

Обнаружение электростатического поля вокруг газового соленоида с переменным током

И. Мисюченко.

СПб, 07.01.17

Рассмотрим закон электромагнитной индукции, записанный через векторный потенциал \vec{A} :

$$(1) \vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$$

Для одиночной движущейся частицы (например, электрона) векторный потенциал записывается как:

$$(2) \vec{A} = \frac{\varphi \cdot \vec{v}}{c^2}$$

Где φ - скалярный электрический потенциал заряда, \vec{v} - скорость движения заряда, и c - скорость света. То есть, можно сказать, что векторный потенциал - это движение скалярного потенциала. Скалярный же потенциал одиночной заряженной частицей q хорошо известен:

$$(3) \varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Соответственно, преобразуя (1) в соответствии с (2) и (3) получим:

$$(4) \vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt} = -\frac{d}{dt} \frac{\varphi \cdot \vec{v}}{c^2} = -\frac{d}{dt} \frac{q \cdot \vec{v}}{4\pi\epsilon_0 r c^2} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \vec{a}$$

Видим, что ускоренно движущаяся частица должна порождать специфическое электрическое поле \vec{E} , направление которого противоположно направлению ускорения \vec{a} , т.е. препятствует ускорению частицы. Именно это явление и лежит в основе инерции элементарных частиц, а, следовательно, и всей вещественной материи. Мы интерпретируем это явление как взаимодействие ускоренно движущейся в мировой среде частицы с этой самой средой, приводящее к возникновению электрического поля индукции E и вызванной им силы инерции $F = qE$, действующей со стороны среды на ускоряющуюся частицу. Однако, как видно из (4) возникающее в среде вокруг ускоренной частицы электрическое поле индукции будет действовать не только на саму ускоряющуюся частицу, но и на любую другую заряженную частицу, находящуюся поблизости. Следовательно, это специфическое электрическое поле индукции, сопровождающее ускоренно движущуюся частицу принципиально может быть обнаружено и измерено не только по эффекту инерции, но и непосредственно.

Рассмотрим теперь случай *равномерного кругового движения* электрона. Модуль его скорости, разумеется, остаётся неизменным. Но выражение (4) записано в *векторном* виде и позволяет заключить, что несмотря на равномерность вращения, вблизи такой равномерно вращающейся по окружности частицы всё равно должно возникать электрическое поле индукции, направленное радиально (скорости \vec{v} полагаем нерелятивистскими и эффектами запаздывания пренебрегаем). Подобно тому, как равномерное вращательное движение в кинематике является *ускоренным*, конвекционный ток связанный с равномерно вращающимся по окружности электроном является *переменным током*. А всякий переменный ток, как предсказывает электродинамика и доказано многочисленными экспериментами, вызывает явления электромагнитной индукции. Из этого можно сделать вывод, что и *множество* вращающихся по окружности электронов произведут радиально направленное электрическое поле, которое можно зафиксировать снаружи такой окружности. Множество равномерно вращающихся по окружности электронов – это виток с током проводимости. А тогда понятно, что и вокруг, например, соленоида с током должно возникать постоянное радиально направленное электрическое поле. Это поле, очевидно, носит электростатический характер и измерять его следует методами электрометрии. Интуитивно понятно, что величина этого поля вблизи обычных соленоидов с током должна быть очень мала, иначе его давно бы обнаружили и явление обсуждалось бы в научной литературе. Иное дело – сверхпроводящие соленоиды. Дрейфовая скорость электронов в обычном проводнике составляет доли миллиметра в секунду, а в сверхпроводнике – метр в секунду. Разница примерно на 4 порядка. Значит вблизи сверхпроводящих соленоидов можно ожидать появления достаточно заметного электрического поля. Этот эффект и был обнаружен Ф. Ф. Менде [2]. Однако, большинству исследователей недоступны эксперименты со сверхпроводящими соленоидами, поскольку это требует специального оборудования, материалов и сверхнизких температур. Если эффект носит столь общий характер, как это говорит нам (4), то он должен проявляться не только в сверхпроводниках, но и в любых круговых токах. Эксперименты с вращающимися вокруг оси намагниченности цилиндрическими, кольцевыми и шарообразными магнитами [3][4][5] показывают, что вокруг них также возникает электрическое поле измеримой величины. Магниты, согласно гипотезе Ампера, подтвержденной рядом экспериментов [6], обязаны своим магнетизмом микроскопическим молекулярным *токам* Ампера, протекающим внутри них. Токи Ампера по своей природе – микроскопические электронные токи. Следовательно, приводя магнит во вращение мы приводим во вращательное движение и токи Ампера и электроны, движением которых они вызваны. Что в полном соответствии с (4) вызывает появление электростатического поля вокруг вращающихся магнитов так, как если бы эти магниты оказались электрически заряжены. Но и здесь эксперименты оказываются достаточно трудными и не очень точными, так как содержат механическую часть. Хотелось бы разработать легко повторяемый эксперимент без механического привода и техники сверхпроводников. В каком проводнике электроны движутся настолько быстро, что создают значительное ускорение при радиусе кривизны в сантиметры? И чтобы при этом токи были бы значительны, хоть как-то сопоставимы с токами в соленоидах?



