

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Стяжкин Роман Андреевич

Курсовая работа

Исследование рулонного автотрансформатора Тесла

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18302

Научный руководитель:

д.т.н. Пальчиков Е.И.

Оценка научного руководителя

«__»_____2019 г.

Со-научный руководитель:

Рябчун А.М.

Оценка со-научного руководителя:

«__»_____2019 г.

Преподаватель практикума:

к.ф.-м.н. Гетманов Я.В.

Оценка преподавателя практикума

«__»_____2019 г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

«__»_____2019г.

Аннотация

В данной работе был исследован рулонный автотрансформатор Тесла. Целью работы являлось сборка генератора и изучение его свойств при резонансе. В ходе работы была собрана качественная модель данного генератора. Также были вычислены и подобраны индуктивности, емкости и частота, исходя из принципа работы генератора при резонансе. Экспериментально были получены качественные осциллограммы напряжения для двух случаев, которые показывают различные результаты при наличии и отсутствии сердечника. Анализ работы генератора, проведенный на основе полученных данных, показал, что в системе присутствуют как колебания в связанных резонансных контурах, так и распространение волны в длинной линии с отражениями. В конце работы сделаны выводы и были улучшения КПД устройства.

Ключевые слова: рулонный автотрансформатор Тесла, резонанс, колебания в LC-цепях, распространение электромагнитной волны, осциллограммы напряжения.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Трансформатор Тесла	5
3. Экспериментальные данные	7
3.1 Характеристики трансформатора.....	7
3.2 Эксперимент.....	8
Выводы	11
Приложение	12
Список литературы	13

1. Введение

В наше время трансформаторы широко применяются в различных отраслях жизни: от бытовой, вплоть до промышленной сферы. Не исключением стали и, так называемые, генераторы Тесла. Генераторы или трансформаторы Тесла используются, в частности, для получения высокого напряжения вплоть до миллиона вольт. На данный момент существует несколько разновидностей генератора Тесла. Самые известные из них: 1) спиральный генератор Фитча – Хауэлла, 2) трансформатор Белкина – Жарковой, 3) рулонный автотрансформатор Тесла [1]. Именно последний рассматривается в данной работе.

В литературе еще не встречалось упоминание о рулоном автотрансформаторе Тесла. Актуальность работы состоит в изучении ранее неисследованном типе генератора. Данный вариант является не до конца изученной разновидностью трансформаторов Тесла. Целью работы являлось сборка данного трансформатора, оптимальной в плане количества деталей, а также анализ работы генератора.

2. Трансформатор Тесла

Рассматриваемый импульсный автотрансформатор (рис.1) [2] представляет из себя систему из двух связанных контуров. Генератор состоит из накопительной емкости C_1 и полоски проводящей медной фольги с полоской диэлектрика, свернутых в рулон. В качестве первичной обмотки L_1 выступает внешний виток, а вторичной L_2 – вся спираль. Зазоры между витками спирали образуют межвитковую емкость C_2 , подсоединенная параллельно вторичной обмотке. L_1 и C_1 образуют первый колебательный контур, а L_2 и C_2 второй. Как известно, у каждого контура существует собственная резонансная частота колебаний:

$$\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

$$\omega_{02} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \quad (2)$$

При настройке параметров в резонанс, данная установка может считаться разновидностью генераторов Тесла. Для этого нужно подобрать параметры контуров такие, чтобы резонанс наблюдался на контурах на одной частоте:

$$\omega = \omega_{01} = \omega_{02} \quad (3)$$

Отсюда получаем соотношение для параметров системы:

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 \quad (4)$$

Данная установка является простой в изготовлении высоковольтных генераторов, состоящая из накопительной ёмкости C_1 , самого рулона и коммутатора. Эквивалентная схема генератора представлена на рис.2. Образующаяся из спирально намотанных витков полосковая линия одновременно выступает в роли формирующей линии, повышающего трансформатора и вторичного ёмкостного накопителя C_2 . При замыкании ключа и разрядки C_1 на первичный виток в автотрансформаторе происходят следующие немаловажные процессы:

колебания в связанных колебательных контурах, а также распространение волны между витками. Данные процессы могут приводить как к сложению, так и вычитанию суммарного напряжения на выходе трансформатора [2]. Для получения максимального КПД трансформатора необходимо оптимальное соотношение между временами прохода волны и периодами колебаний в LC контурах.

