

Обратная ЭДС катушки индуктивности

Посвящается всем истинным любителям естествознания

Дейна Сергей Алексеевич

1. Вступление

Обратная ЭДС катушки индуктивности – сложная для понимания тема, из-за того, что эффекты, возникающие вокруг *катушки с током* невозможно увидеть непосредственно. Отсюда возникает множество спекуляций, имеющих мало общего с действительностью. А поскольку явления и эффекты фиксируются только объективными методами с помощью специальных приборов, то люди начинают о них судить на основании их **подобия** с какими-нибудь другими явлениями, с которым люди хорошо знакомы из жизненного опыта. Например, модель *электрона, вращающегося вокруг атомного ядра* **подобна** *вращающемуся привязанному на нити шарiku*. Такой метод установления подобия *одного явления другому* носит название физической модели. Этим методом пользовались все выдающиеся физики 20-го века. Например, модель атома Бора была построена **подобно** функционированию солнечной системы, а у самолёта **подобно** птицам есть крылья, хвост, оперение и прочее, что так же было позаимствовано у природы, что осталось в самих названиях частей самолёта. Приведённых примеров достаточно, остаётся добавить лишь одно: какие бы сложные и запутанные явления в физике мы бы ни взяли, все без исключения они подобны чему-то простому, известному людям из опыта или в быту, и всегда представляют собой физическую модель.

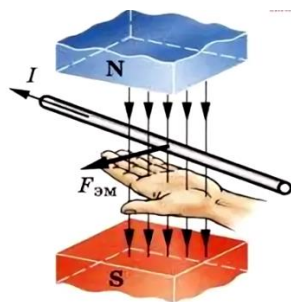
Способ познания от частного к общему всегда осуществляется на основании установления **подобия** и представляет собой **движение снизу вверх**. Есть и другой способ познания от общего к частному, то есть **по аналогии** и представляет собой **движение сверху вниз**. Но люди пока больше заняты своей животной природой и мало чего знают об этом способе, поэтому они редко им пользуются. Полноценное же познание основано на динамическом равновесии этих двух методов. Но в своей жизни, к сожалению, большинство людей ещё очень далеко от понятий динамическое равновесие, гармония, равновесие, баланс.

2. Три силы

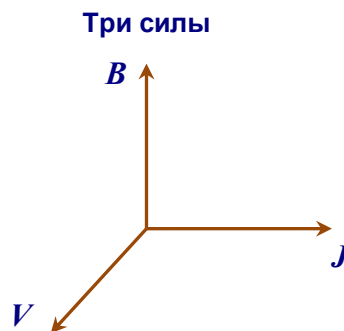
В работе «Сверх-единичность-1» я уже упоминал о трёх силах, которые всегда и везде можно найти, когда речь заходит о феноменах, физических эффектах и явлениях. Эти три силы всегда расположены только перпендикулярно по отношению друг к другу. По этой причине мы и живём в мире трёх измерений. Остальные многомерные миры – результат абстрактных игр беспокойного ума.

Приведу в качестве примера всем хорошо известное правило левой руки для нахождения третьей силы, зная направление первых двух. Если перейти от философской терминологии к физической, то эти три силы представляют собой три взаимно перпендикулярных вектора: вектора плотности тока \mathbf{J} , вектора магнитной индукции \mathbf{B} и вектора скорости \mathbf{V} или, проще - направления движения. Такой метод чрезвычайно прост и эффективен.

Ниже показано применение правила левой руки в физике.



Правило левой руки

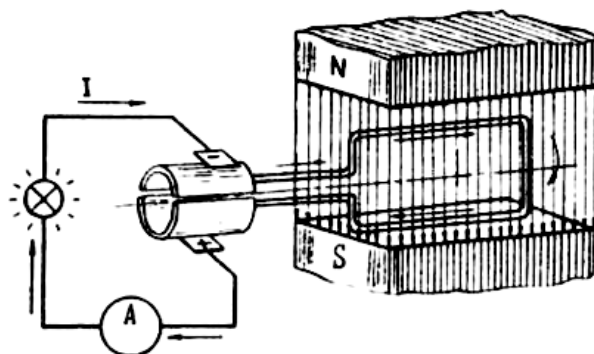


Казалось бы, ну что может быть проще? Но многие начинающие исследователи, рассматривая работу того или иного устройства, стараясь понять принцип его работы теряются в догадках, забывая обратиться к раскладу этих трёх сил. Поэтому мы возьмём за правило, всегда и везде следить за этими векторами и стараться их правильно находить.

Три вектора всегда должны быть установлены из выбранной точки наблюдения и быть взаимно ортогональными. Благодаря этому многие физические устройства являются обратимыми: генераторы становятся двигателями, а двигатели – генераторами.

В качестве примера рассмотрим генератор переменного тока на постоянных магнитах и рамкой с электрическим током. Так, выбрав на рамке любую точку наблюдения, каждый желающий, проведя из точки наблюдения уже известные два вектора, легко может по ним определить, в какую сторону будет вращаться рамка с током, построив к ним третий вектор.

Интересно, а могут ли существовать иные тройные отношения? Этим вопросом мы займёмся после того, как закончим с первым вопросом.

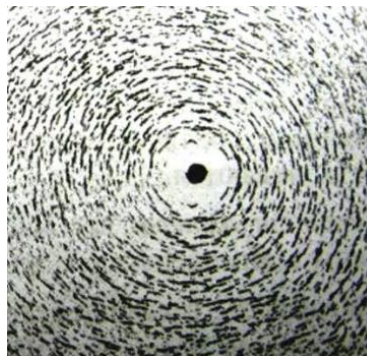
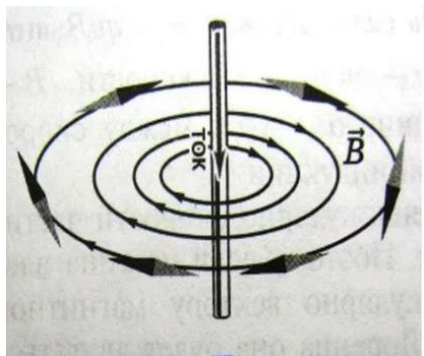


И так, благодаря знанию **трёх сил**, по любым двум известным векторам мы всегда можем построить третий вектор.

Понятно, что во времени векторы не остаются постоянными как по величине, так и по направлению, хотя по отношению друг другу они всегда будут оставаться ортогональными. Поэтому, зная, какой из трёх векторов в данный момент активен, то есть будет меняться по величине и направлению, второй, пассивный вектор всегда будет следовать за ним, располагаясь к нему ортогонально. Третий вектор будет иметь абсолютную величину, которую всегда можно будет вычислить, если известна функция, связывающая эти три величины вместе.

3. Проводник с током в магнитном поле

Всем со школьной скамьи известно, что вокруг прямого проводника с током можно построить вектора магнитной индукции B в виде концентрических окружностей. Это подтверждается множеством опытов, с насыпанными вокруг проводника опилками, магнитными стрелками, расставленными вокруг проводника и так далее. **Это прекрасная иллюстрация взаимодействия тока в проводнике с окружающей средой.** Запомним это.