Рис. 1. Газовый бифилярный соленоид.

Разумеется, в газах и плазме! Слабо ионизированная плазма тлеющего газового разряда представляется удачным кандидатом в такие проводники. К тому же в наше время несложно найти и газовый соленоид – это самая обычная бытовая энергосберегающая люминесцентная лампа. Такие лампы широко распространены, часто выполнены в виде соленоида, да ещё и с бифилярной намоткой, что очень хорошо, так как избавляет нас от вопросов о магнитном поле (оно практически отсутствует в бифилярном соленоиде) и позволяет подтвердить независимость выражения (4) от направления движения электронов. При этом сила тока может достигать 0.1-0.2 А, что сопоставимо с несколькими амперами, достижимыми для обычных и небольших сверхпроводящих соленоидов.

Теперь мы должны оценить величину того электрического поля, которое породит такой газовый соленоид с током. На точные расчёты мы пока не претендуем, только на грубую оценку по порядку величины. Это необходимо для разработки схемы эксперимента. Итак, приступим к расчётам. Ускорение равномерно вращающегося электрона хорошо известно из кинематики:

$$(5) \quad a = \frac{v^2}{R}$$

Где R – радиус нашего соленоида, v – дрейфовая скорость электронов в лампе. Тогда из (4) с учётом (5) имеем:

$$(6) \quad |\vec{E}| = \frac{\mu_0 q}{4\pi r} |\vec{a}| = \frac{\mu_0 q}{4\pi r} \cdot \frac{v^2}{R}$$

Сделаем оценку среднего расстояния r от точки измерения поля до всех электронов в соленоиде. Не утомляясь точными подсчётами положим, что это среднее расстояние будет порядка радиуса соленоида R . Тогда (6) можно записать как:

$$(7) \quad |\vec{E}| = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{v^2}{R^2}$$

Отсюда видно, что для увеличения искомого эффекта, выгодно уменьшать радиус соленоида в той же мере в какой выгодно увеличивать дрейфовую скорость электронов. Однако выражение (7) справедливо для одиночного электрона, но у нас-то одновременно движется астрономическое количество электронов. Понятно, что мы должны оценить суммарный заряд Q всех дрейфующих одновременно

электронов в соленоиде и заменить q в (7) на этот суммарный заряд Q . Как его оценить из общих соображений? Нам известен ток I , протекающий через соленоид. Полный ток связан с искомым зарядом Q :

$$(8) \quad I = \frac{Q}{\tau}.$$

Где τ - время «пролёта» электронов от катода до анода. Понятно, что при конкретной дрейфовой скорости электроны, вышедшие из области катода достигнут области анода через какое-то время, зависящее от длины проводника L и дрейфовой скорости v :

$$(9) \quad \tau = \frac{L}{v}$$

А длина проводника соленоида (грубо) определяется его радиусом R и числом витков N :

$$(10) \quad L = 2\pi RN$$

Теперь можем найти заряд Q :

$$(11) \quad Q = I \cdot \tau = I \cdot \frac{L}{v} = I \cdot \frac{2\pi RN}{v}$$

Далее, подставляя (11) в (7) сокращая и приводя подобные получим:

$$(12) \quad |\vec{E}| = \frac{\mu_0 Q}{4\pi R^2} \cdot \frac{v^2}{R^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{v^2}{R^2} \cdot I \cdot \frac{2\pi RN}{v} = \frac{\mu_0 N I v}{2R} \text{ [В/м]}$$

