

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

Физический факультет
Кафедра общей физики

Параскун Александр Григорьевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Расчет характеристик первичного контура трансформатора Тесла
по измеренным характеристикам вторичного контура**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа № 20304

Научный руководитель:

д.т.н. Евгений Иванович Пальчиков
Оценка научного руководителя

«__» _____ 2021г.

Преподаватель практикума:

к.ф-м.н.

Юрий Владимирович Шестаков
Оценка преподавателя практикума

«__» _____ 2021г.

Куратор практикума:

к.т.н. Виталий Тимофеевич Астрелин
Итоговая оценка

«__» _____ 2021г.

Новосибирск 2021

Аннотация

Целью данной работы являлось проектирование и изготовление трансформатора Тесла на основе теоретических моделей и экспериментальных измерений в процессе изготовления. Достижение наилучших параметров по передаче энергии. Конструктивная доработка конфигурации электрических и магнитных полей устройства для повышения стабильности работы и увеличения КПД устройства.

В ходе экспериментов удалось сравнить реальные характеристики трансформатора, с рассчитанными теоретически.

Работа выполнена на базе Института гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН.

Оглавление

1.	Введение	4
2.	Теоретическая часть	5
2.1.	Предпосылки создания трансформатора Тесла	5
2.2.	Общие сведения о трансформаторе Тесла	6
2.3.	Анализ передачи энергии в трансформаторе Тесла	7
3.	Методика проведения экспериментов	11
3.1.	Измерение характеристик катушки вторичного контура в режиме стоячей волны	11
3.2.	Измерение характеристик катушки, необходимые для рас- четов значения	13
3.3.	Расчет индуктивности первичного контура	15
3.4.	Расчет входного напряжения	15
3.5.	Расчет коэффициента связи	17
3.6.	Общий вид первичного контура	18
4.	Выводы	19
5.	Список использованной литературы	20

1. Введение

Трансформатор Тесла представляет собой систему из двух колебательных контуров, индуктивно связанных друг с другом. Их собственные частоты равны, а сами контуры работают в режиме свободных колебаний. Трансформатор преобразует квазипостоянное напряжение источника питания в высокое импульсное напряжение, при этом важно отметить, что помимо трансформации напряжения трансформатор Тесла сам осуществляет формирование импульса напряжения присущей этой системе формы.

В настоящий момент в Институте гидродинамики им.М.А. Лаврентьева создается трансформатор Тесла для проведения демонстраций в МЛДКС НГУ, в связи с чем имеется необходимость спроектировать устройство трансформатора, провести измерения характеристик изготовленного вторичного контура, и, основываясь на этих данных рассчитать оптимальные характеристики первичного контура, и в последствии сравнить их с экспериментальными данными.

Так как трансформатор является разборным, есть возможность провести измерения его рабочих характеристик при различных режимах эксплуатации и сделать выводы о наиболее эффективной конфигурации устройства.

2. Теоретическая часть

2.1. Предпосылки создания трансформатора Тесла

В большинстве случаев, для научных и технических задач не требуется получение высокого потенциала с большой мощностью, так как искры, испускаемые мощными трансформаторами могут повредить измерительные приборы.

Однако в природе встречаются примеры, когда огромные потенциалы могут быть сосредоточены в достаточно малом объеме, такое например можно наблюдать в ядрах атомов. По этой причине, задача получения большого потенциала от относительно маломощного источника является актуальной в физике. К примеру, получение градиента потенциала в несколько миллионов вольт на метр позволило Р.Э. Милликэну наблюдать холодное испускание электронов металлами.

На данный момент существует несколько примеров устройств, позволяющих получить высокое статическое напряжение при сравнительно небольшой прилагаемой мощности. Одним из таких приборов является умножитель напряжения, который впервые предложил Грейнахер.