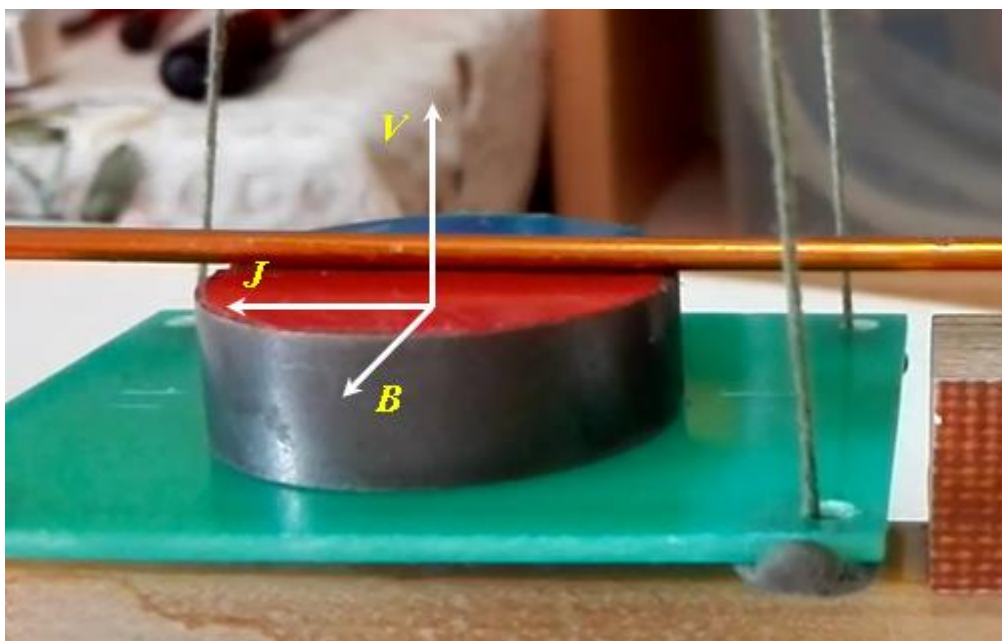


В 2017 году мной был поставлен опыт под названием «Продольное взаимодействие тока и магнита Николаева -1» (вот ссылка на него: <https://youtu.be/SbnZMrC8H4s>), в котором я показал, что помимо тангенциального направления магнитной индукции, у проводника с током существует продольное взаимодействие проводника с магнитом Николаева.

Вот посмотрите небольшой фрагмент опыта из этого ролика:

В ролике хорошо видно, что помимо поперечной (вертикальной) составляющей, действующей на магнит Николаева, на него действует ещё и продольная составляющая.

Практически все, посмотревшие ролик не смогли правильно объяснить этот феномен. Давайте применим к нему знание трёх сил – правило левой руки и посмотрим результат.



Тем, кто ещё не знаком, что такое скалярное магнитное поле надо отметить, оно действует только на движущиеся заряды, и, наоборот, движущиеся заряды оказывают силовое действие на скалярное магнитное поле. Поэтому участок с током и магнит Николаева, являют собой одно и то же. Явление незначительного отклонения магнита Николаева в опыте объясняется исключительно медленным движением электрических зарядов в проводнике. Если бы мы научились произвольно регулировать скорость движения электрических зарядов в проводнике, то могли бы менять продольное силовое действие тока на магнит Николаева, а также величину его продольного отклонения.

На практике мы редко имеем дело с одиночным проводником из-за его слабого взаимодействия. Для увеличения взаимодействия проводник многократно сворачивают в кольца, которые располагают рядом друг с другом, что и обеспечивает многократное умножение мощности взаимодействия тока на среду. Так появились катушки индуктивности.

4. ЭДС самоиндукции

Давайте проведём опыт, в котором заряженный до высокого напряжения конденсатор будем разряжать через разрядник на катушку индуктивности. Опыт с разрядом конденсатора через катушку индуктивности показывает, что в момент возникновения импульса тока в катушке, от катушки с огромной скоростью в разные стороны распространяется векторное магнитное поле, которое создаёт вокруг катушки индуктивности поперечную деформацию окружающей среды. Конечно, это поле непосредственно никто увидеть не сможет, но зато косвенно мы можем его зарегистрировать, например, в нашем опыте.

Смотрим следующий видеосюжет:

В ролике показан **прямой опыт** с импульсным током в катушке. В нём хорошо видно, что алюминиевая фольга, находящаяся на пути стремительно распространяющегося снизу импульсного магнитного поля, деформирующего внешнюю среду, оказала ему сопротивление, поэтому она была им деформирована и отброшена. Интересна и форма выпуклости на фольге, повторяющая собой контур катушки индуктивности.



К сожалению, я не могу сейчас показать **обратный опыт** с быстрым прерыванием тока, когда задний фронт прерывания тока имел бы такую же крутизну, как и передний фронт в прямом опыте. Для этой цели нужны очень быстрые управляемые тиристоры (транзисторов на такие огромные токи не я не знаю). Либо нам, подробно Н. Тесла придётся изобретать управляемые разрядники с искрогасителями. Но если бы такой опыт сейчас был бы мной проведён, то с абсолютной точностью можно сказать, что алюминиевая фольга была бы деформирована, но только в обратную сторону, как это показано на фото ниже.



А для нас такой опыт имел бы большее познавательное значение, даже больше, чем сам прямой опыт.

Давайте проанализируем полученные результаты.

Во-первых, лавсановая пластинка не испытала никакого воздействия со стороны этого векторного магнитного поля, так как она не электропроводна и, поэтому прозрачна для него.

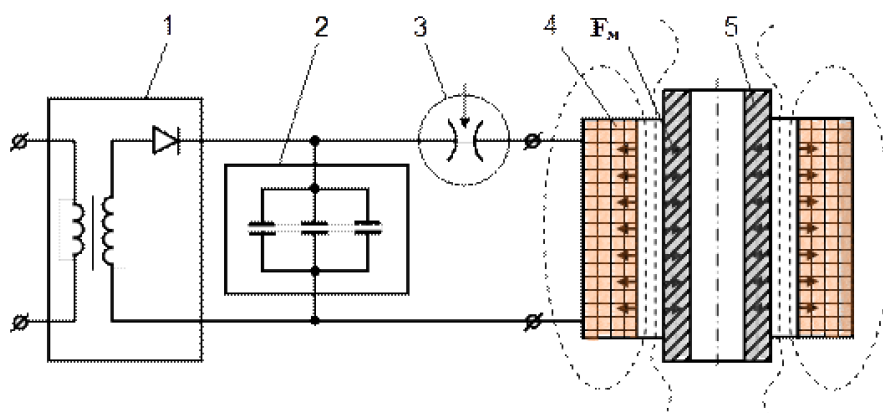
Во-вторых, алюминиевая фольга, будучи электропроводной, не является прозрачной для этого поля и оказывает сопротивление его распространению. В результате этого мы видим следы силового воздействия со стороны векторного магнитного поля на алюминиевую фольгу.

Сейчас для нас не имеет никакого значения, в чём именно заключается механизм этого сопротивления, так как оно вполне реально и наглядно. Когда мы посмотрим на следы деформации фольги, то увидим, что они повторяют форму катушки индуктивности и напоминают что-то, наподобие потока сжатого воздуха стремящегося распространиться от катушки через фольгу в пространство. После того, как ток в катушке достиг максимума, распространение поля тоже останавливается, остановимся в этом месте ненадолго и мы.

Не знаю как сейчас, а в Советском Союзе существовала целая отрасль промышленности, называемая магнитно-импульсной обработкой металлов. Её сущность заключалась в том, что с помощью магнитного импульса осуществлялась формовка плоских и особенно цилиндрических металлических заготовок. Это позволило значительно ускорить технологический процесс и обходиться без тяжёлых, громоздких, энергозатратных и медленных прессовых станков.

В пресс-форму вставлялась заготовка, например цилиндрической формы, внутри неё размещалась стальная пресс-форма, а снаружи неё находился мощный индуктор, на который разряжалась огромная батарея конденсаторов. В момент разряда батареи конденсаторов через разрядник на индуктор, заготовка уменьшалась в диаметре и обжимала собой стальную пресс-форму, принимая нужную форму. Один короткий разряд – и деталь готова.

<https://megalektsii.ru/s75007t3.html>



На рисунках хорошо виден индуктор, выделенный розовым цветом, являющийся источником векторного магнитного поля, который деформирует металлические заготовки.

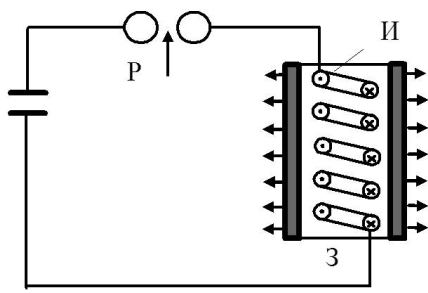
Заготовка показана голубым цветом.

Ниже показаны изображения способы обработки, отличающиеся различным взаимным расположением заготовки и индуктора, применяемых в промышленной магнито-испульсной обработке металлов, с которыми можно ознакомиться по ссылке:

<https://studfiles.net/preview/397330/page:9/>

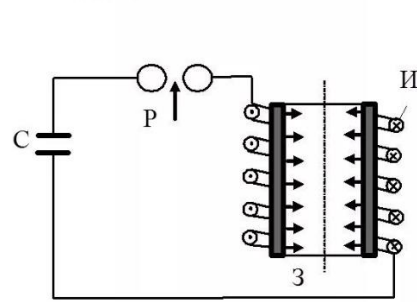
Короткими чёрными стрелками, приставленными к заготовке показано направление деформации заготовки.

Индукционный способ МИОМ



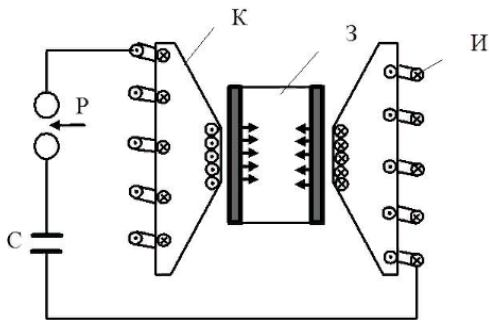
Индуктор расположен внутри заготовки

Индукционный способ МИОМ

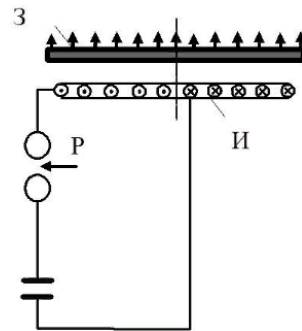


Индуктор расположен снаружи заготовки

Индукционный способ МИОМ с концентраторами

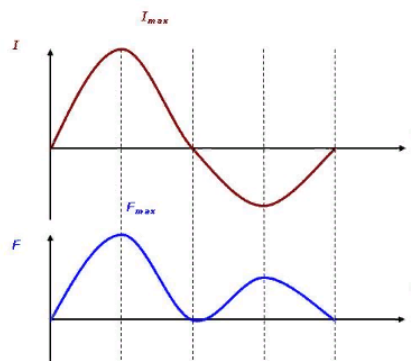


Индукционный способ МИОМ



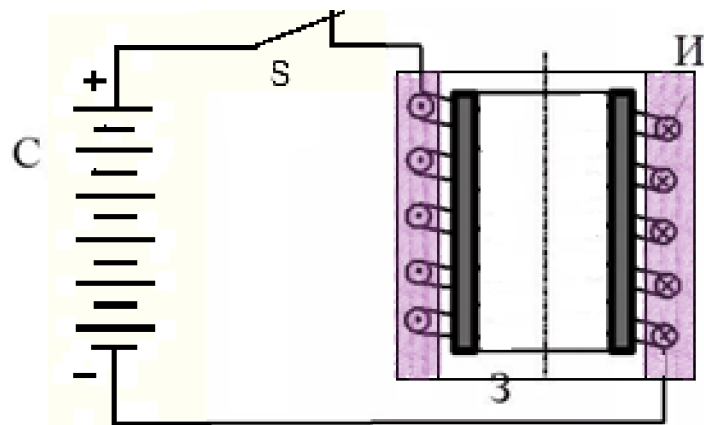
Обработка плоских заготовок

Изменение разрядного тока и электродинамической силы во времени



До сих пор в этом ролике не было сказано ещё ни одного слова об обратной ЭДС, которая имеет место в мощных магнитных индукторах. Наконец настало время начать этот разговор.

Давайте снова обратимся к магнито-импульсной обработке, возьмём эту же металлическую заготовку (пусть для простоты она будет иметь форму трубки). Поместим заготовку внутри и посередине цилиндрического индуктора, как показано на рисунке ниже, замкнём ключ и будем с



небольшой скоростью увеличивать ток в индукторе до той же величины, которая по расчёту должна иметь место в опыте с обычным разрядом батареи конденсаторов на индуктор.

Когда ток в катушке достигнет заданной величины, необходимо как можно быстрее оборвать ток в индукторе. Кто скажет, что при этом произойдёт?

Удивительным является тот факт, что и в этом случае наша заготовка так же испытает силовое воздействие, но теперь уже не со стороны индуктора, а со стороны деформированной окружающей среды – заготовка мгновенно расширится и упрётся изнутри в прочный индуктор.

То же самое произойдёт и в том случае, если индуктор будет расположен изнутри заготовки – заготовка уменьшится в диаметре, упрётся в индуктор и обожмёт его собой.

К сожалению в промышленности этот способ обработки металлов не получил большого распространения, несмотря на то, что он реален и в нём также есть необходимость. Но от этого суть данного явления не теряет своей значимости.

Дело в том, что резкий обрыв огромных токов сопряжён с большими техническими трудностями, в частности трудностью избежать дугового разряда, являющегося продолжением тока разряда конденсатора.

При этом, обратный эффект наилучшим образом проявляется тогда, когда ток в индукторе достигает наибольших величин, и имеет крутой фронт обрыва. Эти трудности хорошо известны ещё со времён Н. Тесла.

Сам Н. Тесла прекрасно знал об обратном воздействии среды, наступающим после снятия напряжения. Для резкого гашения тока разряда конденсатора он специально создавал разрядники с продуванием между электродами воздуха, магнитными гасителями искры, вращающимися контактными барабанами и прочими устройствами.

Таким образом, относительно плавное увеличение тока в индукторе позволяет магнитному полю практически без сопротивления пройти сквозь материал заготовки, совершая при этом работу по деформации внешней среды – эфира. Но как только ток в индукторе резко обрывается, внешняя среда, насыщенная и деформированная магнитным полем, стремится вернуться в исходное состояние, как говорят **коллапсирует** обратно в индуктор, совершая при этом работу. Теперь токопроводящие тела, стоящие на пути магнитного поля, снова будут оказывать ему сопротивление, хотя это уже не так очевидно, как в прямом способе. При этом скорость такого воздействия будет огромной.

Описанное выше явление является сегодня пока единственным известным случаем демонстрации и доказательства могучего воздействия Мировой среды на вещественные проводящие предметы.

Таким образом, мы познакомились с двумя взаимобратными процессами:

- 1) расширением магнитного поля, прямо деформирующего Мировую среду (явление ЭДС самоиндукции);
- 2) коллапсом магнитного поля из-за возвращения деформированной окружающей среды в исходное состояние (явление обратной ЭДС).

Не забудем, что под окружающей средой имеется в виду эфир – Мировая среда (по-научному – физический вакуум).

Как оказалось, процесс восстановления равновесия эфира вовсе не так безобиден, как это может показаться и может иметь даже очень серьёзные последствия.

Повторю, если окружающую среду медленно деформировать и затем резко снять напряжение, то среда, возвращаясь в исходное состояние, даёт огромную отдачу, хотя для многих людей этой среды как бы и не существует!

Чем резче будет снято напряжение среды, тем эффективнее будет обратное силовое воздействие якобы «несуществующей» освобождающейся от напряжения среды. И пусть оппоненты себе твердят, что тут нет ничего необычного, что тут кроме токов Фуко ничего нет, или ещё чего-нибудь в этом роде. Для нас же важен сам факт: работа, совершённая по деформации среды, всегда на 100% возвращается обратно, при этом возвращается назад не 110% или 200%, а именно на 100%, если это относится в Мировой среде и меньше 100%, если деформации подвергалось вещество.

И так, в первом опыте, когда в индукторе мы инициируем мощный импульсный ток, то индуктор испытывает противодействие со стороны Мировой среды в виде ЭДС **самоиндукции**, которая является прямым доказательством процесса деформации внешней среды. Таким образом, все материалы, проводящие ток и находящиеся вблизи индуктора будут испытывать мощное импульсное воздействие со стороны индуктора.

О втором опыте, в котором резко обрывается мощный электрический ток, энергия, запасённая индуктором в результате деформации Мировой среды, возвращается обратно в виде **обратной ЭДС в виде тока в индукторе**, что является прямым доказательством релаксации внешней среды. При этом все материалы, также находящиеся вблизи индуктора и проводящие ток, будут испытывать мощное импульсное воздействие со стороны окружающей среды.

В 90-х годах лично держал в руках учебники для вузов, в которых наряду с прямыми методами магнито-импульсной обработки, было упоминание и о методе обратного воздействия на материалы. К большому сожалению в Интернете я не нашёл упоминания об обратном методе обработки металлов, основанном на явлении обратной ЭДС. Если у кого эти книги сохранились, неплохо было бы их вернуть для публичного обозрения.

Надо отметить, что в последнее время часто можно встретить неправильный термин *противо-ЭДС*, неизвестно кем и для чего выдуманный. Чтобы до конца быть справедливым, надо отметить, что оба термина **ЭДС самоиндукции** и **образная ЭДС** никак не проясняют **физическую суть** этих двух явлений, которая на самом деле заключается во взаимодействии тока в катушке индуктивности с окружающей средой. Под окружающей средой имеются в виду все виды известных ферромагнитных и не только сердечников катушек, а при их отсутствии – сам эфир, то есть Мировая среда.

Я не думаю, что тема обрыва тока навсегда заглохла и не имеет никакой перспективы. Те, кто стремятся на опыте вернуть обратно большую часть вложенной в индуктивность энергии, не смогут получить её обратно иначе, как резко обрывать ток в катушке.

Тесла, работая с катушками индуктивности без сердечников, использовал для этого самые экзотические приёмы – продувание воздухом искры в разряднике, магнитное прерывание дуги, вращающиеся контактные барабаны и многое другое. Другое дело – в высокотехнологичное время, когда в нашем распоряжении имеется множество магнитомягких материалов, применяемых в качестве сердечников катушек, способных с малыми потерями накапливать в своей внутренней структуре магнитную деформацию, мы имеем гораздо больше возможностей, чем это было во времена Н. Тесла.

В этой связи интересны работы человека, под ником **Sergkik**, к сожалению, рано ушедшего от нас из-за болезни. Стоит ознакомиться с его начатыми методами прерывания искры – остановки тока в катушке с тем, чтобы можно было продолжить и развить направление, начатое ним. Смотрите в Интернете ролики этого талантливого исследователя на данную тему по ссылкам:

- 1) Часть 1 Дубль 1. Два шага назад: <https://www.youtube.com/watch?v=s6-0o68HUk4>
- 2) Часть 1. Дубль 2. Катушка взбрыкивает радиантом: <https://youtu.be/zbdFvIhebQM>
- 3) Часть 1. Дубль 3. Прерывание искры: <https://www.youtube.com/watch?v=cWSzS8xnUyE>
- 4) Часть 1. Дубль 4. (end)[1] Прерывание на ¾: <https://www.youtube.com/watch?v=0kiDfhMQ0E0>
- 5) Часть 1 Дубль 5 (эпилог) Советы постороннего: <https://www.youtube.com/watch?v=EVL3rm0LMuY>

б) Пробы - Катушка Д. Смита. Часть 1 (прерывание искры): <https://youtu.be/4A8IjoomtqI>

На его канале можно найти ещё много интересных роликов.

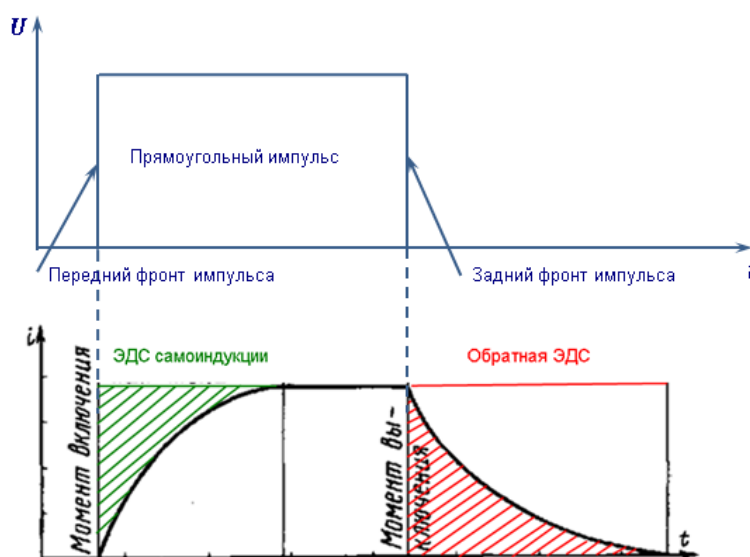
Теперь, когда мы убедились в существовании импульсного взаимодействия катушки с током и окружающей среды, хорошо бы освежить в памяти то, как именно во времени изменяется ток в катушке индуктивности. Для нас важно понять не в теории, а на практике, по каким признакам мы можем убедиться в существовании ЭДС самоиндукции и обратной ЭДС. Но для начала немного теории. На рисунке ниже показана схема замещения индуктора, и график изменения во времени тока в катушке индуктивности, взятые из учебника.



Рис. 62. Электрическая цепь с катушкой индуктивности (а) и кривая изменения в ней тока при включении и выключении (б)

Согласно закону Ома форма импульса тока в активном сопротивлении не будет отличаться от формы импульса напряжения, приложенного к нему. Ниже на рисунке показано как искажается прямоугольный импульс катушкой индуктивности из-за её взаимодействия с окружающей средой, из-за того, что она всегда является открытой системой.

Искажение прямоугольного импульса катушкой индуктивности



Как видно отличие ЭДС самоиндукции от обратной ЭДС состоит в том, что:

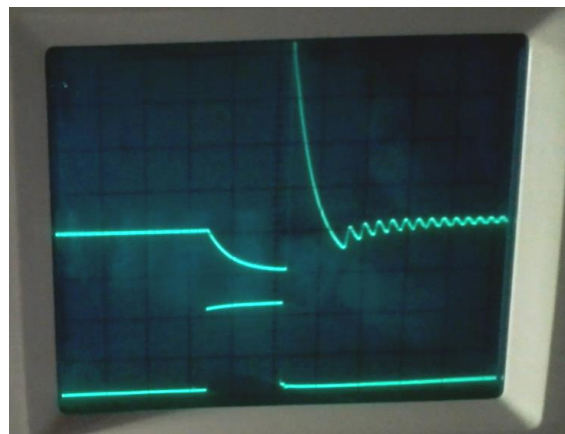
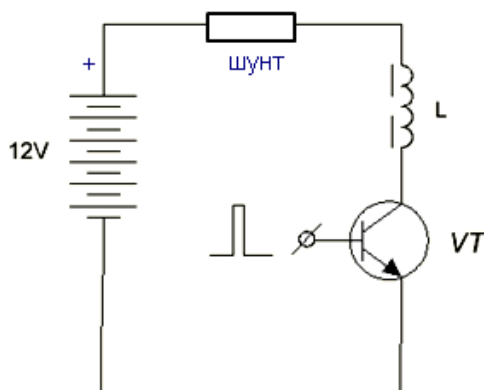
- 1) первая возникает перед появлением тока в цепи и постепенно убывает;
- 2) вторая, наоборот, возникает сразу после исчезновения тока в цепи и так же постепенно убывает.

Зелёным и красным цветом выделены два явления, ответственные за импульсное взаимодействие тока в катушке индуктивности с внешней средой. Площадь заштрихованной фигуры зелёным цветом численно равна энергии, затрачиваемой катушкой на деформацию среды. Площадь фигуры, заштрихованной красным цветом, численно равна энергии, возвращаемой обратно в катушку средой при её релаксации. Понятно, что две картинки выполнены не в одном масштабе и отражают только качественную сторону явления. На самом деле, как это и было отмечено ранее, сколько энергии было затрачено, столько и вернётся обратно.

Анализ двух кривых изменения тока в катушке индуктивности показывает, что быстрому изменению тока в катушке препятствует сама среда. С одной стороны, во время своей деформации среда поглощает энергию и время, а с другой стороны, после снятия напряжения, деформирующую среду, длящийся в катушке ток после запираания ключа является прямым доказательством возврата энергии деформации среды обратно в катушку.

5. Наблюдение обратной ЭДС на экране осциллографа

Для наблюдения обратной ЭДС достаточно собрать схему из нескольких элементов – источника питания, генератора прямоугольных импульсов, быстрого ключа и собственно самой катушки индуктивности.



Прежде чем начать разговор об обратной ЭДС, скажу несколько слов об ЭДС самоиндукции. Единственный случай, когда мы можем наблюдать непосредственно ЭДС самоиндукции в катушке индуктивности, это наблюдая за процессами на экране осциллографа, происходящими в последовательном колебательном контуре. Этот опыт был показан в ролике «ЭДС самоиндукции» на моём канале и двух дополнениях к нему. В остальных случаях о существовании ЭДС самоиндукции мы можем судить только косвенно.

Своим появлением ЭДС самоиндукции обязана свойствам внешней среды, оказывающей сопротивление изменению тока в катушке и с которой она находится в непосредственной близости. Суть её заключается в том, что в момент подключения питания к последовательному колебательному контуру, на концах катушки возникает напряжение, равное по величине напряжению источника питания, но обратное ему по знаку. Причём напряжение ЭДС самоиндукции возникает ещё до того, как в катушке появится ток. Это обратное напряжение на катушке и есть та самая ЭДС самоиндукции, о которой все говорят и пишут в учебниках. Это она препятствует нарастанию тока в катушке индуктивности. И до тех пор, пока будет длиться равенство напряжения ЭДС самоиндукции и напряжения источника питания, электрического тока в цепи не будет, что отобразено на осциллограмме тока в цепи.

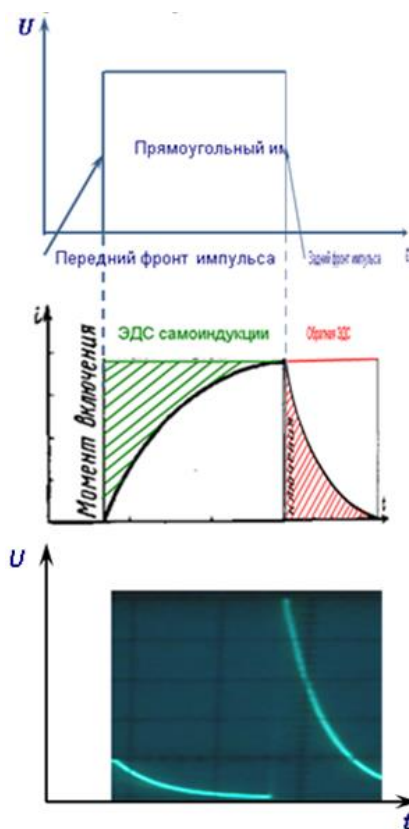
Но в приведённой выше схеме опыта конденсатора нет, поэтому мы не сможем непосредственно наблюдать ЭДС самоиндукции. Но, установив, например, шунт в цепи питания катушки и, подключив к нему щуп осциллографа, мы можем, ориентируясь на изменение падения напряжения на шунте, увидеть, что ток в катушке индуктивности начинает изменяться не сразу, а постепенно. Вот это и есть косвенный признак возникновения ЭДС самоиндукции. Рядом со схемой опыта приведена другая осциллограмма, на которой показано изменение непосредственно уже не тока, а напряжения на стоке полевого транзистора. Вот за этим сигналом мы и будем наблюдать с помощью осциллографа в нашем опыте.

И так, обнаружить присутствие ЭДС самоиндукции можно только косвенно – по типу изменения во времени тока или напряжения в катушке индуктивности, либо наблюдая за изменениями во внешней среде. Сейчас нас будет интересовать первое.

Чтобы в исследовании получить максимально эффективную картину изменений, лучше всего, если, передний и задний фронты импульсов, поступающих с генератора сигналов, будут максимально крутыми. В этом случае изменения во внешней среде, производимые током в катушке индуктивности, будут наибольшими.

Чтобы показать, как выглядят одновременно задающий импульс, изменение тока в катушке и изменение напряжения на приведённой выше осциллограмме, мне пришлось преобразовать реальную осциллограмму, разрезав и растянув её по горизонтали. Расположим все три иллюстрации одну под другой, синхронизовав их во времени:

- 1) прямоугольный импульс;
- 2) иллюстрацию изменения тока из учебника;
- 3) реальную (растянутую) осциллограмму изменения напряжения на концах катушки.



Как видно, изменения тока и напряжения отличаются тем, что первые однополярные, а вторые – тем, что всегда разнополярные, так как при переходе тока через экстремум, напряжение на концах катушки меняется на обратное.

6. Опыт с катушкой индуктивности с разомкнутым сердечником

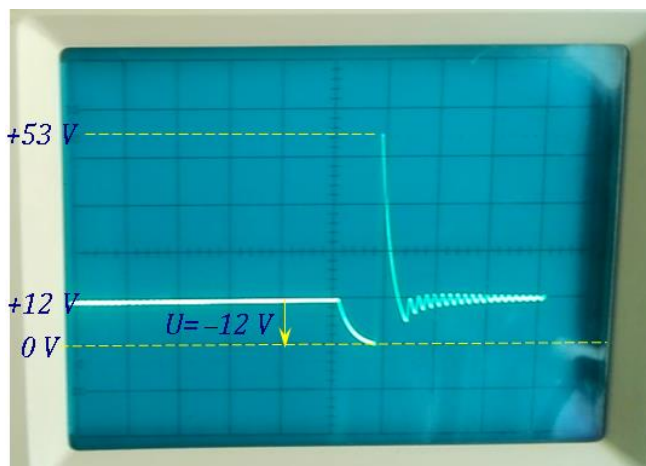
Прошу прощения у всех за это длинное видео, но чтобы у посетителей канала возникало как можно меньше вопросов, я постарался отснять видеоматериал как можно подробнее, тем более что тема **обратной ЭДС катушки индуктивности** для большинства начинающих исследователей может оказаться не очень простой.

Смотрим видеофрагмент «Наблюдение обратной ЭДС»:

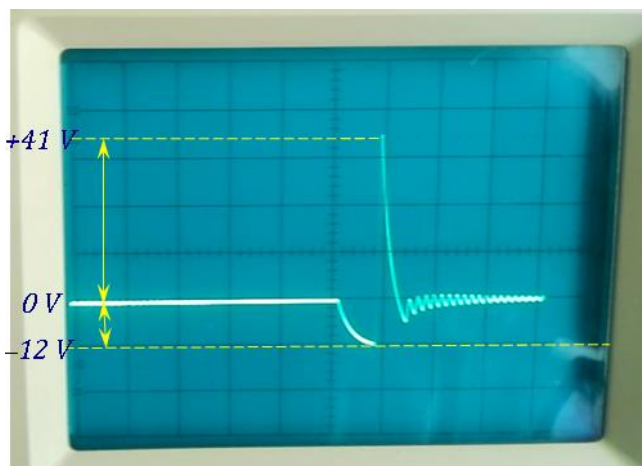
Следует отметить, что когда в ролике я интерпретирую поведение луча осциллографа, показывая на кривую, направленную вниз и вправо и называю это **изменением тока в катушке индуктивности**, я допускаю неточность. Хотя по закону Ома ток и напряжение связаны между собой прямо пропорциональной зависимостью (чем больше – тем больше) при неизменном характеристическом сопротивлении катушки индуктивности. Поэтому, если быть до конца

справедливым, то в этом месте надо говорить об изменении напряжения на стоке полевого транзистора, которое в момент отпирания ключа падает почти до нуля (но не достигает его из-за небольшого падения напряжения на самом ключе и проводах, идущих от источника питания). Следующим спорным пунктом надо отметить интерпретацию сигнала на концах катушки индуктивности (стоке полевого транзистора). Надо понимать, что важно не только правильно снять осциллограмму, но не менее важно также её правильно интерпретировать, то есть понять и объяснить, что именно показывает луч осциллографа.

Я утверждаю, что в момент записывания ключа, осциллограф показывает, что полярность напряжения на концах катушки индуктивности изменяется на противоположную. С этой ситуацией мы уже встречались в ролике ЭДС самоиндукции, встретились с ней снова и здесь.



Режим осциллографа DC



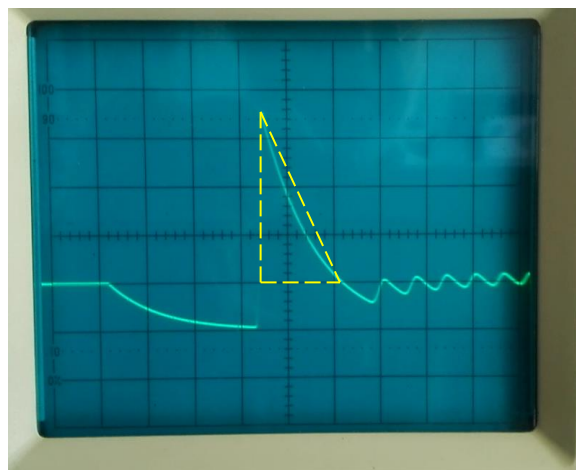
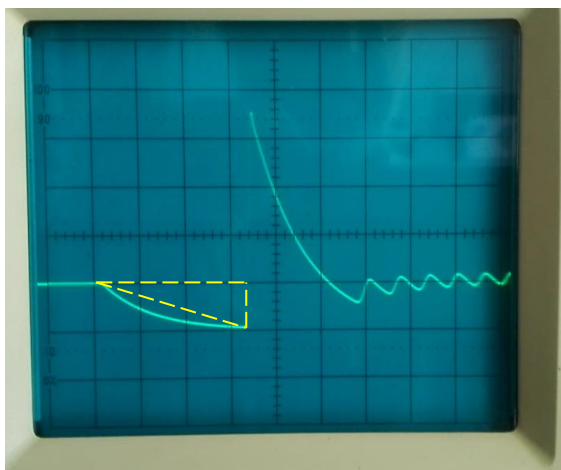
Режим осциллографа AC

Как это доказать? Очень просто!

1. На рисунке слева видно, что луч осциллографа сначала стоит на отметке + 12 Вольт (значение напряжения источника питания на стоке закрытого транзистора, следовательно, и с концом катушки индуктивности). Затем, когда ключ открыт, луч осциллографа плавно опускается до напряжения 0 Вольт. **Это может быть только в том случае, если к положительному значению напряжения 12 вольт мы прибавим отрицательное значение напряжения, то есть -12 Вольт. Только в этом случае мы получим: $(+12В) + (-12В) = 0В$.**

2. На рисунке справа, когда осциллограф переведён в режим измерения переменного напряжения AC, луч осциллографа, подключённого к концу катушки индуктивности и стоку транзистора, теперь будет отмечать значения напряжения различного знака, так как они находятся по обе стороны от линии нуля. В предыдущем видео фрагменте я показывал поведение луча в момент, когда происходит переключение между двумя режимами осциллографа.

Для удобства восприятия я растянул по горизонтали осциллограмму, приведённую выше. В этом случае лучше видно, что если к площади первого треугольника прибавить не вошедшую в него дугу, а из площади второго треугольника вычесть не входящую в него дугу, то даже на глаз легко можно заметить равенство двух треугольников, площади которых пропорциональны накапливаемой и отдаваемой энергии катушкой индуктивности. Следовательно, никакой прибавки за счёт обратной ЭДС в рассматриваемой здесь схеме нет и быть не может. Те, кто утверждают обратное, они осознанно или неосознанно распространяют дезинформацию и пускают начинающих исследователей по ложному следу.



Прибавку в катушке индуктивности можно получить, но при определённых условиях:

- 1) если мы сумеем подключиться с помощью катушек индуктивности к внешним источникам энергии – волнам в Мировой среде и синхронизируется с ними;
- 2) если показанные здесь явления в катушках индуктивности смогут спровоцировать трансмутацию материалов, входящих в зону влияния катушки индуктивности.

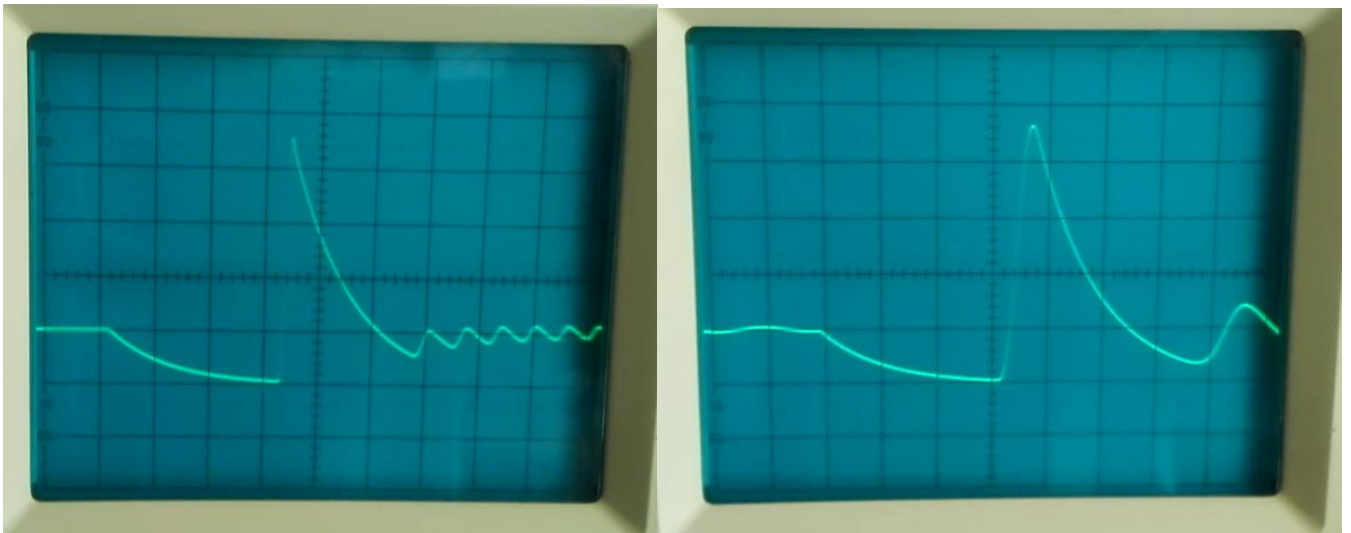
В первом и втором случае мы уже сможем рассчитывать на разницу вкладываемой и получаемой обратно энергии в катушку индуктивности. При этом, например, локально может наблюдаться понижение температуры, исчезновение сопротивления в проводнике, начинаться само разгон и так далее. Конечно, внешние источники энергии будут предпочтительнее, чем применение трансмутирующих материалов, так как со временем отработанные материалы нужно будет заменять на новые. Но, как говорится, иногда, на безрыбье и рак рыба.

Не забудем, что материалы, находящиеся в магнитном поле изменяют свой объём. Это явление называется магнестрикцией. Скоро появится ролик на эту тему. Теперь по первой серии опытов вкратце сказано всё.

7. Опыт с катушкой индуктивности с замкнутым сердечником

Во второй серии опытов не замкнутый сердечник катушки (стержень) заменён на замкнутый сердечник (кольцо). Увеличен диаметр провода в катушке и снижено число витков.

Замена катушки индуктивности позволила качественно оценить разницу обратной ЭДС двух различных по исполнению и по принципу работы катушек индуктивности. Ниже приведены две осциллограммы, снятые у двух разных катушек индуктивности при неизменных остальных параметрах – настройке осциллографа, частоте следования импульсов, их скважности и напряжении источника питания.

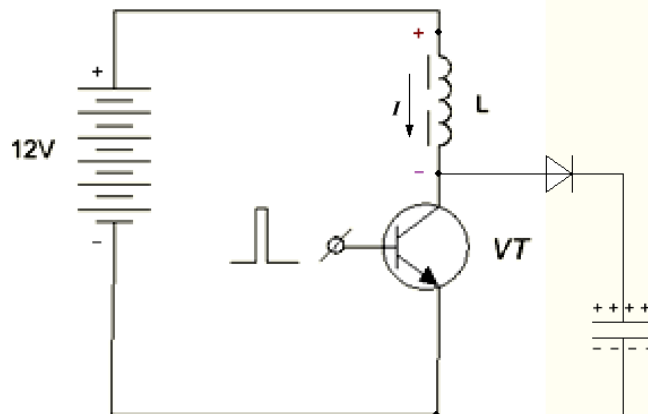


Как видно, что характер накопления и отдачи энергии практически не изменился – как говорится, сколько дал, столько и взял, хотя длительности процессов немного изменились.

Смотрим видеотреугольник:

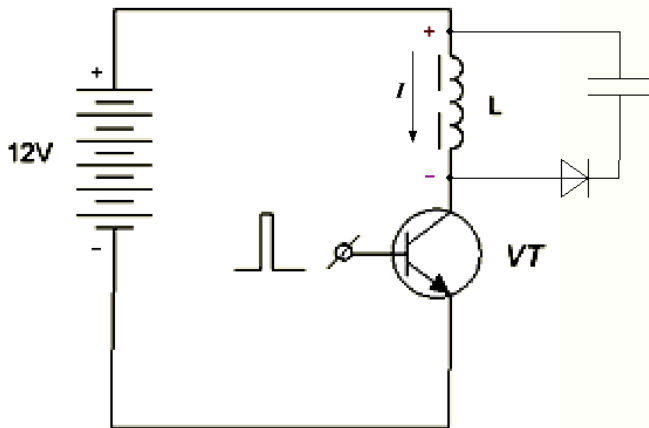
Чем обычно заняты исследователи, собирающие подобные схемы? Как правило, после предварительного анализа, они стараются снять с катушки индуктивности наибольшее напряжение. Сделаем это и мы.

Ниже представлена схема зарядки конденсатора через диод за счёт тока, возникающего при обратной ЭДС в катушке индуктивности. Таким образом, будучи заряженным, конденсатор не может обратно разрядиться через схему, длительно сохраняя в себе электрическую энергию.

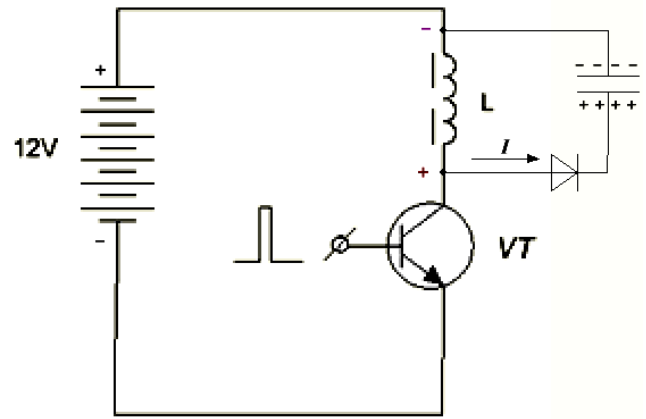


По этой схеме конденсатор заряжался до напряжения около 600 Вольт. Высокое напряжение на конденсаторе – это главный признак обратной ЭДС в катушке индуктивности.

Некоторые посетители канала задавали мне вопрос о том, что такое **рекуперация электрической энергии** и, какова её схема? Ниже на схеме я привожу две фазы рекуперации, тем более, что они являются прямым доказательством переполюсовки напряжения, возникающей на концах катушки индуктивности во время самоиндукции ЭДС и обратной ЭДС.



1-я фаза – ключ открыт и происходит зарядка катушки



2-я фаза – ключ закрыт и происходит зарядка конденсатора

На рисунке видно, что в первой фазе, что когда ключ открыт, ток идёт по катушке и за счёт ЭДС самоиндукции происходит накопление энергии в сердечнике катушки индуктивности. Здесь катушка вместе с сердечником временно является потребителем энергии и запасает её. Полярность напряжения на катушке в первой фазе указана на её концах.

Во второй фазе, когда ключ заперт, и ток в цепи отсутствует, катушка индуктивности, накопив энергию в первой фазе, сама временно становится источником энергии. При этом обратная ЭДС приводит к появлению в катушке тока, который через диод заряжает конденсатор. Полярность напряжения на катушке во второй фазе также указана на её концах.

Видно, что в момент запириания ключа, скачком меняется напряжение на концах катушки. Если в катушке индуктивности не возникало бы переполюсовки, то, конечно, ни о какой зарядке конденсатора не могло бы быть речи, а по-другому в этой схеме зарядить конденсатор невозможно.

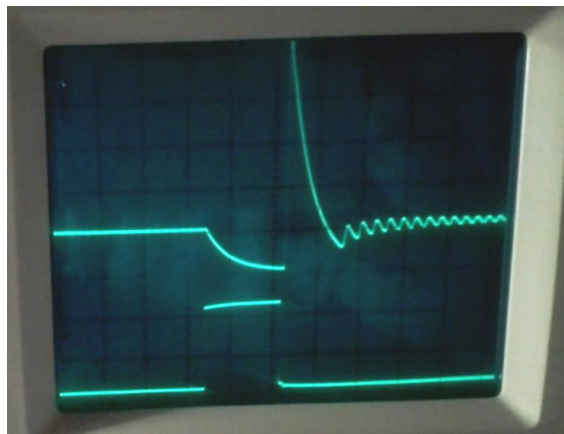
И так, в схеме рекуперации ток в катушке индуктивности направления не меняет, а напряжение на её концах меняется на обратное. Все приведённые выше рассуждения и опыты показаны в видеофрагменте. На этом, как правило, у многих исследователей работа заканчивается. Но, я полагаю, что на этом ещё рано ставить точку.

8. Вывод

Распознать присутствие обратной ЭДС в катушке гораздо легче, чем ЭДС самоиндукции. Для этого достаточно подключить щуп осциллографа к концам катушки и наблюдать релаксацию деформации среды (в ответ на деформацию этой среды) в виде быстрого и высоковольтного положительного выброса напряжения.

Деформация среды, о которой шла речь в этом опыте, носит характер поперечной деформации. Если нужно увидеть отклик непосредственно эфира, то катушка должна быть свободна от сердечника. Но можно взять катушку с сердечником, в этом случае мы будем наблюдать отклик того материала, из которого сделан сердечник катушки.

Ниже на фото показана осциллограмма импульса напряжения, который возникает вслед за обратным фронтом прямоугольного импульса, который обычно и называют обратной ЭДС.



Как видно, обратный импульс ЭДС обычно гораздо выше и быстрее прямого и длится по времени короче основного. Мы можем наращивать ток в катушке как угодно быстро, но обратный импульс всегда будет отражать только свойства сердечника и катушки индуктивности. Он будет максимально высоким и быстрым при одном условии, если задний фронт прямоугольного импульса, который отвечает за скорость обрыва тока в цепи, будет достаточно быстрым.

Можно придумать много **подобий** этому процессу, которые обычно называют физическими моделями, например, предварительно сжатая пружина, с концов которой очень быстро сняли напряжение.

В любом случае ЭДС самоиндукции и обратная ЭДС, как две взаимообратные фазы импульсного взаимодействия на окружающую среду могут быть проявленными только через ток в катушке индуктивности.

Несмотря на видимую простоту этого материала, вместо того, чтобы задавать мне поверхностные вопросы, я рекомендую начинающим исследователям просмотреть этот материал несколько раз с некоторыми перерывами, иначе он не сможет стать частью вашего мировоззрения.

На этом тема, заявленная в названии этой работы, исчерпана. За бортом остались другие явления, сопровождающие обратную ЭДС, с которыми мы познакомимся в следующей работе.

20.03.2019 г.