

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

И.Е. Кажекин

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению лабораторных работ для студентов бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621.31

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетика»
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
А.Ю. Никишин

Кажекин, И.Е.

Техника высоких напряжений: учеб.-методич. пособие– локальный электронный методический материал по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр. подгот. 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / И.Е. Кажекин – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 32 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Техника высоких напряжений» со студентами, обучающимися по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения практических навыков в области техники высоких напряжений.

Табл. 5, список лит. – 2 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства _____.2022

г.

Печ. л. 2,44.

Оглавление

Введение.....	4
Правила техники безопасности при проведении работ.....	5
Лабораторная работа №1 «Исследование электрических систем с изолированной и компенсированной нейтралью в установившихся режимах однофазного замыкания на землю».....	8
Лабораторная работа №3 «Исследование ёмкостного эффекта в длинных линиях»	18
Лабораторная работа №4 «Исследование дуговых перенапряжений в электросистемах с различным режимом нейтрали».....	24
Лабораторная работа №5 «Оценка эффективности неразрушающих методов испытаний изоляции».....	27
Рекомендуемая литература.....	30
Приложение А_Форма отчета по лабораторной работе.....	31

Введение

Целью освоения дисциплины является знакомство обучающихся с основными закономерностями процессов в электроустановках высокого напряжения.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение основных закономерностей построения электроэнергетических систем, линий электропередач, основ электроснабжения;
- формирование базовых знаний, умений и навыков для успешного выбора и эксплуатации различных технологий и средств защиты от атмосферных и внутренних перенапряжений.

Целью лабораторного практикума является закрепление знаний у обучающихся об основных процессах в технике высоких напряжений.

На промежуточной аттестации дисциплины обучающиеся должны знать:

- физические процессы при поверхностном пробое диэлектриков;
- уметь:
- производить выбор и оценивать последствия выбора способа заземления нейтрали электрических сетей;
- владеть:
- навыками проведения стандартных испытаний электроэнергетического и электротехнического оборудования и систем; методами эксплуатации и испытаний изоляции высокого напряжения.

Для приобретения перечисленных выше навыков и знаний в *практикуме предлагается пять лабораторных работ. На выполнение каждой из работ может потребоваться более двух академических часов.* Кроме того, для лучшего освоения материала каждая выполненная в лаборатории работа защищается в виде ответов на контрольные вопросы в форме, определяемой преподавателем.

Автор выражает благодарность студентам гр. 21-ЭЭм направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» Бронникову В.А. и Савушкиной П.С. за участие в подготовке настоящего учебно-методического пособия.

Правила техники безопасности при проведении работ

1. Общие требования охраны труда

Безопасность жизнедеятельности при проведении лабораторных работ в лабораториях кафедры энергетики обязательна для профессорско-преподавательского состава, учебно-вспомогательного персонала и студентов.

К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж с росписью в журнале. Инженер, обслуживающий лабораторию, должен иметь группу допуска с ежегодной проверкой. В лаборатории должна быть медицинская аптечка с набором медикаментов первой медицинской помощи, а также лаборатория должна быть укомплектована средствами пожаротушения. На видном месте должна висеть инструкция по противопожарной технике безопасности.

Во время проведения занятий запрещено находиться в лаборатории в верхней одежде, либо размещать верхнюю одежду в помещении лаборатории. Перед проведением лабораторных занятий студенты обязаны изучить лабораторную работу. Перед началом работы инженер или преподаватель проверяет исправность стендов. Без разрешения преподавателя проведение лабораторных работ запрещается. Запрещается изменять схему лабораторной работы. При проведении лабораторных работ на столах не должно быть ничего из посторонних предметов. Всякие работы по устранению неисправностей под напряжение категорически запрещаются. При сборке схемы применяют только стандартные провода с наконечниками. При возникновении неисправностей стенд должен быть немедленно отключен от сети.

Запрещается оставлять без присмотра работающие стенды. При появлении запаха гари немедленно отключить стенд. В случае поражения электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Ответственный за проведение лабораторных работ уходит последним из лаборатории, убедившись, что рабочее место убрано, а стенды отключены.

При эксплуатации действующих электроустановок запрещается использовать оборудование в условиях, не соответствующих требованиям инструкции организации-изготовителей, или оборудование, имеющее неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать провода и кабели с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

2. Требования охраны труда перед началом работы

- Осмотреть состояние помещения: достаточно ли освещенность, работает ли вентиляция проветривания помещения, позволяет ли температура в

помещении комфортно проводить работы без верхней одежды, не загромождено ли место проведения занятий посторонними предметами.

- Осмотреть состояние электрических соединений, рубильников, автоматов и прочих переключающих средств.
- Проверить наличие средств защиты.
- Убрать все посторонние предметы, которые могли бы создавать неудобство в сборке схемы лабораторной работы.
- Если необходимо, вывесить предупреждающие плакаты.
- Лабораторная работа проводится только с исправными приборами.
- Руководитель перед началом работы проводит инструктаж по технике безопасности и контролирует весь процесс работы.
- К моменту проведения работ все стенды должны быть проверены и готовы.
- Все студенты должны расписаться в контрольном листе.
- Студенты должны внимательно изучить описание работы, при необходимости выяснить неясные моменты.

3. Требования охраны труда во время работы

- Лабораторная работа проводится только в присутствии преподавателя.
- На проведение лабораторной работы разрешение дает лично руководитель занятий после проверки правильно собранной схемы.
- Руководитель должен следить, чтобы в схеме не было открытых оголенных проводов. При обнаружении недостатков такая работа должна быть немедленно приостановлена.
- Во время проведения лабораторной работы все проходы должны быть освобождены, доступ к стендам должен быть свободным.
- Во время проведения лабораторной работы запрещается оставлять включенный стенд без присмотра.
- При выявлении запаха гари следует немедленно обесточить стенд и доложить руководителю.

4. Требования охраны труда по окончанию работы

- По окончанию лабораторной работы стенд обесточивается, все приборы и соединительные провода отсоединяются и убираются.
- О выявленных неисправностях доложить руководителю занятий.
- Выключить освещение лаборатории, закрыть помещение на замок

5. Требования охраны труда в аварийных ситуациях

- 1) При возникновении неисправностей во время проведения лабораторной работы необходимо немедленно обесточить стенд.
- 2) При обнаружении пожара необходимо:
 - прекратить работу, оповестить окружающих о пожаре;

- сообщить о пожаре на вахту, сообщить о возгорании в пожарную охрану по тел. **01** или по тел. **101 (112)** мобильной связи, сообщить при этом точное место пожара, что горит, свою фамилию;
 - принять меры по эвакуации людей и спасению оборудования.
 - отключить от сети электрооборудование;
 - приступить к тушению пожара своими силами с помощью имеющихся подручных средств пожаротушения;
 - если погасить очаг горения не представляется возможным, необходимо плотно закрыть окно, дверь не запирая замок и покинуть опасную зону;
- 3) При поражении электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. При необходимости вызвать скорую помощь по тел. **03.** или по тел. **103 (112)** мобильной связи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЯМИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ»

Цель работы

Экспериментально проверить эффективность применения компенсирующих устройств как средства ограничения повышенных токов однофазного замыкания с изолированной нейтралью.

