

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Саратове
филиал СамГУПС в г.Саратове

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

ОП.11 Электрические измерения

для студентов специальности:

Автоматика и телемеханика.

Саратов 2023

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета Протокол № 1

_____от «21 » 09 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Протокол №1 от «31» 08 2023 г.

Председатель ЦМК 1 1.02.23 Автоматики и телемеханики

_____/И.В. Глухова/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.А.Крижановский/

Автор (составитель):

А.Г.Волков преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове

Рецензент:

И.В. Глухова — преподаватель высшей квалификационной категории филиала СамГУПС в г. Саратове

Ознакомление с правилами эксплуатации амперметра, вольтметра, ваттметра и простейшей электротехнической аппаратуры

Цель: изучить правила эксплуатации простейших электроизмерительных приборов.

Оборудование и приборы: амперметр постоянного тока, вольтметр постоянного тока, ваттметр постоянного тока, резисторы, выключатели, предохранители различных типов, соединительные провода.

Для проведения различных измерений в электрических цепях применяются электроизмерительные приборы, которые по роду измеряемой величины делятся на амперметры, вольтметры, ваттметры, частотомеры, фазометры, омметры, счетчики энергии и др. На шкале прибора пишут полное его наименование или начальную латинскую букву единицы измеряемой величины, например: A - амперметр, V- вольтметр, W - ваттметр и т.д.

По принципу действия измерительного механизма приборы делятся на системы. В лаборатории электротехники наиболее широкое применение находят приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем. Условное обозначение этих систем на шкалах приборов показано в таблице 1.1.

Важнейшей характеристикой любого измерительного прибора является его точность. По степени точности электроизмерительные приборы делятся на восемь классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Число класса точности указывает основную допустимую приведенную погрешность прибора, т.е. выраженное в процентах отношение наибольшей допустимой абсолютной погрешности прибора, находящегося в нормальных условиях работы, к номинальной величине прибора. На шкале электроизмерительного прибора кроме условного наименования системы и класса точности указываются род тока, рабочее положение шкалы прибора, величина испытательного напряжения, знак завода-изготовителя, год выпуска, заводской номер прибора. Основные знаки на шкалах приборов приведены в таблице 1.1.

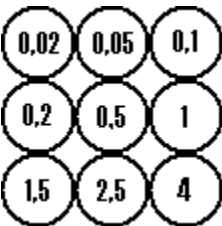
Знак системы	Система	Знаки на шкалах приборов	Пояснения
	Магнитоэлектрическая с подвижной рамкой		
	Магнитоэлектрическая с подвижным магнитом		
	Электромагнитная	Род тока	 Постоянный ток  Переменный ток
	Электродинамическая	 Постоянный и переменный ток  Трехфазный ток	
	Ферродинамическая	Установка прибора	Вертикальное положение шкалы
	Индукционная		Горизонтальное положение шкалы
		Зажимы	 Генераторный зажим  Зажим, соединенный с корпусом
		Прочность изоляции прибора	 Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ

Таблица 1.1

На рис. 1.1. приведена схема простейшей электрической цепи, в которую включены амперметр – А, вольтметр – V, и ваттметр – W.

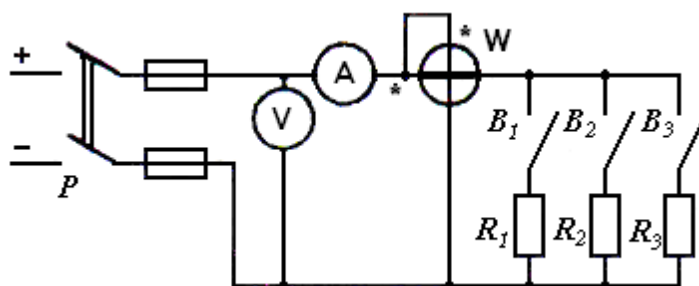


Рисунок 1.1

Амперметр включается в цепь последовательно с приемником и имеет очень малое сопротивление. Благодаря этому на амперметре практически не возникает потери напряжения и мощности. Э.д.с. и напряжение источника электрической

энергии измеряются вольтметром, зажимы которого присоединяются к тем точкам цепи, между которыми следует определить напряжение.

Для уменьшения потерь мощности и тока, протекающего через вольтметр, его внутреннее сопротивление делают очень большим (несколько тысяч Ом).

При включении амперметра и вольтметра в цепь постоянного тока следует соблюдать правило полярности: положительный зажим прибора должен подключаться к положительному полюсу источника, отрицательный зажим прибора - к отрицательному полюсу источника.

Измерение мощности производится обычно при помощи ваттметра. Ваттметр имеет две обмотки: токовую с очень малым сопротивлением, которая включается в цепь последовательно, и обмотку напряжения большого сопротивления, которая включается в цепь параллельно.

На электрической схеме (рис. 1.1.) ваттметр изображен кружком с двумя перпендикулярными линиями внутри круга. Горизонтальная линия изображает токовую обмотку и вертикальная - обмотку напряжения. Входные зажимы обмоток (генераторные зажимы) обозначаются точками (на приборе - звездочками).

Шкала электроизмерительных приборов часто бывает разделена на α_n

делений без указания значения этих делений в измеряемых единицах (В, А, Вт). В этом случае перед началом измерения необходимо определить цену деления шкалы прибора.

Ценой деления шкалы прибора называется число электрических единиц (вольт, ампер, ватт и т.д.), приходящихся на одно деление шкалы прибора.

Цена деления:

вольтметра: $C_U = \frac{U_H}{\alpha_H} \cdot \left(\frac{B}{дел} \right)$

амперметра: $C_I = \frac{I_H}{\alpha_H} \left(\frac{A}{дел} \right)$

ваттметра: $C_P = \frac{U_H \cdot I_H}{\alpha_H} \left(\frac{Вт}{дел} \right)$

где U_H, I_H - номинальные значения напряжения и тока приборов,

α_H - число делений шкалы прибора.

Если при измерении стрелка прибора отклонилась на α - делений, то значение измеряемой величины будет:

для вольтметра : $U = C_U \cdot \alpha \text{ (В)};$

для амперметра : $I = C_I \cdot \alpha \text{ (А)};$

для ваттметра : $P = C_P \cdot \alpha \text{ (Вт)}.$

Пример 1.

Номинальное напряжение вольтметра $U_H = 150$ В. Шкала имеет $\alpha_H = 100$ делений. Определить измеренное напряжение, если стрелка прибора отклонилась на $\alpha = 80$ делений.

Решение.

Цена деления равна $C_U = \frac{U_H}{\alpha_H} = \frac{150}{100} = 1,5 \frac{В}{дел}.$

Измеренное напряжение $U = C_U \cdot \alpha = 1,5 \cdot 80 = 120$ В.

Пример 2.

Номинальное напряжение ваттметра $U_H = 150$ В. Номинальный ток

$I_H = 5$ А. Шкала имеет $\alpha_H = 75$ делений. Определить измеренную мощность,

если стрелка прибора отклонилась на $\alpha = 50$ делений.

Решение.

Цена деления шкалы ваттметра равна $C_P = \frac{U_H \cdot I_H}{\alpha_H} = \frac{150 \cdot 5}{75} = 10 \frac{Вт}{дел}.$

Измеренная мощность $P = C_P \cdot \alpha = 10 \cdot 50 = 500$ Вт.

При выполнении лабораторных работ, кроме электроизмерительных приборов, часто пользуются регулировочными и нагрузочными реостатами, резисторами, трансформаторами, конденсаторами и прочей аппаратурой. Каждый такой аппарат характеризуется своими номинальными данными: напряжением, током, сопротивлением и т.д. При всех режимах напряжение, ток аппарата не должны превышать номинальных значений этих же величин, приведенных в его паспорте.

Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с устройством рубильника - Р, плавких предохранителей, резисторов - $R_1 - R_3$, выключателей - $B_1 - B_3$.
2. Собрать электрическую цепь по схеме (рис. 1.1.).
3. Определить цену деления шкалы амперметра, вольтметра и ваттметра.
4. После проверки схемы преподавателем включить рубильник.
5. Установить три различных значения тока, при которых снять показания приборов. Результаты показаний занести в таблицу 1.2.

№ опытов	Включены резисторы	Показания вольтметра		Показания амперметра		Показания ваттметра	
		$\alpha(\text{дел.})$	U (В)	$\alpha(\text{дел.})$	I (А)	$\alpha(\text{дел.})$	P (Вт)
1	R_1						
2	R_1 и R_2						
3	R_1, R_2 и R_3						

Таблица 1.2.

6. Выключить рубильник.

Результаты измерений показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: схема включения приборов, расчеты по определению

цены деления приборов, таблица с результатами измерений, краткая техническая характеристика применяемых измерительных приборов.

1.1. Цель работы.

1.1.1. Изучить схему поверки амперметра;

1.1.2. Определить класс точности поверяемого амперметра;

1.1.3. Изучить методы поверки измерительных средств.

1.2. Основные теоретические положения.

Для оценки параметров отдельных физических величин используются контрольно-измерительные средства. Качество измерительных средств характеризуется совокупностью показателей, определяющих его работоспособность, точность, надежность и эффективность применения.

Для обеспечения гарантированной точности измерений проводится периодическая поверка измерительной аппаратуры.

Поверка измерительного средства - это определение соответствия действительных характеристик измерительного средства техническим условиям или государственным стандартам. При осуществлении поверки применяются измерительные средства поверки - специально предусмотренные средства повышенной точности по сравнению с поверяемыми измерительными средствами. Методы поверки - совокупность поверочных измерительных средств, приспособлений и способ их применения для установления действительных метрологических показателей поверяемых измерительных средств.

В практике поверки измерительных приборов нашли применение два способа:

- сопоставление показаний поверяемого и образцового приборов;
- сравнение показаний поверяемого прибора с мерой данной величины.

При поверке первым способом в качестве образцовых приборов выбираются приборы с лучшими метрологическими качествами.

Для поверки приборов постоянного тока в качестве образцовых принимаются магнитоэлектрические приборы, а для поверки приборов переменного тока - электродинамические. В последнее время используются цифровые приборы.

Верхний предел измерений образцового прибора должен быть таким же, как и поверяемого или не превышать предел измеряемого прибора более чем на 25%. Допустимая погрешность образцового прибора должна быть 3...5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Погрешность выражают в виде абсолютных величин и в виде относительных.

Различают:

а) абсолютную погрешность измерительного прибора:

$$\Delta X = X_n - X_d$$

где X_n (показания прибора ИП) и X_d (показания прибора А2)- соответственно показание прибора и действительное значение измеряемой величины;

б) относительную погрешность средства измерения, часто выражаемую в процентах:

$$\gamma_o = \frac{\Delta X}{X_d} \times 100\%$$

где ΔX - абсолютная погрешность.

Для оценки многих средств измерений широко применяется приведенная погрешность, выражаемая в процентах:

$$\gamma_{o.п} = \frac{\Delta X}{X_{н.з.}} \times 100\%$$

где $X_{н.з.}$ - нормирующее значение, т.е. некоторое значение, по отношению к которому рассчитывается погрешность.

Часто в качестве нормирующего значения для приведенной погрешности принимают верхний предел измерения прибора. Для многих средств измерений по приведенной погрешности устанавливают класс точности прибора. Например, прибор класса 0,5 может иметь основную приведенную погрешность, не превышающую 0,5%.

Измерительные приборы могут быть следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Многопредельные приборы поверяют на одном, двух основных пределах, а на других в некоторых точках.

В результате поверки устанавливают приведенную погрешность и по ней класс точности прибора.

Амперметры магнитоэлектрической системы применяются для измерений токов в цепях постоянного напряжения. Магнитная цепь прибора состоит из постоянного магнита, полюсных наконечников, неподвижного цилиндра. В воздушном зазоре между поверхностями полюсных наконечников и цилиндра создается радиальное поле, которое в силу малости воздушного зазора можно считать равномерным. Рамка с обмоткой крепится на полуосях и может поворачиваться в зазоре.

В результате взаимодействия магнитного поля и тока обмотки создается вращающий момент, пропорциональный току:

$$M_{BP} = \psi_o \times I$$

где ψ_o - постоянная прибора, зависящая от числа витков и площади обмотки и от индукции в зазоре.

Противодействующий момент:

$$M_{IP} = W \times a$$

где W - удельный противодействующий момент пружины.

Уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{\Psi_0}{W} I = S_I I$$

где S_I - чувствительность прибора.

Магнитоэлектрические приборы работают только на постоянном токе. Они отличаются высокой чувствительностью, высокой точностью, равномерностью шкалы, выполняются в виде амперметров и вольтметров постоянного тока.

1.3. Проведение опыта.

1.3.1. Соберите схему рис. 1.1.

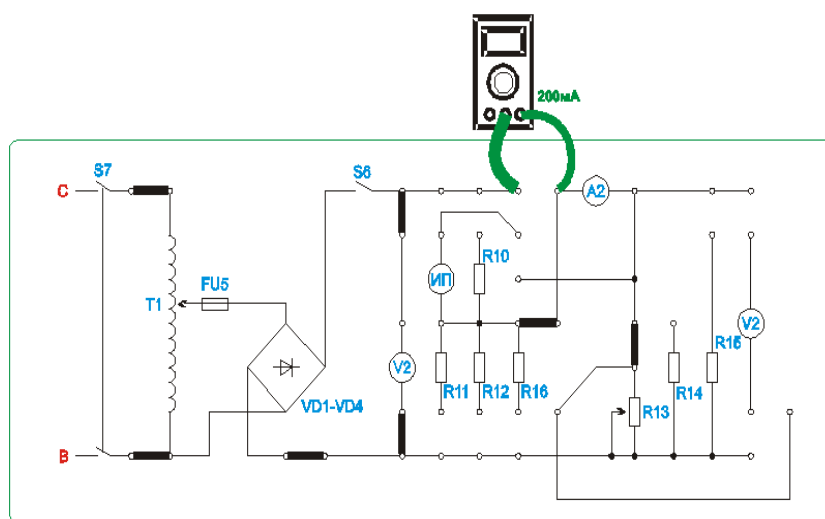


Рис. 1.1.

мультиметр - контрольный амперметр,

A2 - проверяемый прибор.

1.3.2. Перед включением стенда установите переключатель ЛАТРа в начальное положение (10В).

1.3.3. Переменный резистор R13 установите на максимальное сопротивление.

1.3.4. Включите стенд тумблером «СЕТЬ», затем тумблер включения ЛАТРа (S7) и наконец тумблер питания цепей постоянного тока (S6).

1.3.5. Изменяйте переключателем ЛАТРа величину напряжения, (величина контролируется вольтметром V2) до получения величины измеряемого тока, дальнейшее увеличение тока осуществляется плавно с помощью переменного резистора R13.

1.3.6. Сделайте необходимое для расчетов количество замеров.

1.3.7. По окончании работы верните все аппараты в исходное состояние.

1.4. Обработка результатов опыта.

1.4.1. Вычислить по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого амперметра.

1.4.2. Вычислить приведенную погрешность поверяемого амперметра.

1.4.3. Определить класс точности поверяемого амперметра и сравнить его с классом точности, нанесенного на шкале поверяемого амперметра.

1.5. Вопросы для самопроверки.

1.5.1. Каким должно быть соотношение классов точности образцового и поверяемого амперметров?

1.5.2. На шкале измерительного прибора имеется обозначение 1,0. Что это значит?

1.5.3. Что понимается под поверкой средств измерений?

1.5.4. Прибор какого класса точности следует выбрать для поверки амперметра класса 1,5; 2,5?

1.5.5. Возможно ли проведение поверки амперметра класса 1,5 с помощью амперметра класса 0,2?

1.5.6. Напишите уравнение шкалы приборов магнитоэлектрической системы.

Выводы:

Лабораторная работа № 3. Измерительные трансформаторы напряжения

1.1 Цель работы

Ознакомиться с назначением, конструкцией и областью применения измерительных трансформаторов напряжения.

1.2 Порядок проведения работы

1.2.1 Изучить конструкцию трансформаторов напряжения, используемые в лаборатории образцы и плакаты.

1.2.2 Изучить область применения различных серий

трансформаторов напряжения.

1.2.3 Изучить схемы соединения трансформаторов напряжения.

1.2.4 Подготовить отчет по работе.

1.2.5 Ответить на вопросы преподавателя.

1.3 Основные положения

Трансформатор напряжения (ТН) предназначен для измерения высокого напряжения с помощью стандартных измерительных приборов, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения, обеспечивая тем самым безопасность обслуживающего персонала. Первичную обмотку ТН включают параллельно в цепь измеряемого напряжения. К вторичной цепи приборы подключаются также параллельно (рисунок 1).

