

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-информационных технологий

Исследование явления насыщения ферромагнитных материалов

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 461 группы
направления 44.03.01 «Педагогическое образование»


профиль "Физика"

физического факультета

Шалыгина Ильи Андреевича

Научный руководитель

к. физ.- мат. наук, доцент


16.06.18

В.Б. Гаманюк

Заведующий кафедрой

д. физ.- мат. наук, профессор


16.06.18

Б.Е. Железовский

Саратов 2018 год

Введение

В настоящее время в школьной программе по физике профильного обучения описанию свойств магнетиков не уделено должного внимания. Однако, в то же время указанные вещества нашли широкое применение в различных электромагнитных устройствах и приборах. Без магнитопроводов из ферромагнитных материалов нельзя изготовить трансформатор. Катушки индуктивности, которые используются во всех приемо-передающих радиоустройствах, в качестве сердечников часто используются магнетики. Многие электроизмерительные приборы основаны на взаимодействии магнитных полей постоянного магнита с током в проводнике. Подобных примеров из науки и техники можно привести достаточно много.

Стоит отметить, что среди магнетиков особо важная роль принадлежит ферромагнетикам. Они, будучи помещенными во внешнее магнитное поле индукции B_0 , способны внутри себя создать поле, индукция B которого многократно (до нескольких сотен тысяч раз) превышает B_0 . Однако по мере роста B_0 эффект усиления начинает быстро снижаться и, начиная с некоторого значения индукции внешнего поля B_0 , пропадает полностью. Указанное состояние магнетика названо *насыщением*. При насыщении существенным образом ухудшаются параметры устройств, в которых использованы ферромагнитные материалы. Поэтому эти обстоятельства должны обязательно учитываться при конструировании соответствующей аппаратуры. Таким образом, с целью формирования у молодежи технической культуры и расширения кругозора информацию о свойствах магнетиков и явлениях, в них происходящих, нужно сообщать уже со школьной скамьи. Этими соображениями и продиктовано написание настоящей выпускной квалификационной работы. Её следует рассматривать как некое учебно-методическое пособие, ориентированное скорее на самих учителей, чем на учащихся.

Цель работы – составление учебно-методического пособия, которое содержало бы, как и теоретическое обоснование свойств ферромагнетиков, так

и экспериментальную базу по исследованию явления насыщения ферромагнетиков и его последствий для различных радиотехнических устройств.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи** дипломного исследования:

1. Ознакомится с учебной и технической литературой по выбранной теме.
2. Адаптировать объяснение наличия различных магнитных свойств вещества для школьного уровня знаний.
3. Описать явление насыщения у ферромагнетиков.
4. Разработать установку, демонстрирующую наступление насыщения ферромагнетиков, а также определяющую величину тока насыщения.
5. Рассмотреть влияние насыщения ферромагнетиков на работу электромагнитных приборов и устройств.

Работа состоит из **введения, основной части из трёх разделов, заключения и списка использованных источников.**

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы.

Основная часть содержит необходимые теоретические сведения по явлению магнетизма и явлению насыщения, а также результаты по конструированию установки, демонстрирующей наступление явления насыщения в ферромагнетиках.

В **заключении** обсуждаются результаты проделанной работы и дается им оценка.

Основная часть

Основная часть работы начинается с описания магнитных свойств вещества. Первое толкование природы магнетизма принадлежит Андре Мари Амперу. Эту гипотезу назвали в его честь. Согласно этой гипотезе свойства постоянных магнитов обусловлены циркулирующими в них одинаково направленными незатухающими **«молекулярными» токами.**

Современная же теория установила, что магнетизм вещества обусловлен тремя факторами:

- орбитальным движением электронов вокруг ядер атомов;

- собственным, или спиновым, моментом электронов;
- собственным, или спиновым, моментом атомных ядер.

Далее по ходу **основной части** выпускной работы рассказывается о магнитных свойствах атомов: даются понятия таким физическим величинам как вектор намагничивания, магнитная восприимчивость магнетика, относительная магнитная проницаемость среды, орбитальный магнитный момент.

Дальше говорится о том, что, магнетики можно классифицировать по результату воздействия внешнего магнитного поля на них: существуют **диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики**.

Диамагнитный эффект заключается в намагничивании вещества навстречу направлению действующего на него внешнего магнитного поля, что приводит к его ослаблению. Диамагнетиками могут быть как твердые вещества, так и жидкости, и даже газы. К диамагнетикам можно отнести: парафин, золото, цинк, медь, висмут, азот, молекулярный водород и некоторые органические и неорганические соединения.

Впервые диамагнетизм наблюдал в 1778 году голландский ученый Антон Бругманс. Он обнаружил, что такие материалы, как висмут и сурьма, внесенные в область действия внешнего магнитного поля, отталкиваются от него. Сам термин является сочетанием двух слов: **диа** – по-гречески означает расхождение (в данном случае силовых линий) и **магнетизм**.

Парамагнетики состоят из атомов, у которых результирующий магнитный момент не равен нулю. В отсутствие внешнего поля эти моменты ориентированы хаотически и поэтому вещество в целом не проявляет магнитных свойств. При внесении парамагнетика в магнитное поле он намагничивается, создавая собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним и поэтому его усиливающее. Указанный эффект называется **парамагнитным**.

Особый класс магнетиков образуют вещества, способные сохранять намагниченность в отсутствие внешнего магнитного поля. По названию

наиболее распространенного из таких веществ – железа (*ferrum*) они получили название ферромагнетиков. Ферромагнетики являются сильномагнитными веществами. Их намагниченность в огромное (до 10^{10}) число раз превосходит намагниченность диа- и парамагнетиков. В отличие от слабомагнитных материалов, намагниченность которых линейно зависит от напряженности внешнего магнитного поля, в поведении ферромагнетиков наблюдаются явления сравнительно быстрого насыщения намагниченности. В ферромагнетиках наблюдается явление *гистерезиса*, то есть запаздывание индукции магнитного поля по отношению к напряженности намагничивающего поля. *Гистерезис* позволяет наблюдать существование *остаточной намагниченности*. Существование *остаточной намагниченности* ферромагнетиков делает возможным изготовление из них постоянных магнитов.

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура T_c , при которой области спонтанного намагничивания распадаются и вещество утрачивает ферромагнитные свойства. Эта температура называется *точкой Кюри*.

Существует еще один особый тип магнетиков – *ферримагнетики*. Это материалы, которые имеют доменную структуру, состоящую из двух или более подрешеток, связанных антиферромагнитно (антипараллельно). Подрешетки в них образованы атомами (ионами) различных химических элементов или неодинаковым их количеством. Природным ферримагнетиком является *магнетит* – $FeO \cdot F_2O_3$. В отличие от ферромагнетиков, они имеют *высокое значение удельного сопротивления, меньшую величину индукции насыщения*.

Логичным было также рассмотреть в **основной части** выпускной работы применение магнетиков. И конечно же, первое, что попадает под рассмотрение – постоянные магниты. Само слово «магнит» происходит от греческого словосочетания, которое переводится как «камень из Магнесии», по названию азиатского города, где были в древности открыты залежи магнетита – магнитного железняка.

Постоянные магниты из современных материалов находят широчайшее применение в различных областях науки, техники, народного хозяйства и, традиционно, в медицине. Все чаще их начали изготавливать из ферритов.

Использование ферритов для изготовления постоянных магнитов далеко не исчерпывает их возможности. В ходе работы рассматривалось также применение ферритов в оперативной памяти, а также применение магнитомягких ферритов для изготовления сердечников для катушек индуктивности и трансформаторов.

Далее начинается **экспериментальный** раздел, посвященный исследованию явления насыщения в ферромагнетиках и его возможных последствиях.

Первый из рассматриваемых опытов – обнаружение явления насыщения. В качестве испытуемого объекта был выбран ферромагнетик – ферритовый магнитопровод ETD 29. Такое решение продиктовано следующими причинами: во-первых, по сравнению с классическими ферромагнетиками ферриты входят в насыщение при сравнительно малых полях (не более 300 мТ), что существенно упрощает проведение эксперимента. Во-вторых, обучение не должно плестись в хвосте научно-технического прогресса, и поэтому учащихся следует знакомить с современными магнитными материалами, обладающими широкими возможностями, которыми ферриты и являются. Далее, выбранный сердечник позволяет использовать для катушки цилиндрический каркас, более простой в изготовлении. И, наконец, малые габариты не требуют громоздких магнитных систем для создания внешних насыщающих полей. Вначале эксперимента катушка индуктивности соединялась последовательно с резистором и подключалась к источнику переменного напряжения. Были измерены падения напряжений на элементах цепи. Затем в катушку помещался ферритовый сердечник, и она устанавливалась в зазоре магнитопровода электрического магнита. Оказалось, что при определенном токе в обмотке электромагнита распределение напряжений на катушке и резисторе стало таким же, как и в начале опыта. Таким образом, ферритовый сердечник

перестал влиять на величину индуктивности катушки. Такое возможно только при его насыщении

Второй опыт касается трансформаторов. Насыщение их магнитопроводов может привести к сильным искажением сигналов во вторичных обмотках. Когда по первичной обмотке протекают переменные токи, которые начинают «заходить» в область насыщения, индукция и, следовательно, магнитный поток Φ в сердечнике будет ограничиваться. При этом, несмотря на то рост амплитуды тока в первичной обмотке, возникающее насыщение уменьшит скорость изменения магнитного потока, что пагубно скажется на величине и форме выходного напряжения трансформатора, что недопустимо.

Для подтверждения возникновения указанного явления на синусоидальном токе был изготовлен трансформатор на том же сердечнике, первичная обмотка которого содержала 300 витков, а вторичная – 88 витков. Оказалось, что уже при малом напряжении первичной обмотки, напряжение на выходе трансформатора по форме уже заметно отличается от синусоидальной. Следовательно, важно предварительно определить величину силы тока, соответствующего началу насыщения магнитных материалов, которые либо уже вошли в состав радиоэлементов, либо будут в них использованы. Это особенно важно в случаях больших мощностей переменного тока или (и) когда в цепях присутствует постоянная составляющая тока.

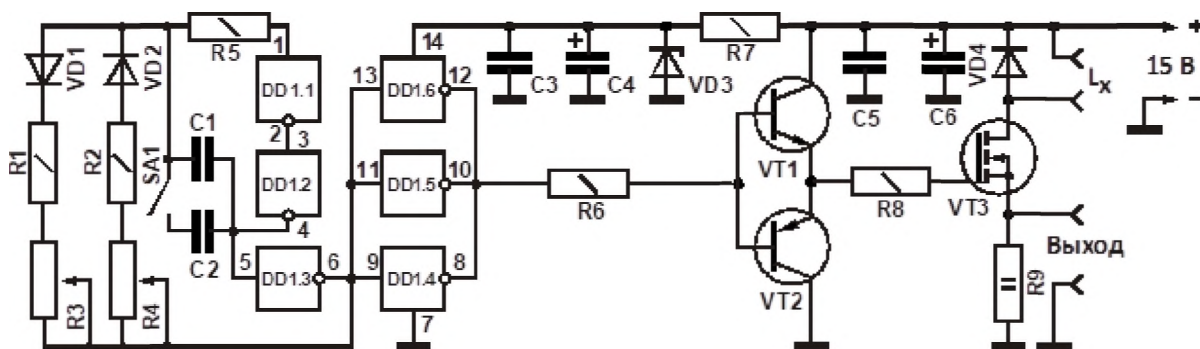


Рисунок 1 . Универсальная схема устройства для определения тока насыщения

В настоящей работе было проанализировано несколько схем по определению тока насыщения. Из них была выбрана самая совершенная. Она представлена на рисунке 1.

Эксперимент проводился с катушкой, состоящей из 800 витков провода. На полученной осциллограмме был отчётливо виден излом кривой, свидетельствующий о появлении насыщения в сердечнике. При отсутствии насыщения излом наблюдаться не будет и зависимость станет линейной. Для того чтобы определить ток насыщения, нужно по осциллограмме определить напряжение, при котором наблюдается насыщение, а затем по известной формуле закона Ома определить ток. Сопротивление на выходе нам известно.

Ну и **последний эксперимент** – подтверждение существования точки Кюри для ферромагнетиков. В справедливости можно убедиться посредством весьма простого опыта. Для этого потребуется постоянный магнит, желательно слабый для большей убедительности эксперимента, швейная иглолка с ниткой, два штатива с муфтами и лапками и спиртовая горелка. На одном из штативов с помощью лапки закрепляется магнит, а к лапке второго штатива, расположенного близко к первому, привязывается нитка, свободный конец которой вдет в ушко иглолки и завязан. Для удобства наблюдения за поведением иглолки к ней прикреплен небольшой флажок из кусочка изоляции.

«Примагнитим» иглолку к любому из полюсов магнита. Под иглолкой установим спиртовую горелку и подожжем её. Горелку нужно расположить так, чтобы иглолка попала в область пламени с наибольшей температурой. Спустя некоторое время иглолка оторвется от магнита. Это означает, что материал иглолки – сталь перестала быть ферромагнетиком. После остывания иглолка снова притягивается к магниту. Это означает, что ферромагнитные свойства иглолки восстановились.

Заключение

В **заключении** хотелось бы подвести итог проделанной работе и обсудить её результаты.

В **теоретической** части представлен обзор литературы, позволяющий уяснить природу магнитных свойств диамагнетиков, парамагнетиков и фер-

ромагнетиков. При этом, в соответствие выбранной теме, основное внимание уделено свойствам ферро- и ферромагнетиков, включая зависимость их намагничивания от температуры (закон Кюри). Даны примеры использования таких магнетиков в науке, технике и повседневной жизни.

В экспериментальном разделе работы предложен опыт, подтверждающий возможность возникновения насыщения в ферритах, постановка которого вполне реальна даже в рамках школьного физического кабинета. Показано, что при увеличении тока первичной обмотки трансформатора выше порога насыщения его сердечника существенно искажается форма сигнала во вторичной обмотке.

Рассмотрены принципы работы и практические схемы устройств, позволяющих оценить предельно допустимое значение тока катушки с сердечником, предназначенной для работы в цепях переменного тока. Из них выбрана наиболее совершенная по электрическим параметрам, по которой изготовлена приставка к осциллографу для наблюдения временных зависимостей токов в индуктивностях с ферритовыми сердечниками. Такие исследования помогут выбрать оптимальный режим работы элементов индуктивного характера. Приведены результаты экспериментов на изготовленной установке и комментарии к ним.

Описан простой опыт, демонстрирующий потерю магнитных свойств ферромагнетиков при нагревании выше точки Кюри и восстановление утраченных свойств после охлаждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Магнитное насыщение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/402652/page:28/>, свободный (Дата обращения: 25.03.18)

2. Гипотеза Ампера – FizikaKlass.ru. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fizikaklass.ru/fizika-11-klass/elektrodinamika/8445.html>, свободный (Дата обращения: 01.03.18)
3. Магнитная проницаемость. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://msk.edu.ua/ivk/Fizika/Konspekt/Magnitnaya_pronitsayemost.php, свободный (Дата обращения: 01.03.18)
4. Общие сведения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5656983/>, свободный (Дата обращения: 02.02.18)
5. Электричество и магнетизм. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://online.mephi.ru/courses/physics/electricity/data/course/7/7.5.html>, свободный (Дата обращения: 05.03.18)
6. Ферромагнетики. Домены. Гистерезис. Точка Кюри. Спиновая природа ферромагнетизма. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/6231205/page:8/>, свободный (Дата обращения: 27.03.18)
7. Иродов, И.Е. Основные законы электромагнетизма, [Текст]/ И.Е. Иродов. – М.: Высш. шк., 1991. – 287 с.
8. Диамагнетики – Википедия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Диамагнетики>, свободный (Дата обращения: 10.03.18)
9. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм [Текст]/ И.В. Савельев. – Спб.: Лань, 2011. – 352 с.
10. Парамагнетики - Википедия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Парамагнетики>, свободный (Дата обращения: 10.03.18)
11. Ферромагнетики и их свойства. Магнитный гистерезис. Домены. Применение ферромагнетиков. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5443504/page:28/>, свободный (Дата обращения: 10.03.18)

12. Понятие и назначение ферромагнетиков, их характерные свойства. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tutoronline.ru/blog/ponjatie-i-naznachenie-ferromagnetikov-ih-harakternye-svojstva>, свободный (Дата обращения: 02.02.18)
13. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат, [Текст]/ В.А. Ильин. – М.: Просвещение, 1984. – 85 с.
14. Антиферромагнетики и ферриты. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://studopedia.su/5_24195_antiferromagnetiki-i-ferriti.html, свободный (Дата обращения: 02.04.18)
15. Постоянные магниты. Магнитное поле постоянных магнитов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://interneturok.ru/physics/8-klass/belektricheskie-yavleniyab/postoyannye-magnity-magnitnoe-pole-postoyannyh-magnitov-magnitnoe-pole-zemli>, свободный (Дата обращения: 03.02.18)
16. Алешкевич, В.А. Электромагнетизм, [Текст]/ В.А. Алешкевич. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 404 с.
17. Тюшев, А.Н. Курс лекций по физике. Часть 2. Электричество и магнетизм: Учеб. Пособие, [Текст]/ А.Н. Тюшев. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 150 с.
18. Что такое феррит? Свойства, применение, производство. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tvoi-uvelirr.ru/что-такое-феррит-svojstva-primenenie-proizvodstvo-i-cena-ferrita/>, свободный (Дата обращения: 21.03.18)
19. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики, Электричество и магнетизм, Том 2, [Текст]/ Г.С. Ландсберг. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 480 с.
20. Гаманюк, В.Б. Цепи переменного тока, [Текст]/ В.Б. Гаманюк. – Саратов: Центр «Просвещение», 2014. – 82 с.

21. Кислицын, А.Л. Трансформаторы: Учебное пособие по курсу «Электромеханика», [Текст]/ А.Л. Кислицын. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 76 с.
22. Экспериментальное определение параметров сердечника. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru-radio-electr.livejournal.com/729098.html>, свободный (Дата обращения: 01.04.18)
23. Определение тока насыщения катушек индуктивности с магнитопроводами. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nice.artip.ru/opredelenie-toka-nasyshcheniya-katushek-induktivnosti-s-magnitoprovodami>, свободный (Дата обращения: 02.04.18)
24. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники, [Текст]/ К.С. Демирчян. – М.: Просвещение, 2001. – 445 с.
25. Якубов, В.П. Электродинамика: Учебное пособие, [Текст]/ В.П. Якубов. – Томск: НТЛ, 2006. – 148 с.