И видим, что напряженность искомого поля прямо пропорциональна силе тока, числу витков газового соленоида, обратно пропорциональна его радиусу (всё это особенности конструкции) и прямо пропорциональна дрейфовой скорости электронов в плазме тлеющего разряда (это уже физика газового разряда). Понятно, что одновитковый сверхпроводящий соленоид из 1 витка с током в несколько ампер будет создавать примерно такое же поле, как и газовый соленоид из 10 витков с током 0.1-0.2 ампера при равенстве дрейфовых скоростей электронов. Однако в газоразрядных лампах, как показывает анализ литературы, дрейфовые скорости даже выше на 3-4 порядка – *единицы километров в секунду* (до 10!). Таким образом, можно надеяться, что эксперимент с газовым соленоидом будет проще и нагляднее, чем со сверхпроводником. Оценим порядок величины напряженности искомого поля. Например, была приобретена конкретная лампа, в которой 6 витков, радиус 1.5 см, ток 0.1 А. Дрейфовая скорость взята из литературы [1,7] и близка к 10^4 м/с. Подставляем в (12) и вычисляем:

$$(13) \quad |\vec{E}| = \frac{\mu_0 N I v}{2R} = \frac{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-1} \cdot 10^4}{2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-2}} = \frac{2.52 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}} = 0.252 \text{ [В/м]}$$

Это величина, довольно легко поддающаяся целенаправленному измерению, и в то же время достаточно малая, чтобы долгое время оставаться незамеченной случайно. На фоне сотен вольт переменного напряжения, питающего газоразрядные лампы добавка постоянной составляющей поля (13) совершенно незаметна, если не прилагать специальных усилий по её обнаружению и

измерению. Оценка (13) позволяет надеяться, что даже если мы ошиблись на порядок в величине эффекта («золотое правило» экспериментатора), мы всё же сможем его обнаружить. Поскольку статическое поле, окружающее газовый соленоид, является резко неравномерным и убывает пропорционально квадрату расстояния, то расположим измерительный электрод в непосредственной близости к поверхности витков, а опорный - на расстоянии нескольких сантиметров (например, на расстоянии радиуса соленоида), тогда мы можем рассчитывать получить напряжение (разность потенциалов) почти равное по величине напряженности поля, умноженной на радиус соленоида, точнее примерно $\frac{3}{4}$ от него, т.е.:

$$(14) \quad U \approx \frac{3}{4} E \cdot R = \frac{3\mu_0 N I v R}{4 \cdot 2 \cdot R} = \frac{3}{8} \mu_0 N I v = 0.189 \cdot 1.5 \cdot 10^{-2} \approx 3 \cdot 10^{-3} \left[\frac{B \cdot c}{A \cdot m} \cdot A \cdot \frac{m}{c} = B \right]$$

Интересный результат: хотя напряженность и зависит от радиуса соленоида, но вот напряжение на входе измерительной установки – уже не зависит. Несколько милливольт – небольшая величина на входе электрометрического усилителя, однако у нашего сигнала есть очень характерная особенность: он однополярный, несмотря на знакопеременный характер тока в лампе. Именно потому, что эффект не зависит от направления тока в соленоиде! Следовательно, сигнал будет содержать как постоянный уровень, так и переменную составляющую *второй гармоники* частоты питающего соленоид напряжения. Поскольку ВЧ напряжение в лампе пульсирует также и с частотой осветительной сети, то должны получить и вторую гармонику частоты сети. Если соленоид питается с выхода трансформатора (или через емкость, рис. 3), то второй гармонике, как и постоянной составляющей, больше неоткуда взяться в данном случае, кроме как от искомого нами эффекта.

Теперь мы можем разработать схему установки для обнаружения эффекта. Понятно, что дипольное электрическое поле, неизбежное вокруг соленоида с переменным током, надо экранировать. Для этого подходит сплошной, проводящий, *незаземленный* экран. Дипольное поле не может проникнуть за пределы такого экрана, а заземлять его нельзя, потому что в таком случае будет экранировано и поле искусственного электрического заряда соленоида, которое мы хотим обнаружить. Измерительный электрод необходимо располагать как можно ближе к поверхности этого экрана, однако следует позаботиться об очень хорошей электрической изоляции от него (лучше воздушным слоем толщиной не менее миллиметра). Опорным электродом может служить внешний заземленный корпус всей установки, главное, чтобы от измерительного электрода до корпуса было бы расстояние порядка радиуса соленоида, т.е. 1.5-2 см. в нашем случае. Сигнал с измерительного электрода надо подать на хороший электрометрический усилитель (ЭУ) 1, или на усилитель заряда с очень большим входным сопротивлением. Сигнал с выхода электрометрического усилителя надо усилить в несколько десятков-сотен раз обычным линейным широкополосным усилителем 2 (ЛУ). Тогда мы сможем наблюдать как постоянную (или медленно пульсирующую) составляющую поля, так и вторую гармонику частоты питающего соленоид тока. Схема установки приведена на рис. 2. Питание на лампу необходимо подать экранированным кабелем, а незаземленный экран должен полностью охватывать всю лампу вместе с вводом питающего кабеля. Трансформатор также необходим, поскольку проводники осветительной сети могут иногда иметь постоянный потенциал относительно «земли».