В данной работе будет рассмотрен второй метод получения высокого потенциала, который был предложен Н. Тесла.[1,2] Трансформатор Тесла является генератором повторяющихся высоковольтных импульсных напряжений с высокочастотным заполнением импульсов. По своим характеристикам трансформатор похож на катушку Румкорфа, являющуюся генератором повторяющихся высоковольтных импульсных напряжений со среднечастотными колебаниями в каждом из импульсов. Из-за своих характеристик трансформатор Тесла лежит в основе импульсных рентгеновских аппаратов, разработанных в ИГиЛ СО РАН для исследования взрывных и однократных быстропротекающих процессов.[3,4,5]

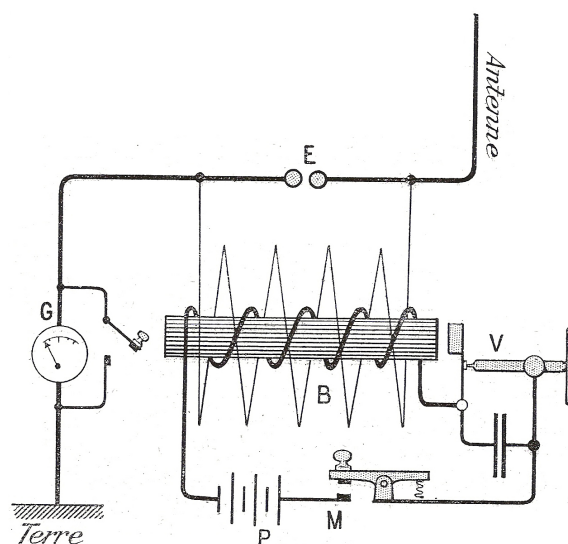


Рис. 1. Электрическая схема катушки Румкорфа

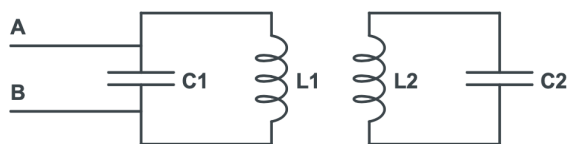


Рис. 2. Принципиальная схема трансформатора

2.2. Общие сведения о трансформаторе Тесла

Трансформатор Тесла состоит из двух физически несвязанных между собой катушек, являющихся частями первичного и вторичного контура трансформатора соответственно. Катушка вторичного контура трансформатора является длинной линией, следовательно, в ней возникает стоячая волна, пучности и узлы которой не двигаются. У этой катушки есть несколько собственных резонансных частот, которые можно рассчитать теоретически или узнать в ходе эксперимента.

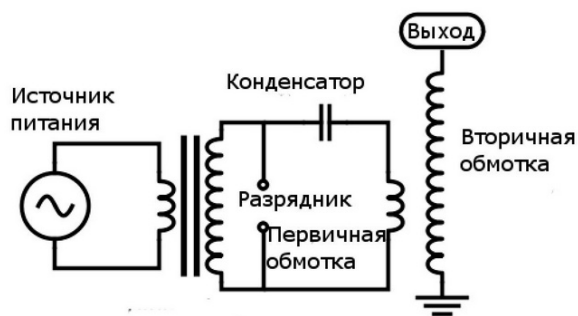


Рис. 3. Электрическая схема трансформатора Тесла

Первичная катушка содержит малое по сравнению со вторичной катушкой число витков. Эта катушка является частью первичного контура, который является LC -колебательным контуром, содержащим конденсатор и искровой разрядник.

При оптимальной конфигурации характеристик первичного колебательного контура трансформатора, можно получить на нем частоту, совпадающую с одной из резонансных частот катушки вторичного контура. В таком случае во вторичной катушке из-за явления резонанса возникнет стоячая электромагнитная волна, а между концами катушки появится высокое переменное напряжение.

Вторичная катушка содержит, по сравнению с первичной, очень большое число витков. Она является частью вторичного LC -контура, в котором уже нет внешнего конденсатора, его роль играет емкость тороида (в случае использования такового), а также собственная межвитковая емкость катушки (C_2 на рис. 2.), рассчитать которую можно зная её геометрические и

физические характеристики, но проще ее измерить.

Так как вторичная обмотка содержит достаточно большое число витков, а процесс ее изготовления достаточно сложен, правильным подходом настройки обоих колебательных контуров на одну резонансную частоту является создание первичной катушки с характеристиками, согласующимися с уже имеющимся изготовленным вторичным колебательным контуром.

2.3. Анализ передачи энергии в трансформаторе Тесла

Рассмотрим электрическую цепь импульсного трансформатора, представленную на рисунке 4. Она состоит из двух индуктивно связанных LC контуров, резонансные частоты которых равны $\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$ и $\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_2}}$ соответственно, а коэффициент взаимной индукции равен M . В начальный момент

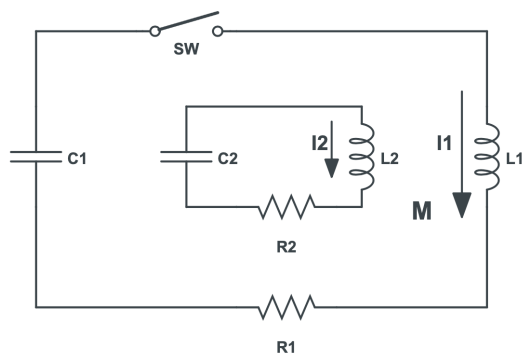


Рис. 4. Схема импульсного резонансного трансформатора

времени на конденсаторе C_2 отсутствует заряд, а напряжение на конденсаторе C_1 равняется U_{10} . После замыкания ключа (в момент времени $t=0$), для обоих контуров можно записать уравнения Кирхгова, пренебрегая омическими потерями в контурах:

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + \frac{1}{C_1} \int_0^t I_1 dt - M \frac{dI_2}{dt} = U_{10}$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + \frac{1}{C_2} \int_0^t I_2 dt - M \frac{dI_1}{dt} = 0$$

начальные условия записываются следующим образом:

$$I_{10} = 0; \left(\frac{dI_1}{dt} \right)_0 = \frac{U_{10}}{L_1} \frac{1}{1 - k^2}$$

$$I_{20} = 0; \left(\frac{dI_2}{dt}\right)_0 = -\frac{U_{10}}{\sqrt{L_1 l_2}} \frac{k}{1 - k^2}$$

где $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 l_2}}$ коэффициент индуктивной связи, а M - коэффициент взаимной индукции между L_1 и L_2 .

В трансформаторе тесла колебательные контуры настроены в резонанс, поэтому:

$$L_1 C_1 = L_2 C_2$$

Поэтому решение системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение напряжений U_1 и U_2 на емкостях C_1 и C_2 соответственно будет иметь вид:

$$U_1 = U_{10}(\cos^2 \omega_b t * \cos^2 \omega_{sv} t)[1]$$

$$U_2 = U_{10} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} (\sin^2 \omega_b t * \sin^2 \omega_{sv} t)[2]$$

Собственные частоты колебательных систем двух связанных контуров определяются следующими выражениями:

$$\omega^* = \frac{\sqrt{2}\omega_1\omega_2}{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 - \sqrt{(\omega_2^2 - \omega_1^2) + 4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}}$$

$$\omega_* = \frac{\sqrt{2}\omega_1\omega_2}{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \sqrt{(\omega_2^2 - \omega_1^2) + 4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}}$$

назовем эти частоты соответственно верхней гибридной и нижней гибридной. Когда контуры настроены в резонанс и $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$, наличие связи снимает вырождение частот и приводит к их расщеплению. В таком случае для собственных частот мы получаем выражения:

$$\omega^* = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + k}}$$

$$\omega_* = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - k}}$$

В выражениях [1] и [2] ω_b и ω_{sv} называются частотой биений и свободной частотой соответственно и определяются следующим образом:

$$\omega_b = \frac{\omega_* - \omega^*}{2}$$

$$\omega_{sv} = \frac{\omega_* + \omega^*}{2}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

Из уравнений [1] и [2] получается основное соотношение, задающее характеристики трансформатора Тесла. Оно заключается в том, что амплитуда U_2 может быть больше амплитуды U_{10} в β раз, где

$$\beta = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

Иными словами, это выражение теоретически подтверждает суть принципа работы трансформатора Тесла - получение высоко напряжения на выходе, при относительно небольшом напряжении источника питания. В связанных колебательных контурах, находящихся в режиме свободном колебательном режиме, колебания происходят с частотой ω_{sv} , при этом их амплитуда меняется по гармоническому закону с частотой ω_b с образованием биений. Вид таких колебаний представлен на рисунке 5.

