

III. Особенности измерений при поиске дефектов

Для обоснованного суждения о причинах и характере дефекта недостаточно знания его внешних проявлений, либо качественных характеристик. Поэтому при определении дефектов широко используют два технологических перехода:

- измерения;
- промежуточные измерения.

Выполнение этих переходов позволяет получить объективную информацию о состоянии схемы и ее элементов.

Названные здесь переходы выполняют, используя различные измерительные приборы, которые выбирают на основе следующих исходных данных:

наименование измеряемой величины. При определении дефектов в релейно-контакторных схемах наиболее часто измеряют ток и напряжение, иногда приходится измерять мощность или коэффициент мощности. Для получения дополнительной информации о работе элементов схемы изменение параметров во времени может регистрироваться специальными приборами - осциллографами или самописцами;

диапазон изменения (минимальное и максимальное значения) измеряемой величины;

погрешности измерения параметра;

Чтобы уменьшить погрешность измерения при работе с выбранным прибором, не допускается:

отклонения прибора от нормального положения (только для приборов с движущимися элементами), поскольку наклон такого прибора на 5-10°. может вызвать дополнительную приведенную погрешность, равную классу точности прибора;

значительного отклонения температуры окружающей среды от нормального значения (20°C). При измерении температуры на каждые 10-20°C (в зависимости от группы прибора) возникает дополнительная погрешность, равная классу точности прибора. Если температура окружающей среды значительно отличается от нормальной, то необходимо применять приборы класса Б или еще лучше В. При применении приборов группы А нужно учитывать, что их дополнительная погрешность при температуре 35°C и ниже 10 °C не нормируется;

воздействия на прибор мощных посторонних магнитных полей.

На результирующую погрешность измерения стрелочных приборов влияет не только класс точности и предел измерения, но и число нанесенных на шкалу делений, так как точность отсчитывания показаний у прибора без нониуса не может быть выше половины наименьшего деления шкалы. Поэтому для поиска дефектов следует отдавать предпочтение стрелочным переносным приборам, шкалы которых имеют не менее 100 нанесенных делений. Точность отсчитывания показаний цифровых приборов не может быть меньше одного знака наименьшего разряда.

Особое внимание на выбор и использование средств измерения следует обращать при поиске дефектов в электроустановках напряжением выше 1 кВ.

Пример 33. Недопустимость использования средств измерения, рассчитанных на рабочее напряжение 1 кВ в цепях напряжением выше 1 кВ.

На глубинном насосе артезианской скважины исчезло напряжение. Для устранения дефекта электромонтер по схеме при помощи токоискателя проверил наличие напряжения. Когда было установлено, что напряжение отсутствует на щите управления насосом и на выходе силового трансформатора, он тем же токоискателем стал проверять наличие напряжения на вводе 10 кВ трансформатора и получил смертельную электротравму.

Помимо специализированных приборов, измеряющих какой-либо один параметр (ток, напряжение, частоту), в практике поиска дефектов в релейно-контакторных схемах широко распространены комбинированные многопредельные приборы - **мультиметры** (рис. 44).



Рис. 44 Цифровой мультиметр

Предел измерения измеряемой величины (тока, напряжения или сопротивления), род тока или напряжения (переменный или постоянный) выбирают переключателем, расположенным в центре панели управления.

Если ожидаемое значение измеряемого тока или напряжения неизвестно, переключатель необходимо установить в положение, соответствующее наибольшему пределу измерения, чтобы избежать перегрузки или повреждения прибора¹.

Если в процессе измерения величины необходимо перейти на другой предел измерения, то сначала следует отключить прибор от объекта, в котором выполняют измерения, и только затем переключить переключатель выбора предела измерения.

Для подключения щупов, соединяющих прибор с объектом измерения, в мультиметрах обычно предусматривается несколько гнезд. В данном случае в нижней части левой панели расположены 4 гнезда, используемые для подключения прибора в качестве амперметра, вольтметра или омметра.

Такой прибор можно применять и для измерения емкости (см. гнезда «Сх»), а при наличии термодатчика – и для измерения температуры (гнезда «Тх»).

В верхней правой части прибора предусмотрены гнезда для проверки транзисторов.

Как правило, во всех мультиметрах к гнезду, отмеченному знаком «*» при измерениях в цепях постоянного тока необходимо подключать минусовой полюс.

Задача 15. При определении дефекта в источнике питания измерили напряжение на входе выпрямительного моста (точки 1, 2 на рис. 44) стрелочным мультиметром на пределе «~300 В».

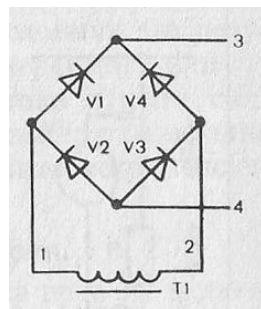


Рис. 45 Выпрямительный мост

Результат измерения - 220 В. После этого прибор переключили на предел «=300 В» и присоединили к выводам 3, 4 этого же моста. Стрелка прибора отклонилась за деление 300 В. Поэтому перешли на предел измерения «= 450 В», где показания прибора оказались равны 400 В.

¹ Устройство, защищающее такие приборы от перегрузок, может быть предусмотрено не на всех пределах измерения.

Выдвинуть гипотезы о возможных причинах таких показаний прибора.

При выборе типа прибора по измеряемому параметру или при выполнении измерений мультиметром следует учитывать, что тот или иной параметр может быть определен не только прямым измерением (напряжение - вольтметром, ток - амперметром, сопротивление - омметром), но и косвенно, вычислением по результатам измерения связанных с ним параметров.

Пример 34. Определение тока по результатам измерения напряжения.

Необходимо узнать значение постоянного тока, протекающего через резистор R с известным сопротивлением, не разрывая цепь тока для подключения измерительного прибора.

Последнее условие исключает применение любых амперметров, а так как измеряется постоянный ток, то нельзя применять и токоизмерительные клещи.

Поэтому воспользуемся законом Ома, согласно которому падение напряжения на сопротивлении пропорционально току, протекающему через это сопротивление.

Так как сопротивление резистора известно, то измерив вольтметром PV напряжение U на резисторе R (рис. 46), можно вычислить искомый ток:

$$I = U / R$$

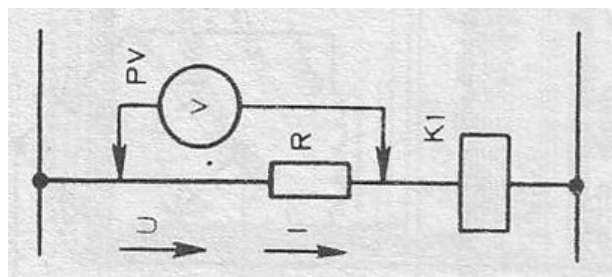


Рис. 46 Измерение падения напряжения для определения тока

Напомним, что при таком подключении вольтметра необходимо соблюдать условие:

$$R > 100 R_{PV}$$

----- где R_{PV} - внутреннее сопротивление вольтметра. -----

Рассмотренное в примере 34 включение вольтметра для измерения тока характерно для технологического перехода «промежуточные измерения», когда проверяют прохождение сигнала, в частности тока, по цепям релейно-контакторных схем.

Выполняя при отыскании дефекта практически любое измерение, следует помнить, что при определенных условиях его результат содержит не только сведения о значении измеренного или вычисленного параметра.

Например, наличие тока в цепи свидетельствует о ее целости. Значение тока и напряжения (или одного из этих параметров) позволяет оценить сопротивление всей цепи или ее участка и т.п.

Пример 35. Проверка целости цепи вольтметром.

В схеме, приведенной на рисунке 45, катушка реле $K1$ включена последовательно с резистором R . Если воспользоваться сведениями, приведенными в примере 34, то по наличию напряжения на резисторе R или катушке $K1$ можно сделать вывод о протекании тока по цепи из последовательно соединенных резистора и катушки.

Если воспользоваться формулой вычисления искомого тока и дважды вычислить значение тока по результатами измерения напряжения на резисторе R и на катушке $K1$, то в случае равенства или совпадения полученных результатов можно сделать вывод, что нет «обходных» цепей. Несовпадение результатов вычислений говорит либо о наличии параллельных цепей, либо о дефектах в элементах, приводящих к образованию дополнительных цепей.

Задача 16. Дефект в схеме, показанной на рис. 47, проявляется в том, что после размыкания управляющего контакта $K2:1$ размыкающий контакт $K1:1$ (на рисунке не показан) реле $K1$ остается замкнутым.

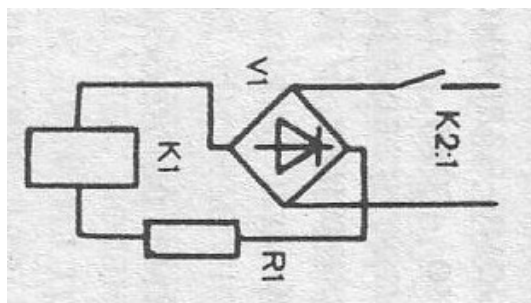


Рис. 47. Фрагмент схемы

Проанализировать схему и выдвинуть гипотезы о причине дефекта.

В практике поиска дефекта в релейно-контакторных схемах сопротивления элементов измеряют в основном с помощью омметров, встроенных в мультиметры.

Омметры можно использовать не только для измерения сопротивления элементов, но и, например, для оценки состояния изоляции.

Если сопротивление изоляции измерить дважды при разных полярностях подключения щупов, то можно не только ориентировочно оценить его значение, но и определить причину его понижения по сравнению с нормой.

При разных полярностях щупов омметра и одинаковых результатах измерения вероятной причиной уменьшения сопротивления изоляции является загрязненность ее токопроводящей пылью. Если же результаты измерений при разных полярностях окажутся неодинаковыми, то можно сказать, что сопротивление изоляции снизилось из-за ее увлажнения.

Значение такого параметра как сопротивление, может быть найдено не только с помощью специальных приборов, но и одним прибором (вольтметром или амперметром), а также методом «вольтметра-амперметра», по результатам измерения тока и напряжения.

Для измерения активных сопротивлений одним прибором (рис. 48, а) необходимо произвести два измерения: одно при замкнутом выключателе S , а второе - при разомкнутом.

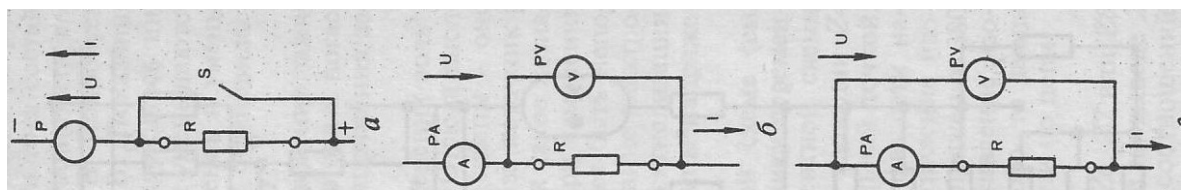


Рис. 48 Измерение сопротивлений:
а - одним прибором, б, в - методом «вольтметра-амперметра»

Использование этой схемы позволяет измерять сопротивления, соизмеримые с сопротивлением приборов.

Вычисления выполняют по формулам:

$$R = R_{PV} (U - U^1) / U^1.$$

$$R = R_{PA} (I - I^1) / I^1$$

где $U(I)$, $U^1(I^1)$ - показания вольтметра (амперметра) при замкнутом и разомкнутом положениях выключателя S ;

R_{PV} (R_{PA}) - сопротивления вольтметра (амперметра).

Пример 36. Измерение сопротивления методом «вольтметра-амперметра».

Возможны два варианта включения вольтметра:

- непосредственно параллельно резистору R (рис. 48, б);
- параллельно группе из последовательно соединенных резистора R и амперметра PA (рис. 48, в).

Если для определения сопротивления подставить показания приборов PA и PV в известную нам формулу закона Ома, обе схемы включения приборов дадут разные результаты. Происходит это потому, что в данной формуле не учтено потребление приборами энергии от схемы.

В реальной схеме амперметр PA при включении вольтметра PV в соответствии с рисунком 48, б измерит не только ток, протекающий через резистор R , но и ток через внутреннее сопротивление вольтметра R_{PV} .

Поэтому фактическое значение сопротивления будет равно

$$R_{cp} = U / (I - I_{PV}) = U [I - (U / R_{PV})].$$

При включении вольтметра в соответствии с рисунком 48, в он измерит не только падение напряжения на резисторе R , но и на сопротивлении амперметра R_{PA} , поэтому

$$R_{cp} = (U - U_{PA})/I = (U/I) - R_{PA}$$

Во всех формулах U и I - показания вольтметра PV и амперметра PA соответственно.

Приведенный пример показывает, что при выполнении измерений в схеме следует обязательно учитывать параметры прибора. Для получения достоверных результатов важно не только правильно выбрать и использовать прибор, но и правильно подключить его или составить измерительную схему. В противном случае возможно получение ложной информации о состоянии объекта или проверяемого элемента.

Особенно нужно учитывать влияние параметров измерительного прибора на режим работы схемы при применении технологического перехода «промежуточные измерения», который отличается тем, что измерение производят поочередно в нескольких точках схемы, связанных между собой каким-либо сигналом, прохождение которого и проверяют от элемента к элементу, от блока к блоку.

Вместе с тем влияние прибора на режим схемы иногда может помочь отысканию дефекта.

Пример 37. Использование информации о влиянии прибора на схему при поиске дефекта.

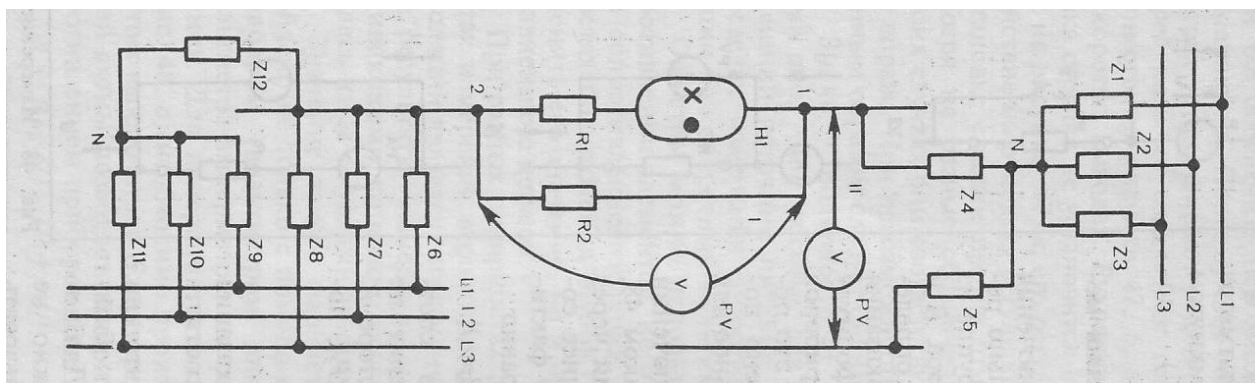


Рис. 49 К поиску дефекта в схеме на рис. 22

Обратимся к схеме, показанной на рисунке 22. Для установления причины дефекта измерим сперва напряжение на зажимах лампы $H1$. Так как напряжение питания 220 В постоянного тока, то применим вольтметр постоянного напряжения с пределом измерения 300 В.

Однако при подключении вольтметра к лампе его показания равны нулю (поз. I на рис. 49)

Подключив (вольтметр к зажимам источника питания (поз. II на рис. 49) видим, что его показания соответствуют 218 В.

Следовательно, постоянное напряжение питания есть, но не оно вызывает «подсветку» лампы.

Поэтому применим другой вольтметр, измеряющий переменное напряжение, который подключим к выводам лампы (см. поз. *I* на рис. 49).

В связи с тем, что напряжение сети переменного тока составляет 380 В, выбираем предел измерения 450 В. При измерении вольтметр показал, что напряжение на зажимах лампы равно 110 В. Попробуем измерить его точнее и перейдем на предел измерения 150 В. Показания вольтметра на этом пределе стали равны 60 В.

При выполнении измерений обнаружилось интересное явление - с уменьшением предела измерения уменьшаются показания вольтметра.

Снова изменим предел измерения и уменьшим его до 75 В. На этом пределе стрелка вольтметра остановилась на отметке 40 В, а лампа *H1* погасла. Почему?

В паспорте газосветной лампы указано, что напряжение зажигания для ламп этого типа не менее 60В. Именно поэтому она и погасла – напряжение на её выводах стало меньше напряжения зажигания.

Известно также, что с уменьшением предела измерения вольтметра уменьшается и его внутреннее сопротивление. Отсюда вполне понятно и уменьшение напряжения на зажимах лампы – оно происходит из-за увеличения тока в цепи.

Но что же за источник в данном случае питает лампу, если она реагирует даже на такое незначительное изменение нагрузки, которое происходит при изменении предела измерения вольтметра?

Конечно, это не может быть непосредственно ни сеть 220 В, от которой получает питание схема сигнализации, ни сеть 380 В, питающая электродвигатель.

Обратимся к составленной эквивалентной схеме (см. рис. 23, *а*) и нарисуем подключение лампы к источнику переменного напряжения 380 (см. рис. 49).

Из эквивалентной схемы видно, что вывод *1* лампы *H1* через сопротивление изоляции *Z4* полюса сети напряжением = 220 В соединён с нейтральной точкой, образованной сопротивлениями изоляции *Z1, Z2, Z3* фаз сети напряжением ≈ 380 В.

Второй вывод лампы через сопротивление изоляции *Z6, Z7, Z8* жил кабеля подключен с фазам напряжения ≈ 380 В.

Если предположить крайний случай, когда сопротивление изоляции между двумя жилам *Z6* (*Z7* или *Z8*) равно нулю, то лампа оказывается Подключенной к фазному напряжению сети по цепи:

N – Z4 – вывод 1 – лампа H1 – вывод 2 – фаза L1

В этом случае, когда ни одно из сопротивлений *Z6, Z7, Z8* не равно нулю, но и не равно друг другу, напряжение на выводе 2 лампы *H1* всегда будет зависеть от соотношений этих сопротивлений и будет меньше фазного.

Отметим, что в эквивалентной схеме нарисованы полные сопротивления, в которых учтено наличие ёмкости между жилами. Учитывая все

сказанное, можно с уверенностью сказать, что «лишняя» энергия, вызывающая свечение лампы $H1$, «проникает» в схему из сети переменного тока через сопротивления и ёмкости изоляции кабеля $E1$.

Поскольку сопротивление изоляции достаточно велико (соизмеримо с внутренним сопротивлением вольтметра), увеличение тока, возникающее при подключении вольтметра, приводит к уменьшению напряжения подсветки.

Таким образом, при поиске дефекта не только установлена его причина, но и найден способ, с помощью которого он может быть устранён. Для этого параллельно лампе $H1$ и резистору $R1$ необходимо подключить (см. комментарий к примеру 24) дополнительный резистор, аналогично тому, как подключали вольтметр.

Для измерения сопротивления изоляции при поиске дефекта используют различного типа **мегаомметры**. Источником испытательного напряжения в таких приборах служит генератор переменного напряжения с ручным приводом или специальный преобразователь, получающий электропитание от сети (рис. 50) или батареи.

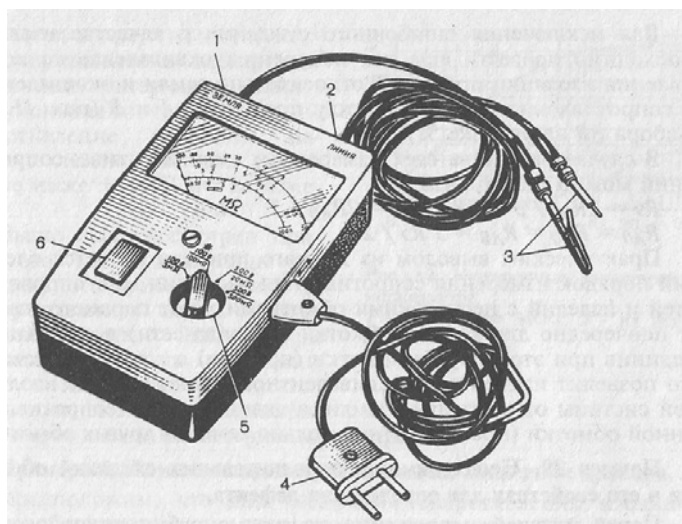


Рис. 50 Мегаомметр:

- 1 – гнездо «Земля», 2 – гнездо «Линия»,
3 – измерительные щупы, 4 – сетевой шнур,
5 – переключатель пределов измерения,
6 – выключатель питания

В отличие от других омметров напряжение на зажимах мегаомметра в зависимости от модификации прибора составляет 100, 500 или 2500 В.

Измеряя сопротивление изоляции какой-либо одной точки схемы, необходимо помнить, что во всех случаях прибор показывает не сопротивление элемента схемы, сосредоточенного в каком-то определенном месте, а некоторое эквивалентное сопротивление, обобщенно характеризующее состояние изоляции всех гальванически связанных цепей.

Пример 38. Измерение сопротивления изоляции.

Пусть необходимо измерить сопротивление проводника *A* относительно земли. При этом вместе с проводником *A* проложен проводник *B*. Сопротивление изоляции проводников между собой и между землей и проводниками условно показаны на схеме в виде резисторов R_{AB} , R_{AO} и R_{BO}

Прибор *PR* для измерения сопротивления изоляции фазы *A* подключается так, как показано на рис. 51. поз *I*.

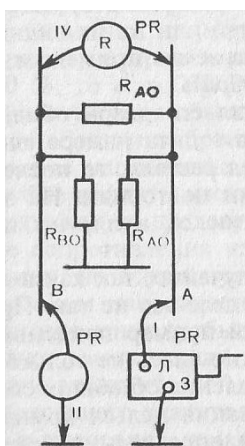


Рис. 51 Измерение
сопротивления
изоляции

При таком подключении прибор измерит результирующее сопротивление параллельно включенных сопротивления изоляции фазы *A* и суммарного сопротивления фазы *B* относительно корпуса и фазы *B* относительно фазы *A*, то есть некоторое эквивалентное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_{AO} (R_{BO} + R_{AB}) / (R_{AB} + R_{BO} + R_{AO}).$$

Из выражения видно, что $R_{\Sigma} = 0$ при R_{AO} . При равенстве нулю одного из двух других сопротивлений - R_{BO} или R_{AB} - эквивалентное сопротивление отлично от нуля и даже при $R_{\Sigma} > R_{норм}$ нельзя сказать об исправности изоляции проводника *A*.

Для исключения ошибочного суждения о качестве изоляции необходимо провести еще два измерения (поз. II и IV прибора *PR* на рис. 51):

- эквивалентного сопротивления изоляции провода *B* относительно земли;
- эквивалентного сопротивлению изоляции между проводами *A* и *B*.

В случае равенства всех измеренных эквивалентных сопротивлений можно сказать, что

$$R_{\Sigma} = 2 R_{AO} / 3 = 2 R_{BO} / 3 = 2 R_{AB} / 3$$

или

$$R_{AO} = R_{BO} = R_{AB} = 3 R_{\Sigma} / 2$$

Практическим выводом из данного примера является следующий порядок измерения сопротивления изоляции многопроводных сетей и изделий с несколькими обмотками.

Этот параметр измеряют поочередно для каждой обмотки (провода сети) в отдельности, соединив при этом другие обмотки (провода) с корпусом (землей), что позволит измерить не эквивалентное сопротивление изоляции всей системы относительно земли, а эквивалентное сопротивление данной обмотки (провода) относительно земли и других обмоток.

Пример 39. Необходимость для поиска дефекта дополнительных сведений об изделии и его свойствах.

Перед подачей напряжения на шит с рубильником, установленный вне помещения, измерили сопротивление изоляции жил кабеля, соединяющего его с распределительным шитом. Измерения выполняли мегомметром на выводных зажимах щита. Все три измерения, при которых мегомметр подключали между жилой и землей, показали, что сопротивление изоляции всех жил равно нулю.

Для осмотра щита с рубильником и проверки отсутствия в нем преднамеренных соединений жил с землей или же их видимых дефектов, приведших к замыканию жил на землю, применим сначала технологический переход **визуальный контроль**.

После открывания дверцы при осмотре щита обнаружили, что в месте входа кабеля в нижней части щита намерз слой льда (поиск дефекта выполняли зимой).

После сушки щита лед растаял. Измерение сопротивления изоляции повторили. На этот раз показания мегомметра стали отличными от нуля, но все-таки оставались еще ниже нормы.

На первый взгляд пример прерван случайно, так как в нем нет указаний на причину дефекта. На самом деле это не так. Приведен он здесь с другой целью. Рассмотренный пример показывает, что для успешного определения дефекта нужно знать не только технологические вопросы, но и иметь представление об общих свойствах изделий, материалов и т.п. и что эти знания нельзя компенсировать превосходным владением методиками поиска дефекта.

В данном случае причина уменьшения сопротивления изоляции заключается в том, что влага, всегда содержащаяся в электроизоляционных материалах, при уменьшении температуры влияет на сопротивление изоляции настолько сильно, что при температуре ниже $+10^{\circ}\text{C}$ его не измеряют.

Выше был рассмотрен пример того, как подключение измерительного прибора влияло на работу элемента схемы - газосветной лампы.

Однако при поиске дефекта возможны также и искажение результатов измерения, вызванные влиянием параметров схемы на измерительный прибор.

Пример 40. Влияние параметров схемы на показания прибора.

Предположим, что для измерения сопротивления изоляции электрооборудования номинальным напряжением 380 В выбран мегаомметр с напряжением 500 В и пределом измерения 1000 МОм.

Результат измерения показал, что сопротивление изоляции равно 10 МОм, что значительно превышает норму.

Обратимся теперь к нагрузочной характеристике выбранного нами мегаомметра (рис. 52).

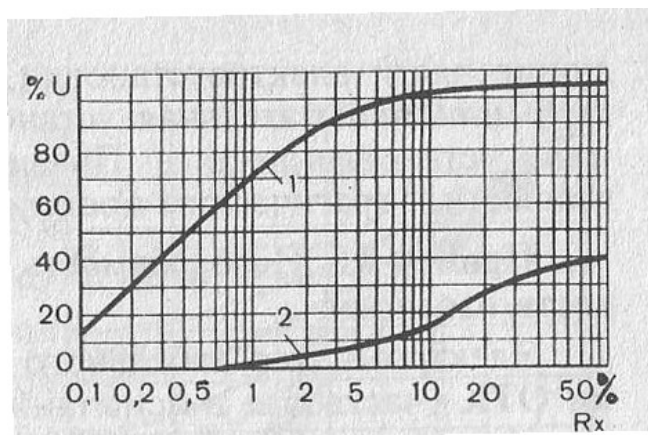


Рис. 52 Нагрузочные характеристики мегаомметра:

1- на пределе МОм, 2- на пределе кОм

Такая характеристика показывает зависимость напряжения на зажимах мегаомметра от значения измеряемого сопротивления изоляции.

На графике видно, что при сопротивлении изоляции 10 МОм, составляющей 1% от предела измерения, напряжение на зажимах прибора не превышает 70 %, то есть 270 В и, следовательно, ниже номинального напряжения питания объекта (380 В).

Таким образом, выбранный нами мегаомметр из-за влияния на его выходное напряжение сопротивления изоляции не может выявить грубые дефекты изоляции.

Для измерения сопротивления изоляции мегаомметр следует выбирать как по пределу измерения, так и по напряжению. Хотя значение сопротивления изоляции и не зависит от приложенного напряжения, но всегда нужно применять мегаомметр с возможно более высоким напряжением для того, чтобы при измерении выявить одновременно грубые дефекты изоляции.

Следует иметь в виду, что при измерении сопротивления или испытании электрической прочности изоляции электрооборудования, обладающего значительной емкостью изоляции (кабели, генераторы) в последней накапливается значительный заряд. Поэтому после испытаний или измерений необходимо заземлить те токоведущие части электроустановки, к которым подключались мегаомметр или высо-

ковольный испытательный прибор. Несоблюдение этого требования, может привести к трагическим последствиям.

Пример 41. Необходимость снятия заряда, накопившегося в емкости изоляции.

Электромонтер кабельного производства вместе с контролерами ОТК участвовал в испытании кабеля повышенным напряжением.

Измерения были неустойчивыми, поэтому электромонтер решил осмотреть схему присоединения кабеля к испытательной установке.

Не разрядив кабеля и не пользуясь защитными средствами он прикоснулся к жилам испытуемого кабеля и был смертельно травмирован.

Выполняя измерения мегаомметром, следует помнить, что правила требуют подключать прибор к заземленным токопроводящим частям электроустановки, а снимать заземление с токопроводящих частей только после подключения прибора.

Переносное заземление сначала подключают к заземляющему устройству, а затем, проверив отсутствие напряжения, присоединяют его к токопроводящим частям. Последствия, к которым приводит нарушение этого простого правила, показывает следующий пример.

Пример 42. Последствия неправильного наложения заземления.

Электромонтеры при подготовке рабочего места ошибочно зашли в неотключенную ячейку масляного выключателя и стали накладывать переносное заземление, предварительно не присоединив его к зажиму «Земля» и не проверив отсутствие напряжения. Они набросили заземление на шины и от образовавшейся дуги оба получили тяжелые ожоги.

Для заземления токоведущих частей запрещается вместо специальных переносных заземлений использовать проводники и случайно попавшие под руки металлические предметы.

Пример 43. Использование для заземления случайных предметов.

Электромонтер решил снять остаточный заряд с якобы обесточенного кабеля путем закорачивания каждой жилы кабеля при помощи гаечного ключа. При этом от возникшей дуги он получил тяжелые ожоги.

Задача 17. При контроле работоспособности электромашинного преобразователя типа АПО-500 на холостом ходу измеряли напряжение электромагнитным вольтметром и частоту электронносчетным частотомером. Частота периодически изменялась от 500 до 700 Гц, хотя тон звука, сопровождающего работу вращающегося преобразователя, не изменялся. Неизменными были и показания вольтметра.
Указать причину изменений показаний частотомера.

При поиске дефекта в релейно-контакторных схемах иногда приходится измерять мощность, потребляемую трехфазными асинхронными

электродвигателями. В связи с тем, что требования к погрешности измерения этого параметра обычно невелики (допускается погрешность от 5 до 10 %), то при доступности нулевой точки обмоток двигателя (соединение их в звезду или в двойную звезду) наиболее целесообразно применять ваттметровые клещи, не требующие разрыва главной цепи.

При определении мощности этими клещами выводы цепи напряжения подключают к выведенной нулевой точке обмоток и фазе, в которой измеряют ток. Значение потребляемой мощности находят по показаниям прибора в соответствии с выбранными пределами измерения по току и напряжению.

Если нулевая точка недоступна или отсутствуют ваттметровые клещи, потребляемую мощность можно оценить по результатам измерения тока с помощью токоизмерительных клещей.

Пример 44. Оценка мощности, потребляемой асинхронным электродвигателем.

Пусть необходимо оценить мощность, потребляемую электродвигателем со следующими номинальными данными:

$$P_{\text{ном}} = 10 \text{ кВт}, U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}, I_{\text{ном}} = 18 \text{ А}, n_{\text{ном}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$$

Мощность вычисляют по известной формуле:

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cos \varphi \cdot 10^{-3}$$

С изменением нагрузки на валу изменяется ток статора I и коэффициент мощности $\cos \varphi$. Поэтому между нагрузкой на валу и током статора нет прямой пропорциональности. Но данное затруднение помогают преодолеть обобщенные кривые, показывающие зависимость тока статора от нагрузки [22] и рассчитанные для двигателей с различными значениями тока холостого хода (рис. 53).

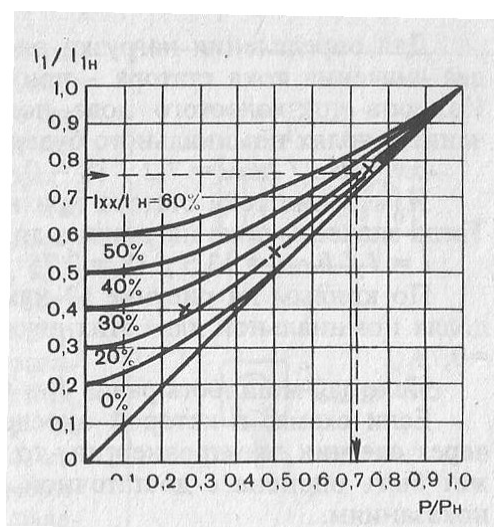


Рис. 53 Зависимость тока статора асинхронного электродвигателя от нагрузки

Для определения нагрузки электродвигателя с помощью этих

кривых необходимо знать два значения тока статора:

- при холостом ходе;

- под нагрузкой.

Пусть, измерив ток холостого хода, получили $I_{xx}=7,2$ А.

Тогда его значение в долях номинального тока будет равно

$$i_{xx} = I_{xx} / I_{ном} = 7,2 / 18 = 0,4$$

Измерение тока статора при нагрузке дало результат $I=13,3$ А. Тогда значение токи нагрузки в долях номинального тока составит

$$i = I / I_{ном} = 13,5 / 18 = 0,75$$

По кривым на рисунке 53 находим, что значение мощности в долях номинальной для этих двух измерений равно:

$$P = P / P_{ном} = 0,73$$

Тогда искомая мощность

$$P = 0,73 \cdot 10 = 7,3 \text{ кВт}$$

Если схема, в которой определяют дефект, получает питание через счетчик электроэнергии, то потребляемая ею мощность может быть оценена с достаточной для практики точностью по его показаниям.

Пример 45. Оценка мощности по показаниям счетчика электроэнергии².

Энергия, потребляемая схемой управления и главными цепями электропривода с асинхронным электродвигателем, учитывается электрическим счетчиком, показания которого перед пуском двигателя были 0347,30.

Когда электродвигатель остановился после непродолжительной (10 мин) работы, показания счетчика стали равны 0348,96.

Расход энергии за это время составил:

$$W = 0348,96 - 0347,30 = 1,66 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

По количеству израсходованной энергии можно оценить мощность, потребляемую электродвигателем:

$$P = W / t = 1,66 / (10/60) = 1,66 / 0,166 = 10 \text{ кВт}$$

Однако далеко не всегда при поиске дефекта удается обеспечить длительную работу схемы. Поэтому более удобно использовать не показания счетного механизма, а шкалу счетчика оборотов индукционного счётчика.

² В цифровых счётчиках предусмотрено прямое измерение мощности и выведение значения потребляемой мощности на дисплей прибора.

Мощность потребителя в этом случае определяют по числу оборотов диска n , совершенных за промежуток времени t по формуле:

$$P = C \cdot n / t,$$

где C – постоянная счётчика.

На щитке индукционного счётчика постоянная C записывается в виде равенства

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = n \text{ оборотов диска.}$$

Для составления диаграмм взаимодействия элементов, а также для поиска некоторых дефектов приходится определять изменение той или иной величины во времени или же находить ее значение в определенный момент времени.

Для этой цели простые показывающие измерительные приборы не-пригодны и вместо них или вместе с ними в настоящее время применяют различные цифровые регистрирующие приборы³.

В качестве примера на рис. 54 показана осциллограмма изменения тока в катушке реле. На ней видны три характерных участка.

Участок Oa соответствует возрастанию тока в катушке реле от момента его включения до момента трогания якоря.

Кривая на участке ab показывает изменение тока в катушке при движении якоря.

Последний участок bc отражает изменение тока в катушке реле после остановки якоря.

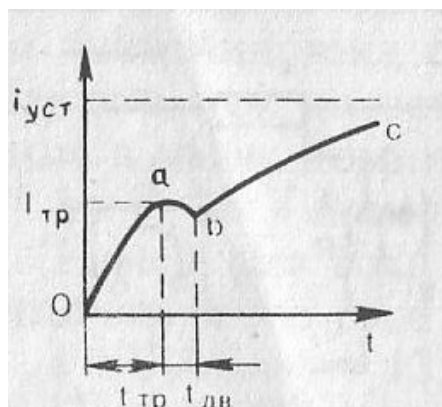


Рис. 54 Осциллограмма
изменения тока в катушке реле

Ток или напряжение подают непосредственно на вход цифрового регистрирующего прибора, если диапазон изменения контролируемого сигнала соответствует допустимому для данного прибора.

³ Ранее для этой цели применяли светолучевые осциллографы с гальванометрами или самописцы (для медленно протекающих процессов).

Если диапазон изменения контролируемого сигнала превышает допускаемое значение, то используют трансформаторы тока (напряжения), измерительные шунты и т.п. вспомогательные устройства.

Например, если необходимо записывать напряжение не постоянно, а только после достижения им заранее заданного значения, в измерительную схему включают стабилитрон (рис. 54, а).

Для записи напряжения определенной полярности или половины синусоиды используют полупроводниковые диоды (рис. 54, б).

Последовательность срабатывания контактов контролируемого объекта помогает определить схема с резисторами, шунтируемые этими контактами (рис. 54, в).

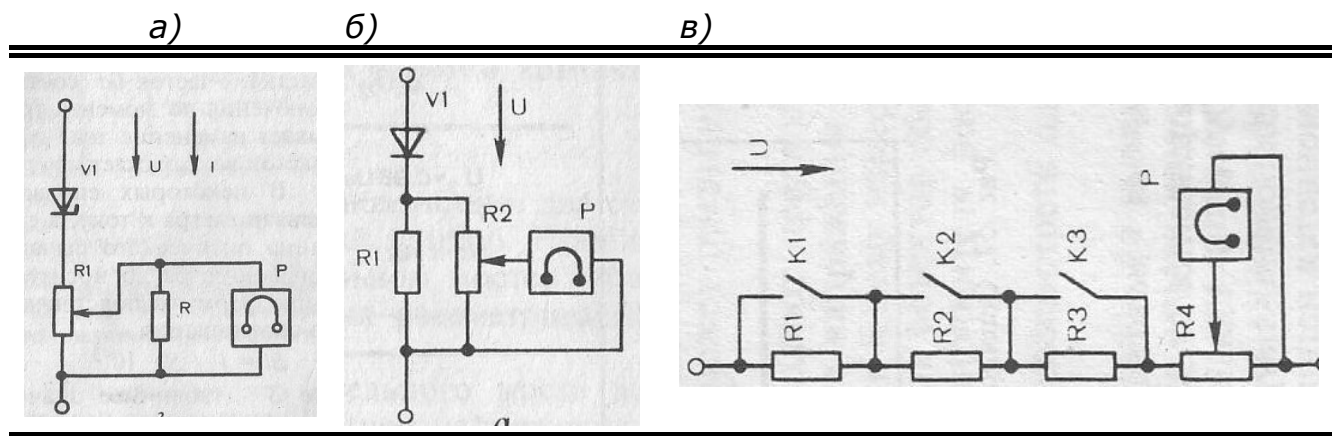


Рис. 55 Схемы подачи сигналов на вход осциллографа:
а - со стабилитроном, б - с диодом, в - с резисторами и контактами

Пример 48. Определение последовательности взаимодействия контакторов переключении питания.

При контроле за работой переключателя питания необходимо записывать напряжение двух источников U_1 и U_2 .

Для удобства записи на каждый из входов осциллографа будем подводить однополупериодное напряжение, выпрямляемое диодом (см. рис. 55,б), поэтому на осциллограмме будет записана только половина синусоиды каждого напряжения (на рис. 56 показаны огибающие этих синусоид).

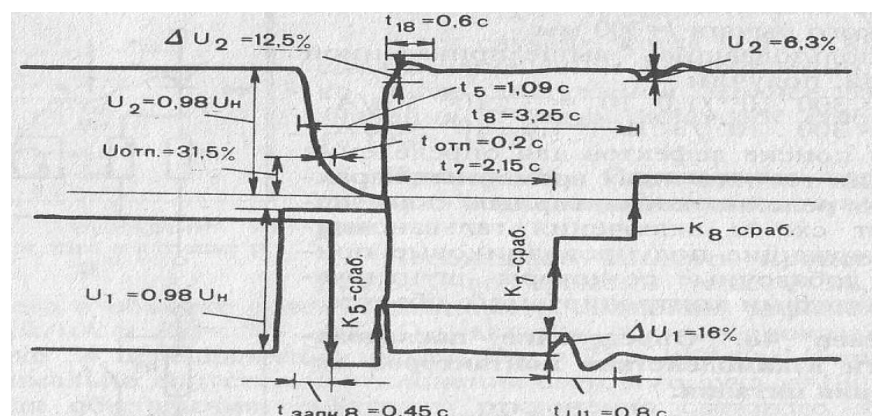


Рис. 56 Осциллограмма процесса переключения питания

Чтобы определить очередность срабатывания контакторов, используем еще один вход осциллографа, на который через делитель, собранный на резисторах (см. рис. 55, в) подадим постоянное напряжение. Контакты проверяемых контакторов при срабатывании шунтируют соответствующие резисторы, что приводит к изменению напряжения, подаваемого на вход осциллографа.

Полученная осциллограмма показывает, что контактор *K8* отпустил через 0,2 с после того, как напряжение *U2* в момент времени *t2* стало равным $U_{отп} = 31,5 \% U_{ном}$. Таким образом, от момента *t1*, когда началось снижение напряжения, до момента срабатывания контактора *K8* прошло время $t3=0,45$ с.

Этот промежуток и составляет время запаздывания контактора *K8*:

$$t_{запK8} = t3 - t1.$$

В момент времени *t4* сработал контактор *K5* и подал напряжение *U1* от другого источника. Таким образом, от момента исчезновения напряжения *U2* до подачи напряжения от другого источника *U1* прошло время, равное

$$t4 - t1 = 1,09 \text{ с.}$$

В связи с тем, что к переключателю питания была подключена нагрузка, напряжение в момент срабатывания контактора *K5* изменяется на 12 %.

Остальная нагрузка подключается контакторами *K7* и *K8* не одновременно, а через некоторый промежуток времени после подачи напряжения *U2* в момент *t5* (через 2,15 с) и *t6* (через 3,25 с).

Осциллограмма напряжений показывает, что моментом включения нагрузки соответствует изменения напряжения на 16 и 6,3%.

По данным осциллографирования построена диаграмма взаимодействия элементов (рис. 57), которую используют при регулировке уставок отпускания и срабатывания реле, управляющих работой контакторов *K5*, *K7*, *K8*.

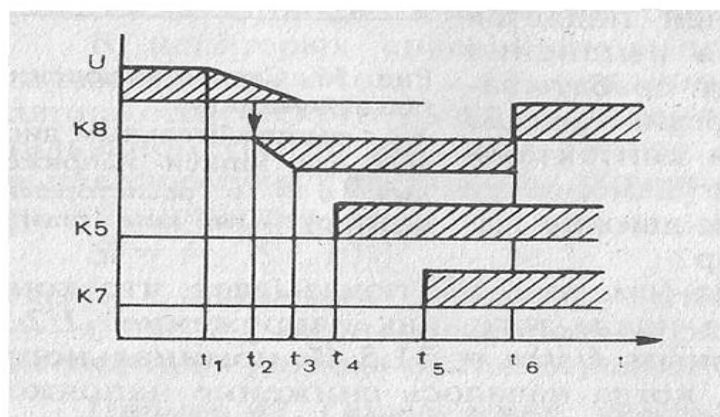


Рис. 57 Диаграмма взаимодействия контакторов при переключении питания