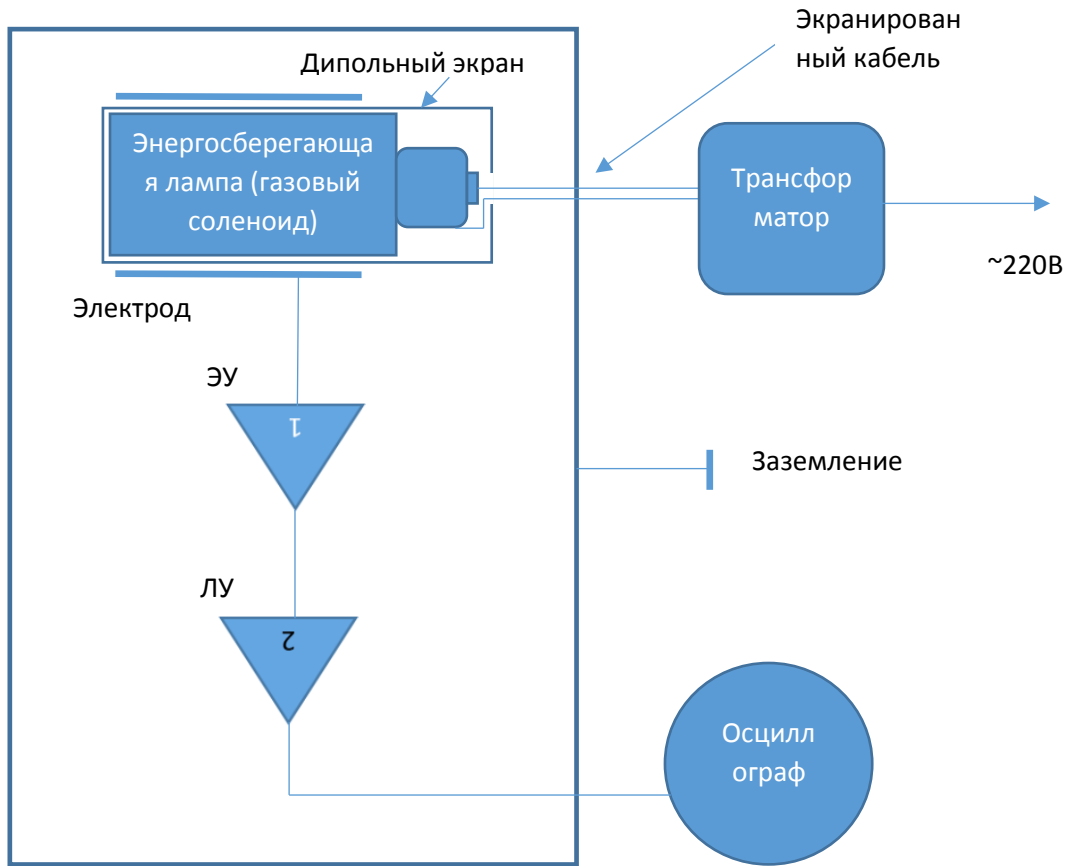


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

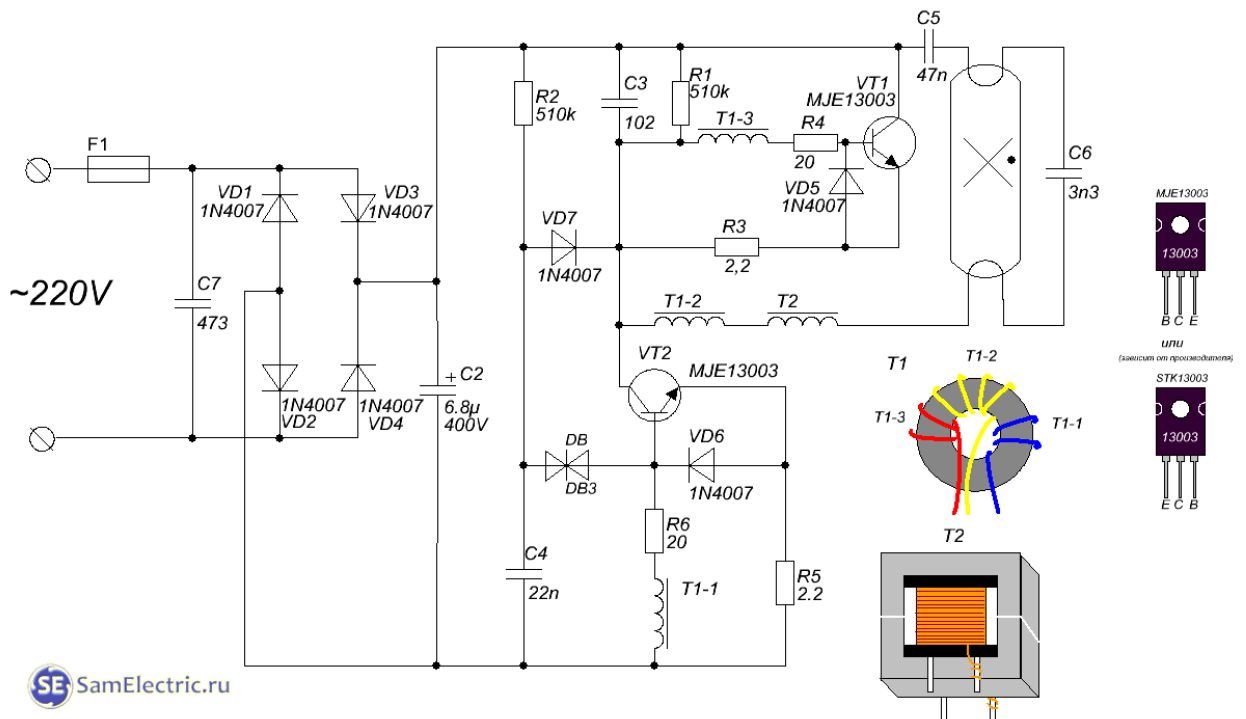


Рис. 3. Принципиальная схема типичной энергосберегающей лампы. Хорошо видно, что постоянный ток через лампу не протекает, её связь со схемой – емкостная.

Для создания данной установки мы воспользовались ранее разработанной установкой для измерения электрического поля вокруг вращающихся магнитов (рис. 4). В качестве незаземленного экрана вокруг энергосберегающей лампы использована обычная пищевая фольга. Для питания лампы использован двужильный экранированный кабель. Вместо трансформатора может быть использован преобразователь 12В-220В. Корпус заземлен на провод заземления осветительной сети. Фото установки приведено на рис. 5.



Рис. 4. Установка, использовавшаяся ранее для исследования электрического поля вокруг вращающихся магнитов.

Проверим вначале значение дрейфовой скорости, полученное из литературы. Как известно из теории проводимости, плотность тока в проводнике определяется как:

$$(15) \quad j = qn_e v \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

Ток в лампе $I=0.1$ А, площадь поперечного сечения $S=1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$. Соответственно, плотность тока:

$$(16) \quad j = \frac{I}{S} = \frac{0.1}{10^{-4}} = 10^3 \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

Концентрация основных носителей (электронов) по литературным оценкам [1] в таких лампах порядка 10^{18} . Подставив значение плотности носителей в (15), имеем:

$$(17) \quad j = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3} \cdot 10^4 \text{ м/с} = 1.6 \cdot 10^3 \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

Расхождение с (16) меньше чем в два раза, что очень неплохо для таких грубых оценок. По-видимому, дрейфовая скорость 10^4 м/с оценена правдоподобно. Следовательно, ожидаемая величина сигнала должна лежать в пределах 1.5-4.5 мВ. Усиление ЛУ в 100 раз будет более чем достаточно, даже в том случае если сигнал окажется намного слабее расчетного. В то же время даже при максимальном ожидаемом сигнале мы ещё не перегрузим усилитель. Именно такое усиление и выбрано в нашей схеме установки.