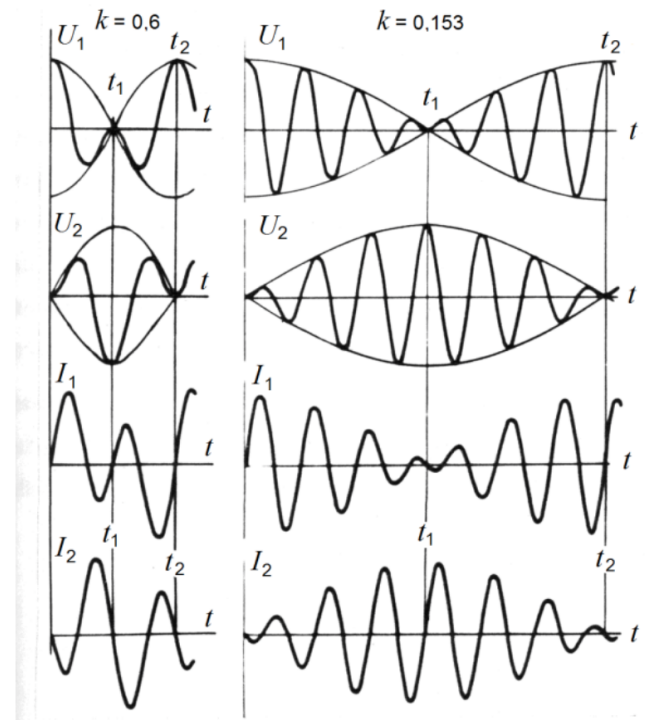


Рис. 5. Вид колебаний с биениями в контуре

Один цикл таких биений составляет половину периода огибающей. Зная величину коэффициента связи k можно найти отношение $\frac{\omega_{sv}}{\omega_b}$, от которого зависит количество колебаний n в течение одного периода биений.

$$\frac{\Omega_{sv}}{\Omega_b} = \frac{\omega_2 + \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\sqrt{1+k} + \sqrt{1-k}}{\sqrt{1+k} - \sqrt{1-k}} = n$$

При уменьшении коэффициента связи k будет происходить увеличение количества колебаний и времени достижения максимального напряжения (при фиксированной ω_0). В случае резонанса контуров, условие кратности и полуразности гибридных частот приводит к дискретному набору значений для k . Ряд значений k_{opt} , при которых возможна полная передача энергии, находится из условия равенства отношения частот колебаний и биений, и равен целому нечетному числу:

$$k = \frac{2n}{n^2 + 1} = 1; 0,8; 0,6; 0,47\dots$$

Такие коэффициенты связи считаются оптимальными. В случае, когда количество колебаний в течение одного периода биений зависит от отношения свободной частоты к частоте биения так, как показано выше, через половину цикла биения вся энергия из первичного конденсатора C_1 будет передаваться в емкость C_2 . В середине цикла биений энергия сосредоточенная в магнитном поле будет равняться нулю. Напряжение на первичной емкости будет равняться нулю, следовательно вся энергия будет сосредоточена во вторичной емкости, напряжение на которой будет иметь максимальное значение. В этом и состоит одно из важнейших свойств трансформатора Тесла.

Практически невозможно достичь ситуации, когда коэффициент связи будет равняться 1. Полностью передать энергию удастся только в случае $n = 3, 5, 7\dots$, что соответствует второй, третьей, четвертой и т.д. полуволне колебаний в центре цикла биений. Все эти условия задают определенный набор наименьших временных промежутков, за которые можно полностью передать энергию из первичного контура трансформатора Тесла во вторичный контур.

3. Методика проведения экспериментов

3.1. Измерение характеристик катушки вторичного контура в режиме стоячей волны

Стоит отметить, что при различных конфигурациях измерения, катушка может иметь различные резонансные частоты. Вторичная индуктивность представляет собой длинную линию, и при разных способах подключения может иметь резонансы на соответственно различных длинах волн. В нашем случае основной резонанс фиксировался на $\frac{\lambda}{4}$ длины волны. Также были измерены резонансные частоты на $\frac{\lambda}{2}$ и $\frac{3\lambda}{4}$ длинах волн.

