

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

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОН-  
НОЙ РАБОТЫ


**Определение электрических параметров  
катушки индуктивности**

студента 5 курса 533 группы физического факультета  
направления 44.03.01 «Педагогическое образование»

Кикбаева Александра Новелловича

Научный руководитель:

доцент, к.физ.-мат.н.

  
16.06.18

В.Б. Гаманюк

Зав. кафедрой: профессор, д.физ.-мат.н.

  
16.06.18

Б.Е. Железовский

Саратов, 2018 год

## Введение

Катушки индуктивности являются элементом широчайшего ассортимента радио- и электротехнических приборов. Без них не обходится ни одно радиоприемное и передающее устройство, они являются составной частью электромоторов, из них изготавливают электромагниты и так далее.

Независимо от их конструктивного исполнения, электрическими характеристиками катушек являются их индуктивность  $L$  и сопротивление постоянному току  $R_L$ . Понятия, но не более того, об этих физических величинах учащиеся получают уже в рамках школьной программы. В учебниках перечисляются лишь факторы, определяющие величину индуктивности, но о том, как её определять, ничего не сказано. При изучении электромагнетизма в ВУЗе становится понятным, что получить из теории формулы для расчетов  $L$  можно только для весьма ограниченного числа случаев. В то же время при конструировании радиоаппаратуры необходимо иметь сведения об электрических параметрах катушек. По этой причине были разработаны методы их экспериментального определения. Ознакомление учащихся с этими методами – одна из важных задач профильного обучения как в средней школе, так и на некоторых факультетах высших учебных заведений. Особенно важно об этом знать будущим учителям. Сказанное позволяет считать выбранную тему актуальной.

**Целью** настоящей выпускной квалификационной работы является системное описание известных экспериментальных способов определения  $L$  и  $R_L$  катушек индуктивности.

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

1. Провести теоретико-методологический обзор соответствующей учебной и методической литературы по выбранной теме.
2. Ознакомиться с возможностями различных методов экспериментального определения индуктивности и активного сопротивления катушек.

3. Дать рекомендации по выбору методов, которые целесообразно использовать в лабораторных практикумах.

Работа состоит из **введения, основной части из семи глав, заключения и списка использованных источников.**

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы.

Для того чтобы не отсылать читателя к первоисточникам, в начальных главах приведены необходимые теоретические сведения по теме «Электромагнетизм». Далее подробно описаны известные методы определения электрических параметров катушек индуктивности путем эксперимента. На этой основе проведен критический анализ рассмотренных методов, позволяющий дать рекомендации по их использованию в учебных целях.

В **заключении** подведен итог проделанной работе.

### **Краткое содержание**

Для того чтобы не отсылать читателя к первоисточникам, начальные главы (главы 1–4) содержат необходимые теоретические сведения по теме «Электромагнетизм». К ним относятся описание этапов развития магнетизма как науки, дано толкование понятию «Магнитное поле» и его силовым линиям, приведены определения физических величин (вектора индукции магнитного поля  $\vec{B}$  и его потока  $\Phi$ ) необходимых для количественных оценок свойств магнитных полей и их взаимодействий, описаны явления электромагнитной индукции и самоиндукции. Показано, что используя закон Био-Савара-Лапласа, можно прийти к выводу о том, что магнитный поток через поверхность, ограниченную проводником с током, пропорционален силе этого тока. Так появилась новая физическая величина – индуктивность проводника  $L$ .

В ограниченном числе случаев – для соленоида и тороида индуктивность можно рассчитать по формулам. Для **соленоида** (в системе СИ)

$$L = \mu\mu_0 n^2 V.$$

Здесь  $V = S \cdot l$  – объем соленоида,  $S$  и  $l$  его поперечное сечение и длина катушки соответственно,  $n = N/l$  – число витков  $N$  катушки, приходящееся

на единицу её длины,  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость среды, полностью заполняющей внутренний объем катушки.

Для *тороида* (в системе СИ)

$$L = \frac{\mu\mu_0 n^2 S}{l_m},$$

где  $l_m$  — средняя длина магнитной линии.

Помимо приведенных выражений известны еще и приближенные расчетные (скорее оценочные) формулы величины индуктивности для немногочисленных частных случаев: однослойных и многослойных цилиндрических катушек, катушек с броневым сердечником и некоторых других.

Таким образом, очевидна необходимость разработки способов точного определения параметров катушек из опытов.

С целью облегчить понимания сути возможных методов измерений, в главе 5 дано описание поведения катушек индуктивности и конденсаторов в цепях переменного тока.

Отмечено, что в таких цепях происходит фазовый сдвиг между током и напряжением. Показано как этот сдвиг можно моделировать при помощи векторных диаграмм. Обсуждается природа индуктивного сопротивления катушки. Приведена эквивалентная электрическая схема реальной катушки индуктивности на переменном токе.

Следующая, шестая глава работы, посвящены описанию известных методов измерения электрических параметров катушек индуктивности.

**Метод вольтметра-амперметра.** Он применим в том случае, когда

реактивное сопротивление катушки  $\omega L$  намного больше её активного сопротивления  $R_L$ .

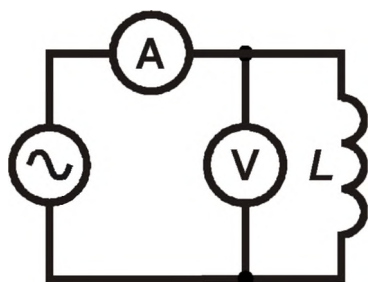


Рисунок 1 - Метод вольтметра-амперметра

Метод вольтметра-амперметра (рисунок 1) не обеспечивает высокой точности измерения (погрешность 5—10%). По этой причине он не используется в промышленной радиоизмерительной аппаратуре, но в силу своей чрезвычайной

ной простоты нашел широко применение в лабораториях учебных заведений для грубой количественной оценки величины индуктивности.

С ростом частоты границы применимости метода расширяются, поскольку теперь условие его применимости –  $\omega L \gg R_L$  начинает выполняться для достаточно больших  $R_L$ . Однако на высоких частотах появляется погрешность измерения, обусловленная собственной емкостью катушки индуктивности  $C_L$  и входной емкостью вольтметра  $C_V$ . Иными словами, образуется параллельный колебательный контур, сопротивление которого возрастает по мере приближения частоты питающего схему переменного напряжения к частоте собственных колебаний контура. В результате измеренное значение индуктивности может оказаться заметно **большим** действительного.

Более информативным и точным является **резонансный метод** опре-

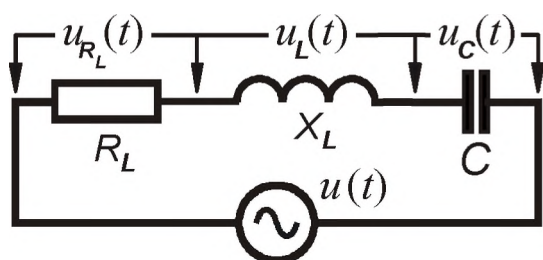


Рисунок 2 - Резонансный метод

деления параметров катушки индуктивности (рисунок 2). Идея метода основана на том, что в цепи переменного тока, состоящей из последовательно соединенных резистора  $R$ , идеальной катушки индуктивности  $L$  и конденсатора емкостью

$C$ , может возникнуть резонанс, который получил название **резонанса напряжений**.

Момент возникновения резонанса обнаруживается по максимуму показаний вольтметра переменного  $U_{Cmax}$  тока, присоединенного к конденсатору. При этом следует использовать прибор, способный работать на частотах несколько выше резонансной и с внутренним сопротивлением намного большим реактивного сопротивления конденсатора на этой частоте. При резонансе напряжение на индуктивном сопротивлении катушки будет таким же, как и на конденсаторе:  $U_{Lmax} = U_{Cmax}$ . Если значение емкости конденсатора  $C$  заранее известно и частота  $\omega_p$  резонанса определена, то индуктивность катушки можно рассчитать по формуле Томсона.

Поскольку при резонансе цепочка имеет чисто активное сопротивление, равное активному сопротивлению катушки, его можно найти по измеренному напряжению на зажимах  $RLC$  – цепочки и силе тока в ней.

Таким образом, наряду с индуктивностью катушки резонансный метод позволяет получить информацию и о её активном сопротивлении. Погрешность метода определяется точностью определения момента наступления резонанса и точностью задания величины емкости конденсатора.

Проведено тестирование резонансного метода с помощью программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ».

Большое внимание в работе уделено *мостовым методам измерения*. Это объясняется тем, что они нашли широкое применение в измерительной аппаратуре, поскольку являются наиболее точными и удобными с точки зрения проведения измерений. Их принцип действия основан на сравнении измеряемой величины с образцовой мерой.

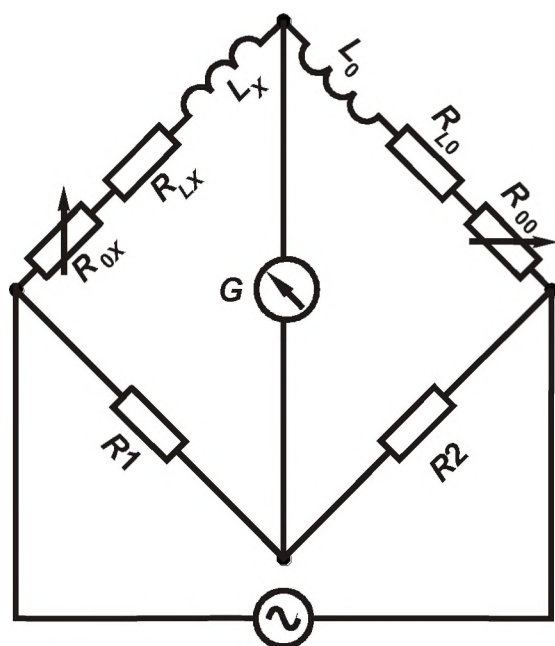


Рисунок 3 - Мост с эталонной индуктивностью

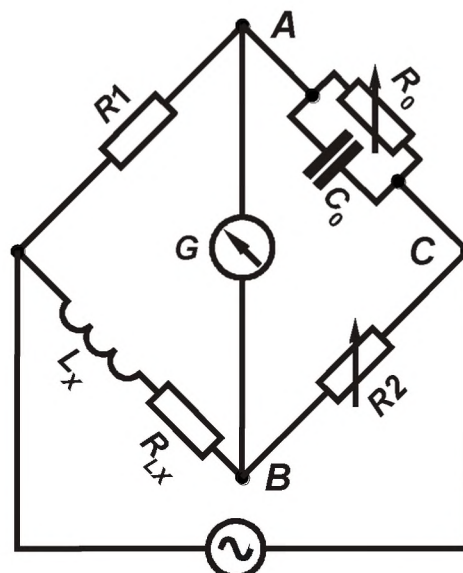


Рисунок 4 - Мост с эталонной емкостью

При измерениях индуктивности катушек (или величины емкости конденсаторов) мост необходимо питать переменным током. Рассмотрены два варианта схем измерения. В первом случае эталоном служит индуктивность (рисунок 3), во втором – емкость (рисунок 4). Для каждого из них с помощью

фазовых диаграмм получены рабочие формулы для расчетов величин индуктивности катушки и её активного сопротивления. Отмечается, что подобным способом можно измерять и емкости конденсаторов.

Несмотря на высокую точность, мостовые методы затруднительно использовать в учебных лабораториях вследствие необходимости иметь достаточно широкий набор высокоточных конденсаторов или катушек индуктивности.

Наряду с традиционными схемами измерений параметром катушек индуктивности существуют и другие возможности. Например, в качестве до-

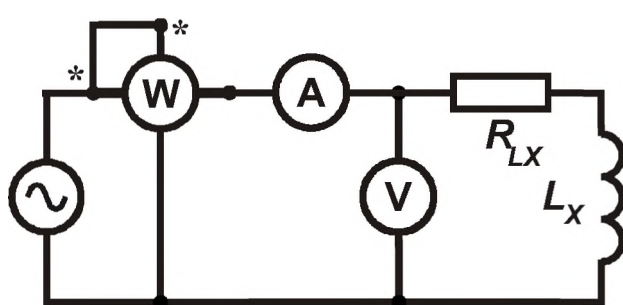


Рисунок 5 - Схема измерений с ваттметром активной мощности

полнения к вольтметру-амперметру можно использовать ваттметр активной мощности переменного тока (рисунок 5). Так как в данном случае эта мощность выделяется только на активном сопротивлении катушки, его легко определить по показаниям ват-

тметра и амперметра. Данный метод весьма прост, однако требует использования трех электроизмерительных приборов различного типа. Из них – ваттметр активной мощности переменного тока довольно редко бывает в арсенале учебных лабораторий. Кроме того, такие приборы, выпускаемые промышленно, рассчитаны на измерение больших мощностей (сотни ватт), что сильно ограничивает их применение в учебных целях.

Особо можно выделить еще один не стандартный способ определения

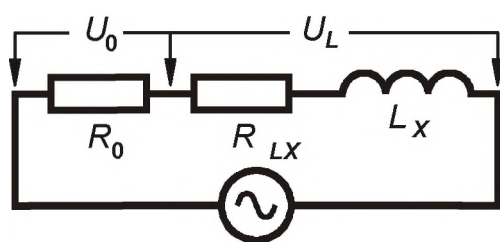


Рисунок 6 - Метод измерения с эталонным резистором

$L$  и  $R_L$ , схема которого изображена на рисунке 6. Для его реализации, помимо источника переменного тока, без которого, впрочем, нельзя обойтись в каждом случае, нужен вольтметр и резистор, сопротивление которого известно с высокой точностью. В

качестве такового можно использовать магазин сопротивлений, имеющийся

практически в любой учебной лаборатории. Данное обстоятельство существенно образом упрощает проведение измерений.

Было проведено компьютерное «испытание» предлагаемого метода,



*Рисунок 7 – Результаты натурального эксперимента*

После такого тестирования проводился натуральный эксперимент (рисунок 7) по определению параметров эталонной катушки с индуктивностью  $L = 0,5$  Генри и активным сопротивлением  $R_L = 140$  Ом на частоте 200 Гц. Расчеты, проведенные на основании опыта, по формулам для  $L_X$  и  $R_{LX}$ , полученным в работе, составили:

$$L = 0,489 \text{ Гн}, R_L = 138,9 \text{ Ом}.$$

Таким образом, данный метод, будучи наименее затратным, оказался вполне пригодным для использования в метрике.

### **Заключение**

Поскольку катушки индуктивности являются важнейшими компонентами большого числа различных по функциям радиотехнических приборов, необходимо уметь определять их электрические параметры. К сожалению, в подавляющем числе случаев это приходится делать при помощи эксперимента.



Говорить убедительно о физических величинах, не зная как их измерить довольно трудно. В настоящей работе подробно и всесторонне описаны известные методы определения индуктивности катушек и их активных сопротивлений. Знания об этих методах представляют собой важную компоненту общетехнического образования молодежи и в определенной степени могут способствовать выбору будущей профессии.

Для лучшего понимания существа работы в начальных главах приведены необходимые теоретические сведения по теме «Электромагнетизм».

С целью подтверждения целесообразности предлагаемых схем измерений была использована программа «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ». Тем самым дан пример компьютерного моделирования, на основании которого можно решить – «быть или не быть?» данному методу.

Кроме всего прочего, изложенные в дипломе материалы должны содействовать постановке лабораторных работ и демонстрационных экспериментов при изучении магнитных явлений в школе, и даже в ВУЗе.

Остается надеяться, что проделанная работа не бесполезна, и найдет применение в школе и других учебных заведениях технической направленности.

#### **Список использованных источников**

1. История изобретения магнита [Электронный ресурс], URL: <http://istoriz.ru/magnit-istoriya-izobreniya.html> (дата обращения 14.11.2017).
2. Откуда взялись магниты? [Электронный ресурс], URL: <http://nezna.li/categories/istoriya/18178-otkuda-vzyalis-magnity> (дата обращения 11.12.2017).
3. Магнит – Википедия [Электронный ресурс], URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Магнит> (дата обращения 21.12.2017).
4. Магнетизм – от Фалеса до Максвелла [Электронный ресурс], URL: <http://elektrik.info/main/fakty/948-magnetizm-ot-falesa-do-maksvella.html> (дата обращения 21.12.2017).

5. Ампер Андре-Мари [Электронный ресурс], URL: [http:// tunnel.ru/post-ampere-andre-marielectrik](http://tunnel.ru/post-ampere-andre-marielectrik) (дата обращения 25.12.2017).
6. Мякишев Г.Я. Физика. Электродинамика. 10-11классы / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков, Б.А.Слободсков. М.: Дрофа, 2010. 476 с.
7. Магнитное поле и его характеристики — Студопедия [Электронный ресурс], URL: [https://studopedia.ru/7\\_97273\\_magnitnoe-pole-i-ego-harakteristiki.html](https://studopedia.ru/7_97273_magnitnoe-pole-i-ego-harakteristiki.html) (дата обращения 24.12.2017).
8. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника./А.С.Касаткин, М.В.Немцов. М.:Академия, 2005. 544 с.
9. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 Т. Т. 2. Электричество и магнетизм / И.В. Савельев. М.: Наука, 2009. 442 с.
10. Явление электромагнитной индукции [Электронный ресурс], URL: <http://mirznanii.com/a/323994/yavlenie-elektromagnitnoy-induktсии> (дата обращения 27.12.2017)
11. Для чего нужна катушка индуктивности [Электронный ресурс], URL: [https://electric-220.ru/news/dlja\\_chego\\_nuzhna\\_katushka\\_induktivnosti/2015-01-16-803](https://electric-220.ru/news/dlja_chego_nuzhna_katushka_induktivnosti/2015-01-16-803) (дата обращения 02.12.2017).
12. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Цепи переменного тока: учебное пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Изд-во. СРОО «Центр» Просвещение», 2014. с.82.
13. Как измерить индуктивность катушки [Электронный ресурс], URL: <https://www.kakprosto.ru/kak-32257-kak-izmerit-induktivnost-katushki> (дата обращения 7.01.2018).
14. 2.1.1. Измерение индуктивности резонансным методом [Электронный ресурс], URL: <https://studfiles.net/preview/913260/page:2/> (дата обращения 09.01.2018).
15. Измерение параметров катушек индуктивности [Электронный ресурс], URL: [http://zpostbox.ru/izmerenie\\_parametrov\\_katushek\\_induktivnosti.html](http://zpostbox.ru/izmerenie_parametrov_katushek_induktivnosti.html) (дата обращения 17.12.2017).

16. Начла ЭЛЕКТРОНИКИ.[Электронный ресурс]: электронный конструктор. Алма-Ата, 1998.
- 17, Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Исследование электрических цепей при помощи электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ»: учебно-методическое пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева под ред. Б.Н.Железовского. Саратов: Изд-во СРОО «Центр «Просвещение», 2014. с.69.
- 18, Мостовые схемы в электрических измерениях [Электронный ресурс], URL: <https://forum220.ru/bridge-circuits.php> (дата обращения 09.01.2018).
- 19, АКТАКОМ - АМ-3125 Измеритель RLC Электронный ресурс], URL: [aktakom.ru/kio/index.php](http://aktakom.ru/kio/index.php)... (дата обращения 29.01.2018).
- 20, Измерение индуктивности и емкости [Электронный ресурс], URL: <http://elenergi.ru/izmerenie-induktivnosti-i-emkosti.html> (дата обращения 12.02.2018).