

Библиотечка электротехника

Приложение к журналу «Энергетик»

Основана в июне 1998 г.

В ы п у с к 4 (136)

О. Г. Захаров

ПОИСК ДЕФЕКТОВ В РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМАХ

(Часть 1)

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2010

УДК 621.316.925
ББК 31.27-005
3-38

Главный редактор журнала «Энергетик» А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

«Библиотечки электротехника»

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, В. И. Пуляев, А. И. Таджикибаев, Ю. В. Усачев

Захаров О. Г.

3-38 Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах (часть 1).
М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. — 96 с.: ил. [Библиотечка
электротехника, приложение к журналу «Энергетик»,
Вып. 4 (136)]

Рассмотрена иллюстрированная практическими примерами технология поиска дефектов в релейно-контакторных схемах и электроустановках напряжением до 1000 В.

Приведены задачи на самостоятельный поиск дефектов и ошибок в схемах, снабженные комментариями и пояснениями.

Даны рекомендации по соблюдению мер безопасности, дополненные описанием несчастных случаев с указанием причин электротравм.

ISSN 0013-7278 © НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010

Предисловие

Профессия электрика связана с изготовлением, монтажом, настройкой, ремонтом и обслуживанием разнообразного электрооборудования. При этом неперенной частью его работы является поиск дефектов. Необходимость своевременного обнаружения и устранения дефектов трудно переоценить, так как чем совершеннее и производительнее электрооборудование, тем значительнее экономический ущерб от его простоя или нерационального использования даже в короткие промежутки времени. Вот почему так важно умение электриков находить дефекты в электрооборудовании.

В предлагаемой брошюре не приведены перечни возможных дефектов, их причин и способов устранения, как это сделано в руководствах по эксплуатации или в известных работах [1 – 3]. Вместо этого после описания внешних проявлений того или иного дефекта и результатов эксперимента, проведенного на реальном электрооборудовании, дается анализ полученных результатов и определяется причина дефекта.

Возникающие при использовании такого способа поиска дефектов трудности должна помочь преодолеть описанная в брошюре технология, поясняемая практическими примерами и задачами, в которых рассмотрено также применение специальных и универсальных средств технологического оснащения. Ответы на задачи не приводятся, так как знание ответа подсказывает ход решения задачи и сковывает инициативу по отысканию других возможных путей решения. Однако практически ко всем задачам даны комментарий или пояснения, помогающие самостоятельно найти дефект.

Поскольку описание технологии поиска дефектов требует использования специальной терминологии, обозначающей специфические понятия технической диагностики и смежных областей науки и техники, то данная брошюра начинается с пояснения терминов и обозначаемых ими понятий на практических примерах.

В брошюре основное внимание уделено поиску дефектов в электрооборудовании напряжением до 1000 В. Однако описанные мето-

ды и некоторые технологические переходы можно применять при поиске дефектов в обесточенных электроустановках и электрооборудовании напряжением выше 1000 В.

Помимо технологии определения дефектов и сведений, специфических для данного вида работ, приведены конкретные меры безопасности, которые надо соблюдать при работе. Невозможно указать все меры безопасности, поэтому электрик должен знать и соблюдать как общие, так и специальные меры безопасности, установленные «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также отраслевые (ведомственные) правила, действующие на предприятии, где электрик выполняет работу по поиску дефектов.

Предлагаемая вниманию читателей брошюра не заменяет нормативные документы, поэтому при использовании технологии поиска дефектов необходимо также руководствоваться документами, определяющими порядок выполнения тех или иных работ в электроустановках на предприятии.

Для составления примеров и задач по определению дефектов автор использовал данные многолетней практики настройки и испытаний электрооборудования, а также практический опыт коллег. Незначительное число примеров дефектов в релейно-контакторных схемах и их описаний, касающихся в основном поиска дефектов в схемах при их анализе, заимствовано из технической литературы и документации.

Некоторые примеры даны со ссылками на источник, и указаны фамилии специалистов, их предоставивших. Автор приносит свои извинения за невозможность указать фамилии всех специалистов, предоставивших ему примеры дефектов и ошибок в релейно-контакторных схемах.

**Замечания и пожелания по брошюре
просьба направлять по адресу:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.
Редакция журнала “Энергетик”**

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Пояснение основных понятий и определений

Изложение материала предварим необходимыми пояснениями используемых понятий и определений.

Так, слово *схема* употребляется для обозначения документации электроустановки или электротехнического изделия. В том случае, когда необходимо обратиться к какому-либо документу, к этому слову будет добавляться слово, поясняющее рассматриваемую схему.

Если релейно-контакторная схема (для краткости в дальнейшем изделие или объект) соответствует всем установленным в документации требованиям, то принято говорить, что она находится в *исправном состоянии*. Когда такого соответствия нет, то говорят о *неисправном состоянии* изделия или о его *неисправности*.

Переход изделия из исправного состояния в неисправное происходит вследствие дефектов. Слово *дефект* употребляется для обозначения каждого отдельного несоответствия изделия установленным в документации требованиям.

Из определений следует, что устранить неисправность изделия нельзя, но можно устранить дефект в изделии. Если он единственный, то после его устранения изделие перейдет в исправное состояние.

Дефекты в изделии могут возникать в разные моменты его *жизненного цикла*: при изготовлении, монтаже, настройке, эксплуатации, испытаниях, ремонте — и иметь различные последствия.

По последствиям различают *критические*, *значительные* и *малозначительные* дефекты. Наличие критических дефектов делает использование изделия по прямому назначению *невозможным* или *недопустимым*.

Пример 1. Критический дефект

В качестве примера изделия выбираем реле постоянного тока на номинальное напряжение 110 В, катушка которого имеет $w_x = 10\,000$ витков, а ее сопротивление $R_x = 2200$ Ом.

Другие параметры:

- номинальный ток $I_{\text{ном}} = 0,05$ А;

- ток срабатывания $I_{\text{ср}} = 0,033 \text{ А}$;
- коэффициент запаса $K_{\text{зп}} = 1,5$;
- номинальная магнитодвижущая сила (МДС) $Aw = 500 \text{ А}$.

Пусть в катушке существует дефект, приведший к закорачиванию 90 % витков и уменьшению сопротивления катушки до $R_2 = 220 \text{ Ом}$ (если предположить, что все витки имеют одинаковую длину).

При напряжении 110 В этому сопротивлению будет соответствовать ток $I_2 = 0,5 \text{ А}$ и МДС $Aw_2 = I_2 w_2 = 0,5 \cdot 1000 = 500 \text{ А}$.

Хотя цифры показывают, что значение МДС не изменится и реле сможет притянуть свой якорь, но сколько-нибудь длительная работа реле с таким дефектом невозможна, так как после подведения к дефектной катушке номинального напряжения обмоточный провод, перегруженный током в 10 раз, перегорит практически мгновенно.

Значительные дефекты ограничивают возможность использования изделия по прямому назначению или сокращают его *долговечность* (см. пример 6).

Пример 2. Значительный дефект

Пусть в катушке реле, рассмотренного в примере 1, возник дефект, приведший к замыканию 20 % витков, т.е. в ней осталось 8000 действующих витков.

Предполагая по-прежнему пропорциональность между количеством витков и сопротивлением обмотки, можно определить, что сопротивление дефектной обмотки $R_3 = 1760 \text{ Ом}$.

Это сопротивление при напряжении 110 В ограничит ток в катушке до значения $I_3 = 0,062 \text{ А}$. Следовательно, МДС $Aw_3 = 0,062 \times \times 8000 = 496 \text{ А}$.

Таким образом, и при данном дефекте МДС будет достаточной для срабатывания реле, однако увеличение тока через обмотку практически на 25 % приведет к перегреву изоляции катушки сверх допустимого и преждевременному отказу реле, хотя оно и сможет проработать некоторое время.

Если наличие дефекта не оказывает влияния на работу изделия, то его называют малозначительным.

Пример 3. Малозначительный дефект

В катушке реле, параметры которого приведены в примере 1, закорочено 5 % витков, сопротивление которых равно примерно 2090 Ом. Это сопротивление ограничит ток в катушке до значения $I_4 = 0,053 \text{ А}$, что соответствует МДС $Aw_4 = I_4 \cdot w_4 = 503 \text{ А}$.

Если учесть, что в документации реле установлен 10 %-ный допуск на номинальный ток, т.е. $I_{\text{ном max}} = 0,055 \text{ А}$, то увеличение тока на 0,003 А нельзя обоснованно отнести к дефекту реле или его катушки, так как $I_4 < I_{\text{ном max}}$.

В связи с тем что увеличение тока не превосходит допустимого для данного реле, дефект, вызвавший его, не влияет на работу реле.

Рассмотренные примеры показывают, что не только разные дефекты, но один и тот же вид дефекта [в нашем случае — короткое замыкание (КЗ) витков катушки] могут иметь неодинаковые последствия. Само же наличие дефекта в изделии далеко не всегда влияет на его способность выполнять свои функции.

В подтверждение сказанного приведем пример, где в качестве объекта рассмотрена гирлянда электрических ламп. Этот достаточно простой объект будет использован еще в нескольких примерах, при рассмотрении основных технологических вопросов поиска дефектов.

Простота объекта позволит, не отвлекаясь на пояснения принципа его действия и происходящих в нем процессов, обратить внимание только на вопросы поиска дефектов.

Пример 4. Различное проявление одинаковых дефектов

Пусть в объекте, представляющем собой переносной светильник (рис. 1, а), произошло КЗ между выводами лампы.

При подключении светильника к источнику питания произойдет КЗ в источнике. В данном случае по своим последствиям КЗ в лампе является критическим дефектом.

Другой объект — гирлянда электрических ламп (рис. 1, б). Точно такой же дефект в этом объекте может привести к различным последствиям в зависимости от числа ламп в гирлянде. В частности, при 25 лампах или более и сумме их номинальных напряжений, превосходящей напряжение сети, КЗ в одной из ламп не приведет к увеличению напряжения сверх допустимого на каждую из оставшихся исправными ламп и к заметному возрастанию яркости свечения остальных ламп.

Хотя внешне оба дефекта проявляют себя одинаково (отсутствие свечения неисправной лампы), по своим последствиям КЗ в одной из ламп гирлянды не приводит к КЗ источника электроэнергии и для всей гирлянды является по принятой классификации малозначительным дефектом.

Кроме исправного и неисправного состояний в технической диагностике различают *работоспособное* и *неработоспособное* состояния.

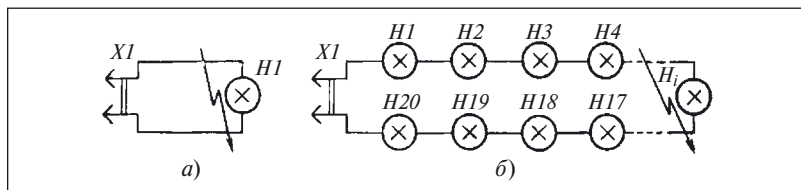


Рис. 1. Различное проявление одинаковых дефектов:

а — в переносном светильнике; б — в гирлянде электрических ламп

Работоспособным считается изделие, способное выполнять возложенные на него функции при сохранении значений заданных параметров в заранее установленных пределах. В противном случае изделие неработоспособно.

Хотя любое исправное изделие является одновременно и работоспособным, но о работоспособном изделии не всегда можно сказать, что оно исправно. В примерах 3, 4 показано, что и неисправные изделия могут выполнять возложенные на них функции.

Нарушение исправного состояния изделия при сохранении его работоспособности происходит в результате *повреждения*, а при нарушении работоспособности — из-за *отказа*.

Из приведенных определений следует, что хотя отказ изделия и вызывается наличием в нем тех или иных дефектов, однако само по себе появление дефекта не всегда приводит к отказу (см. примеры 3, 4).

Отказы, не связанные с неисправностью других элементов, называют *независимыми*, а возникающие как следствие другого — *зависимыми*.

Пример 5. Зависимый отказ

В контакторах некоторых типов используют секционированные катушки (рис. 2).

При включении контактора работает секция катушки *K1.1*, называемая *пусковой* или включающей. Вторая же секция катушки *K1.2* в это время зашунтирована размыкающим контактом *K1.3* контактора. В зависимости от габарита контактора ток, протекающий через пусковую секцию, может находиться в пределах 8 — 15 А.

После того как подвижная система контактора переместится в конечное положение, контакт *K1.3* разомкнется и в работу включится удерживающая катушка *K1.2*, а ток уменьшится до 0,2 — 0,8 А.

Предположим, что в контакторе существует дефект, препятствующий размыканию контакта *K1.3*. В этом случае через некоторое время после подачи напряжения на катушку от перегрузки перегорит провод, которым намотана включающая катушка. Провод этой катушки рассчитан только на кратковременную, в течение долей секунды, работу в момент включения контактора.

Таким образом, дефект контакта *K1.3* приводит к отказу контактора.

Отказы в зависимости от причин, вызывающих их появление, подразделяются на *систематические* и *случайные*.

Систематические отказы изделий возникают при нарушении технологических процессов их изготовления или монтажа, настройки или эксплуатации, ремонта или испытаний. Причины таких отказов могут быть выявлены и устранены.

Случайные отказы представляют собой хотя и нежелательное, но вполне естественное явление и характерны для любого технического объекта.

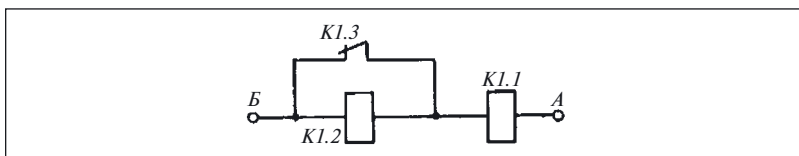


Рис. 2. Секционированная катушка

Вероятность таких отказов определяется показателями его надежности: *наработкой на отказ, вероятностью безотказной работы, долговечностью* и др.

Проиллюстрируем взаимосвязь некоторых из перечисленных показателей.

Пример 6. Нарботка на отказ и долговечность

«Иногда новая установка сразу отказывает или работает плохо. В таких случаях немедленно принимают необходимые меры. Или сначала все хорошо, затем работа ухудшается, и, наконец, наступает отказ: электроустановка выходит из строя, например через 3 мес, хотя срок ее службы 16 лет¹».

Здесь приведены две характеристики надежности — наработка на отказ (продолжительность работы до первого отказа) и долговечность (срок службы). В соответствии с принятой системой понятий для *ремонтпригодных* изделий наработка на отказ всегда меньше срока их службы. Таким образом, если для данного изделия установлена наработка на отказ меньшая или равная 3 мес, то его отказ закономерен. В том же случае, когда установленная наработка на отказ превышает 3 мес, можно говорить о низкой фактической надежности данного изделия.

По-иному обстоит дело с *неремонтпригодными* изделиями, для которых наработка на отказ всегда должна быть не меньше срока их службы. Таким образом, отказ неремонтпригодного изделия со сроком службы 16 лет через 3 мес работы — явление ненормальное.

Однако следует помнить, что все показатели надежности являются случайными величинами и поэтому по преждевременному отказу одного единственного изделия нельзя обоснованно судить о надежности других изделий данного типа.

В примере 3 был рассмотрен случай, когда дефект в изделии внешне себя не проявил. Каким же образом можно узнать о существовании этого или любого другого дефекта в том или ином изделии, не дожидаясь возникновения отказа, аварии или других нежелательных последствий?

¹ Сохранена терминология, использованная в [10].

Прежде всего, дефект в изделии проявляется во время его на- стройки, испытаний или при плановой профилактической проверке по признакам, позволяющим установить факт нарушения его исп- равности или работоспособности.

На основании этих признаков фактическое состояние изделия относят к одному из четырех названных выше состояний (исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное) или же к *преде- льному состоянию*, когда выполнение каких-либо настроечных или ремонтных работ нецелесообразно и изделие должно быть заменено новым.

Упомянутые выше признаки принято называть *критериями де- фекта*; задаются они в документации изделия в виде перечня пара- метров или характеристик с указанием допустимых пределов их из- менения — *допусков*.

Пример 7. Критерии дефектов

Пусть работоспособное состояние катушки реле характеризуется только одним параметром — сопротивлением $R = (2200 \pm 150) \text{ Ом}$. В этом случае при плановой профилактической проверке реле было бы установлено, что значение фактического сопротивления выхо- дит за пределы допуска, это указывало бы на существование дефек- тов, рассмотренных в примерах 1, 2. В то же время катушка реле с де- фектом, указанным в примере 3, была бы отнесена к исправной.

О существовании дефекта в изделии, работающем по прямому назначению, узнают по срабатыванию устройств защиты и сигнали- зации или по возникновению недопустимых отклонений контроли- руемых параметров.

Пример 8. Установление факта существования дефекта

Потребитель электроэнергии получает питание через контакты автоматического выключателя (автомата), снабженного зависимым расцепителем, имеющим времятоковую характеристику, показан- ную на рис. 3.

Если автомат не отключает электропитание потребителя, то счита- ют, что дефекты в системе питания электроустановки отсутствуют. В противном случае считают, что дефект существует, и приступают к выяснению причины, вызвавшей срабатывание расцепителя.

Естественно, что исправность расцепителя и самого автомата надлежит периодически проверять.

Наконец, о существовании дефектов в изделии свидетельствует возникновение той или иной *аварийной ситуации (аварии)*. В отли- чие от рассмотренных ранее, такая ситуация не является нормой и должна рассматриваться как чрезвычайное происшествие.

Резюмируя сказанное, отметим, что в технической диагностике независимо от того, каким образом выявлен факт существования де- фекта, к поиску дефекта приступают после того, как он себя проявил.

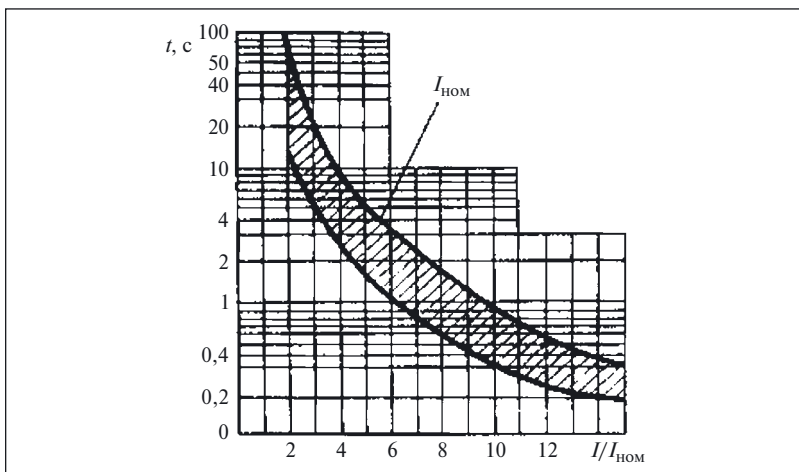


Рис. 3. Времятоковая характеристика автоматического выключателя

По приведенному выше определению любой дефект представляет собой отклонение от какой-либо нормы. Пока такого отклонения нет, т.е. дефект не проявился, нет и самого дефекта. Поэтому существующее мнение о том, что дефекты надо обнаруживать и устранять заблаговременно, чтобы они себя не проявили [10, с. 110], ошибочно, поскольку это противоречит основным понятиям технической диагностики и теории надежности¹.

Производя те или иные проверки, не всегда удастся выявить факт существования дефекта в изделии (см. пример 3), поэтому по отношению к *правилам, методам и средствам контроля* все дефекты подразделяют на *явные и скрытые*.

Явные дефекты могут быть обнаружены методами и средствами контроля, предусмотренными в документации на изделие. Например, пусть в документации на реле установлен только один способ контроля исправности катушки — по сопротивлению обмотки. В этом случае дефекты, описанные в примерах 1 и 2, по принятой классификации относятся к явным. Дефект, указанный в примере 3, для этого способа контроля является скрытым.

Такая классификация не дает оснований говорить, что скрытые дефекты вообще нельзя обнаружить. Просто отдельные дефекты скрыты от какого-либо конкретного способа контроля и для их выявления следует применять иной способ.

¹ Подробно о прогнозировании отказов можно прочитать в [33].

Пример 9. Выявление скрытого дефекта

Пусть работоспособное состояние катушки характеризуется двумя параметрами:

- сопротивлением обмотки $R_1 = 2200 \pm 150 \text{ Ом}$;
- током $I_1 = 0,05 + 0,002 \text{ А}$.

Следовательно, исправность катушки контролируют по результатам измерения сопротивления и тока. При таком способе контроля дефект (см. пример 3) перестает быть скрытым, так как фактическое значение тока $I_1 = 0,053 \text{ А}$ превышает допустимое $0,052 \text{ А}$.

Любые же дефекты обмотки реле, уменьшающие ее сопротивление менее чем на 150 Ом или же приводящие к увеличению тока, потребляемого ею, не более чем на $0,02 \text{ А}$, для этого способа контроля работоспособности должны быть отнесены к скрытым.

При возникновении дефекта в изделии появляются конкретные изменения (обрыв провода, неправильное соединение элементов между собой, не предусмотренное схемой замыкание токопроводящих частей, поломка деталей). Эти изменения называют *характером дефекта*.

По этому признаку дефекты подразделяют на *электрические* и *неэлектрические*.

К электрическим дефектам относят нарушения контактных соединений, КЗ, обрыв электрических цепей, ошибки в соединениях элементов между собой и т.п.

Из всех возможных неэлектрических дефектов обратим внимание только на некоторые механические дефекты — неполадки в креплениях элементов, в системах передач и от исполнительных двигателей (серводвигателей) к органам управления, в подвижных частях реле и контакторов и др.

До сих пор приводились примеры одного дефекта в изделии. Однако в общем случае в изделии может существовать более одного дефекта, и тогда говорят, что в изделии есть *кратные дефекты*. Тем не менее и в работах по технической диагностике, и в данной брошюре процесс поиска дефекта описан в предположении, что в изделии в каждый момент существует только один дефект.

Такая условность вызвана как малой вероятностью одновременного возникновения двух, а тем более трех или четырех дефектов, так и тем, что наиболее ярко проявляется всегда один дефект, а другой (или другие) на его фоне остается необнаруженным.

К поиску кратных дефектов приступают тогда, когда после устранения первого, обнаруженного при контроле исправности и работоспособности изделия, устанавливают наличие еще одного дефекта.

Иногда считают, что возможны случаи, когда кратные дефекты компенсируют друг друга. Однако это не соответствует истинному положению вещей, что следует из введенного выше определения понятия *дефект*. На самом же деле при наличии кратных дефектов воз-

можно, кроме яркого проявления одного из них, искажение внешних проявлений из-за совместного действия нескольких дефектов.

Пример 10. Кратные дефекты

Основой схемы защиты электроустановки от короткого замыкания является релейная часть, реагирующая на один из параметров КЗ и подающая сигнал на отключающий электромагнит автоматического выключателя, через который данная электроустановка получает питание.

Пусть в релейной части существует дефект, приводящий к ее срабатыванию как при КЗ в защищаемой схемой зоне, так и вне ее. Пусть одновременно с этим существует и второй дефект, приведший к отказу отключающего электромагнита.

В связи с тем что по технологическим соображениям защищаемая установка не отключается от электропитания, дефект отключающего электромагнита никак не проявляется. Из-за наличия такого дефекта не проявляется и дефект в релейной части, хотя она и срабатывает при КЗ вне зоны защиты.

Таким образом, внешне схема защиты и автоматический выключатель ведут себя как вполне исправные.

Если необходимо избежать аварийной ситуации, возникающей при КЗ в защищаемой зоне, то узнать о существовании дефекта можно при проведении периодических совместных проверок защиты и привода выключателя без разрывов цепей управления. Но для того, чтобы установить факт одновременного существования двух конкретных дефектов, такой проверки уже недостаточно и требуется разработка специальных критериев и методик, позволяющих вынести обоснованное заключение о том, что внешние проявления, характерные для данной проверки, являются результатом совместного существования только этих двух дефектов и никаких других.

Аналогичная картина будет не только при отказе электромагнита, но и при обрыве любого проводника, соединяющего электромагнит с релейной частью, а также при нарушении любого из контактных соединений в цепи электромагнита и других подобных дефектах.

К несрабатыванию релейной части при КЗ в зоне защиты может привести и наличие КЗ во вторичной цепи трансформатора тока, формирующего сигнал, поступающий на вход релейной части.

Примеров, похожих по проявлению дефектов, можно привести еще много. Поэтому оказывается не только удобным, но и более правильным приступать к поиску дефекта (после установления факта его существования), предполагая, что в изделии существует только один дефект.

Как видно из примера 10, одинаковые проявления различных дефектов не позволяют в каждом конкретном случае указать, какие именно конкретные дефекты существуют в изделии. В нашем случае

можно только перечислить группу дефектов, имеющих одинаковые внешние проявления (или имеющих одинаковый *образ* [32]).

Пример 11. Внешние проявления кратных дефектов

Пусть исправность воспринимающей части реле проверили измерением тока, потребляемого катушкой, и результат измерения $I > I_{\text{доп}}$. Таким образом, проверка показала, что в реле существует дефект.

К увеличению тока в катушке приводят не только электрические (например, КЗ), но и механические (в подвижной части реле) дефекты.

Обнаруженное увеличение тока сверх допустимого может быть следствием существования как одного электрического или одного механического дефекта, так и одновременно двух этих дефектов.

Данный пример иллюстрирует тот факт, что проявление кратных дефектов может совершенно не отличаться от проявлений одиночных и только по увеличению тока в катушке нельзя сказать, по какой именно причине оно произошло.

Для выявления кратных дефектов поступают иначе. Сначала находят тот дефект, который проявляет себя наиболее ярко, а затем, устранив его причину, еще раз проверяют работоспособность изделия.

Если такая проверка подтверждает наличие отклонений от установленных для изделия допусков, то приступают к поиску того дефекта, который соответствует выявленным отклонениям.

Применительно к примеру 11 это означает, что при $I > I_{\text{доп}}$ следует прежде всего убедиться в отсутствии короткозамкнутых витков (например, измеряя сопротивление катушки), а затем, если сопротивление в норме, проверить механическую часть реле.

Однако можно действовать и по-другому — проверить сначала механическую часть реле, а затем его катушку.

Таким образом, оказывается, что даже при поиске такого элементарного дефекта не просто выбрать ту или иную последовательность проверок, а также *технологические переходы*¹, с помощью которых эти проверки реализуются. Поэтому в технической диагностике дефект определяется на основании какого-либо *метода*, устанавливающего правила применения определенных принципов, технологических средств и выбор технологических переходов для реализации проверок.

Независимо от выбранного метода необходимо предварительно изучить изделие, установить возможные дефекты в нем и их признаки, разработать *модели изделия*, которые описывают исправное и не-

¹ Технологическим переходом называют законченную часть технологической операции, отличающуюся неизменностью используемых средств технологического оснащения. В нашем случае операцией является поиск дефекта, а один из технологических переходов — *измерение* — был рассмотрен в примерах 1 — 3.

исправное состояния, определить последовательность и состав проверок, выбрать технологические переходы для их реализации.

Для успешного поиска дефекта нет необходимости знать все об элементах, составляющих реальный объект, связях между ними, а также о различных «тонкостях» и «особенностях» его работы. Более того, излишняя информация зачастую не только не ускоряет поиск, а, наоборот, затрудняет его, в частности из-за того, что далеко не всякий дефектный элемент может быть заменен на исправный. Поэтому при определении *глубины поиска* ориентируются прежде всего на уровень сменного блока (плату, узел, модуль и т.п.) и значительно реже — на уровень элемента. Именно поэтому при отыскании дефекта реальный объект заменяют моделью.

Необходимо иметь в виду, что одно и то же изделие может быть представлено разными моделями в зависимости от того, какие его свойства интересуют в данный момент.

Наиболее распространенными моделями служат различного рода схемы (*структурные, функциональные, принципиальные, подключения, соединений, эквивалентные* и др.), отличающиеся тем, что представляют одно и то же изделие с разных сторон и с разной степенью детализации. Поэтому в качестве моделей используют прежде всего схемы изделий. И только в тех случаях, когда для отыскания дефекта недостаточно схемы, составляют специальные диагностические модели, предназначенные для определения дефектов. Можно использовать как какую-то одну модель, так и несколько, заменяя их в процессе поиска дефекта.

Из всех используемых наиболее распространена диагностическая модель в виде перечня дефектов (табл. 1).

Таблица 1. Диагностическая модель в виде перечня дефектов для системы световой и звуковой сигнализации

Внешние проявления	Причина и способ устранения
Цепи проверки ламп не работают	Неисправно реле. Обрыв проводника. Заменить соответствующее реле и проводник
При нажатии кнопки «Проверка ламп» лампы табло не горят	Неисправные лампа, патрон лампы, диод в схеме сигнализации. Заменить соответствующую лампу (ламповый патрон, плату с диодами)
Цепи «Проверка работы» не работают	Неисправны реле. Заменить реле
При проверке работы одна из ламп не мигает	Неисправна лампа. Обрыв проводника. Заменить лампу или проводник
Не включается сирена	Неисправны реле или блок логики. Заменить реле или плату блока логики

Примечание. Общие указания — при возникновении дефекта проверить наличие питания системы путем проверки ламп «Нет питания», «Контроль системы»; проверить затяжку всех винтовых соединений.

Таблица 2. Фрагмент диагностической модели в виде перечня дефектов для цифрового блока релейной защиты

Внешние проявления	Причина	Действия по устранению
Все индикаторы и дисплей погашены	Отсутствует питание (оперативный ток). Неисправен МПВВ. Неисправен МЦП	Проверить наличие напряжения питания. Заменить МПВВ. Заменить МЦП
Дисплей после нажатия кнопок не включается в течение 10 с	Пониженная контрастность дисплея. Неисправен МЦП. Неисправен пульт	Отрегулировать контрастность дисплея. Заменить МЦП. Заменить блок
После подачи питания мигает или погашен индикатор «Работа». На дисплее в меню «Тест» надписи: «Неисправен», «МЦП УСТ»	Разрушены или не введены значения уставок и положения программных ключей	Ввести новые значения уставок и положений программных ключей. Если дефект не устраняется — заменить МЦП
Мигает или погашен индикатор «Работа», индикатор «Вызов» погашен. На дисплее в меню «Тест» надписи «Неисправен», «МАС»	Входной аналоговый сигнал превышает предельно допустимое значение. Неисправен МАС. Неисправен МПВВ (питание ± 15 В)	Проверить аналоговые входы по меню «Параметры сети». Заменить МАС. Заменить МПВВ

Данная модель составлена в предположении, что поиск дефекта производится до элемента — реле, лампы, патрона, проводника.

Процесс поиска дефекта при использовании такой модели предельно прост. Сопоставив проявления реального дефекта с приведенными в одном столбце такого перечня, в другом находят причину дефекта и способ его устранения.

Для электрических машин такая модель описана в классической книге Р. Г. Гемке [13].

Сфера применения такого способа поиска дефекта ограничена прежде всего тем, что для более или менее сложного изделия практически невозможно составить исчерпывающий перечень дефектов, т.е. нельзя построить диагностическую модель, в которой будут учтены все возможные дефекты. Убедиться в этом можно, ознакомившись с соответствующими разделами руководства по эксплуатации цифровых устройств релейной защиты. Для таких изделий рассматриваемая диагностическая модель разрабатывается в предположении, что при обнаружении того или иного дефекта замене подлежат соответствующие сменные модули (табл. 2).

Данная диагностическая модель приведена здесь прежде всего для иллюстрации новых возможностей при поиске дефекта — получение «подсказок» о причине дефекта, выводимых на экран дисплея при проверке блока в режиме «Тест».

Введенных в данной главе определений и сделанных к ним пояснений достаточно для того, чтобы в дальнейшем рассмотреть особенности определения дефектов в релейно-контакторных схемах.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Анализ релейно-контакторных схем

Для выдвижения гипотез о причине и местонахождении дефекта необходимо иметь некоторую информацию об исправном и неисправном состояниях той релейно-контакторной схемы, в которой ищут дефект.

В соответствии с определениями, данными в гл. 1, о существовании дефекта в изделии узнают по внешним проявлениям — выходу значений контролируемых параметров за пределы допуска, срабатыванию защитных устройств и другим факторам.

Внешние проявления могут быть разнообразными, причем не только одинаковые дефекты могут проявлять себя различно (см. пример 4), но и различные дефекты могут иметь одинаковые проявления (в таком случае говорят об одинаковом *образе* дефектов). Все это усложняет поиск дефектов в релейно-контакторных схемах.

Пример 12. Одинаковое проявление различных дефектов

Дефект в системе управления асинхронным электродвигателем *М* (рис. 4) проявляется в том, что после запуска кнопкой *S1* «Пуск», расположенной в кнопочном посту *A3*, и некоторого времени работы двигатель остановился. Попытки вновь запустить двигатель кнопкой *S1* «Пуск» не дали результата.

Рассматриваемая система состоит из: главных цепей *A1*, электродвигателя *M1*, цепей управления *A2*, кнопочного поста *A3*, датчика давления *BP1*. Работает система следующим образом. При наличии напряжения на выводах *L1*, *L2*, *L3*, *N* при любом давлении в контролируемой реле *BP1* точке и положении «Д» (дистанционное управление) переключателя *SA1* нажатие на кнопку *S1* «Пуск» приводит к тому, что в цепи управления *A2* на катушку *K1* подается напряжение.

Контактор срабатывает и замыкает контакты *K1* в главной цепи *A1*, подавая напряжение обмотки электродвигателя *M1*. Одновременно с этим контакт *K1.1* шунтирует кнопку *S1*, и она может быть опущена.

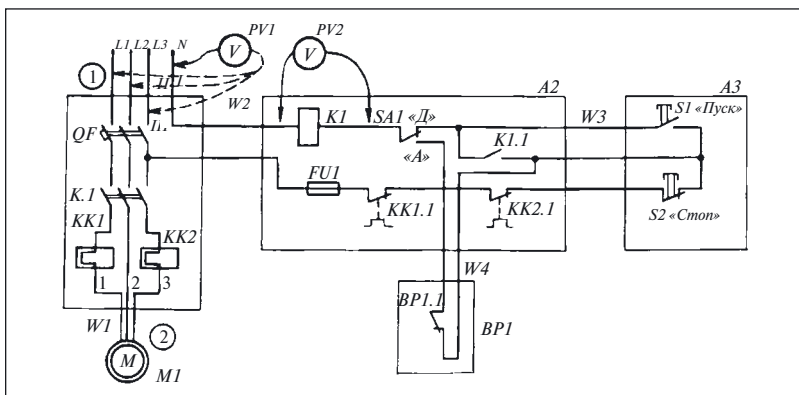


Рис. 4. Система управления асинхронным двигателем

В положении «А» (автоматическое управление) схема работает по-другому. Независимо от того, нажата кнопка или нет, при замкнутом контакте $BP1.1$ на катушку $K1$ поступает напряжение и контактор подает напряжение на обмотки электродвигателя $M1$. При повышении давления выше уставки срабатывания реле $BP1$ контакт $BP1.1$ размыкается, обесточивает катушку $K1$ и контактор, размыкая контакт $K1$, снимает напряжение с электродвигателя $M1$.

Сопоставление приведенного описания работы системы, ее схемы и проявлений дефекта позволяет заключить, что система работала в режиме дистанционного управления (положение «Д» переключателя $SA1$), и выдвинуть следующие гипотезы о причине дефекта:

- отсутствие напряжения питания U ;
- неисправность кнопочного поста $A3$;
- неисправность в блоке $A1$;
- неисправность в цепях управления $A2$.

Кроме того, можно предположить и другие причины дефекта, количество которых определяется как опытом поиска дефектов в аналогичных системах, так и другими факторами.

Однако исходная информация о проявлениях дефекта не позволяет отдать предпочтение ни одной из выдвинутых гипотез.

Задача 1. Выдвинуть еще несколько гипотез о возможных причинах дефекта, проявления которого описаны в примере 12.

Хотя в примере 12 сказано о равноправии выдвинутых гипотез, это не совсем так, потому что одна из них — отсутствие напряжения питания U — стоит в этом перечне особняком. Если, проверив ее,

установим, что напряжение U есть, то дефект заключается в системе управления. Если же напряжение U отсутствует, то вероятнее всего, что система управления исправна, а причина дефекта — в системе питания. Об этой особенности любого электрического объекта необходимо помнить всегда и рассматривать объект не изолированно, а в совокупности с системой его электропитания.

Здесь специально не обращалось внимания на то, каким образом проверялась справедливость гипотезы. Однако для определения дефекта недостаточно выдвинуть гипотезу, надо еще выбрать и способ ее проверки — технологический переход.

В данном случае проверить гипотезу просто — надо лишь вольтметром PVI измерить напряжение на сетевых зажимах в контрольной точке ①.

Место измерения напряжения или любого другого параметра в технической диагностике называется *контрольной точкой* или *точкой контроля* вне зависимости от того, что прибор подключают к двум (или нескольким) электрическим цепям (точкам).

Хотя отсутствие напряжения в контрольной точке вполне реально, для данного примера такой исход проверки не представляет особого интереса, поэтому предположим, что выполненная проверка показала наличие сетевого напряжения. Это значит, что дефект, приведший к остановке двигателя $M1$, не в системе питания, а в системе управления.

То, что позволила сделать проверка первой гипотезы, в технической диагностике принято называть *ограничением области поиска дефекта*. Такое ограничение является одной из первых целей анализа любого объекта при определении дефекта в нем.

В приведенном выше примере 12 выдвинуто несколько гипотез о причине дефекта. Однако не всегда так просто это сделать. Вспомогательным средством, используемым при установлении дефекта для анализа объектов, служит *диаграмма взаимодействия элементов*.

В качестве элементов объекта могут рассматриваться не только отдельные реле, контакторы, лампы, кнопки, но и целые схемные узлы и блоки. Такими блоками в схеме на рис. 4 являются блоки $A1$, $A2$, $A3$, $M1$, BPI .

Пример 13. Построение диаграммы взаимодействия элементов

На электрической схеме показано только одно состояние составляющих ее элементов. Фактически же в процессе работы в объекте происходят изменения: замыкаются контакты, включается или отключается напряжение на участках цепи или отдельных элементах, заряжаются или разряжаются конденсаторы и т.п.

Для графического изображения этих изменений при анализе объекта в процессе поиска дефекта используют диаграмму взаимодействия элементов, основу которой составляют горизонтальные линии, число которых равно числу рассматриваемых элементов (блоков). Все эти линии направлены параллельно оси времени, а масштаб времени для всех одинаков.

В диаграмме взаимодействия ток в элементах или перемещение частей электромеханических элементов изображают над (или под) горизонталями наклонными или вертикальными, а установившееся состояние — горизонтальными линиями. Чтобы показать, что процесс включения и отключения реле и контакторов, разгон или остановка электродвигателей происходит не мгновенно, работу этих элементов изображают на диаграмме в виде трапеций, причем высоту всех трапеций принимают одинаковой и считают соответствующей току в рассматриваемом элементе. Если в процессе работы ток элемента изменяется (например, в его цепь вводят сопротивление), то на диаграмме это отражается ступенькой.

Для облегчения работы с диаграммой взаимодействия характерные точки (в которых изменяется режим работы, ток в элементах, включаются или отключаются элементы и т.п.) нумеруют. Условились, что номера должны возрастать слева направо. Точки соединяют стрелками, показывающими «направление» процесса.