Для определения характеристик вторичной катушки использовалось устройство, по своим характеристикам близкое к емкостному датчику. Схема установки для измерения характеристик вторичной катушки в режиме стоячей волны приведена на рисунке 6. При возбуждении в индуктивности стоячей волны, на ней появляются пучности и узлы, т.е. участки максимальной и минимальной амплитуды колебаний соответственно. С помощью емкостного датчика можно определить эти участки, т.к. на участках пучности на нем будет наводиться напряжение, а на участках узлов - нет.

На рисунках 8 и 9 приведены фотографии постановки эксперимента по определению собственных резонансных частот вторичной катушки. На рисунке 7 наглядно представлено распределение электрического поля для четвертьволнового резонанса в случае заземленного свободного конца катушки и в случае незаземленного.

Для экспериментального определения полуволнового резонанса требуется отделить от катушки все изоляторы и проводники, а также изолировать ее от возможных источников шумов (данная установка представлена на рисунке 8).

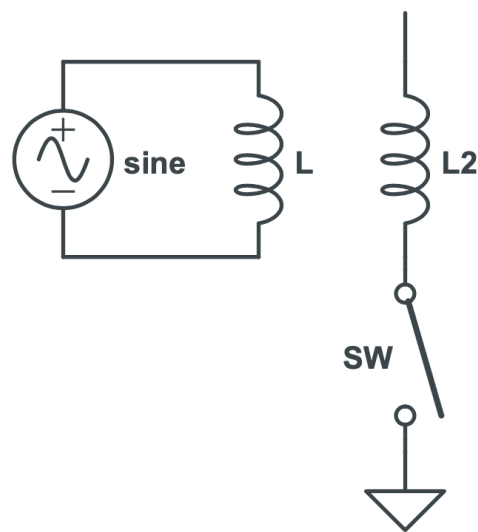


Рис. 6. Схема устройства для измерения характеристик вторичной катушки

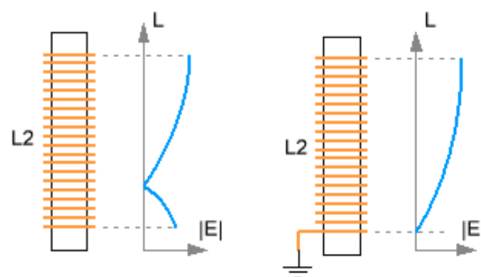


Рис. 7. Распределение электрического поля для четвертьволнового резонанса

Для определения же четвертьволнового резонанса в основании катушки устанавливается проводящая плоскость (в идеале она должна быть бесконечной, но на практике выбирается такая плоскость, которая будет использоваться в готовом устройстве, в нашем случае - 90*95 см). Фотография приведена на рисунке 9.

С помощью внешней индуктивности L , представляющей собой небольшое количество витков, и генератора Г4-18, можно возбуждать стоячую волну в исследуемой катушке L_2 . Далее, передвигая емкостной датчик (на основе прибора АММ - 3320) вдоль катушки, на осциллографе АСК - 6209 наблюдалось увеличение амплитуды волны, и фиксировалось значение собственной резонансной частоты катушки.



Рис. 8. Определение четвертьволновой резонансной частоты

Таким образом было измерено, что значение резонансной частоты для полуволнового резонанса равняется 500 кГц, с шириной резонанса 2,5 кГц. Резонансная частота для $\frac{3\lambda}{4}$ длины волны с заземленным листом равняется 780 кГц. Резонансная частота для $\frac{\lambda}{4}$ длины волны равняется **307 кГц**. Это ведущее значение, которое будет использоваться в расчетах.



Рис. 9. Постановка эксперимента по определению полуволновой резонансной частоты

3.2. Измерение характеристик катушки, необходимые для расчетов значения

Далее проводилось измерение индуктивности вторичной катушки. Для измерения использовался индуктометр АММ - 3320. Таблица значений измеренной индуктивности при различных частотах прибора представлена ниже. Стоит отметить, что значение полученное на частоте 120 Гц не рассматривается, т.к. оно выходит за границы диапазона.

Частота	Индуктивность
1 кГц	16,6 мГн
10 кГц	16,5 мГн
100 кГц	19,9 мГн
120 Гц	16,6 мГн

Была также рассчитана эффективная емкость вторичного контура (сосредоточенная в собственной межвитковой емкости катушки). По формуле Томпсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$, можно найти эффективную емкость. Для четверть-волнового резонанса, с заземленным проводящим листом размеров 90*95 см в основании катушки она имеет значение **16,8 пФ**.

В таблице приведенной ниже представлены геометрические характеристики созданной в ИГиЛ СО РАН вторичной катушки.

Величина	Значение
Диаметр	200 мм
Длина намотки	920 мм
Толщина провода	0,75 мм
Проставка	0,5 мм
Количество витков	800 шт
Высота	1 м

Важным этапом экспериментальной работы было измерение резонансных частот вторичного контура при различных конфигурациях свободного конца вторичной катушки. Были проведены измерения периода свободных колебаний при свободном конце провода, при подключении разряжающей иглы, при наличии замкнутого тороида большой емкости (рис. 10), при наличии разомкнутого тороида. Таблица значений периодов свободных колебаний, измеренных на разных уровнях, а также соответственные им значения резонансных частот приведены в таблице ниже. Зная эти значения, по формуле $Q = \frac{\Omega}{\Delta\Omega}$ можно посчитать добротность контура в случае каждого из представленных вариантов конфигураций.



Рис. 10. Фотография катушки с тором

	$T_0, \mu s$	$T_{0-}/0,7, \mu s$	$T_{0+}/0,7, \mu s$	Частота, Гц
Свободный конец	3,165	3,153	3,174	316
Разряжающая игла	3,198	3,190	3,212	312
Замкнутый тороид	4,515	4,490	4,560	221
Свободный тороид	4,565	4,536	4,596	219

Конфигурация	Добротность Q
Свободный конец	150,6
Разряжающая игла	145,6
Замкнутый тороид	64,8
Свободный тороид	76,1

3.3. Расчет индуктивности первичного контура

Таким образом, экспериментально измерены собственная межвитковая емкость и индуктивность вторичного контура, резонансная частота для четвертьволновой конфигурации вторичной катушки. Емкость первичного контура является постоянной величиной, она представляет собой два параллельно соединенных конденсатора с емкостью каждого $C_{11} = 0,025$ мкФ. Суммарная емкость первичного контура равняется соответственно $C_1 = 0,05$ мкФ. Рабочее напряжение конденсаторов - 25 кВ. Соответственно можно рассчитать индуктивность первичного контура трансформатора Тесла.

$$L_1 C_1 = L_2 C_2$$

$$L_1 = \frac{L_2 C_2}{C_1}$$

Расчетная индуктивность первичного контура равняется $L_1 = 5,5 \mu\text{Гн}$. Она подбирается таким образом, чтобы оба контура работали в резонанс. Это значение необходимо для расчета геометрических характеристик первичной катушки.

3.4. Расчет входного напряжения

Электрическая прочность по скользящему поверхностному разряду на границе раздела диэлектрик - воздух составляет, обычно, около 1 кВ/мм. Так как длина вторичной катушки равняется 1 метру, то при напряжении превосходящим значение 1МВ могут наблюдаться скользящие разряды вдоль колонны.

$$U_{out} \leq 1\text{МВ}$$

Пробивная прочность воздуха на границе проводник - воздух при перпендикулярном к поверхности проводника направлению поля составляет уже 31 кВ/см. Торойд является проводящим материалом, и зная его радиус и задав напряженность поля на поверхности, можно вычислить напряжение, при достижении которого будет начинаться пробой воздуха вокруг тора. Рабочее напряжение вычисляется таким образом, чтобы присутствовал пробой по воздуху вокруг тора, но при этом не было пробоя по поверхности вдоль катушки.

Отсюда сразу вытекает ограничение на энергию выхода, которая не может превосходить:

$$\frac{C_2 U_{out}^2}{2} = \varepsilon \leq 8,4J$$

Так как энергия на входе должна быть больше (из-за коэффициента связи между катушками), получаем неравенство для энергий:

$$\frac{C_2 U_{out}^2}{2} < \frac{C_1 U_1^2}{2} = 10J$$

Откуда можно получить значение для входного напряжения, которое равняется $U_1 = \sqrt{\frac{2*J}{C_1}} = 20\text{кВ}$.

При наличии тороида, для достижения такого-же напряжения на выходе, напряжение на входе должно быть больше в $\sqrt{2}$ раз. Иными словами, при таком же напряжении на входе, напряжение на выходе будет в $\sqrt{2}$ раз меньше, и равняться 700кВ, если считать, что вторичные емкости при наличии тороида и без него отличаются в два раза.

3.5. Расчет коэффициента связи

На рисунке 11 приведена экспериментально полученная осциллограмма биений. На верхнем графике представлена осциллограмма первичного напряжения, а на нижнем - вторичного. Посчитав количество полуволн, по формуле приведенной ниже можно определить оптимальный коэффициент связи контуров.

$$k = \frac{2n}{n^2 + 1} = 1; 0,8; 0,6; 0,47.....$$

В нашем случае, коэффициент связи равняется $k=0,153$.

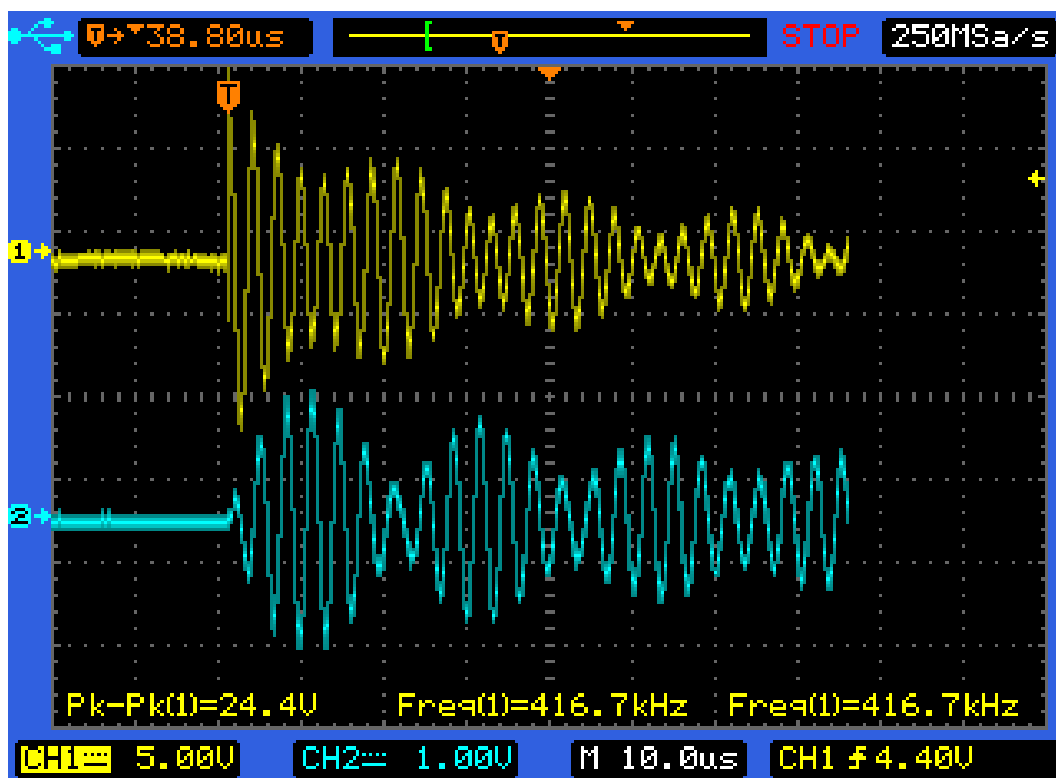


Рис. 11. Осциллограмма колебаний с биениями

3.6. Общий вид первичного контура

На рисунке 12 представлена фотография устройства первичного контура.



Рис. 12. Компонировка первичного контура

На рисунке 13 представлено устройство коммутатора, являющегося частью первичного контура.

