

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Девятовская Александра Денисовна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение резонансного трансформатора Тесла. Совмещение LC и
волнового резонанса**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа № 18352

Научный руководитель:

Быков Е.В.

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф-м.н. Симонов А.А.

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация

На протяжении столетий люди используют электричество. В связи с этим в мире появились 2 проблемы - накопление и передача электроэнергии на большие расстояния беспроводным методом. Этим вопросом занимался известный изобретатель Никола Тесла в конце XIX — начале XX веков. Одной из попыток являлось изобретение резонансного трансформатора, или же катушки Тесла. Этот прибор был запатентован 22 сентября 1896 года как «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала». Также, была попытка создания башни Вондерклиф (Wardenclyffe Tower). Однако, данные проекты не получили дальнейшего развития.

Целью данной работы является изучение принципа работы резонансного трансформатора Тесла, особенности его настройки, а также способа совмещения волнового и LC резонансов.

Простейший резонансный трансформатор Тесла состоит из первичной и вторичной обмотки, как обычный трансформатор. Его отличием является то, что в трансформаторах Тесла используются резонансные эффекты для получения высоких напряжений.

В данной работе трансформатор был модифицирован: был заменен индуктивный индуктор первичной обмотки на емкостной индуктор – пластину. Возбуждение генерации на вторичной обмотке происходит не магнитным, а электрическим полем.

В работе был определен волновой резонанс трансформатора Тесла и была проведена работа по совмещению LC резонанса с волновым резонансом.

План

Аннотация.....	2
Введение.....	4
1. Теоретическая часть:	
1.1 Устройство резонансного трансформатора Тесла.....	6
1.2 Что такое волновой и LC резонанс.....	7
1.3 Принцип работы.....	8
2. Практическая часть:	
2.1 Определение волнового резонанса.....	9
2.2 Совмещение LC и волнового резонанса.....	11
Заключение.....	13
Список используемой литературы.....	14

Введение

Курсовая работа выполнена по теме – «Изучение резонансного трансформатора Тесла. Совмещение LC и волнового резонанса».

Объект исследования: резонансный трансформатор Тесла.

Актуальность исследовательской работы:

Электроэнергия является важнейшей компонентой нашего мира. На данный момент она производится на электростанциях. Однако большая часть энергии должна быть потреблена сразу, как она произвелась, ее невозможно “законсервировать” в крупных размерах. На протяжении столетий ученые ставят перед собой задачу найти способ накопления и передачи огромной электроэнергии на большие расстояния. 22 сентября 1896 года Никола Тесла запатентовал резонансный трансформатор Тесла как «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала». Он рассматривал его как возможность передачи энергии на расстояния. Как писал сам Тесла в своем патенте №787412: “I have found it practicable to produce in this manner an electrical movement thousands of times greater than the initial—that is, the one impressed upon the secondary by the primary A—and I have thus reached activities or rates of flow of electrical energy in the system E' C E measured by many tens of thousands of horsepower.” Примерный перевод: “Я нашел возможным производить таким образом электрическое движение (ток), в тысячу раз превышающее начальное, то есть, то, которое было подано на вторичную обмотку от первичной обмотки А. И именно так я достиг активности (мощности) или скоростей (объема) потока электрической энергии в система E'CE (E' – земля, C – вторичная обмотка, E – терминал), измеряемых многими десятками тысяч лошадиных сил”. То есть, Тесла получил прибор, который может получать большие напряжения за счет эффекта резонанса. Одной из первых попыток передачи энергии на расстояния являлось создание башни Вондерклиф, в которой были использованы резонансные трансформаторы.



Рис. В.1 Башня Вондерклиф

Башня Ворденклиф являлась первой беспроводной телекоммуникационной башней. Тесла начал планировать башню в 1898 году, в 1901 году началось ее строительство около пролива Лонг-Айленд. Проект поддержал Дж. П. Морган. Однако к июлю 1904 года Дж. П. Морган с другими инвесторами решили отказаться от дальнейшего финансирования, а в мае 1905 года произошла отмена финансирования строительства башни. Целью Теслы являлось совмещение передачи энергии с радиовещанием и направленной беспроводной связью, которое бы позволило избавиться от многочисленных высоковольтных линий электропередачи. Создание данной башни частично уменьшило бы использование электростанций и, соответственно, полезных ископаемых, что было бы экологически выгодно. Однако до конца не изучено влияние ЭМ волн на организм человека, что ставит использование таких башен под вопрос. Проект не получил дальнейшего развитие.

Практическая значимость:

Трансформатор Тесла можно использовать для получения высоких напряжений, для передачи энергии на небольшие расстояния.

Задачи курсовой работы:

1. Изучить принцип работы и характеристики резонансного трансформатора Тесла
2. Изучить способ совмещения LC и волнового резонансов

1. Теоретическая часть

1.1 Устройство резонансного трансформатора Тесла

Простейший резонансный трансформатор Тесла состоит из первичной и вторичной обмотки, как обычный трансформатор, но работает он на резонансных эффектах. В данной работе модифицировали резонансный трансформатор, используя емкостной индуктор в виде пластинки вместо первичной обмотки. Данная модификация обусловлена тем, что она упрощает способ подключения катушки Тесла.

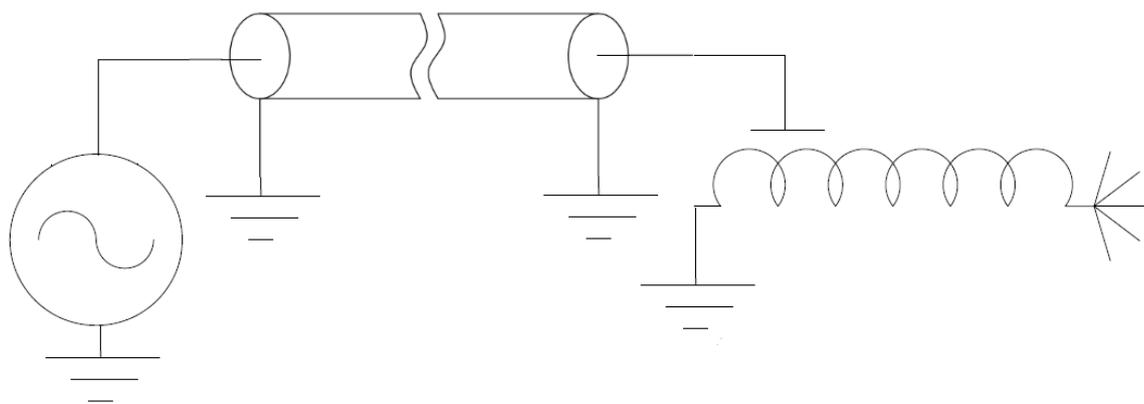


Рис. 1.1 Схема устройства резонансного трансформатора

Для уменьшения межвитковой емкости катушку необходимо максимально удалить от всех предметов, т.к. они являются источниками дополнительной паразитной емкости. В работе мы ставим катушку на текстолитовую подставку, удаляя ее от стола. В идеале ставить катушку вертикально, тем самым максимально удалив ее от всех предметов.

В данной работе медный провод толщиной 0,5см и длиной 75м намотан на пластиковую трубу. Пластик имеет диэлектрическую проницаемость больше единицы, что увеличивает межвитковую емкость. При этом индуктивность не изменяется, добротность ухудшается. Наиболее оптимальным вариантом является использование трубы, изготовленной из дерева или бумаги, диэлектрическая проницаемость которых близка к единице.

1.2 Что такое волновой и LC резонанс

А) Волновой резонанс:

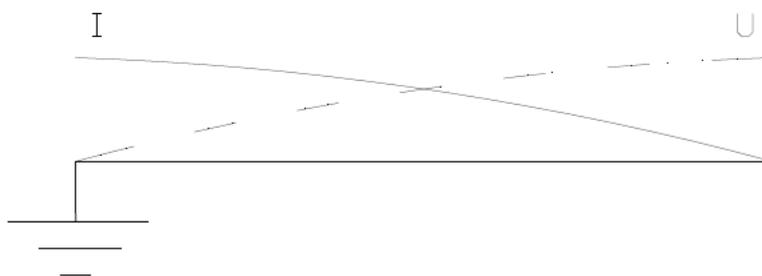


Рис.1.2.1 Волновой резонанс

Возьмем провод длиной L , заземлим один его конец. При определенных условиях в проводе могут возникнуть гармоники переменного электрического тока, длина волны которых кратна длине провода. Основная гармоника – четверть волновая, является волновым резонансом. Полная длина волны $\lambda = 4L$. На заземленном конце провода возникает максимум тока и 0 напряжения, на свободном конце 0 тока и максимум напряжения. Волновой резонанс привязан к длине провода, это фиксированная величина. Перестроить волновой резонанс можно, только поменяв длину провода.

При отсутствии эффекта замедления волны частота волнового резонанса $f = c/\lambda$, где c – скорость света; предельная частота. В катушке присутствует эффект замедления волны, поэтому частота волнового резонанса будет отличаться от расчетной ($f = c/\lambda$) в меньшую сторону. Волновой резонанс необходимо искать практическим способом.

Б) LC резонанс:

Намотаем данный провод длины L на катушку, заземлим один конец. Засчет намотки провода, изменяется индуктивность и появляется межвитковая паразитная емкость. В катушке возникнет резонанс, который будет являться LC резонансом.

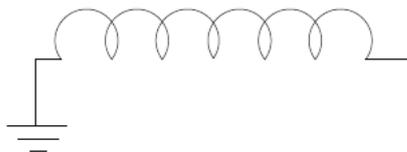


Рис. 1.2.2 LC резонанс

1.3 Принцип работы

Практически любая катушка, имеет LC резонанс, не совпадающий с волновым резонансом. Для заданной длины провода является сложной задачей рассчитать площадь и длину катушки (правильно посчитав межвитковую емкость и учитывая эффект замедления волны), чтобы LC резонанс совпал с волновым.

Любая катушка имеет индуктивность и межвитковую паразитную емкость. Таким образом, мы можем получить эквивалентную схему из катушки и емкости, которая является последовательным колебательным контуром. Индуктивность не шунтируется конденсатором.

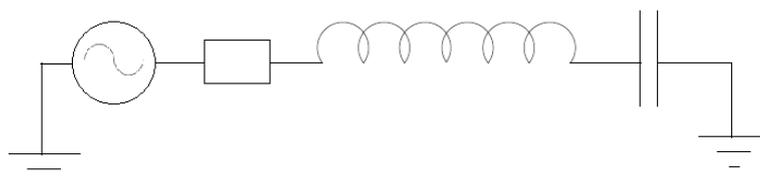


Рис. 1.3 Эквивалентная схема колебательного контура

На емкостной индуктор подается переменное напряжение (на рис. 1.3 представлен как эквивалентный генератор). За счет того, что у резонансного трансформатора Тесла одна часть заземлена, в этой части находится максимальный по амплитуде ток. В свободном конце движение зарядов отсутствует, при этом наблюдается максимальная амплитуда напряжения. В катушке происходят четверть волновые колебания. Катушку Тесла можно представить как колебательный контур, который имеет резонансную частоту за счет паразитных элементов.

При определенных условиях, (например, при возбуждении генерации импульсами с короткими фронтами) в трансформаторе могут возникнуть кроме основной гармоники ($1/4$) гармоники более высокого порядка ($3/4$, $5/4$ и т.д.). Картина распределения минимумов и максимумов тока и напряжения вдоль катушки примет более сложный вид.

2. Практическая часть

2.1 Определение волнового резонанса

Для провода длиной 75 метров, волновой резонанс без учета замедления волны и на $1/4$ гармонике соответствует 1 мегагерцу. Но в катушке возникает эффект замедления распространения волны, что приводит к изменению частоты волнового резонанса. Следовательно, необходимо практическим путем определить частоту волнового резонанса. Для этого мы используем следующую установку:

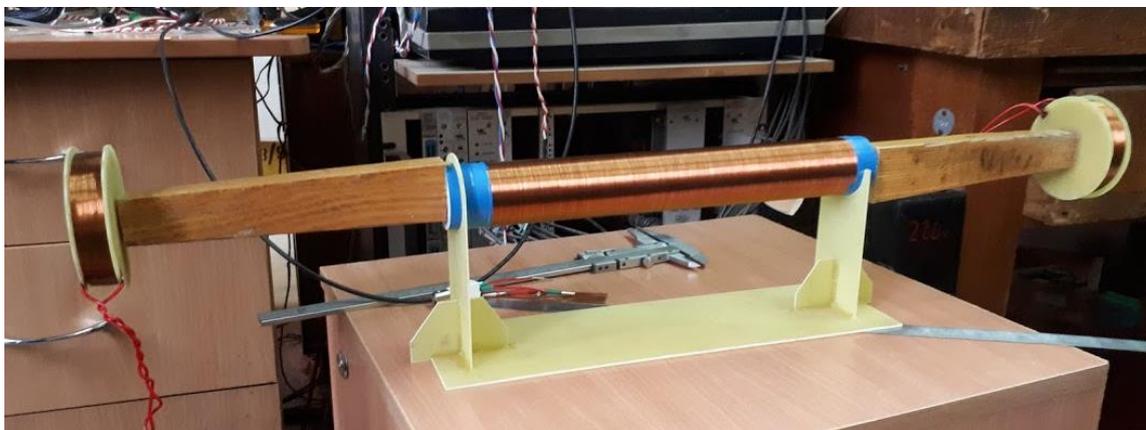


Рис. 2.1.1 Установка для определения волнового резонанса

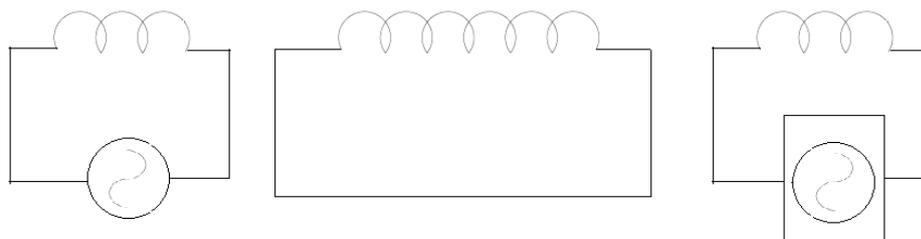


Рис. 2.1.2 Схема установки

Делаем короткое замыкание между земляной частью трансформатора и высоковольтной частью. Ставим с одной стороны катушку, на которую подаем переменный сигнал с генератора, с другой стороны такую же катушку, с которой снимаем сигнал, отображающийся на осциллографе. Расстояние от каждой катушки до трансформатора около 20см. Подаем с генератора напряжение фиксированной амплитуды, возникает электромагнитная волна, проходящая через резонансный трансформатор.

Все волны, кроме резонансной волны, поглощаются катушкой. Когда на длину проводу укладывается целая длина волны, равная 75м, фиксируем пик напряжения на приемной катушке. На этой пиковой частоте – волновой резонанс целой волны. Полученная частота в 4 раза выше, чем четверть волновой резонанс, поэтому необходимо поделить полученную частоту на 4.

Пробегая по частоте, мы определили, что максимум напряжения приходится на 3,58 МГц, что является волновым резонансом. Поделив ее на 4, определили частоту четверть волнового резонанса - 895КГц. Таким образом, мы определили волновой резонанс на четверть волне данного резонансного трансформатора Тесла.

Частота, МГц	2	2,5	3	3,2	3,4	3,5	3,58	3,6	3,7	3,8	3,9	4	5
Амплитуда, мВ	10	16	40	60	135	230	500	480	200	125	80	70	40

Таблица. Определение волнового резонанса

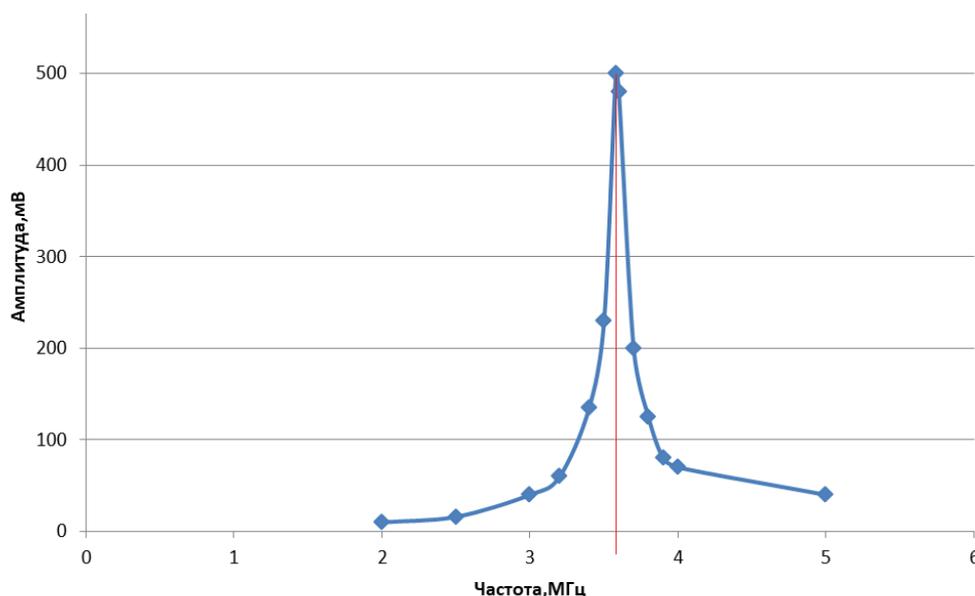


Рис.2.1.3 График определения волнового резонанса

2.2 Совмещение LC и волнового резонанса

Как правило, намотанные катушки имеют LC резонансную частоту выше, чем частоту четверть волнового резонанса. Чтобы совместить эти два резонанса, Тесла присоединял к высоковольтной части емкость в виде сферы или тора, подобрав их площадь так, чтобы приблизить LC резонанс к волновому резонансу. Однако емкость ухудшает добротность: $Q = \rho/R$, где

$\rho = \sqrt{L/C}$ – волновое сопротивление, R - сопротивление потерь. Если мы

увеличиваем емкость, волновое сопротивление уменьшается. R не меняется, ρ уменьшается, следовательно добротность уменьшается. Если уменьшается добротность, на пике получим напряжение ниже, чем при более высокой добротности. Мы же вместо емкости, используем ферритовый стержень, улучшая добротность и повышая напряжение в пике.

Определив наш волновой резонанс, мы устанавливаем на генераторе частоту в 895КГц. Изменяем индуктивность, вдвигая/выдвигая стержень с токовой стороны катушки, подгоняя тем самым LC резонанс к волновому. Таким образом мы ищем пик на этой частоте. Определили соотношение

входного и выходного напряжения. Данная величина является добротностью резонансного трансформатора Тесла. На вход подали напряжение амплитудой в 1В, в пике получили выходное напряжение в 120 раз больше с использованием данного емкостного индуктора. Следовательно, добротность резонансного трансформатора $Q = 120$. Первоначально работа проводилась с использованием пластины большей площади. На выходе получали напряжение в 600 больше исходного. В целях безопасности решили использовать пластину с добротностью 120.

Работа происходила при маленьких напряжениях. Любое подношение руки сильно влияет на результат. Между рукой и катушкой возникает емкостная связь, амплитуда напряжения падает.

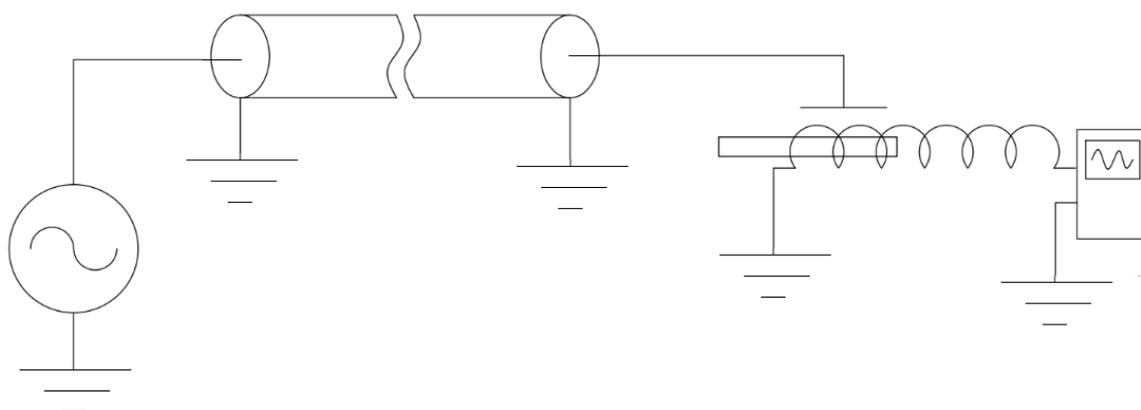


Рис.2.2.1 Схема установки совмещения LC и волнового резонансов

Заключение

В данной работе мы изучили принцип работы трансформатора Тесла. Определена основная гармоника волнового резонанса – 895КГц. Проведена работа по совмещению LC резонанса с ее волновым резонансом. После совмещения LC резонанса с ее волновым резонансом измерили добротность. Получили значение $Q = 120$. Используя емкостные индукторы большей площади, можно получить напряжения, превышающие исходные в 600 и даже 1000 раз.

Было использовано синусоидальное напряжение на входе, т.к. целью работы являлось изучение принципа работы и основной гармонике резонансного трансформатора. Подав на вход прямоугольный сигнал с крутыми фронтами, в резонансном трансформаторе возникнут колебания на нескольких гармониках одновременно.

Резонансный трансформатор Тесла изначально создавался как прибор, способный создавать большие напряжения и передавать энергию на расстояния без проводов. Однако данная задумка закончилась только опытами самого Николы Тесла. На данный момент резонансный трансформатор используется как генератор высоких напряжений(редко). Также, его можно использовать как генератор передачи энергии по одному проводу. Проект башни Вондерклиф при этом ограничился также только опытами Тесла. Башню снесли в 1917, практически не использовав. Данные изобретения Николы Тесла были одними из немногих попыток передачи напряжения на большие расстояния, которые, к сожалению, закончились неудачей.

Список используемой литературы

1. United States patent office. Patent №787412 dated 18 April 1905. N.Tesla “Art of transmitting electrical energy through the natural mediums” [Электронный ресурс с русским переводом]. – URL: <https://lenr.su/nikola-tesla-patent-787412-russkij-perevod/>
2. Хныков А.В. - Теория и расчёт трансформаторов источников вторичного электропитания. - Москва: СОЛОН-Пресс 2004.
3. Н.В. Хорошилов, А.В. Пилюгин, В.И. Бирюлин, О.М. Ларин, Л.В. Хорошилова. Электропитающие системы и электрические сети. Старый Оскол:ТНТ ,2012.-352с.
4. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. Электромагнитные поля и волны. Изд. 2-е, перераб. и дополненное. М. Изд-во «Советское радио», 1971, 664 стр.
5. О.В. Алексеев, А.А. Головков, А.В. Митрофанов, Генераторы высоких и сверхвысоких частот: Учебное пособие, Высшая школа, Москва, 2003г, 257с.
6. Калашников С. Г., Электричество. 6-е изд., стереот. - М.:ФИЗМАТЛИТ,2003.-624с.