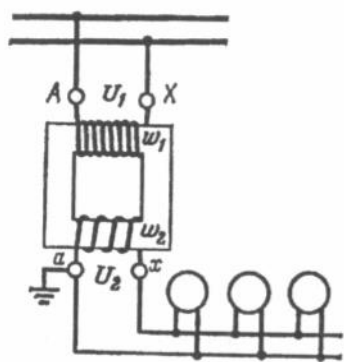


Рисунок 1 - Схема устройства измерительного трансформатора напряжения

Номинальные первичные напряжения ТН стандартизованы в соответствии со шкалой номинальных линейных напряжений сетей. Исключение составляют однофазные ТН, предназначенные для включения в звезду с заземленной нейтралью первичной обмотки, для которых в качестве номинальных первичных напряжений приняты фазные напряжения сетей, например $35000/\sqrt{3}$ или $220000/\sqrt{3}$ В. Номинальные вторичные напряжения основных вторичных обмоток ТН установлены равными 100 или $100/\sqrt{3}$ В. Напряжение U_1 измеряемое с помощью ТН, определяют умножением вторичного напряжения U_2 на номинальный коэффициент трансформации, т.е. $U_1 = U_2 K_{\text{ном}}$.

Источником погрешности ТН являются падения напряжения в сопротивлениях первичной и вторичной обмоток, определяющиеся их потоками рассеяния и активными потерями. Падение напряжения тем больше, чем больше вторичная

нагрузка (количество параллельно включенных приборов). Таким образом, для ТН рабочим режимом будет являться режим, близким к холостому ходу.

По конструкции различают трехфазные и однофазные трансформаторы. Трехфазные трансформаторы напряжения применяются при напряжении до 20 кВ, однофазные на любые напряжения. По типу изоляции трансформаторы могут быть сухими, масляными и с литой изоляцией.

Обмотки сухих трансформаторов выполняются проводом ПЭЛ, а изоляцией между обмотками служит электрокартон. Такие трансформаторы применяются в установках до 1000 В (НОС-0,5 — трансформатор напряжения однофазный, сухой, на 0,5 кВ).

Трансформаторы напряжения с масляной изоляцией применяются на напряжение 6 — 1150 кВ в закрытых и открытых распределительных устройствах. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод залиты маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

Основные задачи, которые должны быть решены при конструировании трансформатора напряжения, помимо точности измерения заключаются в создании надежной изоляции, способной противостоять перенапряжениям, обеспечении минимальных размеров и массы, безаварийной работы с минимальным уходом.

Ранее трансформаторы для номинального напряжения 6 — 35 кВ выполняли с бумажной изоляцией, погруженной в масло. В качестве примера можно указать на трансформатор НОМ-10 (трансформатор напряжения однофазный масляный, 10 кВ,

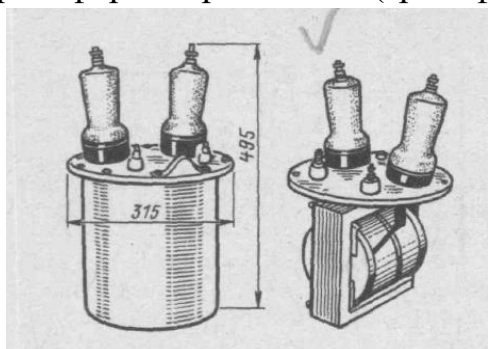


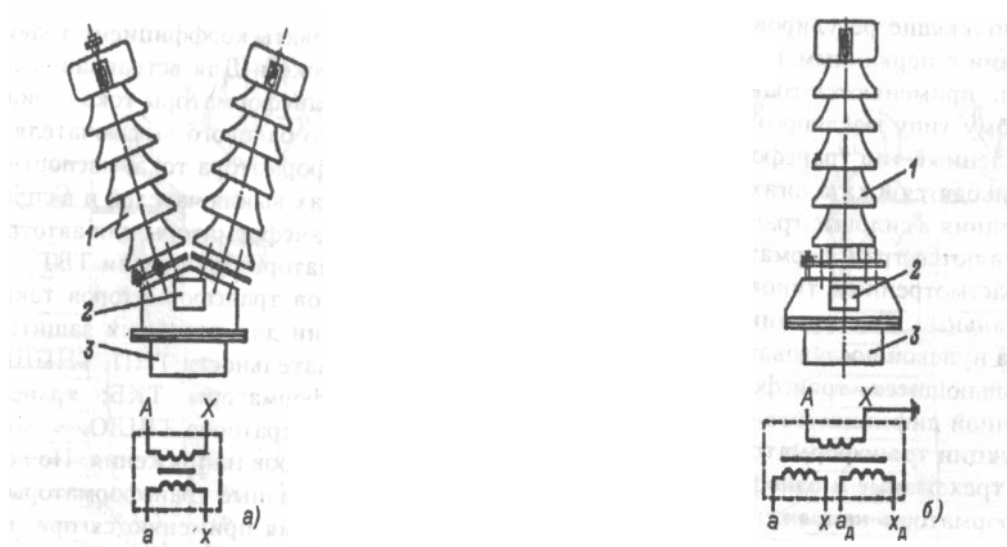
Рисунок 2 - Однофазный трансформатор напряжения типа НОМ.

рисунок 2), Он имеет значительные размеры и массу: его высота составляет 495 мм и масса 36 кг. По мере повышения напряжения размеры, масса и стоимость трансформаторов такой конструкции быстро увеличиваются. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо изменить конструкцию трансформатора.

Более совершенной является конструкция с применением однородной изоляции из бумаги, пропитанной маслом, похожую на изоляцию маслонаполненного кабеля. Масляные каналы

устранены. Это позволило резко уменьшить изоляционные расстояния, размеры магнитопровода и кожуха. Изоляция вводов является продолжением изоляции обмотки и входит в фарфор изоляторов. Масло в изоляторах сообщается с маслом в кожухе. Воздушное пространство под крышкой отсутствует. Количество масла резко уменьшено. На рисунке 3, а показан внешний вид однофазного трансформатора типа НОМ-35-66, 35000/100 В, предназначенного для измерения линейного напряжения, а на рис. 3,б — трансформатора типа ЗНОМ-35 для измерения напряжения между проводом и землей. Трансформатор имеет один ввод, изолированный на полное напряжение. Конец обмотки присоединен к заземленному кожуху.

-Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы НОМ-6, НОМ-10, НОМ-15, НОМ-35 от однофазных трехобмоточных ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-35 (рисунок 3).



а- типа НОМ-35; *б* - типа ЗНОМ-35; 1 - ввод высокого напряжения; 2 — коробка вводов НН; 3 — бак

Рисунок 3 - Трансформаторы напряжения однофазные масляные

Схема соединения обмоток первых показана на рисунке 3,а. Такие трансформаторы имеют два ввода ВН и два ввода НН. Их можно соединить по схеме открытого треугольника, звезды и треугольника. У трансформатора второго типа (рисунок 3,б) один конец обмотки ВН заземлен, единственный ввод ВН расположен на крышке, а вводы НН — на боковой стенке бака. Обмотка ВН рассчитана на фазное напряжение, основная обмотка НН — на $100/\sqrt{3}$ В, дополнительная обмотка — на $100/3$ В. Такие трансформаторы называются заземляемыми и соединяются

по схеме, показанной на рисунке 4.

Трансформаторы типов ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-24 устанавливаются в комплектных шинопроводах мощных генераторов. Для уменьшения потерь от намагничивания их баки выполняются из немагнитной стали.

На рисунке 5 показана установка такого трансформатора в комплектном токопроводе. Трансформатор с помощью ножевого контакта 3, расположенного на вводе ВН, присоединяется к пружинящим контактам, закрепленным на токопроводе 1, закрытом экраном 2. К патрубку 5 со смотровыми люками 4 болтами 6 прикреплена крышка трансформаторов. Таким образом, ввод ВН трансформатора находится в закрытом отростке экрана токопровода. Зажимы

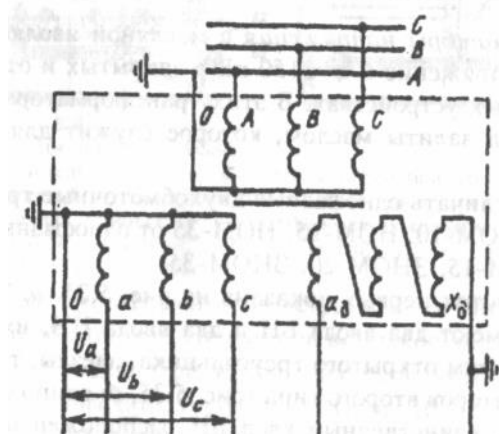
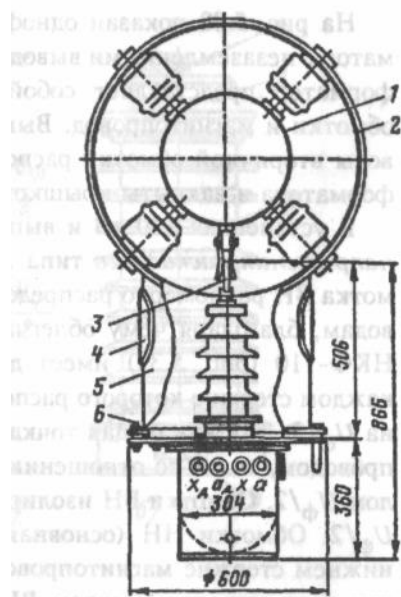


Рисунок 4 -. Схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения

обмоток НН выведены на боковую стенку бака и закрываются отдельным кожухом.



Трехфазные масляные трансформаторы типа НТМИ имеют пятистержневой магнитопровод и три обмотки, соединенные по схеме, показанной на рисунке 4. Такие трансформаторы предназначены для присоединения приборов контроля изоляции и в настоящее время уже не используются.

Массовое применение нашли трансформаторы напряжения с литой изоляцией. Эти трансформаторы имеют небольшую массу, могут устанавливаться в любом положении, пожаробезопасны.

На рисунке 6 показан однофазный двухобмоточный трансформатор с незаземленными выводами типа НОЛ.08-6 на 6 кВ. Трансформатор представляет собой литой блок (рисунок 7), в который залиты обмотки и магнитопровод. Выводы первичной обмотки *A, X*, выводы вторичной обмотки

расположены на переднем торце трансформатора и закрыты крышкой. Трансформаторы серии НОЛ.08 предназначены для замены НОМ-6 и НОМ-10.



Рисунок 6

Трансформатор предназначен для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служит для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частоты 50 и 60 Гц. Трансформатор

предназначен для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;

- температура окружающего воздуха: нижнее значение - минус 45°C, верхнее + 60°C;

- относительная влажность воздуха 100 % при 35°C;

- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию,

- отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации;

- рабочее положение в пространстве - любое.

Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Нормы для типов		
	НОЛ.08-6УТ		НОЛ.08-10УТ
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	3000 3300	6000 6300 6600 6900	10000 11000
Номинальное напряжение вторичной обмотки, В	100 или 110		
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность, В А, в классе точности:			
0,2	15	30	50
0,5	30	50	75
1,0	50	75	150
3,0	75	200	300
Предельная мощность вне класса точности, В А	150	400	630
Группа соединения обмоток	1/1-0		
Масса, кг	26,5±1,5		28,5±1,5

Примечание: У трансформаторов с номинальным напряжением первичной обмотки 6600 и 11000 В номинальное напряжение вторичной обмотки 110 В. Трансформаторы класса точности 0,2 изготавливаются только с номинальным напряжением вторичной обмотки 100 В.

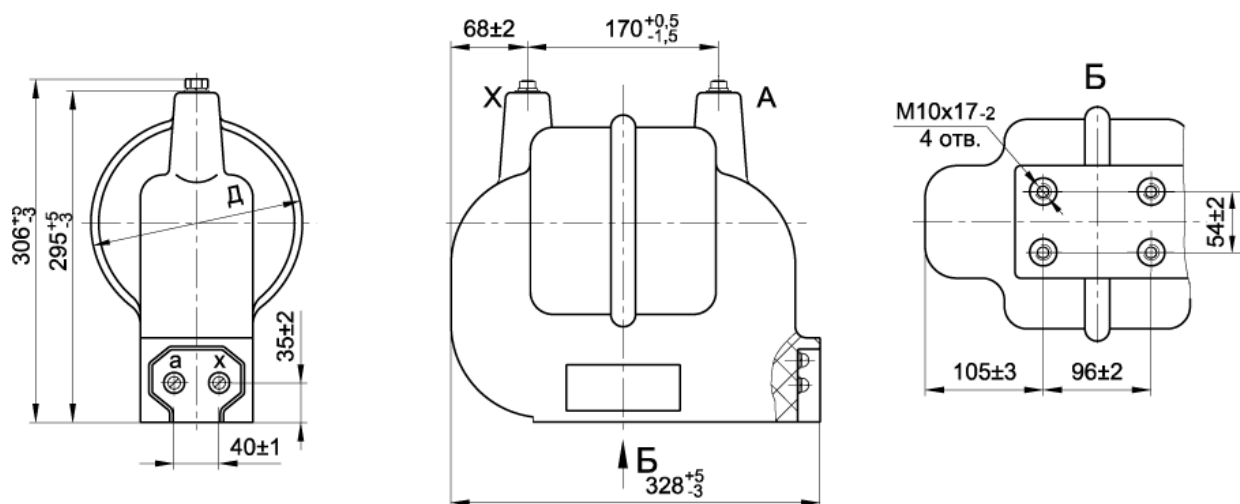
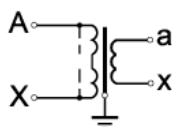


Схема трансформатора



Тип трансформатора	Д, мм
НОЛ.08-6УТ2	188±3
НОЛ.08-10УТ2	212±3

Рисунок 7

Заземляемые трансформаторы напряжения серии ЗНОЛ.06 (рисунок 8) имеют пять исполнений по номинальному напряжению: 6, 10, 15, 20 и 24 кВ. Магнитопровод в них ленточный, разрезной, С-образный, что позволило увеличить класс точности до 0,2. Трансформаторы ЗНОЛ.06 предназначены для установки в КРУ и комплектных токопроводах турбогенераторов вместо масляных трансформаторов НТМИ и ЗНОМ. Он



Рисунок 8

служит для питания цепей измерения, автоматики, сигнализации и защиты в электрических установках переменного тока частоты 50 и 60 Гц в сетях с изолированной нейтралью. Допускается длительная эксплуатация трансформаторов как силовых. При этом мощность, отдаваемая трансформатором, не должна превышать предельную мощность, и нагрузка должна подключаться к основной вторичной обмотке.

Трансформаторы изготавливаются в климатическом исполнении "У" и "Т" категории размещения 3 по ГОСТ 15150, предназначены для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха с учетом превышения температуры воздуха в токопроводе или КРУ при нагрузке трансформаторов предельной мощностью:
- для исполнения УЗ - от минус 45 до плюс 50°C,

- для исполнения ТЗ - от минус 10 до плюс 55°C.

Примечание

Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию. Отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации. Рабочее положение в пространстве - любое.

Таблица 2 - Технические данные

Наименование параметра	Нормы для типов					
	ЗНОЛ.06-6УЗ		ЗНОЛ.06-10УЗ	ЗНОЛ.06-15УЗ	ЗНОЛ.06-20УЗ	ЗНОЛ.06-24УЗ
	ЗНОЛ.06-6ТЗ		ЗНОЛ.06-10ТЗ	ЗНОЛ.06-15ТЗ	ЗНОЛ.06-20ТЗ	ЗНОЛ.06-24ТЗ
Класс напряжения, кВ	3	6	10	15	20	24
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12	17,5	24	26,5
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	3000/ 3 3300/ 3	6000/ 3 6300/ 3 6600/ 3 6900/ 3	10000/ 3 11000/ 3	13800/ 3 15750/ 3	18000/ 3 20000/ 3	24000/ 3
Номинальное напряжение осн, вторичной обмотки, В	100/ 3					
Номинальное наряжение доп. вторичной обмотки, В	100/3 или 100					
Номинальная мощность, В А, в классе точности:						
0,2	15	30	50			
0,5	30	50	75			
1,0	50	75	150			
3,0	150	200	300			
Номинальная мощность доп. вторичной обмотки в классе точности 3, В А	150	200	300			
Предельная мощность вне класса точности, В А	250	400	630			
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0					

Трехфазная антирезонансная группа трансформаторов напряжения 3хЗНОЛ.06-6 И 3хЗНОЛ.06-10 (рисунок 9)

предназначена для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служит для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частоты 50 или 60 Гц. Устойчива к феррорезонансу и (или) воздействию перемежающейся дуги в случае замыкания одной из фаз сети на землю. Трехфазная группа предназначена для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха с учетом превышения температуры воздуха в КРУ при нагрузке трансформаторов предельной мощностью: для исполнения "УЗ" - от минус 45 до плюс 50° С; для исполнения "ТЗ" - от минус 10 до плюс 55° С;
- относительная влажность воздуха не более 98% при 25° С для исполнения "УЗ" и при 35° С для исполнения "ТЗ";
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;
- отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации;
- рабочее положение в пространстве - любое.

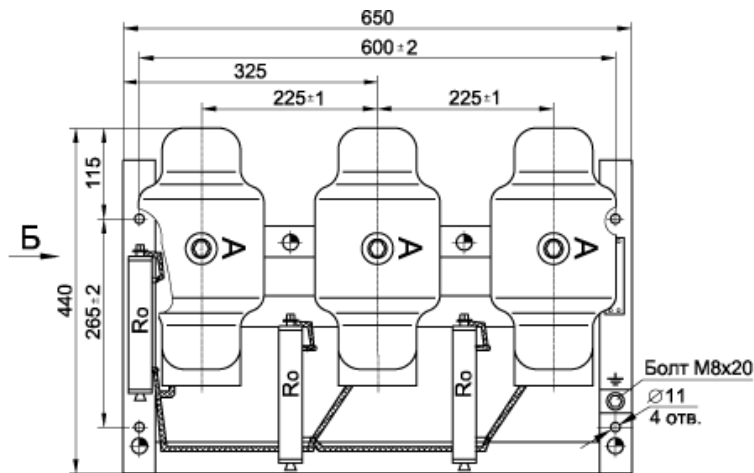
Технические данные этих трансформаторов приведены в таблице 3.

Таблице 3

Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное линейное напряжение на выводах первичной обмотки, В	6000, 6300	10000,
	6600, 6900	11000
Напряжение на выводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток:		
Номинальное линейное напряжение на выводах основной вторичной обмотки, В	100	
при симметричном режиме работы сети, В, не более	3	
при замыкании одной из фаз сети на землю, В	от 90 до 110	
Мощность нагрузки на выводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки при напряжении 100 В и коэффициенте мощности нагрузки 0,8 (характер нагрузки индуктивный), В А	200	300

Продолжение таблицы 3

Схема группы и соединения обмоток трехфазной группы		50 или 60			
Номинальная частота, Гц					
Масса, кг		93		99	
Тип резисторов R	Норма для типа				
	Кол. шт.	3х3НОЛ.06-6 У3(Т3)		3х3НОЛ.06-10 У3(Т3)	
		Ом	Вт	Ом	Вт
C5-35В 3±5% кОм, 100 Вт	3	1000	300	-	0
C5-35В 2,4±5% кОм, 100 Вт	3	-	-	800	300



Общий вид группы 3х3НОЛ.06-6 и 3х3НОЛ.06-10

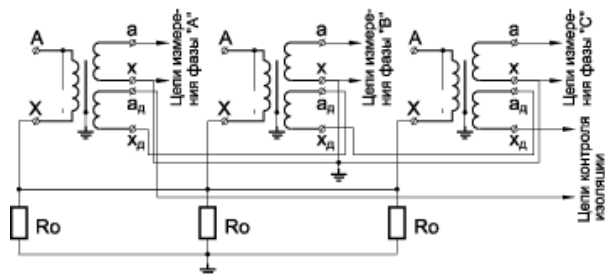
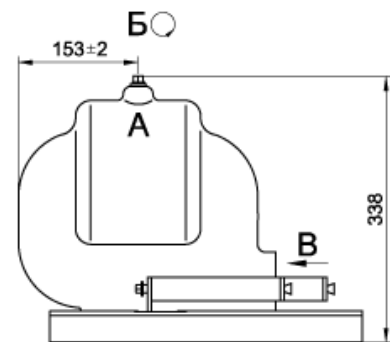
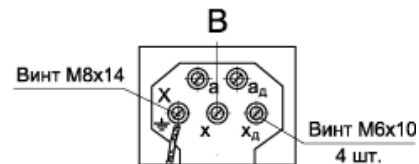


Схема группы



1. Заземление выводов вторичных обмоток по усмотрению потребителя.
2. Заземление плиты для установки трансформаторов к магистрали - обязательно!

Рисунок 9



Для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках напряжением 35 кВ применяются заземляемые трансформаторы напряжения ЗНОЛ-35Б УХЛ 1 и ЗНОЛ-35Б Т1(рисунок 10)

Значения температуры воздуха при эксплуатации - от минус 60°С до плюс 40°С с относительной влажностью воздуха 100% при 25°С для исполнения "УХЛ 1" и от минус 10°С до плюс 55°С с относительной влажностью воздуха 100% при 35°С для исполнения "Т1".

Технические данные этих ИТН приведены в таблице 4.

Рисунок10

Таблица 4

Наименование параметров	Нормы для источников		
	35000/ 3	27500	27500
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	35000/ 3	27500	27500
Номинальное напряжение основной вторичной обмотки, В	100/ 3	100	100-127-230
Номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки, В	100/3	127	
Номинальная мощность основной и вторичной обмотки, В А в классе точности 0,5 1 3	150	150	150
	300	300	300
	600	600	600
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки, В А, в классе точности 3	100/3	400 (вне класса точности)	400 (вне класса точности)
Предельная мощность вне класса точности, В А	1000	1000	1000
Схема и группа соединения оомоток	1/1/1-0-0	1/1/1-0-0	1/1-0
Вид изоляции	литая	литая	Литая
Масса, кг	110 max	110 max	110 max
Схема трансформатора	Рис. 12	Рис.12	Рис13

Присоединительные размеры трансформатора приведены на рисунке 11, а схемы соединения обмоток на рисунках 12 и 13

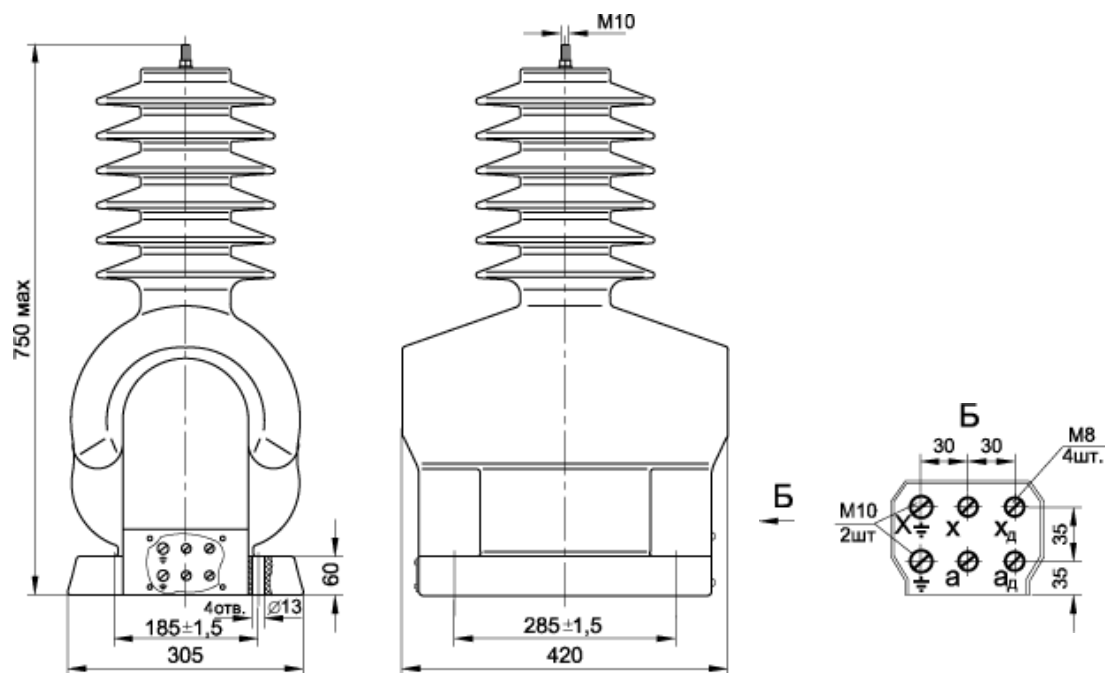
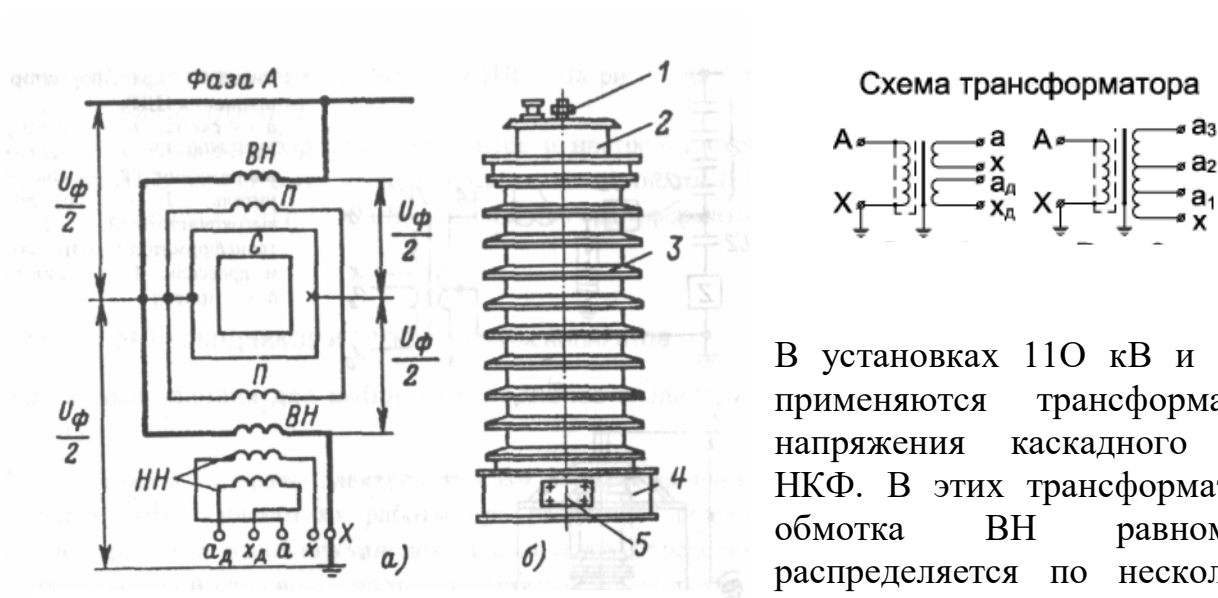


Рисунок 11 – Общий вид трансформатора ЗНОЛ-35Б



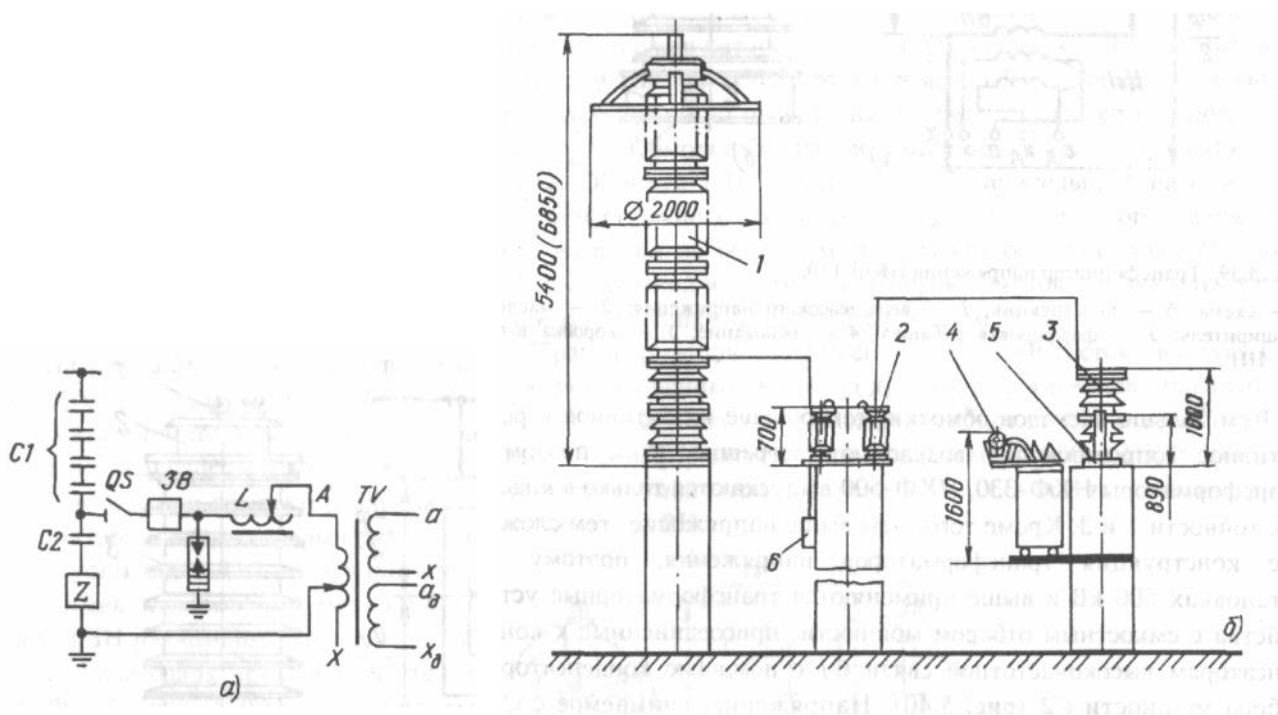
В установках 110 кВ и выше применяются трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ. В этих трансформаторах обмотка ВН равномерно распределяется по нескольким магнитопроводам, благодаря чему облегчается ее изоляция. Трансформатор НКФ-110 (рисунок 14) имеет двухстержневой магнитопровод, на каждом стержне которого расположена обмотка ВН, рассчитанная на $U_{\phi} / 2$. Так как общая точка обмотки ВН соединена с магнитопрово-

дом, то он по отношению к земле находится под потенциалом $U_{\phi} / 2$. Обмотки

ВН изолируются от магнитопровода также на $U_{\phi} / 2$. Обмотки НН (основная и дополнительная) намотаны на нижнем стержне магнитопровода. Для равномерного распределения нагрузки по обмоткам ВН служит обмотка связи *П*. Такой блок, состоящий из магнитопровода и обмоток, помещается в фарфоровую рубашку и заливается маслом.

Трансформаторы напряжения на 220 кВ состоят из двух блоков, установленных один над другим, т.е. имеют два магнитопровода и четыре ступени каскадной обмотки ВН с изоляцией на $U_{\phi} / 4$. Трансформаторы напряжения НКФ-330 и НКФ-500 соответственно имеют три и четыре блока, т. е. шесть и восемь ступеней обмотки ВН.

Чем больше каскадов обмотки, тем больше их активное и реактивное сопротивление, возрастают погрешности, и поэтому трансформаторы НКФ-330, НКФ-500 выпускаются только в классах точности 1 и 3. Кроме того, чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформаторов напряжения, поэтому в установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединенные к конденсаторам высокочастотной связи *C1* с помощью конденсатора отбора мощности *C2* (рисунок 15). Напряжение, снимаемое с *C2* (10 — 15 кВ), подается на трансформатор *TV*, имеющий две вторичные обмотки, которые соединяются по такой же схеме, как и у трансформаторов, как и у трансформаторов НКФ или ЗНОМ.



а — схема; б — установка НДЕ-500-72: / — делитель напряжения; 2 - - разъединитель; 3 — заградитель высокочастотный; 4 — трансформатор напряжения и дроссель; 5 — разрядник; 6 — привод

Рисунок 15 - Трансформатор напряжения НДЕ

Для увеличения точности работы в цепь его первичной обмотки включен дроссель L , с помощью которого контур отбора напряжения настраивается в резонанс с конденсатором C_2 . Дроссель L и трансформатор TV встраиваются в общий бак и заливаются маслом. Заградитель $3B$ не пропускает токи высокой частоты в трансформатор напряжения. Фильтр присоединения Z предназначен для подключения высокочастотных постов защиты. Такое устройство получило название емкостного трансформатора напряжения НДЕ. На рис.15,б показана установка НДЕ-500.

При надлежащем выборе всех элементов и настройке схемы устройство НДЕ может быть выполнено на класс точности 0,5 и выше. Для электроустановок 750 и 1150 кВ применяются трансформаторы НДЕ-750 и НДЕ-1150.

В таблице 5 приведены рекомендации замены по техническим характеристикам ранее выпускаемых ИТН более совершенными, например ИТН, выпускаемых ОАО «Свердловским заводом трансформаторов тока»(СЗТТ).

Таблица 5

Типы заменяемых трансформаторов.	Замена ОАО "СЗТТ"
Трансформаторы напряжения.	
НОМ-6	НОЛ.08-6
НОМ-10	НОЛ.08-10
НТМК-6, НТМИ-6, НАМИ-6, НАМИТ-10(6)	3хЗНОЛ.06-6
НТМК-10, НТМИ-10, НАМИ-10, НАМИТ-10	3хЗНОЛ.06-10
ЗНОМ-15	ЗНОЛ.06-6, ЗНОЛ.06-10, ЗНОЛ.06-15
ЗНОМ-20	ЗНОЛ.06-20
ЗНОМ-24	ЗНОЛ.06-24
ЗНОМ-35	ЗНОЛ-35

1.4 Контрольные вопросы

1.4.1 Назначение измерительных трансформаторов напряжения.

1.4.2 Классификация измерительных трансформаторов напряжения.

1.4.3 Конструкция измерительных трансформаторов напряжения.

1.4.4 Область применения измерительных трансформаторов напряжения.

1.4.5 Выводы:

РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ШУНТОВ И ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы: изучение методов измерения больших значений силы тока и напряжения, определение зависимости верхнего предела измерения электроизмерительных приборов от значения шунтирующего сопротивления.

Краткая теория:

Увеличение предела измерения электроизмерительного прибора связано с необходимостью выдерживания высоких значений силы тока. Большие токи вызывали бы увеличение сечения проводов обмотки катушки (обычно диаметр проводов не превышает 0,2 мм), а, следовательно, массы и момента инерции подвижной части прибора. Кроме того, приборы обладают внутренним сопротивлением, наличие которого приводит к тому, что подключение измерительных приборов к цепи влияет на её параметры. При этом наличие внутреннего сопротивления у амперметра приводит к тому, что общее сопротивление участка цепи возрастает, и поэтому сила тока в цепи с амперметром меньше, чем сила тока без него. Чем меньше внутреннее сопротивление амперметра, тем меньше изменение силы тока происходит на том участке цепи, куда включается амперметр. Поэтому пределы измерения по току расширяют с помощью шунтов, а по напряжению – с помощью добавочных резисторов.

Шунтирование – подключение параллельно амперметру с внутренним сопротивлением R_A сопротивления $R_{ш}$, называемого шунтом. Схема подключения приведена на рисунке 1. При этом часть тока $I_{ш}$ проходит через шунт, а общий измеряемый ток I'_m становится больше, чем предел измерения амперметра I_m . Такое соединение можно рассматривать как амперметр с новым пределом измерения, равным I'_m .

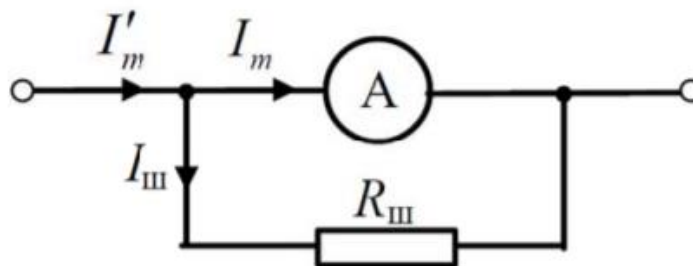


Рисунок 1 – Схема подключения шунта к амперметру

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{По законам Кирхгофа} \\ I'_m = I_m + I_{ш}, \end{array} \right.$$

$$I_m \cdot R_A - I_{ш} \cdot R_{ш} = 0$$

Решение данной системы уравнений относительно I'_m будет иметь вид:

$$I'_m = I_m \left(1 + \frac{R_A}{R_{ш}} \right)$$

Из выражения следует, что, чем меньше будет сопротивление шунта, тем больше будет новый предел измерения.

Сопротивление $R_{ш}$ определяется выражением

$$R_{ш} = \frac{R_A}{\frac{I'_m}{I_m} - 1} = \frac{R_A}{n - 1},$$

Где $n = \frac{I'_m}{I_m}$ – коэффициент шунтирования.

Вольтметры предназначены для измерения разности потенциалов на участке цепи. Для однородного участка цепи разность потенциалов равна напряжению на участке. Для того чтобы при подключении вольтметра токи в схеме изменялись мало, необходимо, чтобы его внутреннее сопротивление R_V было как можно большим. Поэтому к вольтметру последовательно включается добавочное сопротивление, схема включения показана на рис. 2.

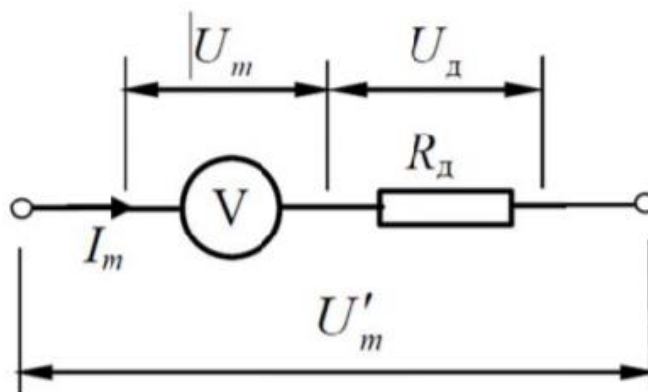


Рисунок 2 – Схема подключения шунта к вольтметру

Для изменения предела измерения вольтметра последовательно с ним включается добавочное сопротивление R_d . При этом измеряемое напряжение U'_m равно:

$$U'_m = U_m + U_d,$$

где U_d – напряжение на добавочном сопротивлении. Так как ток через вольтметр равен току через добавочное сопротивление, напряжение на добавочном сопротивлении будет равно:

$$U_d = I_m \cdot R_d$$

$$U'_m = U_m + I_m \cdot R_d$$

$$R_{\partial} = \frac{U'_m - U_m}{I_m} = \frac{U'_m - U_m}{U_m} \cdot R_V = \left(\frac{U'_m}{U_m} - 1 \right) \cdot R_V = (m - 1) \cdot R_V$$

Шунты встраивают в прибор или выполняют отдельными от прибора. Их изготавливают из манганина, обладающего малым температурным коэффициентом электрического сопротивления.

Ход работы:

Задание 1. Расширение предела измерения амперметра.

На рисунке 3 изображаем схему для измерения тока, и прямым методом, и с помощью шунтирования.

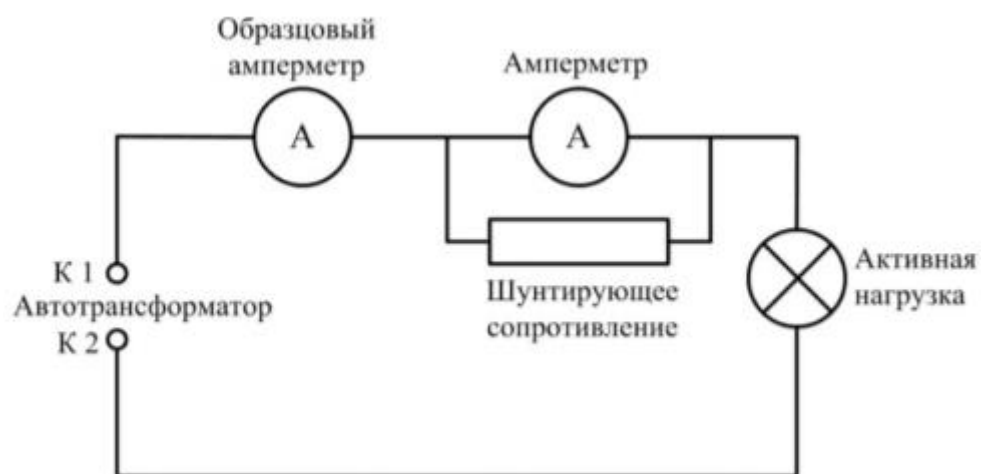


Рисунок 3 – Схема экспериментальной цепи

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Показания образцового амперметра, мА	Показания амперметра с шунтом, мА	Коэффициент шунтирования	Сопротивление шунта, Ом
16	10,4	2,3	4.52	5.68
	24,4	4,4	5.54	4.4
	43,8	6,5	6.74	3.48
	64,8	8,3	7.81	2.94

Рассчитываем коэффициенты шунтирования:

$$n_1 = \frac{10.4}{2.3} = 4.52$$

$$n_2 = \frac{24.4}{4.4} = 5.54$$

$$n_3 = \frac{43.8}{6.5} = 6.74$$

$$n_4 = \frac{64.8}{8.3} = 7.81$$

Рассчитываем сопротивление шунта при значении внутреннего сопротивления амперметра $R_A = 20 \text{ Ом}$.

$$R_{ш1} = \frac{R_A}{\frac{I_m}{I_m - 1}} = \frac{R_A}{n - 1} = \frac{20}{4.52 - 1} = 5.68 \text{ Ом}$$

$$R_{ш2} = \frac{20}{5.54 - 1} = 4.4 \text{ Ом}$$

$$R_{ш3} = \frac{20}{6.74 - 1} = 3.48 \text{ Ом}$$

$$R_{ш4} = \frac{20}{7.81 - 1} = 2.94 \text{ Ом}$$

Рассчитываем математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение для значений коэффициентов шунтирования по стандартным выражениям.

Математическое ожидание:

$$M_n = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i = \frac{1}{4} \cdot (4.52 + 5.54 + 6.74 + 7.81) = 6.15$$

Дисперсия:

$$D_n = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (n_i - M_n)^2 = \frac{(-1.63)^2 + (-0.61)^2 + 0.59^2 + 1.69^2}{3} = \frac{2.66 + 0.37 + 0.35 + 2.86}{3} = 2.08$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_n = \pm \sqrt{D_n} = \pm 1.44$$

Построим график зависимостей амперметра с шунтом от значений образцового амперметра.

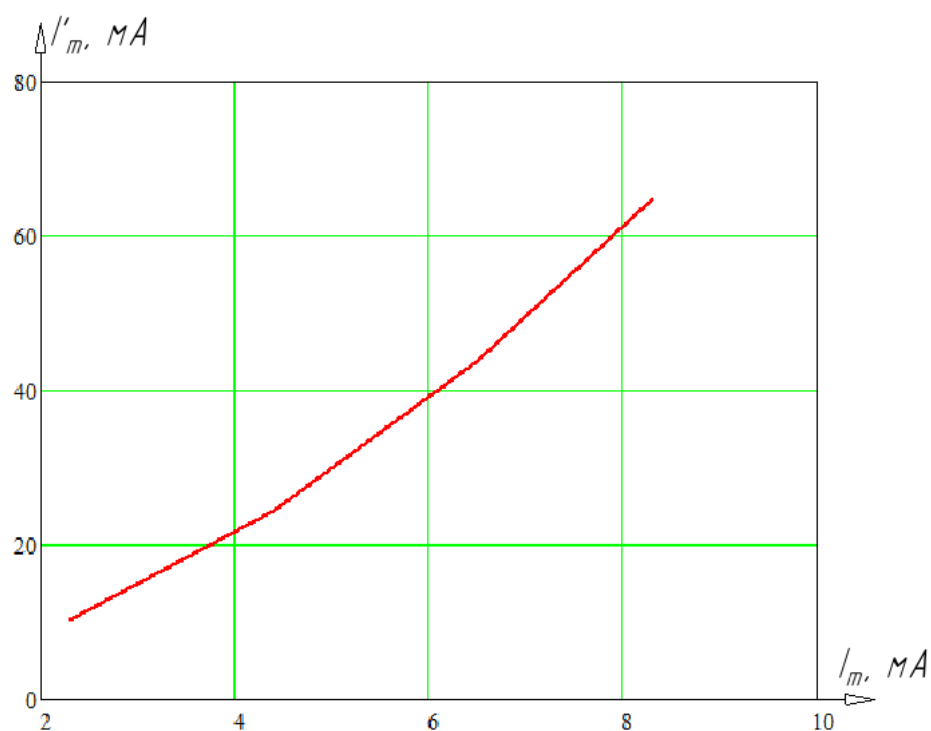


Рисунок 4 – Зависимость значений образцового и шунтирующего амперметра

Задание 2. Расширение предела измерения вольтметра.

Изобразим схему измерения напряжения обоими методами: и прямым, и с использованием шунта.

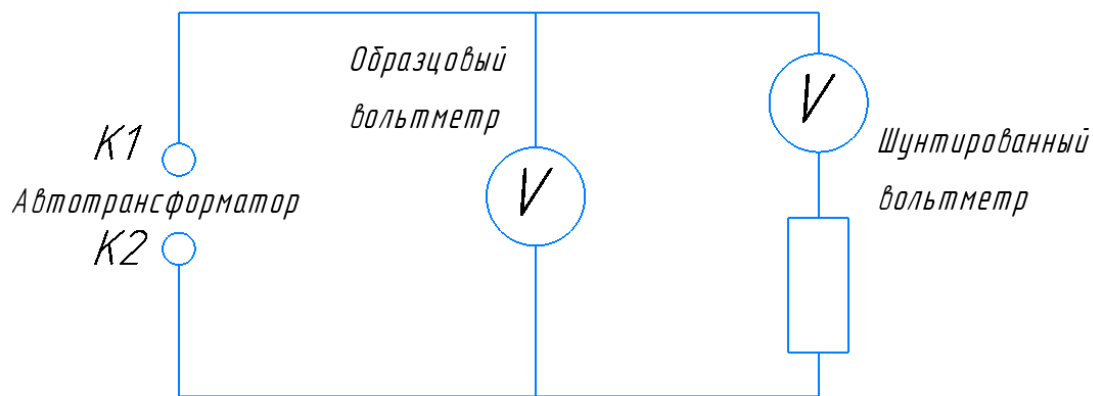


Рисунок 5 – Схема экспериментальной цепи

Таблица 2 – Исходные данные

Вариант	Показания образцового вольтметра, В	Показания вольтметра с шунтом, В	Коэффициент изменения предела измеряемого напряжения	Сопротивление шунта, Ом

16	59	8	7.37	95.55
	62	10	6.2	78
	65	11	5.9	73.5
	67	12	5.58	68.7

Рассчитаем коэффициенты изменения предела измеряемого напряжения по формуле

$$m = \frac{U'_m}{U_m}$$

$$m_1 = \frac{59}{8} = 7.37$$

$$m_2 = \frac{62}{10} = 6.2$$

$$m_3 = \frac{65}{11} = 5.9$$

$$m_4 = \frac{67}{12} = 5.58$$

Рассчитываем добавочное сопротивление при значении внутреннего сопротивления вольтметра $R_V = 15 \text{ Ом}$.

$$R_{\partial 1} = (7.37 - 1) \cdot 15 = 95.55 \text{ Ом}$$

$$R_{\partial 2} = (6.2 - 1) \cdot 15 = 78 \text{ Ом}$$

$$R_{\partial 3} = (5.9 - 1) \cdot 15 = 73.5 \text{ Ом}$$

$$R_{\partial 4} = (5.58 - 1) \cdot 15 = 68.7 \text{ Ом}$$

Рассчитываем математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение для значений коэффициентов шунтирования по соответствующим выражениям.

Математическое ожидание:

$$M_n = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i = \frac{1}{4} \cdot (7.37 + 6.2 + 5.9 + 5.58) = 6.26$$

Дисперсия:

$$D_n = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (n_i - M_n)^2 = \frac{(1.11)^2 + (-0.06)^2 + (-0.36)^2 + (-0.68)^2}{3} = \frac{1.23 + 0.036 + 0.13 + 0.46}{3} = 0.61$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_n = \pm \sqrt{D_n} = \pm 0.78$$

Построим в одной системе координат график зависимостей вольтметра с добавочным сопротивлением от значений образцового вольтметра.

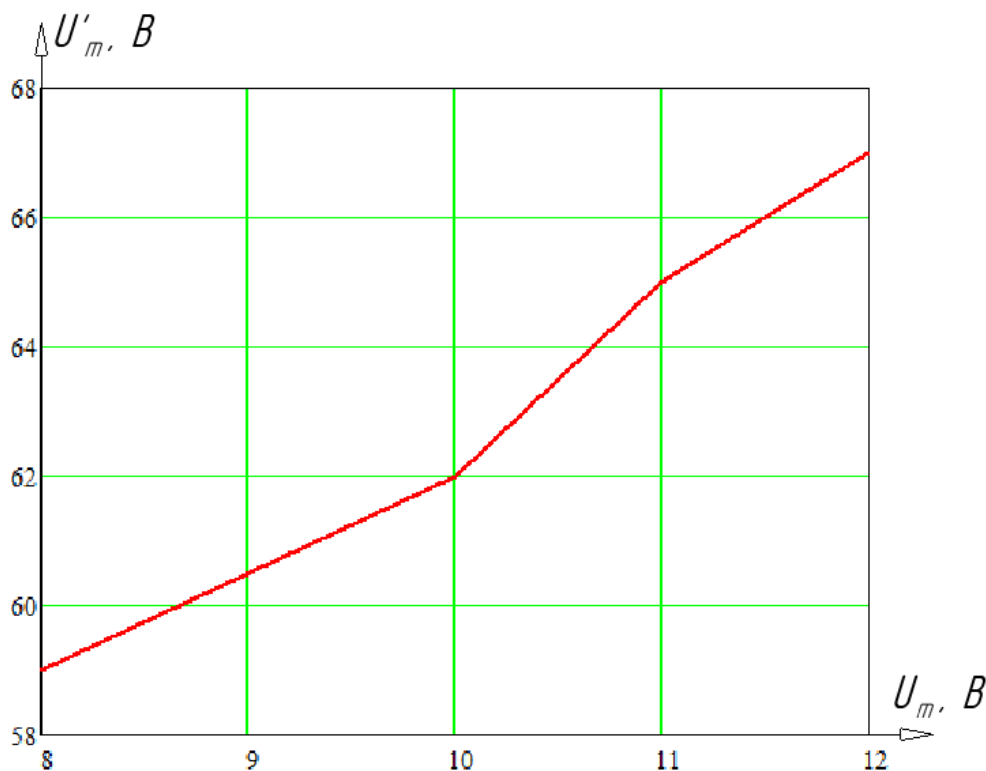


Рисунок 6 – Зависимость значений напряжения при прямом измерении и с шунтом

Вывод: если значение измеряемой величины превышает измерительные возможности прибора, то мы можем расширить предел измерения введением шунтирующего сопротивления.

При этом чем выше значение величины при прямом измерении, тем выше показания прибора с шунтирующим сопротивлением, а само шунтирующее сопротивление, что для амперметра, что для вольтметра, становится меньше.

Ответы на контрольные вопросы:

1. Почему шунт для расширения предела измерения амперметра включается параллельно амперметру, а шунт для расширения предела измерения вольтметра – последовательно вольтметру?
2. Шунт с каким сопротивлением необходимо использовать при измерении силы тока до 1000 мА амперметром с верхним пределом измерения 200 мА?

1.1.1 3. Определите действительное значение напряжения в цепи, если вольтметр показывает 125 В, величина добавочного сопротивления

– 150 кОм

Лабораторная работа № 5. Измерение средних сопротивлений омметром и одинарным измерительным мостом.

Цель работы:

Получение практических навыков в измерении сопротивлений.

Приборы и оборудование:

1. Омметр.
2. Набор резисторов.
3. Комбинированный прибор.

План работы:

1. Измерение сопротивлений омметром и комбинированным прибором.
2. Выводы.

Краткие сведения из теории:

В современной практике электрических измерений возникает необходимость измерения сопротивлений от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{12}$ Ом. При выборе метода измерений принято разделять все сопротивления на три группы:

- малые – меньше 1 Ом;
- средние – от 1 до 100000 Ом;
- больше – свыше 100000 Ом.

Методы измерения каждой группы сопротивлений имеют свои особенности.

Для точного измерения малых сопротивлений применяют двойные мосты, для точного измерения средних сопротивлений – одинарные мосты.

Омметрами измеряют средние сопротивления, если требуется быстро определить величину сопротивления, а большая точность не требуется.

Омметр – это прибор магнитоэлектрической системы, в котором величина измеряемого сопротивления отсчитывается непосредственно на шкале прибора.

Омметры могут иметь две измерительные схемы – последовательную (рисунок 1) и параллельную (рисунок 2).

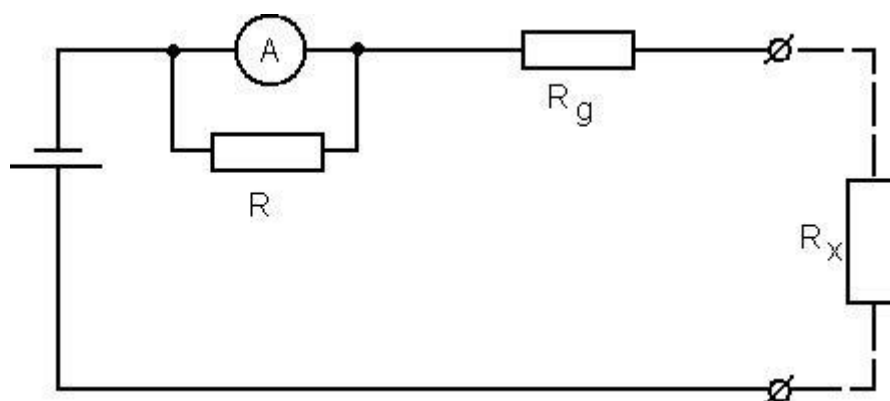


Рисунок - 1

Омметры с последовательной схемой применяются для измерения больших величин сопротивлений, а омметры с параллельной схемой – для относительно малых величин сопротивлений.

В омметрах с последовательной схемой и пределами измерений до 100 кОм, а также в омметрах с параллельной схемой в качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея сухих элементов. Для компенсации уменьшающегося с течением времени напряжения батареи омметры имеют магнитный шунт. Головка регулировочного винта магнитного шунта выводится наружу корпуса прибора и с её помощью стрелка прибора перед каждым измерением устанавливается на нулевое деление при замкнутом R_x (в последовательной схеме) или в положение ∞ при разомкнутом R_x (в параллельной схеме).

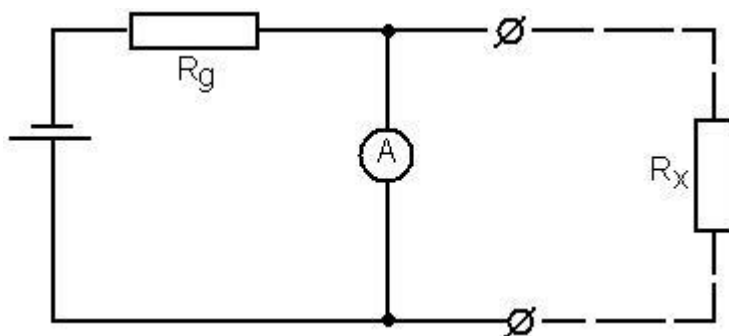


Рисунок - 2

В омметрах с последовательной схемой и пределами измерения свыше 100 кОм в качестве источника питания применяется специальный генератор, встроенный в корпус омметра и приводимый во вращения от руки. Такой тип омметра называется мегомметром или испытателем изоляции, т.к. применяется для определения сопротивления изоляции.

Комбинированным приборами можно измерять несколько величин: постоянный и переменный ток и напряжение, сопротивление, ёмкость и т.д. в зависимости от типа прибора. Эти приборы очень удобны в работе и применяются, когда большой точности измерений не требуется.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь со схемой омметра, его погрешностями, порядком измерения сопротивлений.
2. Измерьте омметром сопротивления заданных резисторов, результаты измерений занесите в таблицу произвольной формы.
3. Ознакомьтесь со схемой комбинированного прибора, его погрешностями и порядком измерения сопротивлений.

Обработка результатов опытов:

Составьте отчёт о проделанной работе.

Использованные источники: [1], [7], [8], [9].

Вопросы для самопроверки:

1. Какие сопротивления и в каком случае измеряются омметрами?
2. Что такое последовательная и параллельная схемы омметра и когда они применяются?
3. Как подготовить к измерению омметр с последовательной и параллельной схемами?
4. Как измерить сопротивление резистора комбинированным прибором?

Контрольные вопросы:

1. Перечислите методы измерения сопротивлений.
2. Дайте сравнительную характеристику методов измерения сопротивлений.
3. Как измерить сопротивления шунта к амперметру?
4. Как измерить сопротивление добавочного резистора к вольтметру?
5. В чём особенности измерения больших сопротивлений?
6. Почему в комбинированных приборах измерителем магнитоэлектрической системы измеряется постоянный и переменный ток и напряжение?

Выводы:

Лабораторная работа №6: Проверка сопротивления изоляции обмоток электродвигателей

Цель работы:

Научиться производить измерение сопротивления изоляции обмоток двигателя методом вольтметра.

В результате выполнения работы студент должен:

знать- характеристики изоляции;

уметь – измерять сопротивление изоляции.

Методические указания по выполнению работы:

Применяемые для изоляции обмоток электрических машин изоляционные материалы не являются идеальными диэлектриками. В зависимости от своих физико-химических свойств они в большей или меньшей степени проводят по своей поверхности или через внутренние слои небольшой электрический ток. Значение электрического сопротивления изоляции — один из важнейших показателей надежности работы электродвигателей. О сопротивлении изоляции судят по значению проходящего через нее постоянного тока. Использование постоянного напряжения связано с тем, что при приложении переменного напряжения емкость, возникающая между разнородными металлами, из которых сделан электродвигатель и его обмотки, вызывает искажение показаний приборов.

Известно, что сопротивление изоляции измеряется в Омах, но так как его значение очень велико, то его принято выражать в мегаомах (миллионы Ом) или килоомах (тысячи Ом). Если, например, между обмоткой электродвигателя и его корпусом действует электрическое напряжение 1000 В и при этом проходит ток 0.001 А, то сопротивление изоляции $R = U/I = 1000/0,001 = 10 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$.

Нормы значения сопротивления изоляции при приемосдаточных испытаниях регламентированы «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ гл. 1.8).

Для двигателей постоянного тока сопротивление изоляции должно быть, не ниже: между обмотками, а также каждой обмотки относительно корпуса 0,5 МОм при температуре 10—30 °С; бандажей якоря (кроме возбуждателей) не нормируется; бандажей якоря возбуждателя 1 МОм.

Для двигателей переменного тока напряжением до 1 кВ сопротивление изоляции должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Допустимое сопротивление изоляции электродвигателей переменного тока

Испытуемый объект	Напряжение мегаомметра, кВ	Сопротивление изоляции
Обмотка статора напряжением до 1кВ.		Не менее 0,5МОм при температуре 10-30°С.
Обмотка ротора синхронного электродвигателя и электродвигателя с фазным ротором.	Не менее 0,2Мом при температуре 10-30°С (допускается не ниже 2кОм при 75°С или 2кОм при 20°С для неявнополюсных машин).	
Подшипники синхронных электродвигателей напряжением выше 1кВ.	Не нормируется (измерения производится относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах.)	

Сопротивление изоляции обмоток вновь вводимых в эксплуатацию электрических машин мощностью до 5000кВт на номинальное напряжение до 10.5кВ должно соответствовать нормам, приведенным в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Допустимое сопротивление изоляции обмоток R_{60}'' , электродвигателей мощностью до 5000 кВт, включительно.

Температура обмотки, С	R_{60}'' , Мом, при номинальном напряжении машины, кВ	
3—3,15	6 6,3	10— 10,5

Для машин мощностью выше 5000кВт а также для машин на номинальное напряжение выше 10,5кВ наименьшее сопротивление изоляции, измеренное при температуре 75°С, определяют по формуле (1.1):

$$R_{60^{\circ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{1000 + P_{\text{НОМ}} 0,01} \quad (1.1)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ -номинальное линейное напряжение, В;

$P_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность, кВт.

Для электродвигателей, у которых выведены концы и начала всех фаз, измерение сопротивления изоляции производят между каждой фазой и корпусом.

При измерении сопротивления изоляции каждой из электрических цепей все другие цепи должны быть соединены с корпусом машины. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разрядить ее на заземленный корпус электродвигателя. Измерение сопротивления изоляции можно производить также сетевым мегаомметром и методом вольтметра. Схемы соединений при измерении сопротивления изоляции методом вольтметра при питании сетей постоянным и переменным током изображены на рисунках 1.1 и 1.2.

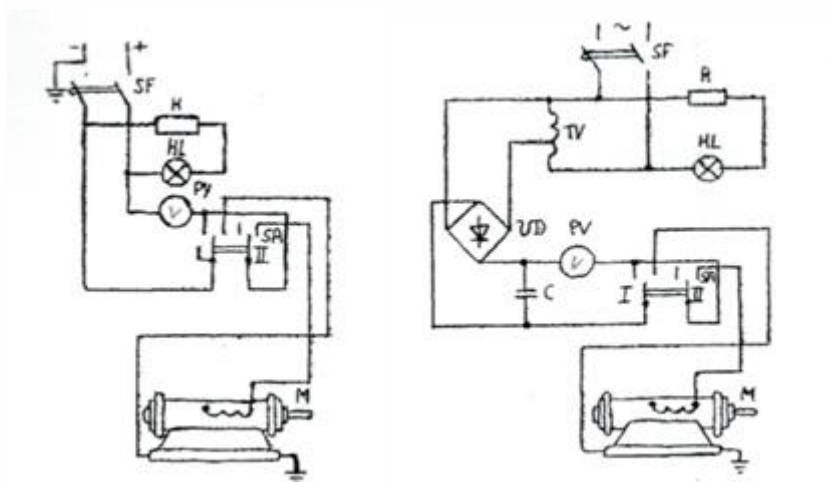


Рисунок 1.1. Измерение сопротивления Рисунок 1.2. Измерение
сопротивления

изоляции вольтметром при питании изоляции вольтметром при питании
от сети постоянного тока от сети переменного тока

Для получения большей точности измерений вольтметр выбирают с большим собственным сопротивлением (30 000—50 000 Ом). Измерения производят на одном пределе вольтметра.

При измерении от электросети, один полюс которой может быть заземлен (рисунок 1.1), во избежание короткого замыкания следует подключать заземленный корпус электродвигателя таким образом, чтобы он оказался соединенным с заземленным полюсом сети.

При питании измерительной схемы от сети переменного тока (рисунок 1.2), если выпрямительный мост включен в сеть не непосредственно, а через трансформатор, отделяющий сеть переменного тока от цепи выпрямленного напряжения, заземленный корпус электродвигателя может быть присоединен к любому из зажимов выпрямительного моста.

Метод вольтметра основан на известном в электротехнике положении: напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях распределяются пропорционально этим сопротивлениям. Так как для проведения испытаний могут использоваться двигатели различных типов и номинальных параметров, для подачи номинальных напряжений можно использовать лабораторный автотрансформатор. Для проведения испытаний необходимо включить автоматический выключатель SF, при этом загорается сигнальная лампа HL, что свидетельствует о наличии напряжения на схеме. При установке переключателя SA в положение I вольтметром PV измеряется напряжение испытаний U_1 В. После перевода переключателя в положение II измеряется показание вольтметра U_2 В. Таким образом, падение напряжения в изоляции $U_1 - U_2$, В. Так как в положении II переключателя SA сопротивление вольтметра R_v (указанное на шкале вольтметра или приведенное в его паспорте) и измеряемое сопротивление изоляции $R_{из}$, соединены последовательно, то падение напряжения в них распределяется прямо пропорционально значениям их сопротивлений:

Если сопротивление изоляции, вычисленное, по этой формуле, ниже 0,5Мом, то наименьшее допустимое значение принимают равным 0,5МОм. Для температур 10- 75 С наименьшее значение сопротивления изоляции обмоток машины определяют, умножая значения, полученные по формуле, на температурный коэффициент k_t , значения которого приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 Значения температурного коэффициента

Температура, С	К _т	Температура, С	К _т
9,4		2,4	
6,7		1,7	
4,7		1,2	
3,4			

При измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей с номинальным напряжением до 500В включительно ГОСТ 11828—75 рекомендует применять мегаомметр на 500В, а для электродвигателей напряжением выше 500В — мегаомметр на 1000 В. Ручку мегаомметра рекомендуется вращать равномерно с частотой около 150 об/мин. Измерение следует проводить при установившемся положении стрелки по истечении 60 с после начала вращения ручки мегаомметра.

Ход работы:

1. Собрать схему по рисунку 1.2, предварительно убедившись, что рукоятка лабораторного автотрансформатора выведена до отказа.
2. Включить автомат SF и убедиться в том, что на схему подано напряжение (загорание лампы HL).
3. Установить переключатель SA в положение I.
4. Поворотом рукоятки «ЛАТР» по часовой стрелке установить нужное напряжение (обычно номинальное напряжение двигателя) U₁ на вольтметре PV и записать значение U₁,В.
5. Установить переключатель SA в положение II.
6. Записать установившееся значение напряжения U₂, В, на вольтметре.
7. Подсчитать сопротивления изоляции R_{из} по формуле (1.2)

$$\frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{из}}} = \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$

$$R_{\text{из}} = R_{\text{в}} \frac{u_2}{u_1 - u_2} = R_{\text{в}} \left(\frac{u_1}{u_2} - 1 \right) 10^{-6} \text{МОм} \quad (1.2)$$

8. Сделать вывод о пригодности изоляции.

9. Составить отчет о работе.

Контрольные вопросы:

1. Какие материалы применяются для изоляции обмоток электродвигателей
2. Какие классы изоляции применяют в основном для обмотки электродвигателей и какова их предельно допустимая температура?
3. Каково минимально допустимое значение сопротивления изоляции для электродвигателей?

Выводы:

Лабораторная работа №7 Измерение и расчет сопротивления заземления.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методику контроль и расчета защитного заземления.

1. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с прибором, применяемым в работе и схемами его включения.
2. Измерить сопротивление заземляющего устройства и исследуемых грунтов.
3. Рассчитать удельное сопротивление исследуемых грунтов.
4. Рассчитать заземляющее устройство.
5. Сравнить полученные результаты с требованиями Правил устройства и эксплуатации электроустановок (ПУЭ) и сделать соответствующие выводы.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При эксплуатации электрооборудования возможно замыкание его токоведущих частей на корпус в результате повреждения оборудования и других причин. В этом случае прикосновение человека к металлическим корпусам электродвигателей, пускателей и т.д., или к соединенным с ними металлическим деталям технологического оборудования, становится также опасно, как и к оголенному проводу, находящемуся под напряжением.

Одной из основных мер защиты от поражения электрическим током является защитное заземление.

Защитное заземление — преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением.

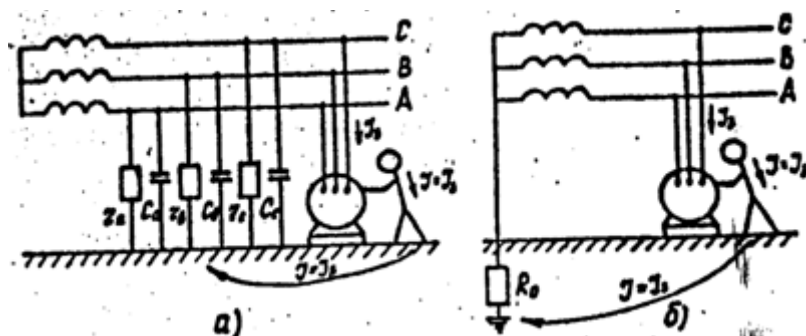
Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании на корпус.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения относительно земли до безопасной величины на оказавшихся под напряжением нетоковедущих частях оборудования путем создания между землей и корпусом электрического соединения большой проводимости, вследствие чего ток, проходящий через включенное параллельно этому соединению тело человека, становится не опасным для жизни человека.

Защитное заземление применяется в трехфазных, трехпроводных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением свыше 1000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству, или присоединенная через большое сопротивление (трансформатор напряжения и т.п.)

Заземленной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (трансформатор тока и т.п.)

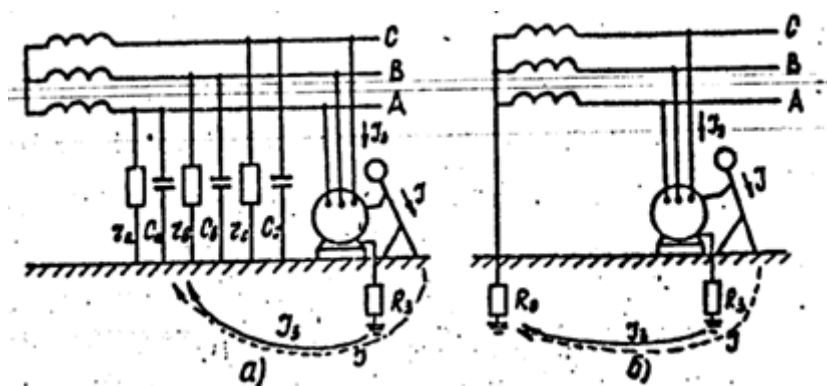


Если человек, стоя на земле, касается незаземленного корпуса, оказавшегося под напряжением в сети с изолированной или заземленной нейтралью, через тело человека проходит весь ток замыкания на землю $J=J_3$. В сети с изолированной нейтралью цепь тока замыкается через землю и далее через сопротивления изоляции и емкости фаз (рис. 3.1а).

Рис. 3.1.

Схема прикосновения к корпусу, оказавшемуся под напряжением, при отсутствии заземления

В сети с заземленной нейтралью замыкание цепи происходит через заземление нейтрали (рис. 3.16).



При прикосновении к заземленному корпусу, через тело человека проходит часть тока заземления $J=f(J_3)$ (рис.3.2.).

Рис. 3.2.

Схема прикосновения к корпусу, оказавшемуся под напряжением, при наличии заземления

При замыкании на землю, в результате электрического соединения находящихся под напряжением частей электроустановки с землей, падения на землю оборванного провода и т.п., человек может оказаться под напряжением и быть пораженным током, не соприкасаясь с оборудованием, попав в поле растекания тока в земле.

По мере растекания тока во все возрастающих объемах грунта плотность тока на единицу объема грунта уменьшается. Наибольшая плотность тока и наивысшее напряжение относительно земли будет в месте замыкания тока на землю. При удалении от места замыкания тока на землю напряжение относительно земли убывает.

Кривая распределения потенциала

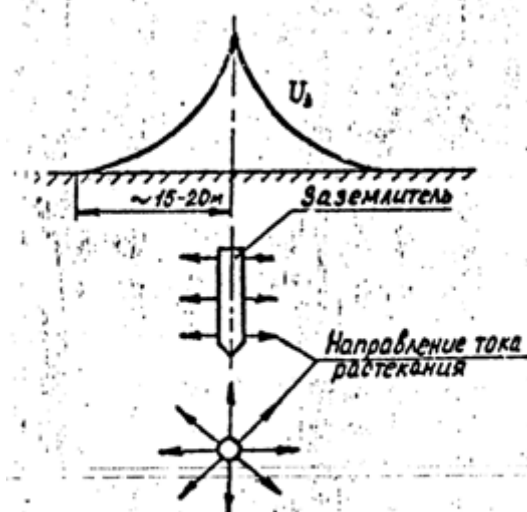


Рис.3.3.

Если при помощи вольтметра измерить величины напряжений в нескольких точках, расположенных на разных расстояниях друг от друга в зоне растекания тока, а затем соединить точки, полученные в результате этих замеров, то получив кривую распределения потенциала, изображенную на рис.3.3.



Рис 3.3.

Кривая распределения потенциала

По мере удаления от заземлителя потенциал снижается и на расстоянии 15-20 м становится столь незначительным, что его можно принять равным нулю. Поэтому в соответствии с требованиями ПУЭ за точки нулевого потенциала (потенциал, практически не отличающийся от нормального потенциала земли) принимают точки на поверхности, отдаленные от заземлителя на расстояние, превышающее 20 м.

Напряжение, под которым оказывается человек, попав в зону растекания тока в земле, называют напряжением шага, т.е. напряжением между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага (рис. 3.4.).

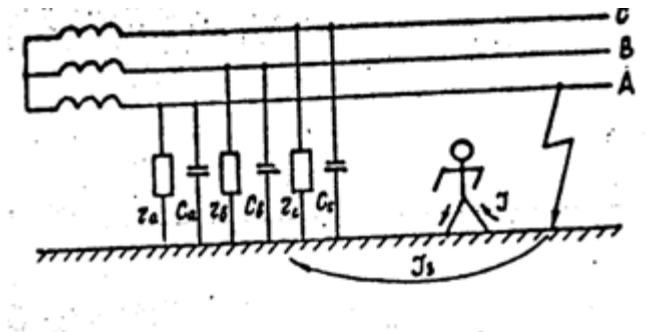


Рис. 3.4.

Схема включения на напряжение шага

Ток, проходящий через человека в случае попадания под шаговое напряжение, зависит от тока замыкания на землю $J=j(J_3)$. Чем шире шаг, тем шаговое напряжение будет выше и может достигнуть опасной величины. Поэтому выходить из зоны растекания тока необходимо короткими шагами.

В правилах устройства электроустановок (ПУЭ) нормируются сопротивления заземления в зависимости от напряжения электроустановки. В электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом. В электроустановках напряжением выше 1000 В с большими (более 500 А) токами замыкания на землю сопротивление заземления должно быть не выше 0.5 Ом. В электроустановках с малыми токами замыкания на землю (менее 500 А) сопротивление заземления должно быть не более 10 Ом.

Сопротивление защитного заземления устанавливается, исходя из величины напряжения прикосновения. Безопасность будет достигнута в том случае, если напряжение, под которым может оказаться человек, прикасаясь к заземленному корпусу электроустановки и стоя на земле (напряжение прикосновения) или только стоя на земле, но не соприкасаясь с поврежденной электроустановкой (шаговое напряжение), будет в пределах допустимого, т.е. должно соблюдаться условие:

$$U_3 \leq U_{пр.д.}$$

где U_3 — напряжение заземляющего устройства;

$U_{пр.д.}$ — допустимое напряжение прикосновения.

В общем виде напряжение прикосновения в поле растекания заземлителя:

$$U_{пр} = U_3 * a$$

где a — коэффициент напряжения прикосновения $a \leq 1$.

Напряжение заземляющего устройства можно выразить зависимостью:

$$U_3 = J_3 * R_3$$

где J_3 — ток замыкания на землю, А;

R_3 — сопротивление заземляющего устройства, Ом.

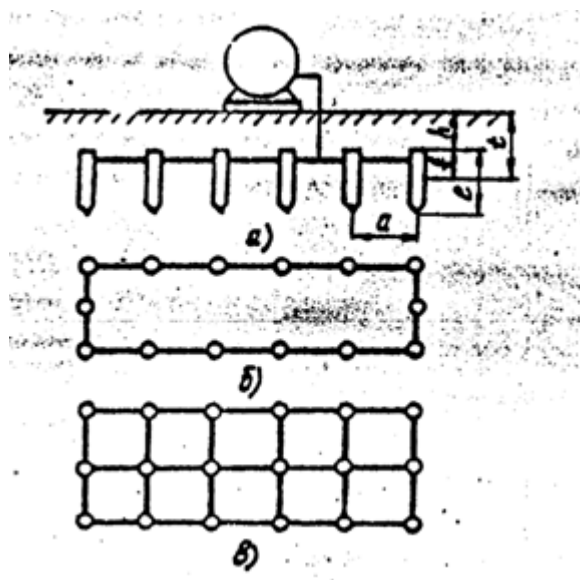
Исследованиями установлено, что напряжение прикосновения не должно превышать 40 В. Принимая ток короткого замыкания равным 10 А при напряжении в сети до 1000 В, получим предел допустимого сопротивления заземляющего устройства:

$$R_{з.д.} = U_{пр.д.} / J_3 = 4 \text{ Ом}$$

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Различают два вида заземляющих устройств: выносное (или сосредоточенное) и контурное (или распределенное).

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлитель его вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки. Недостаток выносного заземления – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования. Данный тип заземляющего устройства применяют лишь при малых значениях тока замыкания на землю и, в частности, в установках напряжением до 1000 В. Преимуществом такого типа является возможность выбора места размещения электродов с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т.п.).



Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что его одиночные заземлители размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляющее оборудование или распределяют по всей площадке по возможности равномерно.

Рис. 3.5.

Контурное заземляющее устройство.

Заземлители располагают по кругу вокруг заземленного оборудования (рис. 3.5б) или распределяют в виде сетки (рис. 3.5в).

Расстояние между заземлителями берется $a=1-3l$, где l — длина заземлителей.

Заземлитель – металлический проводник (электрод) или группы проводников, непосредственно соприкасающихся с грунтом и создающих электрическое соединение с землей, обладающей определенным сопротивлением растеканию тока.

Различают заземлители искусственные, предназначенные исключительно для цепей заземления и естественные – находящиеся в земле металлические предметы для иных целей.

Для искусственных заземлителей применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют стальные трубы диаметром 30-50 мм, угловую сталь размером от 40х40 до 60х60 мм, длиной 2,5 – 3 м и стальные прутки диаметром 10-12 мм. Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода используют полосовую сталь сечением не менее 4х12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для установки вертикального заземления роют траншею глубиной 0,7-0,8 м, после чего с помощью механизмов забивают трубы или уголки.

В качестве естественных заземлителей можно использовать: проложенные в земле металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих взрывоопасных газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии; обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматуру железных конструкций зданий и сооружений, имеющих соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенные под землей. Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления дает большую экономию. Недостатками естественных заземлителей являются доступность их неэлектротехническому персоналу и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей (при ремонтных работах и т.п.). Использование естественных заземлителей без предварительного расчета и испытания недопустимо.

В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляемых частей с заземлителями, применяют полосовую и круглую сталь. Заземляющие проводники в помещениях должны быть доступны для осмотра.

Присоединение заземляемого оборудования к магистрали заземления осуществляют с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, называемое сопротивлением растеканию тока. Оно имеет три слагаемых: сопротивление самого заземлителя, переходное сопротивление между заземлителем и грунтом и сопротивление грунта.

Сопротивление заземлителя и переходное, по сравнению с сопротивлением грунта, незначительны. Следовательно на сопротивление растеканию тока будут влиять свойства и влажность грунта, в котором находятся заземлители и полосы связи, а также глубина расположения заземлителей и полос связи, форма заземлителей, их размеры и взаимное расположение.

Электрические свойства грунта определяются его удельным сопротивлением (таблица П.2.1.).

Удельным сопротивлением грунта называется сопротивление между противоположными сторонами одного кубического метра грунта со сторонами 1х1 м. Измеряется оно в Ом*м.

Величина удельного сопротивления грунта зависит от строения грунта, его температуры, содержания влаги и солей в грунте.

Т.к. влажность грунта в разное время года бывает различной, то и удельное сопротивление грунта может значительно меняться. Для исключения погрешности при измерениях удельного сопротивления грунта, его величину умножают на соответствующие коэффициенты повышения K_1 , K_2 , и K_3 , учитывающие изменение удельного сопротивления грунта в зоне высыхания или промерзания (таблица П.2.2.). Коэффициентом K_1 пользуются при наибольшем количестве осадков, выпавших в предшествующее измерению в течении года по данным метеорологической станции, K_2 – при среднем количестве осадков, K_3 – при незначительном количестве осадков.

Сопротивление заземляющего устройства со временем может увеличиваться вследствие высыхания грунта и других причин, превосходя установленные нормы. Поэтому ПУЭ предусмотрено, что измерение сопротивления заземляющего устройства цеховых электроустановок должно проводиться не реже 1 раза в год, а именно, один год – летом при наибольшем высыхании почвы и другой год – зимой в период наибольшего ее промерзания.

Внеплановые измерения сопротивления заземляющего устройства проводятся после реконструкции или капитального ремонта электросети. Измерению подлежат все элементы заземления, находящиеся в земле: искусственные и естественные заземлители и полосы связи, соединяющие их в земле.

Все наружные присоединения к заземляющему устройству на время измерений отсоединяются от проверяемого заземлителя. В случае, если сопротивление заземляющего устройства превышает нормативное, принимают меры к его снижению, присоединяя к групповому заземлителю дополнительные электроды, заменяя поврежденные коррозией заземлители новыми, или обрабатывая грунт поваренной солью, вводя ее непосредственно у заземлителей. После этого вторично измеряют сопротивление заземляющего устройства.

Результаты измерения сопротивления заземляющего устройства оформляют протоколом, а заключение заносят в паспорт заземляющего устройства.

Измерение сопротивления растеканию тока может быть проведено различными способами. Наиболее распространен метод амперметра и вольтметра (рис. 3.6)

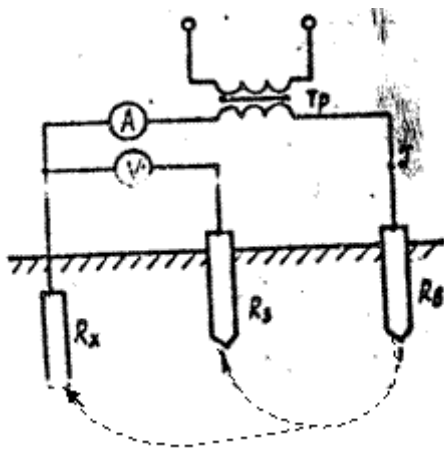


Рис. 3.6.

Схема измерения сопротивления заземления

методом амперметра и вольтметра

Вспомогательный заземлитель R_b и зонд устанавливаются на таком расстоянии друг от друга и от испытуемого заземлителя R_x , чтобы их поля растекания тока не накладывались.

Падение напряжения на этом заземлении измеряется вольтметром V , включенным между заземлителем R_x и зондом. Таким образом, сопротивление растеканию испытуемого заземлителя $R_x = U_3 / J_3$.

Для измерения сопротивления заземления применяются приборы-измерители сопротивления заземления МС-08 и М-416.

В приборе МС-08 использован метод амперметра-вольтметра с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода-зонда, удаленных на достаточное расстояние от испытуемого заземляющего устройства.

Принцип действия измерителя сопротивления заземления М-416 основан на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда).

Вспомогательный заземлитель R_b служит для образования цепи измерительного тока J , протекающего через заземляющее устройство R_x .

Он может быть выполнен в виде или нескольких труб, забиваемых на глубину не менее 0,5 м.

Потенциальный электрод-зонд R_3 предназначен для определения напряжения на заземляющем устройстве по отношению к точке земли с нулевым потенциалом. В качестве зонда можно использовать стальной заостренный стержень диаметром не менее 5 мм и длиной около 1 м, забиваемый в грунт на глубину не менее 0,5 м.

Для соединения с заземляющим устройством, вспомогательным заземлителем и зондом на приборах МС-08 М-416 имеется четыре зажима.

Для грубых измерений сопротивления заземления (выше 5 Ом) зажимы 1 и 2 и прибор подключают к заземляющему устройству по трехзажимной схеме (рис. 3.7., 3.8.).

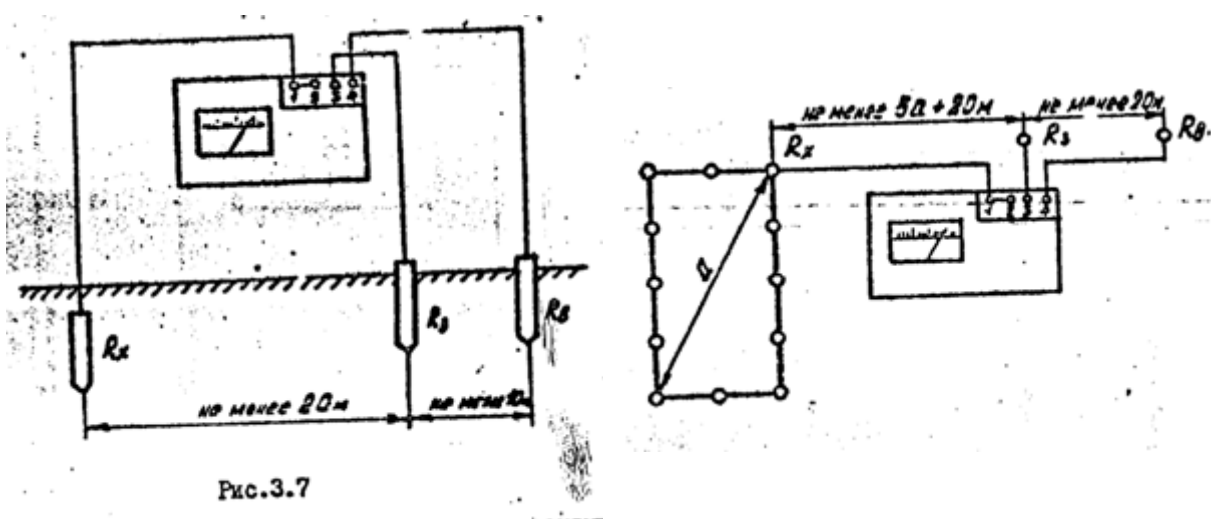
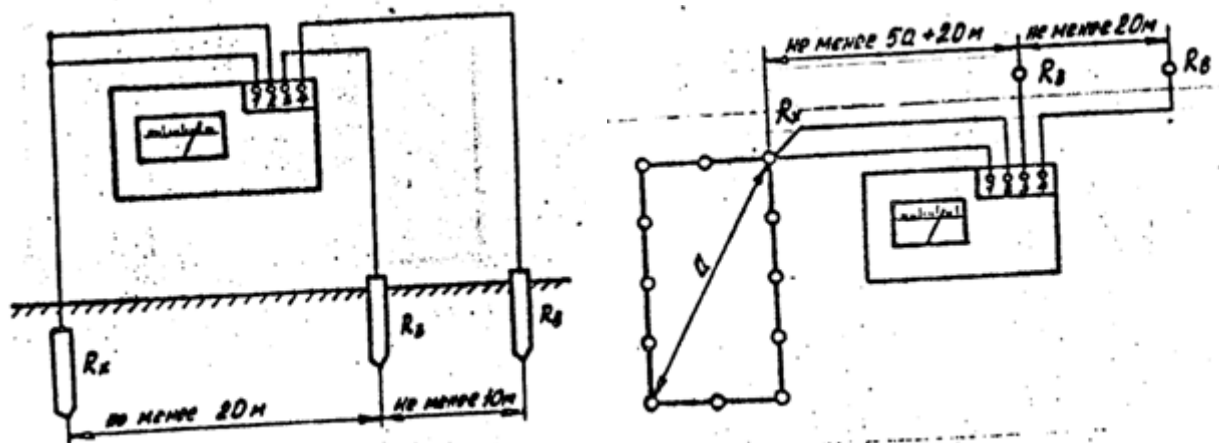


Рис. 3.7., 3.8.

Трехзажимные схемы измерения сопротивления выносного и контурного заземляющих устройств



При точных измерениях снимают перемычку с зажимов 1 и 2 и прибор подключают к заземляющему устройству по четырехзажимной схеме (рис. 3.9., 3.10.). Это позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов.

Рис. 3.9., 3.10.

Четырехзажимная схема измерения сопротивления выносного и контурного заземляющих устройств

Измерение удельного сопротивления грунта производится методом контрольного электрода или методом четырех электродов.

Измерение методом контрольного электрода производится аналогично измерению сопротивления заземления. При этом к зажимам 1 и 2 вместо R_x присоединяется дополнительный электрод в виде металлического стержня или трубы вышеуказанных размеров.

В местах забивки контрольного электрода, вспомогательного заземления и зонда растительность или насыпной слой должен быть удален.

Удельное сопротивление грунта на глубине забивки контрольного заземлителя рассчитывают по формуле сопротивления растекания тока заземления, верхний конец которого выходит на поверхность земли.

$$R = (0,366 * r / l) * \lg(4 * l / d), \quad (3.1.)$$

где R – сопротивление тока контрольного заземлителя, Ом;

r -- удельное сопротивление грунта , Ом*м;

l – длина заземлителя в земле, м;

d – наружный диаметр заземлителя, м.

Откуда можно определить удельное сопротивление грунта

$$r = 2,73 \cdot (R \cdot I / [\lg(4 \cdot I / d)]), \quad (3.2.)$$

где R – измеренное сопротивление растеканию тока с контрольного заземлителя, Ом.

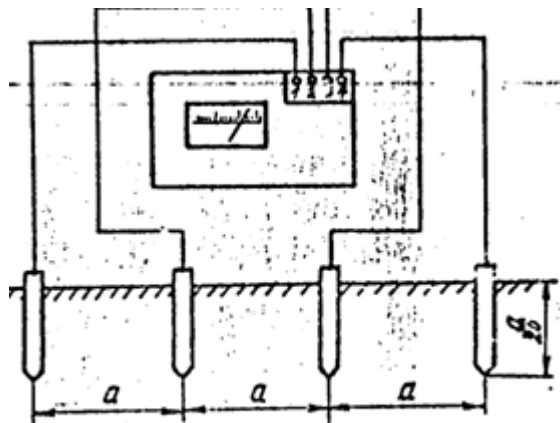


Рис.3.11

При измерении удельного сопротивления грунта методом четырех электродов электроды устанавливают на равных расстояниях друг от друга по прямой линии (рис 3.11.).

Рис. 3.11.

Схема измерения удельного сопротивления грунта методом четырех электродов

Глубина забивки стержней не должна превышать $1/20$ расстояния a . Зажимы 1 и 4 подсоединяются к крайним стержням, а зажимы 2 и 3 – к средним.

Удельное сопротивление грунта определяется по формуле:

$$r = 2\pi a R, \quad (3.3.)$$

где a – расстояние между стержнями, м;

R – показание прибора, Ом.

Приближенно можно считать, что при этом способе измерения среднее удельное сопротивление грунта на глубине, равной расстоянию между забитыми стержнями a .

Расчет заземления должен быть основан на предварительных измерениях удельного сопротивления грунта в месте расположения заземлителей.

Расчетное удельное сопротивление грунта принимают

$$r_{расч} = K_n * r_{изм} \quad (3.4.)$$

где K_n — повышающий коэффициент (таблица П.2.2.);

$r_{изм}$ — измеренное удельное сопротивление грунта, Ом*м.

Сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя, верхний конец которого находится ниже поверхности земли, можно определить по формуле:

$$R = (0,366) * r_{расч} / l * [\lg(2 * l / d) + 1/2 * \lg[(4 * t + l) / (4 * t - l)]], \quad (3.5.)$$

где t - расстояние от середины заземлителя до поверхности земли, м;

l - длина заземлителя, м.

Расстояние t определяется длиной заземлителя l и расстоянием от верхнего конца заземлителя до поверхности земли h :

$$t = l/2 + h \quad (3.6.)$$

Вертикальные заземлители обычно забивают на расстоянии $h = 0.5-0.8$ м от поверхности земли.

Если вместо трубы или стержня применяют угловую сталь сопротивление растеканию тока рассчитывают по той же формуле подставляя вместо d эквивалентный диаметр $d_э$.

$$d_э = 0,95 * s, \quad (3.7.)$$

где s -- ширина стороны уголка, м.

Ориентировочное число электродов в групповом заземлителе n_0 можно определить из соотношения:

$$n_0 = R / R_{з.д.} \quad (3.8.)$$

где $R_{з.д.}$ — предельно – допустимое сопротивление заземляющего устройства (согласно требований ПУЭ в установках напряжением до 1000 В $R_{з.д.} = 4$ Ом).

Групповое расположение электродов в заземляющем устройстве приводит к взаимному влиянию полей растекания тока заземлителей и соединительной полосы связи и, в конечном счете, увеличивает сопротивление растеканию тока, что учитывается коэффициентами использования (экранирования) заземлителей h_3 и полосы связи h_n .

Для нахождения коэффициентов использования заземлителей предварительно задаются расположением электродов в групповом заземлителе (в ряд или по контуру) и далее принимают расстояние между электродами. Зная это, а также ориентировочное число электродов для группового заземлителя n_0 , определяют коэффициент использования заземлителей h_3 (таблица П.2.3.). После этого находят число электродов n с учетом найденного коэффициента использования:

$$n = h_b / h_3 \quad (3.9.)$$

В соответствие с найденным числом электродов коэффициент использования h_3 уточняется по той же таблице.

Сопротивление растеканию тока всех электродов в групповом заземлителе R_3 определяют из выражения:

$$R_3 = R / n * h_3' \quad (3.10.)$$

где h_3' — уточненный коэффициент использования заземлителей.

Сопротивление растеканию тока полосы связи определяется по формуле:

$$R = [0,366 * r_{рассч} / l_n] * \lg(2 * l_n^2 / (b * h)) \quad (3.11.)$$

где h – расстояние от поверхности земли до полосы связи, м;

l_n – длина полосы связи, м;

b – ширина полосы связи, м;

Длину полосы связи, объединяющую все отдельные заземлители в один общий заземлитель, можно найти из выражения:

$$l_n = 1,05 * a * n \quad (3.12.)$$

где a – принятое расстояние между заземлителями, м;

n – число электронов в заземлителе.

По таблице П.2.4. находят коэффициент использования полосы связи h_n и определяют сопротивление растеканию тока полосы связи R_n с учетом коэффициента использования:

$$R_n = R_n / h_n \text{ (3.13.)}$$

Общее сопротивление растеканию тока заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_{з.у.} = 1 / (1 / R_з + 1 / R_n) \text{ (3.14.)}$$

где $R_з$ — расчетное сопротивление растеканию тока всех заземлителей, Ом;

R_n — расчетное сопротивление растеканию тока соединительной полосы связи, Ом.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Приборы и приспособления:

- 1) Измеритель сопротивления заземления М416.
- 2) Объекты измерения.

Измеритель сопротивления заземления М416 предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств, сопротивления проводников, а также может быть использован для определения удельного сопротивления грунта.

Предел измерения от 0.1 до 1000 Ом.

Прибор имеет четыре диапазона измерения

0.1 — 10 Ом (*1)

0.5 — 50 Ом (*5)

2 — 200 Ом (*20)

10 — 1000 Ом (*100)

Питание прибора — сухие элементы напряжением 4.5 В.

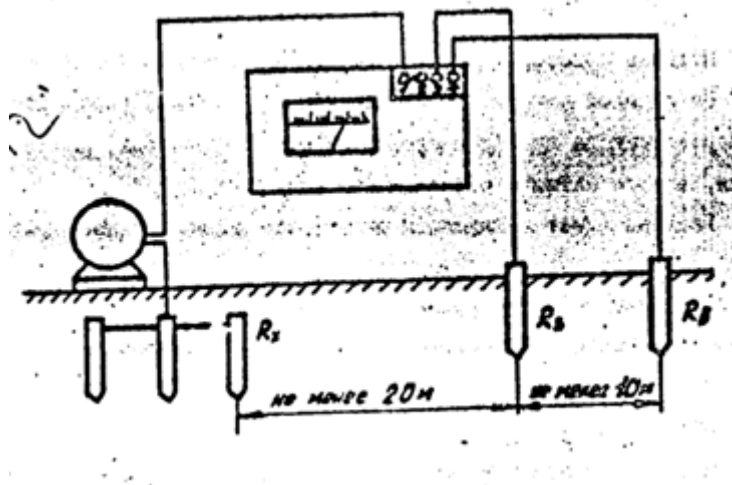
На лицевой панели прибора расположены органы управления: ручка переключателя пределов измерения, ручка реохорда, кнопка включения, четыре зажима, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4.

Реохорд имеет движущуюся шкалу, что позволяет непосредственно определять измеряемое сопротивление.

Измерение сопротивления заземления производится с применением вспомогательного заземлителя R_B , потенциального электрода – зонда R_Z , удаленных на достаточное расстояние от испытуемого заземляющего устройства R_X .

Измерение удельного сопротивления грунта производится методом контрольного электрода (с помощью вспомогательного и контрольного электродов) или методом четырех электродов.

Объектами измерения являются заземляющее устройство и исследуемые группы: глина, суглинок, песок, чернозем.



Стержни, образующие вспомогательный заземлитель и зонд, забиты в грунт на расстояниях, указанных на рис. 4.1.

Рис. 4.1.

Схема измерения сопротивления заземляющего устройства

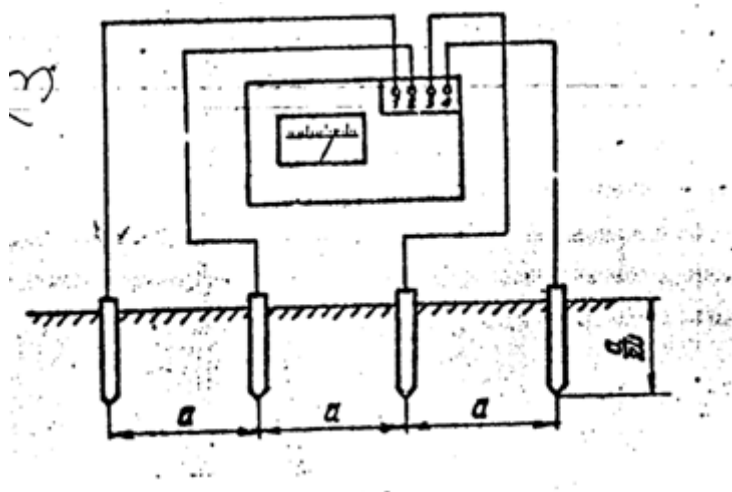


Рис. 4.2.

Схема измерения сопротивления исследуемого грунта

Для измерения удельного сопротивления в каждый из исследуемых грунтов вбиты по четыре стержня. Подключение прибора производится по схеме на рис. 4.2.

Соединительные провода от вспомогательного заземлителя, зонда и электродов выведены на панель, на которой имеются контакты для соединения с прибором.

4. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Перед началом измерений сопротивления заземляющего устройства и исследуемых грунтов:

- 1) установить прибор – измеритель сопротивления заземления М416 на ровной поверхности, открыть крышку;
- 2) ознакомиться с устройством прибора;
- 3) произвести регулировку прибора, для чего установить переключатель пределов измерений в положение «КОНТРОЛЬ 5W», нажать красную кнопку и, вращением ручки «РЕОХОРД», добиться установления стрелки индикатора на нулевую отметку; на шкале реохорда при этом должно быть показание $5 \pm 0.3 \text{ Ом}$.

Задание 1. Измерить сопротивление заземляющего устройства и удельное сопротивление исследуемого грунта, для чего:

- 1) последовательно собрать схемы измерения (рис. 3.8., 3.9.);
- 2) переключатель диапазонов измерения установить в положение «*1»;
- 3) нажать красную кнопку и, вращая ручку «РЕОХОРД», добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулю.

Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда на множитель. Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом,

переключатель установить в положение «*5», «*20» или «*100» и произвести повторный замер.

Измерение произвести 2-3 раза и найти среднее значение.

Измеренные значения сопротивления заземляющего устройства и исследуемого грунта занести в таблицу 5.1.

Рассчитать по формуле (3.3.) удельное сопротивление исследуемого грунта, используя среднее значение измеренного сопротивления грунта и результаты занести в таблицу 5.1. (расстояние между электродами принять $a = 2.5$ м).

Таблица 5.1.

Результаты измерений сопротивления заземляющего устройства и удельного сопротивления грунта

Шкала	Показания прибора, Ом		
	зазем. ус-во	глина	суглинок песок чернозем
«*1»			
«*5»			
«*20»			
«*100»			
Среднее значение			
Удельное сопротивление $\rho_{изм}$, Ом*м			

Сравнить измеренное сопротивление заземляющего устройства с предельно допустимым согласно требований ПУЭ для установок напряжением до 1000 В, ($R_{з.д.} = 4$ Ом) и сделать выводы.

Сравнить между собой полученные значения удельного сопротивления исследуемых грунтов и сделать выводы.

Задание 2. Рассчитать заземляющее устройство для установки напряжением до 1000 В по данным таблицы 5.2. (вариант — по указанию преподавателя).

Таблица 5.2.

Значения исходных данных для расчета заземляющего устройства

Вариант	Грунт	Тип заземлителя	Расположение заземлителя	Размеры заземляющего устройства	Размер соединительной полосы связи, мм	Повышающий коэффициент K_n	
Т	Т	й	й	l м	d м	a м	h м

глина уголок ряд 2.7 0.05 2.7 0.8 4'12 2.0

суглинок труба контур 2.5 0.03 2.5 0.8 4'12 2.0

песок труба ряд 2.8 0.05 2.8 0.8 4'12 1.5

чернозем труба контур 3.0 0.04 3.0 0.8 4'12 1.4

1) По таблице 5.1. взять измеренное значение удельного сопротивления заданного грунта $\Gamma_{изм.}$

2) Из выражения (3.4.) найти расчетное значение удельного сопротивления грунта $\Gamma_{расч.}$

3) По формуле (3.5.) определить сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя R .

4) Из выражения (3.8.) найти ориентировочное число электродов в групповом заземлителе n_0 .

5) По таблице П.2.3. найти коэффициент использования заземлителей h_3 .

6) Из выражения (3.9.) найти число электродов n с учетом коэффициента использования.

7) По таблице П.2.3. уточнить коэффициент использования заземлителей h_3 в соответствии с числом электродов.

- 8) По формуле (3.10.) определить сопротивление растеканию тока всех электродов в групповом заземлителе R_3 .
 - 9) По формуле (3.11.) определить сопротивление растеканию тока полосы связи R_n .
 - 10) Найти коэффициент использования полосы связи h_n (таблица П.2.4.).
 - 11) Из выражения (3.13.) найти сопротивление растеканию тока полосы связи R_n с учетом коэффициента использования.
 - 12) По формуле (3.14.) определить общее сопротивление растеканию тока заземляющего устройства $R_{з.у.}$.
 - 13) Сравнить полученное расчетное значение сопротивления заземляющего устройства с предельно-допустимым согласно требованиям ПУЭ и сделать выводы.
- Оформить отчет согласно приложению 1.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назвать цель данной работы.
2. В чем заключается принцип действия защитного заземления?
3. В каких сетях применяется защитное заземление?
4. Что называется заземляющим устройством?
5. Назвать типы заземляющих устройств.
6. Назвать типы заземлителей.
7. Каковы требования ПУЭ к сопротивлению защитного заземления?
8. Дать определение удельного сопротивления грунта. В чем оно измеряется?
9. От чего зависит величина удельного сопротивления грунта?
10. Назвать сроки проверок заземляющих устройств цеховых электроустановок.
11. Какой прибор применяется в данной работе, его принцип действия?

12. Дать схему измерения сопротивления заземляющего устройства.
13. Дать схему измерения сопротивления грунта.
14. Как определяется удельное сопротивление грунта?
15. Написать формулу для определения сопротивления растеканию тока заземления.
16. Написать формулу для определения общего сопротивления растеканию тока заземлителя
17. Какие выводы можно сделать из проделанной работы?
18. В каких сетях применяется защитное заземление?
19. Как действует защитное заземление в сетях с изолированной нейтралью?
20. Как действует защитное заземление в сетях с заземленной нейтралью?

Выводы:

Лабораторная работа №8

Измерение индуктивности методом амперметра и вольтметра.

Цель работы: изучение измерения индуктивности методом амперметра и вольтметра.

Оборудование: однофазный источник питания G1, блок генераторов напряжения A1, мультиметр A2, блок мультиметров A3, блок элементов измерительных цепей A8.

Порядок [выполнения работы](#).

1. Зарисовать электрическую схему с учетом требования ГОСТ.

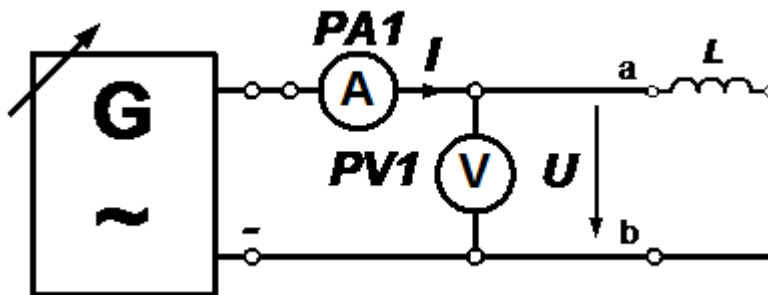


Рис.1. Схема электрическая принципиальная измерения индуктивности электрической цепи.

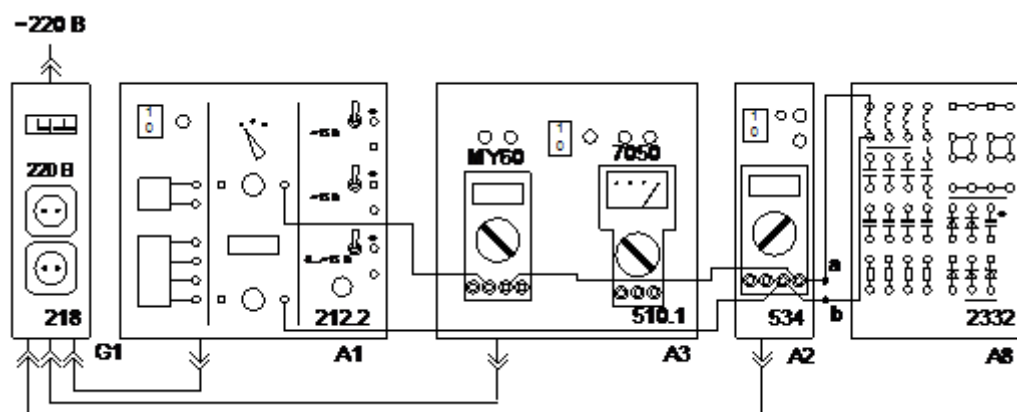


Рис. 2. Схема электрическая соединений для измерения индуктивности электрической цепи (не рисовать).

1. Рассчитать величину индуктивности.

Для данной схемы измерены напряжение U_1 и ток I_1 при частоте $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, и U_2 , I_2 при частоте $\omega_2 = 2\pi \cdot f_2$. Уравнение для определения величины индуктивности имеет вид:

$$I_1 = \frac{U}{w_1 \cdot L_1}, I_2 = \frac{U}{w_2 \cdot L_2}, \text{ откуда}$$

$$I_1 \cdot w_1 \cdot L_1 = U_1,$$

$$I_2 \cdot w_2 \cdot L_2 = U_2, \text{ следовательно}$$

$$L_1 = \frac{U_1}{I_1 \cdot W_1},$$

$$L_2 = \frac{U_2}{I_2 \cdot W_2}.$$

Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу 1.

	I1, A	U1, В	I2, A	U2, В	L1	L2
f1=200Гц, f2=250Гц	20	400	10	600		

3. Поясните сущности метода измерения индуктивностей вольтметром и амперметром.

Содержание отчета: заполненная таблица, расчет величины индуктивности, пояснение сущности метода измерения индуктивностей вольтметром и амперметром, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Что такое катушка индуктивности?
2. Каково назначение катушки индуктивности?
3. Почему действующее полное сопротивление R_d катушки может заметно превышать её сопротивление R , измеренное омметром или мостом постоянного тока?
4. Что такое добротность?

Выводы:

Лабораторная работа №9

Измерение емкости методом амперметра и вольтметра.

Цель работы: изучение измерения емкости методом амперметра и вольтметра.

Оборудование: однофазный источник питания G1, блок генераторов напряжения A1, мультиметр A2, блок мультиметров A3, блок элементов измерительных цепей A8.

Порядок выполнения работы.

1. Нарисовать электрическую схему согласно требованиям ГОСТ.

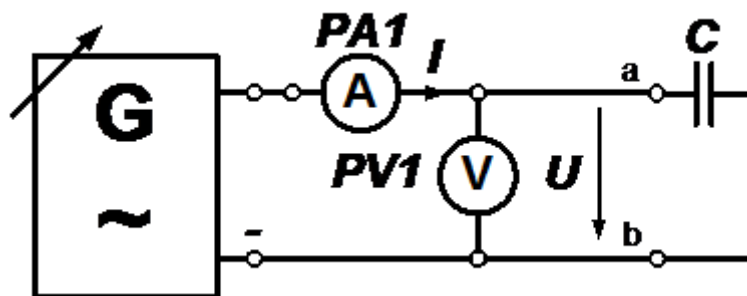


Рис.1. Схема электрическая принципиальная измерения емкости электрической цепи.

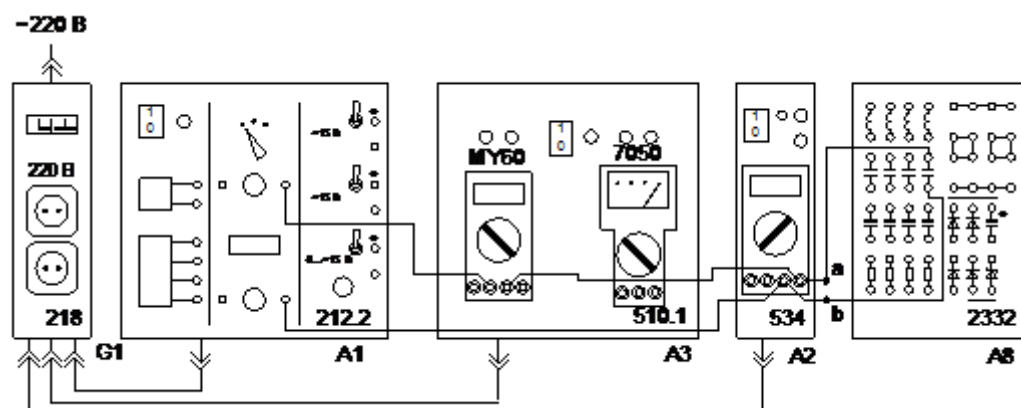


Рис. 2. Схема электрическая соединений для измерения емкости электрической цепи (рисовать не надо).

2. Рассчитать величину емкости, пользуясь известными физическими зависимостями и данными из таблицы 1.

Для данной схемы измерены напряжение U_1 и ток I_1 при частоте $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, и U_2 , I_2 при частоте $\omega_2 = 2\pi \cdot f_2$. Система уравнений для определения величин R и C имеет вид

$$R^2 + \frac{1}{\omega_1^2} \cdot \frac{1}{C^2} = Z_1^2 = \left(\frac{U_1}{I_1} \right)^2 ;$$

$$R^2 + \frac{1}{\omega_2^2} \cdot \frac{1}{C^2} = Z_2^2 = \left(\frac{U_2}{I_2} \right)^2 .$$

Вычитание второго уравнения системы из первого дает формулу расчета емкости C

$$C = \sqrt{\frac{\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}}{\left(\frac{U_1}{I_1} \right)^2 - \left(\frac{U_2}{I_2} \right)^2}} .$$

Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу 1.

	I1	U1	I2	U2	C
f1=200Гц, f2=250 Гц	20	400	10	600	

3. Поясните сущности метода измерения емкости вольтметром и амперметром.

Содержание отчета: заполненная таблица, расчет величины емкости, пояснение сущности метода измерения емкости вольтметром и амперметром, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Что такое емкость конденсатора?
2. Каково назначение конденсатора?
3. Что такое паразитная ёмкость?
4. Какова допустимая погрешность измерения ёмкостей конденсаторов?
5. Назовите причину возникновения потерь энергии в конденсаторах.
6. Какие параметры характеризуют потери в конденсаторах?
7. Из-за чего возникает необходимость поверки конденсатора?

Каким образом производят поверку конденсаторов.

Выводы:

Лабораторная работа №10

Измерение взаимной индуктивности мостом переменного тока.

Цель работы: изучение измерения взаимной индуктивности методом амперметра и вольтметра.

Оборудование: однофазный источник питания G1, блок генераторов напряжения A1, мультиметр A2, блок мультиметров A3, блок элементов измерительных цепей A8.

Порядок выполнения работы.

1. Нарисовать электрические схемы, приведенные на рис.1.1 и 1.2 согласно требованиям ГОСТ.

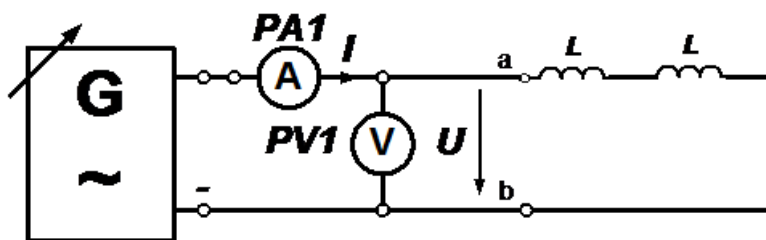


Рис.1.1. Схема электрическая принципиальная измерения индуктивности электрической цепи при последовательном согласованном соединении.

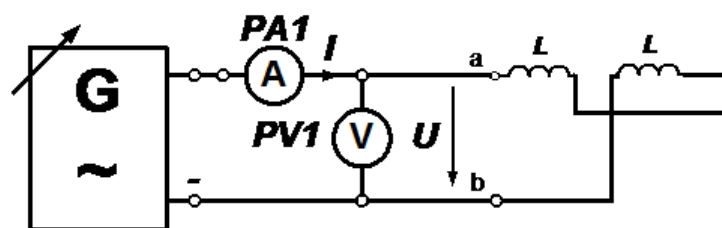


Рис.1.2. Схема электрическая принципиальная измерения индуктивности электрической цепи при последовательном встречном соединении.

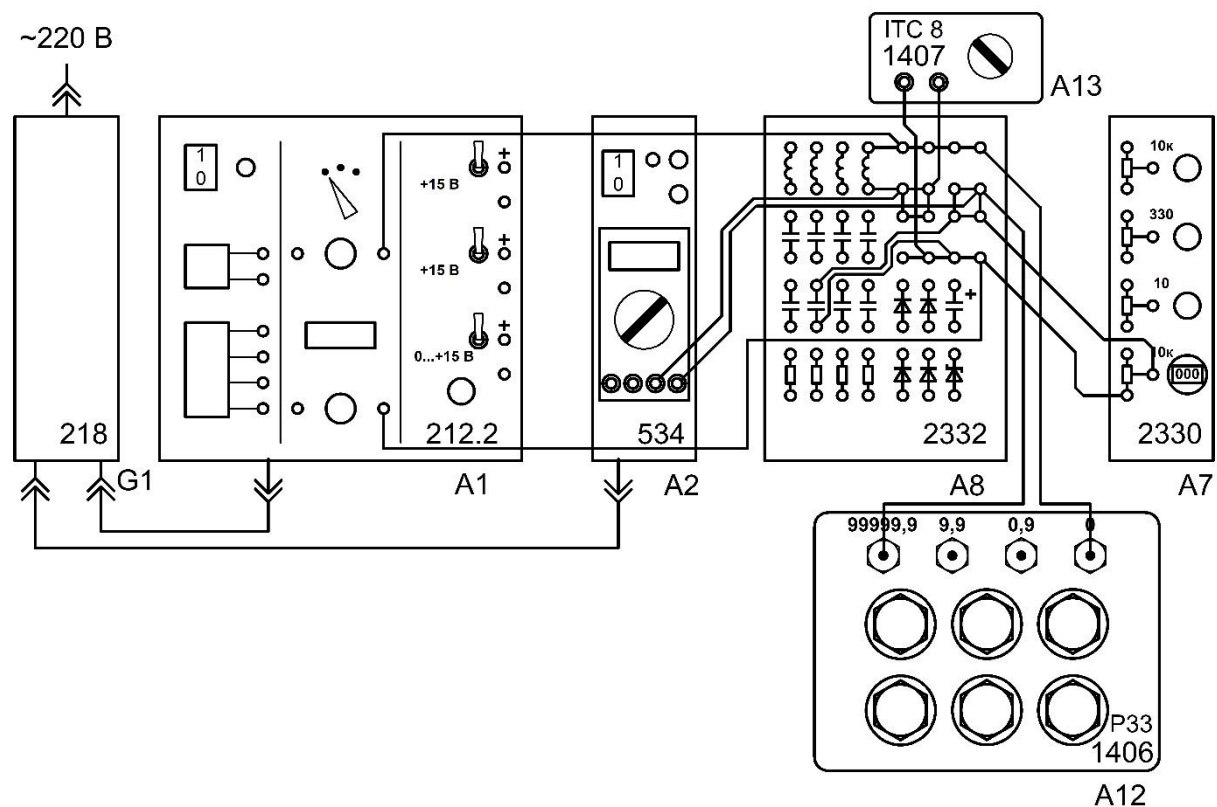


Рис. 2. Схема электрическая соединений моста для измерения взаимной индуктивности (рисовать не надо).

1. Рассчитать величину коэффициента взаимной индуктивности, пользуясь результатами измерений из таблицы 1.

Для данной схемы измерены напряжение U_1 и ток I_1 при частоте $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, и U_2 , I_2 при частоте $\omega_2 = 2\pi \cdot f_2$. Уравнение для определения величины индуктивности имеет вид:

$$I_1 = \frac{U}{w_1 \cdot L_1}, I_2 = \frac{U}{w_2 \cdot L_2}, \text{ откуда}$$

$$I_1 \cdot w_1 \cdot L_1 = U_1,$$

$$I_2 \cdot w_2 \cdot L_2 = U_2, \text{ следовательно}$$

$$L_1 = \frac{U_1}{I_1 \cdot W_1},$$

$$L_2 = \frac{U_2}{I_2 \cdot W_2},$$

По результатам измерений вычислить коэффициент взаимной индуктивности $M = \frac{L_1 - L_2}{4}$

Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу 1.

	I1, А	U1, В	I2, А	U2, В	L1, Гн	L2, Гн	М
f1=200Гц, f2=250Гц	20	400	10	600			

3. Поясните сущность метода измерения взаимной индуктивности мостом переменного тока.

Содержание отчета: заполненная таблица, расчет величины взаимной индуктивности, пояснение сущности метода измерения взаимной индуктивности мостом переменного тока, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Почему в измерительных мостах магазинного типа в качестве реактивных элементов предпочитают использовать конденсаторы?
2. Какие действия следует предпринять, чтобы произвести расширение диапазона измеряемых величин в случае использования магазинного моста для измерения индуктивностей и сопротивлений потерь?
3. Что является особенностью схемы универсального реохордного моста для измерения сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей?
4. Почему в измерительных мостах переменного тока избегают применения катушек индуктивности (если, конечно, последние не являются объектами измерений)?
5. Какие измерительные приборы применяются в измерительных мостах промышленного изготовления в качестве индикаторов нуля?
6. Назовите достоинства уравновешенных мостов переменного тока.
7. Выводы: