс электроны смещаются, например, к центру диска (точка **m** на Рис.5,а) или к одному концу проводника (точка **m** на Рис.5,б), означает, что в центре диска или на этом конце проводника создаётся отрицательный потенциал. Этот потенциал отличается от потенциала на заряженном статическом электричестве шарике только величиной – он измеряется не киловольтами, а милливольтами.

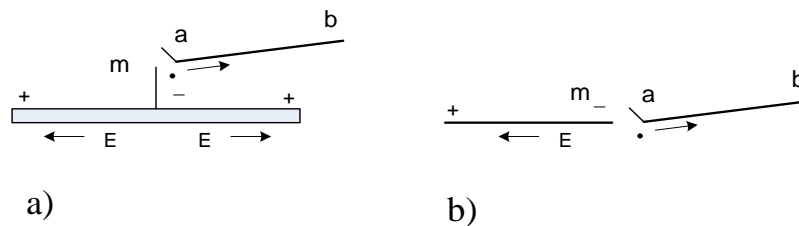


Рис.5

Если к заряженной точке диска или проводника присоединить дополнительный проводник  $ab$ , часть заряда стечёт на него и проводник  $ab$  тоже зарядится. Здесь сразу надо отметить два обстоятельства:

- из-за малой величины эдс и очень малой электрической ёмкости диска и проводника потенциал в точке **m** оказывается очень малым,
- из-за присоединения дополнительного проводника потенциал точки **m** сильно снижается.

Поэтому в эксперименте с измерением потенциала нужно использовать более массивный диск, а проводник **ab** делать как можно более коротким.

Потенциал, создаваемый в центре вращающегося диска наведенной эдс, мы смогли обнаружить с помощью МДП транзистора (полевого транзистора с изолированным затвором), используя его основное свойство – очень большое входное сопротивление. При подаче напряжения на затвор МДП транзистора входной ток оказывается практически равным нулю, то есть усилительный каскад на этом транзисторе не нагружает входную цепь.

Если затвор транзистора коротким проводником подключить к точке **m**, потенциал затвора изменится и соответственно изменится ток в выходной цепи. То есть, усилительный каскад на МДП транзисторе, присоединённый к точке **m** только одним проводником, позволяет обнаружить потенциал этой точки.

Для проверки идеи обнаружения наведенной эдс «одним концом» мы сначала использовали обычный цифровой вольтметр – мультиметр 10030S. В предельно упрощенной установке, показанной на Рис.6, диск вращается рукой и мультиметром измеряется эдс, наведенная в центре диска полем неподвижного магнита.

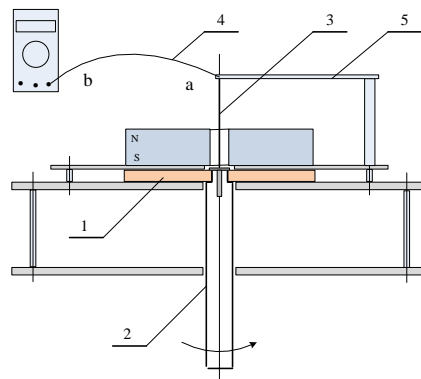


Рис.6

Алюминиевый диск 1 толщиной 5 мм укреплен на валу 2. Над диском расположен неподвижный неодимовый магнит диаметра 50 мм (толщина 10 мм). Образующийся в центре диска потенциал передается неподвижной иглой 3 и коротким тонким проводником **ab** (4) на мультиметр. Игла удерживается в вертикальном положении пластмассовым упором 5. Щуп детектора уходит из центра диска вдоль оси магнита, эдс в нём не наводится и поэтому усилитель реагирует только на потенциал, созданный в центре диска наведенной эдс. Внешний вид устройства показан на Рис,7.



Рис.7

В момент, когда вал начинаем вращать рукой, на диске возникает эдс порядка 0.3-0.5 милливольт (это значение эдс мы можем увидеть, присоединяя к диску этот или другой прибор двумя проводниками). Мультиметр показывает значения эдс, близкие к 0.2-0.4 мВ только лишь в момент, когда вращение начинается и появляется эдс, но затем, когда заряды стекают с диска, сигнал становится равным нулю. То есть, из-за того, что входное сопротивление детектора не бесконечно большое, он фактически реагирует не на саму эдс, а на её производную – сигнал на выходе этого детектора появляется только при изменении эдс индукции ([видео 1](#) – см. в английской версии статьи). Но этого сигнала вполне достаточно, чтобы убедиться, что эдс наводится именно в диске.

Точно так же этот детектор может измерять потенциал на внутреннем конце проводника, вращающегося вокруг магнита (в точке **m** на Рис.8а).

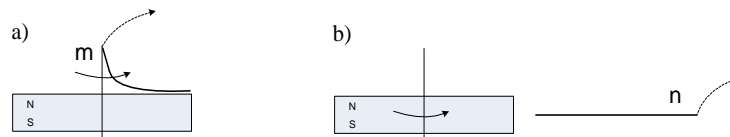


Рис.8

Дополнительную проверку детектора мы провели для случая движения проводника относительно неподвижного магнита: в движущемся проводнике наводится эдс и детектор, подключенный к одному концу проводника, уверенно реагирует на изменение потенциала ([видео 2](#) – см. в английской версии статьи).

Но в случае **вращения магнита** детектор не выдаёт никакого сигнала ни при разгоне магнита, ни при постоянной скорости вращения ([видео 3](#) - см. в английской версии статьи). Сигнал детектора также оказывается равным нулю, если в установке Рис.6 диск и магнит поменять местами и при неподвижном диске вращать магнит,

Так как диск и тем более одиночный проводник оказываются очень маломощными источниками сигнала, мы разработали детектор, в котором первый каскад усиления выполнен на МДП транзисторе, а основное усиление сигнала осуществляется операционным усилителем постоянного тока ОУ. Щуп детектора подключен к затвору МДП транзистора, а выходное напряжение подаётся на вольтметр или осциллограф (Рис.9).

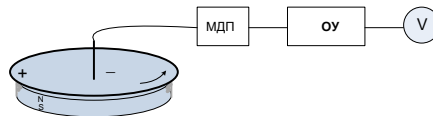


Рис.9

Усилитель имеет большой коэффициент усиления и поэтому детектор очень чувствителен к помехам. Но так как нас интересует только сигнал постоянного

тока, основные помехи, то есть помехи переменного тока, подавляются просто введением гибкой отрицательной обратной связи (емкостной ОС).

Принципиальная схема детектора приведена на Рис.10.

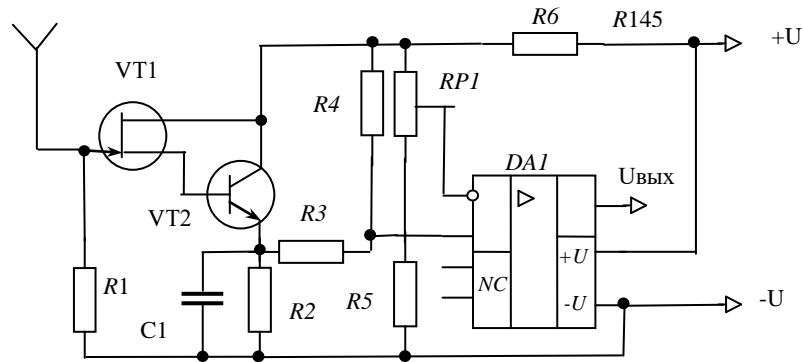


Рис.10

Входное сопротивление  $R1=(100 - 200)$  МОм. Чем меньше это сопротивление, тем быстрее стекает заряд с диска или проводника и появляющийся при разгоне диска сигнал уменьшается до нуля. Ещё раз подчёркиваем, что этим детектором мы осуществляем не измерение, а лишь индикацию эдс.

Показанный на Рис.9 детектор, подключенный к центру диска, при изменении скорости и направления вращения диска в соответствии с изменением величины и направления эдс изменяет величину и знак выходного напряжения.

### Заключение

В случае линейного движения проводник или магнит движутся относительно инерциальной системы. В соответствии с принципом относительности, движения проводника и магнита эквивалентны: одинаковые ЭДС наводятся в проводнике в обоих случаях - когда он движется относительно магнита или когда магнит движется относительно проводника.

Иная ситуация имеет место при относительном вращении магнита и проводника. В случае вращения проводник и магнит движутся в неинерциальной системе. Поэтому принцип относительности на них не распространяется и вращение магнита и проводника оказываются не эквивалентными.

Разработанный нами детектор позволил определить, что эдс наводится в диске, когда он вращается относительно неподвижного магнита, но не наводится ни в неподвижном диске, ни в неподвижной измерительной цепи, когда вращается магнит. Это позволяет однозначно решить парадокс Фарадея: поле не вращается вместе с магнитом, а остаётся неподвижным относительно инерциальной системы



подобно тому, как орбиты запущенных с Земли спутников остаются неподвижными, а не вращаются вместе с Землёй.

### Об авторах:

Бабин Вальтер (Rodney, Canada), [home@wbabin.net](mailto:home@wbabin.net), 1-519-785-0828  
Лойдап Валерий (Miami, Florida), [home@wbabin.net](mailto:home@wbabin.net), 1 954 254 2674  
Соколов Виталий (Christiansburg, Virginia) [vitali.sokolov@gmail.com](mailto:vitali.sokolov@gmail.com) 540 998 3000  
Соколов Геннадий (Blacksburg, Virginia) [sokolovg@yahoo.com](mailto:sokolovg@yahoo.com), (540) 998 0372  
Чубукин Анатолий (Ростов на Дону, Россия) [A\\_chubukin@mail.ru](mailto:A_chubukin@mail.ru), 0117 8632 71 69 19

### References:

- 1 the mysteTry of unipolar inductor <https://www.youtube.com/watch?v=gduYoT9sMaE>
- 2 Богач В. А. Гипотеза о существовании статического электромагнитного поля и его свойствах. Дубна, 1996
- 3 Затолокин В.Н., Леус В. А. О кинематических эффектах в электромагнетизме // СПб., 2002
- 4 А.В.Гусев, В.А.Никитин, А.Н.Сафонов Экспериментальное исследование увлеченич магнитного поля при вращении цилиндрически-симметричного магнита [http://www1.jinr.ru/Preprints/2009/159\(P13-2009-159\).pdf](http://www1.jinr.ru/Preprints/2009/159(P13-2009-159).pdf)
- 5 Ивченков Г Магнитное поле – статическое образование, ... new-idea.kulichki.net/pubfiles/111128220815.doc
- 6 Смирных Л.Н. Парадоксы униполярной генерации // Поиск математических закономерностей. СПб., 2004
- 7 К.Б.Канн Странности униполярной индукции [http://www.kann.iri-as.org/statkann/kann\\_unipolar.pdf](http://www.kann.iri-as.org/statkann/kann_unipolar.pdf)
- 8 Л.Н. Войцехович Униполярный генератор с вращающимся магнитом <http://science.by/electromagnetism/rem5rus.pdf>
- 9 Заве И. Е., Докучаев В. И. О поведении линий поля вращающегося магнита // Электротехника. 1964. №11. С. 64.
- 10 Эйнштейн К электродинамике движущихся тел