Поскольку физическое явление (4) носит, на наш взгляд, весьма общий характер, а вовсе не является частностью, связанной со сверхпроводимостью,

ферромагнетизмом, физикой газового разряда и т.п., то полученная нами формула (14) должна более-менее работать во всех этих случаях. Чтобы это проверить обратимся к опытам других исследователей, например, к работе Ф. Ф. Менде [2], а именно к первому опыту с бифилярным многовитковым сверхпроводящим соленоидом. Согласно работе [2] число витков соленоида $N=2448$, токи в соленоиде известны (это токи I_2 из Таблицы 1) остаётся неясным только вопрос о дрейфовой скорости носителей тока в сверхпроводнике. Попробуем оценить величину этой скорости из самых простых соображений. Поскольку ток в соленоиде известен и диаметр проводника d автором указан (0.25 мм), то мы можем вычислить плотности токов j , соответствующих рабочим токам в Табл. 1.

$$(18) \quad j = \frac{I}{S} = \frac{I}{\pi r^2} = \frac{4I}{\pi d^2} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

С другой стороны, из классической теории электропроводности плотность тока выражается через дрейфовую скорость носителей v как:

$$(19) \quad j = q_0 n v$$

Концентрацию носителей тока для омедненного ниобий-титанового сплава мы точно не знаем, но учитывая состав сплава, можно по справочным данным для составляющих металлов принять $(3-5) \cdot 10^{28}$. Вообще эта величина для всех металлов лежит в диапазоне $10^{28}-10^{29}$. Учитывая, что не все электроны находятся в сверхпроводящем состоянии (в эксперименте использовался жидкий гелий, поэтому до рекордно низких температур достаточно далеко), скорее всего эта величина для «сверхпроводящих» электронов ниже, чем $3 \cdot 10^{28}$. Примем для оценки минимальную величину $n=10^{28}$. В таком случае из (18) и (19) приравняв их, можно определить:

$$(20) \quad v = \frac{4I}{q_0 \cdot n \cdot \pi d^2}$$

Вычислим эти величины для токов из Табл 1. работы [2]. Для токов {15 30 45 60 75 90 105 120} А имеем такой ряд дрейфовых скоростей {0.1910 0.3820 0.5730 0.7639 0.9549 1.1459 1.3369 1.5279} м/с. То есть в среднем порядка метра в секунду. Теперь по формуле (14) мы можем вычислить ожидаемые величины потенциала на поверхности сверхпроводящего соленоида: {0.0033 0.0132 0.0297 0.0529 0.0826 0.1190 0.1619 0.2115} В. А теперь сравним эти данные с данными измерений U_2 работы [2]: {? 7 20 34 50 71 90 117} мВ. Видим, расчётный ряд в среднем в 1.65 раза больше экспериментального при всех значениях тока в соленоиде. Опять же, учитывая грубость наших оценок концентрации носителей – совпадение очень обнадеживающее. Таким образом, можно считать, что теория явления, доведённая до формулы (14), хорошо объясняет предыдущие опыты других исследователей для совершенно другого по своей природе проводника. Теперь мы можем провести наш собственный опыт и оценить насколько предсказания предложенной теории явления совпадут с результатом. Кроме того, если теория окажется верна, то подобные эксперименты являются хорошим практическим способом определения средней дрейфовой скорости носителей тока.

Результаты опыта

Опыты были проведены 07 и 08.01.2017. Получены следующие результаты.

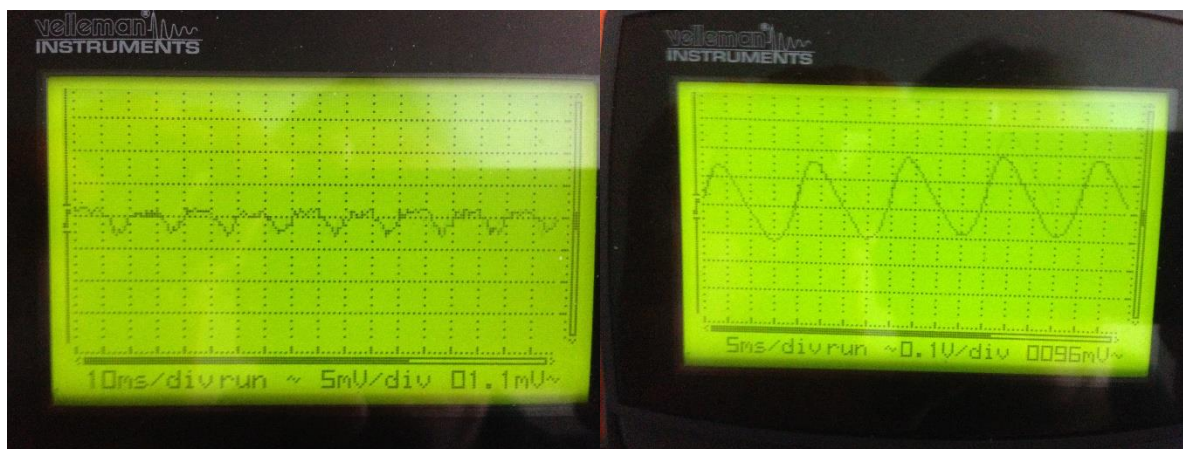


Рис. 5. *Сигнал с выхода электрометрического усилителя (слева) и линейного усилителя (справа). Отчетливо виден (слева) однополупериодный характер сигнала (вершинами вниз). Размах составляет около 3 мВ, что хорошо соответствует расчёту. Из-за ограничения по ВЧ сигнал с выхода инвертирующего линейного усилителя (справа) больше похож на синусоидальный.*



Рис. 6. *Фотография установки. Вся электроника вместе с экранированной лампой смонтированы в глухом алюминиевом корпусе (слева). Питание электроники (кроме лампы) батарейное.*

Выводы

1. Сигнал на выходе электрометрического усилителя имеет размах около 3 мВ (что хорошо совпадает с расчётом по теории) и представляет собой однополупериодный сигнал (вершинами вниз) с частотой 50 Гц. Высокочастотная компонента сигнала подавлена усилителем (частота его среза менее 1 кГц, а частота ВЧ-компоненты тока в энергосберегающей лампе 40-60 кГц). В сигнале имеются следы ВЧ-компоненты.
2. Сигнал на выходе линейного усилителя имеет размах около 300 мВ, что соответствует заданному коэффициенту усиления 100. Из-за ещё более низкой частоты среза ЛУ (около 50 Гц) сигнал имеет более синусоидальную форму, чем на выходе ЭУ, что и следовало ожидать. Следов ВЧ-компоненты, соответственно, уже нет.
3. При размыкании фазового провода, питающего лампу, переменный сигнал на выходах усилителей полностью исчезает.
4. При включении питания лампы (только фазовый провод замыкается и размыкается) сигнал вначале почти отсутствует, затем, примерно в течение 40-60 секунд постепенно нарастает и стабилизируется. Именно с такой скоростью «разгорается» холодная лампа. Если лампу выключить и быстро снова включить – амплитуда сигнала остается обычной, без фазы «разгорания». Также ведёт себя и яркость энергосберегающих ламп. Отсюда можно с известной осторожностью заключить, что сигнал связан именно с силой тока, протекающего в плазме лампы. Однако такое же изменение силы тока происходит не только в газоразрядном промежутке, но и в питающих проводниках и в схеме лампы, и теоретически с них может поступать какая-то неучтённая наводка, что требует отдельного изучения.
5. По всей видимости в дешевой энергосберегающей лампе выпрямление переменного тока 50 Гц осуществляется не двухполупериодным выпрямителем, как на рис. 3, а однополупериодным, либо имеется дефект выпрямительной схемы лампы. К тому же емкость фильтрующего конденсатора на выходе выпрямителя практически всегда недостаточна в дешевых лампах (что особенно сильно проявляется при дефектах выпрямителя). В результате средний модуль тока в лампе пульсирует с частотой 50 Гц, а не 100 Гц, как можно было бы ожидать. Это также требует проведения дополнительных, более тщательных экспериментов и исследований с целью исключения артефактов.
6. При включении лампы на ней устанавливается высокий уровень *постоянного* отрицательного электрического заряда. Это явление известно [8] и вызвано тем, что электроны плазмы «прилипают» к холодному стеклу баллона лампы и плазмы проникают даже сквозь слабо ионизированное (под действием излучений) стекло баллона наружу. В результате баллон приобретает некомпенсированный поверхностный отрицательный заряд. После выключения лампы и прекращения разряда в газе, отрицательный заряд, не успевший «стечь», остаётся на стекле лампы. В итоге электрометрический усилитель фиксирует довольно большое (4-5В) постоянное отрицательное напряжение, которое очень медленно (десятки минут) релаксирует после выключения лампы. Из-за этого явления невозможно измерить строго постоянную часть потенциала, вызванного искомым нами эффектом, но можно выделить компоненты переменного потенциала НЧ (и ВЧ, если электронная часть установки это позволяет).

Поскольку высокий отрицательный потенциал, вызванный «прилипанием» электронов, релаксирует крайне медленно, то маловероятно, что он успевает существенно измениться при быстрых колебаниях тока в рабочем режиме лампы. За 20 мс (частота 50 Гц) он изменится только примерно на $1/50\,000$ от своей величины (составляющей 4-5В). Соответственно, вклад эффекта «прилипания» в пульсирующее электрическое поле вокруг соленоида должен быть намного меньше (примерно в 50 раз), чем от искомого нами эффекта. Установлено, что при включении лампы постоянный отрицательный потенциал устанавливается *всегда* и никогда не бывает положительного знака.

Таким образом, предварительно можно сделать осторожное предположение, что, *возможно*, искомый эффект появления слабого однополярно знакопостоянного пульсирующего электрического поля вокруг соленоида с пульсирующим знакопеременным током обнаружен и соответствует по величине оценочным расчётам. Отрицательный знак измеренного пульсирующего потенциала свидетельствует, что электрическое поле создано именно электронами, подтверждается это также величиной эффекта, численно близкой к теоретической оценке. Установка нуждается в дополнительном изучении и совершенствовании. В случае успешного исключения каких-либо существенных артефактов можно считать, что изложенная теория явления достаточно общая, чтобы объяснять широкий круг частных случаев.

Представляется интересным, после получения и предварительной проверки формулы (14) попытаться рассчитать по ней эффект для обычного бифилярного соленоида и оценить, возможно ли обнаружение данного явления в этом случае. Пусть число витков соленоида $N=1000$, а ток I в нём, например, 10А. Это вполне обычные условия для соленоида. При достаточно тонком проводе скорость движения носителей v может достигать 1 мм/сек. В таком случае напряжение на экране соленоида достигнет по (14):

$$U \approx \frac{3}{8} \mu_0 N I v \approx 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 5[\text{мкВ}]$$

Измерить постоянное напряжение такой величины достаточно трудно, но если соленоид питать переменным током высокой частоты (килоггерцы, например), то не очень сложно зафиксировать вторую гармонику питающего тока. Требуется только, чтобы эта гармоника полностью отсутствовала в питающем соленоид токе и это уже непростая техническая задача. Технически проще сделать питающее напряжение амплитудно-модулированным какой-то намного более низкой частотой, чтобы зафиксировать частоту модуляции в измеренном поле вблизи соленоида. В любом случае понятно, что случайное обнаружение этого эффекта вблизи обычных соленоидов крайне маловероятно.

Литература

1. Куренчиков А.В. Разработка методов исследования и расчёта миниатюрных люминесцентных ламп. Автореферат диссертации. Саранск 2004 г.
2. Менде Ф. Ф. [Электризация сверхпроводящих обмоток и торов.](#)

3. Тимофеев В. Б., Тимофеева Т.Е., [Экспериментальное исследование потенциального электрического поля вращающегося намагниченного шара.](#)
4. Мисюченко И. [Экспериментальное исследование электрического поля вращающегося вокруг оси намагниченности кольцевого магнита.](#)
5. Тимофеев В. Б., Тимофеева Т. Е., [НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МАГНИТНОГО РОТАТОРА](#), Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Выпуск № 3 / том 9 / 2012
6. Мисюченко И. Видеофильм «[Гипотеза Ампера подтверждена](#)».
7. МФТИ. Лабораторные работы. [Газовый разряд. Плазма.](#)
8. Майоров М. И., Майоров А. М. ГЕНЕРАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИАНОДНОЙ ОБЛАСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XXX междунар. науч.-практ. конф. Часть I. – Новосибирск: СибАК, 2014.