Построенная по этим правилам диаграмма взаимодействия блоков системы, схема которой приведена на рис. 4, имеет шесть горизонтальных линий (рис. 5). Кроме линий для блоков *M1*, *A1*, *A2*, *BPI* и *A3* на рис. 5 показана также линия для напряжения питания *U*.

В соответствии с описанием работы перед пуском системы на нее должно быть подано напряжение *U*, а в режиме автоматического управления контакт блока *BPI* замкнут. Выполнение этих условий на диаграмме показано горизонталями над соответствующими линиями.

Когда каждая линия диаграммы взаимодействия отображает работу только одного элемента, построение прямоугольников или трапеций не вызывает затруднений. Примером может служить блок *BPI*, содержащий всего один размыкающий контакт. Когда же рассматривается работа всего блока, содержащего несколько элементов (см., например, блоки *A1* — *A3* на рис. 4), то для построения диаграммы взаимодействия блоков необходимо оговорить условия работы блоков.

Применительно к рассматриваемой схеме эти условия следующие:

- срабатыванию блока *A1* соответствует появление напряжения в контрольной точке ② на выводах двигателя 1, 2, 3;

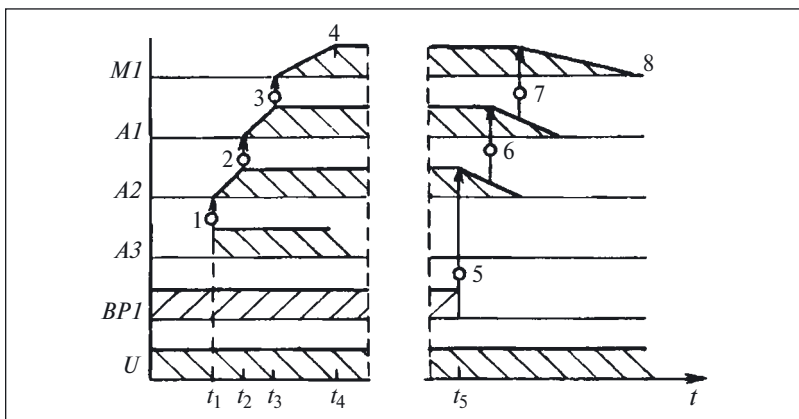


Рис. 5. Диаграмма взаимодействия блоков системы управления асинхронным электродвигателем

- срабатыванию блока *A2* соответствует наличие напряжения на катушке *K1* (см. вольтметр *PV2* на рис. 4);
- работа блока *A3* оценивается по замыканию контакта кнопки *S1*.

По условию примера в некоторый момент времени была нажата кнопка *S1* в блоке *A3*.

Замыкание контакта кнопки *S1*, показанное на диаграмме в виде прямоугольника (точка 1), привело к появлению сигнала на входе схемы управления и через некоторое время $\Delta t = t_2 - t_1$ блок *A2* сформировал выходной сигнал (точка 2).

Тот факт, что между поступлением сигнала на вход блока *A2* и появлением сигнала на его выходе проходит некоторое время, отмечают на диаграмме наклонной линией, соединяющей точки 1 и 2. Аналогичный процесс протекает и в блоке *A1*. Поэтому напряжение на обмотки двигателя *M1* поступает в момент времени t_3 . Затем двигатель разгоняется до номинальной частоты вращения, достигая ее в момент времени t_4 (точка 4).

Проследим работу объекта после срабатывания реле давления *BP1* в момент времени t_5 (точка 5). Естественно, что предварительно переключатель *SA1* должен быть переключен в положение «А». После размыкания контакта *BP1.1* сигнал на выходе блока *A2* исчезает. В связи с тем что этот сигнал исчезает не сразу после размыкания контакта *BP1.1*, напряжение на выходе блока отключается не в момент времени t_5 , а через некоторый промежуток времени (точка 6). Напряжение же на обмотках электродвигателя *M1* отключается еще

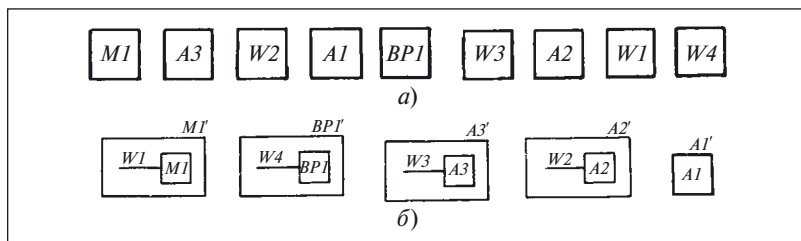


Рис. 6. Модели объекта в виде набора:

а — блоков и связей; б — блоков с включенными в них связями

тогда, когда подвижная система контактора не достигла конечного положения (точка 7). В этот момент двигатель *M1* начинает уменьшать частоту вращения, пока не остановится (точка 8).

Задача 2. Показать на диаграмме взаимодействие блоков (см. рис. 5) при исчезновении питания *U*.

Проверка одной из выдвинутых в примере 12 гипотез — первый шаг к ограничению области поиска дефекта. Однако рассматриваемый объект состоит из пяти блоков *M1*, *A1*, *A2*, *A3*, *BP1* и четырех связей *W1*, *W2*, *W3*, *W4* между ними (см. рис. 4), а причина дефекта с одинаковой вероятностью может быть заключена в любой из этих частей.

Для того чтобы ускорить процесс поиска дефекта, воспользуемся специальными или *диагностическими моделями* объекта.

Пример 14. Модели, представляющие объект в виде набора не связанных между собой блоков

Такую модель при анализе объекта поиска дефекта построить предельно просто — объект разбивают на составляющие его элементы (реле, контакторы, кнопки и т.п.) или блоки. Применительно к схеме на рис. 4 было выделено пять блоков — *M1*, *A1*, *A2*, *A3*, *BP1*.

Реальные электрические связи между этими блоками, обозначенные *W1* — *W4*, в рассматриваемой модели могут быть либо представлены в виде отдельных элементов (рис. 6, а), либо объединены с блоками (элементами) объектами (рис. 6, б). Однако в любом из этих случаев все блоки модели между собой не связаны.

Поиск дефектов при использовании таких моделей основывается на предположении, что объект исправен тогда, когда исправны все составляющие его блоки или элементы. Следовательно, для таких моделей процесс поиска дефекта сводится к проверке всех элементов (блоков), составляющих объект.

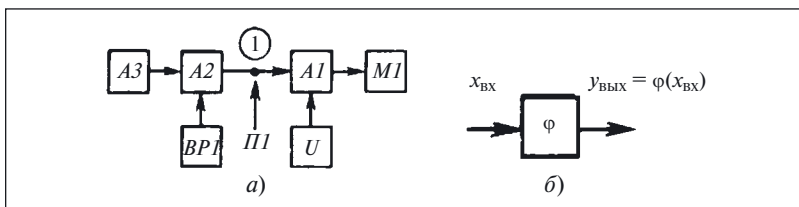


Рис. 7. Система управления асинхронным двигателем:

а — модель из связанных между собой блоков; б — функциональный блок

Следовательно, применительно к схеме (см. рис. 4), представленной любой из двух моделей для отыскания дефекта, необходимо проверить исправность всех блоков и связей (рис. 6, а) или всех блоков (рис. 6, б) с включенными в них связями.

При небольшом числе элементов рассмотренную простейшую диагностическую модель можно использовать очень успешно. Однако с возрастанием числа элементов в объекте проверка всех элементов (блоков) становится слишком трудоемкой и применение таких моделей нерациональным. Целесообразнее использовать другие диагностические модели.

Пример 15. Учет связей между блоками модели объекта поиска дефекта

Если учесть взаимное влияние блоков, показанных на исходной схеме (см. рис. 4), то получается модель, приведенная на рис. 7, а.

В модели есть блоки двух типов. Одни из них (U , $A3$, BPI) не имеют входов, а у других ($A1$, $A2$) есть входы, на которые поступают сигналы от блоков U , $A3$, BPI , и выходы, с которых сигналы поступают на другие блоки.

В блоке $M1$ нет выхода, а есть только один вход. Некоторые из блоков, отнесенные здесь к числу не имеющих входов (выходов), на самом деле могут обладать входным (выходным) сигналом, но этот сигнал либо имеет неэлектрическую природу (как для блока BPI , где входной сигнал — давление контролируемой им среды), либо поступает из другого объекта (как для блока U). В обоих случаях входы (выходы) таких блоков не рассматривают при поиске дефекта в данном объекте.

В общем случае каждый из выделенных блоков реализует какую-то функцию φ (рис. 7, б), в соответствии с которой выходной сигнал зависит от входного, т.е. $y_{\text{вых}} = \varphi(x_{\text{вх}})$. В технической диагностике для обозначения блоков, с выхода которых сигналы поступают на

данный блок, используют специальный термин — *предшествующие блоки*.

Таким образом, блоки *A3* и *BP1* являются предшествующими блоку *A2*, а все блоки вместе предшествуют блоку *M1*.

Так как исправность любого блока в данной модели оценивают по значению одного параметра на его выходе при известных входных сигналах, наличие или отсутствие предшествующих блоков существенно влияет на оценку результатов проверки.

При проверке блока, не имеющего предшествующих блоков (например, *A3* и *U*), возможны только два исхода:

- блок исправен при допустимом значении контролируемого параметра;
- блок неисправен, когда параметр имеет недопустимое значение.

Действительно, если на выходе блока *U* напряжение соответствует заданному, то этот блок исправен. Если же напряжение равно нулю, то он неисправен.

При проверке же блока, имеющего предшествующие элементы, возможны четыре исхода. При допустимом значении контролируемого параметра исправен не только проверяемый блок, но и все предшествующие ему блоки. Подтвердим этот тезис примером.

Блок *A1* реализует функцию замыкания (после нажатия кнопки *S1*) и размыкания (после нажатия кнопки *S2*) главной цепи электропривода. Если после нажатия кнопки *S1* напряжение в контрольной точке ② есть (междуфазное напряжение на выводах двигателя *M1*), а после нажатия кнопки *S2* напряжение в этой же контрольной точке отсутствует, то исправен как блок *A1*, так и все предшествующие ему блоки — *U*, *A2*, *A3*, *BP1*.

Причиной недопустимого значения параметра в контрольной точке может быть как неисправность проверяемого блока или любого из предшествующих ему, так и одновременная неисправность нескольких блоков. Причиной отсутствия напряжения в контрольной точке при нажатой кнопке *S1* может быть не только неисправность блока *A1*, но и отсутствие напряжения на сетевых зажимах *L1*, *L2*, *L3* или неисправность блока *A3*.

Таким образом, проверяемый блок исправен, если контролируемый параметр имеет допустимое значение. Но обратное утверждение: блок неисправен при недопустимом значении параметра — неверно, поскольку причиной этого может служить неисправность предшествующих элементов.

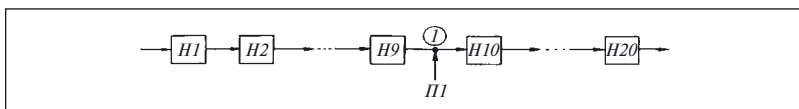


Рис. 8. Модель гирлянды ламп в виде последовательно соединенных блоков

Рассмотренная в примере 15 модель позволяет использовать для поиска дефектов один из наиболее эффективных способов — способ *средней точки*.

Пример 16. Определение дефекта способом средней точки

Дефект в гирлянде электрических ламп (см. рис. 1, б) проявился в том, что через некоторое время работы все лампы в гирлянде погасли. Наиболее вероятная причина такого дефекта — перегорание одной из ламп $H1 - H20$. Используя наиболее простую модель из не связанных между собой блоков (см. рис. 6, а), следовало бы проверить исправность всех 20 ламп, а если все они исправны, то и все связи между ними.

Но устанавливать причину дефекта таким способом трудоемко. Если же воспользоваться введенным понятием предшествующего элемента и составить модель данного объекта в виде последовательно соединенных блоков, куда входят лампа и одна из ее связей (рис. 8), то процесс поиска значительно упростится.

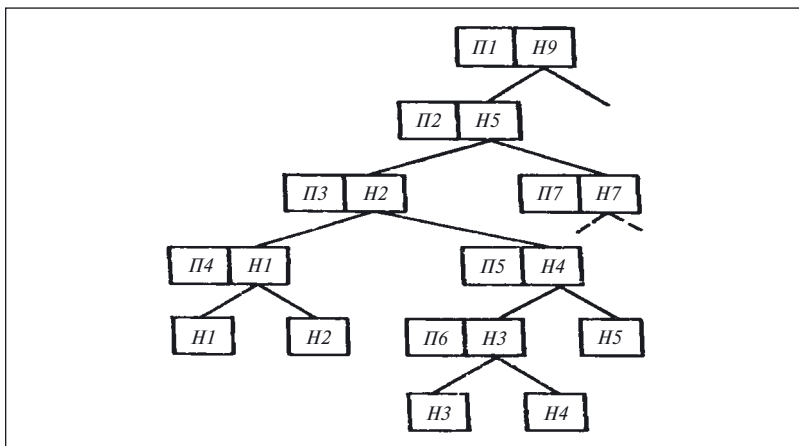


Рис. 9. Последовательность проверок способом средней точки для модели, показанной на рис. 8

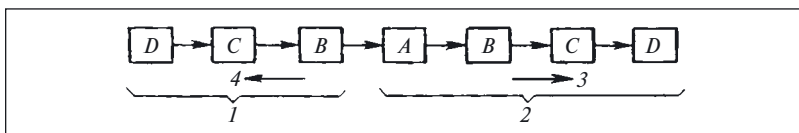


Рис. 10. Модель объекта с использованием причинно-следственных связей

Проверив¹ выходной сигнал бока Н9 в точке ① (место проверки отмечено стрелкой П1), получим информацию о состоянии всех предшествующих ему блоков начиная от Н1. У этой проверки возможен один из двух исходов. При первом (ребро 1 на рис. 9) блок Н9 исправен и, следовательно, исправны все предшествующие ему блоки Н1 – Н8. При втором (ребро 2) неисправен один (или несколько) из блоков Н1 – Н9.

Предположим, что, выполнив первую проверку в точке 1, получим второй исход. Тогда точку следующей проверки П2 выбираем в середине цепочки из этих блоков, а именно на выходе блока Н5. Дальнейшая последовательность проверок частично показана на рис. 9.

Как видно, каждая из проверок выбрана приблизительно в середине цепочки из последовательно соединенных блоков. Таким образом, проверка П4, выполненная на выходе блока Н1, позволяет локализовать местонахождение дефекта блоком Н1 (при недопустимом значении контролируемого параметра), в противном случае блоком Н2, а проверка П6 – блоками Н3 и Н4 соответственно, т.е. для обнаружения дефекта понадобится выполнить всего четыре или пять проверок вместо 20.

Задача 3. Дорисовать пропущенные на рис. 9 проверки и указать их исходы, воспользовавшись примером 16 и моделью на рис. 8.

Задача 4. Выбрать технологический переход для проверки исправности блоков Н1 – Н20, пользуясь примером 16.

Модель объекта, представленная на рис. 8, состоит только из последовательно соединенных блоков, поэтому применение способа средней точки не представляет особой сложности.

В модели объекта, показанном на рис. 7, а, блоки соединены не только последовательно, что затрудняет использование метода средней точки в том виде, как о нем рассказано в примере 16. Поэтому, чтобы ускорить поиск дефекта при использовании способа средней

¹ Здесь приведены только результаты выполнения той или иной проверки и не рассматривается выбор способа ее реализации — технологического перехода. Этот вопрос является предметом задачи 4.

точки, строят специальные модели, в которых реальные электрические связи между блоками заменяют на связи *причинно-следственные*, показывающие влияние исправного или неисправного состояния одного элемента на исправность другого, связанного с ним.

В связи с тем что в разных режимах системы могут участвовать разные блоки, то и модели объекта в каждом из режимов будут разные. В таких моделях для релейно-контакторных схем источниками дефектов являются элементы объекта и электрические связи между ними. Дефекты проявляются в виде *обрывов* и *перегрузок*.

При обрыве — отсутствии или искажении выходного сигнала — от дефектного элемента к выходу объекта протягивается одна или несколько цепей исправных, но нефункционирующих элементов, связанных между собой причинно-следственными связями.

При перегрузке сигнал распространяется в направлении, обратном нормальному потоку энергии — к аппарату защиты на входе объекта. Поэтому все элементы как источник перегрузки должны соединяться в противоположном порядке и предшествовать аппарату защиты. Например, если устройство состоит из четырех блоков *A*, *B*, *C*, *D*, где блок *A* представляет аппарат защиты, а блок *D* — выходной блок, то они соединяются между собой причинно-следственными связями так, как показано на рис. 10. Такая модель называется *графом причинно-следственных связей*.

Пример 17. Построение модели объекта с использованием причинно-следственных связей

В соответствии с описанием дефекта в примере 12 объект работает в режиме «Пуск системы при дистанционном управлении». Для построения модели сначала определяют уровень деления объекта на составляющие элементы или блоки, объединяющие несколько элементов.

Для простоты положим, что объект состоит из пяти блоков *U*, *A1*, *M1*, *A2*, *A3*. Блок *BP1* здесь не рассмотрен, так как в данном режиме он не влияет на работу объекта.

Затем устанавливают возможные причины дефекта, проявляющегося в том, двигатель *M1* не вращается после нажатия на кнопку *S1*.

Дефект мог возникнуть по следующим причинам:

- перегрузка (в том числе и КЗ) в блоке *M1* {1}¹;
- КЗ в блоке *A1* {2};
- КЗ в блоке *A2* {1'};

¹ В фигурных скобках указаны *индексы предшествования*, о которых будет рассказано ниже.

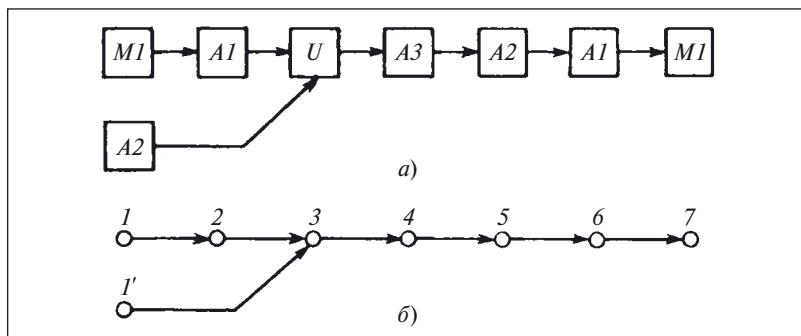


Рис. 11. Модель системы управления асинхронным электродвигателем, показанной на рис. 4:

a — граф причинно-следственных связей; *б* — присвоение элементам графа индексов предшествования

- обрыв связей в блоке *U* (отсутствие сетевого напряжения на входе блока *A1* {3});
- обрыв связей в блоке *A3* {4};
- обрыв связей в блоке *A2* {5};
- обрыв связей в блоке *A1* {6};
- обрыв обмоток в двигателе *M1* {7}.

Поскольку КЗ в блоке *A2* и блоках *M1* и *A1* независимы, в модели выделяются два разных входных элемента (рис. 11).

Некоторые блоки в модели повторяются дважды, так как могут быть и источниками перегрузок, и источниками обрывов. Для такой модели минимальное число проверок, если все дефекты равновероятны, определяется как

$$k_{\text{cp min}} = \log_2 N,$$

где *N* — число дефектов.

Так как число проверок *k* может быть только целым числом, справедливы следующие соотношения:

<i>N</i>	2	До 4	До 8	До 16	До 32	До 64
<i>k</i>	1	2	2 или 3	3 или 4	4 или 5	5 или 6

Выше было перечислено восемь возможных дефектов, значит, $k_{\text{cp min}} = 3$, т.е. дефект будет найден не более чем через три проверки.

Последовательность поиска дефекта способом средней точки по модели, использующей причинно-следственные связи, представляется в виде схем, имеющих специальное название — *графы* (см.

рис. 9). Они состоят из нескольких *вершин* (на рис. 9 они обозначены в виде прямоугольников) и соединяющих их отрезков — *ребер*.

Для *связных графов*, не имеющих *циклов* (см. рис. 9), в технической диагностике используют специальный термин — *дерево*, или *дерево решений*. Оно представляет собой граф, не имеющий кратных ребер, т.е. каждая пара его вершин соединяется между собой только одной цепью. Таким образом, дерево решений показывает только один путь от вершины *A* (точки первой проверки) к вершине *B* — искомому дефекту. Для обозначения элементов такого дерева используют специальную терминологию.

Вершину, соответствующую первой проверке (*П1* на рис. 9), называют *корнем дерева*, а вершины, не имеющие выходящих ребер (например, вершины *H1*, *H2* на рис. 9), *висячими*. Путь, соединяющий корень дерева с висячей вершиной и проходящий по ребрам графа, называют *ветвью*. Из каждой вершины дерева может выходить несколько ребер.

Если вершиной представляют проверку, которая имеет два результата — проверяемый блок исправен или неисправен, то из вершины выходят только два ребра. В соответствии с этим дерева можно характеризовать следующими параметрами:

- числом проверок P , равным числу невисячих вершин;
- числом ветвей h , которое равно числу возможных дефектов N в рассматриваемой модели объекта;
- длиной ветви h_j , определяемой как число проверок, выполняемых для выявления j -го дефекта. Она равна числу вершин (не считая висячих), проходимых при «движении» от корня дерева к j -й висячей вершине;
- суммарной длиной ветвей k_{Σ} , представляющей собой общее число проверок, которое надо выполнить для выявления всех N дефектов;
- средней длиной ветвей $k_{\text{ср}} = k_{\Sigma}/N$, т.е. средним числом проверок, затрачиваемых на отыскание одного дефекта.

После определения перечня возможных дефектов и построения графа причинно-следственных связей между блоками (см. рис. 11, *a*) необходимо на полученном графе расставить *индексы предшествования* по следующим правилам:

- каждый входной элемент обозначают цифрой 1 с дополнительным индексом, служащим только для различия входных элементов;
- при совпадении у промежуточных элементов индексов предшествования их снабжают дополнительным различительным индексом;
- индекс предшествования выходного элемента равен сумме чисел вершин в графе плюс единица.

Граф причинно-следственных связей, в котором условные обозначения блоков заменены по указанным правилам индексами предшествования, показан на рис. 11, б.

Построив граф причинно-следственных связей и расставив индексы предшествования, приступим к построению оптимизированного дерева решений. Точку первой проверки i , или точку первого разбиения, выбирают по формальному признаку — числу дефектов N :

$$i = N/2 = 8/2 = 4.$$

Таким образом, первую проверку выполняют на выходе элемента 3 (блок U). Проверка может иметь два исхода:

- блок U исправен;
- блок U неисправен.

При первом исходе считают, что он сам и все блоки, предшествующие ему, исправны, а дефект находится в блоках с индексами 4, 5, 6, 7. В этом случае вторую проверку выполняют в центре группы из четырех оставшихся элементов, т.е. на выходе блока с индексом предшествования 5. Порядок остальных проверок, в том числе и при втором исходе, показан на рис. 12, где приведено дерево решений для поиска дефектов в схеме, представленной на рис. 4.

Используя полученное дерево решений, можно выбрать технологические переходы для реализации проверок (рис. 13).

В результате всех действий получена графическая запись технологического процесса дефекта для схемы на рис. 4. Такая запись

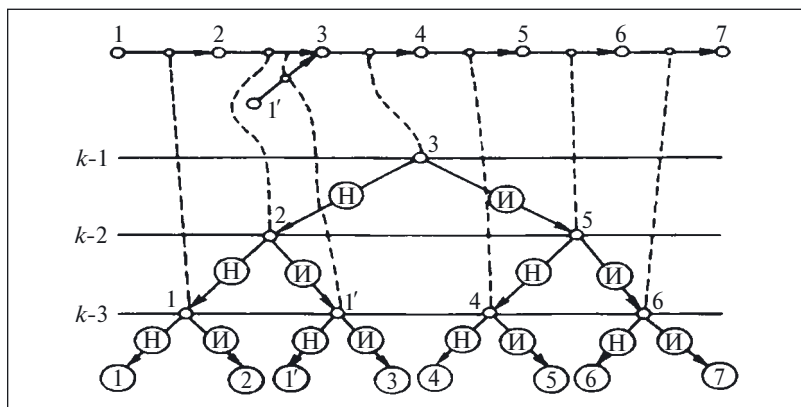


Рис. 12. Дерево решений для модели объекта, показанной на рис. 11

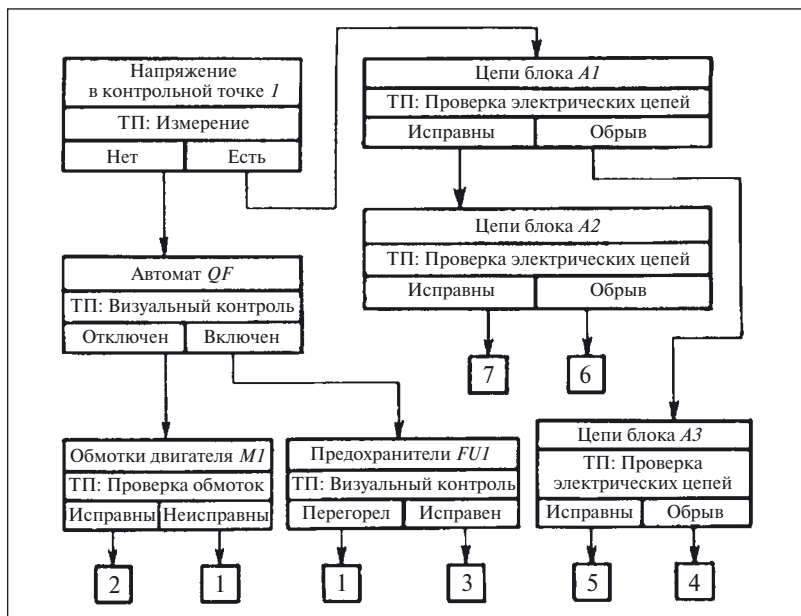


Рис. 13. Дерево решений с указанием проверок, технологических переходов для их реализации и исходов (индексы предшествования в квадратах соответствуют приведенному в тексте перечню дефектов)

пригодна только для одного режима работы: «Пуск системы при дистанционном управлении» — и позволяет найти только неисправный блок.

Приведенный пример показывает, что хотя данный метод и гарантирует отыскание дефекта за вполне определенное и заранее известное число проверок, однако получение графической документации (см. рис. 11, 12, 13) не только достаточно трудоемко, но и требует высокой квалификации исполнителей.

Обычно при поиске дефекта не разрабатывают документы, а используют специальную документацию, выпущенную для конкретных объектов. Примеры такой документации для релейно-контакторных систем управления тепловозными дизель-генераторными установками приведены в [1 – 3].

С учетом сложности построения диагностических моделей для строгих математических методов определения дефекта в данной брошюре рассматривается *эвристический метод*, который не задает жестких и обязательных правил выполнения технологических пере-

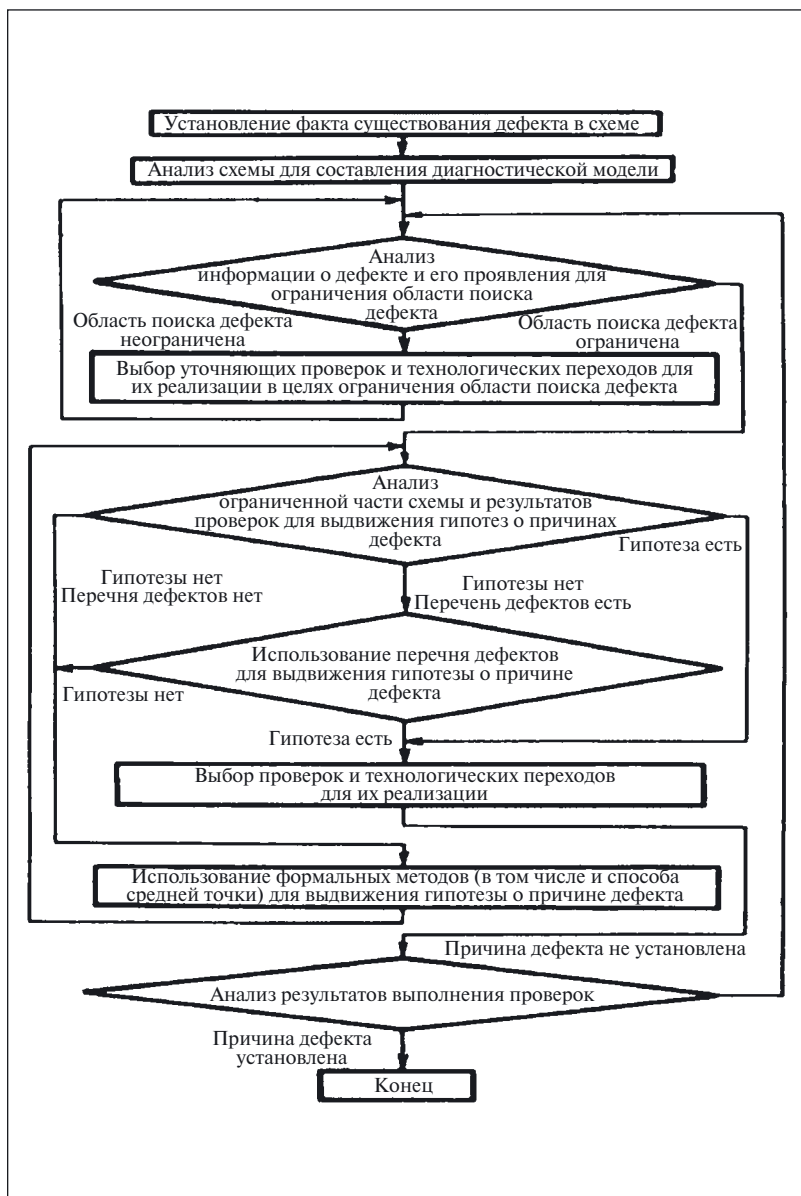


Рис. 14. Последовательность действий при эвристическом методе поиска дефекта

ходов и не требует предварительного составления перечня всех возможных дефектов в объекте для разных режимов работы, а также разработки сложных диагностических моделей.

Хотя использование этого метода и не дает полной гарантии быстрого и успешного отыскания любого дефекта после выполнения вполне определенного и заранее указанного числа проверок, но зато позволяет значительно ускорить процесс и сделать его целенаправленным.

Процесс установления дефекта может быть представлен в виде *алгоритма действий* (рис. 14).

Эвристический метод может быть назван *методом гипотез*, так как при использовании этого метода дефект устанавливают путем проверки выдвинутых при анализе проявлений дефекта гипотез о возможных его причинах. Как показывает алгоритм действий, процесс выдвижений и последующей проверки гипотез характерен не только для начального этапа. При получении результатов выполнения тех или иных технологических переходов выдвигают уточняющие гипотезы о причинах дефекта, которые затем проверяют, и так до обнаружения дефекта.

Использование рекомендованного на рис. 14 алгоритма позволяет исключить отыскание дефекта методом «проб и ошибок», при котором гипотезы тоже выдвигают не «наугад», а ориентируясь на прошлый опыт определения дефекта. Однако при выдвижении гипотезы этот опыт, как правило, не связывают ни с особенностями данного объекта, ни с конкретными проявлениями дефекта в нем.

Представив каждую выдвигаемую гипотезу в виде стрелки, началом которой расположено в условной точке «Начало», соответствующей установлению факта существования дефекта в объекте, можно увидеть, что при определении дефекта методом «проб и ошибок» эти стрелки расходятся в любом направлении, в том числе и обратном тому, в котором находится условная точка «Конец», обозначающая факт нахождения дефекта. Именно отсутствие связи выдвигаемых гипотез с характеристиками данного конкретного объекта и проявлениями дефекта в нем отличает метод «проб и ошибок» от эвристического метода и приводит к тому, что большинство выдвигаемых гипотез ведут в сторону, противоположную точке «Конец» (рис. 15, а).

Рекомендованная на рис. 14 последовательность действий хотя и не дает полной гарантии быстрого нахождения дефекта за вполне определенное и заранее известное число проверок, но ее использование значительно повышает вероятность того, что дефект будет найден, делает его определение целеустремленным, направленным из точки «Начало» в сторону точки «Конец» (рис. 15, б), и существенно повышает эффективность действий при поиске дефекта.

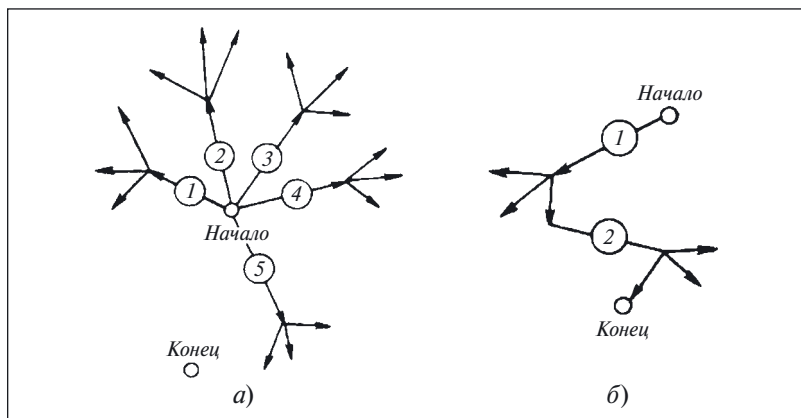


Рис. 15. Графическое представление методов поиска дефектов:

а — проб и ошибок; *б* — эвристического

Необходимо особо отметить, что все действия и результаты, полученные при выполнении тех или иных технологических переходов, следует оценивать критически. Если результаты выполнения того или иного перехода вызывают сомнение, то его следует повторить.

Любые из полученных при выполнении перехода результатов можно использовать только при полной уверенности в их достоверности. Если сразу не удастся выдвинуть абсолютно правильную гипотезу, не следует считать, что время на проверку ложной гипотезы потрачено зря. Результат проверки, опровергающий гипотезу, точно так же приближает к истине потому, что ограничивает круг неисправных элементов (блоков) и, следовательно, уточняет информацию о причине дефекта.

Учитывая все сказанное о методе «проб и ошибок», необходимо также оценивать реальность выдвигаемых гипотез и отсутствие в них противоречий принципу работы схемы или физическим свойствам элементов, материалов и т.п.

Задача 5 [10]. На рис. 16 показан фрагмент основного узла схемы автоматического повторного включения (АПВ) выключателя *Q*, который нужен для иллюстрации последствий загрязнения конденсатора *С*.

В нормальном режиме выключатель включен, его вспомогательный замыкающий контакт *Q.1* в цепи 1 — 2 замкнут, конденсатор *С* заряжен. Размыкающий контакт *Q.2* разомкнут. Реле АПВ отпущено, его контакт в цепи 4 разомкнут.

При срабатывании защиты выключатель *Q* отключается, контакт *Q.1* в цепи 1 — 2 размыкается, а контакт *Q.2* замыкается.

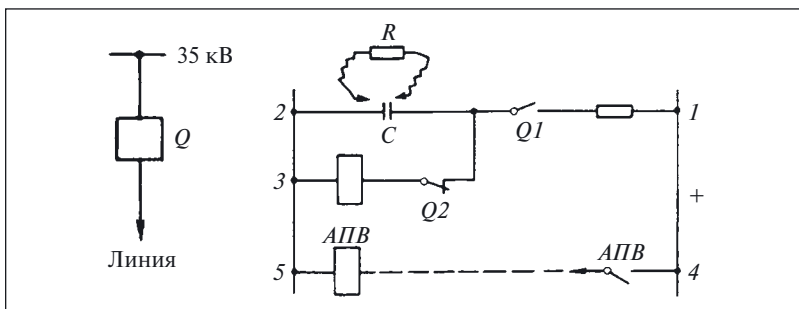


Рис. 16. Фрагмент схемы автоматического повторного включения

В результате образуется новая цепь 2 — 3, по которой конденсатор разряжается на катушку АПУВ. Реле срабатывает и по цепи 4 включает выключатель. Однако возможны два случая, при которых схема работает по-разному:

- повреждение устойчиво: выключатель, включившийся от действия АПУВ, тотчас отключается защитой и больше включаться не должен, т.е. АПУВ должно обеспечивать однократность действия;
- повреждение после отключения защиты устранилось.

В этом случае включившийся от действия АПУВ выключатель остается включенным, а устройство АПУВ снова должно подготовиться к следующему действию.

Эти важнейшие и сложнейшие условия обеспечиваются резистором r , конденсатором C и двумя вспомогательными контактами $Q.1$ и $Q.2$.

Требуется ответить на вопросы:

1. Каким условиям должны удовлетворять параметры C и r .
2. Что произойдет при загрязнении конденсатора C ? Сопротивление пыли на рис. 16 условно обозначено как резистор R .

Ответ 1. Емкость конденсатора C должна быть настолько велика, чтобы запасенной им энергии хватило для надежного срабатывания реле АПУВ и удержания его притянутым на время, достаточное для включения выключателя. Сопротивление резистора должно быть достаточно велико, чтобы конденсатор заряжался полностью за 15 с, не менее. Именно столь большое время и обеспечивает однократность действия АПУВ. Это требует пояснений. Дело в том, что после того, как выключатель включился от действия АПУВ, вновь образуется цепь 1 — 2 заряда конденсатора. Но она будет замкнута всего 1 — 3 с (уставка реле защиты), а затем защита сработает, выключатель отключится: зарядка конденсатора прекратится задолго до его полного завершения. А это значит, что конденсатор не сможет накопить достаточно энер-

гии для последующего действия АПВ, что и требуется. Если же повреждение сети самоустранилось, то выключатель, включившись, будет включен долго, благодаря чему конденсатор успеет полностью зарядиться.

Ответ 2. Сопротивление пыли R должно быть очень велико. В противном случае конденсатор не сможет зарядиться до полного номинального напряжения, из-за чего АПВ может отказать.

Здесь имеют место два обстоятельства. Во-первых, сопротивления r и R образуют делитель напряжения. Если $r = R$, то конденсатор зарядится только до половины напряжения и, следовательно, запасенная им энергия уменьшится вчетверо (она пропорциональна квадрату напряжения). Во-вторых, сопротивление R , шунтируя катушку АПВ, отводит от реле часть энергии.

Для решения задачи необходимо ответить на такой вопрос: насколько правомерно предположение о том, что наличие пыли между выводами конденсатора способно изменить работу устройства АПВ?

Хотя в задаче и не говорится о типе конденсатора, но можно предположить, что в силу его значительной емкости конденсатор не воздушный, а металлобумажный или оксидный (старое название — электролитический).

При использовании эвристического метода поиска дефекта как вспомогательное средство может быть использован и способ средней точки (см. на рис. 14 блок «Использование формальных методов для выдвижения гипотезы о причине дефекта»).

Пример 18. Использование способа средней точки для поиска дефекта, описанного в примере 12

Построенная ранее модель объекта (см. рис. 7, а) содержит блоки, соединенные между собой не только последовательно, как это было для моделей, показанных на рис. 8, 10 или 11, поэтому выбор точки первой проверки в таких моделях не всегда очевиден.

Однако изучение модели показывает, что интересующий нас объект можно заменить другой моделью, представляющей его в виде двух последовательно соединенных блоков (рис. 17).

