

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Коржаневский Константин Игоревич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Исследование импульсного трансформатора и измерение прочности высоковольтной изоляции.

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19305

Научный руководитель:

Крылов А. А.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Матвеев А. С.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы являлось измерение характеристик импульсного трансформатора, проверка их на соответствие заявленных производителем, а также измерение прочности высоковольтной изоляции. Для этого были проведены измерения основных параметров трансформатора (индуктивность рассеяния, намагничивающая; импеданс) на различных частотах. Построены графики зависимости этих измерений от частоты, сделано сравнение с заявленными производителем. Предложена методика измерения электрической прочности изоляции, собраны индикаторы пробоя для разных значений напряжения. С использованием высоковольтного источника экспериментально получено напряжение пробоя для изоляции провода и для межслойной изоляции трансформатора.

Ключевые слова: импульсный трансформатор, индуктивность намагничивания, индуктивность рассеяния

Оглавление

1. Введение.....	3
2. Описание принципа работы RLC -метра.....	5
3. Результаты измерения индуктивности и сопротивления.....	6
4. Сравнение полученных данных с заявленными.....	7
5. Измерение напряжения пробоя.....	8
6. Выводы.....	10
7. Список литературы.....	10

Введение

Импульсный трансформатор – это специальный вид трансформаторов, применяемый для преобразования импульсных сигналов. Для упрощения понимания основных характеристик, рассмотрим частный случай: трансформатор с одинаковыми первичной и вторичной обмотками (рис. 1). В силу его конструкции, напряжения, токи и формы сигналов на первичной и вторичной обмотках будут совпадать. Следовательно, при изучении характеристик, его можно представить в виде схемы замещения (рис. 2). Здесь L_{μ} - индуктивность намагничивания обмоток, L_s – индуктивность рассеяния, R – сопротивление обмоток.

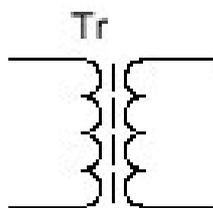


Рис. 1. Схематическое изображение трансформатора

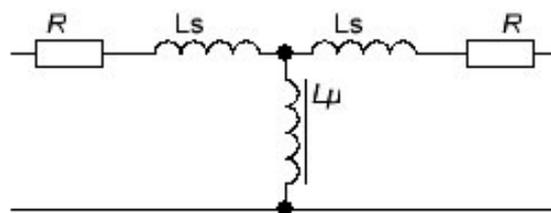


Рис. 2. Схема замещения импульсного трансформатора.

Индуктивность намагничивания трансформатора, как и индуктивность обычного соленоида, связывает поток поля через сердечник с протекающим через обмотку током:

$$\Phi = \frac{L}{c} I$$

В идеальном случае индуктивность намагничивания равна полной индуктивности обмотки, определяемой по формуле:

$$L = \frac{4\pi\mu N^2 S}{l}$$

В реальности же, в силу не идеальности конструкции трансформатора, не все поле, создаваемое катушкой, попадает во вторичную обмотку и создает ЭДС. Часть из него выходит наружу, часть вываливается из сердечника, часть идет на его перемангничивание. Поэтому вводится специальная физическая величина,

связывающая поток «рассеянного» поля и величину тока в катушке - индуктивность рассеяния.

Если при измерении индуктивности замкнуть выводы вторичной обмотки, напряжение на ней будет равно нулю. Соответственно, будет равно нулю напряжение на части L_m схемы замещения, и, следовательно, измеренное значение индуктивности равно индуктивности рассеяния.

Рассмотрим теперь сопротивление обмоток трансформатора. В идеальном случае оно равно нулю. В реальности же, в силу близкого к нулю удельного сопротивления меди, обмотки имеют отличное от нуля собственное сопротивление.

Индуктивности и сопротивления обмоток в данной работе были измерены с помощью 4-проводного RLC-метра НМ8118. В качестве исследуемого образца был использован трансформатор PA2548NL. Его схема показана на рис. 3.

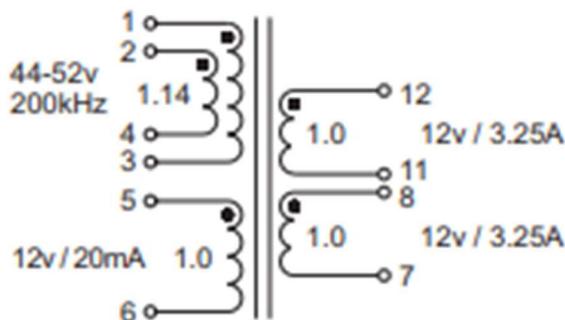


Рис. 3. Исследуемый трансформатор. Обмотки 1-3 и 2-4 – первичные, 7-8 и 11-12 – вторичные.

Один из имевшихся трансформаторов был разобран для взятия образцов провода обмоток, межслойной изоляции, а также для подсчета количества витков. Первичная и вторичная обмотки оказались намотаны литцендратом. Результаты приведены в таблице 1.

Параметры обмотки		
№ вы- вода	N проводов в жиле	N витков
1 и 3	10	8
2 и 4	10	8
7 и 8	35	7
11 и 12	35	7

Таблица 1. Параметры обмоток.

Описание принципа работы RLC -метра

Идеальные конденсатор и индуктивность – это реактивные элементы электрической цепи, поэтому они не имеют вещественной части сопротивления. Мнимая же часть их сопротивления выражается формулами:

$$X_L = j\omega L; X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Из данных формул видно, что для измерения емкости и индуктивности достаточно подать на образец ток определенной частоты и амплитуды, замеряя падающее на образце напряжение. Так же из формул видно, что фаза тока в индуктивности отстает от фазы напряжения, в конденсаторе же - опережает ее. Соответственно, зная сдвиг фазы между током и напряжением,

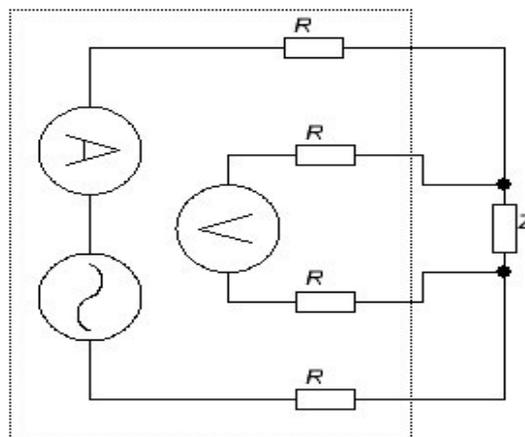


Рис. 4. 4-проводная схема измерения

можно определить, какой параметра преобладает в измеряемой цепи. Зная же сами значения напряжения и тока можно измерить комплексную составляющую ее сопротивления. Именно на этом принципе основана работа большинства современных RLC - метров. Но в реальности этот способ далеко не идеален. При пропускании тока через образец и измерении падения напряжения, мы замеряем сопротивление образца в купе с сопротивлением соединительных проводов. Для борьбы с этим эффектом применяется 4-проводная схема измерения (рис. 4). Преимущество ее в том, что ток, измеряемый амперметром в точности равен току образца, а напряжение, измеряемое вольтметром, равно напряжению на образце (в силу бесконечного сопротивления вольтметра). Именно такая схема применена в используемом для измерений RLC - метре НМ8118.

Так же здесь стоит отметить, что индуктивность рассеяния и намагничивания, в силу конструкции трансформатора, зависят от частоты, на которой проводятся измерения. Соответственно, в данной работе измерения этих величин проведены во всем возможном для данного прибора диапазоне частот.

Результаты измерения индуктивности и сопротивления

Индуктивность намагничивания и сопротивление были измерены напрямую, путем поочередного подключения обмоток трансформатора к RLC – метру. Индуктивность рассеяния измерена при замыкании выводов вторичной обмотки. Результаты измерений приведены на графиках (рис. 5-7).

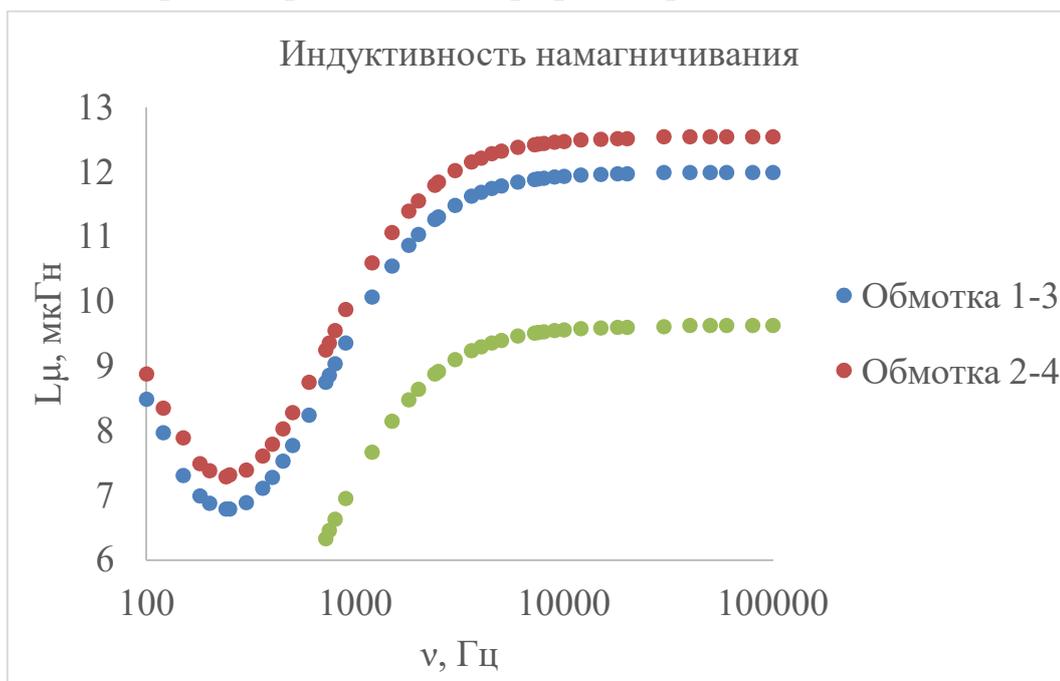


Рис. 5. Значения индуктивности намагничивания на разных частотах

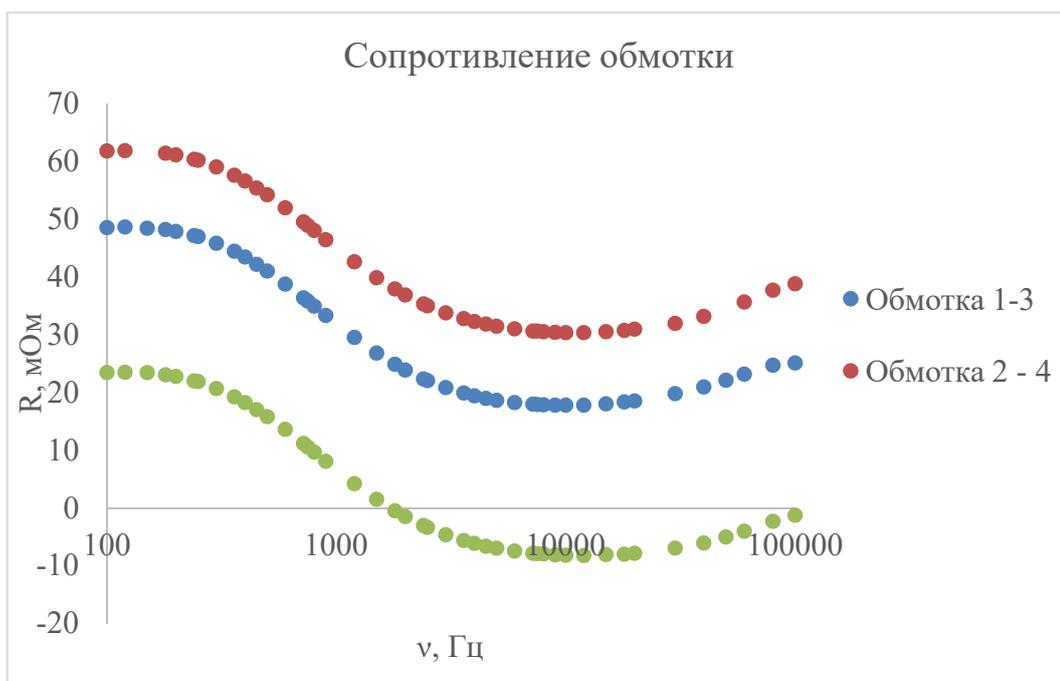


Рис. 6. Сопротивления обмоток на различных частотах

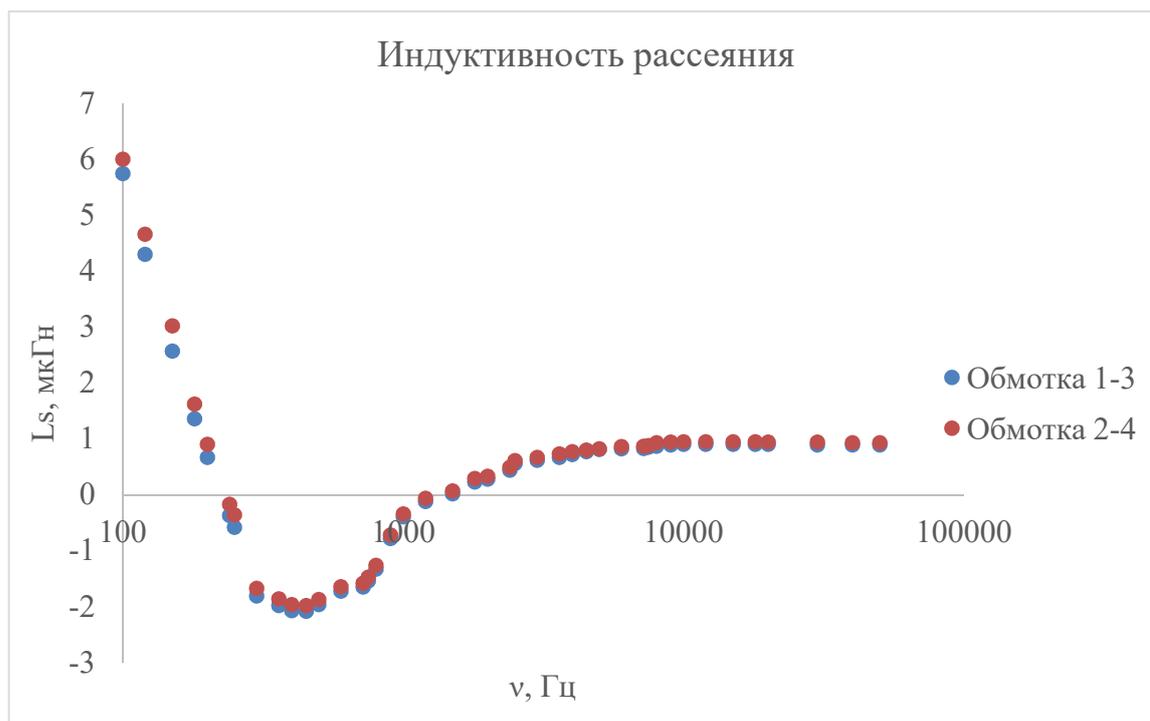


Рис. 7. Индуктивность рассеяния

Сравнение полученных данных с заявленными

Заявленная индуктивность бифилярных (включенных параллельно) первичных обмоток 11,2 мкГн. При таком включении необходимо брать среднюю величину индуктивностей обмоток.

Так как индуктивности обмоток пропорциональны количеству витков в них, то, зная их параметры, можно найти теоретическую индуктивность вторичной обмотки:

$$L_{II} = \frac{L_I * N_{II}}{N_I} = 9,8 \text{ мкГн}$$

Индуктивность рассеяния в документации отсутствует

Из документации на трансформатор известно, что его рабочая частота составляет 200кГц. Из графиков видно, что при стремлении частоты к 200кГц индуктивность намагничивания вторичной обмотки стремится к 10 мкГн, среднее значение для первичных – к 12,5 мкГн.

График зависимости сопротивления получился нелинейным, частично заходящим в отрицательную часть. Связано это с тем, что при измерении находении, RLC-метр измеряет импеданс нагрузки и угол между током и напряжением.

Соответственно, при повышении частоты, возрастают паразитные индуктивности и емкости, вносящие свой вклад в неточность показаний. Из того, что показания меняются по одному закону, но из разных начальных значений, видно, что основной вклад в погрешность измерений дает именно межобмоточная емкость.

Из выше сказанного следует, что измерять сопротивления следует при минимально возможной частоте. В данном случае, на частоте 100 Гц сопротивления первичной и вторичной обмоток составили соответственно 27 мОм и 25 мОм (при параллельном включении первичных обмоток). Табличные же значения составили 18 мОм и 20 мОм.

Измерение напряжения пробоя

Каждый трансформатор, помимо индуктивностей и сопротивлений, обладает такими параметрами, как межвитковое и межобмоточное напряжения пробоя. Эти величины зависят от состава и толщины лакового изолирующего покрытия обмоток, а также от качества и толщины межслойной изоляции. Для их измерения в данной работе был использован регулируемый источник питания с выходным напряжением до 1000В.

Для защиты от короткого замыканий, а также для индикации факта пробоя была разработана схема пробника-индикатора (рис. 8):

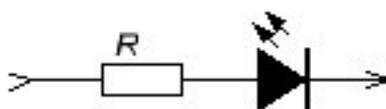


Рис. 8. Схема щупа

Из значения стандартного тока потребления светодиода по закону Ома рассчитаны 4 пробника для различных значений напряжений:

$$R1 = \frac{25 \text{ В}}{12 \text{ мА}} \approx 2 \text{ кОм}$$

$$R2 = \frac{100 \text{ В}}{15 \text{ мА}} \approx 7 \text{ кОм}$$

$$R3 = \frac{400 \text{ В}}{20 \text{ мА}} \approx 20 \text{ кОм}$$

$$R4 = \frac{1000 \text{ В}}{20 \text{ мА}} \approx 50 \text{ кОм}$$

Из имевшихся сопротивлений собраны сами пробники:

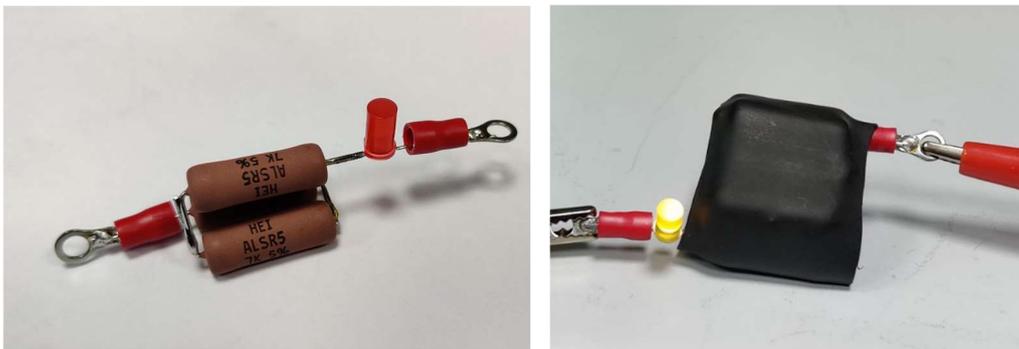


Рис. 9. Фото пробников.

Для эксперимента были взяты образцы первичной и вторичной обмотки из разобранного трансформатора. Каждая была смотана в многослойное кольцо. Каждое кольцо поочередно подключалось к земляному выводу источника и подвергалась многократному контакту с «горячим» выводом щупа в различных своих точках. Так же одна из обмоток дополнительно была проверена на мельчайшие изломы и тонкие слои изоляции путем предварительного смачивания проводящей жидкостью (водой) с последующим измерением напряжения пробоя.

Кусок межслойной изоляции был разобран на составляющие его слои (всего 4 одинаковых слоя). Один из них был приложен к земляному контакту. Проведением высоковольтным выводом по поверхности изоляции измерено ее напряжение пробоя.

Все измерения проводились до включения светодиода или появления высоковольтной дуги. Результаты измерений приведены в таблице 2.

	Обмотка 1-3	Обмотка 11-12	Обмотка 11-12 с водой	Изоляция
U _{пр} , В	450	700	300	800

Таблица 2. Напряжения пробоя.

Из значения напряжения пробоя провода обмотки, путем его умножения на количество витков, получено максимальное рабочее напряжение каждой обмотки:

$$U_{mI} = 8 * 450 \text{ В} = 3600 \text{ В}$$

$$U_{mII} = 7 * 700 = 4900 \text{ В}$$

Выводы

Таким образом, в данной работе измерены основные характеристики трансформатора. Измерены индуктивности рассеяния, намагничивания, сопротивления обмоток. Эти значения оказались близки к заявленным. Так же получено напряжение пробоя для обмоток и межслойной изоляции, из него рассчитано максимальное рабочее напряжение трансформатора.

Список литературы

- Сивухин Д. В. Общий курс физики, том III, электричество М.: Наука, 1977. – 282 с.