

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
Кафедра «Электроснабжение и эксплуатация
электрооборудования»

Методические указания к выполнению
лабораторной работы № 14
по ремонту электрооборудования
**«Измерение сопротивления обмоток постоянному току силовых транс-
форматоров напряжением 10/0,4 кВ»**

Для бакалавров электроэнергетического факультета по специальности 13.03.02
по направлению «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль подготовки «Электроснабжение»

г. Ставрополь, 2020 г.

УДК 631.31

Составители:

кандидаты технических наук, доценты кафедры
«Электроснабжение и эксплуатация
электрооборудования»
В.Г. Жданов, Е.А. Логачева

Рецензенты:

кандидат технических наук Антонов С.Н.;
кандидат технических наук Шарипов И.К.

«Измерение сопротивления обмоток постоянному току силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ»

Методические указания к выполнению лабораторной работы по ремонту электрооборудования. - Ставрополь: СГАУ, - 2020. –29с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Измерение сопротивления обмоток постоянному току силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ

Цель работы: Освоить методику измерения сопротивления обмоток постоянному току силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ. Научится работать с измерительными приборами – омметрами типов ЭС0212, микроомметрами Ф4104-М1, ММР-600. Заполнить протоколы измерений.

1. Содержание работы

Измерение сопротивление обмоток постоянному току. Измеряются, как правило, линейные сопротивления. При наличии нулевого вывода измеряют также одно из фазных сопротивлений. Измерения выполняются при установившейся температуре. В качестве температуры обмотки при измерении для масляных трансформаторов (собранных), не подвергавшихся нагреву, может быть принята установившаяся температура верхних слоев масла. Для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла – температура окружающей среды, если трансформатор находился в данных условиях в течение времени, достаточного для выравнивания температур (обычно от 3 до 20 часов в зависимости от мощности трансформатора).

Ввиду большой индуктивности обмоток большой индуктивности обмоток время установления тока при измерении значительно и измеряется иногда десятками минут. Для сокращения этого времени в цепь тока последовательно включают активное сопротивление (реостат), уменьшая тем самым постоянную времени цепи. Если измерение проводится методом амперметра – вольтметра, то время нарастания тока может быть сокращено подачей на обмотку в течение первых двух-трех секунд несколько большего напряжения (шунтированием реостата), чем при измерениях.

Измеренные сопротивления обмоток различных фаз на одноименных ответвлениях не должны отличаться от среднего значения сопротивления или от заводских данных более чем на 2 %. Кроме того, должна соблюдаться одинаковая для всех фаз и соответствующая положениям переключателя закономерность изменения сопротивления постоянному току в различных положениях переключателя. Особое внимание следует обращать на закономерность изменения сопротивления по отпайкам трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, у которых встречаются ошибки из-за неправильного сочленения валов переключателя и привода, неправильной работы привода, а также ошибочного подсоединения отпайек обмоток к переключающему устройству.

Содержание работы и порядок ее выполнения, а также ведомость дефектов заносятся в тетрадь.

2. Порядок выполнения

1. Записать паспортные данные трансформатора, провести его внешний осмотр.

2. Провести измерение сопротивления обмоток трехфазного трансформатора на всех ответвлениях.
3. Разобраться с возможным характером повреждений трансформатора..
4. Заполнить ведомость дефектов.

3 Термины и определения.

В настоящей методике используются термины и определения, принятые согласно ПУЭ изд. 7 и комплекса стандартов ГОСТ Р 50571.

3.1 *Заземлитель* - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

3.2 *Искусственный заземлитель* - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

3.3 *Естественный заземлитель* - сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемую для целей заземления.

3.4 *Заземляющий проводник* - проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

3.5 *Заземляющее устройство* - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

3.6 *Проводящая часть* - часть, которая может проводить электрический ток.

3.7 *Открытая проводящая часть* - доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

3.8 *Сторонняя проводящая часть* - проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

3.9 *Главная заземляющая шина* - шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

3.10 *Заземление* - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

3.11 *Защитное заземление* - заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

3.12 *Рабочее (функциональное) заземление* - заземление точки или точек токоведущих частей-электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

3.13 *Уравнивание потенциалов* - электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

3.14 *Защитное уравнивание потенциалов* - уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

3.15 *Защитный заземляющий проводник* - защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

3.16 *Защитный проводник уравнивания потенциалов* - защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

3.17 *Выравнивание потенциалов* - снижение разности потенциалов (шаговое напряжение) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности, и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий.

4 Характеристика измеряемой величины, нормативные значения измеряемой величины

Объектом измерений и испытаний являются:

- заземляющие проводники;
- проводники уравнивания потенциалов;

Должно быть выполнено испытание на непрерывность.

Величина переходных сопротивлений контактного соединения не должны превышать 0,05 Ом.

Рекомендуется, чтобы испытания выполнялись с использованием источника питания, имеющего напряжение холостого хода от 4 до 24 В постоянного или переменного тока при испытательном токе не менее 0,2 А.

Сечения заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1кВ должны соответствовать требованиям к защитным проводникам согласно таблице 1.

Таблица 1 - Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

Наименьшие сечения заземляющих проводников, проложенных в земле, должны соответствовать приведенным в таблице 2.

Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается.

Таблица 2 - Наименьшие размеры заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	100	4
	Угловой	-	100	4
	Трубный	32	-	3,5

Сталь оцинко- ванная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	75	3
	Трубный	25	-	2
Медь	Круглый:	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	-

* Диаметр каждой проволоки

Заземляющий проводник, присоединяющий заземлитель рабочего (функционального) заземления к главной заземляющей шине в электроустановках напряжением до 1кВ, должен иметь сечение не менее: медный - 10 мм², алюминиевый - 16 мм², стальной - 75 мм².

В качестве проводников системы уравнивания потенциалов могут быть использованы открытые и сторонние проводящие части, указанные в 1.7.121 ПУЭ 7 изд. или специально проложенные проводники или их сечения.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм² по меди или равноценному ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных - 6 мм², алюминиевых - 16 мм², стальных - 50 мм².

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

- при соединении двух открытых проводящих частей - сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;
- при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части - половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

Соединения и присоединения заземляющих проводников и проводников системы уравнивания и выравнивания потенциалов должны быть надежными и обеспечивать непрерывность электрической цепи. Соединения стальных проводников рекомендуется выполнять посредством сварки. Допускается в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред соединять заземляющие и нулевые защитные проводники другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434-82 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования» ко 2-му классу соединений.

Соединения должны быть защищены от коррозии и механических повреждений.

Для болтовых соединений должны быть предусмотрены меры против ослабления контактов.

Соединения должны быть доступны для осмотра и выполнения испытаний за исключением соединений, заполненных компаундом или герметизированных.

5 Условия испытаний

При выполнении измерений согласно техническому описанию и инструкции по эксплуатации Омметра ЭС 0212 и Ф4104-М1, соблюдают следующие условия:

- измерения производятся в светлое время суток, при естественном или искусственном освещении, при температуре от минус 30 до 40°С, и относительной влажности воздуха до 90% (при температуре 30°С). Внешние магнитные поля, кроме поля земного магнетизма, должны отсутствовать;

- при проведении измерений прибора должны быть установлены в горизонтальном положении;

- схема цепи заземления на период проверки должна быть полностью смонтирована, укомплектована всеми элементами согласно проекту;

- места подключения измерительных проводников до и после контактного соединения должны быть зачищены напильником до металлического блеска.

- измерения проводят в светлое время суток (при измерениях вне помещений);

- производить измерения на заземляющих устройствах во время грозы, дождя, мокрого тумана и снега, а также в темное время суток запрещается.

6 Метод измерений

6.1 Измерения активного сопротивления зануляющих (заземляющих) защитных проводников выполняют методом прямых измерений.

6.2 Прочность контактных сварок и сварных соединений определяется ударом молотка массой не более 1 кг.

6.3 Сечение заземляющих (зануляющих) проводников проверяют, измеряя их геометрические размеры с помощью штангенциркуля.

6.4 Измерение сопротивления переходных контактов сети заземления производится Омметром ЭС 0212 или Ф4104-М1.

6.5 За величину измеренного активного сопротивления принимают показания стрелочного указателя.

6.6 Измерения непрерывности и активного сопротивления защитных проводников и проводников выравнивания потенциала выполняют с помощью прибора МПС-2500 в режиме низковольтного измерения сопротивления.

6.7 Прочность контактных сварок и сварных соединений определяется ударом молотка массой не более 1 кг.

6.8 Сечение защитных проводников и проводников выравнивания потенциала проверяют, измеряя их геометрические размеры с помощью штангенциркуля.

6.9 Измерение сопротивления переходных контактов сети заземления производится микроомметром ММР-610 с использованием 4 х проводной схемы подключения.

7 Требования к средствам испытаний, вспомогательным устройствам

При выполнении измерений применяются средства измерения и другие технические средства, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 - Приборы, средства измерений

Порядковый номер и наименование средств измерения (СИ), испытательного оборудования (ИО), вспомогательных устройств	Обозначение стандарта, ТУ и типа СИ, ИО	Заводской номер	Метрологические характеристики: (кл. точности, пределы погрешностей, пределы измерений)	Наименование измеряемой величины
Омметр	ЭС 0212	№ _____	Диапазон 0,05-20 Ом Класс точности 1,5	Сопротивление контактов
Микроомметр	Ф4104-М1	№ _____	Диапазон 0-0,0001 Ом Класс точности 4 Диапазон 0-0,001 Ом Диапазон 0-0,01 Ом Диапазон 0-0,1 Ом Диапазон 0-1 Ом Класс точности 2,5	Сопротивление контактов
Микроомметр	MMR-600	№320814	Приведены таблице 5	Переходное сопротивление контактов
Измеритель сопротивления	МІС-2500	№245613	Приведены таблице 4	Непрерывность защитных проводников и проводников уравнивания потенциалов
Провода соединительные	Длина 10 м		R=0,035 Ом	
Провода соединительные	Длина 25 м, 50 м, сечение 1,5 мм ²			
Напильник				
Штангенциркуль	ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ166-80	E796244	Точность измерения 0,1 мм Пределы измерений 0-250 мм	Размеры проводников
Молоток			Масса 1 кг	Прочность сварных соединений

7.2 Описание прибора МІС-2500 и работа на нем.

Органы управления прибором расположены на лицевой панели (рисунок 1)

1 Измерительный провод U R. Выход преобразователя высокого напряжения для измерений сопротивления изоляции (функция RISO/IL). Измерительный вход для измерений напряжений постоянного и переменного тока, а также для измерений сопротивления при низком напряжении.

2 Измерительный провод СОМ Для любых измерений.

4 Гнездо замера E. Гнездо для подключения дополнительного провода при осуществлении измерений сопротивления изоляции методом тройного зажима.

15 Гнездо для подключения внешнего устройства питания зарядки аккумуляторов.

16 Светодиод LED сигнализирует подключение к сети устройства питания зарядки аккумуляторов.

5 Клавиша Включение и отключение питания прибора.

6 Клавиша START Для функции замера R_{ISO}/I_L :

- включение напряжения измерений, запуск измерений сопротивления изоляции и начало отсчета времени;

- после повторного нажатия клавиши до окончания измерений, если процесс измерений был запущен при помощи клавиши 11 (см. п. 3.6.1) – происходит отключение преобразователя высокого напряжения и разрядка емкости измеряемого объекта.

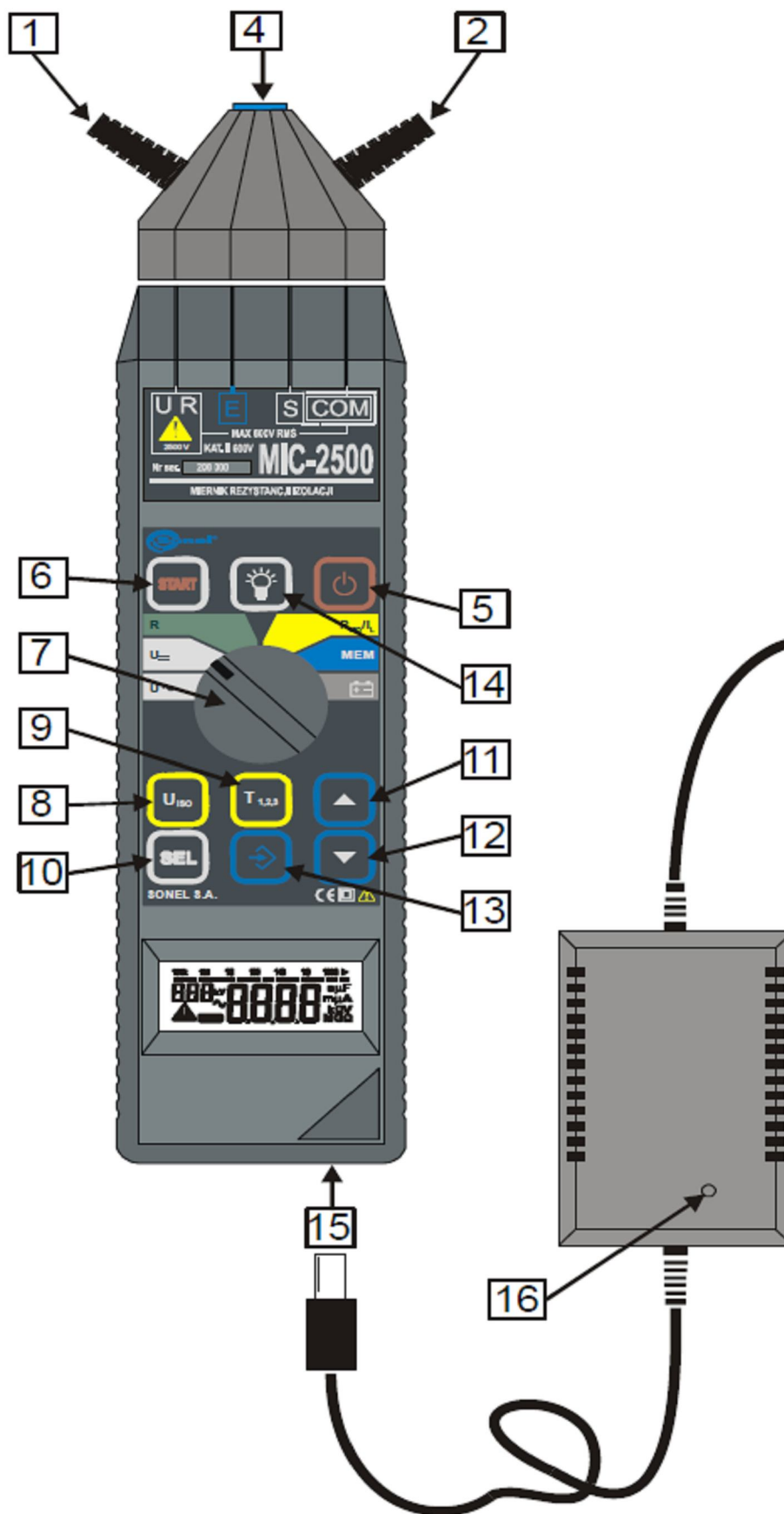


Рисунок 1 – Передняя панель прибора MIC-2500

7 Поворотный переключатель функций.
 Выбор функций:

- U_{\sim} – измерение напряжения переменного тока;
- $U_{=}$ – измерение напряжения постоянного тока;
- R – измерение сопротивления при низком напряжении;
- R_{ISO}/I_L – измерение сопротивления изоляции (или тока утечки);
- MEM – просмотр содержимого памяти;
- измерение степени зарядки аккумуляторов.

8 Клавиша U_{ISO} выбор одного из четырех (пяти - для MIC-2500) заданных значений напряжения измерения.

9 Клавиша $T_{1,2,3}$:

- выбор и подтверждение времени T_1 , T_2 и T_3 ;
- ввод задания для прибора и ввод в память маркера, разделяющего результаты измерений кабелей.

10 Клавиша SEL.

Для функции измерений R_{ISO}/I_L :

- отображение тока утечки во время измерений сопротивления изоляции;
- отображение результатов измерений сопротивления, коэффициентов абсорбции и поляризации, последнего заданного напряжения измерений в порядке: $RT_3 \rightarrow RT_2 \rightarrow RT_1 \rightarrow Ab_1 \rightarrow Ab_2 \rightarrow U_{ISO} \rightarrow RT_3 \dots$ и т.д.

Для функции MEM:

- высвечивание результатов измерений сопротивления, коэффициентов абсорбции и поляризации, напряжения замеров в вышеуказанном порядке.

11 Клавиша (увеличить).

12 Клавиша (уменьшить).

Смена напряжения после выбора заданного значения клавишей U_{ISO} .

Установка значений времени T_1 , T_2 и T_3 с помощью клавиши $T_{1,2,3}$.

Смена номера ячейки во время ввода записи в память и просмотра содержимого памяти.

Непрерывная смена задаваемого значения путем удержания клавиши.

13 Клавиша (ввод в память).

После окончания измерений:

- запуск режима ввода данных в память;
- в режиме ввода данных в память – ввод результатов измерений в данную ячейку; В функции MEM после выбора ячейки с № 000: Обнуление содержимого памяти после двукратного нажатия клавиши.

14 Клавиша (подсветка). Включение и выключение подсветки дисплея.

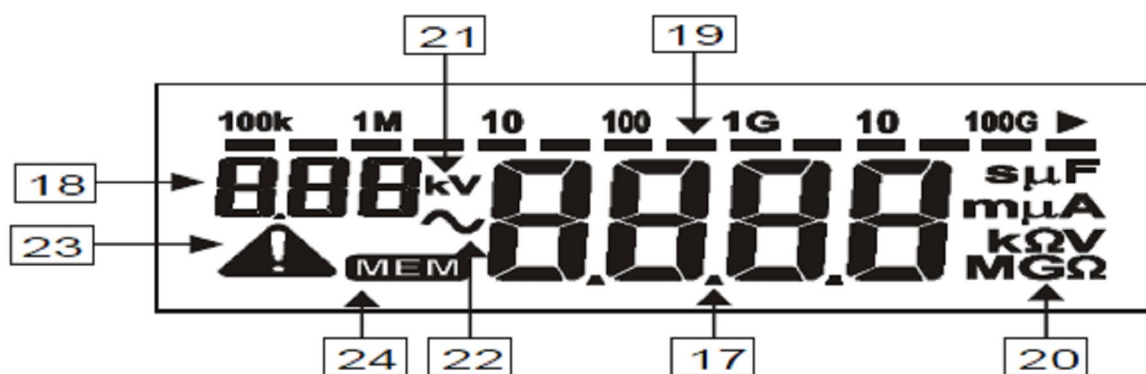


Рисунок 2 – Жидкокристаллический дисплей прибора MIC-2500

- 17 Главное поле считывания результатов измерений;
 18 Вспомогательное поле считывания;
 19 Барограф с нанесенной шкалой единиц сопротивления;
 20 Единицы измерения отображённых значений:
 - s - время (секунды);
 - mA, μ A, nA - ток (миллиамперы, микроамперы, наноамперы);
 - V - напряжение (вольты);
 - Ω , k Ω , M Ω , G Ω - сопротивление (омы, килоомы, мегаомы, гигаомы)
 1000 кОм = 1 МОм 1000 МОм = 1 ГОм 1000 ГОм = 1 ТОм.
 21 kV -единица измерения напряжения (киловольты).
 22 Символ информирует о том, что измеряется напряжение переменного тока.
 23 Символ сигнализирует наличие на концах измерительных проводов прибора опасного напряжения измерений.
 24 Символ информирует о том, что прибор находится в режиме просмотра памяти или ввода данных в память.



Рисунок 3 – Символы, отображаемые на дисплее прибора MIC-2500

- 25 Ввод данных в память.
- 26 Нет данных в текущей ячейке памяти.
- 27 Можно обнулить память.
- 28 Включен режим передачи данных с помощью последовательного порта RS-232.
- 29 Превышен диапазон (второй из символов при высвечивании тока утечки).
- 30 Наличие напряжения постоянного или переменного тока, превышающего 50В, в измеряемом объекте при заданной функции измерений RISO/IL, наличие напряжения постоянного или переменного тока, превышающего 2В при заданной функции измерений R.
- 31 Зарядка аккумуляторов.
- 32 Окончание зарядки аккумуляторов.
- 33 Само тестирование прибора после подключения питания.
- 34 Переключатель функции в позиции необслуживания, а также не заданного значения временного отрезка или отсутствия рассчитанного коэффициента абсорбции.
- 35 Функция автоматического отключения выключена.
- 36 Слишком большой ток утечки (слишком мало сопротивление изоляции или произошел пробой изоляции во время измерений).
- 37 Аккумуляторы разряжены, допустимо лишь измерение напряжения без гарантии точности измерений.
- 38 Установка пользователем напряжений измерений преобразователя, отличных от заданных.
- 39 Временной отрезок T1, T2 или T3.
- 40 Сопротивление изоляции, измеренное за время T1, T2 или T3.
- 41 Коэффициент абсорбции Ab1 (R2/R1) или поляризации Ab2 (R3/R2).
- 42 Наличие в измеряемом объекте напряжения переменного тока в диапазоне от 20 В до 50 В при заданной функции измерений R_{ISO}/I_L.

7.3 Описание прибора MMR-610 и работа на нем.

Органы управления прибором расположены на лицевой панели (рисунок 4).

- 1 - измерительное гнездо I1. Гнездо для подсоединения токового провода.
- 2 - измерительное гнездо I2. Гнездо для подсоединения токового провода.
- 3 - измерительное гнездо U1. Гнездо для подсоединения провода напряжения.
- 4 - измерительное гнездо U2. Гнездо для подсоединения провода напряжения.
- 5 - гнездо интерфейса RS-232C. Гнездо для подсоединения провода для последовательной передачи данных в компьютер (RS-232C).
- 18 Сетевое гнездо. Гнездо сетевого питания для зарядного устройства аккумуляторов.

6 Включение и выключение питания измерителя.

7 Круговой переключатель функций. В режиме автоматического выбора диапазонов (Auto Ranging) выбор максимального измерительного тока: 0,1 мА; 1 мА; 10 мА; 0,1 А; 1 А; 10 А

В режиме ручного выбора диапазонов: выбор измерительного тока: 0,1 мА; 1 мА; 10 мА; 0,1 А; 1 А; 10 А

8 Запуск измерения сопротивления.

9 Группа маркеров, действующая после долгого нажатия клавиши:

- выбор опций в перпендикуляре, замена номера банка;
- выбор опций по горизонтали, замена номера ячейки.

10 Утверждение избранной опции. После окончания измерения:

- запуск режима введения в память;
- запись результата измерения в избранную ячейку - в режиме введения в па-

мять.

11 Выбор дополнительных функций:

- установка контрастности дисплея;
- запуск режима передачи данных;
- выбор измерительного режима;
- выбор способа отображения результата;
- выбор способа замены измерительных диапазонов;
- конфигурация окна диапазона изменения результата;
- ручная калибровка;
- переход к заводским установкам;
- выбор языка;
- переход к заводской калибровке;
- управление с РС компьютера;
- обновление программы;
- информация о Производителе и программе.

12 Выход из опций. Возврат к предыдущему экрану.

13 Включение и выключение подсветки графического дисплея.

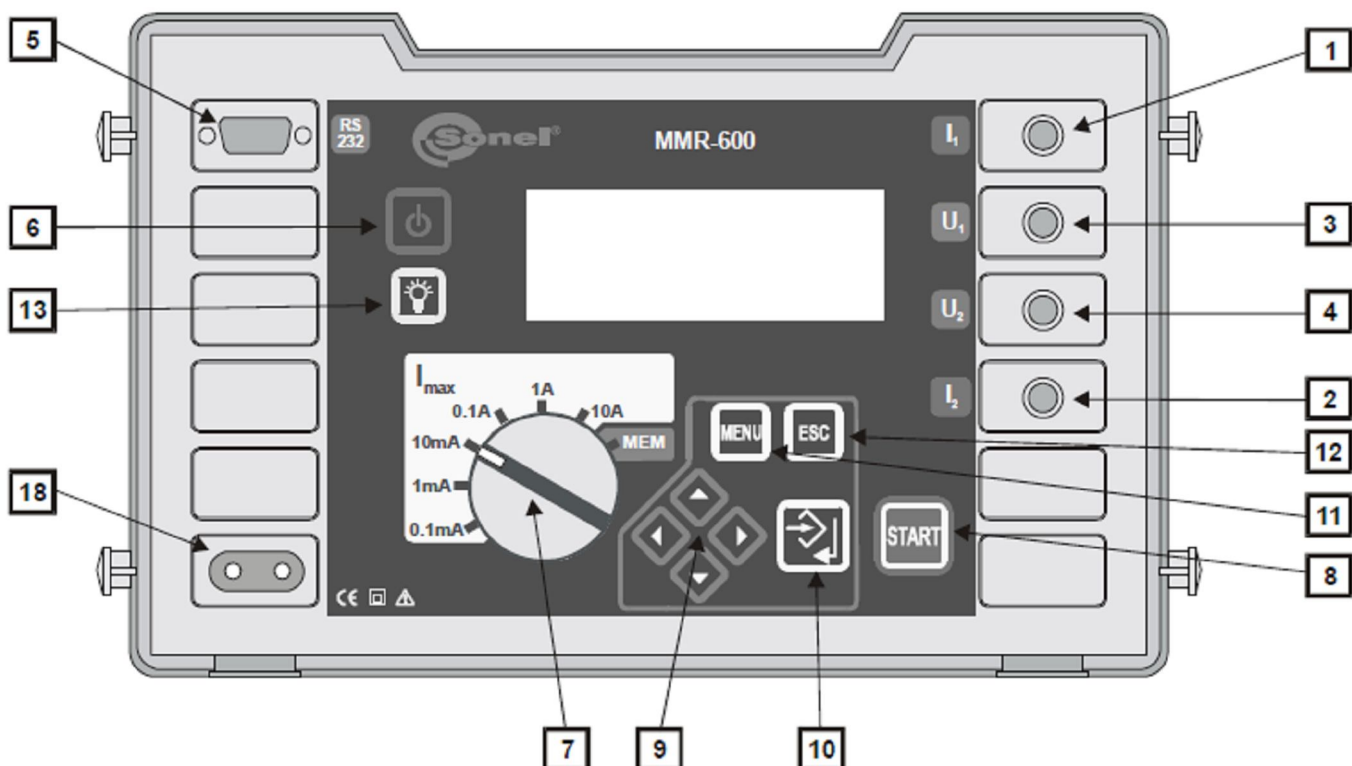


Рисунок 4 – Передняя панель прибора MMR-610



Рисунок 5 - Вид экрана после включения измерителя (тип индуктивного объекта с нормальным временем измерения, ручное введение в память). Способ отображения: а) все результаты; б) только главный результат



Рисунок 6 - Вид экрана после включения измерителя (объект активного сопротивления, автоматическое введение в память). Способ отображения: а) все результаты; б) только главный результат

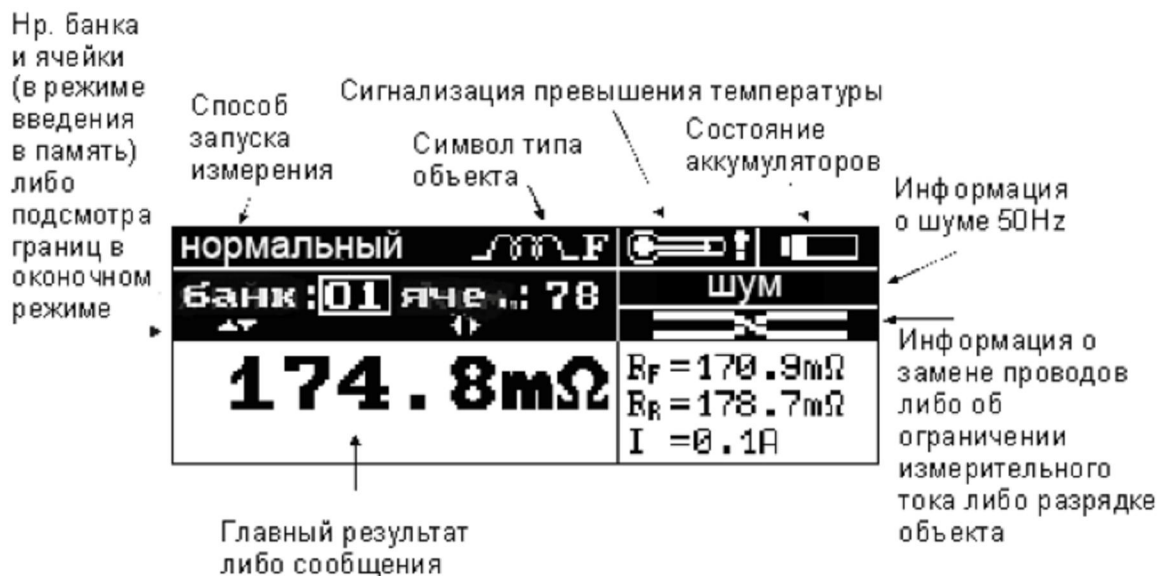


Рисунок 7 – Вид экрана (все результаты)



Рисунок 8 - Вид экрана (только главный результат)

8 Требования к погрешности измерений и приписанные характеристики погрешности измерений

- 8.1 Погрешность измерения определяется классом применяемых приборов.
- 8.2 Пределы допускаемых значений погрешности омметра ЭС 0212, согласно паспорту, в диапазоне измерений равны $\pm 1,5\%$.
- 8.3 Пределы допускаемых значений погрешности омметра Ф4104-М1, согласно паспорту, в диапазоне измерений равны $\pm 2,5\%$.
- 8.4 Погрешность измерения определяется классом применяемых приборов.
- 8.5 Пределы допускаемых значений погрешности прибора MIC-2500:

Таблица 4 - Погрешности измерений прибора MIC-2500

Диапазон	Разрешение	Погрешность основная
----------	------------	----------------------

0,0...99,9 Ом	0,1 Ом	$\pm (2\% R + 3 \text{ е.м.р.})$
100,0...399,9 Ом	0,1 Ом	$\pm (4\% R + 3 \text{ е.м.р.})$

звуковой сигнал при сопротивлениях меньше чем - 35 Ом \pm 25 Ом
максимальное напряжение при разомкнутых зажимах – 9,6 В
максимальный ток при замкнутых зажимах – 200 мА

8.6 Пределы допускаемых значений погрешности прибора MMR-600:

Таблица 5 – Погрешности измерений прибора MMR-610

Диапазон	Разрешение	Абсолютная погрешность	Напряжение для диапазона	Рабочий ток
0...1,9999 мОм	0,1 мкОм	$\pm (0,25 \% R + 0,4 \text{ мкОм})$	20 мВ	10 А
2,000...19,999 мОм	1 мкОм	$\pm (0,25 \% R + 2 \text{ мкОм})$	20 мВ	1 А
20,00...199,99 мОм	10 мкОм	$\pm (0,25 \% R + 20 \text{ мкОм})$	20 мВ	0,1 А
0,2000...1,9999 Ом	0,1 мОм	$\pm (0,25\% R + 0,2 \text{ мОм})$	20 мВ	10 мА
2,000...19,999 Ом	1 мОм	$\pm (0,25 \% R + 2 \text{ мОм})$	20 мВ	1 мА
20,00...199,99 Ом	10 мОм	$\pm (0,25 \% R + 20 \text{ мОм})$	20 мВ	0,1 мА

Изложенные в таблице погрешности касаются измерения двунаправленным током и принадлежат к среднему значению двух измерений согласно формуле:

$$R = (R_F + R_R) / 2,$$

где R_F – активное сопротивление при установленном направлении тока „вперед”, а R_R – активное сопротивление при установленном направлении тока „назад”.

9 Подготовка к выполнению испытаний

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

9.1 Подготовить рабочее место в соответствии с требованиями МПОТ (ТБ).

9.2 Убедиться в отсутствии напряжения на корпусе электроустановки с помощью указателя напряжения.

9.3 Места соединения прибора с заземляющей проводкой и с заземленным объектом зачистить напильником до металлического блеска.

9.4 Измерение сопротивления переходных контактов сети заземления производится и омметром ЭС 0212 или микроомметром Ф4104-М1.

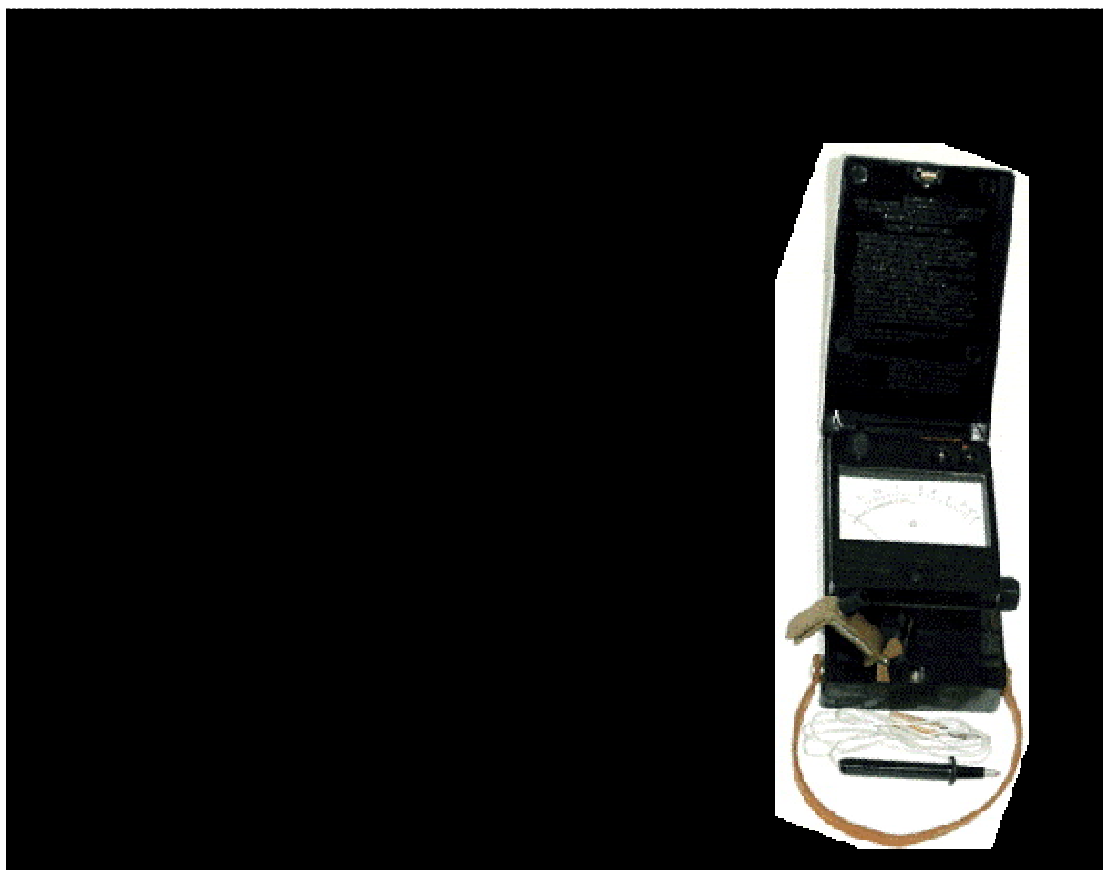


Рисунок 1.1 – Омметр ЭС 0212



Рисунок 1.2-Микроомметр Ф4104-М1

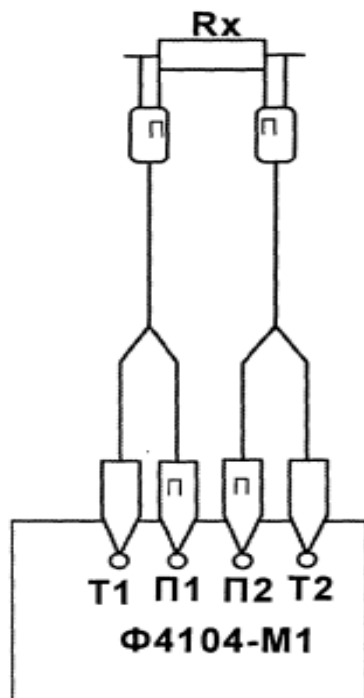


Рисунок 1 – Схема измерения сопротивления с исключением влияния соединительных проводов

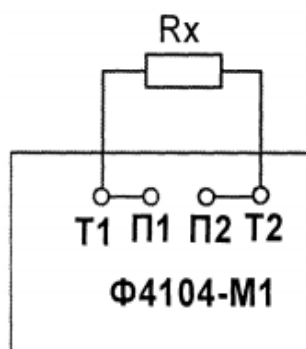


Рисунок 2 – Схема измерения сопротивления без исключения влияния соединительных проводов

При подготовке к выполнению измерений приборами МІС-2500, ММР-610 проводят следующие работы:

9.5 При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

Перед началом измерений необходимо:

- убедиться в том, что состояние элементов питания обеспечит выполнение измерений (согласно руководству по эксплуатации);
- проверить, нет ли повреждений изоляции измерительных проводов;
- проверить возможность подключения измерительных щупов к измерительным проводам.

9.6 При измерениях прибор следует располагать в непосредственной близости от измеряемого проводника, т.к. при этом на результате измерения меньше сказывается сопротивление проводов, соединяющих R_x (R_E) с зажимами (рисунок 4, рисунок 1).

9.7 Соединить прибор МІС-2500 как показано на рисунке 9.

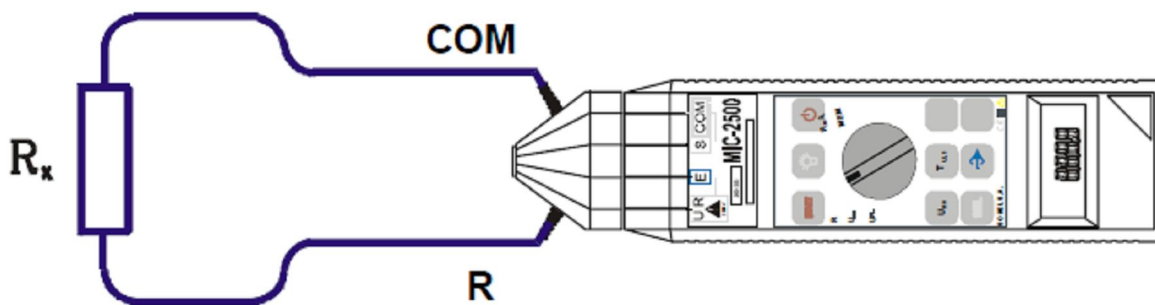


Рисунок 9 – Схема соединения при проверке защитных проводников и проводников уравнивания потенциалов

9.8 Соединить прибор MMR-610 для измерения переходных контактов как показано на рисунке 10.

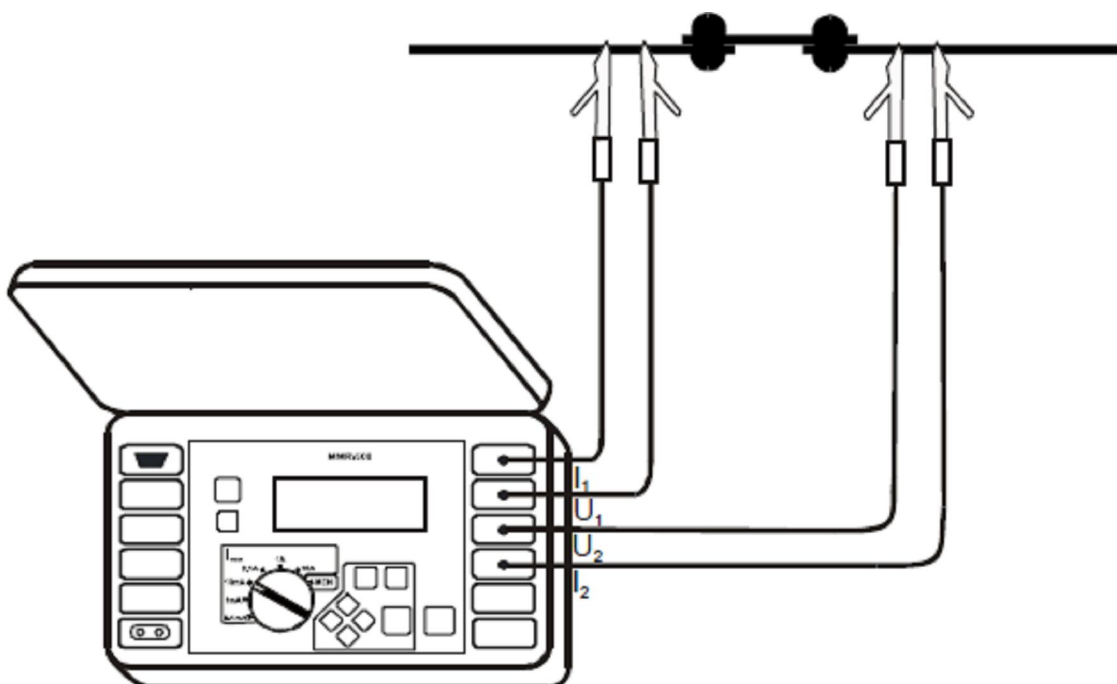


Рисунок 9 – Схема соединения при измерении переходного сопротивления контактов

10 Последовательность и порядок выполнения измерения приборами

При выполнении измерений выполняют следующие операции:

10.1 Проверить надежность сварки и болтовых соединений в местах соединений заземляющих и защитных заземляющих проводников, места и надежность присоединения защитных заземляющих проводников к аппаратам, проходы через монтажные перекрытия и стены. Качество контактных сварок и сварных соединений определяется ударом молотка массой не более 1 кг. Молоток (кувалда) должен быть надежно закреплен на ручке и осмотрен перед применением.

10.2 Проверить соответствие сечений зануляющих и защитных заземляющих проводников требованиям ПУЭ и проектным данным. Сечение заземляющих проводников проверяют, измеряя их геометрические размеры с помощью штангенциркуля.

10.3 Измерение переходных сопротивлений выполняется омметром ЭС 0212.

10.4 Измерение переходных сопротивлений омметра ЭС 0212:

- зачистить напильником до металлического блеска места присоединения измерительных проводов прибора с обеих сторон контакта соединения заземляющих или защитных заземляющих проводников, корпуса оборудования, сторонние проводящие части;

- подключить прибор к магистрали заземления и корпусу испытуемого оборудования следующим образом:

- один провод (более длинный и со струбциной на конце) от прибора присоединяется непосредственно к магистрали заземления;

- другой (со щупом) – к корпусу электрооборудования, таким образом создается цепь тока корпус – прибор – соединительный провод-магистраль заземления-заземляющий проводник – корпус.

10.5 Измерение переходных сопротивлений микроомметром Ф4104-М1:

- зачистить напильником до металлического блеска места присоединения измерительных проводов прибора с обеих сторон контакта соединения заземляющих или защитных заземляющих проводников, корпуса оборудования, сторонние проводящие части.

- подключить прибор согласно схеме на рисунках 1 или 2;

- специальные пружинные зажимы закрепить на ранее зачищенные места;

- установить переключатель « $m\Omega$ - $M\Omega$ » в положение 0-1 или 0-10 или 0-100 мОм;

- установить переключатель ОТКЛ, КЛБ, ПИ в положение КЛБ;

- нажать кнопку УСТ 0 и ручкой УСТ 0 установить стрелку на нулевую отметку шкалы, отпустить кнопку. Допускается отклонение стрелки от нулевой отметки в пределах основной погрешности при отпускании кнопки УСТ 0;

- нажать кнопку ИЗМ и ручкой КЛБ установить стрелку на конечную отметку шкалы. Калибровку микроомметра можно проводить при закороченных зажимах Т1, Т2 или подключенном измеряемом сопротивлении.

Если величина измеряемого сопротивления значительно превышает верхний предел выбранного диапазона измерений, то микроомметр калиброваться не будет.

- на диапазонах измерений « $m\Omega$ », « Ω » для фиксации результатов используется запоминающее устройство. Поэтому при проведения измерения или калибровки кнопку ИЗМ, после ее нажатия, удерживать не следует. Для возвращения стрелки микроомметра на нулевую отметку шкалы, перед проведением измерения или калибровки, необходимо нажать кнопку УСТ 0;

- установить переключатель ОТКЛ, КЛБ, ПИ в одно из положений «0,1», «1», «10» соответствующее выбранному пределу измерений и, при необходимости, установить нуль при нажатой кнопке УСТ 0;

- нажать кнопку ИЗМ и провести отсчет. Если переключатель « $m\Omega$ - $M\Omega$ », находится в положении « $m\Omega$ » или « Ω », интервал между измерениями – не менее 20 секунд, при отрицательной температуре окружающего воздуха – не менее 50 секунд.

- при переходе на другой диапазон измерения установку нуля и калибровку;

- после проведения измерений переключатель ОТКЛ, КЛБ, ПИ установить в положение ОТКЛ.

При выполнении измерений выполняют следующие операции:

10.4 Проверить надежность сварки и болтовых соединений в местах соедине-

ний заземляющих и защитных заземляющих проводников, места и надежность присоединения защитных заземляющих проводников к аппаратам, проходы через монтажные перекрытия и стены. Качество контактных сварок и сварных соединений определяется ударом молотка массой не более 1 кг. Молоток должен быть надежно закреплен на ручке и осмотрен перед применением.

10.5 Проверить соответствие сечений зануляющих и защитных заземляющих проводников требованиям ПУЭ и проектным данным. Сечение заземляющих проводников проверяют, измеряя их геометрические размеры с помощью штангенциркуля.

10.6 Измерение переходных сопротивлений выполняется прибором MIC-2500. Для этого необходимо установить поворотный переключатель 7 (рисунок 1) в положение - R – измерение сопротивления при низком напряжении; нажать на кнопку START.

10.7 Падение напряжения на измеряемом сопротивлении не превышает 11 В. Измерительный ток имеет величину до 200 мА, позволяет проверить целостность электрических контуров. Если значение измеряемого сопротивления R_x не превышает 10 Ом, прибор издает непрерывный звуковой сигнал (функция тестирования короткого замыкания). Наличие на зажимах прибора напряжения, идущего от измеряемого объекта, не позволяет осуществлять измерения, о чем сигнализирует свечение надписи 30 (рисунок 4)

10.8 Измерение переходных сопротивлений прибором MRU-610:

- зачистить от окислов и краски места присоединения измерительных проводов прибора с обеих сторон контакта соединения заземляющих или защитных проводников, проводников уравнивания потенциала, корпуса оборудования, сторонние проводящие части.

Подключить прибор к исследуемому соединению согласно рисунку 9.

Произвести настройку параметров измерения.

Для получения возможности выбора измерительного режима необходимо:

- в Меню выбрать позицию «Режим измерения»;
- нажать клавишу 10 (рисунок 5);
- появится окно, в котором можно установить следующие параметры:
 - тип объекта: активное сопротивление или, индуктивное – с нормальным временем измерения для данного типа, либо индуктивное – с сокращенным временем измерения;
 - протекание тока: однонаправленное либо двунаправленное;
 - срабатывание: нормальное, автоматическое либо непрерывное;
 - выбор диапазона: автоматический или ручной;
 - введение в память: автоматическое или ручное.

Для установки параметра необходимо:

- выбрать данный параметр клавишами и;
- нажать клавишу 10;
- в следующем окне выбрать заданный параметр;
- нажать клавишу 10; произойдет возврат к главному окну, а выбранный параметр будет отображен возле параметра;
- возврат к главному МЕНЮ наступит после нажатия клавиши 12.

10.5.1 Выбор диапазона измерения и ограничение максимального измеритель-

ного тока. В приборе MMR-610 с целью измерения активного сопротивления объекта используются измерительные токи в диапазоне от 0,1 мА до 10 А. Диапазон измерения и измерительный ток можно выбирать автоматически или вручную.

Стандартно измеритель работает с автоматическим выбором измерительного диапазона. В данном режиме круговой переключатель функций 7 является ограничителем максимального измерительного тока, протекающего через измеряемый объект.

Внимание: Если значение измеряемого активного сопротивления находится на границе поддиапазонов, может быть так, что значение, измеренное при токе в одном направлении, находится в низшем поддиапазоне (активного сопротивления), а значение, измеренное при токе в другом направлении, находится в поддиапазоне высшем. В данном случае главный результат отображается с разрешением, соответствующим высшему поддиапазону (активного сопротивления), и в виде измерительного тока отображается значение, соответствующее данному поддиапазону.

Выбор измерительного диапазона вручную употребляется во время измерений активного сопротивления объектов индуктивного характера.

Ручной выбор способствует сокращению времени проведения данных измерений. В данном режиме установка кругового переключателя 7 определяет выбранный измерительный ток.

Внимание: Выбор измерительного диапазона вручную возможен только при выбранном индуктивном типе объекта. Сигнализируется надписью: Выключен автоматический выбор диапазона

Для того чтобы перейти в измерительный режим, следует нажать клавишу 10.

Внимание: При ручном выборе измерительного диапазона отображение надписи: „Нестабильны условия работы!“ может обозначать выбор слишком большого измерительного тока. О той же ситуации сообщает отображаемый символ „OFL“.

Во время измерения объектов активного сопротивления измеритель всегда работает с автоматическим выбором диапазона.

Для выбора способа изменения диапазонов, следует:

- нажать клавишу 11 МЕНЮ;
- выбрать позицию «Режим измерения» и нажать клавишу 10;
- выбрать позицию «Выбор диапазона» и нажать клавишу 10;
- клавишами и выбрать нужный способ: ручной либо автоматический;
- подтвердить клавишей 10.

10.5.2 Режимы срабатывания измерения

Прибор MMR-610 оборудован 3 режимами срабатывания измерения: нормальный, автоматический и непрерывный. Для выбора одного из них, следует:

- нажать клавишу 11 МЕНЮ;
- выбрать позицию «Режим измерения» и нажать клавишу 10;
- выбрать и подтвердить нужный режим клавишей 10.

Внимание: В измерении объектов индуктивного типа неактивен автоматический режим срабатывания измерения.

10.5.3 Измерение в нормальном режиме срабатывания

В нормальном режиме проводится одно измерение активного сопротивления. Для проведения измерения следует:

- в МЕНЮ выбрать срабатывание измерения «нормальное»;
- круговым переключателем 7 выбрать максимальный измерительный ток;
- нажать клавишу 8 START.

10.5.4 Измерение в автоматическом режиме срабатывания. В автоматическом режиме прибор ожидает подключения всех четырех измерительных проводов к объекту, затем автоматически запускает измерение. Для проведения измерения следует:

- в МЕНЮ выбрать расцепление измерения «автоматический»;
- круговым переключателем 7 выбрать максимальный измерительный ток;
- отсоединить измерительные провода (зонды) и подсоединить их обратно с целью проведения следующего измерения (достаточно отсоединить и подсоединить один из проводов).

10.5.5 Измерение в непрерывном режиме срабатывания для выбранного объекта типа активного сопротивления. В непрерывном режиме для объектов активного сопротивления измеритель проводит последовательные измерительные циклы: измерение активного сопротивления и отображение результата в течении 3 секунд.

Для проведения измерения следует:

- в МЕНЮ выбрать объект типа активного сопротивления и расцепление измерения «непрерывное»;
- круговым переключателем 7 выбрать максимальный измерительный ток;
- подключить измерительные провода согласно рисунок 7;
- нажать клавишу 8 START;
- повторно нажать клавишу 8 START либо отсоединить измерительные провода с целью прекращения измерения.

11 Обработка и вычисление результатов испытаний

11.1 При наличии металlosвязи между заземленными элементами и заземлителем сопротивление переходных контактов не должно превышать 0,05 Ом.

11.2 В случае неудовлетворительного состояния переходных контактов или обрыва сети заземления прибор покажет величину, значительно превышающую нормированное значение.

11.3 При измерении омметром используется схема с исключением влияния соединительных проводов:

$$R = R_{\text{пр}} - R_{\text{сп}},$$

где R - переходное сопротивление контактов;

$R_{\text{пр}}$ - показания омметра, Ом;

$R_{\text{сп}}$ - сопротивление соединительных проводов, Ом.

11.4 Значение переходных сопротивлений контактов с учетом погрешности прибора определяется по формуле

$$R = R_u + \left(R_u * \frac{\delta_u}{100} \right),$$

где R_u - показания прибора, Ом;

δ_u - относительная погрешность измерения, %.

11.5 При измерении микроомметром используется также схема с исключением влияния соединительных проводов.

Приборы МІС-2500, ММR-610

11.6 Значение переходных сопротивлений контактов с учетом погрешности прибора определяется по формуле

$$R = R_u + (R_u * \frac{\delta_u}{100})$$

где R_u - показания прибора, Ом;

δ_u - относительная погрешность измерения, %. (см. таблицы 4 и таблицы 5)

МЕТОДИКА И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ МИКРООММЕТРА Ф4104-М1 В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ

1 Настоящая методика предназначена для расчета максимально возможного значения погрешности микроомметра, учитывающего все факторы, влияющие на погрешность измерений.

2 Нормальные условия применения:

температура окружающего воздуха, °С – 20±5;

относительная влажность воздуха, % – 30-80;

атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.) – 84-106 (630-795);

напряжение питания, В:

от сети переменного тока – 220±4,4;

от химических источников тока – (12⁺³_{-1,5});

частота питающей сети, Гц – (50±0,5), (60±0,5), (400±10);

коэффициент гармоник, % не более – 5;

внешнее магнитное поле – практически отсутствует.

3 Характеристики погрешности микроомметра в рабочих условиях применения.

3.1 Пределы допускаемых значений основной погрешности от конечного значения диапазона измерений:

±4,0 % на диапазоне 0-100 мкОм;

±2,5 % на диапазонах 0-1 мОм, 0-10 мОм, 0-100 мОм, 0-1 Ом;

±1,5 % на остальных диапазонах.

3.2 Пределы допускаемых значений вариации показаний равны пределам допускаемой основной погрешности.

3.3 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности вызванной отклонением микроомметра от нормального положения в любом направлении на 10° равны 1,5 % от конечного значения диапазона измерения.

3.4 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности вызванной отклонением напряжения питания на ±22 В при питании от сети переменного тока 220 В равны пределам допускаемой основной погрешности.

3.5 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности микроомметра под влиянием внешнего постоянного однородного магнитного поля с индукцией 0,5 мТл при самом неблагоприятном направлении, равны пределам допускаемой основной погрешности.

3.6 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности вызванной протеканием через измеряемое сопротивление токов промышленной частоты не превышающих:

– на диапазонах измерений 0-100 мкОм, 0-1 мОм, 0-10 мОм – 80 мА;

– на диапазонах измерений 0-100 мОм, 0-1 Ом – 8 мА, равны пределам допускаемой основной погрешности.

3.7 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от нормального значения до любой температуры, в пределах рабочих температур, на каждые 10°С изменения температуры, равны пределам допускаемой основной погрешности.

3.8 Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности, вызванной изменением относительной влажности окружающего воздуха от нормального значения до максимального, равны утроенному значению пределов допускаемой основной погрешности.

4 Приведенная погрешность измерения Δ в общем случае вычисляется по формуле :

$$\Delta = \sqrt{\Delta_0^2 + \sum_{n=1}^n \Delta_{Cn}^2}, \quad (1)$$

где Δ_0 – предел допускаемой основной приведенной погрешности;

Δ_{Cn} – предел допускаемой дополнительной приведенной погрешности от n -го воздействующего фактора.

5 Перед проведением измерений необходимо по возможности уменьшить количество факторов, вызывающих дополнительную погрешность, например, установить микроомметр практически горизонтально, вдали от мощных силовых трансформаторов, использовать новые химические источники тока или сеть переменного тока с напряжением (220±4,4) В и т.п.

6 Пример расчета погрешности микроомметра в реальных условиях применения.

6.1 Условия проведения измерений следующие:

температура воздуха минус 20 °С;

влажность не более 60 %;

микроомметр питается от химических источников тока напряжением 10,5 В;

микроомметр горизонтально установить нет возможности;

источники магнитных полей отсутствуют.

6.2 Измеренная величина сопротивления контакта $R_x = 8$ мОм на диапазоне 0-10 мОм.

6.3 Приведенную погрешность определим по формуле (Б.1), учитывая следующие составляющие дополнительных погрешностей:

$$\text{от температуры } \Delta_{C1} = \frac{20 - (-20)}{10} \cdot 2,5 = 10\%,$$

$$\text{от наклона микроомметра } \Delta_{C2} = 1,5\%,$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{N1}^2 + \Delta_{N2}^2} = \sqrt{6,25 + 100 + 2,25} = 10,4\%$$

6.4 Относительная погрешность γ может быть определена по формуле:

$$\gamma = \frac{N}{R_x} \cdot \Delta, \quad (2)$$

где N – конечное значение диапазона измерения.

$$\gamma = \frac{10}{8} \cdot 10,4 = 13 \% \quad y = \text{Щ--ЮЛ} = 13 \%$$

12 Контроль точности результатов измерений

Контроль точности результатов измерений обеспечивается ежегодной проверкой приборов в органах Госстандарта РФ. Приборы должны иметь действующие свидетельства о госповерке. Выполнение измерений прибором с просроченным сроком проверки не допускается.

13 Оформление результатов измерений

13.1 Результаты проверки отражаются в протоколе соответствующей формы (Приложение 1).

13.2 При заполнении протокола в графе «Вывод на соответствие требованиям» напротив каждого пункта вносить запись: «соответствует» или «не соответствует».

13.3 Перечень замеченных, недостатков должен предъявляться заказчику для принятия мер по их устранению.

13.4 В протокол заносятся значения величин, рассчитанные с учетом погрешности измерений в соответствии с разделом 11 данной методики.

13.5 Протокол испытаний и измерений оформляется в виде электронного документа и хранится в соответствующей базе данных. Второй экземпляр протокола распечатывается и хранится в архиве ЭТЛ.

13.6 Копии протоколов испытаний и измерений подлежат хранению в архиве электролаборатории не менее 6 лет.

14 Требования к квалификации персонала

К выполнению измерений и испытаний допускают лиц, прошедших специальное обучение и аттестацию с присвоением группы по электробезопасности не ниже III при работе в электроустановках до 1000 В, имеющих запись о допуске к испытаниям и измерениям в электроустановках до 1000 В.

Измерения сопротивления изоляции должен проводить только квалифицированный персонал в составе бригады, в количестве не менее 2-ух человек. Производитель работ должен иметь разряд не ниже 4 и члены бригады - не ниже 3 разряда.

15 Требования к обеспечению безопасности при выполнении испытаний и экологической безопасности

15.1 Измерения проводят по распоряжению.

15.2 При выполнении измерений должны выполняться все организационные и технические мероприятия по технике безопасности, а именно:

- перед началом работы проверяется отсутствие напряжения и остаточного заряда на корпусе испытываемого оборудования указателем напряжения до 1000В;
- при выполнении работ применяется напильник и щуп с рукоятками из изолированного материала или же лицо, проводящее измерение должно работать в диэлектрических перчатках.

15.3 Применяемый метод проверки цепи зануляющих (заземляющих) проводников опасности для окружающей среды не представляет.

15.4 Персонал должен строго соблюдать требования ПОТ Р М-013-2001 РД 153-34.0-03.150-00.

16. Оборудование рабочего места

На рабочем месте находятся:

1. Трехфазный масляный трансформатор типа ТМ 10/0,4 кВ.
2. Электронный измеритель МА 2060.
3. Измерительные приборы – типов ЭС0212, Ф4104-М1.
4. Мультиметр.

17.1. Рекомендации по выполнению работы

1. Измерить сопротивление обмоток трехфазного трансформатора, согласно методик.
2. Заполнить дефектную ведомость таблицы измерения сопротивления обмоток.

17.2. Содержание отчёта

Описать и проанализировать возможные неисправности электрической изоляции трансформатора. Результаты представить в виде дефектовочной ведомости (таблица 1).

Таблица 1 - Результаты осмотра двигателя

Наименование узлов и деталей двигателя	Обнаруженные неисправности	Рекомендуемый способ ремонта
ТМ 10/0,4 кВ.		

Общее заключение.

Таблица 2 - Результаты измерения сопротивления обмоток

$R_{из}$	$R_{1,2}$	$R_{1,3}$	$R_{2,3}$	R_1	R_2	R_3
Прибор						
ЭС0212						
Ф4104-М1						
Е6-24						

У трансформаторов с тремя выводами при соединении обмоток статора в звезду внутри машины сопротивление отдельных фаз определяется из следующих выражений

$$R_1 = \frac{1}{2} (R_{1,2} + R_{1,3} - R_{2,3}),$$

$$R_2 = \frac{1}{2} (R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}),$$

$$R_3 = \frac{1}{2} (R_{1,3} + R_{2,3} - R_{1,2}).$$

При одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_{1,2}/2.$$