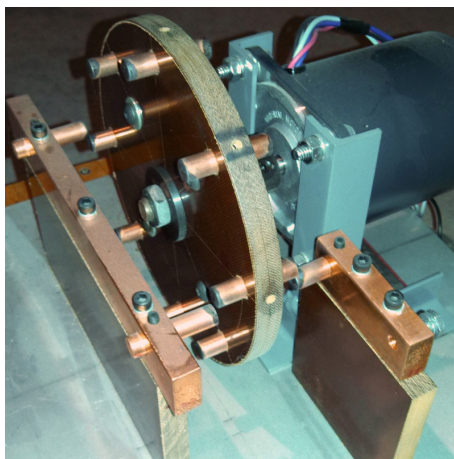


Рис. 13. Устройство коммутатора

4. Выводы

В ходе работы мне удалось поучаствовать в создании трансформатора Тесла. Были проведены измерения частотно-энергетических характеристик вторичного контура трансформатора, и по полученным данным рассчитаны ожидаемые характеристики первичного контура. Также было проведено сравнение характеристик работы трансформатора при различных конфигурациях его устройства, и сделаны выводы о наиболее оптимальном варианте устройства.

На основании четкой физической модели, нами были предложены методы расчета, вычислены и экспериментально проверены оптимальные параметры классического трансформатора Тесла - импульсного резонансного трансформатора с ударным возбуждением.

Трансформатор состоит из двух индуктивно связанных контуров без магнитных сердечников, с коэффициентом связи 0,153. Добротности контуров достаточно высокие (для первичного контура - порядка 30, для вторичного - 80-140). Энергия, накапливаемая в емкости первичного контура почти полностью передается во вторичный контур через 6 полувольт колебаний.

С учетом наименьшей добротности первичного контура, КПД устройства составляет порядка 80%.

5. Список использованной литературы

1. Tesla N. System of electric lighting. Patent N 454622, 23 June 1891.
2. Tesla, N., Apparatus for Producing Electrical Current of High Frequency and Potential. Patent n. 568176, 22 september 1896.
3. Швецов Г.А., Пальчиков Е.И., Матросов А.Д., Анисимов А.Г. Динамическая радиография взрывных и быстропротекающих процессов // Вопросы оборонной техники. Серия 14. «Проектирование систем вооружения и измерительных комплексов». Вып. № 1, 2012. М.: Информтехника, с. 146-155.
4. Пальчиков Е.И., Биченков Е.И.. Приборы и некоторые методы импульсной рентгенографии быстропротекающих процессов.// Физика горения и взрыва.- 1997.- т.33, N3.- стр. 159-167.
5. Bichenkov E.I., Palchikov E.I. Devices and some methods of pulsed Radiography of high-speed processes. Combustion, Explosion and Shock Waves, Vol. 33, № 3, pp 384-392, 1997.
6. Абрамян Е.А. Сильноточные ускорители-трансформаторы: Препринт ИЯФ СО АН СССР No 17-70. Новосибирск. 1970. 36 с.
7. Импульсный ускоритель электронов "Акваген"/ Авроров А.П., Астрелин В.Т., Бояринцев Э.Л., Капитонов В.А., Лагунов В.М. // Доклады Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. Ленинград: НИИЭФА, 1977. С. 170–177.
8. Вассерман С.Б. Трансформатор Тесла в высоковольтных ускорителях заряженных частиц. - ИЯФ СО РАН , 1977 год
9. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.III. Электричество. — М.: Наука, 1983, §§ 124, 125.
10. Калашников С.Г. Электричество. — М.: Наука, 1977, §§ 56, 209, 210.
11. G.Breit, M.A.Tuve and O.Dahl. Phys.Rev. 35, 51 (1930)

Расчет характеристик первичного контура трансформатора Тесла по измеренным характеристикам вторичного контура.

Параскун Александр Григорьевич

Физический Факультет. Практикум по электричеству и магнетизму. 3 семестр.

Группа № 20304, 2021 г.

Научный руководитель:

Е.И.Пальчиков, д.т.н., в.н.с. ИГиЛ СО РАН.

Аннотация.

Ключевые слова: трансформатор Тесла, колебательный контур, получение высоких потенциалов

Работа выполнена на базе лаборатории ЦЗ Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН.