Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация

**«УРАЛЬСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»**

**МДК 01.04.03 Наладка электрического и электромеханического оборудования**

Учебно-методическое пособие по выполнению практических и лабораторных работ для студентов по специальности 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования»

2016 г.

|  |  |
| --- | --- |
| ОДОБРЕНО  цикловой комиссией  электроэнергетики  Председатель комиссии  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Н.А. Шурова  «25» августа 2016г. | *УТВЕРЖДАЮ*  Заместитель директора по  учебной работе АН ПОО «Уральский промышленно-экономический техникум»  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Н.Б. Чмель  «29» августа 2016 г. |

Организация-разработчик: АН ПОО «Уральский промышленно-экономический техникум»

Составитель: Данилова Е.В., преподаватель АН ПОО “Уральский промышленно-экономический техникум»

**Практическая работа №1**

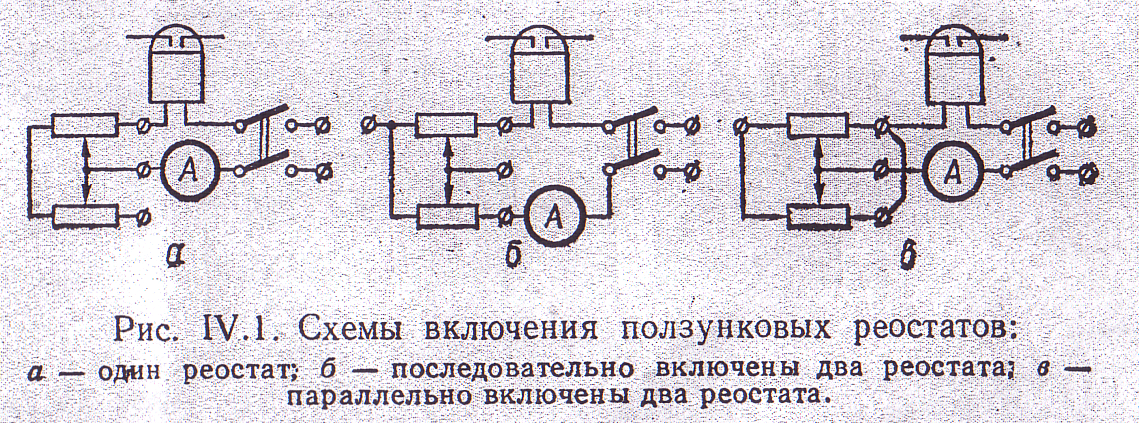
**Знакомство с аппаратурой для испытательно - наладочных работ**

Регулировочные устройства

В процессе испытательно – наладочных работ при выполнение многих операций требуется плавное изменения напряжения и тока. Регулировочные устройства необходимы в первую очередь пари испытаниях изоляции повышенным напряжением, опробовании защит первичным током, поверке электроизмерительных приборов, снятия характеристик электроаппаратуры и средств автоматизации и т.п. В наладочной практике в качестве регулировочных устройств применяют: а) проволочные реостаты (ползунковые и ступенчатые); б) жидкостные реостаты; в) регулировочные автотрансформаторы (АТ) со щеточным токосъемным устройством; г0 бесконтактные регулировочные автотрансформаторы; д) индукционные регуляторы.

Проволочные ползунковые и ступенчатые реостаты

Проволочные реостаты применяют как регулировочные устройства, главным образом при проверке элементов релейной защиты и при



испытания установок постоянного тока. Кроме того, их часто используют в тех случаях, когда не допускается даже небольшие искажения формы кривой регулируемого напряжения ( тока).

Ползунковые реостаты типа РСП (табл. IV.I) пригодны для регулирования напряжения в цепях постоянного и переменного тока небольшой мощности и тока до 7 а. схемы включения реостатов приведены на рис. IV.I.

Весьма удобны сдвоенные реостаты типа РСПС (табл. IV.2).

Таблица IV.I

**Технические данные реостатов типа РСП**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| вариант | Допустимый ток, а | Сопротивление, Ом | | | | | диаметр проволоки, мм |
| РСП-1 | РСП-2 | РСП-3 | | РСП-4 |
| 1 | 0,25 | 1440 | 2900 | 4300 | 6500 | | 0,24 |
| 2 | 0,35 | 740 | 1450 | 2200 | 3350 | | 0,25 |
| 3 | 0,45 | 410 | 825 | 1280 | 1950 | | 0,30 |
| 4 | 0,55 | 260 | 520 | 800 | 1200 | | 0,33 |
| 5 | 0,7 | 180 | 345 | 530 | 800 | | 0,40 |
| 6 | 0,85 | 125 | 240 | 370 | 560 | | 0,45 |
| 7 | 1,0 | 95 | 170 | 265 | 400 | | 0,50 |
| 8 | 1,4 | 50 | 105 | 165 | 250 | | 0,60 |
| 9 | 1,7 | 30 | 65 | 100 | 150 | | 0,70 |
| 10 | 2,1 | 20 | 41 | 63 | 95 | | 0,80 |
| 11 | 2,6 | 15 | 30 | 45 | 70 | | 0,90 |
| 12 | 3,0 | 10,5 | 22 | 33 | 50 | | 1,0 |
| 13 | 3,4 | 8 | 17 | 25 | 38 | | 1,10 |
| 14 | 4,0 | 6,5 | 13 | 20 | 30 | | 1,20 |
| 15 | 4,5 | - | 10 | 15,5 | 23 | | 1,30 |
| 16 | 5,0 | - | 8 | 12,5 | 19 | | 1,40 |
| 17 | 5,5 | - | 6,8 | 10,6 | 16 | | 1,50 |
| 18 | 6,2 | - | 5,5 | 8,5 | 13 | | 1,60 |
| 19 | 7,0 | - | 4,5 | 7,0 | 11 | | 1,70 |

Таблица IV.2

Технические данные сдвоенные реостатов типа РСПС

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Реостат |  | |  | |
| параллельном | Последова-тельном | параллельном | Последова-тельном |
| РСПС-2 | 0,5-14,0 | 0,25-7,0 | 2,2-1400 | 9-5600 |
| РСПС-3 | 0,5-14,0 | 0,25-7,0 | 3,5-2150 | 15-8600 |

|  |  |
| --- | --- |
| рис. IV.2 Схема включения реостата потенциометром. | Для регулирования напряжения реостат включают по схеме потенциометра (рис. IV.2).  Потенциометр выбирается по условиям плавности регулирования напряжения и допустимому току.  Для удовлетворения первого условия сопротивление потенциометр должен длительно выдерживать ток нагрузки и собственного потребления. |

Что бы снизить влияние нагрузки на величину снимаемого с потенциометра напряжения, сопротивление реостата должно удовлетворять следующему условию:

Rнагр≥Rр.

Для регулирования малых значений напряжения применяется источник регулируемого напряжения типа ИРН-64.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. IV.3 Схема секционного реостата с последовательным включением секций и ступенчатым регулированием. |  |
| Рис. IV.4 Схема секционных реостатов с параллельным включением секций и ступенчатым регулированием:  А- общий переключатель; б-раздельные переключатели. |
| Рис. IV.3 Схема секционного реостата с плавноступенчатыми регулированием. |
| Рис. IV.6 Схема реостата типа ЦЛЭМ Мосэнерго. |

Устройство типа ИРН-64. Напряжение на выходных зажимах 2,5-0-50; 5-0-100 мв при нагрузке 100 ом. Внутреннее сопротивление 15-25 ом. Допустимый ток 0,04 а.

Некоторыми энергосистемами ( Мосэнерго, Ленэнерго и др.) разработаны и изготовлены устройства для проверки релейной защиты ползунковыми реостатами, рассчитанными на большие токи. Однако эти устройства не получили распространения.

Обычно для этой цели используются ступенчатые реостаты в сочетании с ползунковыми ( рис. IV.3-IV.5).

На рис. IV.6 в качестве примера показана схема реостата ЦЛЭМ Мосэнерго. В реостате имеются два плеча – R1 и R2. плечо R1 состоит из 10 секций по 44 ом каждая. Секции выполнены из нехромовой проволоки диаметром 0,9 мм. Плечо R2 имеет 16 таких секций. Длительно допустимый ток секции 5а (5,5 а в течении 5 мин).

Реостаты плавной регулировки R3 и R4 рассчитаны надлительный ток 4 а, полное суммарное сопротивление их 300 ом. Перемычки I, II и III служат для закорачивания половины секций при включении реостата на напряжение 127в; при включении на 220 в перемычки 1-3 и 2-3 позволяют включают оба плеча реостата раздельно или параллельно; в последнем случае полный ток реостата близок к 70 а.

На рис. IV.7 приведена потенциальная схема включения реостата для регулирования тока от 0,25 (включен только рубильник 14) до 5а ( включены все рубильники). Реостаты такого типа ( со штекерными переключателями) применяют так же в мостовых и потенциометрических установках высокого класса точности.

Жидкие реостаты

При регулировки как переменного, так и постоянного тока иногда использубт жидкостные (водяные) реостаты. Несмотря на то что такие реостаты неудобны, они же находят применение в процессе наладки вследствие простоты и возможности их изготовления практически в любых условиях . регулировка тока осуществляется либо изменением положения электрода относительно металлического сосуда (бака, ведра, и др.), в которую налита вода, либо изменение уровня воды в сосуде.

Проводимость реостата можно увеличить в некоторых пределах, добавляя в воду поваренную соль или соду. Жидкостные реостаты можно изготовлять так же на большие мощности ( до 500 квт), когда нужно создать искусственную нагрузку для синхронных генераторов. При этом нагрузка регулируется изменением количества воды, протекающей через реостат.

Регулировочные автотрансформаторы

Наиболее широко для регулирования напряжения применяют регулировочные АТ со щеточным токосъемом. Такие АТ представляют собой железный сердечник с медной обмоткой, намотанной в один ряд. По наружной поверхности обмотки, очищенной от изоляции, скользит одна или несколько контактных щеток. Через щетки снимается регулируемое напряжение. Эти трансформаторы называют вариаторами (табл. IV.3), регуляторами напряжения и лабораторными регулировочными АТ (рис. IV.8).

Лабораторные автотрансформаторы типов ЛАТР-1М и ЛАТР-2М

По конструкции и техническим данным незначительно отличаются от регуляторов РНО-250-0,5 и РНО-250-2.

|  |  |
| --- | --- |
|  | а б |

Таблица IV.3

Технические данные регулировочных автотрансформаторов (вариаторов)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариатор | Номинальное напряжение сети, в | Максимальное регулироемое напряжение, в | Максимальная мощность, ква | максимально допустимый ток нагрузки одной пары щеток, а | Число регулируемых цепей | Вес, кг | Система охлаждения |
| однофазные | | | | | | | |
| РНО-250-0,5 | 127/220 | 250 | 0,5 | 2 | 1 | 5 | Воздушная |
| РНО-250-2 | 127/220 | 250 | 2,0 | 8 | 1 | 15 | То же |
| РНО-250-5 | 127/220 | 250 | 5,0 | 20 | 2 | 40 | То же |
| РНО-250-10 | 127/220 | 240 | 10,0 | 40 | 2 | 70 | Масляная |
| Трехфазные | | | | | | | |
| РНТ-220-6 | 127/220 | 220±5% | 6 | 16 | 2 | 60 | Масляная |
| РНТ-220-12 | 127/220 | 220±5% | 12 | 32 | 2 | 100 | То же |



**Практическая работа № 2**

**Виды испытаний электрооборудования**

Цель испытаний электрооборудования – проверка соответствия требуемым техническим характеристикам, установление отсутствия дефектов, получение исходных данных для последующих профилактических испытаний, а также изучение работы оборудования.

Различают следующие виды испытаний: 1) типовые; 2) контрольные; 3) приемо-сдаточные; 4) эксплуатационные; 5) специальные.

Т и п о в ы е испытания нового оборудования, отличающегося от существующего конструкцией, материалами или технологическим процессом, принятым при его изготовлении, выполняются заводом-изготовителем с целью проверки соответствия всем требованиям, предъявляемым к оборудованию данного типа стандартами или техническими условиями.

К о н т р о л ь н ы м испытаниям подвергается каждое изделие (машина, аппарат, прибор и т. д.) при выпуске с завода-изготовителя для проверки соответствия выпускаемого изделия основным техническим требованиям. Контрольные испытания выполняются по сокращенной (по сравнению с типовыми испытаниями) программе.

П р и е м о - с д а т о ч н ы м испытаниям подвергается по окончании монтажа все вновь вводимое в эксплуатацию оборудование для оценки пригодности его к эксплуатации.

Оборудование, находящееся в эксплуатации, в том числе вышедшее из ремонта, подвергается э к с п л у а т а ц и о н н ы м испытаниям, целью которых является проверка исправности его. Эксплуатационными являются испытания при капитальных и текущих ремонтах и профилактические испытания, не связанные с выводом оборудования в ремонт.

С п е ц и а л ь н ы е испытания проводятся для исследовательских и других целей по специальным программам.

Программы (а также нормы и методы) типовых и контрольных испытаний установлены ГОСТами на соответствующее оборудование.

Объем и нормы приемо-сдаточных испытаний определены «Правилами устройства электроустановок».

Эксплуатационные испытания проводятся в соответствии с «Объемами и нормами испытаний электрооборудования» (1964 г.) и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей».

При приемо-сдаточных и эксплуатационных испытаниях необходимо дополнительно учитывать требования заводских и ведомственных инструкций.

Определенная часть испытательных работ является общей при наладке различных элементов электроустановок. К таким работам относятся проверка схем электрических соединений, проверка и испытание изоляции и др. В этой главе рассмотрены только общие вопросы проведения этих испытаний; специфические особенности наладки отдельных видов оборудования освещены в других главах.

**Проверка схем электрических соединений**

Проверка схем электрических соединений предусматривает следующее.

1. Ознакомление с проектными схемами коммутации как принципиальными (элементными), так и монтажными, а также кабельным журналом.

2. Проверка соответствия установленного оборудования и аппаратуры проекту.

3. Осмотр и проверка соответствия смонтированных проводов и кабелей (их марки, материала, сечения и др.) проекту и действующим правилам.

4. Проверка наличия и правильности маркировки на оконцевателях проводов и жил кабелей, клеммниках, выводах аппаратов.

5. Проверка качества монтажа (надежности контактных соединений, укладки проводов на панелях, прокладки кабелей и т. п.).

6. Проверка правильности монтажа цепей (прозвонка).

7. Проверка схем электрических цепей под напряжением.

Цепи первичной и вторичной коммутаций проверяют в полном объеме при приемо-сдаточных испытаниях после окончания монтажа электроустановки. При профилактических испытаниях объем проверки коммутации значительно сокращается. Обнаруженные в процессе проверки ошибки монтажа или другие отступления от проекта устраняют наладчики или монтажники (в зависимости от объема и характера работы).

Принципиальные изменения и отступления от проекта допустимы только после согласования их с проектной организацией. Все изменения должны быть показаны на чертежах.

**Проверка правильности монтажа**

**(прозвонка)**

Правильность монтажа, выполненного свободно и наглядно в пределах одной панели, шкафа, аппарата, может быть проверена визуально прослеживанием проводов. Во всех остальных случаях правильность монтажа цепей определяют прозвонкой.

В пределах одной панели, шкафа прозвонка цепей может осуществляться с помощью простейшего прозвоночного устройства (рис. III.I). Устройства такого типа легко изготовить на месте проведения наладочных работ. В прозвоночных устройствах с лампочкой заметно искрение при размыкании цепи, содержащей катушку с железным сердечником; по искрению и судят об исправности катушки (отсутствие обрывов и витковых замыканий).

Более совершенное прозвоночное устройство содержит миниатюрный магнитоэлектрический вольтметр. Если вольтметр градуирован в Омах, устройство становится по существу омметром, аналогичным прибору типа М-57 (см. гл. II).

При прозвонке цепей на панели или коротких отрезков кабелей, не выходящих за пределы одного помещения, можно пользоваться также понижающим трансформатором (220/12 *в*) с лампой или мегомметром.

Длинные отрезки кабеля, концы которых расположены в разных помещениях, лучше всего прозванивать с помощью двух микротелефонных трубок. Телефоны и микрофоны обеих трубок соединяют в последовательную цепочку с источником постоянного напряжения 3 – 6 *в* (сухие элементы или аккумуляторы) через прозваниваемую и вспомогательную жилы кабеля. В качестве обратного провода могут быть использованы металлическая оболочка кабеля либо заземленные конструкции.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. III.1. Простейшее прозвоночное устройство:  *1* – щуп из медной проволоки диаметром 2,5-4 *мм*, длиной 50-60 *мм*; *2* - пластмассовый просвечивающийся футляр; *3* – лампочка напряжением 2-6 *в*; *4* - соединительные провода; *5* – зажим типа «крокодил». | Рис. III.2. Схема прозвонки кабеля с помощью микротелефонных трубок. |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. III.4. Схема прозвонки длинного кабеля мегомметром. |
| Рис. III.3. Схема прозвонки длинного кабеля пробником:  *а* – при поочередном заземлении жил на удаленном конце; *б* – при использовании металлической оболочки кабеля в качестве обратного провода; *в* – при использовании одной из жил в качестве обратного провода. |  |
| Рис. III.5. Схема прозвонки длинного кабеля жилоискателем. |

Порядок прозвонки по схеме, приведенной на рис. III.2 (с использованием оболочки кабеля в качестве обратного провода), таков.

1. С обеих сторон отсоединяют все жилы проверяемого кабеля.
2. Проверяют изоляцию всех жил кабеля между собой и относительно земли.
3. Два наладчика, находясь на разных концах кабеля, присоединяют трубки к оболочке и находят условную первую жилу. По предварительной договоренности один из наладчиков («ведущий») присоединяет трубку к жиле, а второй («помощник») поочередно касается проводом трубки всех жил.
4. В момент прикосновения провода трубки к разыскиваемой жиле в обоих телефонах слышен характерный шорох, свидетельствующий об образовании замкнутой цепи о возможности ведения переговоров.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. «Ведущий» сообщает «помощнику», какая маркировка должна быть на найденной жиле; при несоответствии маркировки в нее вносят коррективы. 2. Аналогично находят следующую жилу и устанавливают телефонную связь. 3. Ранее найденную жилу на обоих концах кабеля присоединяют к клеммникам. 4. Аналогично прозванивают все остальные жилы кабеля.   Если количество прозваниваемых жил невелико, нет микротелефонных трубок или прозвонку проводит один человек, то можно воспользоваться схемами, приведенными на рис. III.3 – III.5. |  |
| Рис. III.6. Схема прозвонки двумя пробниками |

Жилоискатель (рис. III.5) состоит из набора сопротивлений (1 – 5 *ком* и т. д.) и омметра, включаемых на разные концы кабеля. По значению измеренного на каждой жиле сопротивления проверяют ее маркировку.

Иногда прозвонку осуществляют два наладчика с помощью двух пробников (рис. III.6). В этом случае наличие лампочек на обоих концах кабеля позволяет пользоваться условным кодом и освобождает наладчиков от хождения для переговоров друг с другом. Однако перед прозвонкой необходимо проверять полярность пробников, так как при встречном их включении лампы гореть не будут.

**Практическая работа №3**

**Тема: ПРОВЕРКА ИЗОЛЯЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ**

Проверка изоляций вторичных цепей релейной защиты, электроавтоматики, измерений при наладочных работах после монтажа и при первой плановой проверки выполняется следующем объеме:

1)предварительное измерение сопротивления изоляции мегомметром; 2)испытание электрической прочности изоляции переменным напряжением; 3) повторное, контрольное измерения сопротивления изоляции мегомметром.

При наладке вновь вводимого оборудования измерения сопротивления изоляции, как правило, производиться в два этапа:

Первый этап – проверка сопротивления изоляции отдельных панелей, щитов, пультов, кабелей и т.д. после окончания монтажа и проведение механической ревизии оборудования перед подачей напряжения от испытательных устройств;

Второй этап – в полностью собранной схеме перед комплексным опробованием присоединения.

Для измерения сопротивления изоляции используются мегомметры различных типов и модификаций. Основными элементами мегомметров типов М1101 и МС-05 являются генератор постоянного тока с ручным проводом, измерительный прибор – магнитоэлектрический логометр постоянного тока и дополнительные резисторы.

Мегомметр типа МС-05 на 2500 В имеет три предела измерения. Основные технические характеристики мегомметров приведены в табл. 1-4.

Таблица 1-4

**Технические характеристики мегомметров типов М1101 и МС-05**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип, модификация прибора | Пределы измерения | | Рабочая часть шкалы | | Номинальное выходное напряжение, В |
| кОм | МОм | кОм | Мом |
|  | 0-200  0-1000  0-1000 | 0-100  0-500  0-1000 | 0-200  0-1000  0-1000 | 0,01-20  0,05-100  0,2-200 | 100+10  50+50  1000+100 |
| МС-05 | Положение переключателя | Пределы измерения, МОм | Рабочая часть шкалы, МОм | | Номинальное выходное напряжение, В |
|  |  | 1-1000  0,1-100  0,01-10 | | 2500+250  2500+250  2500+250 |

При измерениях мегомметром рукоятку генератора необходимо вращать с номинальной частотой вращения на разомкнутых зажимах прибора создается номинальное напряжения мегомметров от измеряемого сопротивления приведены на рис. 1-11, 1-12 (где U- напряжение на измеряемом сопротивлении в процентах номинального; R-измеряемого сопротивление, выраженное в процентах конечного значения рабочей части шкалы).

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1-11. Нагрузочные характеристики мегаомметра серии М1101. | Рис. 1-12. Нагрузочная характеристика мегаом  метра типа МС-05 |

Перед измерением проверяют исправность прибора. У мегомметров типа М1101 при положении переключателя пределов МΩ и вращении рукоятки с номинальной частотой вращения при разомкнутых выводах стрелка должна установиться на отметке ∞ шкалы МΩ. При положении переключателя пределов кΩ и разомкнутых выводах стрелка при вращении рукоятки должна установиться на отметке 0 шкалы МΩ.

У мегомметров типа МС-05 при вращении рукоятки с номинальной частатой и разомкнутых выводах стрелка должна устанавливаться на отметке ∞; при замкнутых выводах Л (линия) и З (земля) стрелка должна устанавливаться на отметке 0.

В настоящее время промышленностью освоен выпуск мегомметров типов М4100/1-М4100/5 и Ф4100. у мегомметров типа М4100/1-М4100/5 вместо генератора постоянного тока применен генератор переменного тока с выпрямителем.

Выпускается пять модификаций приборов этого типа, отличающихся по параметрам выходного напряжения и наибольшему значению измеряемого сопротивления (табл. 1-5).

При измерениях рукоятку генератора необходимо вращать с номинальной частотой вращения 120 об/мин. Зависимость выходного напряжения мегаомметра от измеряемого сопротивления приведена на рис. 1-13.

Мегаомметры М4100/1 – имеют три вывода, обозначенные *Л* (линия); ± (земля) и кΩ. Мегаомметры М4100/5 имеют еще дополнительный вывод *Э* (экран).

Таблица 1-5

**Технические характеристики мегаомметров типа М4100**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Модификация  мегаомметра | Пределы измерения | | Рабочая часть шкалы | | Номинальное выходное напряжение, В |
| кОм | МОм | кОм | МОм |
| М4100/1  М4100/2  М4100/3  М4100/4  М4100/5 | 0-200  0-500  0-1000  0-1000  0-2000 | 0-100  0-200  0-500  0-1000  0-3000 | 0-200  0-500  0-1000  0-1000  0-2000 | 0,01-20  0,02-50  0,05-100  0,2-200  0,5-1000 | 100+10  250+25  500+50  1000+100  2500+250 |

При измерении сопротивления изоляции на пределе *м*Ω измеряемое сопротивление подключают к выводам *Л* - ±. При измерении сопротивления изоляции на пределе кΩ устанавливают перемычку между выводами *Л* - ±, а измеряемое сопротивление подключают к выводам ± - кΩ. Схемы измерения сопротивления изоляции приведены на рис. 1-14 и 1-15.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1-13. Нагрузочные характеристики мегаомметров серии М4100.  *1* – М4100/1 – М4100/4;  *2* – М4100/5. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1-14. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметрами типов М4100/1 – М4100/4.  *а* – на пределе МΩ; *б* – на пределе кΩ. | Рис. 1-15. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметром типа М4100/5.  *а* – на пределе МΩ; *б* – на пределе кΩ. |

**Практическая работа № 4**

**Тема: Измерение диэлектрических потерь**

Диэлектрические потери или пропорциональный им тангенс угла диэлектрических потерь tgδ – одна из основных характеристик состояния электрической изоляции.

По величине потерь можно судить о надежности изоляции по отношению к тепловому пробою (тепловой устойчивости), общем старении и увлажненности изоляции.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. III.14. Векторная диаграмма токов и напряжений в диэлектрике. | Для токов и мощности потерь в диэлектрике действительны такие соотношения (рис. III.14).  Отношение активной составляющей тока *IA* к емкостной *IС*  (III.8)  Емкостной ток  *IC* = ω*CU*, (III.9)  где ω – угловая частота; *C* – емкость диэлектрика; *U* – приложенное к диэлектрику напряжение, *в*. |

Потери в диэлектрике

*Р* = *UIA* = *UI cos*φ = *UIC* tgδ (III.10)

или, согласно формуле (III.9),

*P* = ω*CU*2 tgδ. (III.11)

Таким образом, потери мощности *Р* и тангенс угла диэлектрических потерь пропорциональны друг другу.

Активная составляющая тока не может являться показателем состояния изоляции, так как ее величина зависит от размеров изоляции, в то время ак величина отношения  от размеров изоляции не зависит и изменяется с изменением активной составляющей тока по отношению к емкостной, т. е. с изменением состояния изоляции.

Измерение tgδ широко используется для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения.

Величина tgδ зависит от температуры и величины прикладываемого к изоляции напряжения. Не следует измерять tgδ при температуре ниже +10˚С.

При наладке для измерения tgδ широко применяют мост типа МД-16 (см. гл. II). Этим мостом можно измерить диэлектрические потери по нормальной схеме (рис. III.15, *а*), применяемой для объектов, у которых оба электрода изолированы от земли (при измерении tgδ между обмотками трансформаторов или между фланцем и электродом высоковольтных вводов в ремонтной мастерской, когда фланец изолятора может быть установлен на изолирующую подставку). Для измерения диэлектрических потерь объектов, имеющих один наглухо заземленный электрод, применяют «перевернутую» схему моста (рис. III.15, *б*).

Величину tgδ изоляции измеряют при напряжении не выше 10 *кв* у электрооборудования с номинальным напряжением 10 *кв* и выше и при напряжении, равном номинальному у остального электрооборудования.

В качестве испытательного трансформатора при измерениях tgδ, как правило, используется трансформатор напряжения типа НОМ-10.

При измерении tgδ в измерительном элементе моста возможны токи влияния, обусловленные внешними магнитными и электростатическими полями. Эти влияния несколько уменьшаются экранированием измерительной схемы. Погрешности, создаваемые токами влияния, можно учесть, выполнив измерения четыре раза при разных полярностях гальванометра и подаваемого на схему напряжения.

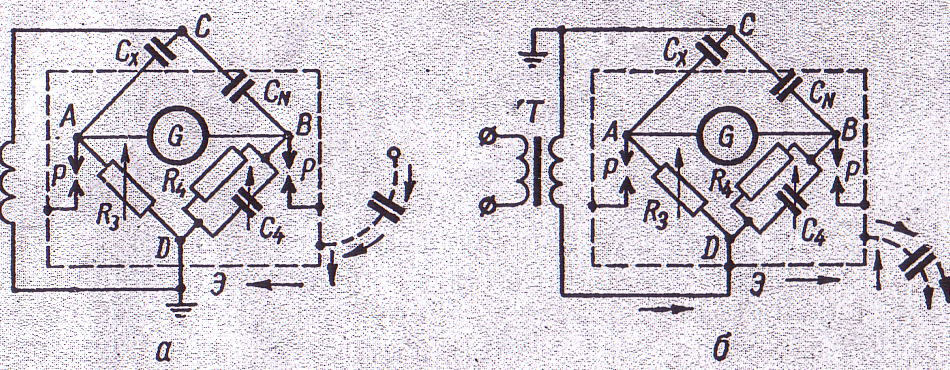


Рис. III.15. Принципиальные схемы включения моста типа МД-16:

*а* – нормальная; *б* – перевернутая; *Т* – испытательный трансформатор; *Сх* – испытуемый объект; *CN* – образцовый конденсатор; *G* – вибрационный гальванометр; *R*3 – переменное сопротивление; *R*4 – постоянное сопротивление; *С*4 – магазин емкостей.

При измерении tgδ аппаратов, расположенных вблизи установок под напряжением 110 *кв* и выше, мост иногда не удается уравновесить. Тогда измерение осуществляют при положении переключателя, соответствующем отрицательному tgδ.

Внешние влияние могут быть умешены также подбором фазы напряжения питания, при которой показания гальванометра минимальны. Следует также иметь в

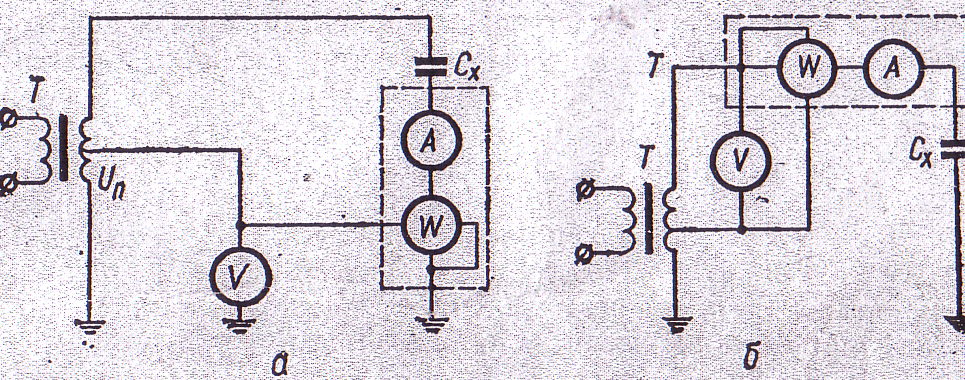


Рис. III.16. Схемы определения tgδ с помощью вольтметра, ваттметра и амперметра:

*а* – нормальная; *б* – перевернутая.

виду, что при измерениях tgδ возможны электромагнитные влияния на мост от испытательного и регулировочного трансформаторов. Во избежание этого рекомендуется располагать их на расстоянии не менее чем на 0,5 *м* от моста.

Значительно реже tgδ измеряют с помощью ваттметра, вольтметра и амперметра (рис. III.16).

Для углов δ < 20˚ с достаточной для практики точностью справедливо соотношение

tgδ = tg (90 – φ)  *cos*φ = 

**Лабораторная работа № 5**

**Тема: Вторичные цепи трансформаторов тока и проверка правильности их выполнения**

**Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока.** Трансформаторы тока (ТТ) имеют следующую маркировку выводов: *Л*1 и *Л*2 – первичные обмотки, *И*1 и *И*2 – вторичные обмотки. Однополярными выводами являются *Л*1 и *И*1. Трансформаторы тока, как правило, устанавливаются выводом *Л*1 к шинам, а вывод к защите берется с *И*1. На рис. 1-18 представлены типовые схемы соединения вторичных цепей трансформаторов тока.

На рис. 1-18, *а* представлена схема соединения в звезду при установке ТТ в каждой фазе. При такой схеме в симметричном режиме в нулевом проводе проходит только ток небаланса, обусловленный погрешностями ТТ. В нулевом проводе ток появляется при однофазных коротких замыканиях (к. з.), поэтому можно считать, что реле, включенные в нулевой провод, включены на фильтр тока нулевой последовательности. Схема соединения ТТ в звезду наиболее распространенная, широко применяется для защиты от междуфазных и однофазных к. з., для устройств автоматики и измерений.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1-18. Схемы соединения вторичных обмоток ТТ. | Если реле, установленные в фазных проводах, не используются, то эта схема упрощается и принимает вид схемы на рис. 1-18, *б*.  На рис. 1-18, *в* дана схема соединения ТТ в неполную звезду при установке ТТ в двух фазах. Такая схема используется для выполнения защит от междуфазных к. з. в двух- и трехрелейном исполнениях, особенно присоединений с изолированной нейтралью. В нулевом проводе проходит сумма токов двух фаз.  На рис. 1-18, *г* приведена схема соединения ТТ в треугольник при установке ТТ в трех фазах. Схема применяется для выполнения дифференциальных защит трансформаторов, когда необходимо компенсировать фазовый сдвиг токов при соединении обмоток |
| Рис. 1-19. схемы последовательного и параллельного включений вторичных обмоток ТТ. |

трансформатора звезда – треугольник. В фазном проводе проходит разность токов двух фаз.

На рис. 1-18, *д* дана схема соединения ТТ на разность токов двух фаз, используется для выполнения защиты от междуфазных к. з. в однорелейном исполнении.

В некоторых случаях для уменьшения нагрузки на ТТ применяются схемы с последовательным соединением ТТ (рис. 1-19, *а*). У установленных в одной фазе ТТ с соблюдением полярностей соединяются первичные обмотки (*Л*2 *1ТТ* и *Л*1 *2ТТ*) и вторичные обмотки (*И*2 *1ТТ* и *И*1 *2ТТ*), выводы вторичных цепей в этом случае берут с *И*1 *1ТТ* и *И*2 *2ТТ*. Такое включение ТТ обеспечивает неизменный вторичный ток, равный *I*2 = *I*1 */n*ТТ, но позволяет в 2 раза увеличить нагрузку на ТТ. Схема имеет тот же коэффициент трансформации, что и каждый ТТ.

Значительно реже применяются схемы с параллельным включением вторичных обмоток ТТ (рис. 1-19, *б*). В этом случае коэффициент трансформации схемы в 2 раза меньше, чем *n*ТТ каждого ТТ, а нагрузка на него вдвое больше. Это свойство ТТ используют, когда необходимо получить малые или нестандартные коэффициенты трансформации.

**Проверка правильности соединения вторичных цепей трансформаторов тока.** Полностью собранные и подключенные к защите или устройству электроавтоматики токовые цепи, как правило, проверяются первичным током. эта проверка является завершающей, поэтому желательно замеры производить прибором ВАФ-85 без разрыва токовых цепей. При необходимости подключения приборов непосредственно в токовую цепь подключение производится на испытательных зажимах или испытательных блоках.

Проверка токовых цепей может быть выполнена однофазным или трехфазным током. Проверка однофазным током выполняется по одной из приведенных на рис. 1-20 схем. Нагрузочным устройством *НУ* устанавливают ток в первичной цепи 10-20% номинального значения и, измеряя токи во вторичных цепях, проверяют выполнение токовых цепей. Соотношения измеряемых токов при правильном выполнении токовых цепей и при наиболее вероятных ошибках и неисправностях приведены в табл. 1-7 – 1-10. Проверку токовых цепей ТТ, соединенных в треугольник, производят дважды, например при подаче тока в фазы *А* – *В* и *В* – *С.*

Проверка трехфазным током применяется главным образом при наладке дифференциальных защит трансформаторов, генераторов, мощных электродвигателей. Для этого устанавливается трехфазная закоротка на одной из сторон силового трансформатора, а на другую подается трехфазное напряжение, обычно 380 В, но иногда и 6 кВ в зависимости от реактивного сопротивления трансформатора. До испытаний предварительно рассчитывается возможный ток и определяется, с какой стороны трансформатора необходимо установить закоротку. Ожидаемый испытательный ток *I*исп, А, можно оценить по упрощенной формуле, не учитывающей падение напряжения в источнике питания:

*I*исп = *I*н*U*исп100% / *U*н*u*к%,

где *U*исп – испытательное напряжение, подводимое к трансформатору; *I*н и *U*н – номинальные ток и напряжение той обмотки трансформатора, на которую подается испытательное напряжение; *u*к% - напряжение короткого замыкания испытываемого трансформатора. Полученное значение *I*исп не должно превышать номинального тока трансформатора и должно быть меньше допустимого тока источника питания.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рис. 1-20. Схемы проверки токовых цепей первичным однофазным током.  *а* – по схеме полной звезды; *б* – по схеме неполной звезды; *в* – по схеме на разность токов; *г* – по схеме треугольника, ток подан на фазы *АВ*; *д* – по схеме треугольника, ток подан на фазы *ВС*; *Р* – рубильник; *РУ* – регулировочное устройство; *НУ* - нагрузочное устройство; *А* – прибор для измерения первичного тока, стрелками указаны места измерения вторичных токов ВАФ-85; – – – – соединения первичной испытательной схемы. |

Таблица 1-7

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выполнение схемы токовых цепей | Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме на рис. 1-20, *а* | Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки | |
| Вторичные токи | Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки |
| Схема выполнена  правильно | *Ia* = *Ib = Ic =* = *I*1/*n*ТТ  *I0 = 3 I*1/*n*ТТ | *Ia* = *Ib = Ic* = = *I*1/*n*ТТ  *I0 = I*нб |  |
| Обрыв нулевого  провода | *Ia* ≈ *Ib* ≈ *Ic* ≈0или << *I*1/*n*ТТ  *I0 =* 0 | *Ia* = *Ib = Ic* = = *I*1/*n*ТТ  *I0 =* 0 |  |
| Вторичная обмотка ТТ в фазе *С* включена с обратной полярностью | *Ia* = *Ib = Ic =* = *I*1/*n*ТТ  *I0 = I*1/*n*ТТ | *Ia* = *Ib = Ic* = = *I*1/*n*ТТ  *I0 = 2 I*1/*n*ТТ |  |
| Обрыв цепи или вторичной обмотки ИИ фазы С | *Ia* = *Ib= I*1/*n*ТТ  *Ic* = 0;  *I0 = 2 I*1/*n*ТТ | *Ia*=*Ib=I*1/*n*ТТ  *Ic* = 0;  *I0 = I*1/*n*ТТ |  |
| Закорочен ТТ фазы *С* | *Ia* = *Ib= I*1/*n*ТТ *Ic* + *I0 =*  *= 2 I*1/*n*ТТ | *Ia* =*Ib=I*1/*n*ТТ  *Ic* + *I0 =*  *= I*1/*n*ТТ |  |

Таблица 1-8

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выполнение схемы токовых цепей | Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме на рис. 1-20, *а* | Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки | |
| Вторичные токи | Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки |
| Схема выполнена  правильно | *Ia* = *Ic =*  *= I*1/*n*ТТ  *I0 = 2 I*1/*n*ТТ | *Ia* = *Ic* =  = *I*1/*n*ТТ  *I0 = I*1/*n*ТТ |  |
| Обрыв нулевого  провода | *Ia* = *Ic* ≈ 0  или << *I*1/*n*ТТ  *I0 =* 0 | *Ia* = *Ic*  *I0 =* 0  Токи малы, зависят от параметров ТТ | Векторная диаграмма  неопределенная |

**Лабораторная работа № 6**

**Тема: Измерение и анализ сопротивления петли «фаза – нуль».**

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.
   1. Измерение полного сопротивления петли « фаза-нуль» производиться на основании Параграфа 1.8.36. п.4 ПУЭ и приложения 1 п.26.4 ПЭЭП
   2. Нормы и методы измерения полного сопротивления петли «фаза-нуль» учитывают требования ГОСТ Р 50571. 16-99, ГОСТ Р 50571. 3-9, ПУЭ издание седьмое, пункты 1.7.79, 1.7.81.
   3. цель измерения – выяснение возможности надежного отключения аварийного участка электроустановки.
2. ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ.
   1. Объектом измерения является электрическая цепь, состоящая из следующих элементов:

- фазы питающего трансформатора;

- фазного, нулевого рабочего, нулевого защитного проводников, соединяющих

фазу трансформатора с токоприемником;

- аппаратов защиты, установленных в указанной цепи.

3. ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

3.1. полное сопротивление петли « фаза-нуль» состоит из активной и реактивной составляющих входящих в нее элементов.

В общем случае Zn = (Rтp+Rц)2 + (Хтр + Хц)2 , Ом

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Начальник  Испытательной лаборатории |  | В.Р. Якубин | Зам. начальника Управления по общим вопросам |  | В.М. Усенков |

**Практическое занятие по проверки срабатывания расцепителей автоматических выключателей.**

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.
   1. Настоящий документ определяет методику проверки срабатывания расцепителей автоматических выключателей.
   2. Проверка срабатывания расцепителей автоматических выключателей производиться на основании требования параграфа 1.8.34 (п.3) ПУЭ.
   3. Цель измерений – проверка соответствия измеренных параметров срабатывания расцепителей автоматических выключателей заводским данным.
2. ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ.

2.1. Выключатели автоматические ( в дальнейшем АВ) предназначены для протекания тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях.

3. ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

3.1. Время срабатывания теплового расцепителя при протекании через него тока перегрузки.

3.1.1. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя.

1. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.
   1. В помещении, где производиться измерения, не должно быть значительных движений воздуха.
   2. Питание схемы измерения может осуществляться, как от постоянного тока, так и от временного источника.
   3. При измерениях АВ должен находиться в рабочем положении с закрытой крышкой, чтобы исключить рассеивание тепла, выделяемого тепловым расцепителем.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Начальник  Испытательной лаборатории |  | В.Р. Якубин | Зам. начальника  Управления по общим вопросам |  | В.М. Усенков |

**Практическое занятие по проверки срабатывания расцепителей автоматических выключателей.**

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.
   1. Настоящий документ определяет методику проверки срабатывания расцепителей автоматических выключателей.
   2. Проверка срабатывания расцепителей автоматических выключателей производиться на основании требования параграфа 1.8.34 (п.3) ПУЭ.
   3. Цель измерений – проверка соответствия измеренных параметров срабатывания расцепителей автоматических выключателей заводским данным.
2. ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ.

2.1. Выключатели автоматические ( в дальнейшем АВ) предназначены для протекания тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях.

3. ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

3.1. Время срабатывания теплового расцепителя при протекании через него тока перегрузки.

3.1.1. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя.

1. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.
   1. В помещении, где производиться измерения, не должно быть значительных движений воздуха.
   2. Питание схемы измерения может осуществляться, как от постоянного тока

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Начальник  Испытательной лаборатории |  | В.Р. Якубин | Зам. начальника  Управления по общим вопросам |  | В.М. Усенков |