

Лабораторная работа № 6

Исследование спектра параметров аварийного режима при дуговом ОЗЗ.

Цель работы: Ознакомиться с аппаратным моделированием и измерением параметров дугового однофазного замыкания на землю. Научиться рассчитывать спектр параметров режима при дуговом ОЗЗ.

Задачи:

1. Нарисовать схему измерений;
2. Написать последовательность действий по сборке схемы измерений;
3. Написать последовательность действий по измерению.
4. Рассчитать спектр параметров режима при дуговом ОЗЗ. Сопоставить временные параметры осциллограмм и параметры спектров измеренных параметров режима.

Описание лабораторной работы

Измерение временных осциллограмм параметров режима при дуговом ОЗЗ и расчет их спектра

При однофазном замыкании в линиях 6-35 кВ в зоне контакта проводника с землей часто возникает электрическая дуга [33]. Аварийный процесс характеризуется рядом следующих друг за другом повторных зажигания и погасаний электрической дуги. Дуга, играя роль своеобразного коммутатора, периодически закорачивает емкость поврежденной фазы относительно земли, затем вновь включает ее в сеть.

Электрическая дуга – это сильно ионизированный столб газа, ставший проводящим под влиянием высокой температуры.

Если скорость ионизации равна скорости деионизации, то дуга будет устойчивой. Если какой-то из процессов преобладает, дуга будет неустойчивой.

Для решения задачи моделирования дуги в электрической схеме замещения необходимо учитывать динамическую вольтамперную характеристику дуги, которая имеет место при переменном токе (рис. 1) [32].

Как видно, на участках 1 – 5, 5 – 2, 3 – 6, 6 – 4 дуговой промежуток имеет отрицательное сопротивление. Это объясняется тем, что температура газа дугового столба играет весьма значительную роль в процессах ионизации и деионизации дуговой плазмы, так как при спаде температуры образование новых ионов в дуговом столбе резко уменьшается и усиливается деионизация ранее образовавшихся [34]. Также в работе [34] имеются данные, показывающие, что температура газа и диаметр дугового столба дуги переменного тока следуют за изменением тока с некоторым небольшим запаздыванием, которое тем меньше, чем интенсивнее внешние деионизирующие факторы, например, скорость воздушного потока при открытой дуге. Совокупность отмеченных обстоятельств приводит к резкому повышению проводимости дугового столба с ростом тока и понижению проводимости с уменьшением тока.

На участках 2 – 3 и 1 – 4 термическая ионизация резко снижается, проводимость столба дуги уменьшается быстрее, чем снижается ток, особенно при наличии факторов, способствующих интенсивной деионизации.

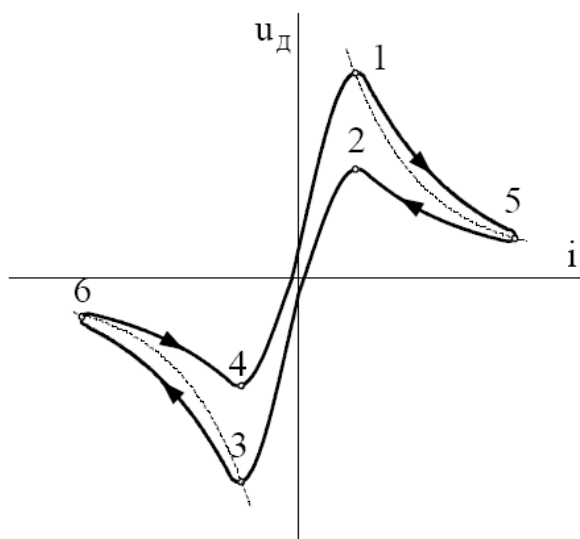


Рис.1. Вольтамперная характеристика дуги

Вид зависимости напряжения на дуге при изменении тока в функции времени при таких условиях показан на рис.2.