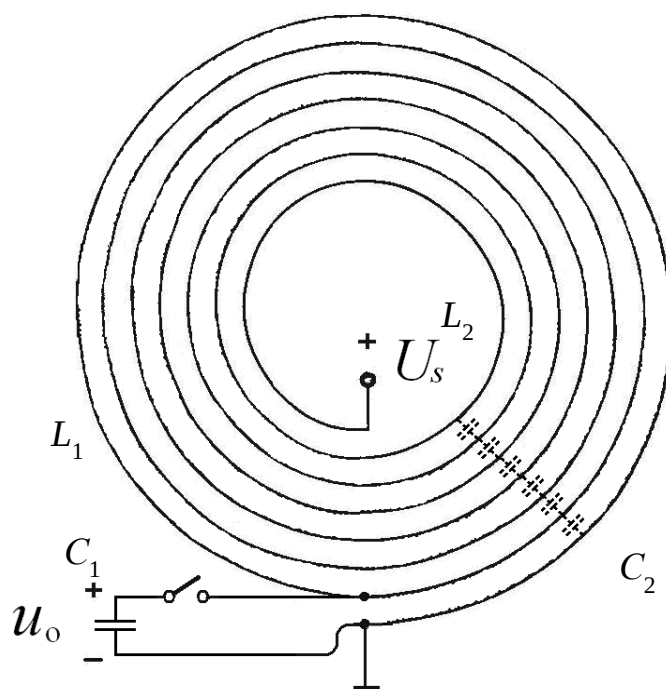


Рис.1. Схема рулонного автотрансформатора Тесла

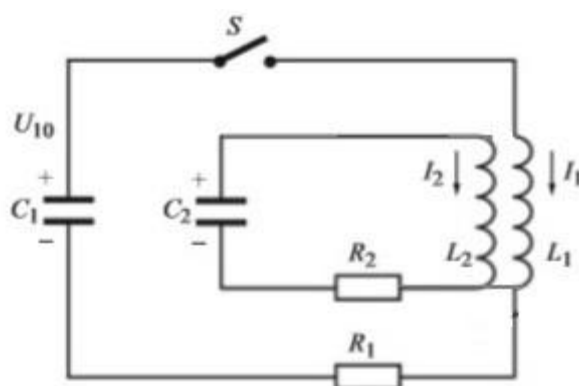


Рис.2. Эквивалентная схема рулонного автотрансформатора Тесла

3. Экспериментальные данные

3.1 Характеристики трансформатора

Используя теоретические расчёты, была собрана модель автотрансформатора Тесла (рис.6). В качестве каркаса для намотки катушки был выбран пластмассовый цилиндр с диаметром $D=154$ мм. Намотка проводилась медной фольгой шириной $W=50$ мм с изолятором в виде электрокартона с лавсаном с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon \approx 2,67$. Измеренная индуктивность первичного контура составила $L_1=432$ нГн, вторичного $L_2=25,22$ мкГн. После сборки генератора была измерена резонансная частота $f=2,7$ МГц. Исходя из полученных параметров и используя соотношение:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (5)$$

была подобрана емкость на первичную обмотку из малоиндуктивных конденсаторов марки К15-5 номиналом 1,5 нФ и 1 нФ. Полученная емкость составила $C_1=10,2$ нФ. Также была рассчитана емкость вторичной обмотки $C_2=137$ пФ, пользуясь соотношением контуров при резонансе (формула 4).

Общая длина спиральной линии рулонного автотрансформатора Тесла получилась $l \approx 6,5$ м. Коэффициент преломления среды относительно вакуума $n \approx \sqrt{\varepsilon} \approx 1,63$. Время прохода волны через линию рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{l*n}{c} \quad (6)$$

где c -скорость распространения электромагнитной волны в вакууме. Полученное время $\tau=35,3$ нс. Время нарастания первой полуволны определяется формулой:

$$t = \frac{1}{4f} \quad (7)$$

Полученное время нарастания первой полуволны на максимум $t=93$ нс.

3.2 Эксперимент

Для стабильной работы генератора напряжение подавалось через резистор с сопротивлением 10кОм. Согласно схеме (рис.1) поданное напряжение шло на зарядку конденсатора C_1 . Способом коммутации было выбрано мгновенное замыкание цепи с помощью удара пальцем по пластине.