Краткие теоретические сведения

Во всех электросистемах, независимо от их назначения и номинального напряжения, количество однофазных замыканий на землю обычно в несколько раз превышает количество остальных видов замыканий, вместе взятых. Степень опасности однофазных замыканий определяется величинами возникающего при этом тока и выделяющейся мощности.

В электросистемах с простой изолированной нейтралью ток глухого однофазного замыкания $I_{оз}$ (ток при величине переходного сопротивления $Z_{пер}$ в месте возникновения контакта одной из фаз с землей, близко к нулю) определяется выражением:

$$I_{оз} = 3U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_{\phi}, \quad (1.1)$$

где U_{ϕ} - величина фазного напряжения; ω - угловая частота, равная 314 с^{-1} ;
 C_{ϕ} - величина емкости каждой из трех фаз сети по отношению к земле.

Процесс развития электрических сетей практически всегда сопровождается ростом емкостей сети по отношению к земле. В результате величины тока $I_{оз}$ также возрастают и превышают некоторые допустимые уровни, начиная с которых сети утрачивают те или иные виды безопасности (электробезопасность, пожаробезопасность, дугобезопасность и др.).

Ограничение величин токов однофазных замыканий может быть достигнуто путем применения компенсирующих катушек предложенных Петерсеном в 1917 году. Они включаются между электрической нейтралью и землей. Принцип работы сводится к созданию условий, аналогичных резонансу токов в цепях переменного тока, когда суммарный ток оказывается во много раз меньше складываемых индуктивного и ёмкостного токов, протекающих по параллельным ветвям. Глухое замыкание одной из фаз на землю изменяет напряжение между этой фазы и землёй с уровня фазного напряжения до нуля. При этом напряжения двух других («здоровых») фаз по отношению к земле возрастают от величин фазных до линейных напряжений. При этом линейные напряжения и токи в сети не изменяются. Такой же эффект может быть получен, если вместо однофазного замыкания на землю произвести включение источника ЭДС, равного фазному напряжению

поврежденной фазы и компенсирующего его в точке замыкания. Такой подход более удобен при построении векторных диаграмм, объясняющих принцип действия катушки Петерсена.

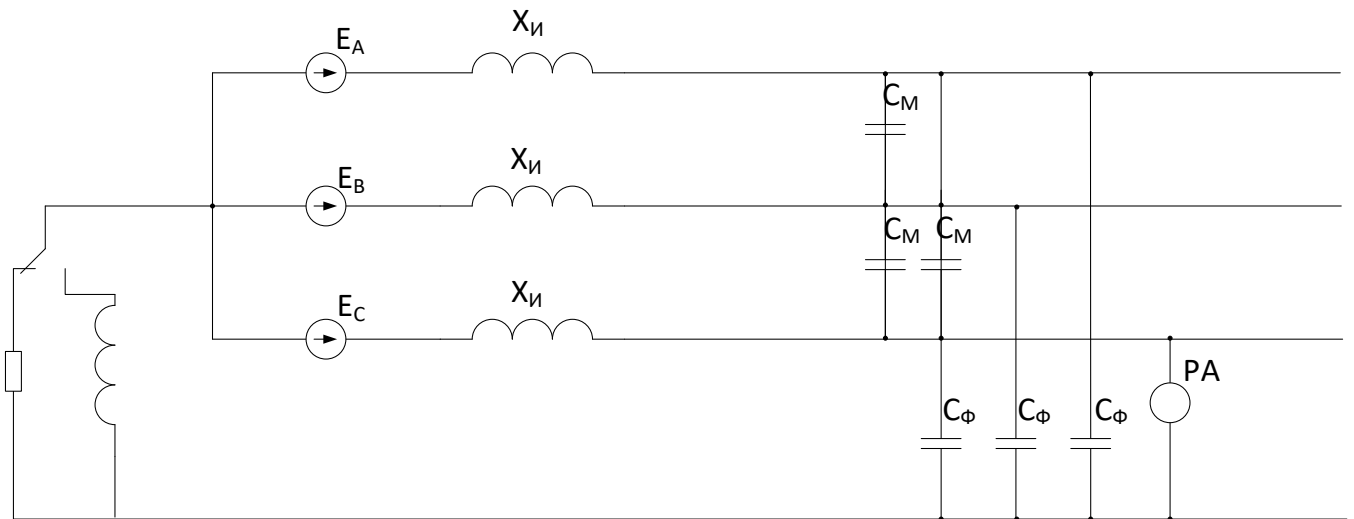


Рисунок 1.1 – Схема замещения сети с изолированной нейтралью

На рисунке 1.1 приведена схема сети с изолированной нейтралью, в которой с помощью ключа К можно подключать компенсирующую катушку между искусственной нейтралью, образованной разделительными ёмкостями C_{ϕ} и землёй. В точку повреждения фазы А включим однофазный источник ЭДС, равный $-U_{\phi A}$. Это приведёт к соответствующим изменениям векторной диаграммы, показанной на рисунке 1.2. В частности, возникнет напряжение смещения нейтрали по отношению к земле, которое отсутствовало до замыкания. Она станет воздействовать на катушку, включённую между нейтралью и землёй, и вызовет ток I_K .

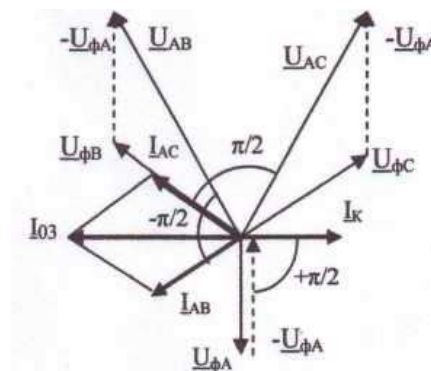


Рисунок 1.2 – Векторная диаграмма сети с однофазным замыканием на землю фазы А

В то же время возникнут два тока I_{AC} и I_{AB} , протекающие по изоляции неповреждённых фаз под воздействием линейных напряжений U_{AC} и U_{AB} . Если активную проводимость изоляции не учитывать из-за её малой величины, по сравнению с ёмкостной, то характер токов I_{AC} и I_{AB} будет чисто ёмкостной и изображающие их векторы будут опережать векторы соответствующих напряжений

на углы $\pi/2$. В точке замыкания (включения дополнительного источника ЭДС) соединятся три тока: токи через отдельные фазные ёмкости неповреждённых фаз I_{AC} и I_{AB} и компенсатора I_K после суммирования токов I_{AC} и I_{AB} получим ток I_K , представляющий собой ток однофазного замыкания на землю в электросистемах с изолированной нейтралью. Его величина определяется приведённым выше выражением (1.1). Если правильно подобрать катушку, то ток I_K практически полностью скомпенсирует ёмкостной ток I_{O3} . Для этого необходимо, чтобы было выполнено условие

$$3 \cdot \omega \cdot C_{\phi} = \frac{1}{\omega \cdot L_k}, \quad (1.2)$$

где L_k - индуктивность компенсирующей катушки.

На практике условие (1.2) не выполняют, чтобы исключить возможные феррорезонансные явления в условиях несимметрии фазных ёмкостей. Кроме того, наличие активных проводимостей и высших гармоник фазных напряжений не позволяет достичь полной компенсации токов однофазных замыканий на землю, но позволяет в 8-12 и более раз уменьшить эти токи. Такой результат во многих случаях достаточен для обеспечения безопасности сетей с изолированной нейтралью. В частности, он позволяет обеспечить гашения однофазных заземляющих дуг, возникающих при повреждениях фазной изоляции по отношению к земле.

Основной характеристикой, отражающей эффективность применения дугогасящей катушки Петерсена в условиях той или иной трёхфазной сети, является V-образная характеристика. Она представляет зависимость тока однофазного замыкания на землю от величины фазных ёмкостей C_{ϕ} при включенном и нерегулируемом компенсаторе. Ток регистрируется путём простого включения амперметра переменного тока между одной из фаз и землёй.

Алгоритм проведения эксперимента

1. На модели электрической сети при выключенном компенсаторе провести регистрацию амперметром тока однофазного замыкания на землю при увеличении симметричных трёхфазных ёмкости. Результаты регистрации занести в табл.1.

2. Повторить тот же опыт, но при включенном компенсаторе. Результаты занести в таблицу 1.1.

3. По результатам измерений построить зависимость $I_{O3}=f(C_{\phi})$ для модели сети без компенсатора и такую же зависимость в виде V-образной характеристики для сети с компенсатором.

4. По результатам регистрации определить резонансную фазную ёмкость сети $C_{\phi p}$ и возможности компенсатора по ограничению тока однофазного замыкания на землю.

При проведении исследований влияния несимметрии фазных емкостей на токи однофазных замыканий необходимо построить их зависимости от степени несимметрии.

Таблица 1.1 - Результаты измерения токов однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью.

№ опыта	Величина фазной ёмкости сети C_{ϕ} , мкф	Величина тока однофазного замыкания на землю, А		
		В сети с изолированной нейтралью	В сети с компенсированной нейтралью	В сети с резистивной нейтралью
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Отчет должен включать:

1. Схему лабораторного стенда с указанием места включения амперметра и схемы компенсатора.
2. Результаты экспериментов, представленные в таблице 1.1.
3. Графики для сетей с изолированной и компенсированной нейтралью.
4. Выводы и заключения, предусмотренные п.4 порядка выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия катушки Петерсена при возникновении однофазного замыкания на корпус.
2. Протекает ли ток по компенсирующей катушке в условиях симметрии и несимметричных фазных ёмкостей.
3. Вывод формулы тока однофазного замыкания для сети с изолированной нейтралью.
4. Объяснить, что такое коэффициент демпфирования и как он влияет на величину тока однофазного замыкания?
5. Как определяется (рассчитывается) степень несимметрии фазных емкостей электросети и чем опасно ее высокое значение в сети с компенсацией тока однофазного замыкания?
6. Обосновать влияние междуфазной емкости на величину установившегося тока однофазного замыкания.

7. Как влияет несимметрия фазных емкостей на величину тока однофазного замыкания? Обосновать при помощи векторной диаграммы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ И ПРОБОЯ ТВЁРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»

Цель работы:

Ознакомиться с процессами электрического старения и пробоя твёрдой изоляции в условиях судовых электроэнергетических систем низкого напряжения.

Краткие теоретические сведения

В судовых условиях, где практически повсеместно применяется низкое напряжение, пробоем твёрдой изоляции предшествует процесс трекообразования, в результате которого образуется токопроводящая дорожка - трек. Затем может наступить и окончательный пробой, возникающий в результате протекания тока по образовавшемуся треку и имеющий характер теплового пробоя.

Процесс трекообразования, называемый ещё трекингом, протекает под воздействием электрического напряжения в условиях периодического увлажнения поверхности твёрдого диэлектрика. В судовых условиях тонкий слой влаги на поверхности диэлектрической конструкции может возникнуть в результате влияния росы, появления тумана или даже прямого попадания воды. Протекающий по этому слою ток утечки приводит достаточно быстрому его пересыханию из-за джоулева тепла. Неравномерное распределение плотности тока по поверхности увлажняющего слоя изоляции приводит к пересыханию отдельных участков раньше других. Здесь и образуются локальные дефекты, которые затем сливаются в единый трек, протягивающихся от одного электрода к другому.

Выделяют высоковольтный и низковольтный трекинги. Различие между ними заключается в механизме возникновения локальных дефектов в каждом из циклов увлажнения и пересыхания изоляции. Для высоковольтного трекинга характерно возникновение микродуг над поверхностью твёрдого диэлектрика. Высокая температура дуги, продукты её горения и интенсивное радиационное излучение приводят к локальному повреждению изоляции. Повторные увлажнения изоляции, находящейся под напряжением, приводят к появлению всё новых и новых дефектов, которые, накапливаясь, приводят наконец к образованию трека.

Для низковольтного трекинга характерным является принципиальная невозможность возбуждения микродугового процесса над поверхностью диэлектрика из-за низкого уровня приложенного напряжения. Однако разрушение изоляции из-за накопления дефектов проходит во многом аналогично разрушению микродугами. При пересыхании плёнки увлажнения самый верхний слой твёрдого диэлектрика, впитавший в себя определённое количество влаги, сохраняет достаточно высокую электропроводность. В результате ток начинает протекать через этот слой диэлектрика и в нём начинает интенсивно выделяться джоулево тепло. Локальный разогрев изоляции приводит к возникновению новых дефектов. Накапливаясь, они примерно образуют трек, как и микродуговой процесс.

Активизации процессов трекообразования способствует высокая гигроскопичность углерода. Она приводит к тому, что в очередных циклах увлажнений роса особенно интенсивно смачивает уже повреждённые участки диэлектрика. На них и происходит особенно интенсивное развитие процессов разрушения изоляции.

Различные изоляционные конструкции в зависимости от структуры химического состава их материалов, состояния поверхности, условий эксплуатации и других факторов значительно отличаются по своей стойкости к образованию поверхностных токопроводящих каналов. Для сравнения материалов по их трекинговой стойкости в низковольтных электроустановках применяется ускоренный метод испытаний. При использовании этого метода сравнение материалов производится по условным параметрам, рассматриваемым только в сочетании с указанным методом. Наиболее распространённым параметром является напряжение трекинга $U_{\text{ТРЕК}}$.

Метод определения напряжения трекинга $U_{\text{ТРЕК}}$ заключается в следующем. На плоский образец ставят два латунных электрода на расстоянии 4 мм. К электродам прикладывается испытательное напряжение частотой 50 Гц. В процессе испытаний напряжение изменяется ступенями от значения 500-600 В (не более 1000 В) до 150 В. В межэлектродный промежуток каплями подаётся 0,1—процентный раствор хлористого аммония, в дистиллированной воде.

Капли электролита падают с высоты 10—20 см с интервалом времени в 30 сек. На каждой ступени проводится испытание одного или нескольких образцов до их полного разрушения. При этом определяется количество капель n , после воздействия которых возникает пробой (момент пробоя фиксируется по достижению током утечки значения $I=0,2$ А). Затем испытание повторяется, но уже при новом значении воздействующего напряжения. По результатам выполненных испытаний строится зависимость $n=f(U)$, по которой определяется напряжение трекинга $U_{\text{ТРЕК}}$ (Рис. 2.1). Оно равно такому значению напряжения, при котором пробой наступает после воздействия 50 капель. Напряжение трекинга является показателем стойкости материала трекингу.

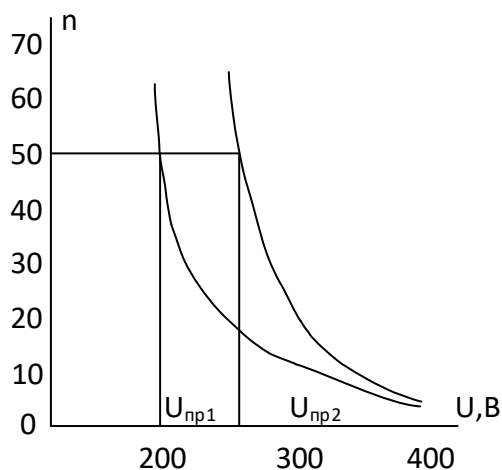


Рисунок 2.1 – Зависимость напряжения трекинга от количества капель

Описание экспериментальной установки, перечень приборов и оборудования

Схема испытательной установки приведена на рис.2. Ниже приводится перечень оборудования, использованного в установке и условные обозначения отдельных элементов:

ПВ - пакетный выключатель;

ПР1, ПР2 - предохранители;

ЛАТР - лабораторный автотрансформатор;

СЛ - сигнальная лампа "Установка включена";

ТР - повышающий трансформатор;

R — защитный резистор, ограничивающий ток замыкания после пробоя образца величиной $(1 \pm 0,10)$ А;

A - амперметр, используемый при постройке установки;

РТ - реле тока, отключающее напряжение после пробоя образца;

V - вольтметр, используемый для установления заданного напряжения между электродами, расположенными на образце;

T1 - тумблер, шунтирующий испытываемый образец при настройке реле тока РТ;

RН - резистор, воспроизводящий сопротивление увлажнённого образца;

КП - капельница;

Э - испытательные электроды;

О - образцы;

Дк - контакт, замыкающийся при закрывании электродов защитным щитком из оргстекла.

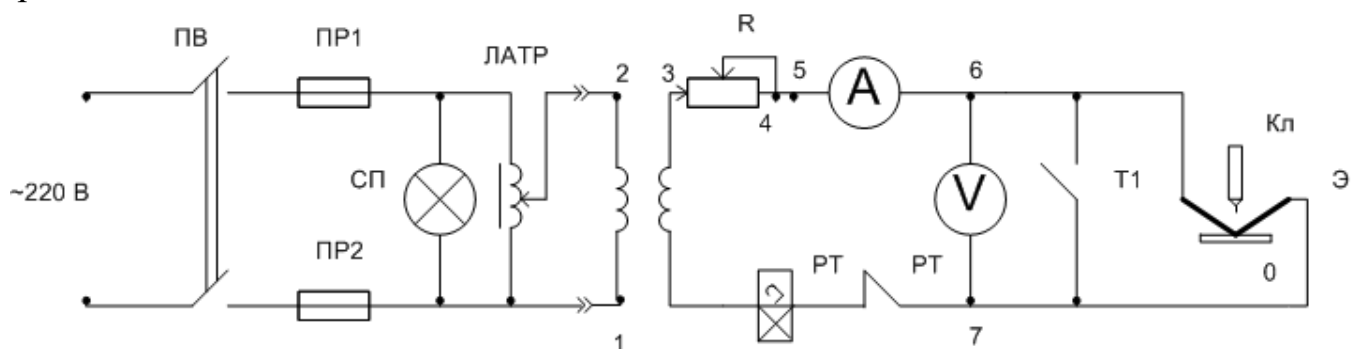


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема экспериментальной установки

Для подготовки установки к работе необходимо включить пакетный выключатель ПК. После закрытия защитного щитка и включения вилки установка переводится в рабочий режим.

Включить тумблер T1 и выведя реостат R можно отрегулировать сопротивление защитного резистора RН таким образом, чтобы ток при замыкании электродов Э не превышал допустимого значения, равного $(1 \pm 0,10)$ А. Затем введя реостат R и доведя его сопротивление до такого значения, при котором ток равен 0,1-0,2 А, можно отрегулировать установку реле тока РТ.

Отключение тумблера T1 завершает процесс подготовки установки к испытаниям. Для начала испытаний осталось подвести капельницу,

отрегулированную на определённый интервал времени между двумя каплями, следующими одна за другой. Если регулировка капель не получается, то можно просто капать на диэлектрик через указанные интервалы времени.

Отключение установки производится выключателем ПВ, контактом Дк, размыкающимся при открытии щитка или реле РТ, срабатывающим при пробое образца.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Перед выполнением лабораторной работы необходимо ознакомиться с целями работы и изучить теоретический материал по рекомендуемой литературе, самостоятельно ответить на контрольные вопросы, приведённые в конце методических указаний. Необходимо изучить схему лабораторной установки, назначение её элементов, порядок включения и отключения установки.

2. Отрегулировать экспериментальную установку. Установить сопротивление защитного реостата R_H таким образом, чтобы ток трансформатора при коротком замыкании электродов Э не превышал $(1 \pm 0,10)$ А. Для этого включить пакетный выключатель ПВ, убедиться, что щиток из оргстекла закрыт и включить вилкой напряжение на ЛАТР. Затем ввести реостат R (установить наибольшее сопротивление), вывести R_H (установить сопротивление, равное нулю) и включить тумблеры Т1. Плавно уменьшая сопротивление реостата R установить по амперметру А ток примерно равный 1,1 А.

После настройки реостата R отрегулировать реле тока РТ. Для этого ввести реостат R_H и установить по амперметру ток 0,1 А. Затем не отключая тумблер Т1 добиться срабатывания реле при указанном токе. Затем установить по вольтметру напряжение 400 В, отключить тумблер Т1 и выключить установку.

3. Отрегулировать интервал времени между двумя каплями, следующими друг за другом. С целью сокращения времени эксперимента рекомендуется установить интервал равным 20, а не 30 секундам.

Регулировку следует произвести с помощью зажима, установленного на резиновом натрубке капельницы и часов с секундной стрелой. При этом капельницу следует отвести от электродов и направить в специальную мензурку.

4. Направить капельницу на электроды, закрыть защитный щиток и включить установку вилкой. Довести образец до пробоя. Количество капель, потребовавшихся для пробоя зафиксировать и занести в табл.1.

5. На одной и той же ступени напряжения опыт повторить трижды, каждый раз передвигая испытываемый образец по отношению к электродам. Результаты занести в табл.1.

6. Установить напряжение 350 В и повторить описанные выше опыты. Результаты занести в табл.1.

7. Опыт повторить при напряжениях 300,250 и 200 В. Результаты занести в табл.1.

8. Описанные выше опыты при тех же значениях напряжения повторить для другого диэлектрика. Результаты занести в табл.1.

9. По результатам измерений определить средние значения числа капель $n_{ср}$ при различных уровнях приложенного напряжения $U_{пр}$.

10. Построить графики зависимостей $n_{\text{СР}} = f(U_{\text{пр}})$ и по ним определить напряжение трекинга $U_{\text{трек}}$ (напряжения $U_{\text{пр}}$ при $n = 50$).

Отчет должен включать:

1. Изложение цели работы.
2. Электрическую схему установки.
3. Таблицу измерений и вычислений величин.
4. Графики зависимостей для каждого из испытываемых диэлектриков.
5. Выводы по работе, в которых делается обоснованное заключение об относительной трекинговой стойкости испытанных диэлектриков.

Контрольные вопросы

1. Какие механизмы развития трекров на поверхности диэлектриков. Подвержены ли керамические изоляторы трекингу?

2. Каким показателем пользуются для характеристики относительной стойкости диэлектриков разрушающему воздействию поверхностных токов в низковольтных электроустановках?

3. Опишите методику испытаний диэлектриков на трекинговую стойкость. Как определить напряжение трекинга по методу каплепадания? Каково наибольшее испытательное напряжение при испытаниях низковольтной изоляции на стойкость трекингу?

4. Опишите устройство экспериментальной установки. Каково назначение сопротивления R и R_H ? Как обеспечивается защита от коротких замыканий и самопроизвольных включений установки после возобновления подачи напряжения от сети вслед за неожиданным перерывом в электроснабжении?

5. Как производится настройка экспериментальной установки? Какие способы повышения трекинговой стойкости материалов могли бы вы предложить? Указать не менее четырёх-пяти способов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЁМКОСТНОГО ЭФФЕКТА В ДЛИННЫХ ЛИНИЯХ»

Цель работы:

Изучить особенности возникновения квазистационарных перенапряжений в длинных линиях электропередачи при их одностороннем включении, называемым ёмкостным эффектом.

Краткие теоретические сведения

Ёмкостным эффектом называют существенное повышение напряжения в дальних электропередачах по мере удаления от источника напряжения. Он аналогичен резонансу напряжений в электрических цепях с сосредоточенными параметрами. Ёмкостной эффект усиливается по мере приближения к участку, на котором ёмкостное сопротивление контура длинной линии при промышленной частоте приближается к совокупному индуктивному сопротивлению линии и концевых устройств. Наибольшее повышение напряжения, вызванное возникновением указанного установившегося режима, как правило, наблюдается при холостом ходе или при малых нагрузках линии с односторонним питанием.

Простая однопроводная модель длинной линии, позволяющая определить влияние отдельных факторов на величину перенапряжений, приведена на рис. 1. Она не учитывает потери в изоляции линии.

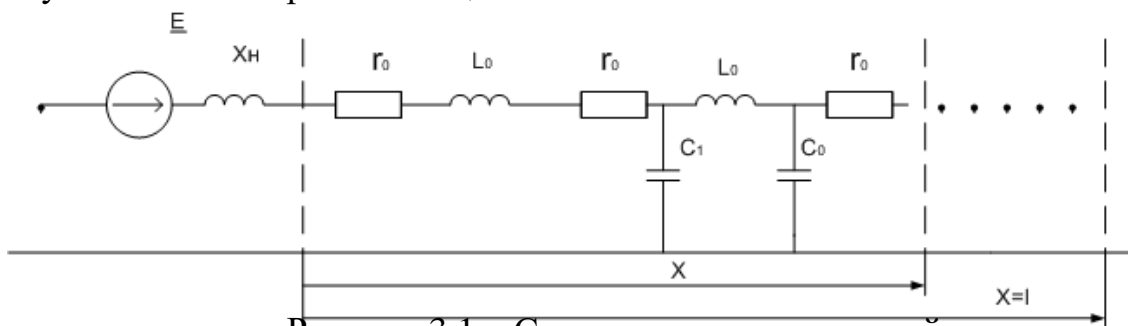


Рисунок 3.1 – Схема замещения длинной линии

Напряжение и ток в начале линии по известным конечным условиям $U(l)$ и $I(l)$ определяются из уравнений:

$$U(0) = U(l) \cdot ch\gamma l + I(l) \cdot Z_c \cdot sh\gamma l \quad (3.1)$$

$$I(0) = U(l) \cdot \frac{1}{Z_c} sh\gamma l + I(l) \cdot ch\gamma l, \quad (3.2)$$

где $\gamma = \alpha + j\beta$ - постоянная распространения, компонентами которой являются: α - коэффициент затухания и β - коэффициент фазы; Z_c - волновое сопротивление линии.

При отсутствии или неучёте короны постоянная распространения

$$\gamma = \sqrt{(r_0 + j\omega L_0) \cdot j\omega C_0} = j\omega\sqrt{L_0 C_0} \cdot \sqrt{1 + \frac{r_0}{j\omega L_0}}, \quad (3.3)$$

где ω - частота внешнего воздействия на линии; r_0, L_0, C_0 - соответственно сопротивление, индуктивность и емкость линии, приходящиеся на 1 км ее длины.

Учитывая, что обычно $r_0 \ll \omega L_0$, выражение для γ можно упростить, применив приближенное извлечение корня

$$\gamma = j\omega\sqrt{L_0 C_0} \cdot \sqrt{1 + \frac{r_0}{j\omega L_0}} \approx j\omega\sqrt{L_0 C_0} \cdot \left(1 + \frac{r_0}{2j\omega L_0}\right) = \frac{r_0}{2\sqrt{\frac{L_0}{C_0}}} + j\omega\sqrt{L_0 C_0} = \alpha + j\beta, \quad (3.4)$$

где $\alpha = \frac{r_0}{2\sqrt{\frac{L_0}{C_0}}}$; $\beta = \omega\sqrt{L_0 C_0}$

При $\omega=314 \text{ с}^{-1}$ и при распространении электромагнитной волны со скоростью света v_c величина $\beta = \omega/v_c = 1,05 \cdot 10^3 \text{ рад/км} = 0,06 \text{ град/км}$

Волновое сопротивление с учетом тех же упрощений определяется по формуле

$$Z_c = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{j\omega C_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \cdot \left(1 + \frac{r_0}{2j\omega L_0}\right) = Z_c \cdot \left(1 + j\frac{\alpha}{\beta}\right), \quad (3.5)$$

Разомкнутая в конце линия ($I(\ell) = 0$) описывается системой

$$\begin{aligned} U(0) &= U(\ell) \cdot \operatorname{ch}\gamma\ell \\ I(0) &= U(\ell) \cdot \frac{1}{Z_c} \operatorname{sh}\gamma\ell \end{aligned} \quad (3.6)$$

Отношение напряжения в конце линии к напряжению в ее начале называется коэффициентом передачи \underline{K} . Для линии в режиме холостого хода он равен

$$K = \frac{U(\ell)}{U(0)} = \frac{1}{\operatorname{ch}\gamma\ell} = \frac{1}{\operatorname{ch}\alpha\ell \cdot \cos\beta\ell + j\operatorname{sh}\alpha\ell \cdot \sin\beta\ell} \quad (3.7)$$

Поскольку $\alpha\ell \ll 1$, $\operatorname{ch}\alpha\ell \approx \alpha\ell$, это позволяет принять величину K равной

$$K = \frac{1}{\cos\beta\ell + j\alpha\ell \cdot \sin\beta\ell} = \frac{1}{\cos\beta\ell + j\frac{\alpha}{\beta}\beta\ell \cdot \sin\beta\ell} = \quad (3.8)$$

Задаваясь различными значениями длины линии ℓ можно построить зависимость коэффициента передачи \underline{K} как функции ℓ (или $\beta\ell$), приняв $U(0) = E =$

I. Она имеет вид, характерный для резонанса напряжений, с максимумом при $\beta\ell = \pi/2$, т.е. при $\ell = 1500$ км, если частота напряжения в линии $f = 50$ Гц.

Наибольшее напряжение, возникающее в точке резонанса, можно вычислить по выражению (8) при подстановке в него $\beta\ell = \pi/2$. Получим:

$$U(l) = K \cdot U(0) = \frac{U_0}{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\alpha}{\beta}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{U_0}{\frac{r_0}{2 \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}} \cdot \frac{1}{\omega \sqrt{L_0 C_0}}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\omega L_0 U_0}{r_0} = \frac{4}{\pi} \cdot Q \cdot U(0) \quad (3.9)$$

где $\omega L_0 / r_0$ - добротность линии.

Если линия подключена к источнику, то ток и напряжение в начале и в конце линии определяются с учётом внутреннего сопротивления источника $x_{и}$. Напряжение в начале линии можно найти по формуле:

$$U(0) = E \cdot \frac{-jx_{вх}}{jx_{и} - jx_{вх}} = E \cdot \frac{x_{вх}}{x_{вх} - x_{и}}, \quad (3.10)$$

где $x_{вх}$ - мнимая часть входного сопротивления $Z_{вх}$, равного

$$Z_{вх} = \frac{U(0)}{I(0)} = \frac{1}{Z_c} \operatorname{ch} \gamma l \quad (3.11)$$

Так как для разомкнутой линии без учёта потерь при $\beta\ell < \pi/2$ ($\ell < 15000$ км при $f = 50$ Гц) входное сопротивление имеет ёмкостной характер, причём при сравнительно небольших длинах линий (до 100 — 150 км) оно может быть заменено сосредоточенным ёмкостным сопротивлением

$$-jx_{вх} = \frac{1}{j\omega C_0}, \quad (3.12)$$

а при длинах около 200-300 км его следует принимать равным

$$-jx_{вх} = \frac{1}{j\omega C_0 l} + j \frac{\omega L_0 l}{2} \quad (3.13)$$

Напряжение линии при вычисленной величине $\underline{U}(0)$ можно определить по формуле:

$$U(l) = K \cdot U(0) \quad (3.14)$$

Алгоритм проведения эксперимента

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, а также с приборами и оборудованием, используемыми в лабораторной работе.

2. Определить внутреннее сопротивление $x_{и}$ источника, проведя опыт короткого замыкания. Опыт короткого замыкания провести при пониженном напряжении, соответствующем 2-3% от номинального выходного напряжения. Величина внутреннего сопротивления, если пренебречь его активной составляющей, будет равна

$$x_{и} = j \frac{U_{ВХ}}{I_{ВХ}} \quad (3.15)$$

3. Рассчитать величины α и β по заданным на стенде параметрам модели линии g_0, L_0, C_0 , а также определить величину её Z_c .

4. Теоретически и экспериментально определить зависимость входного сопротивления линии с компенсаторами и без компенсатора от её длины. Результаты расчётов и экспериментов получить не менее чем для 4-5 точек и их свести в табл.1. По данным таблицы построить зависимость $|Z_{ВХ}| = f_1(\ell)$. Опыты и расчёты провести для модели линии с подключённым и отключённым реактором.

Таблица 3.1 - Зависимость величины входного сопротивления длинной линии от её длины

№ опыта	Режим нейтрали	Ёмкость линии, мкФ	Эквивалентная длина линии, км	Входное сопротивление $Z_{ВХ}$, Ом	
				Расчетное	Экспериментальное
1					
2					
3					

5. Теоретически и экспериментально построить зависимости напряжений в начале линии $|\underline{U}(0)|$ и в её конце $|\underline{U}(\ell)|$ от эквивалентной протяжённости электропередачи. Результаты расчётов и экспериментов получить не менее чем для 4-5 различных значений и свести их в табл. 2.

По данным таблицы построить зависимости $|\underline{U}(0)| = f_2(\ell)$ и $|\underline{U}(\ell)| = f_3(\ell)$. Опыты и расчёты провести для модели линии с подключенным реактором и без него.

Таблица 3.2 - Величины напряжений в начале $|U(0)|$ и в конце $|U(\ell)|$ ненагруженной линии с различными режимами нейтрали

№ опыта	Режим нейтрали	Эквивалентная длина линии, км	Краевые напряжения линии				Кэф. передачи
			$ U(0) , В$		$ U(\ell) , В$		
			Расч.	Экспер.	Расч.	Экспер.	
1	Изолир.						
2	Изолир.						
3	Изолир.						
4	Компенс.						
5	Компенс.						

6. По результатам работы сделать вывод о природе и условиях возникновения ёмкостного эффекта в длинных линиях, а также о возможных способах его подавления.

Отчет должен включать:

1. Принципиальную схему лабораторной установки и номинальные данные её отдельных элементов и приборов.
2. Результаты опытов и расчётов по определению внутреннего сопротивления источника.
3. Результаты расчётов и опытов по определению зависимости входного сопротивления линии от её длины, сведённые в таблицу и представленные в виде графиков.
4. Результаты расчётов и опытов по определению напряжений $|U(0)|$ и $|U(\ell)|$ при различных данных линии, сведённые в таблицу и представленные в виде графика.
5. Выводы по результатам проделанной работы.

Контрольные вопросы

1. Что называют ёмкостным эффектом и в каких условиях следует ожидать его появления?
2. Могут ли индуктивности устройств, присоединённых к началу и к концу длинной линии, оказать влияние на условия и особенности возникающего здесь ёмкостного эффекта.
3. Что называют коэффициентом затухания, коэффициентом фазы,

коэффициентом передачи и коэффициентом распространения длинных линий?

4. Чем опасен ёмкостной эффект и на какие характеристики изоляции и параметры воздействия на неё он мог бы оказать отрицательное влияние? Повлияет ли ёмкость сети на режим работы трёхфазных потребителей, подключённых к длинной линии?

5. Какими способами можно было бы ослабить ёмкостной эффект в длинных линиях или его полностью исключить?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

«ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМОМ НЕЙТРАЛИ»

Цель работы

Исследование влияния параметров электросети на формирование дуговых перенапряжений.

Краткие теоретические сведения

Известные теории дуговых перенапряжений (Петерсена, Петерса-Слепяна, Белякова) разработаны в приложении к электроустановкам средних классов напряжений. Вместе с тем, аналогичные перенапряжения могут развиваться в электросистемах и других классов напряжений, в частности, в низковольтных автономных электроустановках. Это обстоятельство использовано в данной лабораторной работе с целью проверки справедливости и универсальности каждой из указанных выше теорий. Известно, что в сетях средних классов напряжения подобная экспериментальная проверка затруднена из-за незначительных различий между оценками максимальных кратностей дуговых перенапряжений, даваемых различными теориями, и из-за стохастического характера самих перенапряжений, для которых достижение ими значений, близких к максимальным, является весьма редким событием.

Важнейшим элементом всех указанных выше теорий является гипотеза о поведении электрической дуги между повреждённой фазой и землёй, способной вызвать наиболее интенсивные переходные процессы в электросистеме и привести к дуговым перенапряжениям максимальных кратностей. Необходимо также не только указать наиболее неблагоприятный характер перенапряжения заземляющей дуги, но и определить возможность и условия физической реализации её особенностей, используемых отдельными теориями.

Более подробно принятые в теориях гипотезы о характере заземляющей дуги и сами теории изложены в /1/, с. 325-336.

Процессы возбуждения и гашения заземляющей дуги вызывают смещение нейтрали и импульсные перенапряжения между неповреждёнными фазами и землёй. Причём согласно всем теориям максимальная кратность перенапряжений определяется величиной максимального смещения нейтрали - постоянного напряжения, остающегося между каждой фазой и землёй после погасания однофазной дуги. Поэтому для уменьшения затрат времени на проведение экспериментальных исследований целесообразно ограничиться регистрацией наибольших напряжений смещения нейтрали, так как максимальные перенапряжения по сравнению с ними появляются во много раз реже.

Алгоритм проведения эксперимента

Экспериментальная установка, предназначена для воспроизведения реальных дуговых процессов при однофазных замыканиях на землю на физической модели низковольтной электроустановки с изолированной или компенсированной нейтралью. Её схема приведена на рисунке 4.1.

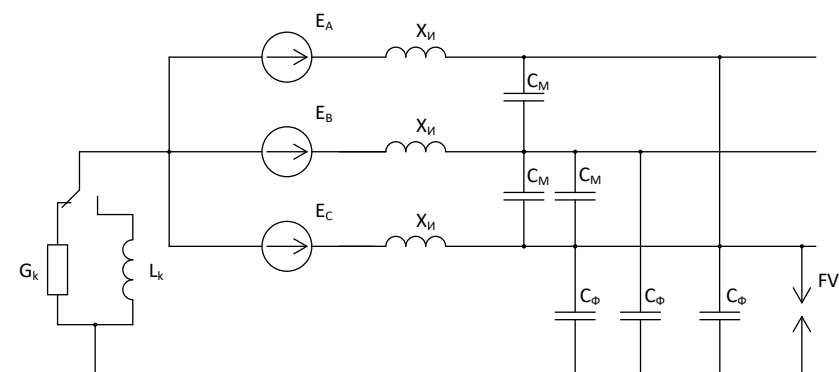


Рисунок 4.1 – Схема замещения для изучения дуговых процессов при однофазном замыкании на землю

Зажиганием и погасанием заземляющей дуги в модели электроустановки возбуждаются переходные процессы, приводящие к смещению нейтрали и перенапряжениям. Они регистрируются осциллографом. Дуга вызывается кратковременным касанием провода, соединённого с одной из фаз модели, к электроду, связанному с нейтральной точкой фазных ёмкостей C_ϕ , т.е. с "землёй". С использованием лабораторного стенда необходимо провести следующие действия:

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, приборами и оборудованием, используемыми при проведении лабораторной работы.

2. На модели электроустановки создать режим изолированной нейтрали, установить фазные ёмкости C_M равными 0,5 мкФ и провести регистрацию наибольшего импульсного напряжения смещения нейтрали при различных значениях межфазных ёмкостей C_M . Результаты занести в таб. 4.1.

3. Повторить работы по п. 2 при значениях фазных ёмкостей C_ϕ , равных 2,8 и 32 мкФ. Результаты измерений также занести в таб. 4.1.

4. Результаты экспериментов, сведённых в таб. 4.1, представить в виде графиков $\Delta U_M = f(C_M)$ при различных значениях C_M .

5. По результатам измерений оценить области измерения междуфазных ёмкостей C_M , в которых следует применять теорию Петерса-Слепяна или теории Белякова.

6. В режиме компенсированной нейтрали повторить действия по п. 2.

Таблица 4.1 - Результаты экспериментов

Режим нейтрали	Междуфазная ёмкость C_M , мкФ	Напряжение смещения нейтрали ΔU_M , В						
		$C_\phi=0,5$	$C_\phi=1,0$	$C_\phi=2$	$C_\phi=4$	$C_\phi=8$	$C_\phi=16$	$C_\phi=32$
Изолир.	0,5							
Компенс.	0,5							
Изолир.	2,0							
Изолир.	8,0							
Изолир.	32							

Отчет должен включать:

1. Схему лабораторного стенда.
2. Результаты экспериментов, сведённые в табл. 1.
3. Графики $U_M = f(C_M)$.
4. Выводы о границах областей применения теории Петерса-Слепяна и теорий Петерсена и Белякова в системах с изолированной нейтралью.
5. Вывод о влиянии компенсатора на величину импульсного напряжения.

Контрольные вопросы

1. Изложите содержание теории Петерсена.
2. Изложите содержание теории Петерса-Слепяна.
3. Изложите содержание теории Белякова.
4. Опишите причины, по которым компенсированная нейтраль оказывает влияние на уровень величин и перенапряжений.
5. Оказывают ли величины междуфазных ёмкостей влияние на уровень напряжений смещения нейтрали? Почему?
6. Каковы особенности развития дуговых перенапряжений в электросистемах с длинными линиями по сравнению с перенапряжениями, регистрируемыми на лабораторной модели электроустановки, имеющей сосредоточенные параметры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

«ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ»

Цели работы

1. Ознакомиться с методами неразрушающих испытаний твёрдой изоляции, основанными на измерениях сопротивления изоляции;
2. По результатам экспериментов установить наличие или отсутствие взаимосвязи между сопротивлением изоляции и коэффициентом изоляции коэффициентом абсорбции, с одной стороны, и напряжением пробоя - с другой.

Порядок выполнения работы

1. Провести старение трекингом образцов твёрдой изоляции, имеющих расстояние между электродами, равное 1 см; половину состаренных образцов тщательно высушить в термостате.
2. Произвести измерение сопротивления изоляции каждого образца при испытательных напряжениях 100 В, 500 В, 1000 В и 2500 В. Величины сопротивлений изоляции следует регистрировать через каждые 2-3 мин. Результаты измерений представить в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

№ образца		1		2		3		4		5	
U, В	t, с	R _{из}	K _{abc}	R _{из}	K _{abc}	R _{из}	K _{abc}	R _{из}	K _{abc}	R _{из}	K _{abc}
	15										
	30										
	45										
	60										
	75										
	90										
	105										
	120										

3. По результатам измерений построить графики измерения сопротивления изоляции во времени для тех образцов и при тех уровнях испытательных напряжений, при которых оказалось возможным снять четыре и более существенно отличающихся друг друга показания мегомметра.

4. По результатам экспериментов выделить величины сопротивлений изоляции R_{15} , R_{60} и вычислить коэффициент абсорбции $K_{абс} = R_{60}/R_{15}$,

где R_{15} , R_{60} - сопротивления изоляции, зарегистрированные соответственно по истечении 15 и 60 секунд с момента подачи напряжения на изоляцию.

5. Определить наличие или отсутствие взаимосвязи между сопротивлением изоляции R_{60} и напряжением пробоя $U_{пр}$, а также между коэффициентом абсорбции $K_{абс}$ и $U_{пр}$.

Оценка статистических взаимосвязей между отдельными величинами

Полученные результаты испытаний могут иметь очень большой разброс и носят явно выраженный статистический характер. Известно, что одним из самых совершенных и эффективных методов статической обработки экспериментальных данных является дисперсионный анализ. Вместе с тем, его применение связано с весьма громоздкими вычислениями. В ряде случаев нет необходимости их проводить в полном объёме. Часто, как и в этой лабораторной работе, достаточно лишь установить наличие или отсутствие статистических взаимосвязей между отдельными величинами, что требует проведения значительно меньших вычислений. В предлагаемой лабораторной работе требуется установить наличие взаимосвязи между напряжением пробоя $U_{пр}$ и измеряемыми при диагностировании величинами R_{60} , $K_{абс}$. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. В соответствии с результатами экспериментов необходимо все полученные данные разделить на n групп. Если, например, пробои образцов наблюдались только при напряжениях 1000 В и 2500 В, то рекомендуется данные разделить на три группы:

1 группа-при воздействии напряжением 1000 В;

2 группа - при воздействии напряжением 2500 В;

3 группа - при воздействии $U_{пр} > 2500$ В.

В каждую группу войдут сопротивления изоляции или значения коэффициента абсорбции, установленные для образцов, пробитых при указанных уровнях испытательных напряжений и измерены как до пробоя, так и после его возникновения. При этом в 3-ю группу с установленным напряжением $U_{пр} > 2500$ В войдут все испытываемые образцы не вошедшие в 1 и 2 группы.

2. Внутри каждой i -й группы следует определить размах варьирования Δx_i включённых в неё величин. Наибольшей величиной сопротивления изоляции R_{60} следует считать $10 \cdot 10^5$ МОм.

3. Для всей совокупности данных определить среднее значение размаха варьирования W по формуле

$$W = \frac{\sum_1^n \Delta x_i}{n}, \quad (5.1)$$

4. Определить число степеней свободы f полученных данных по формуле

$$f = \sum_1^n (N_i - 1), \quad (5.2)$$

где N_i - число данных, входящих в i -ю группу.

5. Определить среднее значение численности данных во всех группах

$$N_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n N_i}{n}, \quad (5.3)$$

Отчет должен включать:

1. Результаты экспериментов, представленные в табличной форме.
2. Результаты вычислений $K_{\text{абс}}$ в табличной форме.
3. Графики $R = f(t)$ изменений сопротивления изоляции во времени.
4. Результаты вычислений и выводы при наличии или отсутствии взаимосвязи между величинами R_{60} и $U_{\text{пр}}$, а также между $K_{\text{абс}}$ и $U_{\text{пр}}$.

Контрольные вопросы

1. Перечислите задачи диагностики изоляции.
2. Какие методы контроля изоляции относятся к неразрушающим? Перечислите наиболее распространённые методы неразрушающего контроля изоляции.
3. Какие задачи диагностики позволяют решать метод измерения сопротивления изоляции, метод измерения коэффициента абсорбции и др.
4. Каков характер пробоя изоляции электрооборудования напряжением до 1000 В и в чём его отличие от электрического пробоя, характерного, например, при пробое воздушных международных промежутков высоковольтного оборудования.
5. Изобразите схему замещения изоляции и укажите параметры этой схемы, характеризующей параметры изоляции, а также укажите методы, с помощью которых эти параметры оцениваются.
6. Почему ёмкость изоляции зависит от частоты?
7. Какие показатели состояния изоляции можно оценивать путём измерения $R_{\text{из}}$ и величин, связанных с этим сопротивлением - $I_{\text{уг}}$, $R_{\text{уг}}$.

Рекомендуемая литература

1. Важов, В. Ф. Техника высоких напряжений : учеб. / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович. - Москва: ИНФРА-М, 2017. - 262 с
2. Базуткин, В.В. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах : учеб. / В. В. Базуткин ; авт.: Ларионов, В. П., Пинталь, Ю. С. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1986. - 464 с.

Форма отчета по лабораторной работе

Образец титульного листа

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

«Наименование лабораторной работы»

по дисциплине «Техника высоких напряжений»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Работу выполнили:
студенты гр. ХХ-ЭЭ
Фамилия И.О.
Фамилия И.О.
Фамилия И.О.

Калининград
202Х

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен отражать основные результаты, полученные в ходе экспериментального и аналитического исследования, и выводы о характере и причинах полученных зависимостей. Отчет выполняется по указанию преподавателя индивидуально каждым студентом либо в форме общего отчета на бригаду студентов, совместно проводивших экспериментальное исследование на одной установке.

Отчет должен содержать (если иное не оговорено преподавателем):

- 1) Цель работы;
- 2) Описание лабораторной установки и хода эксперимента;
- 3) Численные результаты экспериментального исследования и их графическую интерпретацию;
- 4) Формулы, расчеты, численные результаты аналитического исследования и их графическую интерпретацию;
- 5) Сопоставление результатов экспериментального и аналитического исследования, в том числе графическое;
- 6) Выводы о проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов, причины зарегистрированных процессов и расхождений в экспериментальных и аналитических данных.

Отчет оформляется в электронном виде в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте, например, «(рисунок 1)», «приведены в таблице 2». Подписи таблиц и рисунков выполняются по форме «Таблица 1 – Название» (над таблицей, выравнивание по левому краю без отступа), «Рисунок 1 – Название» (под рисунком, выравнивание по середине без отступа). При подготовке рисунков и схем рекомендуется использовать редактор MS Visio. Построение диаграмм (графиков) рекомендуется выполнять посредством MS Excel, Mathcad или аналогичных программ.

Общие требования к оформлению документа:

Шрифт Times New Roman, размер 12.

Выравнивание текста по ширине

Межстрочный интервал – 1,15

Отступ первой строки абзаца – 1,25 см

Выравнивание рисунков – по центру без отступа

Выравнивание таблиц – по ширине окна, без отступа

Внедрение формул через редактор формул