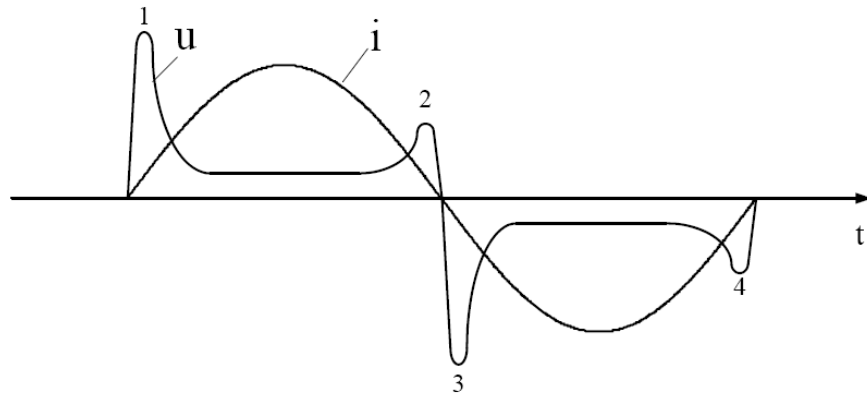


Рис.2. Зависимость напряжения на дуге от времени

При подходе тока к нулю дуговой столб представляет собой весьма тонкий шнур, который способен разрушиться в очень короткий отрезок времени (несколько десятков микросекунд). В таких условиях дуга каждый полупериод как бы гасится и зажигается.

При каждом проходе тока через нуль дуговой промежуток приобретает большую или меньшую электрическую прочность (в зависимости от условий деионизации), но вместе с этим на промежутке устанавливается напряжение, определяемое электрическими процессами в сети. Наступит ли погасание дуги или дуга загорится вновь зависит от того, что быстрее восстанавливается – электрическая прочность промежутка или напряжение на нем.

Так как суммарное напряжение на дуге в течение полного полупериода изменения тока сравнительно мало, а процесс гашения дуги в окрестностях нулевого значения тока происходит в течение весьма малого времени, то дуговой промежуток в схемах замещения можно представить приближенно в виде идеального ключа, который замыкается при достижении напряжением значения, равного пробивному, а размыкается при прохождении тока через нуль.

Важно обратить внимание на то, что вследствие тепловой инерции дугового столба условия погасания дуги при подходе тока к нулевому значению зависят от скорости изменения тока или от его частоты. Следовательно, при высокой частоте погасание дуги можно ожидать лишь

при наличии условий достаточно сильной деионизации, а при низкой частоте – при слабой деионизации.

В сетях с изолированной нейтралью могут иметь место как устойчивые, так и перемежающиеся заземляющие дуги. Характер дуги зависит от величины тока замыкания и конкретных условий, в которых она возникла. Замыкание через устойчивую дугу эквивалентно замыканию через небольшое активное сопротивление. Перемежающейся называется дуга, в процессе горения которой имеют место следующие друг за другом пробой дугового промежутка (зажигания дуги) и погасания дуги. Перемежающаяся дуга вызывает переходные процессы, возникающие при каждом зажигании и погасании дуги. Переходный процесс после каждого очередного погасания дуги обуславливает начальные условия переходного процесса при следующем зажигании дуги. Определенное сочетание условий горения дуги и параметров сети могут привести к возникновению значительных перенапряжений.

Рассмотрим характер переходных процессов при пробое изоляции (например, фазы А) на землю и последующем обрыве дуги, используя упрощенную схему трехфазной симметричной сети с изолированной нейтралью, в которой полагаем

$$C_A = C_B = C_C = C_\Phi, C_{AB} = C_{BC} = C_{CA} = C_{M\Phi}, L_A = L_B = L_C = L_\Phi, \quad (1.9)$$

где $C_{M\Phi}$ и C_Φ - междуфазная и фазная емкости, L_Φ - эквивалентная индуктивность источника питания, определяющая вместе с другими параметрами количественные характеристики переходных процессов.

Для упрощения анализа переходного процесса также сделаем следующие допущения. Во-первых, до момента зажигания дуги будем считать напряжения на фазах равными ЭДС источника. Во-вторых, примем, что постоянная времени переходного процесса разряда емкости поврежденной фазы C_A весьма мала и поэтому напряжение на этой фазе в момент замыкания снижается до нуля практически мгновенно. В третьих, принимаем, что величина без символьного обозначения комплексности в виде точки является реальной частью комплексной величины.

При горении дуги в месте замыкания протекает ток, который содержит принужденную (установившуюся) составляющую промышленной частоты и свободные составляющие, которые обусловлены: изменением заряда емкостей неповрежденных фаз, разрядом емкости поврежденной фазы,

обменом зарядами междуфазных и фазных емкостей при выравнивании их напряжений. При принятых выше допущениях две последние составляющие, вследствие быстрого затухания, далее не учитываются, и ток в месте замыкания определяется суммой токов, протекающих через фазные емкости неповрежденных фаз B и C

$$i_3 = i_{3B} + i_{3C}. \quad (1.10)$$

Токи в (1.10) могут быть определены по известным напряжениям фаз следующим образом

$$i_{3B} = C_\Phi \frac{du_B}{dt}, \quad i_{3C} = C_\Phi \frac{du_C}{dt}.$$

Согласно [34]:

$$i_3 = C_\Phi \frac{d[u_{B_{\text{НП}}} + u_{C_{\text{НП}}}] + 2C_\Phi u_A(t_1)(1 - k_c) \frac{d}{dt} [e^{-\delta_1 t} \cos(\omega_1(t - t_1))]}{dt} \quad (1.11)$$

где ω_1 – частота свободных колебаний, δ_1 – коэффициент затухания свободных колебаний, $k_c = \frac{C_{\text{мф}}}{C_\Phi + C_{\text{мф}}}$ – коэффициент, характеризующий влияние междуфазных емкостей.

Далее учтем, что $u_{B_{\text{НП}}} + u_{C_{\text{НП}}} = e_B + e_C - 2e_A$, $e_B + e_C = -e_A$. Если $e_A = E_{\Phi_m} \sin(\omega t)$, то

$$i_3 = -3\omega C_\Phi E_{\Phi_m} \cos(\omega t) - 2C_\Phi u_A(t_1)(1 - k_c) e^{-\delta_1(t-t_1)} [\delta_1 \cos(\omega_1(t - t_1)) + \omega_1 \sin(\omega_1(t - t_1))]. \quad (1.12)$$

В (1.12) первая составляющая – принужденный емкостной ток замыкания промышленной частоты, вторая – переходный емкостной ток. Выражение для свободной составляющей переходного тока в месте замыкания получим путем дальнейшего упрощения выражения (1.12), учтя реальные соотношения между δ_1 и ω_1 .

Например, при частоте свободных колебаний $f = 1000$ Гц и $k_{\delta_1} = 0,1$ $\omega_1 = 6280$ рад/с, а коэффициент затухания $\delta_1 = 210$ 1/с. Так как $\delta_1 \ll \omega_1$ можно принять, что

$$i_{св} \approx -2\omega_1 C_{\Phi} u_A(t_1) e^{-\delta_1(t-t_1)} \sin \omega_1(t-t_1). \quad (1.13)$$

Принужденный емкостной ток замыкания промышленной частоты по (1.12) равен

$$i_{зип} = -3\omega C_{\Phi} E_{\Phi m} \cos(\omega t). \quad (1.14)$$

При переходе тока через нуль имеет место попытка гашения, результат которой зависит от соотношения между скоростями восстановления электрической прочности дугового промежутка и напряжения на нем. Если дуга не погаснет ни при первом прохождении тока замыкания через нуль, ни в последующие моменты перехода, то свободные колебания затухнут и все величины примут значения вынужденных составляющих.

После затухания свободных колебаний происходит более медленный подъем напряжения на поврежденной фазе с частотой источника. Если погасание дуги является окончательным, то u_N через несколько периодов промышленной частоты уменьшается до нуля. Напряжения на фазах по отношению к земле станут равными фазным ЭДС источника, то есть восстановится нормальный режим работы сети. В случае повторного пробоя и последующего погасания дуги имеют место процессы, качественно подобные описанным ранее. Однако их количественные характеристики будут другими, так как напряжения на фазах при повторном пробое отличаются от соответствующих напряжений при первом пробое, поскольку напряжение на нейтрали не равно нулю, как это было при первом пробое.

Несмотря на то, что при возникновении ОЗЗ возможно дальнейшее электроснабжение потребителей негативным следствием аварии является возникновение перенапряжений на неповрежденных фазах ЛЭП, приводящее к пробую изоляции и междуфазному КЗ. Поэтому значительные усилия исследователей в предыдущие годы были направлены на оценку кратности

перенапряжений при ОЗЗ, от чего зависела частота возникновения междуфазных КЗ.

Разработано несколько теорий формирования перенапряжений на неповрежденных фазах при дуговых замыканиях. Процесс формирования перенапряжений в соответствии с этими теориями изложены в ряде работ [1, 33, 35]. Значение перенапряжений, в конечном счете, зависит от остаточного напряжения на нейтрали и от пробивного напряжения в момент очередного зажигания дуги в процессе перемежающегося замыкания.

Известные в настоящее время теории возникновения перенапряжений отличаются принятыми условиями горения дуги, которые и обуславливают различные напряжения на нейтрали к моменту очередного зажигания дуги. Общим для всех теорий является предположение о том, что электрическая прочность дугового промежутка (пробивное напряжение) к моменту каждого очередного пробоя равна максимальному значению восстанавливающегося напряжения на поврежденной фазе. Кроме того, во всех теориях принимается, что напряжение на нейтрали, сформировавшееся при предыдущем зажигании дуги, не изменяется к моменту последующего зажигания.

Лабораторная работа позволяет аппаратно моделировать дуговое ОЗЗ и исследовать зависимость параметров дуги от параметров системы сети с изолированной нейтралью, рассчитывать спектры сигналов и изучить их взаимосвязь с временными параметрами сигналов. Для упрощения вычислений рекомендуется не ставить и не учитывать в расчетах нагрузку. Электрическая схема соединений блоков в лабораторной работе представлена на рис.3.

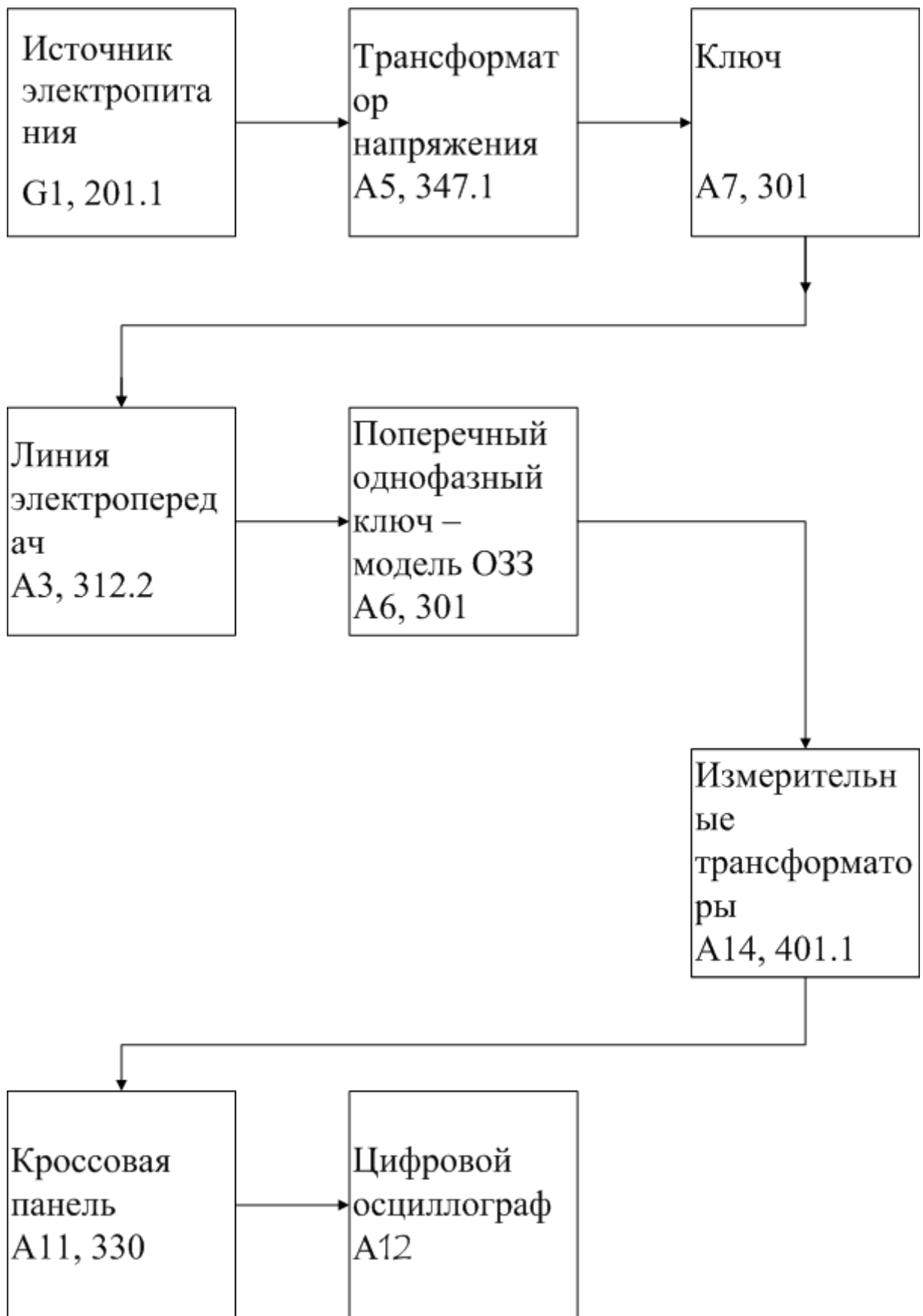


Рис.4 Блок-схема электрических соединений при выполнении лабораторной работы

Описание блок-схемы электрической схемы соединений.

Каждый элемент блок-схемы рис.4 имеет буквенно-цифровое обозначение по которому его легко найти в виде блока на аппаратном учебном стенде расположенном в аудитории Б-306.

Рис.4 отображает однолинейную схему соединений, аппаратно моделирующую трехфазную электрическую сеть с изолированной нейтралью. Схему надо собирать в трехфазном исполнении. Соответственно необходим анализ параметров режима, к которым относятся фазные напряжения и ток нулевой последовательности или ток ОЗЗ. Выход источника питания G1 моделирует высоковольтную сеть с заземленной нейтралью питающей анализируемый контур.

Ключ A7 моделирует высоковольтный выключатель, он предназначен для подачи напряжения на модель электроэнергетической системы Электрическое напряжение далее подается на модель линии электропередач (ЛЭП) A3, содержащее регулируемые по величине продольные и поперечные активно-реактивные элементы П-образной схемы замещения ЛЭП.

Далее следует блок, который моделирует ветку ОЗЗ с переходным сопротивлением $R_{п}$ и газовым разрядником. Он моделируется соответствующим аппаратным блоком, а величина $R_{п}$ может варьироваться от нуля до бесконечности. Следующий блок состоит из измерительных трансформаторов тока и напряжения (блок A14), которые позволяют измерять токи и напряжения в любой точке схемы.

Далее идет кроссовая панель A11, предназначенная для формирования каждого из четырех каналов электрических сигналов, отображаемых цифровым осциллографом (ЦО) на базе персонального компьютера (ПК).

Последовательность действий по выполнению лабораторной работы:

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соберите простейшую электрическую схему соединений согласно рис.4 и наименованию лабораторной работы.

Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.

Включите выключатель «Сеть» на всех используемых в эксперименте блоках.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A12, войдите в каталог «с:\модель электрической системы\» или другой, содержащий

соответствующее программное обеспечение на вашем компьютере, и запустите файл “Цифровой осциллограф.exe”.

1. Запустить программу « Многоканальный осциллограф»;

Нажмите на экране компьютера виртуальную кнопку «Начать запись» синхронно с включением и отключением ключа А7, подождите 1-2 секунды, после чего нажмите кнопку «Остановить запись».

«Остановить запись», и проанализируйте появившиеся на экране осциллографа временные осциллограммы сигналов тока и напряжения.

При этом можно пользоваться следующими сервисными возможностями программы:

- Масштабирование графика производится путем нажатия на левую клавишу мыши и, не отпуская ее, движения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным движением – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного движения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.

Методика проведения измерений

Собрать трехфазную схему сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме ОЗЗ согласно рис.4. Зафиксировать синхронные сигналы режима по току и напряжению в месте ОЗЗ. Использовать ЦО и стандартные блоки аппаратного стенда моделирования электроэнергетической системы.

Задания на выполнение лабораторной работы

В соответствии с заданием преподавателя, экспериментально зарегистрировать аварийные параметры тока и напряжения при дуговом ОЗЗ в месте аварии. На основе зарегистрированных осциллограмм сигнала вычислить их спектр, пользуясь установленным пакетом анализа Excell. Построить спектр сигналов тока и напряжения при отсутствии и наличии ОЗЗ с оцифровкой и наименованием осей. Рассчитать аналитически параметры спектра, опираясь на простейшую модель импульсного сигнала, параметры которого совпадают с временными параметрами режима, полученными экспериментально.

Для загрузки пакета анализа выполните следующее:



1. Щелкните значок **Кнопка Microsoft Office** , а затем щелкните **Параметры Excel**.
2. Перейдите на вкладку **Надстройки**, а затем в поле **Управление** выберите **Надстройки Excel**.
3. Нажмите кнопку **Перейти**.
4. В поле **Доступные надстройки** установите флажок **Пакет анализа**, а затем нажмите кнопку **ОК**.

ОТЧЕТ

Отчет содержит:

- титульный лист с названием учебного заведения, кафедры и лабораторной работы; ф.и.о. студента и преподавателя; год и место выполнения работы;
- протокол испытаний с расчетными и экспериментальными данными и осциллограммами, подписанный преподавателем;
- графическое оформление полученных результатов;
- выводы о соответствии прогнозируемых результатов с полученными.

Контрольные вопросы

1. Нарисовать временные осциллограммы тока при дуговом ОЗЗ.
2. Нарисовать временные осциллограммы напряжения при дуговом ОЗЗ.
3. Как связаны временные параметры осциллограмм тока и напряжения при дуговом ОЗЗ.
4. Какая связь временных и амплитудных параметров параметров осциллограмм тока и напряжения с параметрами системы при дуговом ОЗЗ.
5. Какая связь временных параметров импульсного сигнала и параметров его спектра.

Литература.

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М., Энергия, 1971. – 152 с.
33. 33) Цапенко Е.Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с.: ил.

34) Буткевич Т.В. Дуговые процессы при коммутациях электрических цепей.
– М.: Высшая школа, 1967.-212 с.

35) Беляков Н.Н., Исследования перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6 и 10 кВ с изолированной нейтралью, «Электричество», 1957, №5.

[www. Electrolab.ru](http://www.Electrolab.ru)

Г.В.Зевеке и др. Основы теории цепей. М.: Энергоатомиздат, 1989, Гл.4, с.92-104.