После зарядки конденсатора и замыкания цепи волна распространялась как по самой спирали, так и между витками. С помощью осциллографа были сняты осциллограммы напряжения с первичной и вторичной обмотки. В эксперименте было рассмотрено два варианта установки: с использованием сердечника и без него. В качестве сердечника был выбран ферритовый стержень (рис.7).

На рис.3 и рис.4 представлены осциллограммы напряжения для двух вариантов установки.

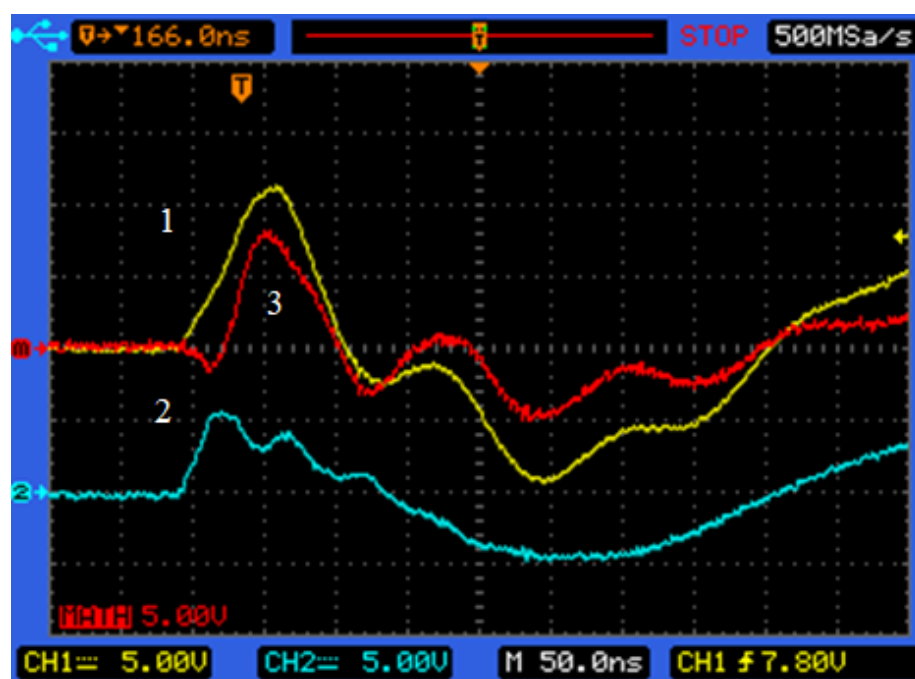


Рис.3. Осциллограмма напряжения с использованием ферритового стержня

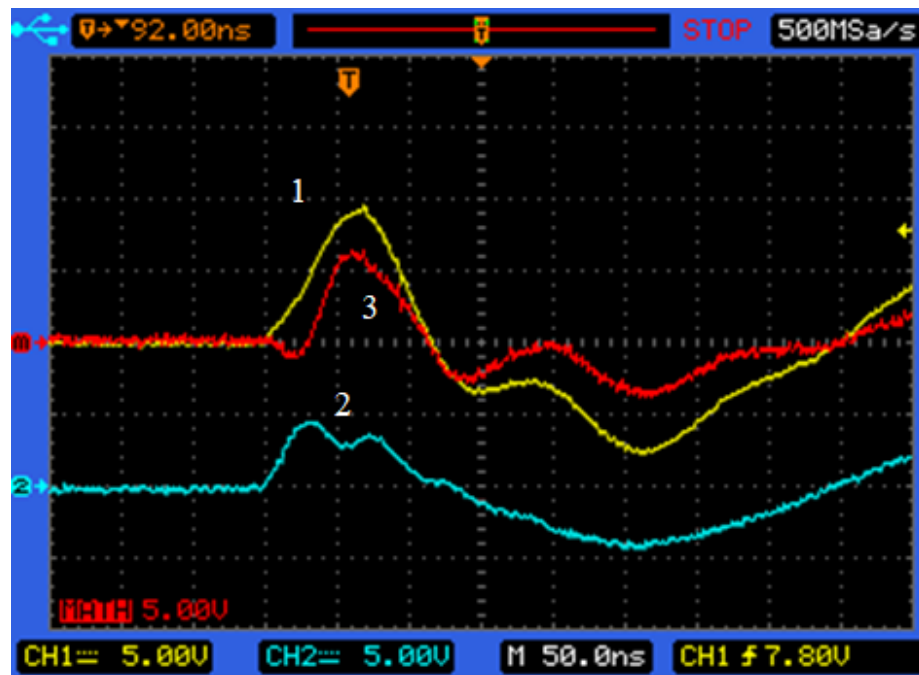


Рис.4. Осциллограмма напряжения без использования ферритового стержня

Цифрой 1 обозначен сигнал, получаемый на конце генератора. Цифрой 2 обозначен сигнал, получаемой на середине генератора (6 виток)(внешний виток). Цифрой 3 обозначен сигнал, образующийся от середины генератора до его конца(внутренний виток). Данный сигнал был получен вычетом второго из первого сигнала.

По данным осциллограммам было установлено, что период выхода на максимум первой полуволны составил $t_1=70\text{нс}$, второй полуволны $t_2=150\text{нс}$ для первого случая. Для второго случая $t_1=70\text{нс}$, $t_2=140\text{нс}$.

На осциллограмме мы видим нарастание напряжения на внешней обмотке (сигнал 2) первые 30 нс. Следующие 20 нс идет спад напряжения, и после этого наблюдается снова нарастание напряжения на внешней обмотке. Начиная от 30 до 70 нс идет увеличение напряжения на внутренней обмотке (сигнал 3). Получается, что волна идет по спиральной линии, отражается от ее конца и идет обратно. Это обуславливается тем, что, помимо наводимой ЭДС индукции в катушке, присутствуют ярко выраженные волновые явления. На рис.5 продемонстрировано поведение напряжения в развернутом виде, из

которого видны характерную границу проявлений волновых процессов и колебаний в генераторе.

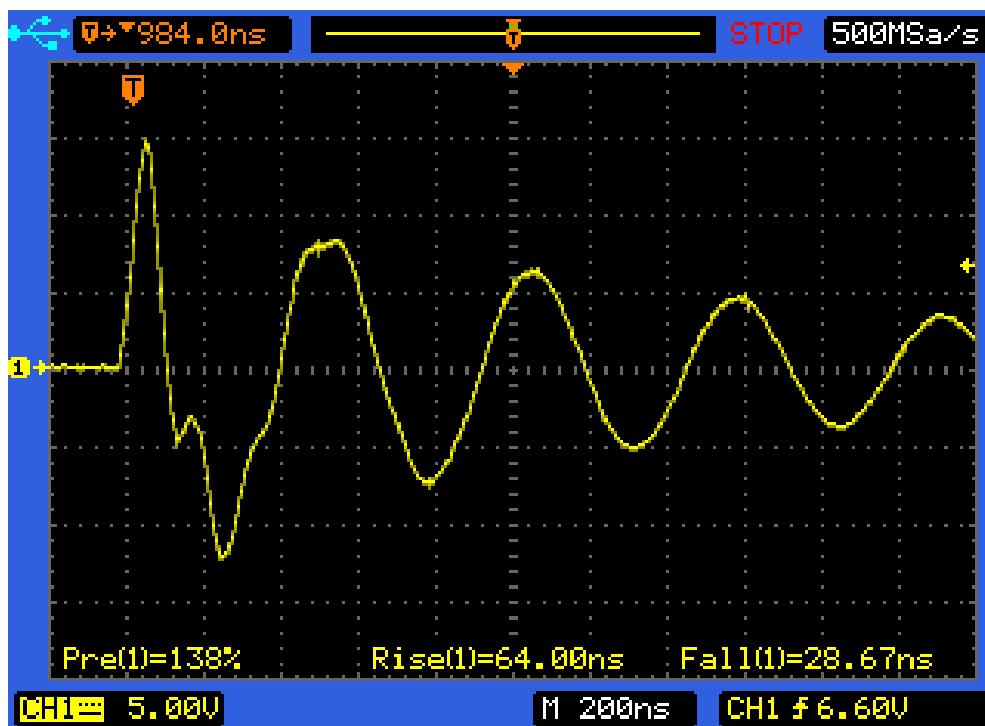


Рис.5. Осциллограмма напряжения рулонного автотрансформатора Тесла (в развернутом виде)

Кроме того, из осциллограммы на рис.5 видно, что процессы с отражениями в линии происходят быстрее, чем период колебаний в трансформаторе Тесла. Реально, по изломам на осциллограммах видно, что волна проходит за 30, а не за 35 нс. А время нарастания – 70 нс, что примерно соответствует двум прохождениям волны. Это можно отнести к ошибкам определения диэлектрической проницаемости диэлектрика (присутствуют воздушные зазоры между слоями изоляции).

Также можно заметить, что наличие сердечника замедляет процессы в генераторе, но из-за малых геометрических размеров по сравнению с размерами генератора, различие видно лишь на периоде возрастания второй полуволны. Кроме того, анализируя полученные данные, можно прийти к выводу, что наличие сердечника увеличивает амплитуду напряжения на 30%. Это увеличивает КПД в 1,7 раз.

Выводы

В ходе работы была собрана модель рулонного автотрансформатор Тесла, который представляет собой неисследованный вариант трансформаторов Тесла. Также были полученные качественные осциллограммы напряжения на генераторе.

В конце работы был проведен анализ осциллограмм, который показал, что в рулонном автотрансформаторе Тесла, помимо возникновения ЭДС катушки, присутствуют волновые процессы.

Кроме того анализ осциллограмм показал, что, проводя эксперименты с различными сердечниками, можно добиться оптимального времени для достижения максимального КПД на первой полуволне.

Приложение

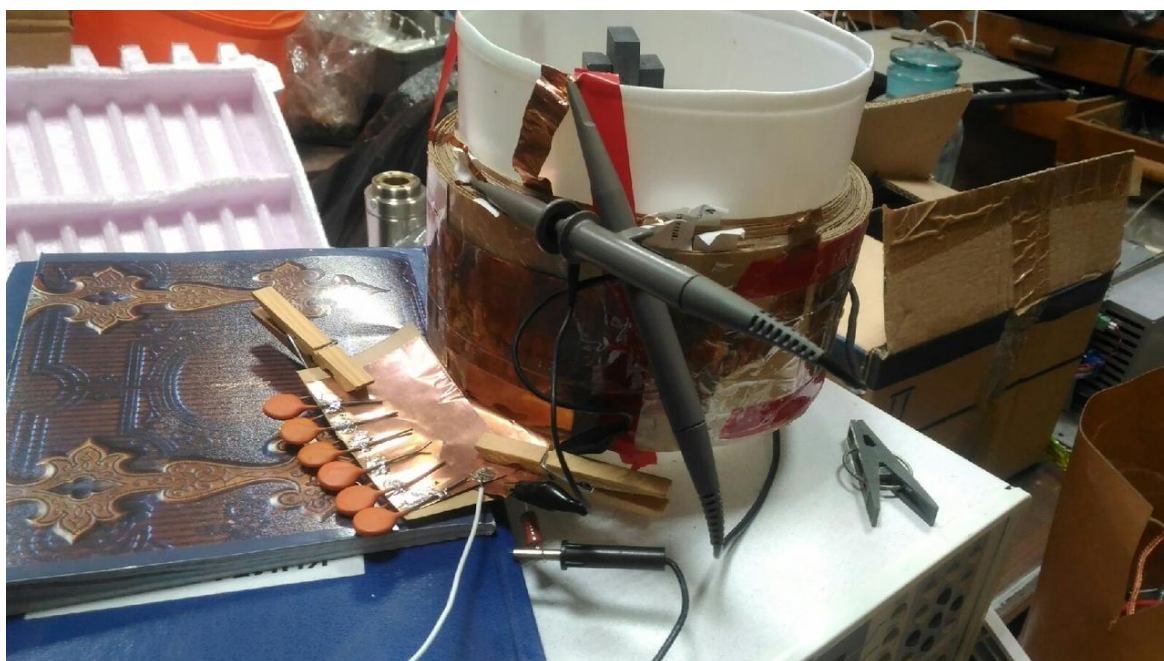


Рис.6. Модель рулонного автотрансформатора Тесла



Рис.7. Фотография ферритового стержня

Список литературы

1. Пальчиков Е.И., Рябчун А.М., Красников И.Ю. Модифицированный спиральный генератор высоких напряжений для питания импульсного рентгеновского аппарата. ЖТФ. Т. 82 Вып. 2, с. 136-146. 2012.
2. Пальчиков Е.И., Долгих А.В., Красников И.Ю., Рябчун А.М. Рулонный импульсный резонансный автотрансформатор. Мощная импульсная электрофизика. Международная конференция XIV Харитоновские тематические научные чтения. Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013. Стр. 148-153.