Переход к такой модели позволяет очень просто выбрать место выполнения первой проверки $П1$ — контрольную точку 1 , которая делит модель объекта пополам.

Для проведения любой проверки недостаточно определить контрольную точку, еще необходимо выбрать технологический переход (см. задачу 4).

На рис. 4 показано, что выходным сигналом блока $A2$ является напряжение на катушке $K1$. Поэтому для выполнения проверки $П1$ в контрольной точке 1 модели (см. рис. 17) в качестве технологиче-

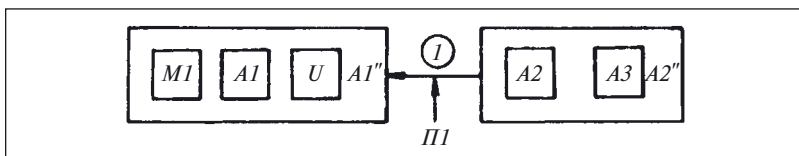


Рис. 17. Упрощенная модель объекта, показанного на рис. 4

ского перехода выберем измерение. Таким образом, проверка *П1* будет состоять в измерении напряжения вольтметром *PV2* на выходах катушки *K1* при нажатой кнопке *S1*.

Здесь проверяется реализация блоком *A2* своей функции — подача напряжения на катушку *K1* при наличии входного сигнала от блока *A3* (замкнутое состояние кнопки *S1*).

Данная проверка может иметь два исхода.

Предположим, что при нажатой кнопке *S1* вольтметр *PV2* показывает наличие напряжения на выводах катушки *K1*. В этом случае можно утверждать, что исправен не только блок *A2*, но и блок *A3*, а причина дефекта заключается в блоке *A1*.

При другом исходе (вольтметр *PV2* показывает отсутствие напряжения на выводах катушки *K1* при нажатой кнопке *S1*) причина дефекта может заключаться как в блоке *A3*, так и в блоке *A2*.

Задача 6. Указать возможные причины дефекта в схеме, показанной на рис. 4, при втором исходе проверки *П1* — отсутствие напряжения на выводах катушки *K1* при нажатой кнопке *S1*.

Из сказанного ранее видно, что причину дефекта устанавливают, выполняя ту или иную проверку с помощью технологического перехода. При поиске дефекта наиболее распространен переход «визуальный контроль», который мы уже многократно использовали в данной главе. Действительно, каким образом был установлен факт существования дефекта в системе, показанной на рис. 4? Наблюдая за работой системы, обратили внимание на то, что остановился двигатель.

Визуальный контроль, согласно определению, приведенному в ГОСТ 16504—81, представляет собой проверку исправности элемента (изделия) путем его осмотра органами зрения.

При визуальном контроле возможно использование технологических средств, не являющихся измерительными, но увеличивающих восприимчивость органов зрения, например лупы.

Кажущаяся простота выполнения данного перехода скрывает за собой его сложность. Ведь увидеть обрыв действительно просто, но вот увидеть одновременность или неправильную последовательность замыкания контактов, обратить внимание на характер изме-

нения тока или напряжения и другие явления значительно сложнее. Следует также учитывать, что большинство дефектов не сопровождается явно выраженными визуальными признаками, что не позволяет считать этот переход универсальным и использовать его во всех случаях.

Простота и доступность этого технологического перехода создают у некоторых работников иллюзию безопасности и заставляют их пренебрегать правилами безопасного выполнения работ в электроустановках, что часто приводит к электротравмам.

Пример 19. Пренебрежение правилами безопасности приводит к электротравмам, даже при выполнении простейших работ

На одном из заводов производственного объединения для выяснения неисправности высокочастотной установки типа ЛЗ-67 термист, не отключив ее от сети, открыл дверцу камеры генераторного блока (блокировка не действовала), коснулся токопроводящих частей и погиб.

Сложность выполнения перехода «визуальный контроль» обусловлена тем, что выполняющий его специалист должен располагать некоторой информацией о правильной работе или исправном состоянии объекта и, сравнивая эту информацию с информацией о работе проверяемого изделия, полученной при визуальном контроле, судить о причине дефекта и принимать решение о его устранении. Поэтому технологический переход «визуальный контроль» всегда применяют совместно с переходом «сравнение».

Пример 20. Определение дефекта с помощью технологического перехода «визуальный контроль»

На рис. 18 приведена схема системы двухступенчатого пуска электродвигателя с добавочными резисторами $R1 - R3$ в цепи статора.

Схема работает следующим образом.

После нажатия кнопки $S1$ срабатывает контактор, который контактами $K1$ подключает электродвигатель к сети и одновременно снимает питание с реле времени $K3$. Реле времени через промежуток времени t , определяемый его уставкой, включает второй контактор, шунтирующий резисторы $R1 - R3$. Кнопкой $S2$ электродвигатель отключается от сети.

Дефект в схеме проявляется тем, что при пуске электродвигатель включается не в две ступени, а в одну. Для отыскания дефекта воспользуемся технологическим переходом «визуальный контроль».

Для того чтобы знать, на что надо обратить внимание при визуальном контроле системы, проанализируем предварительно ее работу.

ципиальной схемы может оказаться недостаточным для выдвижения достоверной гипотезы о причине дефекта.

Пример 21. Нарушение работы электроустановки из-за теплового расширения [10]

Отказавший нагревательный элемент теплообменника, представленного на рис. 19, *а*, заменили стержнем 1, на который поверх асбестовой изоляции 2 навели нихромовую проволоку 3.

Стержень хорошо изолировали от корпуса теплообменника. Один конец проволоки присоединили к корпусу теплообменника, а другой — к стержню и подвели питание. Через несколько минут после включения перегорел предохранитель *FU1*. Перед следующим включением мегаомметром измерили сопротивление изоляции стержень — корпус.

Сопротивление изоляции оказалось высоким. При следующем включении произошло то же самое — через несколько минут предохранитель перегорел.

Причина дефекта в [10] объясняется так: при включении стержень нагрелся и удлинился, левый его конец прикоснулся к корпусу теплообменника и произошло короткое замыкание. Через некоторое время стержень остыл и образовался зазор δ .

Принципиальная электрическая схема такого нагревательного устройства приведена на рис. 19, *б*. Если попытаться для измерения сопротивления изоляции цепи фаза — корпус подключить мегаомметр (рис. 19, *б*), то показания прибора будут равны нулю. Для того чтобы выяснить причину таких показаний прибора, нарисуем эквивалентную схему. В этой схеме учтем и те элементы объекта, которые не показаны на принципиальной схеме:

- сопротивления изоляции;
- корпус устройства (как токопроводящий элемент);
- соединение вывода *N* с корпусом и т.п. (рис. 19, *в*).

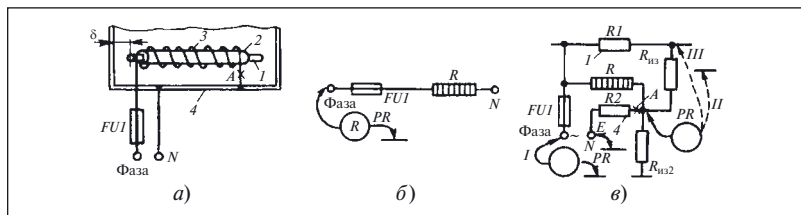


Рис. 19. Теплообменник:

а — устройство; *б* — принципиальная схема; *в* — эквивалентная схема

Анализируя схему, видим, что мегаомметр PR (поз. I) показывает не сопротивление изоляции $R_{из1}$ или $R_{из2}$, а некоторое эквивалентное сопротивление

$$R_{эк} = RR_{из1}/(R + R_{из1}) \approx R.$$

Сопротивления остальных элементов настолько малы, что ими можно пренебречь.

Теперь ясно, что показания мегаомметра равны нулю, так как вывод N соединен непосредственно с корпусом, а сопротивление нагревателя R , составляющее десятки ом, шунтирует сопротивление изоляции и подключено непосредственно к выводам прибора PR , что равносильно замыканию их накоротко.

Учитывая это, для измерения сопротивления изоляции объектов, получающих питание от однофазной сети (фаза и нейтральный провод) или от сети с заземленной нейтралью, необходимо предварительно разорвать цепь, соединяющую нейтраль с токопроводящими частями объекта.

В данном изделии такой разрыв может быть осуществлен отключением конца спирали от корпуса в точке A (см. рис. 19, a и $в$). Если после разрыва этой цепи подключить мегаомметр PR в поз. II , то его показания будут соответствовать сопротивлению изоляции.

Теперь вспомним, что токопроводящие части изделия должны быть изолированы не только от корпуса, и измерим сопротивление изоляции между нагревательным элементом и другими конструктивными частями, в частности стержнем I (поз. III прибора PR на рис. 19, $в$). Показания прибора оказались равны нулю.

Следовательно, непосредственной причиной перегорания вставки предохранителя явилось не тепловое расширение стержня I (см. рис. 19, a), а нарушение правил устройства электроустановок, в результате чего корпус теплообменника использовался как токопроводящий элемент, а фаза питающей сети не была изолирована от конструктивных элементов, в данном случае от стержня I .

Пример 22. Недопустимость использования самодельных нагревательных установок

Теплообменник, рассмотренный в примере 21, представляет собой разновидность самодельных электропечей, к сожалению, широко распространенных в проходных предприятиях, бытовых, складских, а также других производственных помещениях. Пользование такими электропечами практически неизбежно приводит к электротравмам, причем 67,2 % травм на электропечах получают не электрики.

Совместное применение технологических переходов «Визуальный контроль» и «Сравнение» эффективно не только при отыскании дефектов в реальных объектах, но и при изучении документации для оценки реальности принятого схемного решения, нахождения ошибок в схемах, анализа схем перед поиском дефекта, когда изучаемую схему сопоставляют с описанием ее работы, данным в документации или известным из опыта.

Задача 7. Дефект в системе непосредственного пуска асинхронного двигателя (рис. 20) проявляется в том, что при нажатии на кнопку S1 двигатель запускается, но при отпускании кнопки электродвигатель останавливается.

Сравнить описание работы неисправной схемы с Вашим представлением о правильной работе схемы и указать возможные причины дефекта.

До сих пор анализировались схемы, которые до возникновения в них дефекта работали правильно. Однако дефект определяют и в таких объектах, которые еще не работали или не находились в исправном работоспособном состоянии. Такая ситуация характерна для периода настройки релейно-контакторных схем. Если при отыскании дефекта в ранее работавших схемах было необходимо выявить причину или установить местонахождение дефекта, то для настраиваемых схем при их анализе нужно учитывать возможность нереального схемного решения, в результате которого и появился дефект.

Для оценки реальности того или иного схемного решения необходимо знать, что основными причинами неработоспособности схем являются [11]:

- недостаток энергии для срабатывания аппарата (см. пример 23);
- «проникновение» в схему избыточной энергии, вызывающей непредвиденное срабатывание (см. пример 24) или препятствующей своевременному отпусканию аппарата (см. задачу 8 и пример 26);
- нехватка времени для совершения заданных действий (см. пример 28);
- задание аппаратам уставок, которые не могут быть достигнуты (см. пример 29);
- совместное применение аппаратов, резко различающихся по свойствам;
- неучтенные ограничения по коммутационной способности (см. пример 30) или электрической прочности изоляции аппаратов и проводов;
- непогашенные коммутационные перенапряжения;
- нестандартные условия эксплуатации;

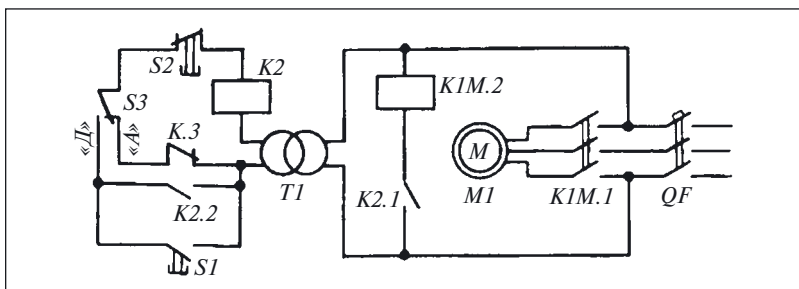


Рис. 20. Система управления асинхронным электродвигателем

- выбор площади сечения кабелей и проводов только по длительному режиму работы (см. пример 31) или без учета особенностей схемы (см. задачу 9);

- недооценка важности системы питания (см. примеры 29 и 32).

Приведем примеры схемных ошибок, иллюстрирующих данную классификацию и задачи на анализ релейно-контакторных схем.

Пример 23. Недостаток энергии для срабатывания аппарата защиты

В автономной электростанции для защиты генераторного агрегата (ГА) от работы в режиме обратной мощности, когда он, работая в режиме двигателя, потребляет энергию от параллельно работающего с ним генератора, установлено реле обратной мощности *KIM* типа ИМ-149 (рис. 21), включенное через измерительный трансформатор тока *TI* с коэффициентом трансформации:

$$K_I = 6000/5 = 1,2 \cdot 10^3.$$

Эта защита по своему принципу действия не может предотвратить переход генератора в режим обратной мощности, она только ограничивает продолжительность работы в этом режиме уставкой реле по времени.

Конструкция реле допускает ступенчатое изменение уставки срабатывания по мощности путем установки вилки-перемычки *E1* в одно из гнезд, соответствующих уставкам 6,4; 10 или 12 % номинальной мощности генератора.

Уставка реле по времени срабатывания не регулируется.

Хотя формально схемное решение не имеет ошибок, реле обратной мощности после перехода ГА в двигательный режим не срабатывает даже в том случае, когда перемычка *E1* установлена в гнездо 6,4 %.

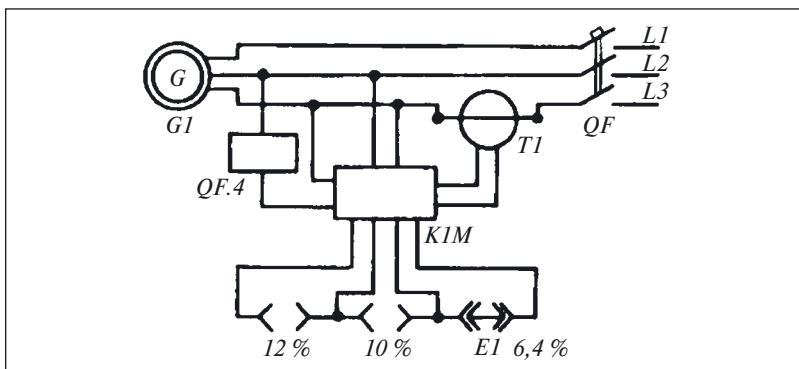


Рис. 21. Схема защиты генератора от работы в режиме обратной мощности

Для получения дополнительной информации о дефекте применим технологический переход «визуальный контроль» и осмотрим реле, обратив особое внимание на работу его подвижной части (диска, на оси которого закреплен подвижный контакт), после перехода ГА в двигательный режим.

Для того чтобы обеспечить переход ГА в двигательный режим, необходимо уменьшать подачу энергоносителя в первичный двигатель, воздействуя на рукоятку управления серводвигателем, изменяющим частоту вращения (данная методика проверки реле обратной мощности установлена в стандарте РД5.6053–91), и одновременно наблюдать за подвижной частью реле обратной мощности.

Выполненная таким образом проверка показала, что диск реле сначала поворачивается на некоторый угол, но затем останавливается и контакт реле остается разомкнутым. Такое проявление дефекта показывает, что на вход реле подается энергия, недостаточная для его срабатывания.

Чтобы убедиться в правильности выдвинутого предположения, произведем некоторые вычисления.

Для срабатывания реле при $U_{ГА} = U_{НОМ}$ необходимо, чтобы через его токовую обмотку протекал ток:

$$I_{ср} = k I_{уст} I_{НОМ},$$

где k — коэффициент, учитывающий возможность регулирования уставки срабатывания на каждой ступени ($k_{\min} = 0,9$; $k_{\max} = 1,1$); $I_{уст}$ — значение тока срабатывания (уставка) реле, задаваемое положением переключки $E1$ в гнездах переключателя уставки, отн. ед.; $I_{НОМ}$ — номинальный ток обмотки реле, А.

В данном примере $k = 0,9$; $I_{уст} = 0,064$; $I_{ном} = 5$ А, поэтому ток во вторичной обмотке трансформатора тока будет равен:

$$I_G = 0,9 \cdot 0,064 \cdot 5 = 0,288 \text{ А.}$$

Так как реле KI включено через трансформатор тока TI с коэффициентом трансформации $K_I = 1,2 \cdot 10^3$, то в статорной обмотке генератора должен протекать ток:

$$I_G = 1,2 \cdot 10^3 \cdot 0,288 = 346 \text{ А.}$$

Измерение тока статора в этом режиме показало, что он равен 230 А. Сопоставив эти два значения тока, заключаем, что для срабатывания реле недостаточно энергии.

Один из способов устранения этой схемной ошибки — применение другого трансформатора тока, коэффициент трансформации которого следует выбирать из условия обеспечения надежного срабатывания реле при токе генератора, равном 230 А, т.е.

$$K_I = I_G / I_{сп} = 230 / 0,288 = 0,8 \cdot 10^3.$$

Этому коэффициенту трансформации при $I_{ном} = 5$ А соответствует первичный ток $I = 0,8 \cdot 10^3 \cdot 5 = 4000$ А. Это значение меньше номинального тока генератора $I_{номG}$, равного 4200 А.

В связи с тем что через первичную обмотку трансформатора тока допускается длительное протекание тока

$$I_{длит} = 1,1 I_{номG} = 1,1 \cdot 4000 = 4400 \text{ А,}$$

такой трансформатор можно использовать в схеме защиты данного генератора.

При этом следует иметь в виду, что *самостоятельная замена элементов устройств на не предусмотренные схемой в этом и в любом другом случае недопустима*. Для замены элемента необходимо получить разрешение проектировщика схемы или, как в рассмотренном примере, завода — изготовителя трансформатора на использование его в таком режиме.

Пример 24. Непредвиденное срабатывание аппарата из-за «проникновения избыточной энергии»

Пускатель KI соединен со щитом питания ZI пятижильным кабелем EI (рис. 22). Две жилы этого кабеля использованы для передачи

информации о работе пускателя на щит, а остальные три подают питание в главную цепь пускателя *K1* на зажимы *L1*, *L2*, *L3*.

При разработке схемы предполагалось, что после включения пускателя *K1* кнопкой, расположенной в кнопочном посту *S*, на щите *Z1* должна загореться лампа *H1*. Проверка схемы в работе показала, что своего назначения она не может выполнить, так как лампа *H1* загорается сразу, после подачи питания на щит *Z1*, даже при неработающем пускателе *K1*.

Прежде чем выдвигать гипотезы о причине дефекта, нарисует эквивалентную схему, которая будет служить диагностической моделью для исходной схемы, показанной на рис. 22, и обратим внимание на то, что по установившейся традиции на электрических схемах не рисуют патроны или арматуру ламп.

Для понимания принципа работы эта условность не играет роли, но вот при поиске дефекта о ней надо помнить, так как в арматуре газосветных ламп (а именно такая лампа показана на рис. 22) устанавливаются дополнительные резисторы. В связи с этим лампа в эквивалентной схеме должна быть нарисована так, как это сделано на рис. 23, *а*. Точки *а* и *б* на этой схеме соответствуют таким же точкам на схеме рис. 22.

Эквивалентную схему составим не для всех элементов, показанных на рис. 22, а только для лампы *H1*, контакта *K1.1* и жил 1, 2 кабеля *E1*. В эквивалентной схеме учтем сопротивление и емкость изоляции между жилами кабеля и между каждой из жил и корпусом (землей). Сопротивлением и емкостью изоляции между жилами со стороны сети можно пренебречь, так как внутреннее сопротивление источников, шунтирующее их, намного меньше. В результате получим эквивалентную схему, показанную на рис. 23, *б*. На основании этой схемы можно выдвинуть следующую гипотезу о причине

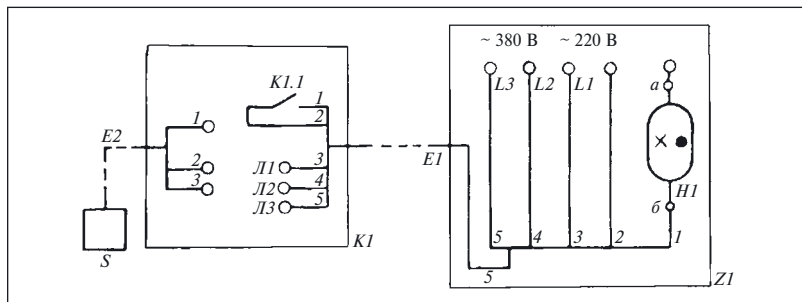


Рис. 22. Фрагмент схемы соединения пускателя со щитом

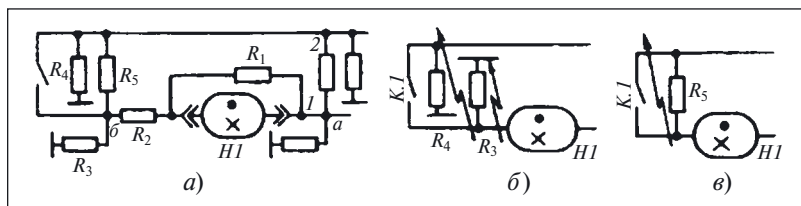


Рис. 23. Эквивалентные схемы:

a — лампы с патроном; *б* — цепей сигнализации; *в*, *г* — образования ложных цепей

дефекта: снижение сопротивления изоляции жил 1, 2 кабеля *EI*, подключенных к контакту *K1.1*, приводит к его шунтированию сопротивлением:

$$R = R_3 + R_4.$$

Однако вероятность возникновения одновременного повреждения изоляции двух жил невелика, и поэтому если искать причину дефекта непосредственно в цепи питания лампы постоянным напряжением, то логичнее предположить существование одного дефекта, причина которого — уменьшение сопротивления изоляции R_5 между жилами 1, 2, соединяющими контакт *K1.1* с лампой *H1* и источником (рис. 23, *в*).

Хотя обе гипотезы не лишены оснований, но в данном примере они не представляют интереса в силу их тривиальности. Тем не менее проверим их, для чего сначала отключим постоянное напряжение 220 В, оставив включенным переменное 380 В, а затем отключим переменное напряжение 380 В, а постоянное 220 В оставим включенным. Чего следует ожидать от такой проверки?

Если выдвинутая гипотеза о шунтировании контакта *K1.1* верна, то при отключении постоянного напряжения 220 В лампа должна погаснуть, а при отключении напряжения 380 В — продолжать гореть.

Выполненные указанным образом проверки показали, что лампа гаснет не только при отключении постоянного напряжения 220 В, но и при отключении переменного напряжения 380 В.

Следовательно, причина дефекта заключается не в шунтировании контакта *K1.1*.

Так как поиск этого дефекта будет рассмотрен ниже, укажем здесь только то, что причиной свечения лампы *H1* является «проникновение избыточной энергии» через емкость и сопротивление изоляции между жилами кабеля *EI* из сети переменного напряже-



Рис. 24. Схема подключения (а) и внешний вид (б) устройства защиты от наводок¹

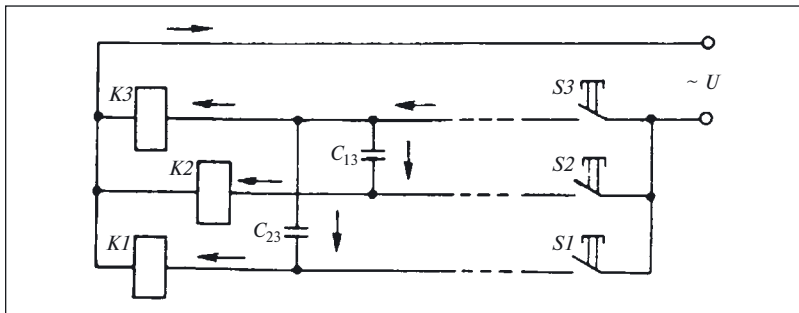


Рис. 25. Схема дистанционного управления реле

ния 380 В. В настоящее время для предотвращения свечения ламп в таких случаях применяют устройство защиты от наводок УЗН-50 (рис. 24).

Задача 8 [10]. На рис. 25 приведена схема управления тремя реле $K1 - K3$ с помощью кнопок $S1 - S3$. Расстояние между реле и кнопками велико — сотни метров.

Сопротивления изоляции между жилами 1 — 4 кабеля и между каждой жилой и землей настолько велики, что ими можно пренебречь. Сопротивление жил примем близким нулю (чтобы не отвлекаться от рассматриваемого вопроса), хотя на самом деле оно может существенно влиять на результаты расчетов. Но емкостные связи между жилами кабелей значительны.

На рис. 25 емкость между жилами 1 и 3 условно обозначена как C_{13} , а между жилами 2 и 3 как C_{23} . В рассматриваемом случае контакт кнопки $S3$ замкнут и ток I_1 протекает только через обмотку реле $K3$, как и задумано проектировщиком. Контакты кнопок $S1$ и $S2$ разомкнуты.

¹ См. <http://www.kaskad-electro.ru>.

Требуется ответить на вопросы:

1. При каком условии реле $K1$ ($K2$) может сработать при разомкнутых контактах кнопок $S1$ или $S2$ («ложное» срабатывание)?

2. Может ли якорь сработавшего реле остаться из-за наличия емкостных токов притянутым после размыкания контакта соответствующей кнопки (как принято говорить — «залипнуть»)?

Пример 26. Несвоевременное отпусканье аппарата

Вращающийся преобразователь $G1$ мощностью 20 кВт подключен к сети через автоматический переключатель питания $A1$ (рис. 26, а).

Сигнал на переключение питания формируется вспомогательным реле времени $K1$, включаемым размыкающим контактом $KM1.1$ контактора $KM1$, через некоторый промежуток времени $\Delta t = t_4 - t_1$ после исчезновения напряжения (рис. 26, б). В связи с тем что двигатель вращающего преобразователя, отключенный от сети, начинает работать в генераторном режиме, напряжение на катушке контакта реле $KM1$ сохраняется еще в течение времени $t_{\text{зад}}$ и переключение на резервное питание происходит не через время Δt , а через время $\Delta t = (t_4 - t_1) + t_{\text{зад}}$ (см. рис. 25, в).

Так как продолжительность вращения отключенного от сети преобразователя зависит от нагрузки, подключенной к его генератору, то промежуток времени $t_{\text{зад}}$ может быть разным. Наибольшее его значение соответствует холостому ходу.

«Лишняя» энергия может проникать и в результате образования «ложных» цепей, не предусмотренных или не учтенных при проектировании релейно-контакторной схемы.

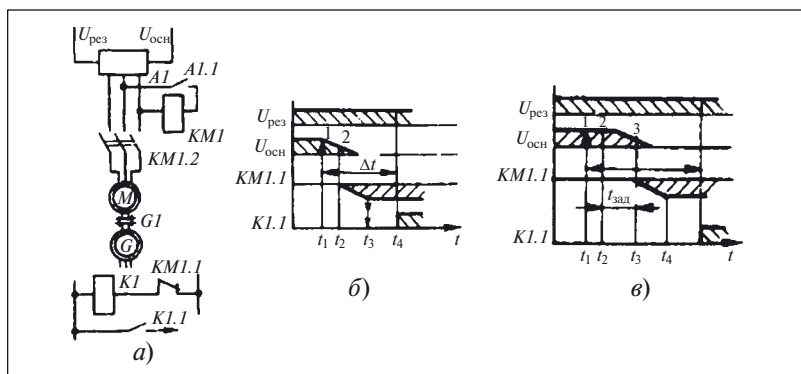


Рис. 26. Переключатель питания:

а — схема; б, в — диаграммы взаимодействия элементов

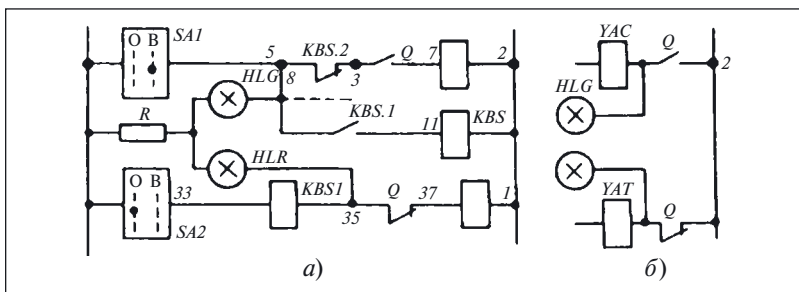


Рис. 27. Фрагмент схемы управления выключателем:

а — исходный; *б* — с исправлениями

Пример 27. Образование ложной цепи¹

На рис. 27, *а* показан фрагмент схемы управления автоматическим выключателем, содержащий включающий *YAC* и отключающий *YAT* электромагниты.

Схема работает следующим образом. При отключении выключателя *Q* (цепь между точками 35, 37 замкнута) после поворачивания рукоятки ключа *SA* в положение «Отключить» срабатывает реле *KBS* от тока, протекающего в рабочей обмотке *KBS. I*, и замыкает контакт *KBS. I* в цепи удерживающей катушки *KBS*. Одновременно размыкается контакт *KBS.2*, предотвращающий подачу питания на включающую катушку *YAC*. Вследствие замыкания цепи 1 — 33 контактом ключа *SA* питание поступает и на отключающую катушку *YAT*.

О состоянии выключателя «Отключено» — «Включено» сигнализируют лампы *HLG*, *HLR*.

После отключения выключателя *Q* и возвращения ключа *SA* в исходное положение питание с обмотки *KBS. I* снимается, однако в обмотке *KBS.2* при определенном соотношении сопротивлений резистора *R*, лампы *HLG* и катушки *KBS* может протекать ток, препятствующий размыканию контакта *KBS. I* и замыканию контакта *KBS.2*.

Такое состояние схемы делает невозможным включение выключателя *Q* и может быть изменено отключением напряжения питания (или, по-другому, оперативного тока).

Устранить рассмотренную ложную цепь, принципиально не изменяя данное схемное решение, можно, подключив второй вывод лампы не к точке 5, а к точке 3 или же изменив соотношение сопротивлений резистора *R*, лампы *HLG* и катушки *KBS* (рис. 27, *а*).

¹ Мусаэлян Э. С. Наладка и испытания электрооборудования электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1986.

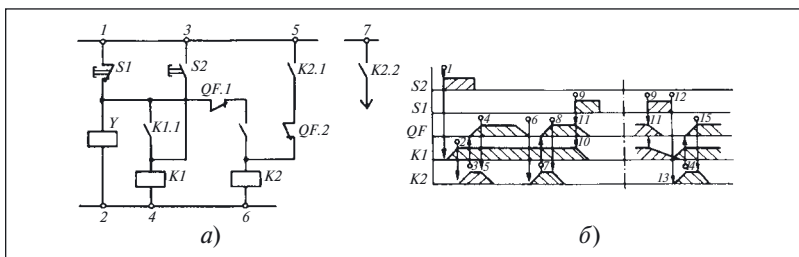


Рис. 28. Автоматический выключатель:

а — фрагмент схемы управления; *б* — диаграмма взаимодействия элементов

Однако более целесообразный способ исправления данной схемной ошибки — изменение цепей включения сигнальных ламп (рис. 27, *б*).

Пример 28. Нехватка времени для совершения заданных действий [11]

На рис. 28, *а* показан фрагмент схемы управления автоматическим выключателем *QF* с удерживающим электромагнитом *Y*, а на рис. 27, *б* — диаграмма взаимодействия элементов этой схемы.

Согласно описанию, схема должна работать следующим образом. Кнопка *S2* включает реле *K1* (цепь 3 — 4 на схеме, точки 1 — 2 на диаграмме), которое включает контактор *K2* (цепь 1 — 6 на схеме, точка 3 на диаграмме) и, кроме этого, шунтирует кнопку *S2* (цепь 1 — 4 на схеме).

Контактор *K2* включает выключатель *QF* (цепь 7 — 8 на схеме, точка 4 на диаграмме), который своими вспомогательными контактами *QF.1* и *QF.2* отключает контактор *K2* (цепи 1 — 6 и 5 — 6 на схеме).

При автоматическом отключении выключатель *QF* своим контактом *QF.1* замыкает цепь 1 — 6 (на диаграмме это соответствует точке 6) и включает контактор *K2* (точка 7 на диаграмме), который повторно выключает по цепи 7 — 9 автоматический выключатель (точка 8 на диаграмме).

Для преднамеренного отключения выключателя следует нажать на кнопку *S1* (точка 9 на диаграмме), контакт которой разомкнет цепи 1 — 2 и 1 — 4. После этого быстродействующее реле *K1* отпустит и разомкнет свой контакт в цепи 1 — 6 (точка 10 на диаграмме); затем (точка 11 на диаграмме) замкнется вспомогательный контакт *QF.2* выключателя *QF*, цепь катушки контактора *K2* останется разомкнутой и, следовательно, выключатель *QF* останется отключенным.

Однако при проверке выяснилось, что схема работает иначе, а дефект проявляется в том, что после нажатия кнопки *S1* контактор *K1* все-таки срабатывает и включает выключатель *QF*.

Как известно, первое, что надо сделать при определении любого дефекта, — это ограничить область его поиска какой-то частью объекта. Из совместного анализа приведенного описания работы схемы управления и ее графического изображения можно установить, что выключатель включается только контактором *K2*, который срабатывает по цепи: точка *1* — контакт кнопки *S1* — размыкающий контакт *QF.1* выключателя *QF* — замыкающий контакт *K1.2* реле *K1*.

Следовательно, для срабатывания контактора *K2* надо одновременно замкнуть следующие контакты:

- кнопки *S1*;
- выключателя *QF.1*;
- реле *K1.2*.

Если первые два условия являются нормальными для схемы при отключенном состоянии выключателя, то контакт *K1.2* замыкаться не должен. Таким образом, область определения дефекта ограничена контактом *K1.2*. Поэтому при визуальном контроле работы данной схемы обратим внимание на работу реле *K1*. Включив выключатель кнопкой *S2*, видим, что реле *K1* срабатывает и притягивает якорь. Затем, нажав на кнопку *S7*, обратим внимание, что реле *K1* не отпускает, а контактор *K2* срабатывает сразу после отключения выключателя *QF* и включает его.

Попробуем нажимать кнопку *S1* длительно. Через 1,5 – 2 с непрерывного нажатия на кнопку *S1* реле *K1* отпускает. Если кнопку *S1* отпустить, контактор *K2* не работает.

Выполнение проверки позволяет выдвинуть предположение: даже при нажатой кнопке *S1* катушка реле *K1* некоторое время получает питание от какого-то источника.

В связи с тем что все цепи, соединяющие катушку реле со вторым полюсом питания, разомкнуты и катушка соединена только с удерживающим электромагнитом, он один и может быть источником, подпитывающим катушку реле *K1*.

Причина дефекта объясняется следующим образом. После замыкания цепи *1 – 2* контактом кнопки *S1* энергия, запасенная в электромагните, расходуется в обмотке реле *K1*, превращая его в реле с замедлением при отпускании. Значит, если кнопка *S1* нажата недолго (т.е. если промежуток времени *9 – 12* меньше отрезка времени *9 – 13*, в течение которого реле может отпустить), то реле не отпустит, а контактор *K2* работает после отпускания кнопки *S1*

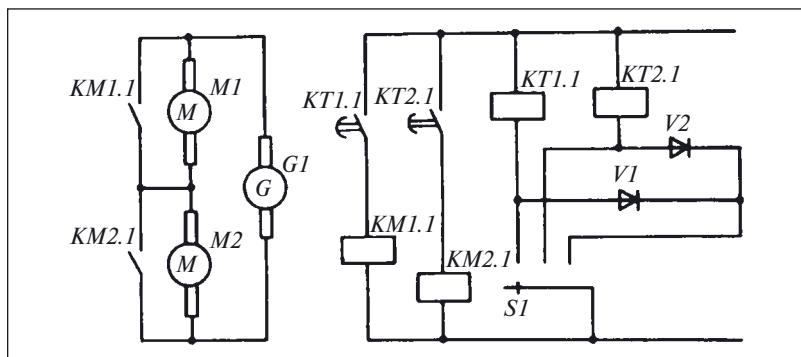


Рис. 29. Фрагмент схемы электропривода по системе генератор — двигатель (цепи возбуждения генератора и двигателей не показаны)

(точка 14 на диаграмме) и ложно включит выключатель QF (точка 15 на диаграмме).

Итак, в данном случае не хватает времени для выполнения заданных действий — отключения автоматического выключателя.

Пример 29. Задание аппаратам уставки, которая не может быть достигнута

По данным, приведенным в описании бытового подогревателя воды типа ПЭ-12, он обеспечивает поддержание температуры воды на выходе из подогревателя с погрешностью $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Однако реле температуры, использованное в этом подогревателе для контроля за температурой воды, имеет погрешность срабатывания $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Следовательно, указанная погрешность поддержания температуры воды не может быть реализована.

Пример 30. Неучтенная коммутационная способность контактов

В электроприводе, работающем по системе генератор — двигатель, электродвигатели $M1$ и $M2$ включены последовательно и могут работать как одновременно, так и по одному (рис. 29). Такую схему соединения электрических машин называют системой неизменного тока.

Режим работы выбирается переключателем $S1$. Неработающий электродвигатель шунтируется контактом, рассчитанным на протекание номинального тока генератора.

Катушки контакторов $KM1$ и $KM2$ включаются контактами реле времени $KT1$ и $KT2$.

Дефект в схеме проявился в том, что при опробовании работы контакторов $KM1$ и $KM2$ «выгорел» контакт реле $KT1$. Проверка

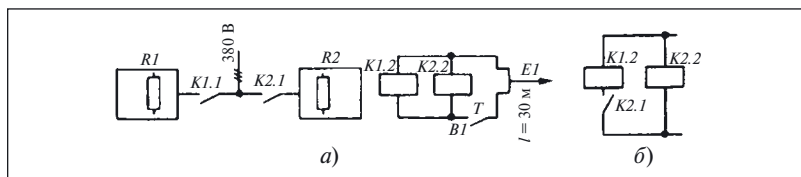


Рис. 30. Электроподогреватель масла:

а — фрагмент схемы; *б* — схема включения контакта в цепь катушки

электрических цепей подтвердила правильность сборки схемы, составленной, на первый взгляд, без ошибок. Однако более подробный анализ параметров схемы показал, что поврежденный контакт реле *КТ1* был рассчитан на коммутацию тока не более 1,5 А, а ток удержания катушки *КМ1* равен 0,4 А. Таким образом, можно предположить, что контакт отказал еще до срабатывания контактора *КМ1*.

Зная, что ток срабатывания контактора в начальный момент может значительно отличаться от установившегося значения (см. пример 5), обратимся к документации контакторов *КМ1* и *КМ2*, в которой написано, что катушка контактора секционирована (см. рис. 2), а ток срабатывания контактора равен 15 А, что значительно (более чем в 25 раз) превышает ток удержания (0,4 А).

Таким образом, причина дефекта — неправильный выбор реле *КТ1* и *КТ2*, без учета тока срабатывания контакторов *КМ1* и *КМ2*.

Практическим выводом из данного примера является необходимость проверки в схемах, содержащих секционированные катушки контакторов, перед включением их в работу коммутационной способности контактов, включающих эти катушки.

Пример 31. Площадь сечения жил кабеля выбрана только по длительному режиму работы

На рис. 30, *а* показан фрагмент схемы системы управления электроподогревом масла. Хотя формально электрическая схема составлена правильно, но при испытаниях система оказалась неработоспособной: при включении питания подвижные системы обоих контакторов «застыли» и не замкнули контакты главной цепи.

Особенностью схемы является то, что кабель *Е1*, соединяющий цепи катушек *К1.2* и *К1.1* с источником питания, имеет значительную длину ($l > 30$ м), а по сигналу реле температуры *В1* одновременно включаются оба контактора.

В то же время катушка *К1.2* (аналогично и катушка *К2.2*) примененного в схеме контактора серии КМ-2000 с цепью управления на

постоянном токе имеет секционированную обмотку, часть которой шунтируется собственным размыкающим контактором. В зависимости от габарита контактора ток удержания, протекающий через две последовательно соединенные секции при разомкнутом контакте $K1.3$, равен 0,2 – 0,8 А (см. рис. 2), а ток включения, протекающий только через катушку $K1.1$, составляет от 8 до 15 А.

Так как ток срабатывания протекает всего в течение долей секунды, площадь сечения жил кабеля $E1$ была выбрана по току удержания, соответствующему длительному режиму работы, и по механической прочности жил (равна 1,0 мм²).

Однако попытка включить одновременно оба контактора, имеющих указанные выше токи включения, приводит к значительному падению напряжения на кабеле, площадь сечения жил которого рассчитана только по току удержания. А это в свою очередь уменьшает напряжение, подводимое к катушке, и препятствует включению контактора.

Если нет возможности проложить новый кабель, то исправить данный дефект можно, введя в цепь одной из катушек замыкающий контакт другого контактора. Такая мера исключит одновременное включение двух катушек, позволит уменьшить падение напряжения на кабеле, обеспечит работу схемы (рис. 30, б).

Пример 32. Недооценка важности системы питания [9]

На рис. 31 представлена схема стабилизатора, к выходу которого подключена нагрузка, изображенная в виде резисторов $R2$ и $R3$.

Изменяемая часть нагрузки — резистор $R3$ — подключена к стабилизатору контактом $K1.1$, а неизменная — резистор $R2$ — постоянно.

При замкнутом контакте $K1.1$ напряжение U_{12} между точками 1, 2 определяется напряжением стабилизации $U_{ст}$ стабилитрона $V1$, но при условии, что сопротивление резистора $R2$ не меньше некоторого значения. В этом случае напряжение на резисторе $R1$ будет равно разности между напряжением источника, питающего стабилизатор, и напряжением стабилизации, т.е.

$$U_{R1} = U_{\text{вх}} - U_{\text{ст}}.$$

При включении нагрузки $R3$ контактом $K1.1$ ток через резистор $R1$ возрастает, соответственно возрастает и падение на-

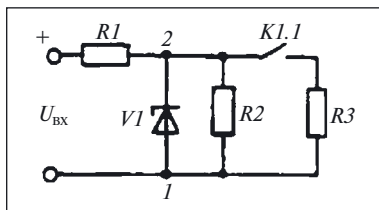


Рис. 31. Стабилизатор напряжения

пряжения на нем, например до значения U_{RI}^1 . Если при этом выполняется соотношение

$$U_{CT} = U_{BX} - U_{RI}^1,$$

то на нагрузке поддерживается практически неизменное напряжение.

Если же увеличение тока нагрузки приведет к нарушению указанного соотношения, то напряжение на нагрузке станет меньше требуемого и будет определяться не напряжением U_{CT} стабилизации диода VI , а соотношением сопротивлений балластного резистора RI и нагрузки $R3$.

Поэтому при анализе работы схем с переменной нагрузкой на стабилизированные источники необходимо обращать внимание на соблюдение допустимых значений нагрузки. Это же нужно делать и при анализе схем, питающихся от аккумуляторов, гальванических батарей и вообще от любых источников ограниченной мощности.

Задача 9. Для защиты двигателей и генераторов в электроприводах по схеме генератор — двигатель предусматривают реле максимального тока, отключающее возбуждение генератора при заданном значении тока в главной цепи.

Вариант включения реле максимального тока параллельно обмотке дополнительных полюсов (ДП) и компенсационной обмотке (КО) двигателя показан на рис. 32, а.

Эквивалентная схема, где указанные обмотки нарисованы в виде шунта RN , приведена на рис. 32, б.

Для изменения уставки срабатывания реле KI в схеме предусмотрен специальный регулировочный элемент — переменный резистор RA .

Уставка срабатывания реле по напряжению

$$U_{cp} = I_{max} R,$$

где I_{max} — ток в главной цепи, при котором должно срабатывать реле KI ; R — сопротивление шунта RN , т.е. обмоток ДП и КО.

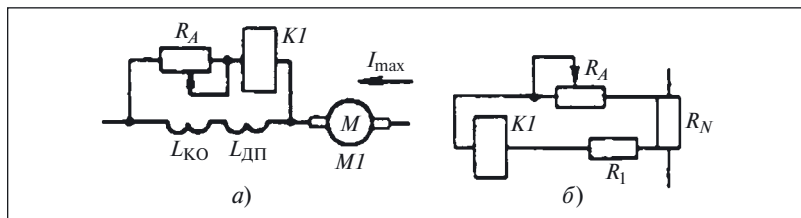


Рис. 32. Схемы реле максимального тока:

а — принципиальная; б — эквивалентная

Площадь сечения проводов, соединяющих обмотки ДП и КО с реле $K1$ и резистором RA , выбрана из следующего соотношения:

$$S = I_K / \delta_q,$$

где I_K — ток срабатывания реле, А; δ_q — допустимая плотность тока в проводах, А/мм².

Сопротивление этих проводов на эквивалентной схеме обозначено как $R1$.

Однако настроить схему из выбранных таким образом элементов не удается. Требуется найти причину дефекта.

Задача 10. На рис. 33 показан фрагмент схемы устройства проверки аккумуляторных светильников, один из которых HA подключен к устройству.

Проверяемый светильник имеет встроенный аккумулятор и устройство подзарядки, получающее питание от двух источников переменного тока. Один из этих источников считается основным (выводы для его подключения обозначены $1O$ и $2O$), а второй — резервным ($1P$, $2P$). При наличии напряжения обоих источников устройство подзарядки подключено к основному источнику.

Светильник может иметь модификацию, рассчитанную на подключение в сеть с напряжением 127 В.

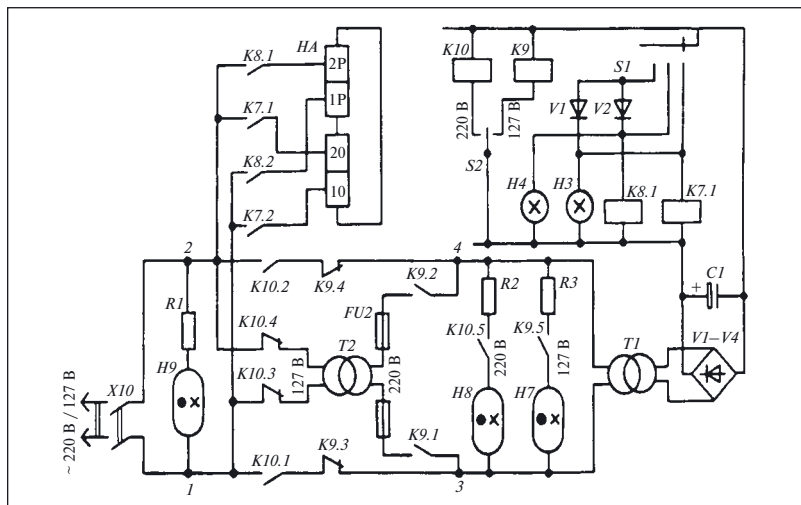


Рис. 33. Фрагмент схемы устройства для проверки аккумуляторных светильников

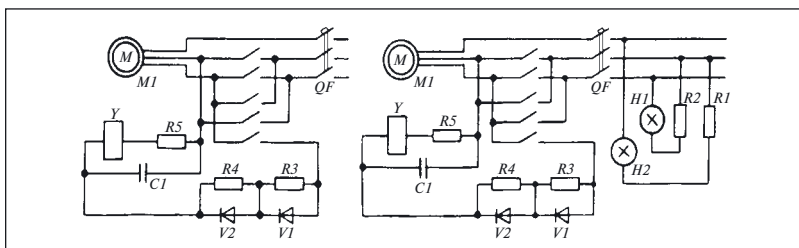


Рис. 34. Схемы главных цепей электропривода пассажирского лифта с односкоростным асинхронным электродвигателем

В соответствии со сказанным устройство для проверки обеспечивает как одновременную подачу основного и резервного напряжений питания, так и одного из них. Делается это переключателем S1. Переключатель S2 служит для выбора одного из значений напряжения питания — 127 или 220 В. Однако устройство оказалось неработоспособным. Требуется проанализировать схему и указать причины нереальности схемного решения.

Задача 11. Проанализировать работу схемы, приведенной на рис. 27, а, при кратковременном перерыве питания.

Задача 12. При настройке релейно-контакторных систем управления грузowymi лифтами было обнаружено, что одна из них не осуществляет реверсирования асинхронного электродвигателя. Схемы главных цепей, полученные после натурной съемки, приведены на рис. 34.

Указать схему, в которой не осуществлялось реверсирование, и назвать причину.

Задача 13. На рис. 35 приведена схема аварийной сигнализации о работе вращающихся преобразователей типа ПСЧ.

Работа схемы в инструкции по эксплуатации описывается так.

При повышении температуры воздуха выше 70 °С реле S1 замыкает свой контакт, зажигается лампа H1, срабатывает контактор K1 и включается сирена H_н. Сирена отключается кнопкой S_н, которая фиксируется в нажатом положении катушкой K2.

При ошибочном отключении вентилятора одного из преобразователей сработал контакт S_{н-1}, загорелась сигнальная лампа H_{н-1} и включилась сирена H_н. Аварийный сигнал отключили кнопкой S_н. Через некоторое время был случайно обнаружен перегрев другого преобразователя и возможная авария предотвращена.

Проверкой установлено, что контакт S1, сигнализирующий о повышении температуры, был замкнут.

Установить причину, по которой срабатывание датчика не могло быть замечено.

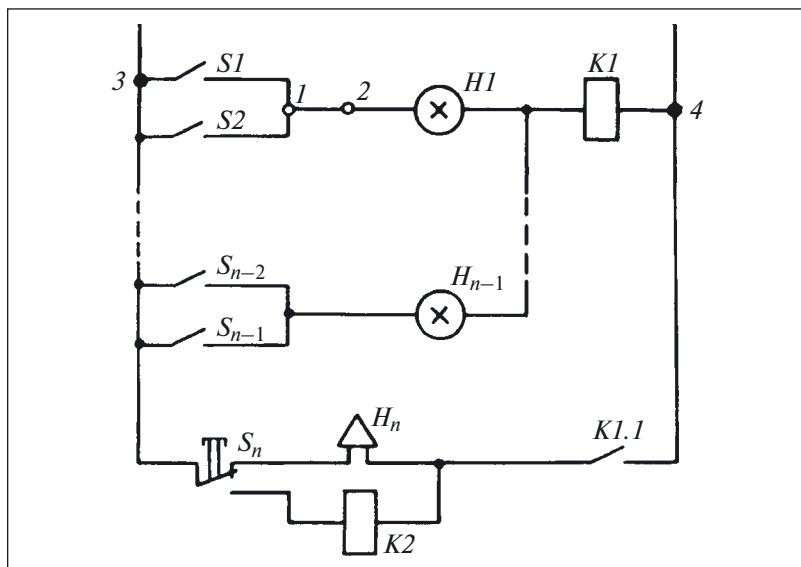


Рис. 35. Схема системы аварийной сигнализации

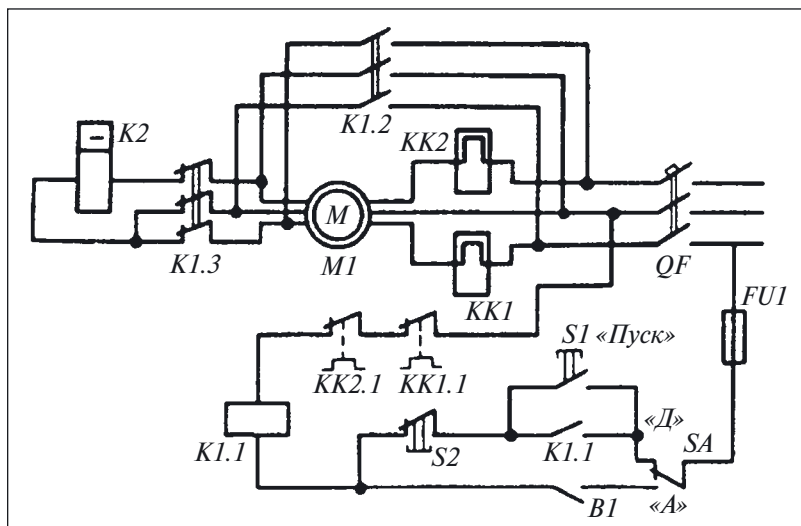


Рис. 36. Схема системы управления пуском асинхронным электродвигателем переключением обмоток со «звезды» на «треугольник»

Задача 14. На рис. 36 приведена принципиальная схема системы управления асинхронного электродвигателя, вращающего сварочный генератор.

По описанию схемы электродвигатель запускается переключением обмоток со «звезды» на «треугольник». Такую схему используют для электродвигателей большой мощности, что позволяет снизить пусковые токи.

Проанализировать приведенную схему, составить при необходимости диаграмму взаимодействия элементов, оценить реальность данного схемного решения и указать выявленные схемные ошибки.

Комментарии и ответы на задачи

К задаче 1. При анализе схемы в примере 12 было выделено шесть блоков. В перечне же гипотез указано четыре причины дефекта, по одной для всех блоков, кроме блоков *M1* и *BPI*. Следовательно, продолжая выдвижение гипотез, необходимо рассмотреть «пропущенные» блоки.

Поэтому следующей гипотезой о причине дефекта может быть, например, **обрыв обмоток электродвигателя *M1***.

Что же касается дефектов в реле *BPI*, то перед выдвижением гипотез необходимо сделать некоторые уточнения. Согласно принципу работы системы управления одним из условий пуска двигателя является подача напряжения на катушку *K1* (см. рис. 4).

Для удобства нарисует цепь отдельно (рис. 37).

Анализ схемы показывает, что ряд элементов (*K1*, *S2*, *KK1*, *FU1*) работает в любом из двух режимов. Контакт *BPI.1* и замыкающий контакт переключателя *SA1* включаются в цепь катушки в режиме «А» (автоматическое управление). Кнопка *S1*, контакт *K1.1* и замыкающий контакт переключателя *SA1* используются только в режиме «Д» (дистанционное управление).

В связи с данной особенностью схемы, прежде чем выдвигать гипотезы о причине дефекта, необходимо проверить положение переключателя *SA1*.

Действительно, если переключатель *SA1* находится в положении «А», то двигатель принципиально невозможно запустить кнопкой *S1*.

Учитывая это, в число предположений о том, почему не удастся запустить двигатель кнопкой *S1*, необходимо включить и **несоответствие между режимом работы системы и выбранным органом управления**.

Если же переключатель *SA1* находится в положении «Д», блок *BPI* можно не рассматривать, так как независимо от наличия или отсут-

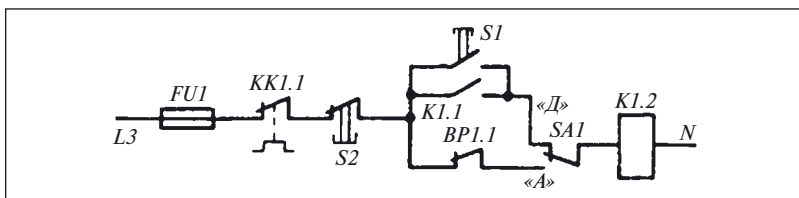


Рис. 37. Фрагмент схемы, приведенной на рис. 4

ствия дефектов в нем блок не влияет на работу системы в режиме дистанционного управления.

Дальнейшее выдвижение гипотез о причине дефекта возможно только в том случае, если перейти к рассмотрению элементов, составляющих выделенные ранее блоки.

Наличие двух защитных элементов (*FU1* и *KK1.1*) позволяет выдвинуть еще две гипотезы:

- *перегорела вставка предохранителя FU1;*
- *в результате перегрузки или короткого замыкания в главной цепи сработало электротепловое реле и разомкнуло свой контакт KK1.1 в цепи катушки K1.*

В связи с тем что согласно описанию дефекта, приведенному в примере 12, при нажатии на кнопку *S1* не срабатывает контактор, то следующей гипотезой о причине дефекта может быть *обрыв в цепи кнопки S1 или дефект контакта кнопки, проявляющий себя как обрыв.*

Если вставка предохранителя *FU1* цела, то может быть выдвинуто еще несколько гипотез о причине дефекта, аналогичных по своей сути, так как все они отражают наличие обрывов в цепи последовательно соединенных элементов и связей между ними. Так как все эти гипотезы отличаются от гипотезы (сработало электротепловое реле и разомкнуло свой контакт *KK1.1* в цепи катушки *K1*) только элементом, в котором произошел обрыв, то для экономии места они здесь не приводятся.

При анализе схем, содержащих в качестве аппаратов защиты автоматические выключатели, при выдвижении гипотез о причине дефекта всегда необходимо учитывать возможность срабатывания независимых расцепителей этих выключателей в результате перегрузок и коротких замыканий в защищаемых ими цепях. Поэтому в число гипотез должна быть включена и такая: *сработал расцепитель выключателя QF.*

В общем случае число выдвинутых гипотез зависит как от количества элементов в схеме, так и от их связей между собой. Но в любом случае, выдвигая гипотезы, обязательно следует учитывать вероят-

ность их появления и обращать внимание прежде всего на наиболее вероятные причины:

- отсутствие напряжения;
- срабатывание защит;
- перегорание вставок;
- несоответствие положений переключателей выбранному режиму работы и т.п.

К задаче 2. Напряжение питания U может исчезнуть мгновенно, что над соответствующей линией диаграммы взаимодействия (рис. 38, точка 1) изображается ступенькой, либо плавно уменьшиться. Так как при этом состояние блоков $A3$ и $BP1$ (см. рис. 4) не влияет на работу других блоков, на диаграмме взаимодействия линии, соответствующие им, отсутствуют.

При мгновенном отключении напряжения в момент времени t_1 снимается напряжение и с блока $A2$. Через промежуток времени

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

в блоке $A1$ начнет движение контактная система $K1.1$, что приведет к снятию напряжения питания блока $M1$ в момент времени t_3 .

С этого момента двигатель $M1$ начнет уменьшать частоту вращения и затем остановится (момент времени t_4).

При плавном снижении напряжения (началу этого процесса соответствует момент времени t_5) отличие заключается только в том, что блок $A2$ начнет отключаться с некоторым запаздыванием, равным

$$\Delta t = t_6 - t_5.$$

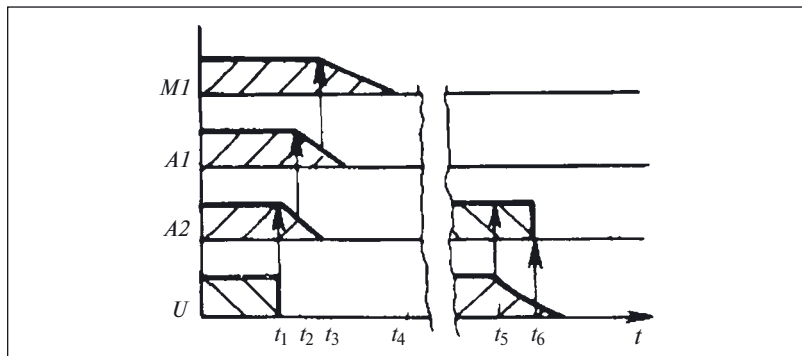


Рис. 38. Диаграмма взаимодействия блоков (см. рис. 4) при исчезновении напряжения

Время запаздывания определяется напряжением отпускания катушки *K1*. Дальнейший процесс аналогичен рассмотренному ранее.

К задаче 3. Восстанавливать пропущенные на рис. 9 проверки начнем с первого исхода (результата) проверки *П1* (рис. 39, *а*).

Как было сказано в примере 16, такой исход соответствует исправности всех предшествующих блоков *H1* – *H8*. Поэтому на рис. 39, *б* показаны только блоки *H10* – *H20*, в одном из которых и существует дефект.

Используя способ средней точки для следующей проверки *П8* выберем выход блока *H14*, находящийся примерно по середине рассматриваемой группы элементов *H10* – *H20*. Исходы этой проверки аналогичны:

1) блоки *H10* – *H14* исправны. Дефект находится в одном из блоков *H15* – *H20*;

2) блоки *H10* – *H14* неисправны, поскольку в одном из них есть дефект.

Оставив исход 1 для самостоятельного решения, обратимся к исходу 2.

Для следующей проверки *П9* выбираем выход блока *H11* (см. рис. 39, *б*). В результате выполнения проверки *П9* также возможны два исхода:

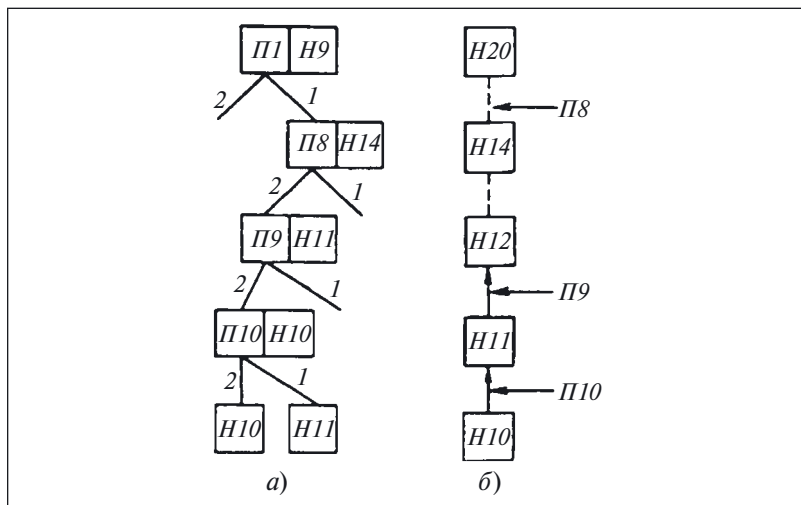


Рис. 39. Очередность выполнения, исходы (а) и точки (б) проверок

1) блоки *H10*, *H11* исправны и дефект находится в одном из блоков *H12* – *H14*,

2) дефект находится в одном из блоков *H10*, *H11*.

При втором исходе проверку *П10* выполним на выходе блока *H10*. Если проверка показывает исправность блока *H10* (исход 1), то предполагают, что неисправен блок *H11*. Второй исход проверки *П10* позволяет заключить, что блок *H10* неисправен.

Обратив внимание на то, что при данном способе возможно вынесение суждения о неисправности блока без его непосредственной проверки (см. исход 1 проверки *П10*, где о неисправности блока *H11* судят по результатам проверки блока *H10*), оставим оставшуюся часть задачи для самостоятельного решения.

К задаче 4. В примере 16 и комментариях к задаче 3 ничего не сказано о том, какие технологические переходы использовались для выполнения проверок.

Для проверки части гирлянды нельзя подавать на нее номинальное напряжения. Снижать же каждый раз напряжение питания пропорционально числу проверяемых ламп нетехнологично.

В связи с тем что описанный в примере дефект проявляется как обрыв цепи¹, для проверки могут быть выбраны технологические переходы «прозвонка» или «измерение» (измеряют сопротивление), с помощью которых определяют целостность цепи из нескольких ламп.

К задаче 5. Прежде всего, напомним, что на схемах показаны идеальные элементы (конденсатор, обладающий только емкостью, резистор, имеющий один параметр — сопротивление, и т.д.), тогда как в изделиях использованы реальные элементы.

Реальный конденсатор, например, помимо емкости, обладает еще и некоторым сопротивлением, называемым сопротивлением утечки $R_{ут}$. Наличие этого сопротивления приводит к появлению так называемого тока утечки $I_{ут}$, существующего при наличии напряжения на обкладках конденсатора. Существование сопротивления утечки объясняет среди прочего и процесс саморазряда заряженного конденсатора.

В силу сказанного эквивалентная схема интересующей нас цепи 1 – 2 (рис. 40, а), по которой обеспечивается заряд конденсатора, будет отличаться от приведенной на принципиальной схеме (см. рис. 16) наличием сопротивления утечки $R_{ут}$. Поэтому в реальной схеме, даже после полного заряда конденсатора C в цепи 1 – 2 будет

¹ Погасли все последовательно соединенные лампы, тогда как при коротком замыкании одной лампы (см. пример 4) горят все лампы, кроме неисправной.

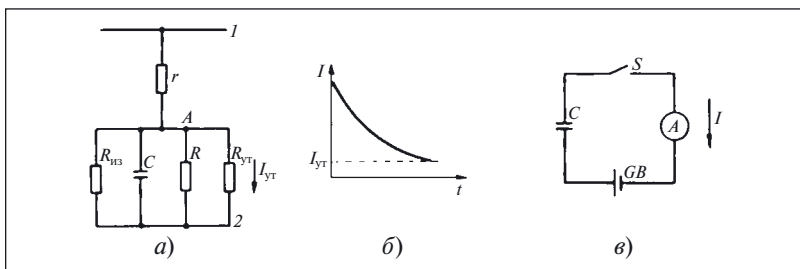


Рис. 40. Автоматическое повторное включение:

a — эквивалентная схема цепи *I* — 2; *б* — изменение тока при заряде конденсатора; *в* — схема проверки исправности конденсатора

протекать некоторый ток $I_{\text{ут}}$. Сопротивления резистора r и утечки $R_{\text{ут}}$ образуют делитель напряжения. Соотношение этих сопротивлений и определит потенциал точки *A*.

Ток заряда конденсатора изменяется во времени по кривой, называемой экспонентой (рис. 40, *б*). Используя данное свойство реального конденсатора, можно проверять его исправность, включив в схему, показанную на рис. 40, *в*.

При отсутствии замыканий или иных повреждений обкладок конденсатора стрелка прибора сперва резко отклоняется в сторону, противоположную нулевому делению, а затем плавно возвращается к нулевому делению.

При повреждении изоляции конденсатора или шунтировании его обкладок каким-либо внешним сопротивлением ток изменяется скачком и принимает значение, определяемое напряжением источника и сопротивлением, шунтирующим обкладки конденсатора.

Для вынесения заключения об исправности оксидных конденсаторов существен не только характер изменения тока в процессе заряда конденсатора, но и его установившееся значение, которое должно соответствовать вычисленному по эмпирической формуле:

$$I_{\text{ут}} = 0,0001 CU + m,$$

где C — емкость конденсатора, мкФ; U — рабочее напряжение конденсатора, В; $m = 0,2$ при $C < 5$ мкФ; $m = 0,1$ при $0,5 \text{ мкФ} < C < 50 \text{ мкФ}$; $m = 0$ при $C > 50 \text{ мкФ}$.

Если нет необходимости определять значение тока утечки (тока, протекающего через заряженный конденсатор), можно использовать омметр, щупы которого подключают непосредственно к выводам обкладок конденсатора. Тогда при исправном конденсаторе

стрелка омметра сначала будет отклоняться в сторону нулевого сопротивления, а затем по мере заряда конденсатора — перемещаться к отметке ∞ (см. также комментарий к задаче 36).

Из сказанного можно сделать вывод, что при отыскании дефекта решающим может быть не только конкретное значение какого-либо параметра, но и характер изменения его во времени.

Ознакомившись со свойствами реального конденсатора, вернемся к рассмотрению исходной схемы, приведенной на рис. 16. Согласно условию задачи в эквивалентную схему должны быть введены сопротивление R , характеризующее наличие пыли между выводами конденсатора, и сопротивление R_{U3} , равное сопротивлению изоляции между точками 2 и А при отключенном от схемы конденсаторе С (см. рис. 40, а).

Рассмотрим два случая:

- 1) выводы конденсатора шунтируются токопроводящей пылью;
- 2) выводы конденсатора шунтируются нетокопроводящей пылью.

В первом случае сопротивление R незначительно и ток в цепи определяется в основном резистором r , сопротивление которого по условию велико. Что же произойдет с сопротивлением R в результате протекания тока? Выделяющаяся от протекания тока теплота разрушит слой пыли и сопротивление R между выводами увеличится настолько, что не будет существенно влиять на работу схемы.

Во втором случае сопротивление R оказывается соизмеримым с сопротивлением изоляции $R_{из}$. Следовательно, в данном случае наличие пыли не может помешать процессу заряда конденсатора С.

Таким образом, можно утверждать, что наличие пыли не может повлиять на работу АПВ в том смысле, который указан в задаче.

Однако к каким же негативным последствиям может привести загрязненность электроустановки пылью?

Наличие пыли может привести к «перекрытиям», т.е. замыканиям, помимо предусмотренных схемой цепей, между точками схемы, находящимися под высоким напряжением, и нарушениям исправности элементов действием тока, искр и дуговых разрядов, вызванных наличием пыли.

К задаче 6. Для ответа на вопрос, сформулированный в условии задачи, обратимся к рис. 37.

Согласно схеме, напряжение к выводам катушки $K1.2$ после замыкания кнопки $S1$ будет подано, если оно есть на входных зажимах N и $L3$. Поэтому причинами описанного дефекта могут быть:

- отсутствие напряжения на зажимах N , $L3$;
- обрыв цепи кнопки $S2$ из-за нарушения связей кнопки с другими элементами схемы или дефекта в контактной системе кнопки.

Таким образом, гипотезы о причине дефекта типа отсутствия напряжения, перегорания вставки предохранителя и срабатывания защиты должны выдвигаться и проверяться в первую очередь.

К задаче 7. Схема на рис. 20, как и аналогичные релейно-контактные схемы, должна работать следующим образом. После нажатия на кнопку $S1$ схема должна «запомнить» этот сигнал и не изменять своего состояния до нажатия на кнопку $S2$.

По описанию дефекта, приведенному в тексте задачи, можно заключить, что схема работает в режиме «Д» (дистанционное управление) и контактор исправен, как исправны реле $K2$ и его контакт $K2.1$, подающий напряжение на катушку $K1M.2$.

В связи с тем что после отпускания кнопки $S1$ элементы схемы возвращаются в исходное состояние, можно заключить, что *запоминание пускового сигнала, подаваемого кнопкой $S1$, не происходит.*

Следовательно, для ответа на поставленный в задаче вопрос необходимо указать элемент (элементы) схемы, осуществляющий запоминание пускового сигнала.

К задаче 8. Прежде чем ответить на вопросы, сформулированные в задаче, обратимся к исходной схеме (см. рис. 25), на которой показаны только две емкости C_{13} и C_{23} , хотя между другими парами жил и между каждой жилой и землей (корпусом) тоже существует некоторая емкость. Поэтому, чтобы при анализе схемы рассматривать одни емкости и не рассматривать другие, необходимы какие-то основания.

Если схема получает питание от фазы и нейтрального провода, то из рассмотрения может быть исключена емкость между землей и жилой, соединенной с нейтральным проводом.

В связи с тем что емкость C_{34} между жилами 3 и 4 и сопротивление катушки $K3$ не влияют на распределение напряжений между другими элементами схемы, так как подключены непосредственно к источнику напряжения, то эквивалентная схема будет соответствовать приведенной на рис. 41. Катушки реле $K1$ и $K2$ на этой схеме показаны в виде сопротивлений Z_1 и Z_2 .

Для ответа на первый вопрос необходимо оценить напряжение, подводимое к катушкам реле, т.е. напряжения U_{14} и U_{24} . Эквивалентная схема показывает, что при равенстве всех емкостей максимальное значение этих напряжений (при $Z_1 = Z_2 = \infty$) не может превышать половины напряжения U_{34} .

Следовательно, если не рассматривать случай резонанса напряжений (для которого необходимо выполнение условия $X_L = X_C$, где X_L и X_C — реактивные сопротивления обмотки реле и конденсатора соответственно), ложное срабатывание реле $K1$ и $K2$ возможно толь-

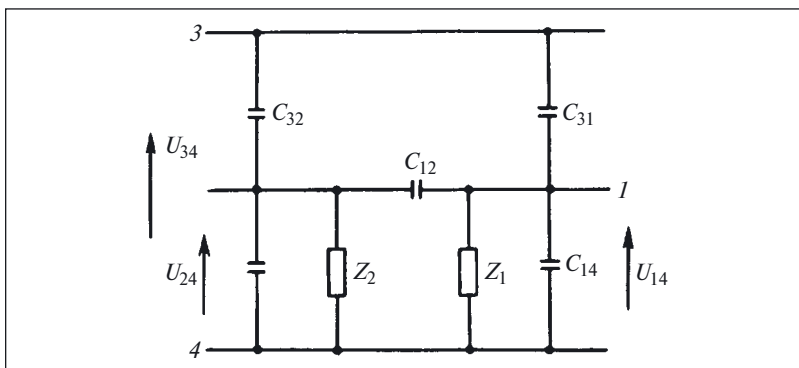


Рис. 41. Эквивалентная схема для схемы на рис. 24

ко в том случае, когда напряжение их срабатывания составляет менее 50 % напряжения U_{34} .

В связи с тем что ток удержания реле значительно меньше тока срабатывания, якорь реле может остаться притянутым и после размыкания контакта соответствующей кнопки.

К задаче 9. Источником напряжения в данной схеме является шунт R_N , напряжение на котором пропорционально току в главной цепи I_{\max} .

При протекании через резисторы R_I , R_A и сопротивление катушки KI тока I_K на каждом из этих элементов падает некоторое напряжение, сумма которых равна падению напряжения на шунте:

$$U = I_{\max} R = I_K R_I + I_K R_A + I_K R_{KI}.$$

Для того чтобы реле KI сработало, необходимо соблюдение следующего неравенства: $U_{cp} < I_K R_{KI}$.

Если реле не срабатывает, то для увеличения напряжения на его катушке можно воспользоваться регулировочным элементом — резистором R_A (см. рис. 31).

Изменяя сопротивление резистора R_A , перераспределяют напряжение между элементами схемы. При $R_A = 0$ все напряжение распределяется между двумя элементами — R_I и R_{KI} .

Однако хотя изменение сопротивления этого элемента и позволяет перераспределить напряжение между элементами схемы, но с его помощью нельзя изменить уставку срабатывания реле KI .

Таким образом, если при $R_A = 0$ реле не срабатывает, нужно обратиться к помощи регулировочного элемента, который на электриче-

ской схеме не показывают, но о существовании которого всегда следует помнить при поиске дефекта.

Этим элементом является пружина, возвращающая якорь при отсутствии напряжения на катушке в исходное положение и противодействующая притяжению якоря при подаче напряжения на катушку реле.

Изменяя усилие затяжки пружины (конечно, если возможность такой регулировки предусмотрена конструкцией реле), уставку срабатывания можно изменить как в меньшую, так и в большую сторону на ΔU .

Следовательно, при минимальной затяжке пружины уставка срабатывания будет равна:

$$U_{\text{ср min}} = U_{\text{ср}} - \Delta U.$$

Если и в этом случае реле $K1$ не срабатывает при протекании через шунт тока I_{max} , следует обратить внимание на то, какое напряжение падает на резисторе $R1$.

Следовательно, при расчете элементов схемы на рис. 32 площадь сечения проводников следует выбирать не только по допустимой плотности тока, т.е. по соотношению $S = I_{\text{к}}/\delta_{\text{q}}$, но и учитывать их сопротивление. Поэтому для надежного срабатывания реле может оказаться необходимым увеличить площадь сечения проводов по сравнению с рассчитанной по допустимой плотности тока для того, чтобы обеспечить срабатывание реле.

К задаче 10. Анализ схемы начнем с системы питания, для чего рассмотрим ее работу сначала при напряжении питания 127 В. Этот режим соответствует верхнему по схеме положению подвижного контакта переключателя $S2$. Напряжение сети 127 В через размыкающие контакты $K10.3$ и $K10.4$ поступает на обмотку 127 В трансформатора $T2$.

Однако из-за наличия в цепи обмотки 220 В замыкающих контактов $K9.1$ и $K9.2$ напряжение 220 В не поступает на первичную обмотку трансформатора $T1$ и, следовательно, на схему управления. Отсутствие напряжения на схеме не позволяет запитать катушку $K10.1$ реле $K1$, обеспечивающего переключения в схеме для питания ее напряжением 220 В. Из-за этого при включении устройства в сеть напряжением 220 В оно поступает на обмотку 127 В трансформатора $T2$.

Все сказанное и делает устройство для зарядки аккумуляторов неработоспособным.

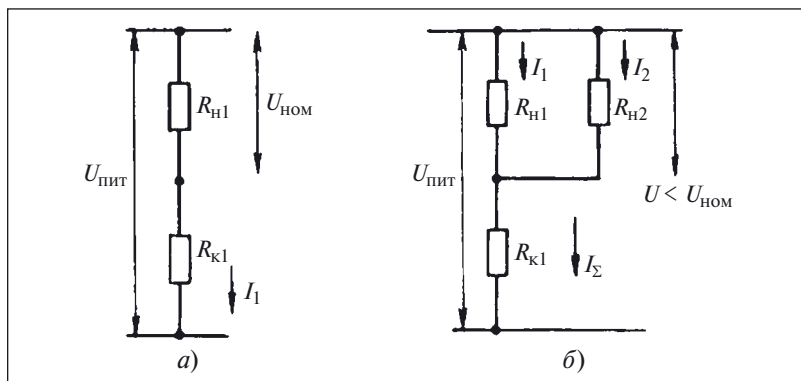


Рис. 42. Эквивалентная схема для схемы на рис. 34

К задаче 11 [11]. При кратковременном перерыве питания реле (см. рис. 27, а) отпустит и включиться более не сможет, поэтому откажет автоматическое повторное включение.

К задаче 12. Решение этой задачи не составит труда, если вспомнить, каким образом осуществляется реверсирование электродвигателя — *переключением двух любых фаз, подходящих к обмоткам.*

К задаче 13. Данная задача иллюстрирует одинаковое проявление различных дефектов. Поэтому при отсутствии дополнительной информации можно назвать несколько причин, количество которых зависит в том числе и от опыта определения дефектов. Назовем здесь только две причины:

- 1) перегорание лампы $Н1$;
- 2) обрыв цепи $1 - 2$, соединяющей контакт датчика SI с лампой $Н1$.

Отдать предпочтение какой-либо из них нет никаких оснований. Кроме того, естественно предположить, что в силу своей тривиальности не они являются решением задачи. Поэтому предположим, что все элементы и связи в схеме исправны. Из такого предположения следует, что при замыкании контакта SI напряжение поступает на лампу $Н1$.

Однако для того, чтобы свечение лампы было заметным, необходимо подвести к ней напряжение, близкое к номинальному. Таким образом, можно предположить: срабатывание датчика могло быть незамеченным из-за того, что напряжение на лампе ниже номинального. Для доказательства этого предположения нарисуем эквивалентную схему цепи $3 - 4$ (рис. 42, а).

Предположим, что в этом режиме к лампе подводится номинальное напряжение. Тогда при замыкании следующего контакта, подключающего еще одну сигнальную лампу, к параллельно включенным лампам подводится напряжение $U < U_{\text{ном}}$ (рис. 42, б).

Таким образом, оказывается, что схема, удовлетворительно выполняющая свои функции при замыкании одного контакта, становится неработоспособной при одновременном замыкании нескольких контактов.

К задаче 14. Цепи управления (см. рис. 36) подключены к фазам питающей сети по обе стороны главных контактов выключателя QF . Хотя такое подключение и обеспечивает подачу напряжения на цепи управления, но оно не может быть допущено по соображениям электробезопасности, так как даже при отключении выключателя QF схема остается под напряжением.

Обратимся теперь к главным цепям. Как видно из схемы, после включения выключателя QF напряжение поступает на обмотки двигателя $M1$, соединяемые в «звезду» после размыкания контактов $K1.3$. Двигатель начинает вращаться с пониженной частотой. При нахождении переключателя SA в положении «Д» после нажатия кнопки $S1$ в главной цепи размыкаются контакты $K1.3$ и замыкают-

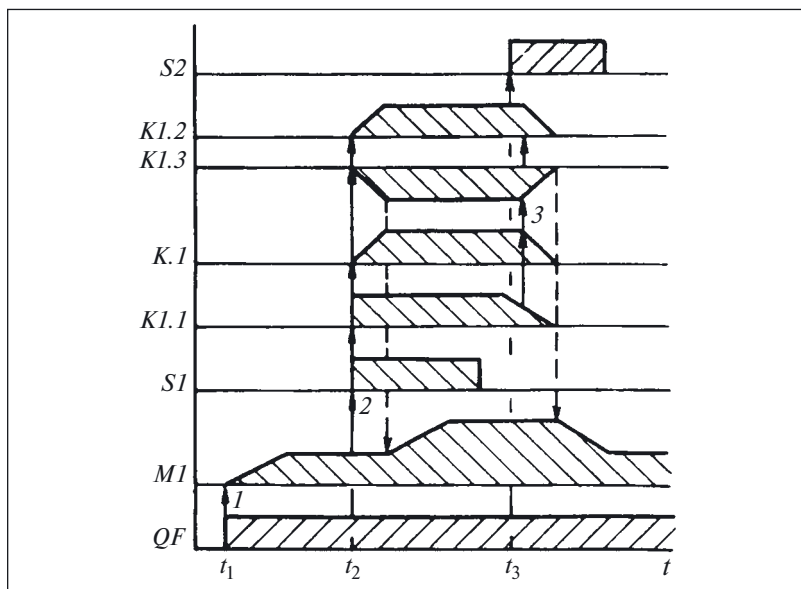


Рис. 43. Диаграмма взаимодействия элементов для схемы на рис. 36

ся контакты *K1.2*, что приводит к переключению обмоток со «звезды» на «треугольник» и увеличению частоты вращения двигателя *M1* до номинальной.

При нажатии на кнопку *S2* «Стоп» катушка *K1.1* обесточивается, контакты *K1.1* и *K1.3* переключаются и двигатель *M1* снижает частоту вращения. Диаграмма взаимодействия элементов показана на рис. 43.

Обратим теперь внимание на рассматривавшиеся элементы реле *K2* и контакт *B1*. Как можно заключить из условного обозначения, воспринимающая часть реле *K2* реагирует на ток, протекающий в фазной обмотке при соединении обмоток «звездой». Однако контакты этого реле в схеме отсутствуют. Из схемы можно установить, что контакт *B1* должен запускать и останавливать электродвигатель в режиме «А».

Определив назначение всех элементов в схеме и составив диаграмму их взаимодействия, можно сделать вывод о том, что схема, показанная на рис. 36, не способна выполнять возложенные на нее функции.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

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 $5 - 10^\circ$ может вызвать дополнительную приведенную погрешность, равную классу точности прибора;

- значительного отклонения температуры окружающей среды от нормального значения (20°C). При измерении температуры на каждые $10 - 20^{\circ}\text{C}$ (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, класса В. При использовании приборов класса А нужно учитывать, что их дополнительная погрешность при температуре 35°C и выше и ниже 10°C не нормируется;

- воздействия на прибор мощных посторонних магнитных полей.

На результирующую погрешность измерения стрелочных приборов влияют 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 с помощью токоискателя проверил наличие напряжения. Когда было установлено, что напряжение отсутствует на шите 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).

Предел измерения 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, со-

ответствующее наибольшему пределу измерения, чтобы избежать перегрузки или повреждения прибора¹.

Если в процессе измерения величины необходимо перейти на другой предел, то сначала следует отключить прибор от объекта 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 четыре гнезда, используемых для подключения прибора в качестве амперметра, вольтметра или омметра.

Такой прибор можно применять и для измерения емкости (см. гнезда «Cx»), а при наличии термодатчика — и для измерения температуры (гнезда «Tx»).

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 минусовый полюс.

Задача 15. При определении дефекта в источнике питания измерили напряжение на входе выпрямительного моста (точки 1, 2 на рис. 45) стрелочным мультиметром на пределе «~300 В».

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 равными 400 В.

Выдвинуть гипотезы о возможных причинах таких показаний прибора.

При выборе типа прибора по измеряемому параметру или при выполнении измерений мультиметром следует учитывать, что тот



Рис. 44. Цифровой мультиметр

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

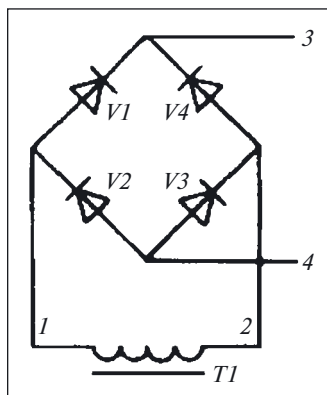


Рис. 45. Выпрямительный мост

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:

$$I = U/R.$$

Напомним, что при таком подключении вольтметра необходимо соблюдать условие:

$$R > 100R_{PV},$$

где R_{PV} — внутреннее сопротивление вольтметра.

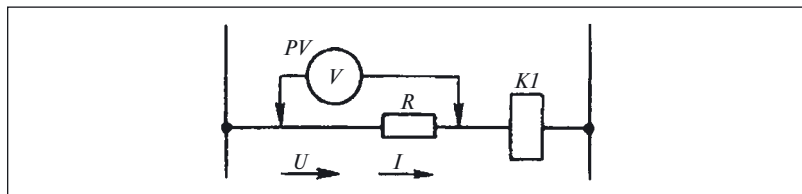


Рис. 46. Измерение падения напряжения для определения тока

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 целостности. Значения тока и напряжения (или одного из этих параметров) позволяет оценить сопротивление всей цепи или ее участка.

Пример 35. Проверка целостности цепи вольтметром

В схеме, приведенной на рис. 46, 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 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.*

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 неоди-

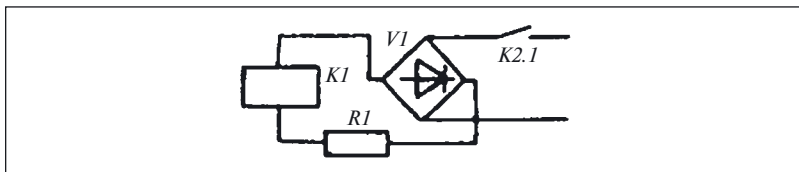


Рис. 47. Фрагмент схемы

наковыми, то можно сказать, что сопротивление изоляции снизилось из-за ее увлаженности.

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, *a*) необходимо произвести два измерения: одно при замкнутом выключателе S , а второе — при разомкнутом.

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 рис. 48, *б* измерит не только ток, протекающий через

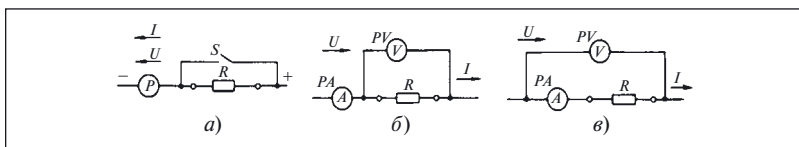


Рис. 48. Измерение сопротивлений:

a — одним прибором; *б, в* — методом «вольтметра — амперметра»

резистор R , но и ток через внутреннее сопротивление вольтметра R_{PV} . Поэтому фактическое значение сопротивления будет равно

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

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

$$R_{\text{сп}} = (U - U_{PA})/I = (U/I) - R_{PA}.$$

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

Обратимся к схеме, показанной на рис. 22. Для установления причины дефекта измерим сперва напряжение на зажимах лампы $H1$. Так как напряжение питания 220 В постоянного тока, то приме-

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 В (см. рис. 49).

Из эквивалентной схемы видно, что вывод 1 лампы $H1$ через сопротивление изоляции Z_4 полюса сети напряжением = 220 В соединен с нейтральной точкой, образованной сопротивлениями изоляции Z_1, Z_2, Z_3 фаз сети напряжением ≈ 380 В.

Второй вывод лампы через сопротивления изоляции Z_6, Z_7, Z_8 жил кабеля подключен к фазам напряжения ≈ 380 В.

Если предположить крайний случай, когда сопротивление изоляции между двумя жилам Z_6 (Z_7 или Z_8) равно нулю, то лампа оказывается подключенной к фазному напряжению сети по цепи:

$N - Z_4 - \text{вывод } 1 - \text{лампа } H1 - \text{вывод } 2 - \text{фаза } LI.$

В этом случае, когда ни одно из сопротивлений Z_6, Z_7, Z_8 не равно нулю, но и не равно одно к другому, 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 емкости 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 емкости 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 устранен. 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 испытатель-

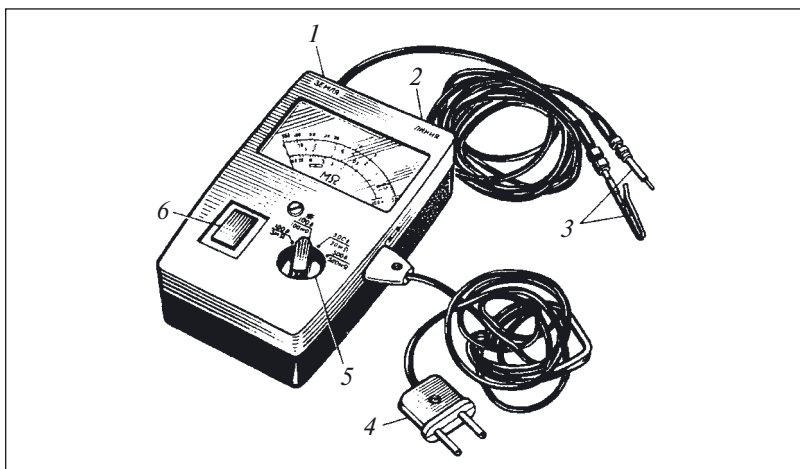


Рис. 50. Мегаомметр:

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

ного напряжения в таких приборах служит генератор переменного напряжения с ручным приводом или специальный преобразователь, получающий электропитание от сети (рис. 50) или батареи.

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

Измеряя сопротивление изоляции в какой-либо одной точке 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 (рис. 51). При этом вместе с проводником *A* проложен проводник *B*. Сопротивления изоляции проводников между собой и между землей и проводниками условно показаны на схеме в виде резисторов R_{AB} , R_{A0} и R_{B0} .

Прибор *PR* для измерения сопротивления изоляции фазы *A* подключается так, как показано на рис. 51, поз. *I*. При таком подключении прибор измерит результирующее сопротивление параллельно включенных сопротивления изоляции фазы *A* и суммарного сопро-

тивления фазы *B* относительно корпуса и фазы *B* относительно фазы *A*, т.е. некоторое эквивалентное сопротивление:

$$R_{\text{эк}} = R_{A0}(R_{B0} + R_{AB}) / (R_{AB} + R_{B0} + R_{A0}).$$

Из этого выражения видно, что $R_{\text{эк}} = 0$ при R_{A0} . При равенстве нулю одного из двух других сопротивлений: R_{B0} или R_{AB} — эквивалентное сопротивление отлично от нуля, и даже при $R_{\text{эк}} > R_{\text{норм}}$ нельзя сказать об исправности изоляции проводника *A*.

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

провода *B* относительно земли;

между проводами *A* и *B*.

В случае равенства всех измеренных эквивалентных сопротивлений можно сказать, что

$$R_{\text{эк}} = 2R_{A0} / 3 = 2R_{B0} / 3 = 2R_{AB} / 3$$

или

$$R_{A0} = R_{B0} = R_{AB} = 3R_{\text{эк}} / 2.$$

Практическим выводом из данного примера является следующий порядок измерения сопротивления изоляции многопроводных сетей и изделий с несколькими обмотками: поочередно для каждой обмотки (провода сети) в отдельности, соединяя 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 дополнительных сведений об изделии и его свойствах для поиска дефекта

Перед подачей напряжения на щит с рубильником, установленный вне помещения, измерили сопротивление изоляции жил кабе-

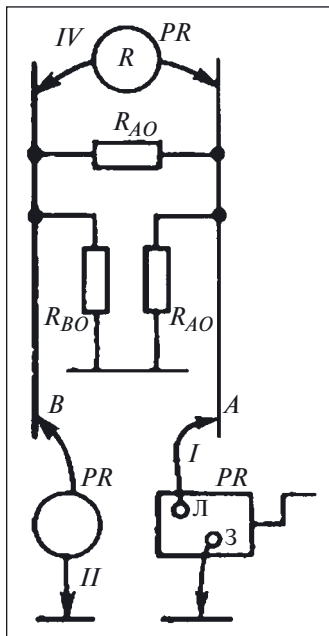


Рис. 51. Измерение сопротивления изоляции

ля, соединяющего его с распределительным щитом. Измерения выполняли мегаомметром на выводных зажимах щита. Все три измерения, при которых мегаомметр 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 мегаомметра стали отличными от нуля, но все-таки оставались 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 с другой целью. Рассмотренный пример показывает, что для успешного определения дефекта нужно не только знать технологические вопросы, но и иметь представление об общих свойствах изделий, материалов 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 понижении температуры влияет на сопротивление изоляции настолько сильно, что при температуре ниже $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 искажения 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.

Нагрузочная характеристика выбранного мегаомметра (рис. 52) показывает зависимость напряжения на зажимах мегаомметра от значения измеряемого сопротивления изоляции. На графике видно, что при сопротивлении изоляции 10 МОм, составляющей 1 % предела измерения, напряжение на зажимах прибора не превышает

70 %, т.е. 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 подключался мегаомметр или высоковольтный 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 используя защитные средства, он прикоснулся к жилам испытуемого кабеля и был смертельно травмирован.

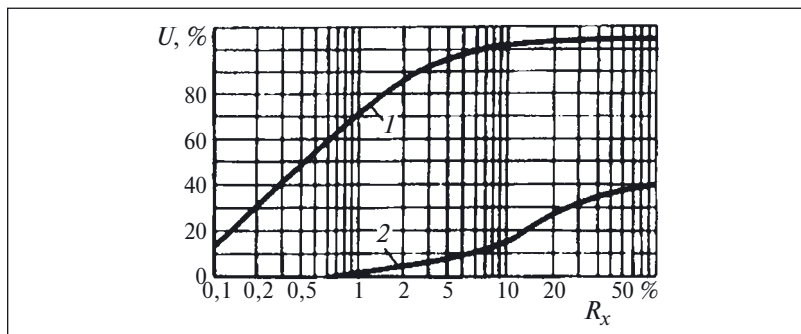


Рис. 52. Нагрузочные характеристики мегаомметра:

1 — с пределом измерения мегаоммы; 2 — с пределом измерения килоомы

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 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 случайные 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 с помощью 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 электронно-счетным частотомером. Частота периодически изменялась от 500 до 700 Гц, хотя тон звука, сопровождавшего 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.

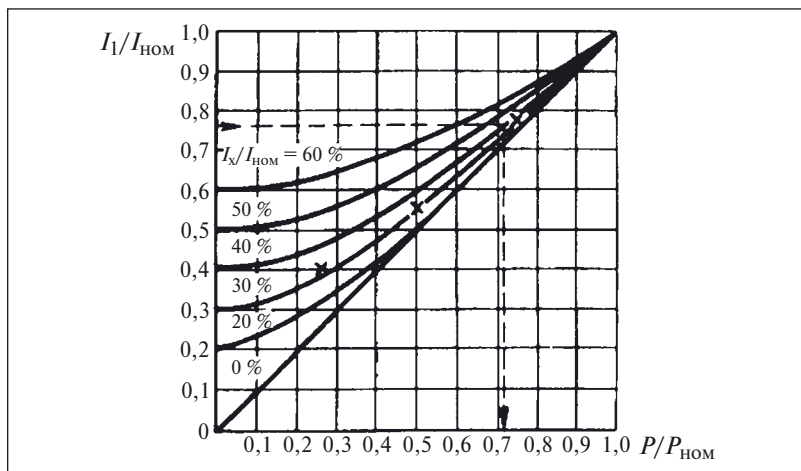


Рис. 53. Зависимость тока статора асинхронного электродвигателя от нагрузки

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:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi \sqrt{10^{-3}}.$$

С изменением нагрузки на валу изменяются ток статора I и коэффициент мощности $\cos \varphi$. Поэтому между нагрузкой на валу и током статора нет прямой зависимости. 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).

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 $I_x = 7,2$ А. Его значение в долях номинального тока будет равно

$$i_x = I_x / I_{\text{НОМ}} = 7,2 / 18 = 0,4.$$

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

$$i = I / I_{\text{НОМ}} = 13,5 / 18 = 0,75.$$

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

$$P = P / P_{\text{НОМ}} = 0,73.$$

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 электроэнергии¹

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.

¹ В цифровых счетчиках предусмотрены прямое измерение мощности и выведение значения потребляемой мощности на дисплей прибора.

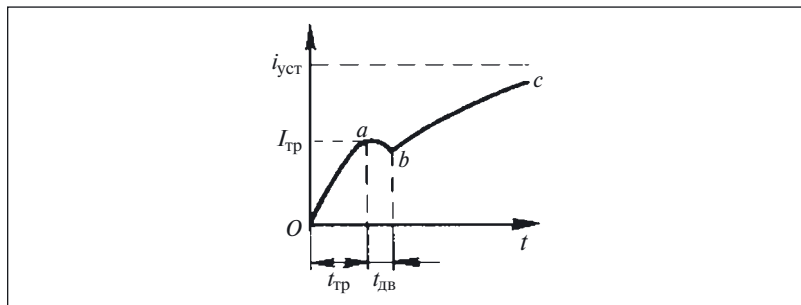


Рис. 54. Осциллограмма изменения тока в катушке реле

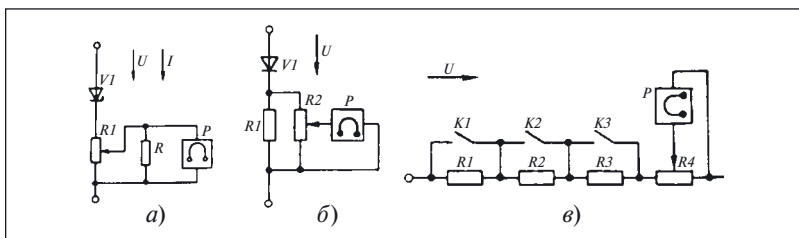


Рис. 55. Схемы подачи сигналов на вход осциллографа:

а — со стабилитроном; б — с диодом; в — с резисторами и контактами

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 числа оборотов индукционного счетчика.

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

$$P = Cn/t,$$

где C — постоянная счетчика.

На щитке индукционного счетчика 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 непригодны, и вместо них или вместе с ними в настоящее время применяют различные цифровые регистрирующие приборы¹.

¹ Ранее для этой цели применяли светолучевые осциллографы с гальванометрами или самописцы (для медленно протекающих процессов).

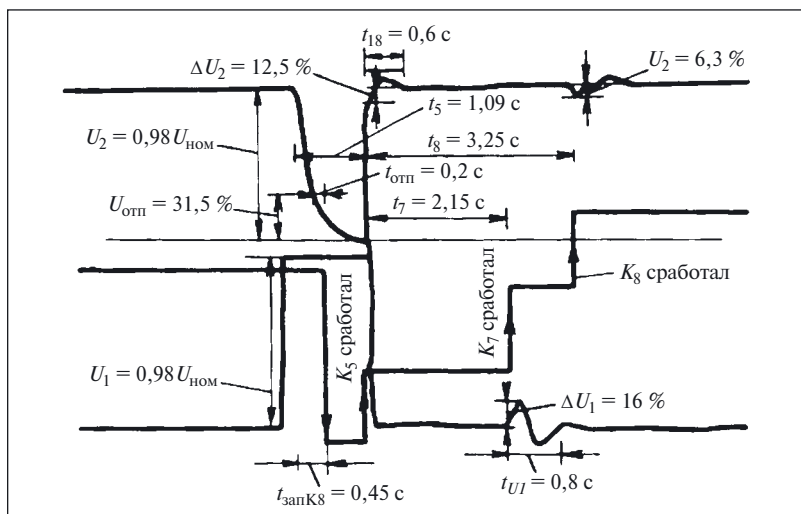


Рис. 56. Осциллограмма процесса переключения питания

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 ($t_{\text{тр}}$) якоря.

Кривая на участке *ab* показывает изменение тока в катушке при движении якоря ($t_{\text{дв}}$).

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

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

Если диапазон изменения контролируемого сигнала превышает допустимое значение, то используют трансформаторы тока (напряжения), измерительные шунты и другие вспомогательные устройства. Например, если необходимо записывать напряжение не постоянно, а только после достижения им заранее заданного значения, в измерительную схему включают стабилитрон (рис. 55, *a*).

Для записи напряжения определенной полярности или половины синусоиды используют полупроводниковые диоды (рис. 55, *б*).

Последовательность срабатывания контактов контролируемого объекта помогает определить схема с резисторами, шунтируемыми этими контактами (рис. 55, *в*).

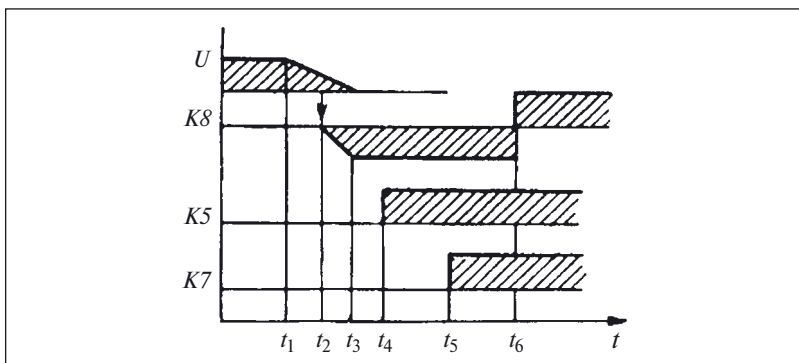


Рис. 57. Диаграмма взаимодействия контакторов при переключении питания

Пример 48. Определение последовательности взаимодействия контакторов при переключении питания

При контроле за работой переключателя питания необходимо записывать напряжения 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 и названия записанных сигналов).

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 U_2 в момент времени t_2 стало равным $U_{\text{отп}} = 31,5 \% U_{\text{ном}}$. Таким образом, от момента t_1 , когда началось снижение напряжения, до момента срабатывания контактора $K8$ прошло время $t_3 = 0,45$ с. Этот промежуток и составляет время запаздывания контактора $K8$:

$$t_{\text{зап}K8} = t_3 - t_1.$$

В момент времени t_4 сработал контактор $K5$ и подал напряжение U_1 от другого источника. Таким образом, от момента исчезновения

напряжения U_2 до подачи напряжения от другого источника U_1 прошло время, равное

$$t_4 - t_1 = 1,09 \text{ с.}$$

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 U_2 в моменты t_5 (через 2,15 с) и t_6 (через 3,25 с).

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

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

Комментарии и ответы на задачи

К задаче 15. В задаче рассмотрены во взаимодействии два объекта — выпрямительный мост и измерительный прибор. Причина разных показаний прибора — либо в выпрямительном мосте, либо в самом приборе, либо следствие взаимодействия рассматриваемых объектов.

Повышение напряжения после выпрямительного моста возможно только в схемах выпрямления с умножением напряжения. В связи с тем что в данном случае использовали обычный двухполупериодный выпрямительный мост, напряжение на его выходе не может превышать практически в 2 раза напряжения на входе.

Свойства рассматриваемых объектов не позволяют предположить наличие причины, объясняющей повышение напряжения на выходе выпрямительного моста после подключения к нему измерительного прибора, потому что взаимодействию этих объектов соответствует уменьшение напряжения на выходе выпрямителя после подключения нагрузки, которой является прибор. Поэтому из всех возможных причин следует рассмотреть одну — дефект в измерительном приборе.

Для проверки этой гипотезы измерим напряжение на выводах 3, 4 (см. рис. 44) другим, заведомо исправным прибором. Результат измерения — 230 В.

Следовательно, причина таких показаний — дефект прибора в цепях измерения постоянного напряжения.

Задача 16. Для выдвижения гипотез измерим напряжение на катушке и резисторе при замкнутом и разомкнутом положениях контакта $K2.1$.

Измерения показали, что при замкнутом контакте $K2.1$ напряжение U_{R1} на резисторе $R1$ равно $0,15U_{\text{пит}}$, измеренного на выходе выпрямительного моста.

Напряжение U_{K1} на катушке $K1$ равно $0,85U_{\text{пит}}$.

Дальнейшие измерения показали, что, хотя при разомкнутом контакте $K2.1$ напряжение $U_{\text{пит}} = 0$, напряжение на катушке достигает 40 % измеренного при замкнутом контакте, а напряжение на резисторе $R1$ в этом случае также не равно нулю.

Таким образом, оказывается, что после снятия напряжения питания на катушке есть некоторое напряжение, достаточное для удержания якоря в притянутом положении. Таким образом можно предположить, что причиной такого дефекта может быть неисправность изоляции катушки реле $K1$. Сказанное позволяет нарисовать эквивалентную схему, показанную на рис. 58.

Для проверки гипотезы необходимо измерить напряжение на выводах A и B катушки относительно земли (поз. I и II вольтметра PV). Измерения показали, что напряжение между точкой B и землей много больше, чем напряжение между точкой A и землей. Следовательно

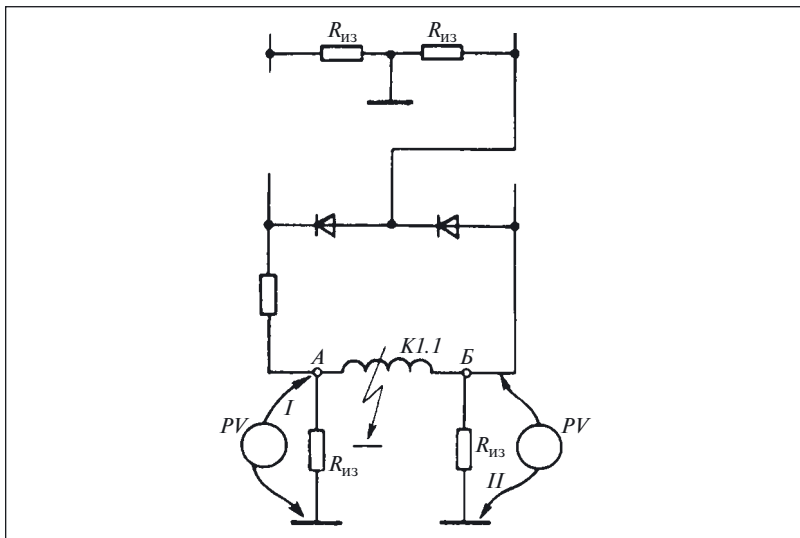


Рис. 58. Эквивалентная схема для рис. 46

но, в катушке реле есть дефект, проявившийся в виде замыкания на землю, причем место замыкания расположено ближе к точке *A*.

К задаче 17. Выше был рассмотрен технологический переход «визуальный контроль». Однако при определении дефектов приходится контролировать изделие не только органами зрения, но и другими органами чувств (или *органолептически*).

В данном случае в условии задачи обращено внимание на акустическую информацию. Действительно, так как частота напряжения на выходе машинного преобразователя зависит от частоты вращения, то изменение показаний частотомера должно сопровождаться явно выраженным изменением звука, создаваемого вращающейся машиной.

Если же при органолептическом контроле такого изменения звука не установлено, то нет и изменения частоты вращения.

Следовательно, причина периодического изменения показаний прибора заключается в другом и, скорее всего, является результатом неисправности электронно-счетного частотомера.

Для проверки выдвинутой гипотезы измерим частоту прибором другой системы, например ферродинамическим частотомером. Результаты измерения показывают, что частота стабильна во времени и, следовательно, преобразователь исправен.

Далее проверим электронно-счетный частотомер на поверочной установке. Проверка показала, что прибор исправен.

Следовательно, выдвинутая гипотеза несостоятельна и причина описанного в условии задачи дефекта иная. Учитывая исправность преобразователя и прибора, можно предположить, что причина дефекта в их взаимодействии.

Для проверки этой гипотезы проанализировали схему преобразователя и установили, что при работе на холостом ходу он нагружен только на резонансный $L - C$ -контур.

Это позволяет предположить наличие на выходе преобразователя не только напряжения основной частоты (основной гармоники), но и других гармоник, которые влияют на показания электронно-счетного частотомера.

Чтобы убедиться в правильности сказанного, нагрузим преобразователь небольшой активной нагрузкой, составляющей примерно 1 – 2 % номинальной. Затем электронно-счетным частотомером измерим частоту на выходе нагруженного преобразователя. Она составила 502,4 Гц.

Следовательно, выдвинутое предположение правильно и причина дефекта была результатом взаимодействия электронно-счетного частотомера и ненагруженного преобразователя.

Список литературы

1. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов 2ТЭ116. М.: Транспорт, 1984.
2. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов ТЭЗ и 2ТЭ10Л. М.: Транспорт, 1976.
3. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов Т0М2 и ТЭМ1. М.: Транспорт, 1981.
4. Перникис Б. Д., Ягулин Р. Ш. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. М.: Транспорт, 1984.
5. Захаров О. Г. Испытатель электрических машин, аппаратов и приборов. М.: Высшая школа, 1982.
6. Захаров О. Г. Испытания электротехнических изделий. М.: Высшая школа, 1987.
7. Захаров О. Г. Настройка аппаратуры и систем судовой электроавтоматики. Л.: Судостроение, 1982.
8. Морозов Э. В., Новицкий О. А. Пособие технику-электрику по средствам автоматизации. М.: Колос, 1977.
9. Захаров О. Г. Чтение схем электротехнической части судов. Л.: Судостроение, 1984.
10. Каминский Е. Л. Как добиться надежной работы электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.
11. Каминский Е. А. Техника чтения схем электроустановки. М.: Энергия, 1972.
12. Тимофеев В. А. Сто схемных задач по автоматике. Л.: Судостроение, 1964.
13. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Л.: Энергия, 1969.
14. Дементьев В. С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. М.: Энергия, 1980.
15. Деро А. Р. Неполадки в работе асинхронных двигателей. Л.: Энергия, 1976.
16. Захаров О. Г. Дефекты в электрооборудовании: поиск и устранение. Л.: Лениздат, 1989.
17. Захаров О. Г. Определение дефектов в релейно-контакторных схемах. М.: Росагропромиздат, 1991.
18. Захаров О. Г. Поиск дефектов в электрооборудовании. М.: Высшая школа, 1986.
19. Захаров О. Г. Поиск дефектов при настройке судового электрооборудования. Л.: Судостроение, 1981.
20. Лазаревский Н. А., Шафранский В. А. Дефектация судовых электрических машин. Л.: Судостроение, 1981.
21. Ривлин Л. Б. Как определить неисправность асинхронного двигателя. Л.: Энергия, 1968.
22. Шпизер Р., Грюттер Ф. Неисправности электрических машин и способы их устранения. Л.: Судостроение, 1964.
23. Шустерович А. Н. Обнаружение неисправности радиоэлектронного оборудования. М.: Энергия, 1970.
24. Минин Т. П. Измерение мощности. М.: Энергия, ????
25. Минин Т. П. Измерения электрических величин. М.: Энергия, 1971.
26. Минин Т. П. Несинусоидальные токи и их измерение. М.: Энергия, 1979.
27. Минин Т. П. Мегаомметр. М.: Энергия, 1966.
28. Боно де Э. Рождение новой идеи (о нестандартном мышлении). М.: Прогресс, 1976.
29. Альтшулер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973.
30. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках. М.: Радио и связь, 1984.
31. Пойа Д. Как решить задачу. М.: Учпедгиз, 1964.
32. Павлов Б. В. Диагностика «болезней» машин (как инженеры овладевают языком машин). М.: Московский рабочий, 1971.
33. Сверчкова Р. Т. На что жалуетесь, машина? М.: Советская Россия, 1985.
34. Дмитриев А. К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
35. Дубецкий Л. Г. Предвестники отказов в изделиях электронной техники. М.: Радио и связь, 1989.

Содержание

Часть 1	
Предисловие	3
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Пояснение основных понятий и определений	5
ГЛАВА ВТОРАЯ. Анализ релейно-контакторных схем.	17
Комментарии и ответы на задачи	60
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Особенности измерений при определении дефекта.	73
Комментарии и ответы на задачи	92
Список литературы	95
Часть 2	
Предисловие	
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Проверка электрических цепей	
Комментарии и ответы на задачи	
ГЛАВА ПЯТАЯ. Определение дефекта методом эксперимента	
Комментарии и ответы на задачи	
ГЛАВА ШЕСТАЯ. Проверка обмоток	
Комментарии и ответы на задачи	
ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Проверка подвижных частей реле и контакторов	
Список литературы	

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»

ЗАХАРОВ ОЛЕГ ГЕОРГИЕВИЧ

Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах (часть 1)

АДРЕС РЕДАКЦИИ

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23
Телефоны (495) 675-19-06, тел./факс 234-74-21

Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская

Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева

Корректор Е. П. Севостьянова

Сдано в набор 16.03.10. Подписано в печать 27.04.10.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 6,0. Заказ БЭТ/04(136)-2010

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Библиотечка электротехника

Приложение к журналу «Энергетик»

Основана в июне 1998 г.

В ы п у с к 5 (137)

О. Г. Захаров

ПОИСК ДЕФЕКТОВ В РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМАХ

(Часть 2)

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2010

УДК 621.371:621.311
ББК 31.27-05
3-38

Главный редактор журнала «Энергетик» А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

«Библиотечки электротехника»

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, В. И. Пуляев, А. И. Таджикибаев, Ю. В. Усачев

Захаров О. Г.

3-38 Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах (Часть 2).
М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. — 92 с.: ил. [Библиотечка
электротехника, приложение к журналу «Энергетик»;
Вып. 5 (137)].

Рассмотрена иллюстрированная практическими примерами технология поиска дефектов в релейно-контакторных схемах и электроустановках напряжением до 1000 В.

Приведены задачи на самостоятельный поиск дефектов и ошибок в схемах, снабженные комментариями и пояснениями.

Даны рекомендации по соблюдению мер безопасности, дополненные описанием несчастных случаев с указанием причин электротравм.

ISSN 0013-7278 © НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010

Предисловие

Профессия электрика связана с изготовлением, монтажом, настройкой, ремонтом и обслуживанием разнообразного электрооборудования. При этом неперенной частью его работы является поиск дефектов. Необходимость своевременного обнаружения и устранения дефектов трудно переоценить, так как чем совершеннее и производительнее электрооборудование, тем значительнее экономический ущерб от его простоя или нерационального использования даже в короткие промежутки времени. Вот почему так важно умение электриков находить дефекты в электрооборудовании.

В предлагаемой брошюре не приведены перечни возможных дефектов, их причин и способов устранения, как это сделано в руководствах по эксплуатации или в известных работах [1 — 3]. Вместо этого после описания внешних проявлений того или иного дефекта и результатов эксперимента, проведенного на реальном электрооборудовании, дается анализ полученных результатов и определяется причина дефекта.

Возникающие при использовании такого способа поиска дефектов трудности должна помочь преодолеть описанная в брошюре технология, поясняемая практическими примерами и задачами, в которых рассмотрено также применение специальных и универсальных средств технологического оснащения. Ответы на задачи не приводятся, так как знание ответа подсказывает ход решения задачи и сковывает инициативу по отысканию других возможных путей решения. Однако практически ко всем задачам даны комментарий или пояснения, помогающие самостоятельно найти дефект.

Поскольку описание технологии поиска дефектов требует использования специальной терминологии, обозначающей специфические понятия технической диагностики и смежных областей науки и техники, то данная брошюра начинается с пояснения терминов и обозначаемых ими понятий на практических примерах.

В брошюре основное внимание уделено поиску дефектов в электрооборудовании напряжением до 1000 В. Однако описанные мето-

ды и некоторые технологические переходы можно применять при поиске дефектов в обесточенных электроустановках и электрооборудовании напряжением выше 1000 В.

Помимо технологии определения дефектов и сведений, специфических для данного вида работ, приведены конкретные меры безопасности, которые надо соблюдать при работе. Невозможно указать все меры безопасности, поэтому электрик должен знать и соблюдать как общие, так и специальные меры безопасности, установленные «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также отраслевые (ведомственные) правила, действующие на предприятии, где электрик выполняет работу по поиску дефектов.

Предлагаемая вниманию читателей брошюра не заменяет нормативные документы, поэтому при использовании технологии поиска дефектов необходимо также руководствоваться документами, определяющими порядок выполнения тех или иных работ в электроустановках на предприятии.

Для составления примеров и задач по определению дефектов автор использовал данные многолетней практики настройки и испытаний электрооборудования, а также практический опыт коллег. Незначительное число примеров дефектов в релейно-контакторных схемах и их описаний, касающихся в основном поиска дефектов в схемах при их анализе, заимствовано из технической литературы и документации.

Некоторые примеры даны со ссылками на источник, и указаны фамилии специалистов, их предоставивших. Автор приносит свои извинения за невозможность указать фамилии всех специалистов, предоставивших ему примеры дефектов и ошибок в релейно-контакторных схемах.

Автор выражает особую признательность Ю. В. Усачеву, поддержавшему идею издания этой брошюры.

**Замечания и пожелания по брошюре
просьба направлять по адресу:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.
Редакция журнала “Энергетик”**

Автор

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Проверка электрических цепей

Дефекты электрических цепей, соединяющих элементы релейно-контакторных схем, очень разнообразны, но все они проявляются либо в виде *обрыва*, либо в виде *перегрузки* (см. гл. 2, ч. 1).

Для дефектов типа «обрыв» характерно увеличение сопротивления электрической цепи до бесконечно большого значения, а для дефектов типа «перегрузка» — его уменьшение вплоть до нулевого значения при коротком замыкании (КЗ). Поэтому принцип действия всех приспособлений для проверки электрических цепей может быть сведен к принципу действия *пробника* — прибора, содержащего источник питания GB , индикатор целостности цепи P , резистор R , ограничивающий ток, и щупы $1, 2$, посредством которых пробник подключают к проверяемой цепи (рис. 59, а).

Пробник представляет собой омметр, измеряющий сопротивление цепи. Однако шкала пробника, как правило, проградуирована не в омах, а в безразмерных величинах, а также в вольтах или в миллиамперах.

Даже в том случае, когда пробник вместо стрелочного снабжен световым или звуковым (как в цифровом мультиметре, показанном на рис. 44, см. ч. 1) индикатором, все сказанное остается в силе. Различие состоит в том, что с изменением сопротивления цепи изменяется яркость свечения лампы или громкость звука.

Электрические цепи проверяют пробником: непосредственным способом или способом заземления.

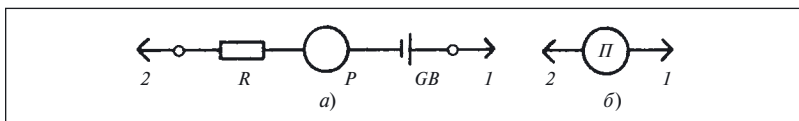


Рис. 59. Пробник:

а — принципиальная схема; б — условное графическое обозначение

При проверке непосредственным способом не используют никаких иных цепей, кроме проверяемых. Этот способ применяют тогда, когда начало и конец электрической цепи находятся настолько близко друг к другу, что к ним одновременно можно подключить оба щупа пробника.

Способ заземления применяют для проверки тех электрических цепей, начало и конец которых находятся в разных помещениях или довольно далеко друг от друга. Здесь помимо проверяемых цепей используют вспомогательные цепи — заземляющие проводники, жилы любого кабеля, специально проложенные проводники, шины заземления и т.д.

Пример 49. Непосредственный способ проверки

Требуется проверить целостность и правильность соединения электрических цепей в жгуте или кабеле, начало и конец которого распаяны на соединители $X1$ и $X2$ (рис. 60).

Правильность соединений проверяют по нанесенным рядом с контактами соединителя обозначениям.

Для проверки целостности электрических цепей щуп пробника Π подключают на одной стороне жгута к контакту I' соединителя $X2$, а на другой стороне жгута вторым щупом пробника Π ищут контакт соединителя $X1$, имеющий электрическую связь с контактом I' . При этом для выявления неправильных соединений с контактом I' соединителя $X2$ необходимо вторым щупом пробника прикоснуться ко всем остальным контактам соединителя $X1$, а также к корпусу соеди-

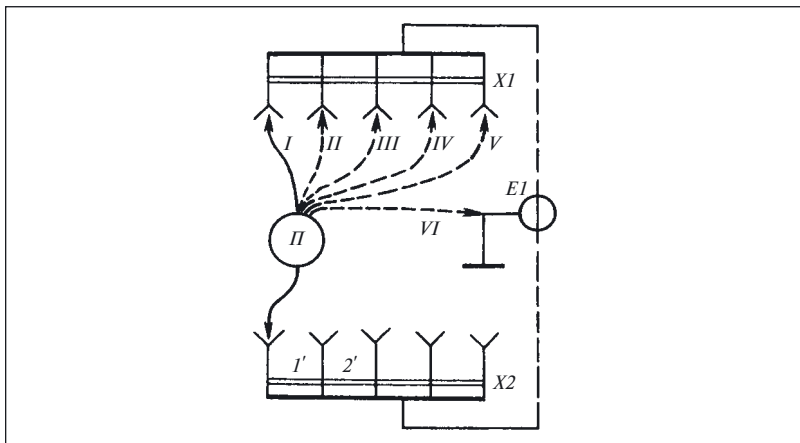


Рис. 60. Проверка электрических цепей непосредственным способом

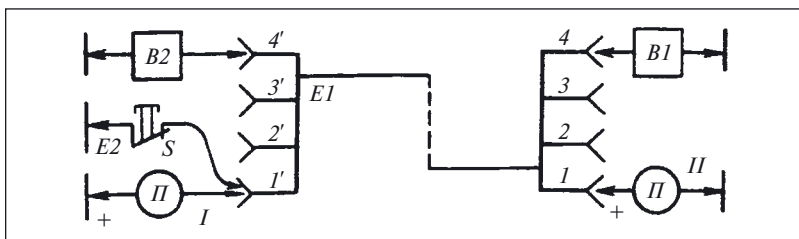


Рис. 61. Проверка электрических цепей способом заземления

нителя и экрану жгута или кабеля $E1$, даже если искомая электрическая цепь была найдена с первой попытки (поз. II — VI пробника П).

После нахождения первой линии связи, соединяющей контакт I' и соответствующий контакт соединителя XI , таким же образом отыскивают вторую, затем третью и т.д.

Пример 50. Проверка способом заземления

Необходимо проверить правильность обозначений жил кабеля. Так как проверку способом заземления осуществляют два человека, то для координации их действий предварительно устанавливают телефонную связь с помощью переговорных устройств $B1$ и $B2$, подключаемых либо через жилы проверяемого кабеля $E1$ и общий проводник (рис. 61), либо через отдельно проложенные проводники.

Проверку начинают с установки временной перемычки $E2$ к любой жиле на одной из сторон кабеля и, прикасаясь щупом пробника П (поз. I) к заземленной жиле кабеля, проверяют целостность вспомогательной цепи: земля — кнопка S — жила I .

Кроме того, целостность и правильность установки перемычки $E2$ проверяют, разрывая ее цепь выключателем S и следя за изменением показаний пробника П (поз. I).

Проверив установку перемычки $E2$, приступают к поиску заземленной жилы на другой стороне щупом пробника П (поз. II). Найдя заземленную жилу, необходимо либо разомкнуть и замкнуть кнопку S , либо отключить и вновь подключить заземляющую перемычку $E2$ для того, чтобы убедиться в правильности показаний пробника и отсутствия дополнительных, помимо перемычки $E2$, соединений найденного зажима с корпусом (землей) и другими жилами кабеля. В противном случае может оказаться, что показания пробника вызваны заземлением одной из жил, не зависящим от присоединения заземляющей перемычки $E2$. После проверки первой цепи устанавливают перемычку $E2$ на вторую цепь и повторяют описанные действия.

Технологический переход «проверка электрических цепей» способом заземления может быть реализован и двумя пробниками,

причем один из них включают вместо временной перемычки *E2* (поз. *I* на рис. 61), а вторым пробником (поз. *II* на рис. 61) отыскивают цепь, имеющую потенциал относительно земли.

При использовании двух пробников необходимо подключать их к вспомогательной цепи (земле) *разнополярными* щупами, чтобы при замыкании щупов пробников через проверяемую цепь их индикаторы изменили свое состояние.

Выполнение перехода «проверка электрических цепей» в релейно-контакторных схемах осложняется тем, что информация о состоянии тех или иных электрических цепей может искажаться. Иногда считают, что искажение вызвано неправильным выбором одного из двух способов (непосредственного или заземления) выполнения проверки. Например, считают, что из-за различия потенциалов магистралей заземления на смежных подстанциях использование способа заземления недопустимо. Однако такое мнение ошибочно. Если проверяемые цепи не находятся под напряжением (в том числе и наведенным) и по ним (а также по вспомогательным цепям) не протекают никакие иные токи, кроме тока, создаваемого источником пробника, то на концах проверяемых цепей не возникает дополнительная разность потенциалов.

В таких условиях сами способы не могут исказить информацию о состоянии электрических цепей, а причинами ошибок могут быть либо шунтирование проверяемой цепи другими цепями схемы, либо образование дополнительных электрических цепей.

Пример 51. Образование цепи через сопротивление диода в прямом направлении

Необходимо определить нумерацию выводов в изделии, содержащем полупроводниковые диоды. Подключим пробник так, как это показано на рис. 62, *а*. Вторым щупом пробника касаемся выводов изделия и убеждаемся, что показания пробника одинаковы во всех

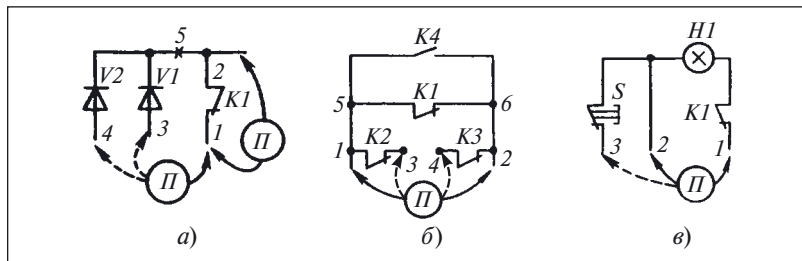


Рис. 62. Образование дополнительных цепей:

а — через сопротивление диода в прямом направлении; *б* — через размыкающий контакт; *в* — через сопротивление нагрузки

трех случаях. Следовательно, либо дефект существует в самой схеме, либо же он внесен неправильными действиями.

Считаем, что исправность пробника была предварительно проверена (предполагается, что это условие выполнено и в других примерах и задачах). Как же определить причину одинаковых показаний пробника?

Цель примера — показать искажение информации от неправильных действий, поэтому примем, что схема исправна. Если пробник и схема исправны, то для выявления дефекта рассмотрим цепи, образовавшиеся при подключении пробника.

При подключении пробника к выводам $1 - 3$ образуется цепь: щуп «-» пробника — точка 1 — контакт $K1$ — точка 2 — диод $V1$ — точка 3 — щуп «+» пробника. Пробник показывает, что цепь $1 - 3$ замкнута и, следовательно, выводы 1 и 3 невозможно отличить один от другого. Обратив внимание на то, что в цепь включен диод, проводимость которого зависит от полярности прикладываемого к его выводам напряжения, переключим пробник так, чтобы к выводу 1 был подключен щуп «+» пробника.

В этом случае показания пробника равны нулю, что соответствует разомкнутой цепи, и выводы $1 - 3$ можно отличить друг от друга. Все сказанное о цепи $1 - 3$ можно отнести и к цепи $1 - 4$.

Таким образом, при проверке электрических цепей с полупроводниковыми диодами необходимо учитывать полярность щупов пробника.

Задача 18. При проверке исправности блока питания была выдвинута гипотеза о неисправности диодов в выпрямительном мосте (см. рис. 44, ч. 1).

Описать проверку этой гипотезы с помощью технологического перехода «проверка электрической цепи», выполняемого с помощью пробника без разрыва связей диодов между собой при отключенном питании объекта.

Пример 52. Образование цепи через размыкающий контакт

Перед включением релейно-контакторной схемы необходимо проверить параллельные цепи, подключенные к точкам $1 - 2$ (см. рис. 62, б), среди которых есть две, содержащие размыкающие контакты:

цепь $5 - 6$: вывод 1 — контакт $K1$ — вывод 2 ;

цепь $1 - 2$: вывод 1 — контакт $K2$ — контакт $K3$ — вывод 2 .

Сняв напряжение питания со схемы, подключим пробник к выводам $1 - 2$. Стрелка прибора покажет, что цепь между этими выводами замкнута и, следовательно, исправна.

Проверив таким образом цепи между точками 1 и 2 , включим объект в работу. Однако при его работе наблюдается дефект, заключаю-

щийся в том, что в одном из режимов цепь между точками 1 и 2 замыкается, хотя для правильной работы она должна быть замкнута.

Если обратиться к схеме, можно увидеть, что это осуществляется контактами *K2* и *K3*. Проверим их исправность, для чего при снятом напряжении питания подключим пробник *П* непосредственно к выводам 1 – 3 контакта *K2* и выводам 4 – 2 контакта *K3*. Показания пробника говорят о том, что цепь между точками 1 – 2 существует. Однако при работе объекта цепь между выводами 1 и 2 все равно не замыкается.

В чем же причина?

Так как цепи контактов *K2* и *K3* исправны, проверим, существует ли между точками 1 и 2 цепь при работе изделия. Для проверки подключим пробник *П* к точкам 3 и 4. Показания пробника свидетельствуют об обрыве проверяемой цепи.

Если же проверить цепь между точками 3 и 4 при отключенном напряжении питания, то пробник показывает замкнутую цепь. Для выяснения причины такого явления обратимся к рис. 62, б.

К выводам 1 и 2 подключены три параллельные цепи, две из которых образованы размыкающими контактами, которые в обесточенном состоянии реле замкнуты. Поскольку цепи 1 – 2 и 5 – 6 включены параллельно, то достаточно быть замкнутой одной из них, чтобы при подключении к выводам 1 – 2 пробник показывал, что цепь между ними замкнута.

Подключение пробника к выводам 3 и 4 не позволяет найти обрыв, так как при этом образуется следующая замкнутая цепь: щуп пробника – вывод 3 – контакт *K2* – контакт *K1* – вывод 2 – контакт *K3* – щуп пробника.

Таким образом, оказывается, что проведенная проверка не позволяет сделать заключение об исправности всех параллельных цепей и необходимо проверить эти цепи между точками 1 и 2 по отдельности дважды.

Первый раз надо разомкнуть контакт *K1*, тогда показания пробника позволят судить только о цепи, в которую входят контакты *K2* и *K3*.

Второй раз следует разомкнуть контакт *K2* (или *K3*). В этом случае проверяют цепь от точки 1 к точке 2 через контакт *K1*.

Выполнив проверку указанным способом, увидим, что цепь, в которую входят контакты *K2* и *K3*, оборвана.

Таким образом, перед включением пробника необходимо проанализировать схему цепи и отключить или разомкнуть контакты, шунтирующие проверяемую цепь.

Задача 19. Пусть при проверке выводов схемы (см. рис. 62, а) подключили пробник к выводам 1 – 2, причем первый раз щупом «–» к выво-

ду 1, второй раз щупом «+» к этому же выводу. Показания пробника в первом и во втором случаях оказались одинаковыми, и поэтому выводы 1 и 2 нельзя различить.

Что же надо сделать для того, чтобы эти выводы можно было различить?

Пример 53. Образование цепи через сопротивление нагрузки

Перед включением схемы (рис. 62, в) необходимо проверить цепи между выводами 1, 2, 3 и промаркировать их. При подключении к любым парам выводов (1 – 2, 2 – 3, 1 – 3) пробник показывает, что цепь между ними замкнута и поэтому выводы 1, 2, 3 неотличимы один от другого.

Как поступить в этом случае?

Один прием — это принудительное размыкание контактов. В схеме есть контакт *K1* и контакт кнопки *S*. Разомкнув контакт кнопки *S*, найдем вывод 3 по отсутствию цепи между ним и другими выводами. Но сделать то же с контактом *K1* без подачи питания на катушку из-за неразборной конструкции реле нельзя и поэтому различить выводы 1 и 2 пока невозможно.

Между этими выводами образуется цепь: вывод 1 — контакт *K1* — лампа *H1* — вывод 2. Помимо контакта *K1* эта цепь может быть разомкнута при отключении лампы *H1*. Поэтому, используя второй прием, вывернем лампу из патрона, чтобы можно было отличить выводы 1 и 2 друг от друга. Таким образом, применив совместно два приема, можно достичь поставленной цели, т.е. промаркировать выводы. Поэтому перед включением пробника для проверки цепей необходимо отключить нагрузку (лампы, обмотки электродвигателей и т.п.).

Не следует также забывать, что нагрузка может оказаться подключенной не только последовательно, как это было в рассмотренном примере 53, но и параллельно проверяемой цепи. В этом случае она может оказывать такое же влияние, как размыкающие контакты или диоды в предыдущих примерах.

Задача 20. Воспользовавшись примерами 51 – 53, объяснить, можно ли доверять показаниям пробника, включенного параллельно контакту *K1.3* (см. рис. 18, ч. 1).

Помимо простейшего пробника для выполнения рассматриваемого технологического перехода используют и другие средства технологического оснащения: телефоны, мегаомметры, устройства типа «Звук» и др.

Достоинством устройства «Звук» (рис. 63) является то, что оно кроме проверки цепи обеспечивает телефонную связь специалистов, находящихся в разных помещениях. Речь воспринимается микрофоном *ВМ*, а воспроизводится головным телефоном *ВФ*, являющимся нагрузкой двухкаскадного транзисторного усилителя.

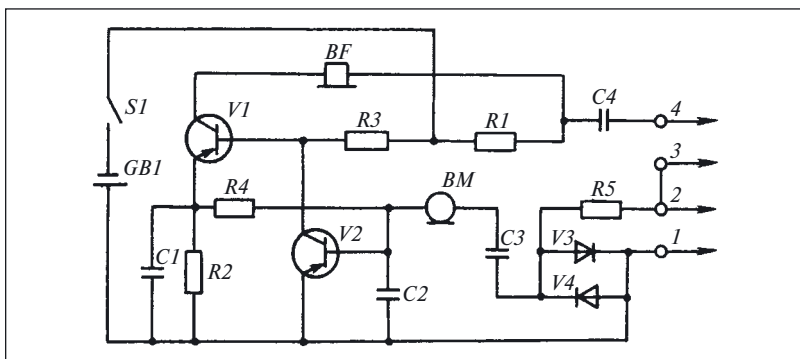


Рис. 63. Схема устройства «Звук»

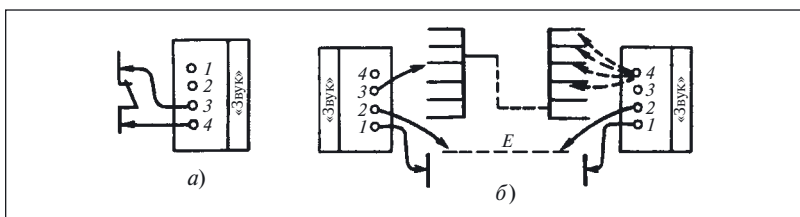


Рис. 64. Проверка электрических цепей устройством «Звук»:

a — непосредственным способом; *б* — способом заземления

Для выполнения технологического перехода устройством «Звук» проверяемую электрическую цепь или ее участок непосредственным способом подключают к щупам 3, 4 аналогично простому пробнику (рис. 64, *a*). Если цепь исправна, то в усилителе через конденсатор $C3$ (см. рис. 63) образуется цепь положительной обратной связи и он начинает работать в качестве генератора низкой звуковой частоты. Сигнал усилителя воспроизводит телефон BF .

Проверка способом заземления (рис. 64, *б*) может быть выполнена двумя устройствами «Звук». Предварительно необходимо установить телефонную связь, присоединив к вспомогательному проводнику щупы 1 обоих устройств. Щупы 2 могут быть соединены как через специально проложенный проводник E , так и через любую из проверенных цепей. В этом случае от микрофона BM на усилители обоих устройств поступает сигнал, который усиливается и воспроизводится в телефонах BF .

Установив телефонную связь, один конец проверяемой цепи подключают к щупу 3 любого устройства. Щупом 4 второго устрой-

ства ищут второй конец проверяемой цепи. При нахождении искомой цепи в телефонных устройствах прослушивается звуковой сигнал низкой частоты.

Рассмотренное устройство «Звук», так же как и любые другие средства аналогичного назначения, не должны показывать наличие цепи в тех случаях, когда их щупы замыкаются через сопротивление, равное (или меньшее) минимально допустимому сопротивлению изоляции между разными электрическими цепями. В противном случае возможны ошибки, в частности могут быть перепутаны цепи.

Особо тщательно следует проверять электрические цепи на вновь смонтированном электрооборудовании и ни в коем случае не допускать подачу напряжения без проверки монтажа любых, даже самых простых объектов.

Пример 54. Включение электрооборудования без проверки монтажа

При реконструкции оборудования свинарника был установлен новый электрораспределительный щит. Электромонтер, не проверив правильность монтажа, подал напряжение на распределительный щит. Стоящий рядом со щитом другой электромонтер прикоснулся к нему рукой и был поражен электрическим током.

Оказалось, что при подключении кабеля к щиту были перепутаны фазный и нулевой провода, а заземление корпуса отсутствовало.

Выше рассмотрены два способа проверки электрических цепей в объектах, не находящихся под напряжением. Однако в релейно-контакторных схемах возможна проверка электрических цепей под напряжением с помощью индикаторов или вольтметров. Если напряжение ни в одной из цепей объекта не превышает 42 В переменного или 110 В постоянного тока, то для проверки можно использовать указатель напряжения с лампой накаливания, в исправности которой следует предварительно убедиться на токопроводящих частях, заведомо находящихся под напряжением.

В таком указателе лампа должна быть помещена в арматуру переносного светильника, в котором при повреждении колбы лампы предусмотрено автоматическое отключение напряжения от выводов патрона.

Проводники такой контрольной лампы должны быть оконцованы специальными щупами, аналогичными щупам электроизмерительных приборов (см. рис. 50, ч. 1 и 67)¹.

¹ В электроустановках напряжением до 1000 В для проверки отсутствия напряжения не допускается применять контрольные лампы (патрон с лампой накаливания и двумя проводниками) в связи с опасностью разрыва колбы лампы при включении на междофазное напряжение и травмирования обслуживающего персонала возникающей при этом электрической дугой и осколками стекла (Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 18).

В тех установках, где не исключена случайная возможность прикосновения к цепям с напряжением выше 42 В переменного или 110 В постоянного тока, необходимо применять только индикаторы напряжения с газосветной лампой или фазоуказатель-пробник типа ФП-2 (см. рис. 67, 68).

Несмотря на то что действующими правилами использование контрольных ламп в электроустановках напряжением выше 42 В переменного или 110 В постоянного тока запрещено, из-за недостаточного яркого свечения неоновых ламп указателей напряжения электрики иногда все же пользуются ими.

Пример 55. Применение контрольной лампы в сетях с напряжением выше 36 В переменного или 110 В постоянного тока

Пытаясь проверить наличие напряжения на автоматическом выключателе АВМ-10 контрольной лампой с проводами без наконечников, электромонтер закоротил вводные зажимы автоматического выключателя и получил ожоги лица, шеи и кистей обеих рук.

Пример 56. Проверка электрических цепей под напряжением указателем напряжения с лампой накаливания

Необходимо проверить цепи в схеме, на которую после окончания монтажа не подавалось напряжение (рис. 65).

Сначала цепи питания схемы проверяют на отсутствие в них коротких замыканий. Для этого перед подачей питания последовательно в один из полюсов включают указатель H (поз. I лампы H).

При использовании индикатора напряжения перед подачей напряжения на схему отсутствие КЗ в цепях его питания проверяют, например, пробником при отключении напряжения питания. Если в проверяемой данным способом схеме отсутствуют КЗ в цепях питания, то при подаче напряжения на объект и последовательно соединенную с ним лампу H она светится не полным накалом и, следовательно, непосредственно на схему можно подавать напряжение. При наличии КЗ лампа светится полным накалом. В этом случае напряжение непосредственно на схему подавать нельзя, необходимо определить причину КЗ. Если проверкой электрических цепей под

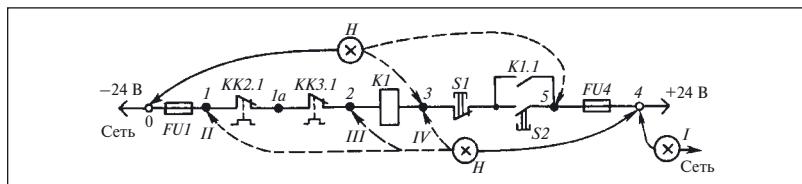


Рис. 65. Проверка электрических цепей указателем напряжения с лампой накаливания

напряжением установлено, что в схеме нет перегрузок и КЗ, то напряжение в цепь питания можно подавать без включения лампы.

Преимуществом последовательного включения лампы в цепи питания является то, что протекающий по цепи питания ток ограничивается сопротивлением лампы.

Для проверки цепей под напряжением можно применять только лампы накаливания, так как интенсивность свечения газосветных ламп при КЗ и его отсутствии визуально неразличима.

Проверим другие цепи схемы. При проверке цепей под напряжением используют зависимость напряжения, падающего на элементе, от его сопротивления. На контактах, предохранителях и подобных элементах падение напряжения практически равно нулю, во всяком случае не менее, чем на два-три порядка (как минимум в 100 — 1000 раз) отличается от падения напряжения на таких элементах, как катушка реле и контактор, резистор, лампа, т.е. на элементах, являющихся нагрузкой цепи.

С учетом этого проверим исправность цепей, показанных на рис. 65.

Вначале проверим целостность цепи: точка 0 — предохранитель *FU1* — контакт *KK2.1* — контакт *KK3.1* — точка 2. Для этого подключим один щуп лампы к точке 4. Если теперь прикоснуться вторым щупом к точке 1 (поз. II лампы *H*), то при исправном предохранителе лампа будет гореть так же, как и при прямом включении ее в сеть. Горение лампы свидетельствует о наличии напряжения между точками 1 и 4, или, как принято говорить, в контрольной точке 1.

Подключив сначала щуп к точке 1а, а затем к точке 2 (поз. III лампы *H*), можно проверить исправность контактов *KK2.1* и *KK3.1* аналогично тому, как это было сделано для предохранителя *FU1*.

Исправность цепи, составленной из последовательно соединенных элементов, может быть проверена по наличию напряжения на конечном элементе этой цепи (поз. III лампы *H*) относительно одного из полюсов питания без проверки наличия напряжения на промежуточных элементах, т.е. в других контрольных точках.

Убедившись в исправности этой цепи, проверим другую цепь: точка 4 — предохранитель *FU4* — контакт *K1.1* с параллельно подключенной к нему кнопкой *S2* — кнопка *S1* — точка 3.

Сначала подключим контрольную лампу к другому полюсу источника, а именно к точке 0. Если теперь прикоснуться вторым щупом к точке 5, то по наличию напряжения между этими точками можно судить об исправности предохранителя *FU4*.

При нажатой кнопке *S2* и целостности всех элементов, входящих в проверяемую цепь, в точке 3 относительно точки 0 должно быть

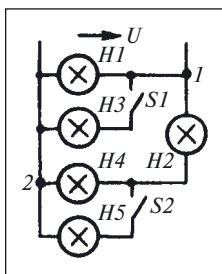


Рис. 66. Схема включения ламп

напряжение, которое при исправной катушке контактора $K1$ приведет к его срабатыванию.

Таким образом, включая указатель H между разными точками, можно проверить исправность цепей под напряжением.

В примере 56 целостность катушки $K1$ проверялась по срабатыванию контактора при подаче напряжения через кнопку $S2$. На практике это не всегда возможно, например при дефекте в контакте $S2$. Не рассматривая здесь всех возможных методов реализации такой проверки, обратимся к задаче, которая составлена именно для этого случая.

Задача 21. Как изменится свечение лампы указателя H по сравнению с нормальным, если ее подключить между точками 3 – 4 (поз. IV лампы H на рис. 65)? При каких условиях возможна такая проверка целостности катушки $K1$?

Для облегчения решения этой задачи предлагаем сначала решить другую, но более простую.

Задача 22. Как изменится яркость ламп после замыкания выключателей $S1$ и $S2$ (рис. 66)?

Указать неправильный ответ:

- 1) яркость $H1$ не изменится;
- 2) яркость $H2$ уменьшится;
- 3) яркость $H4$ увеличится.

Все лампы в схеме одинаковые, а напряжение сети постоянно и не зависит от нагрузки.

До сих пор рассматривалась технология отыскания только таких дефектов в электрических цепях, которые нарушают их целостность и правильность соединения элементов между собой. Однако существуют такие электрические цепи (в частности, цепи с обмотками и трехфазные цепи), про которые нельзя сказать, что в них отсутствует дефект даже при их целостности и правильности соединения между собой.

Проверка цепей с обмотками будет описана ниже, а здесь рассмотрим трехфазные цепи.

При питании потребителей от двух разных источников помимо правильности соединения и исправности отдельных цепей необходимо обеспечить как определенный порядок чередования, так и одноименность фаз¹.

¹ Одноименными называются фазы, в которых при одинаковом порядке чередования фаз максимальное значение напряжения достигается в один и тот же момент времени.

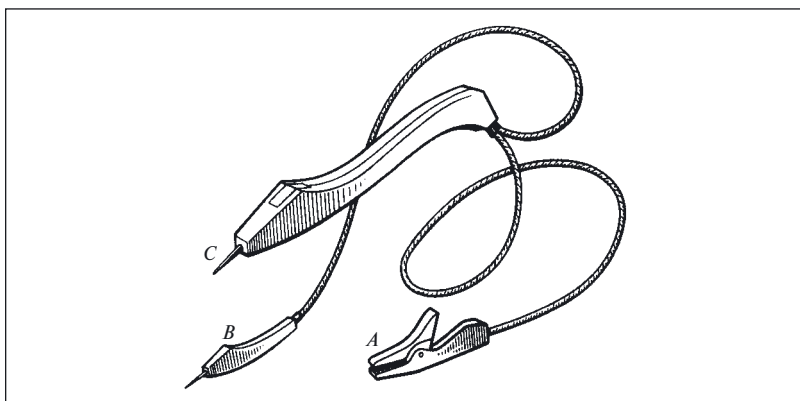


Рис. 67. Фазоуказатель-пробник ФП-2

Для определения порядка чередования и одноименности фаз можно использовать универсальный фазоуказатель-пробник типа ФП-2 (рис. 67).

Для определения порядка чередования фаз (ПЧФ) щупы *ABC* фазоуказателя подключают к контролируемым выводам трехфазной цепи (рис. 68, *а*).

В зависимости от состояния сети и рода тока прибор после его подключения формирует один из четырех сигналов (табл. 2). Порядок чередования фаз контролируемой цепи принимается по соответствующим обозначениям щупов фазоуказателя-пробника при формировании им сигнала «*Прямой ПЧФ*».

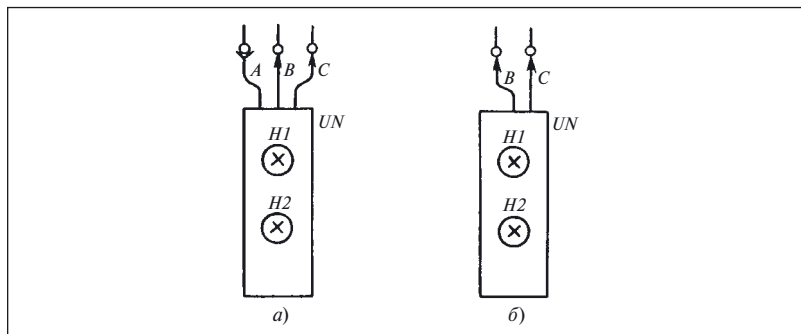


Рис. 68. Подключение фазоуказателя-пробника ФП-2:

а — в трехфазной цепи; *б* — в однофазной цепи и цепи постоянного тока

Таблица 2. Расшифровка сигналов фазоуказателя-пробника ФП-2

Состояние индикаторов		Значение сигнала для сетей:	
<i>H1</i>	<i>H2</i>	трехфазной	однофазной (или постоянного тока)
1	0	Прямой ПЧФ	Есть напряжение постоянного тока
0	1	Обратный ПЧФ	<i>Неисправность ФП</i>
1	1	Обрыв одной фазы	Есть напряжение переменного тока
0	0	Обрыв двух или трех фаз <i>Неисправность ФП</i>	Отсутствует напряжение

Данный фазоуказатель можно использовать и в режиме индикатора напряжения, для чего щуп *A* отключают от прибора (см. рис. 67), а два других щупа подключают к контролируемым точкам (см. рис. 68, б).

Прибор ФП-2 можно применять в сетях постоянного 110 – 220 В и переменного 127 – 380 В напряжения, соблюдая предусмотренные для указателей напряжения меры безопасности.

Пример 57. Поиск дефекта в релейно-контакторной схеме сигнализации

На рис. 69 показан фрагмент схемы системы световой и звуковой сигнализации, в которую входят сигнальные лампы *H1 – Hn*, диоды *V1 – Vn*, конденсаторы *C1 – Cn*, резисторы *R1 – Rn*, датчики *E1 – En*, реле *K1* включения звукового сигнала *HH1*, кнопка *SG* включения блока контроля исправности сигнальных ламп, кнопка *SA1* отключения звукового сигнала.

Дефект в рассматриваемой системе проявляется при попытке отключить звуковой сигнал после срабатывания одного из датчиков: при нажатии на кнопку *SA1* звуковой сигнал *HH1* отключается, но при отпускании кнопки сигнал включается снова.

Проявления дефекта позволяют заключить, что контакт *K1.2*, включающий сигнал *HH1*, исправен, как исправны и катушка реле *K1* и его механическая часть, воздействующая на этот контакт. Такой вывод можно сделать на том основании, что при отключении питания катушки контактом кнопки *SA1* питание на сигнал *HH1* перестает поступать.

Согласно схеме при возврате кнопки *SA1* в исходное положение питание на катушку *K1* может поступать либо по цепи *1 – 2* через контакт *K1.1*, либо по цепи *3 – 2* от одной или нескольких *RC*-цепочек.

Как видно из схемы, цепь между точками $1 - 2$ может замыкаться не только через контакт $K1.1$, но и через RC -цепочку и соответствующий нечетный диод, если при этом замкнут хотя бы один контакт $E1 - E_n$. В последнем случае образуется цепь: щуп «+» пробника $П$ — замкнутый контакт датчика (для наглядности контакт $E1$ на рис. 69 зашунтирован перемычкой) — RC -цепочка — нечетный диод — щуп «-» пробника $П$.

В связи с тем что в данную цепь входит диод, показания пробника должны зависеть от полярности его подключения. Поэтому включим пробник по-другому, щупом «+» к точке 2. Прибор показывает, что цепь между точками $1 - 2$ разомкнута.

Выполненные проверки позволяют сделать вывод, что контакт $K1.1$ исправен, а неисправна как минимум одна из RC -цепочек. Предположительной причиной неисправности является уменьшение сопротивления между точками $4 - 5$.

Анализируя этот узел схемы, можно предположить, что к такой неисправности могут привести:

- замыкание обкладок между собой одного из конденсаторов C ;
- уменьшение сопротивления одного из разрядных резисторов R .

Рассматривая аргументы, которые могут подтвердить или опровергнуть первую из этих гипотез, следует вспомнить, что при проверке цепи $1 - 2$ стрелка пробника $П$ сначала занимала положение, соответствующее сопротивлению цепи, близкому к нулю, а затем плавно перемещалась к делению шкалы, соответствующему некоторому сопротивлению.

Сопоставляя характер изменения положения стрелки с характером изменения тока при заряде конденсатора (см. рис. 39, б, ч. 1), можно утверждать, что при подключении заряжается конденсатор C и, следовательно, замыкание его обкладок исключается.

Для подтверждения второй гипотезы измерим омметром PR сопротивление между точками $4 - 5$ (см. рис. 69). Показания омметра оказались равными 400 Ом. Так как номинальное сопротивление резистора 420 Ом, а допуск на его значение $\pm 5\%$, можно сделать вывод об исправности резистора. Однако в спецификации к данной схеме указано, что сопротивление резистора должно быть 420 кОм. Визуально проверяем остальные резисторы RC -цепочек и убеждаемся, что на их корпусах указано сопротивление 420 Ом. Таким образом, причина дефекта найдена. Заменив резисторы, устраняем дефект.

Пример 58. Определение дефекта в переключателе питания

На схеме (рис. 70) изображен трансформатор T , получающий питание от двух щитов — основного $Z1$ и резервного $Z2$.

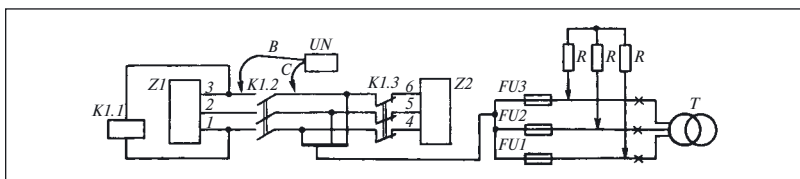


Рис. 70. Переключатель питания

При исчезновении напряжения между фазами 1, 3 контактор $K1.1$ переключает питание на шит $Z2$. Щиты $Z1$ и $Z2$ присоединены отдельными фидерами к одному и тому же источнику. Дефект в рассматриваемой схеме проявляется таким образом, что при переключении питания перегорают вставки предохранителей $FU1 - FU3$.

Воспользуемся известным нам способом ограничения области поиска дефекта и разделим объект на две части, в одну из которых входит трансформатор T с предохранителями, а в другую — все остальные элементы, изображенные на схеме.

Проверим работу схемы, предварительно вывернув вставки предохранителей $FU1 - FU3$ типа ПДС, т.е. отключив трансформатор T . Проверка показала, что схема работает правильно. Точно так же проверив отдельно трансформатор, установим, что дефекты в нем отсутствуют. Убедившись в исправности блоков, проверим совместную работу блоков объекта еще раз. При переключении питания в предохранителях $FU1 - FU3$ опять перегорают плавкие вставки, хотя трансформатор T работает от одного и от другого щитов нормально.

Где же дефект? В чем его причина?

Вспомнив, что в изделиях с трехфазными цепями необходимо обеспечить одинаковый порядок чередования фаз у разных источников питания (в данном примере щиты $Z1$ и $Z2$ являются такими источниками), проверим его на выводах 1 — 6 щитов $Z1$ и $Z2$, подключая к ним щупы A , B , C фазоуказателя-пробника ФП-2.

Подключают фазоуказатель при отсутствии обозначений произвольно, а при их наличии — ориентируясь на окраску или обозначения проверяемых фаз, причем первым присоединяют вывод фазоуказателя с обозначением « A », оконцованный зажимом типа «крокодил». Проверяемым фазам присваивают обозначения подключенных к ним щупов прибора.

При проверке установлено, что порядок чередования фаз 1 — 2 — 3 и 4 — 5 — 6 соответствует прямому порядку чередования фаз $A - B - C$. Поскольку дефект проявляется только после соединения блоков, следует узнать, связан ли он с их характеристиками.

Поэтому, отключив трансформатор T , подключим нагрузочные резисторы R и проверим схему, переключив питание с одного щита на другой. Предохранители не перегорели, следовательно, дефект отсутствует.

После этого естественно предположить, что появление дефекта связано с характеристиками трансформатора, отличающими его от резистора.

Первая и главная характеристика — индуктивность обмоток трансформатора, которая приводит к тому, что в момент отключения на его зажимах возникает некоторое напряжение. Однако опыт подсказывает, что только этого недостаточно для появления описанного дефекта, так как все трансформаторы обладают индуктивностью и тоже отключаются от источника питания. В чем же отличие рассматриваемого случая?

Из схемы видно, что в объекте трансформатор не только отключается от одного источника, но и подключается к другому. При этом если подключение происходит так, что напряжение источника и напряжение на индуктивности трансформатора суммируются, то в цепи предохранителей протекает ток, достаточный для расплавления плавкой вставки. Предполагаемое явление возможно в том случае, когда между фазами 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 есть напряжение.

Таким образом было выдвинуто предположение о причине дефекта. Фазоуказатель-пробник UN (см. также рис. 68, б) показывает наличие напряжения между фазами 1 и 4, а также между остальными соответствующими фазами (2 и 5, 3 и 6), что подтверждает это предположение.

После переключения фаз одного из источников питания таким образом, чтобы не только соблюдался порядок следования фаз, но и обеспечивалась одноименность фаз 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6, дефект был устранен.

Выполняя фазировку электрооборудования, а также определяя одноименность фаз, необходимо проверять правильность подключения нулевых рабочих проводов и заземлений.

Пример 59. Включение нулевых рабочих проводов на фазные

Подключение к сети объекта было выполнено так, что корпус электродвигателя и станина машины находились под напряжением. От случайного прикосновения одной рукой к машине, а другой к стальной трубе, в которой была проложена электропроводка, работник был травмирован током.

Комментарии и ответы на задачи

К задаче 18. Прежде чем приступить к проверке диодов, необходимо проанализировать приведенную схему с тем, чтобы избежать

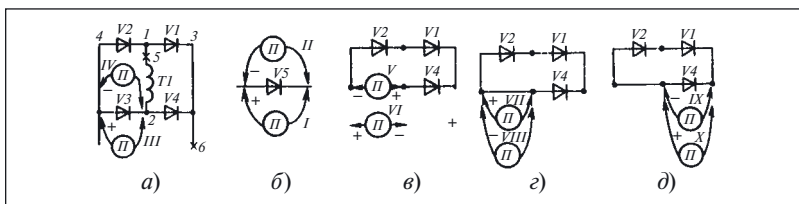


Рис. 71. Проверка исправности диодов выпрямительного моста

ошибок. Так как выпрямительный мост подключен ко вторичной обмотке трансформатора $T1$, следует предпринять меры, исключающие шунтирование проверяемой цепи сопротивлением обмотки. Для этого разорвем одну из двух цепей, соединяющих обмотку с выпрямительным мостом, например, в точке 5 (рис. 71, а).

В том случае, если к мосту подключена нагрузка, нужно разорвать и цепь нагрузки, например, в точке 6. Об исправности диодов будем судить по их основному свойству — односторонней проводимости. Действительно, если диод $V5$ исправен, то при одной полярности (поз. I на рис. 71, б) показания пробника будут соответствовать замкнутой цепи, а при другой (поз. II на рис. 71, б) — разомкнутой.

Попробуем применить этот способ к мостовой схеме и подключим пробник сначала к одному из диодов, например к диоду $V3$ (поз. III , IV на рис. 71, а), а затем к каждому из остальных диодов. Допустим, что пробник реагирует на изменение полярности его подключения ко всем диодам правильно. Можно ли на этом основании сказать, что все они исправны?

Предположим, что в диоде $V3$ есть дефект типа «обрыв», что равносильно полному исключению диода из схемы. Следовательно, показания пробника будут соответствовать разрыву цепи, так как встречно включенные диоды $V1$ и $V4$ препятствуют образованию замкнутой цепи при любом подключении пробника (поз. V и VI на рис. 71, в).

Одновременно отметим, что дефект типа «обрыв» в диоде $V3$ и любом другом диоде моста не влияет на результаты проверки остальных диодов.

Дефект типа «короткое замыкание» в диоде $V3$ при подключении к нему пробника проявляется в виде одинаковых показаний прибора при любой полярности подключения (поз. VII , $VIII$ на рис. 71, г).

Дальнейший анализ схемы показывает, что наличие одного дефекта типа «короткое замыкание» не позволяет судить об исправности других диодов без разрыва их соединения между собой. Действительно, оставшиеся три диода образуют две параллельные цепи и де-

фект типа «обрыв» у двух из трех диодов не выявляется (поз. *IX*, *X* на рис. 71, *д*).

Все сказанное позволяет, тем не менее, сделать вывод о том, что исправность каждого из четырех диодов, соединенных в мостовую схему, может быть проверена пробником.

К задаче 19. Эта задача имеет решение только в том случае, когда можно разомкнуть контакт *K1* или отсоединить в точке 5 провод, подходящий к контакту (см. рис. 62, *а*).

После этого пробник подключают щупом «+» к одному из диодов, а щупом «—» при разомкнутом контакте *K1* или разорванной в точке 5 цепи поочередно прикасаются к выводам 1, 2. Выводу схемы, при соединении с которым пробник показывает замкнутую цепь, присваивают номер 2.

Затем замыкают контакт и находят вывод 1. В связи с тем что диоды *V1* и *V2* включены встречно, вывод 4 не будет перепутан ни с каким другим.

Несмотря на то что все действия могут показаться очевидными и элементарными, на практике это не так просто. Ведь на виду только выводы, а все связи элементов между собой не видны так, как на схеме.

К задаче 20. Пробником *П*, подключенным к выводам контакта *K1.3* (см. рис. 18, ч. 1), проверяют целостность цепи, содержащей контакт. Доверять показаниям пробника можно в том случае, если в схеме не смогут образоваться цепи, шунтирующие контакт.

Для того чтобы убедиться в этом, проанализируем схему. Пробник *П* может замыкаться либо через контакт *K1.3*, либо через выпрямитель *VI*, катушку *K3* и цепи 10 — 11 (кнопка *S1* — катушка *K1*), 10 — 13 (кнопка *S1* — перемычка — контакт *K3.2* — катушка *K2*), 12 — 13 (контакт *K1.2* — контакт *K3.2* — катушка *K2*), 12 — 11 (контакт *K1.2* — перемычка — катушка *K1*).

Когда контакты *S1* и *K1.2* разомкнуты, то параллельных цепей не образуется и показания пробника соответствуют действительности. Наличие же в этих контактах дефекта типа «короткое замыкание» приводит к образованию цепи, включенной параллельно контакту *K1.3*, и показаниям пробника нельзя доверять. Поэтому в общем случае для проверки контакта *K1.3* при таком подключении пробника необходимо разомкнуть цепь в точке 7.

Естественно, что все описанные действия с пробником *П* выполнялись после отключения напряжения выключателем *QF*.

К задачам 21 и 22. Рассмотрим сначала задачу 22.

Включение выключателя *S1* (см. рис. 66) приводит к подключению лампы *H3* параллельно лампе *H1*. В связи с тем что напряжение

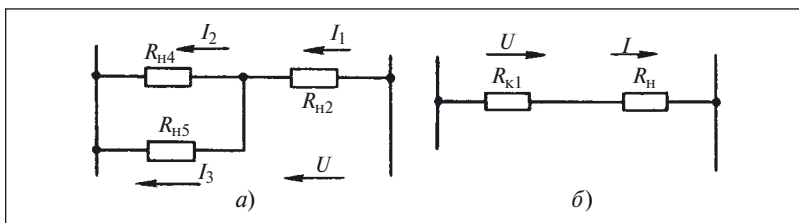


Рис. 72. Эквивалентные схемы для рис. 66

U неизменно, то увеличение нагрузки, вызванное подключением лампы $H3$, не изменит свечения лампы $H1$, а также ламп $H2$, $H4$.

В исходном положении выключателя $S2$ лампы $H2$ и $H4$ включены последовательно и поэтому на каждую из них приходится половина напряжения U .

При замыкании контакта выключателя $S2$ лампа $H5$ подключается параллельно лампе $H4$. Если предположить, что сопротивление каждой лампы равно R , то после замыкания контакта выключателя $S2$ сопротивление цепи между точками $1-2$ уменьшится с $2R$ до $1,5R$ и, следовательно, увеличится ток через лампу $H2$ и напряжение на ней возрастет с $0,5U$ до $(2/3)U$ (рис. 72, а). Таким образом яркость свечения лампы $H2$ увеличится. Следовательно, ответ под номером 2 неправильный.

Рассмотренная задача позволяет последовательное соединение лампы и катушки контактора (см. рис. 65, поз. IV) представить в виде эквивалентной схемы, показанной на рис. 72, б.

Для ответа на поставленный в задаче 21 вопрос, рассмотрим три случая:

- сопротивление катушки $R_{K1} = 0$ (короткое замыкание);
- $R_{K1} = \infty$ (обрыв обмотки);
- $R_{K1} = R_{\text{ном}}$.

В первом случае всё напряжение прикладывается к сопротивлению лампы и она светится полным накалом.

Во втором случае лампа подключена только к одному «плюсу» сети и поэтому не светится.

В третьем случае к лампе прикладывается часть напряжения сети и она светится неполным накалом.

Следовательно, при проверке целостности катушки лампа будет изменять яркость в зависимости от соотношения сопротивлений катушки и лампы. При сопротивлении катушки реле значительно большем, чем сопротивление лампы, проверка становится невозможной из-за того, что нить лампы не светится.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Определение дефекта методом эксперимента

Первую информацию о дефекте и его проявлениях получают при наблюдении за работой объекта, его профилактическом осмотре или испытаниях.

Задача 23. На рис. 73 показана схема двухлампового светильника с двумя выключателями $S1$ и $S2$.

Дефект в схеме проявляется следующим образом. При включении выключателя $S1$ загорается лампа $H1$. Если после этого включить выключатель $S2$, то загорается лампа $H2$. Если первым включается выключатель $S2$, то ни одна из ламп не загорается. Но следующее включение выключателя $S1$ приводит к одновременному зажиганию ламп $H1$ и $H2$.

Проанализировать схему и проявление дефекта, указать его причину.

Недостатком наблюдения как источника информации является то, что можно «собрать» только ту информацию, которую «предлагает» объект. При этом получаемая информация может вообще не относиться к дефекту. Поэтому особое значение имеет эксперимент, проводимый над реальным объектом при поиске дефекта. Правильно поставленный эксперимент позволяет создать такие условия работы объекта, при которых дефект проявляется в наиболее «чистом» виде, а «побочные» явления устраняются или сводятся к минимуму.

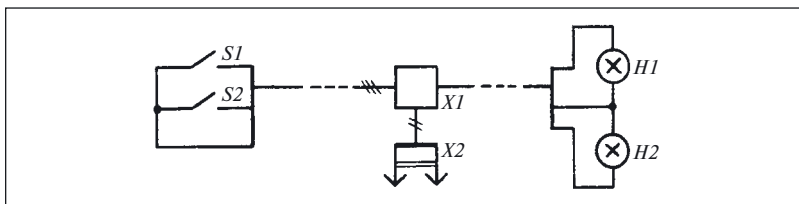


Рис. 73. Схема двухлампового светильника

Эксперимент проводят после анализа схемы, применяя помимо рассмотренных ранее переходов такие, как «введение дефекта», «замена блока» и «исключение блока».

Суть технологического перехода «введение дефекта» заключается в том, что какой-либо участок цепи шунтируют или разрывают, отключают питание какого-то блока или части объекта (схемы), а после этого наблюдают за его работой и анализируют полученные результаты. В рассматриваемых релейно-контакторных схемах этот технологический переход наиболее часто реализуется введением перемычек между теми точками схемы, которые должны соединяться через контакт проверяемого реле или контактора, или разрывом цепи, размыкаемой контактами. При предварительном анализе схемы необходимо оценить последствия применения перехода «введение дефекта» и определить ожидаемые изменения в ее работе.

Пример 60. Определение дефекта с помощью перехода «введение дефекта»

Дефект в схеме (см. рис. 18, ч. 1) проявляется при пуске асинхронного электродвигателя *M1* тем, что он включается не в две ступени, а в одну и продолжает вращаться с пониженной частотой.

Сначала проанализируем работу схемы, сравнив описание ее правильной работы, приведенное в примере 19, с описанием, данным в рассматриваемом примере.

В результате можно сделать вывод, что для повышения частоты вращения до номинальной в схеме управления должны быть зашунтированы пусковые резисторы *R1 – R3*. Согласно схеме это осуществляется контактами *K2.1 – K2.3* по сигналу реле времени *K3*. Это позволяет определить, что причинами описанного дефекта являются:

- несрабатывание контактора *K2* из-за дефекта в самом контакторе;
- несрабатывание контактора *K2* в результате дефекта в реле времени *K3*;
- неотпускание (залипание) реле *K3* в результате дефекта в контакте *K1.3* контактора *K1*.

Дефекты в остальных элементах контактора *K1* можно исключить, так как двигатель *M1* схемой запускается.

Чтобы исключить неоднократные запуски электродвигателя при проверках перед началом эксперимента, необходимо сделать следующие временные изменения в схеме:

- цепь управления отключить в точках *1* и *2* и подать питание на нее от постороннего источника;
- выключатель *QF* перевести в отключенное положение.

Выполним эксперимент, который поможет доказать или опровергнуть гипотезы о неисправности контактора *K2* или цепей его включения.

Исправность контактора *K2* проверим путем подачи напряжения на его катушку, минуя контакт *K3.2*. Для этого установим перемычку *E1*, шунтирующую контакт *K3.2*.

Перед установкой перемычки всегда следует выяснять возможные последствия. В связи с тем что перемычка *E1* присоединяется параллельно контакту *K3.2*, то никаких аварийных последствий не должно быть. Для предотвращения последствий от возможного КЗ в цепи катушки контактора *K2* в перемычку *E1* помещают предохранитель *FU2*.

После этого кнопкой *S1* включим схему управления. Наблюдая за схемой, видим срабатывание контактора *K2*, что свидетельствует о том, что дефекта в контакторе *K2* нет. Поэтому перемычку *E1* снимем и проверим следующую причину.

Следующей причиной дефекта была названа неисправность реле времени *K3*, приводящая к тому, что контакт *K3.2* не замыкается и поэтому не включает контактор *K2*.

Наиболее просто исправность контакта *K3.2* можно проверить с помощью принудительного отключения от питания катушки реле *K3* путем разрыва цепи катушки *K3* в точке 6 (отключения провода от выводов реле). Разрыв цепи реле *K3* в точке 6 по своим последствиям аналогичен размыканию контактора *K1*. Следовательно, никаких специальных мер принимать не нужно.

Разорвав цепь в точке 6, включаем кнопку *S1* и наблюдаем за работой схемы. Если контактор *K2* срабатывает, то дефекта в реле *K3* и его контакте *K3.2* нет.

По результатам проверок можно сделать вывод, что причиной дефекта является неисправность контакта *K1.3*. Проверим это следующим образом. Разорвем цепь в точке 7 (по своему действию это аналогично размыканию контакта *K1.3*), отключив провод от вывода контакта *K1.3*. После этого подаем питание на схему, нажимаем кнопку *S1* и видим, что контактор *K2* срабатывает. Таким образом, причина дефекта определена.

Установку перемычек различного типа в цепях управления можно допустить только на период отыскания дефекта, после чего перемычки обязательно должны быть сняты.

Категорически запрещается устанавливать перемычки на главные контакты разъединителей контактов, автоматических выключателей и другой коммутационной аппаратуры главных цепей!

Пример 61. Установка перемычек в главных цепях

Электропечь СТО-6.48.4/7, установленная на тракторном заводе, прошла средний ремонт в январе, а текущий — в апреле того же года. В конце июня термист, отключив печь, пытался металлическим крюком вытащить из нее поддон, но, коснувшись нагревателей, был поражен током.

Нагреватели находились под напряжением, так как в мае этого же года отказал контактор КТ-6033, установленный в цепи управления печью, и его «пришлось» зашунтировать.

Эксперимент на одном и том же объекте может быть проведен с использованием различных технологических переходов. Кроме того, применение одного и того же перехода может отличаться как изменениями, вносимыми в схему, так и трудоемкостью выполнения.

Так, в примере 60 «введение дефекта» путем разрыва цепи контакта *K1.3* в точке 7 имеет те же последствия, что и при разрыве цепи в точке 6. Поэтому при поиске дефекта важно оценивать эксперимент не только по его техническому содержанию, но и по трудовым затратам на его выполнение. Если можно получить интересующую информацию несколькими путями, то выбирают тот, который требует меньших затрат труда.

***Задача 24.** Воспользовавшись примером 60, описать проведение эксперимента, позволяющего установить исправность катушки контактора *K2*, контакта *K3.2* и катушки реле *K3* за одну проверку.*

Далее рассмотрим технологические переходы «замена блока» и «исключение блока».

Использование перехода «замена блока» предваряют анализом схемы объекта. При анализе схемы объекта на основании проявлений дефекта выделяют один или несколько элементов (блоков), с неисправностью которых предположительно связано проявление дефекта. После этого поочередно заменяют «подозрительные» блоки (элементы) и каждый раз проверяют работу объекта с новым блоком. Если после замены блока признаков дефекта не наблюдается, то считают, что дефект находился в замененном блоке.

Преимущество данного перехода в том, что он обеспечивает одновременное обнаружение и устранение дефекта. Однако его реализация требует наличия не только определенного запаса блоков (элементов), но и определенной конструкции объекта, приспособленной для замены блоков (элементов). Поэтому данный технологический переход обычно применяют для поиска таких дефектов, проявление которых связано с неисправностью съемных блоков или элементов, подобных лампам, плавким вставкам предохранителей и т.п.

Некоторые особенности проведения эксперимента при использовании перехода «замена блока» поясним примером.

Пример 62. Определение дефекта с помощью перехода «замена блока»

В описании процесса определения дефекта в гирлянде электрических ламп (см. рис. 8 и пример 16, ч. 1) была определена только последовательность реализации проверок, но не был уточнен способ их выполнения.

Номер заменяемой лампы выберем способом средней точки. Воспользовавшись указанной на рис. 9 (см. ч. 1) последовательностью проверок, заменим лампу *Н9* заведомо исправной и включим гирлянду в сеть.

Возможен один из двух исходов такой проверки:

- гирлянда загорается;
- гирлянда по-прежнему не горит.

Первый результат эксперимента не представляет интереса, поскольку соответствует случайному совпадению точки первой проверки с неисправным блоком (в данном случае с лампой *Н9*).

Второй исход проверки свидетельствует о том, что дефект проверяемого объекта не связан с замененной лампой, но не уточняет местонахождение дефекта в какой-либо из половин цепочки последовательно соединенных блоков.

Данный технологический переход может использоваться не только для простейших схем, но и для объектов любой сложности.

Выбирая технологический переход для выполнения того или иного эксперимента, следует рассматривать и то, какую дополнительную информацию об объекте или (и) дефекте получают после выполнения данного технологического перехода.

Исходя из этого, нельзя признать полезным экспериментом простую замену перегоревших плавких вставок предохранителей. Действительно, если новая вставка сгорит, то это только подтвердит наличие дефекта типа «короткое замыкание» в проверяемом объекте. Из того, что новая вставка не сгорит, не следует, что дефект отсутствует. Просто может оказаться, что дефект относится либо к *перемещающимся*, появляющимся время от времени, либо он проявит себя в каком-то другом режиме работы объекта.

Когда результаты эксперимента не несут дополнительной информации о дефекте, а только подтверждают отсутствие дефекта в замененном блоке (точнее, подтверждают существование дефекта в других блоках объекта после замены данного блока), то эксперимент проводят, заменяя блоки поочередно в произвольном порядке.

Не следует считать, что применение данного технологического перехода возможно только при наличии однотипных блоков в объекте. Его можно применять и в тех случаях, когда использованы заведомо исправные блоки.

Если при анализе схемы к числу «подозреваемых» отнесены разные по конструкции и составу блоки, то возможно установление очередности проверки в соответствии с имеющейся информацией о надежности тех или иных блоков. При этом первым заменяют наименее надежный, а последним — самый надежный блок.

В примере 62 при замене лампы не было учтено то, что выявление дефекта путем замены блока возможно только в том случае, если исправны не только связи заменяемого элемента с другим, но и вообще все связи внутри объекта, влияющие на его работу в режиме, соответствующем обнаруженному дефекту.

Действительно, если обратиться к схеме проверяемого в примере 4 изделия (см. рис. 1, б, ч. 1), можно увидеть, что его отказ происходит не только после перегорания любой лампы, но и после разрыва любой из связей объекта.

В таких случаях для проведения эксперимента целесообразнее использовать переход «исключение блока», который реализуется посредством шунтирования или отключения какого-либо элемента (блока) из схемы. Если после этого дефект не появляется, то считают исключенный блок исправным.

Реализация этого перехода, как и проведение любого другого эксперимента в объекте, требует предварительного анализа поведения объекта после исключения блока. При этом следует учитывать, что изделие или его часть может либо вообще не работать, либо работать в аварийном режиме, способствующем появлению новых дефектов.

Наиболее перспективно использовать этот переход для поиска дефектов типа «короткое замыкание» («перегрузка»).

Пример 63. Определение дефекта с помощью перехода «исключение блока»

Дефект (см. пример 4 в ч. 1) проявился в том, что гирлянда не горела. Перед проведением эксперимента с помощью данного технологического перехода обратим внимание на то, что на схемах со съемными элементами и блоками в силу традиции не показывают ряд реально существующих в объекте элементов, а именно: патронов, фонарей, ламповых панелей, держателей предохранителей и т.п. Поэтому реальное изделие часто оказывается иным, чем его представляют по схеме. Например, на рис. 1, б (см. ч. 1) гирлянда показана только в виде ряда ламп, соединенных связями. Однако такое изображение соответствует реальной гирлянде только в том слу-

чае, когда проводники припаяны непосредственно к цоколю лампы. Если же лампы ввинчиваются или вставляются в патрон, то схема гирлянды приобретает другой вид (рис. 74).

На этой схеме с помощью соединителей $X2 - X41$ показано соединение контактных выводов ламп $H1 - H20$ с патронами, которые соединены между собой связями $L1 - L_n$.

Учитывая сказанное, рассматриваемый технологический переход будем реализовывать, вводя перемычку $E1^1$, подключая ее к разным контактам патронов с тем, чтобы образовалась обходная цепь, помимо одной лампы или группы исключаемых ламп. Чтобы не использовать источник регулируемого напряжения, подключим к соединителю $X1$ омметр PR .

Оценим полученную информацию. В данном случае видим, что введение перемычки между двумя соединяемыми лампами не позволило получить дополнительную информацию о дефекте.

Действительно, если дефект не находится в исключенных перемычкой блоках, то режим работы изделия не изменится. Поэтому эксперимент выполним иначе, исключая сразу несколько ламп.

Такой способ позволит проверить исправность целой группы, включающей примерно половину подозреваемых ламп (т.е. используем метод средней точки), и значительно сократить число проверок.

При первой проверке включим перемычку в патроны ламп $H1$ и $H9$, предварительно вынув сами лампы.

Эксперимент может иметь один из двух исходов:

- дефект находится в одной из исключенных ламп $H2 - H9$, если прибор PR показывает наличие замкнутой цепи;
- дефект находится в одной из ламп $H1, H10 - H20$, если прибор PR показывает отсутствие цепи.

¹ Здесь и далее предохранитель F в перемычке (см. рис. 18, ч. 1) не показан.

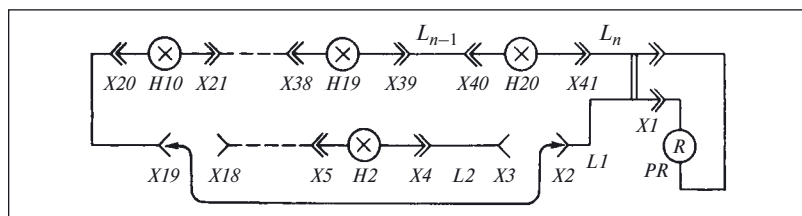


Рис. 74. Поиск дефекта в гирлянде ламп

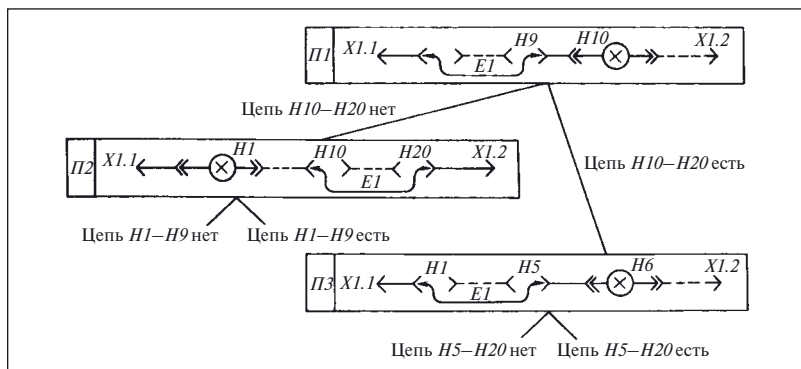


Рис. 75. Очередность и исходы проверок

Эти исходы показаны на рис. 75, где указано также включение перемычки $E1$.

Первая же выполненная проверка помогла ограничить область определения дефекта до одной из двух половин гирлянды. Это и есть результат большей информативности выбранного способа проведения эксперимента.

Реализацию остальных проверок оставим для самостоятельного решения.

Задача 25. Воспользовавшись примером 64, определить очередность проверок, указать точки включения перемычки и минимальное число проверок, за которое можно найти дефект.

Чтобы подчеркнуть особенности и отличия технологических переходов «введение дефекта» и «исключение блока», приведем еще один пример.

Пример 64. Поиск дефекта в схеме с переключателями

Для контроля нагрузки автономного генераторного агрегата на его распределительном щите установлены трехфазный двухэлементный ваттметр PW и амперметр PA с переключателем $S1$, позволяющим измерить в трехпроводной трехфазной сети одним прибором ток всех трех фаз (рис. 76, а).

Для упрощения на схеме не показаны цепи напряжения. В связи с тем что вторичные обмотки трансформаторов тока всегда должны быть замкнуты на нагрузку или накоротко, переключатель $S1$ обеспечивает безобрывное переключение, т.е. его контакты $S1.1 - S1.5$ сначала замыкают новую цепь, а затем уже размыкают ранее существовавшую (рис. 76, б).

Дефект в указанной схеме проявляется в том, что при переводе рукоятки переключателя в каждое из трех предусмотренных схемой положений показания амперметра отличны от нуля только в положении *III* — I_B . Показания ваттметра во всех положениях отличны от нуля.

Анализ схемы и проявлений дефекта позволяет сделать выводы:

- амперметр исправен, так как он изменяет свои показания при переключениях в схеме;
- трансформатор тока $T2$ исправен потому, что показания амперметра в положении *III* (I_B) отличны от нуля;
- ваттметр исправен, так как его показания отличны от нуля.

На основании имеющейся информации нельзя сделать вывод об исправности трансформатора $T1$, так как в положении *I*, когда амперметр должен измерять ток этого трансформатора, его показания равны нулю.

Это может соответствовать как КЗ во вторичной обмотке, так и обрыву цепи, соединяющей трансформатор тока с амперметром.

На основании этих выводов можно выдвинуть следующие гипотезы:

- неисправен переключатель SI ;

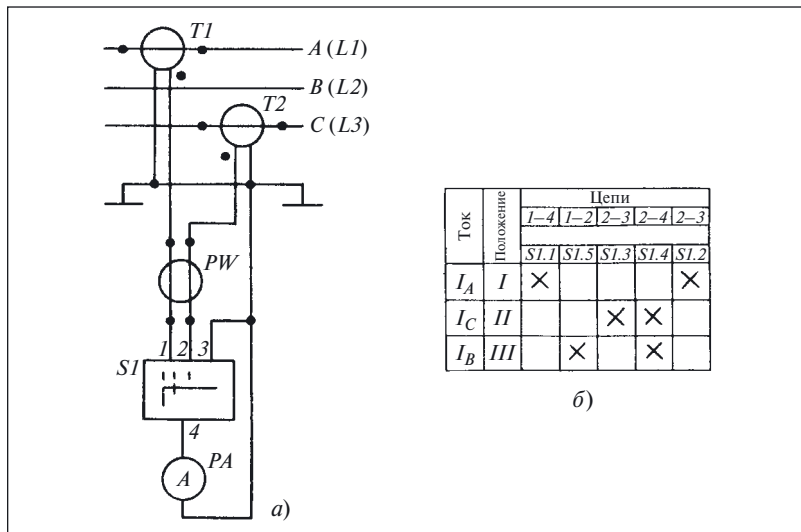


Рис. 76. Контроль нагрузки генератора:

а — принципиальная схема; б — таблица замыканий переключателя

- неисправен трансформатор $T1$.

Для проверки гипотез зашунтируем каждую токовую обмотку ваттметра PW в отдельности для того, чтобы переключатель $S1$ был подключен непосредственно к трансформаторам тока $T1$ и $T2$, и проверим работу амперметра в такой схеме.

При анализе схемы видно, что предложенные изменения в ней не могут привести к аварийным последствиям.

Шунтирующие перемычки можно подключить на панели зажимов в точках $I, 2$ (рис. 77, a), на измерительных приборах в точках A, B или C, D (для отключения одного прибора) или в точках A, D (для отключения двух приборов) (рис. 77, b).

Перемычку на зажимах прибора крепят между гайками $2, 3$ (рис. 77, $в$).

Введя шунтирующие перемычки, проверим работу амперметра в каждом из положений переключателя $S1$. Результаты проверки показывают, что проявления дефекта не изменились.

Для дальнейшего поиска дефекта проанализируем работу рассматриваемого объекта более тщательно, нарисовав соединение элементов в каждом из положений переключателя $S1$ отдельно (рис. 78).

Более тщательный анализ схемы показывает, что выполненное шунтирование не обеспечило подключение амперметра PA с переключателем непосредственно к выводам трансформаторов тока, т.е. не было исключено ни одного из элементов исходной схемы и, следовательно, на самом деле реализован технологический переход «введение дефекта», а не переход «исключение блока».

Шунтирование токовых обмоток ваттметра выполним иначе, обеспечив полное исключение их влияния на работу схемы. Для этого отключим токовые обмотки ваттметра от схемы (разрыв показан на рис. 78, $г$ знаком *), а перемычками $E1, E2$ соединим точки 1 и $5, 2$ и 6 (в этом случае перед установкой перемычек необходимо предварительно отключить нагрузку генератора и снять возбуждение).

Выполнив указанные действия, проверим работу амперметра с переключателем. По результатам проверок видно, что выдвинутые в начале примера гипотезы неверны и переключатель с амперметром исправны, так как теперь во всех трех положениях переключателя показания отличны от нуля и одинаковы.

Выполнение описанных действий позволило выдвинуть иную гипотезу — неисправен ваттметр. Такое предположение требует возвращения к имевшейся ранее информации о показаниях приборов.

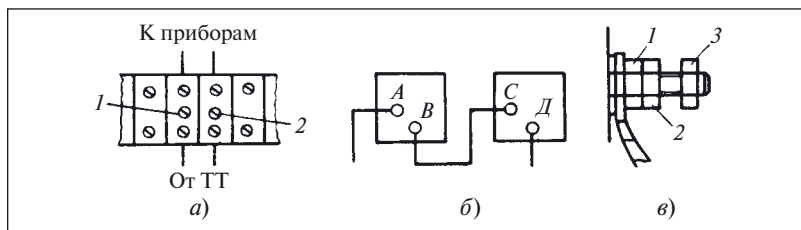


Рис. 77. Места установки и крепления перемычек:

a — на панели зажимов; *б* — на выводах приборов; *в* — под третьей гайкой

Действительно, если бы были сразу сопоставлены показания ваттметра с расчетным значением мощности, полученным по формуле

$$P_{\text{расч}} = \sqrt{3} UI \cos \varphi,$$

то после подстановки в неё значения тока I_B стало бы ясно, что

$$P_{PW} < P_{\text{расч}}^1.$$

Такое сопоставление позволило бы сразу отвергнуть гипотезу о неисправности переключателя и обратить усилия на поиск дефекта в ваттметре.

Проверяя новую гипотезу и анализируя для этого схемы на рис. 78, можно предположить, что нулевые показания амперметра в

¹ В данном расчете можно положить $\cos \varphi = 1,0$.

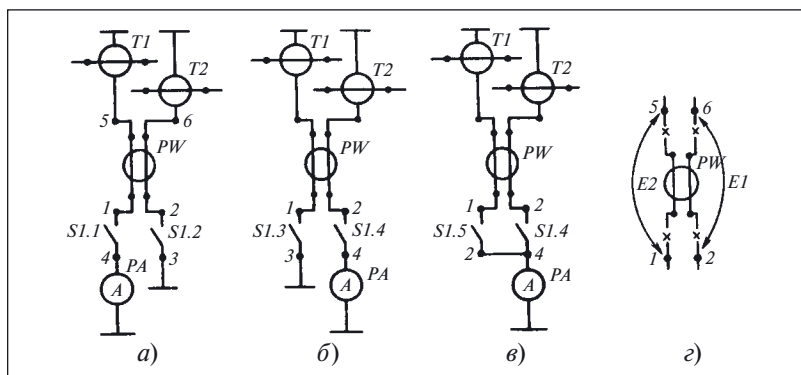


Рис. 78. Соединение элементов схемы рис. 77 в каждом из положений переключателя *SI* (*a*, *б*, *в*) и установка перемычек на токовых обмотках ваттметра (*г*)

двух положениях переключателя обусловлены замыканием токовых обмоток ваттметра между собой.

Такой дефект приводит к тому, что в первых двух положениях переключатель оказывается подключен обоими выводами к одной и той же точке — корпусу и, следовательно, через его обмотку не протекает ток ни одного из трансформаторов.

В третьем же положении переключателя замыкание токовых обмоток ваттметра не исключает протекание тока трансформаторов через амперметр.

Подключив пробник к токовым обмоткам ваттметра, видим, что между ними существует цепь и, следовательно, причина дефекта в замыкании токовых обмоток между собой.

Задача 26. При переключении переключателя *S1* (см. рис. 76) в положения, соответствующие измерению тока первой и второй фаз, наибольшие показания амперметра составляют 5200 А, а наименьшие — 1200 А.

Указать возможные причины таких показаний и определить значение тока третьей фазы.

Отыскивая дефекты в схемах с трансформаторами тока, следует обращать особое внимание на **недопустимость выполнения переключений во вторичных цепях при наличии напряжения на первичной обмотке.**

Пример 65. Переключения во вторичных цепях трансформатора тока

Начальник лаборатории КИПиА электротехнического завода получил от дежурного по РУ энергокорпуса ключи от секции вторичной коммутации ячейки № 9 фидера 620, чтобы проверить правильность работы прибора. Без предупреждения дежурного он самовольно выполнил оперативные переключения: отключил выключатель ВМГ-133, линейный и шинный разъединители второго параллельного кабеля, имеющего связь по напряжению 6 кВ через ячейку № 8. Не проверив отсутствия напряжения в ячейке № 9, приступил к отключению токовой цепи вторичной коммутации. Во время работы при разрыве токовой обмотки трансформатора тока получил электрический удар. При отрыве правой руки от зажимов трансформатора тока левой рукой коснулся шины фазы *В* с напряжением 6 кВ, а головой — открытой ячейки и был смертельно поражен электрическим током.

При проведении различных экспериментов над реальными объектами для подтверждения или опровержения выдвинутых гипотез возможно использование различных технологических переходов.

Пример 66. Использование технологического перехода «проверка электрических цепей»

В примере 18 (см. ч. 1) было выдвинуто предположение, что причиной дефекта является неисправность контакта *K1.3*.

Чтобы проверить это предположение, можно использовать технологический переход «проверка электрических цепей». Подключим пробник *П* параллельно отключенному от схемы в точке 7 (см. рис. 18, ч. 1) контакту *K1.3*. Кнопкой *S1* включим объект. Хотя контактор *K1* срабатывает, пробник *П* по-прежнему показывает, что проверяемая цепь замкнута.

Таким образом, причина дефекта заключается в неисправности контакта *K1.3*.

Пример 67. Определение дефекта с помощью технологического перехода «проверка электрических цепей»

При проверке цепей соединителей *X1*, *X2*, *X3*, связанных между собой кабелями, обнаружено, что при проверке одной из цепей пробник *П* одинаково реагирует при его подключении к двум гнездам соединителя *X3*, т.е. два гнезда соединяются между собой, чего по схеме не должно быть (рис. 79, *а*).

Попробуем найти этот дефект, используя полученные ранее сведения об эвристическом методе и технологии проверки электрических цепей. Вначале ограничим область поиска дефекта, для чего выясним, не связано ли его появление с вмешательством в проверяемую схему, вызванным подключением заземляющей перемычки *E3*. Для этого необходимо разорвать цепь заземляющей перемычки выключателем *S* и проверить, существует ли в этом случае цепь, соединяющая гнезда 5 и 6 соединителя *X3* между собой.

Проверку выполним пробником *П*, включив его так, как показано на рис. 79, *б* (поз. *III* пробника *П*). Показания пробника свидетельствуют о наличии цепи между гнездами 5 и 6 при отключенной заземляющей перемычке *E3*. В результате можно сделать вывод, что дефект не вызван вмешательством в схему и, следовательно, искать его надо в ней самой.

В общем случае схема может представлять собой совокупность достаточно большого числа различных элементов. В каком из них может быть дефект? С чего начать поиск? Воспользуемся и здесь принципом ограничения области определения дефекта.

Схема состоит из следующих элементов:

- ответной части соединителя *X1*;
- кабеля *E1*;
- соединителя *X2*;

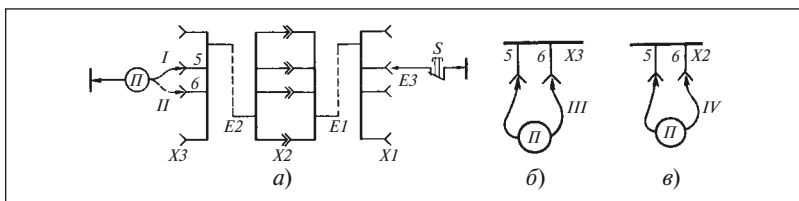


Рис. 79. Кабель, оконцованный соединителями:

a — к поиску дефекта; *б, в* — проверка цепей соединителя

- кабеля *E2*;
- ответной части соединителя *X3*.

Хотя и перечислено пять элементов, но разделить их можно только на две части путем расстыковки соединителя *X2*, представляющего собой разборное соединение.

В первый блок в этом случае войдут ответные части соединителей *X1* и *X2*, а также кабель *E1*, а во второй — остальные из перечисленных выше элементов.

Разделив таким образом объект на два блока, одновременно разделили на две части и область существования дефекта.

Проверим выделенные блоки, начав с первого. Так как дефект появился в образовании цепи между гнездами 5 и 6, то включим пробник *П* так, как это показано на рис. 79, *в* (поз. *IV* пробника *П*). Стрелка пробника не отклоняется, и, следовательно, гнезда 5 и 6 в этом блоке не связаны между собой, т.е. дефект в первом блоке отсутствует.

Проверим второй блок. Подключим пробник так, как это показано на рис. 79, *б* (поз. *III* пробника *П*), и проверим, не связаны ли между собой гнезда 5 и 6 при отключенной ответной части соединителя *X2*. Стрелка пробника при этой проверке отклонилась, что говорит о наличии цепи между гнездами 5 и 6, т.е. дефект находится во втором блоке.

Проверки позволили установить только дефектный блок, но указать, какой из трех элементов, входящих в этот блок, неисправен, нельзя.

Для отыскания дефекта необходимо теперь разделить второй блок на отдельные элементы, т.е. разобрать соединители *X2* и *X3* и отделить их от кабеля *E2*. Так как при имеющейся в распоряжении информации отдать предпочтение какому-либо элементу невозможно, начать разделение можно с любого из них. Начнем с разборки корпуса соединителя *X2*. Сняв корпус и осмотрев места паяк, видим, что гнезда 5 и 6 соединены между собой каплей припоя. Такое

соединение гнезд и приводит к образованию между ними цепи, которой по схеме не должно быть. Дефект найден.

Задача 27. По условиям примера 67 нарисовать модель, которой были представлены соединители $X1$, $X2$, $X3$, вместе с кабелями (см. рис. 79) и изобразить графически последовательность поиска дефекта в такой модели, реализованную в этом примере.

Задача 28. Опишите проведение эксперимента для определения порядка чередования фаз сети, выполняемого в целях отыскания дефекта, описанного в задаче 12 (см. ч. 1).

Задача 29. Дефект в схеме пуска многоскоростного асинхронного электродвигателя (рис. 80) проявляется в том, что после срабатывания контактора $KM2$, включающего обмотку второй скорости $L2$, слышен сильный звук удара, а двигатель M (на рис. 80 показаны его обмотки $L1$, $L2$, $L3$) начинает вращаться в направлении обратном тому, в котором он вращался, работая на первой скорости.

Опишите проведение эксперимента в данной схеме для выяснения причины дефекта при включенном напряжении, используя фазоуказатель-пробник ФП-2.

Задача 30. В схеме сигнализации (рис. 81) последовательно каждой из ламп накаливания $H1 - Hn$ включены дополнительные резисторы $R1 - Rn$, служащие для уменьшения значения напряжения, поступающего на лампы и тем самым увеличивающие срок их службы. Вся схема сигнализации получает питание от трансформатора T через полупроводниковый выпрямитель V .

Дефект в схеме визуально проявляется в том, что работающие лампы периодически гаснут. Предварительные проверки позволили установить, что появление дефекта связано с периодическим замыканием контакта датчика $E2$. Само по себе замыкание контакта любого датчика не должно приводить к такому дефекту. Обращение к документации помогает установить, что датчик $E2$ имеет такой характер работы и периодически замыкает свой контакт.

Указать возможные причины такого дефекта, используя полученную в данной, а также в других задачах и примерах информацию.

Задача 31. В автономной передвижной электростанции для регулирования частоты вращения дизеля применяют двухобмоточные асинхронные электродвигатели. На одну из обмоток, называемую также обмоткой возбуждения, напряжение поступает постоянно. На вторую обмотку (обмотку управления) напряжение поступает либо после замыкания контактов переключателя $S1$, либо от усилителя системы автоматического распределения активной нагрузки $A1$ (рис. 82).

Частота вращения дизеля в таких электростанциях изменяется не только для изменения частоты напряжения генератора, но и для рас-

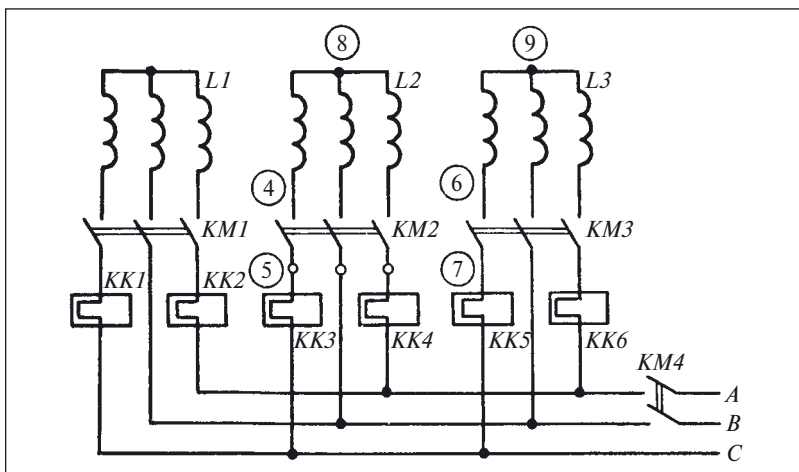


Рис. 80. Главные цепи системы управления трёхскоростным асинхронным двигателем

пределения активных нагрузок между параллельно работающими генераторами.

В связи с особой важностью эти цепи получают питание через автоматический переключатель, выполненный на контакторе, от шин главного распределительного щита и аварийного источника.

При настройке цепи получали питание от шин главного распределительного щита через автоматический выключатель $QF1$, а выключатель $QF2$ был выключен.

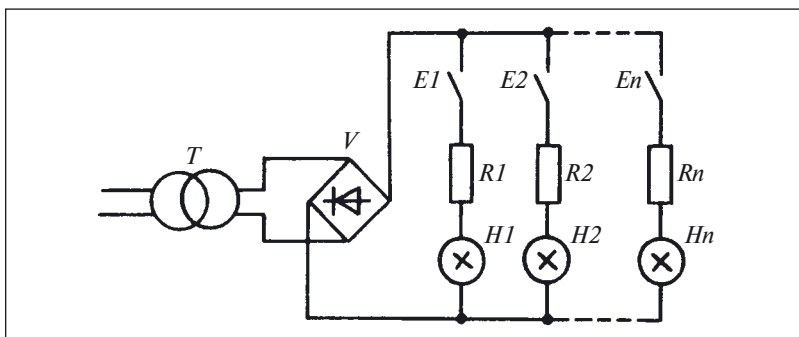


Рис. 81. Схема световой сигнализации

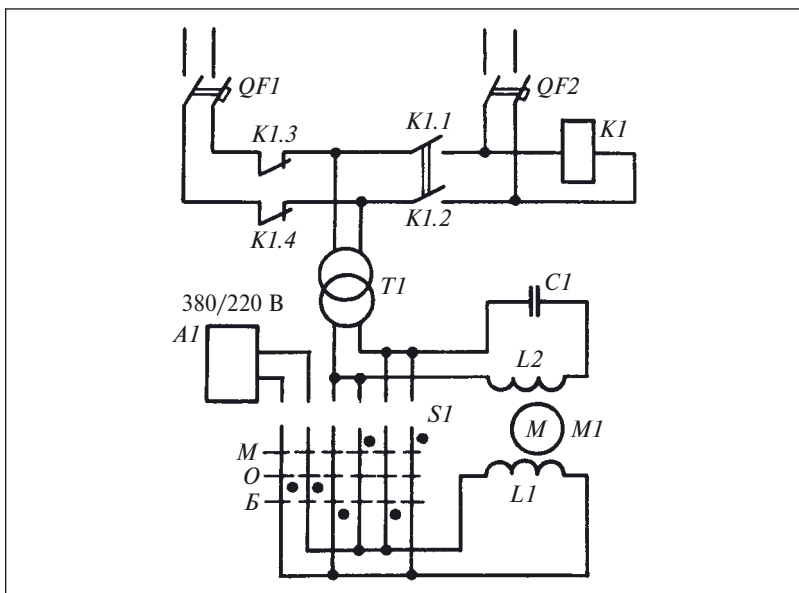


Рис. 82. Цепи управления электродвигателем

В результате выполнения настроечных работ было обеспечено правильное взаимодействие обмоток двигателя как при управлении ключом, так и в автоматическом режиме работы при распределении активных нагрузок устройством А1.

Во время испытаний был включен выключатель QF2 и проверена работа системы распределения нагрузки. Однако вместо того, чтобы выравнивать нагрузки между генераторами (как принято говорить, «сводить» нагрузку) система А1 начинала переводить всю нагрузку на один генератор («разгонять» нагрузку) до тех пор, пока второй не отключался реле обратной мощности (см. пример 23 и рис. 21, ч. 1).

Указать причину дефекта, проанализировать схему совместно с описанием проявлений дефекта. Предложить методику эксперимента для проверки гипотезы.

Задача 32. Система сигнализации (рис. 83, а) получает питание от сети постоянного напряжения 24 В.

Дефект в данной системе проявляется в том, что при нажатии на кнопку S1 («Контроль ламп») лампы не горят, хотя при замыкании контактов K1 – Kп они работают.

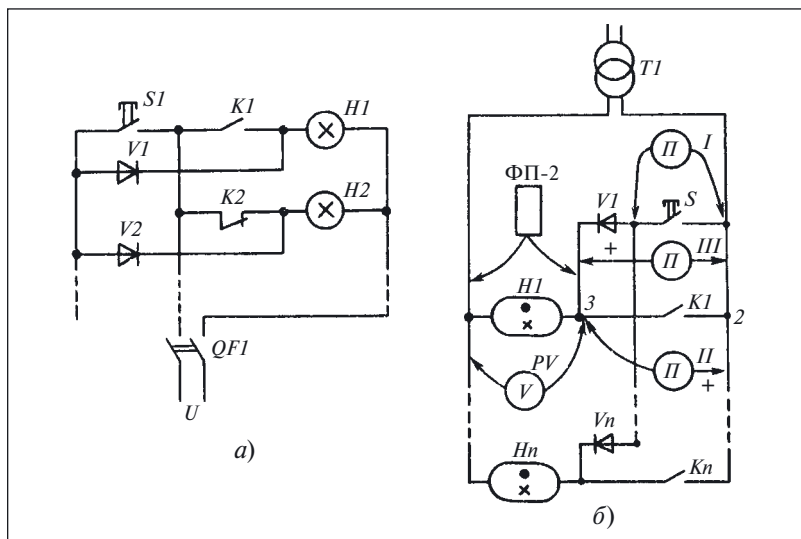


Рис. 83. Фрагменты схем сигнализации:

а — на лампах накаливания; б — на газосветных лампах

Указать причину дефекта и описать методику эксперимента для его обнаружения.

Пример 68. Поиск дефекта в системе сигнализации

На рис. 83, б приведен фрагмент принципиальной схемы системы сигнализации на газосветных лампах. Дефект в рассматриваемой системе проявляется в том, что при нажатии на кнопку S («Контроль ламп») ни одна из ламп $H1 - Hn$ не горит.

Проанализировав приведенный фрагмент схемы, можно указать три причины этого дефекта:

- неисправны все сигнальные лампы;
- неправильно смонтирована схема;
- неисправен блок контроля ламп.

Первая причина практически нереальна и поэтому не рассматривается. Для проверки второй причины проверим монтаж системы с помощью технологического перехода «проверка электрических цепей», причем выполнять его будем непосредственным способом.

Результаты проверки показали, что схема смонтирована правильно и поэтому вторая гипотеза несостоятельна.

Третью гипотезу начнем проверять с контакта кнопки S при отключенном питании системы. Для этого подключим к точкам 3, 2

пробник $П$ (см. поз. I на рис. 83, б). Так как пробник изменяет свое состояние после нажатия на кнопку S , то можно говорить об исправности её контакта. Как видно из схемы, кроме кнопки S в блок контроля исправности ламп входят диоды $V1 - Vn$, «размножающие» контрольный сигнал.

Учитывая это, проверим исправность диодов, подключив пробник $П$ (см. поз. II и III на рис. 83, б).

Проверки показали, что при замкнутом контакте кнопки S пробник в поз. II показывает замкнутую цепь, а в поз. III — разомкнутую. Таким образом, диоды $V1 - Vn$ исправны.

В результате оказалось, что все выдвинутые гипотезы о причине дефекта несостоятельны. Что же делать дальше? Где искать дефект?

Выполненные проверки показали, что блок контроля ламп не имеет дефектов и, следовательно, должен подавать на лампы контрольное напряжение, имитирующее срабатывание датчика.

Проверим, как это реализуется в действительности, и подключим вольтметр PV , подав предварительно питание на схему. Так как после нажатия на кнопку S стрелка вольтметра отклоняется, то контрольное напряжение подается на лампы.

После выполнения такой проверки естественно возникает вопрос: почему не горит лампа при подаче на ее электроды контрольного напряжения? Чтобы ответить на него, необходимо вспомнить, что у газосветных ламп, применяемых в данной схеме, есть такая характеристика, как порог зажигания. При напряжении на электродах лампы ниже ее порога зажигания лампа не горит.

Воспользовавшись документацией, установим, что напряжение питания схемы 127 В, а напряжение зажигания лампы этого типа 70 В. Теперь подключим вольтметр электромагнитной системы и измерим им напряжение на электродах лампы при нажатой кнопке S . Вольтметр показывает напряжение 50 В, поэтому при подаче контрольного напряжения лампа с напряжением зажигания 70 В не загорается.

Но где же теряется напряжение и на каком элементе «пропадает» $127 - 50 = 77$ В?

При изучении схемы следует обратить внимание на то, что исправность ламп контролируется однополупериодным выпрямленным с помощью диодов напряжением.

Как известно, действующее значение выпрямленного напряжения в схеме однополупериодного выпрямления составляет 45 % действующего значения переменного напряжения, подаваемого на вход схемы. Таким образом, причиной дефекта явилась схемная

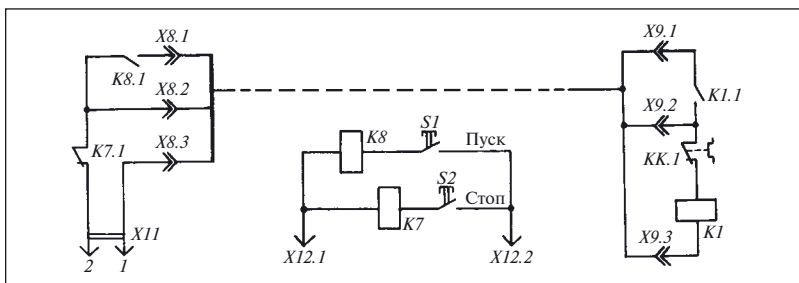


Рис. 84. Дистанционное управление электродвигателем импульсными реле

ошибка, допущенная на стадии проектирования, проявившаяся из-за недооценки важности схемы питания.

Для устранения этой ошибки необходимо либо применить лампы с меньшим напряжением зажигания, либо подавать на блок контроля исправности ламп напряжение не менее 155 В (70 В/0,45).

Задача 33. На рис. 84 показана схема системы дистанционного управления приводом вентилятора индукционного регулятора ИР-92 с помощью импульсных реле K7, K8.

Дефект в схеме проявляется в том, что после подачи питания вентилятор начинает работать без нажатия на кнопку S1 «Пуск».

Указать причину дефекта.

Задача 34. Дефект в схеме релейной защиты (рис. 85, а) проявляется в том, что отключается (или, как иногда говорят, «выбивает») установочный автоматический выключатель QF.

С помощью пробника были проверены диоды (см. рис. 75) и установлено, что они исправны. После этого в точках 1 и 2 (см. рис. 85, а) отключили нагрузку выпрямительного моста и включили автоматический выключатель QF. Выключатель по-прежнему отключается.

Найти причину дефекта, используя полученную информацию.

Задача 35. При первом включении схемы (рис. 85, б) отключился автоматический выключатель QF1. Для проверки отключили нагрузку QF1 путем разрыва цепей в точках 1 и 2. Несмотря на это, автомат все равно отключается, как при «глухом» (металлическом) коротком замыкании.

Выдвинуть гипотезы о причине дефекта.

Задача 36. Используя условия задачи 6 и комментарии к ней, ответить на вопрос: можно ли применять «... простейший способ проверки конденсаторов: зарядить, подождать 10 – 15 мин, разрядить и посмотреть на искру»?

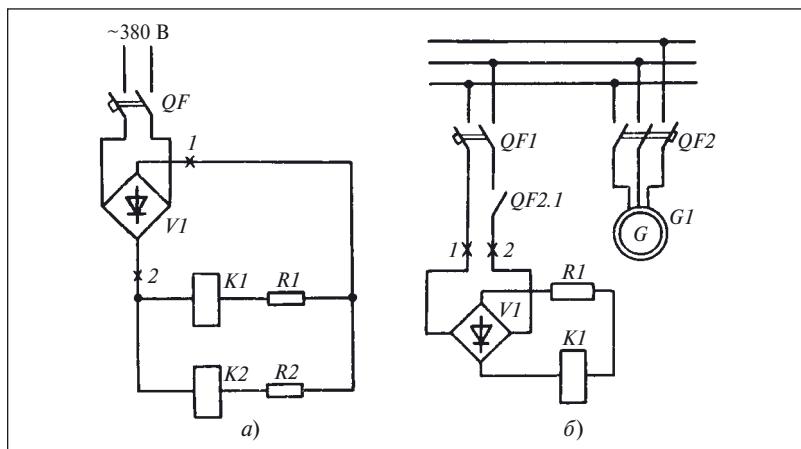


Рис. 85. Фрагменты схем:

а — релейной защиты; *б* — управления генераторным выключателем

Комментарии и ответы на задачи

К задаче 23. Из описания дефекта можно сделать вывод, что выключатель *S1* включен непосредственно в цепь лампы *H1*, а выключатель *S2* подключен к лампе *H2* так, что напряжение на его вывод поступает не от полюса сети, а через контакт выключателя *S1*. В соответствии с этим можно нарисовать принципиальную схему, показанную на рис. 86, *а*.

Для того чтобы светильник работал правильно, необходимо снять перемычку между точками 1 и 4 и соединить между собой и с полюсом сети точки 2 и 4 (рис. 86, *б*).

К задаче 24. Для ответа на поставленный вопрос нарисуем фрагмент схемы, показывающий электрические и механические связи между перечисленными в условии задачи элементами (рис. 87, *а*).

На рис. 87, *а* показано, что эти элементы в исправной схеме должны взаимодействовать в такой последовательности: размыкание контакта *K1.3* — отключение тока в катушке *K3* — замыкание контакта *K3.2* с выдержкой времени — подача питания на катушку *K2*.

Следовательно, размыкание контакта *K1.3* является необходимым условием для подачи питания на катушку *K2*. Поэтому при определении дефекта совокупность перечисленных элементов может быть заменена моделью из одного блока (рис. 87, *б*). Таким образом, если в ходе эксперимента имитировать разрыв цепи контакта

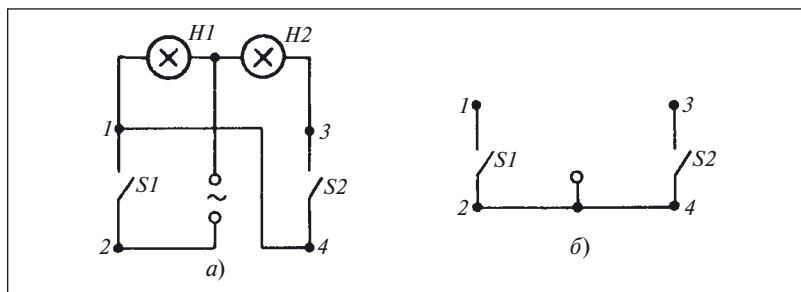


Рис. 86. Схема светильника:
а — с ошибкой; б — правильная

K1.3, то в случае исправности остальных элементов контактор должен сработать.

Исходя из этого, для эксперимента в схеме необходимо последовательно с контактом *K1.3* в разрыв точки 7 (см. рис. 18, ч. 1) включить размыкающий контакт кнопки *SQ* (рис. 87, в).

После внесения указанного изменения эксперимент выполняют следующим образом. Кнопкой *S1* (см. рис. 18, ч. 1) включают схему управления и наблюдают за работой контактора. Если он не срабатывает, то нажимают кнопку *SQ* (см. рис. 87, в). При исправных катушке *K3*, контакте *K3.2* и катушке *K2* контактор должен сработать и замкнуть контакты *K2.1* — *K2.3* (см. рис. 18).

Таким образом, исправность элементов, перечисленных в условии задачи 24, устанавливают всего за одну проверку.

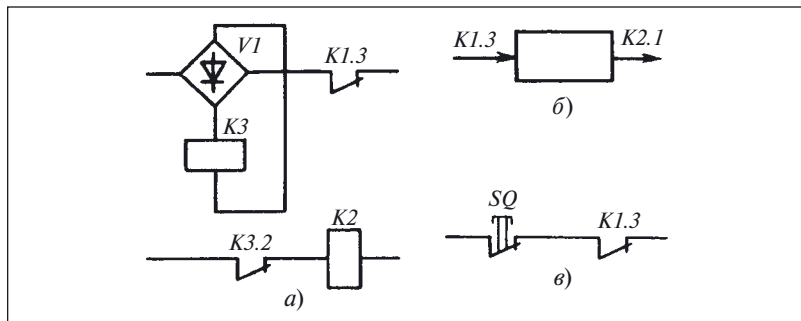


Рис. 87. К поиску дефекта в схеме на рис. 18 (см. ч. 1):
а — фрагмент схемы; б — модель схемы; в — включение кнопки

К задаче 25. Если воспользоваться рис. 9 и 38, а также их описаниями, то определить очередность проверок и указать точки включения переключки не представит затруднений.

Что же касается ответа на второй вопрос задачи, то, предположив наличие в схеме только дефектов типа «обрыв», можно утверждать, что согласно приведенным в гл. 1 (см. ч. 1) сведениям для нахождения дефекта потребуется четыре проверки.

К задаче 26. Использование схемы двух амперметров для измерения тока в трехфазной трехпроводной цепи основано на том, что геометрическая сумма (с учетом фазного угла) токов двух фаз равна току третьей фазы, взятому с обратным знаком.

В символической форме это записывается так: $I_B + I_C = -I_A$. Из формулы не следует обязательное равенство токов фаз по модулю. Это значит, что показания амперметра в схеме на рис. 76 во всех трех положениях переключателя SI не обязательно должны быть равны между собой.

Равенство или неравенство показаний амперметра в каждом из положений переключателя определяется характером нагрузки фаз — равномерной или неравномерной.

Таким образом, показания амперметра из условия задачи могут быть вызваны и неравномерностью нагрузки фаз. Но и в этом случае выполняется приведенное выше соотношение.

Однако найти значение тока третьей фазы, зная только токи двух фаз, невозможно. Для этого необходимо знать хотя бы еще один параметр — фазный угол между токами.

Отметим, что указанное соотношение справедливо только при исправности всех элементов измерительной схемы. Следовательно, второй причиной разных показаний амперметра может быть и неисправность схемы измерения.

К задаче 27. В данном случае в объекте предполагается наличие дефекта типа «короткое замыкание». Как видно из примера 67, проверка соединенных между собой блоков с помощью технологического перехода «проверка электрических цепей» неинформативна, так как, выполнив ее в любой контрольной точке, невозможно уточнить местонахождение дефекта и ограничить область его определения. Поэтому в примере объект был представлен моделью из двух не соединенных между собой блоков $A1$, $A2$ (рис. 88, a).

В связи с тем что отдать предпочтение ни одному из блоков нельзя, проверку можно начать либо с блока $A2$ (рис. 88, b), либо с блока $A1$ (рис. 88, $в$). В любом случае, помимо двух исходов, соответствующих дефекту в блоке 1 или 2, на рис. 88, b показан еще один ис-

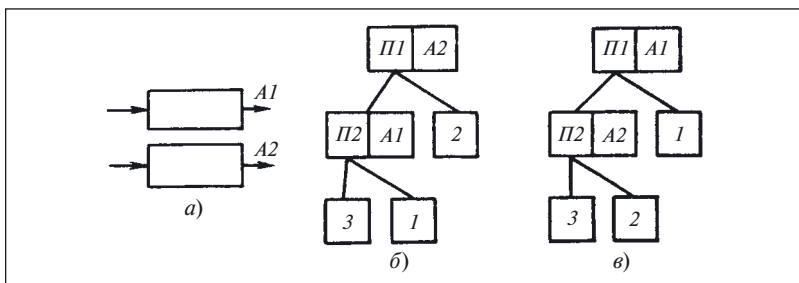


Рис. 88. К поиску дефекта в соединителе:

а — модель объекта из не связанных между собой блоков; *б, в* — очередность и исходы проверок

ход 3, соответствующий дефекту, проявляющемуся после соединения блоков вместе.

К задаче 28. Направление вращения асинхронного электродвигателя изменяется при изменении порядка чередования фаз питающей сети. Схема (рис. 89, *а*) показывает, что для этой цели используют контакты пускателя, переключающие две фазы из трех. Учитывая это, эксперимент проводят следующим образом.

Нажав на любую из двух пусковых кнопок («Вперед» или «Назад»), запускают электродвигатель. Если необходимо исключить работу двигателя, то на выходных зажимах пускателя отключают любые две жилы кабеля, соединяющие двигатель с пускателем.

Затем фазоуказателем-пробником ФП-2 или любым индикатором напряжения (можно использовать и вольтметр) измеряют на-

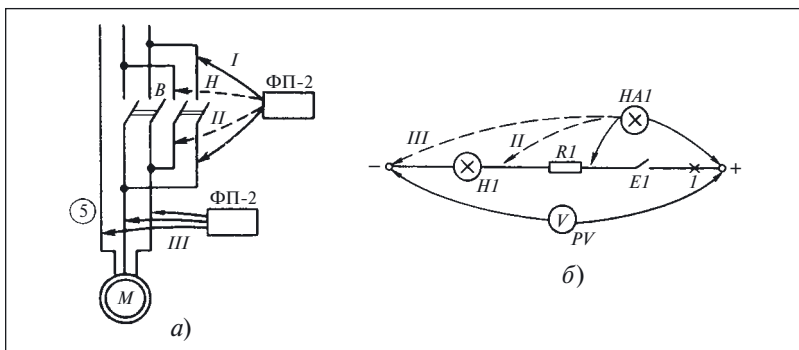


Рис. 89. Проверки в схемах:

а — реверсивного пускателя; *б* — на рис. 81

пряжение на выводах контактов контактора другого направления вращения (см. рис. 89, поз. *I* и *II*). Если схема собрана правильно, то к разомкнутому контакту должны подходить разноименные фазы и фазоуказатель-пробник ФП-2 покажет наличие напряжения. В противном случае напряжения будет равно нулю. Исправляют данный дефект, поменяв местами фазные провода. Определяется это удобством выполнения переключений и длиной проводов.

Эксперимент можно выполнить и по-другому, определив порядок чередования фаз в контрольной точке 5 (поз. *III*, рис. 89), запустив двигатель сначала вперед, а затем назад. В исправной схеме порядок чередования фаз должен изменяться.

К задаче 29. По описанию дефекта можно установить, что порядок чередования фаз обмотки второй скорости *L2* отличается от порядка чередования фаз обмотки *L1*. Поэтому для исправления дефекта можно переключить любые два вывода из трех, отмеченных на рис. 80 цифрами 1, 2, 3, и испытать схему в работе.

Однако для предотвращения явлений, описанных в задаче, целесообразно после включения второй и третьей скоростей определить совпадение порядка чередования в контрольных точках 4, 5, 6, 7 при разобранных соединениях в точках 8, 9.

Затем поочередно подключают фазоуказатель-пробник ФП-2 к выводам обмоток и фазам питающей сети в контрольных точках 4, 5 и 6, 7.

Если порядок чередования фаз в соответствующих парах контрольных точек совпадает, можно восстановить схему и перейти на другие частоты вращения.

К задаче 30. В условии задачи прямо не сказано, как ведет себя схема при замыкании других контактов, но из фразы «работающие лампы периодически гаснут» можно заключить, что дефект характерен только для цепочки, включаемой контактом датчика. Кроме того, свечение остальных ламп свидетельствует об исправности источника питания, состоящего из трансформатора *T* и выпрямителя *V*.

Таким образом, область поиска дефекта может быть ограничена цепочкой: отрицательный полюс питания — лампа *H1* — резистор *R1* — контакт *E1* — положительный полюс питания (см. рис. 81).

Для уточнения причины погасания ламп подключим вольтметр *PV* к полюсам питания (см. рис. 89, *б*). При разомкнутом контакте *E1* напряжение между полюсами составляет 30 В, что и приводит к погасанию других ламп.

Убедившись, что лампы гаснут из-за уменьшения напряжения, разорвем указанную цепочку в точке 1 и понаблюдаем за работой

схемы. Оказывается, что проявление дефекта исчезло и лампы не гаснут. Обратим внимание на то, что сигнальные лампы получают питание от автономного выпрямителя V и трансформатора, имеющего ограниченную мощность и, соответственно, мягкую внешнюю (нагрузочную) характеристику.

Это значит, что при увеличении нагрузки напряжение на выходе источника питания уменьшается (сравните с нагрузочной характеристикой мегаомметра, приведенной на рис. 52, см. ч. 1).

Можно предположить, что причина дефекта в перегрузке или коротком замыкании цепи контакта $E1$.

Для проверки выдвинутой гипотезы используем технологический переход «проверка электрической цепи» и выполним его под напряжением с помощью контрольной лампы $HA1$, подключая ее поочередно к резистору $R1$ (поз. I), лампе $H1$ (поз. II) и второму полюсу сети (поз. III). При проверке цепь контакта $E1$ по-прежнему разорвана в точке I . Яркость свечения контрольной лампы $HA1$ (поз. I) такая же, как яркость свечения других ламп проверяемой схемы. В поз. II яркость свечения увеличилась, а в поз. III — такая же, как и в поз. II .

Результаты проверки позволяют сделать вывод о коротком замыкании в лампе $H1$.

Для проверки предположения используем технологический переход «замена блока».

Заменив лампу $H1$ и восстановив цепь, разорванную в точке I , включим питание и проверим работу схемы.

Схема работает нормально, следовательно, дефект найден и устранен.

К задаче 31. Проанализировав условия задачи, можно ограничить область существования дефекта переключателем питания, а точнее — вторым источником питания, подключаемым выключателем $QF2$.

В чем же может быть причина дефекта в этом случае?

Если вспомнить, что направление вращения двухобмоточного асинхронного двигателя при неизменном напряжении на обмотке возбуждения зависит от фазы напряжения на обмотке управления, можно выдвинуть такую гипотезу о причине дефекта: **изменение фазы напряжения на обмотке управления после переключения на другой источник питания.**

Для проверки гипотезы определим одноименность фаз с указателем-пробником (поз. I и II на рис. 90, a).

При проверке в поз. I фазоуказатель-пробник показывает наличие напряжения. Следовательно, к контакту $K1.1$ подходят разные

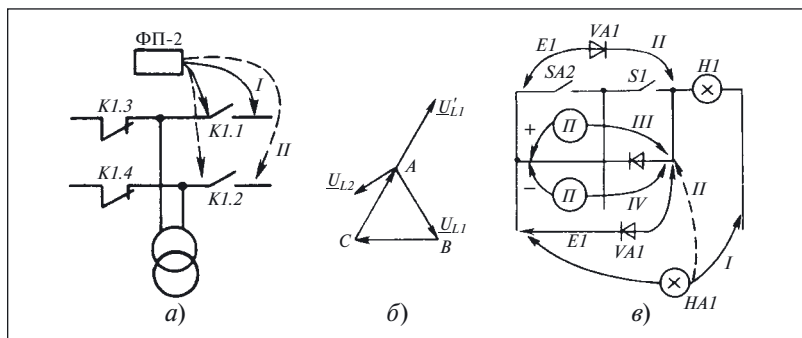


Рис. 90. К поиску дефектов:

а, б — проверки одноименности фаз и векторная диаграмма для рис. 82; *в* — проверки в системе сигнализации

фазы, что приводит к изменению фазы напряжения на обмотке управления (рис. 90, б) и изменению направления вращения.

Подключив к соответствующему полюсу выключателя другую фазу, устраняем дефект.

К задаче 32. Описание дефекта в условиях задачи позволяет сделать вывод, что область существования дефекта ограничена блоком контроля исправности ламп. Этот блок помимо кнопки *SA2* включает в себя диоды *VI* — *Vn*, «размножающие» контрольный сигнал. Так как одновременный отказ всех диодов маловероятен, то предположим неисправность кнопки *SA2*.

Для проверки этой гипотезы воспользуемся лампой *HA1*, включив её, как показано на рис. 90, в (поз. *Л*).

При нажатии на кнопку *SA2* лампа *HA1* горит, что свидетельствует об исправности контакта кнопки. Чтобы убедиться в правильности монтажа диодов, подключим лампу *HA1* параллельно диоду к тому выводу, который соединяется с лампой *H1* (поз. *II* на рис. 90). При нажатии на кнопку *SA2* одновременно загораются лампы *H1* и *HA1*, причем обе горят вполнакала.

Означает ли это, что вопреки сказанному ранее в данной схеме неисправны диоды?

Чтобы ответить на данный вопрос, проверим с помощью пробника *П* (поз. *III* и *IV* на рис. 90, в) один из диодов. Он оказался исправным. Следовательно, причина дефекта заключается в другом. Учитывая, что схема получает питание от источника постоянного напряжения, можно предположить такую причину дефекта: «неправильное включение диодов».

Для проверки выдвинутой гипотезы используем перемычку *E1* с включенным в нее диодом *VA1*. Перемычку подключим к кнопке и лампе *H1* аналогично тому, как ранее включали лампу *HA1*. Так как включение лампы *HA1* не привело ни к каким негативным последствиям и показало отсутствие короткого замыкания в цепи, то и включение перемычки безопасно.

Подключив перемычку при разной полярности диода *VA1* (поз. *I* и *II* на рис. 90, *в*), видим, что в поз. *I* лампа *H1* горит, а в поз. *II* — нет.

Следовательно, причина дефекта — в несоблюдении соответствия между полярностями источника питания и диодов контроля ламп.

Поменяв местами провода от источника питания, устраняем дефект.

К задаче 33. Для уточнения причины дефекта проведем такой эксперимент: при работающем двигателе нажмем и отпустим кнопку *S2* «Стоп».

Результат проверки показал, что после нажатия на кнопку двигатель *M1* останавливается, а после отпускания кнопки вновь начинает вращаться.

Все изложенное позволяет ограничить область поиска дефекта цепью кнопки *S1* «Пуск». Анализ схемы и имеющейся в распоряжении информации о дефекте и его проявлениях позволяет выдвинуть такие гипотезы о причине дефекта:

- *размыкающий вспомогательный контакт K1.1, запоминающий пусковой сигнал, шунтирован ложной цепью;*
- *второй полюс источника питания подключается в цепь катушки помимо замыкающего контакта K1.1.*

Для проверки первой гипотезы при отключенном напряжении подключим пробник *П* параллельно контакту *K1.1* (рис. 91, *а*). Пробник показывает отсутствие цепи. Следовательно, первая гипотеза несостоятельна.

Вторую гипотезу проверим с помощью этого же технологического перехода, подключив пробник одним щупом к точке *1*, а другим — к полюсу *X11.2* источника питания *X11* (рис. 91, *б*). Проверка показала наличие замкнутой цепи. Следовательно, дефект найден.

Для его устранения поменяем местами провода, подходящие к вспомогательному контакту *K1.1*.

К задаче 34. Чтобы исключить другие причины, измерим сопротивление изоляции цепей питания. Для этого подключим мегаомметр *PR* к точкам *3*, *4* при отключенном выключателе *QF*. Результаты измерения — сопротивление изоляции равно 1 МОм.

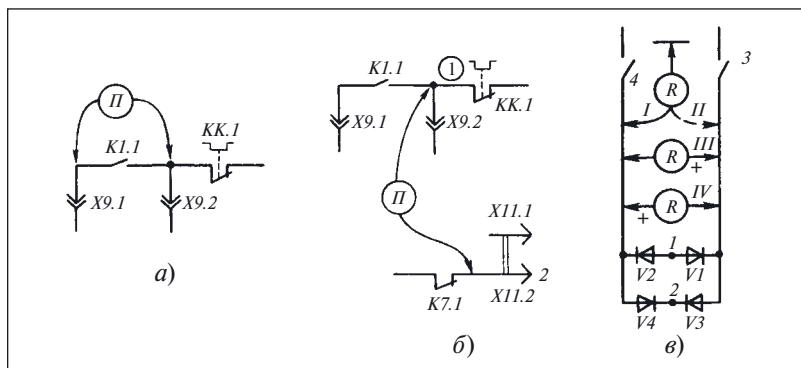


Рис. 91. Проверки при поиске дефектов в схеме:

а, б — на рис. 84; в — выпрямительного моста

Приведенная в условии задачи информация и результат измерения сопротивления изоляции позволяют утверждать, что причина дефекта заключается в неисправности моста $V1 - V4$, несмотря на то что проверка пробником показала их исправность.

Действительно, что может быть причиной короткого замыкания в цепи, содержащей только выпрямительный мост?

Чтобы убедиться в неисправности выпрямительного моста, измерим с помощью мегаомметра его входное сопротивление. Для этого переключатель пределов переведем в положение «кОм», а сам прибор будем поочередно подключать к выводам диодов (см. рис. 71). В результате проверок установлено, что диод $V4$ имеет обратное сопротивление 20 кОм (поз. IV на рис. 91, в).

Сопротивление 20 кОм, включенное между полюсами источника питания, не должно приводить к короткому замыканию. Но, поскольку выключатель отключается, короткое замыкание в цепи питания существует.

Оценим полученную в результате выполнения проверок информацию. Вывод об исправности диодов на основании проверки пробником не может быть иным: включение сопротивления 20 кОм между щупами пробника равносильно разрыву цепи, так как и в обоих случаях лампа не может светиться.

Сопоставление результатов измерения сопротивления мегаомметром и подачи напряжения на выпрямительный мост позволяет выдвинуть предположение о том, что обратное сопротивление диода $V4$ зависит от напряжения, прикладываемого к нему.

Чтобы убедиться в правильности такого предположения, измерим его обратное сопротивление мегаомметром, но в положении переключателя «МОм», так как напряжение на выводах мегаомметра на этом пределе больше (см. рис. 52, ч. 1).

Результат измерения — обратное сопротивление диода $V4$, измеренное мегаомметром в положении переключателя «МОм», равно нулю.

Заменим неисправный диод и восстановим соединение в схеме. После этого подадим напряжение — автоматический выключатель не срабатывает, значит, схема исправна и дефект устранён.

К задаче 35. Описанная в условии задачи проверка позволяет ограничить область определения дефекта автоматическим выключателем $QF1$, вспомогательным контактом $QF2.1$ и связью их между собой.

Чтобы еще больше ограничить область поиска дефекта, отключим провода, подходящие к автоматическому выключателю $QF1$, и включим его.

Так как автоматический выключатель не отключается, то можно сделать вывод о том, что дефект находится либо в контакте $QF2.1$, либо в его связи с $QF1$.

Для уточнения местонахождения дефекта осмотрим указанные элементы. Визуальный контроль показал, что провод, соединяющий контакт $QF2.1$ с $QF1$, не имеет видимых дефектов, тогда как на блоке вспомогательных контактов автоматического выключателя $QF2$ заметны следы нагара.

Измерим сопротивление изоляции вывода контакта $QF2.1$ относительно корпуса. Прибор показал, что сопротивление изоляции равно нулю.

Результаты проверок и измерений позволяют сделать вывод, что при первом включении автоматического выключателя сгорел вспомогательный контакт $QF2.1$.

После подачи напряжения на этот контакт по цепи, образованной нагаром, возникло короткое замыкание фазы на корпус, приведшее к отключению выключателя $QF1$.

Чтобы определить причину разрушения вспомогательного контакта, проверим выпрямительный мост. Результат проверки показывает, что один из диодов моста имеет дефект типа «короткое замыкание», который и явился причиной разрушения контакта.

Заменив пакет вспомогательных контактов и диод в выпрямительном мосту, устраняем дефект, проявление которого описано в условии задачи.

К задаче 36. Из задачи 5 (см. ч. 1) следует, что исправность конденсатора оценивается не только по наличию напряжения на его обкладках, но и по характеру изменения тока заряда. Кроме того, при замыкании обкладок конденсаторов, заряженных от источников энергии с напряжением, составляющим единицы и даже несколько десятков вольт, искра может и возникнуть. То же самое можно сказать и о конденсаторах небольшой емкости, в том числе и о тех, напряжение на обкладках которых достигает 100 В и более.

Замыкание обкладок конденсаторов, заряженных до такого напряжения, небезопасно. И, наконец, таким простейшим способом проверять оксидные конденсаторы нельзя, поскольку невозможно оценить, как они сохраняют заряд.

Нельзя обойти вниманием и то, что данный способ проверки не позволяет обеспечить ограничение разрядного тока значением, установленным в стандартах на конкретные типы конденсаторов (см. также ГОСТ 21315.2–75). Отсутствие ограничения разрядного тока может привести к тепловому повреждению конденсатора.

Для оценки способности конденсатора сохранять полученный заряд (отсутствие саморазряда) может быть использован способ нескольких последовательных подключений омметра (пробника) к конденсатору. Если после первого подключения конденсатор зарядился и не разрядился от токов утечки, то при последующих подключениях подзаряд не будет происходить и стрелка прибора не отклонится.

Наличие подзаряда и его интенсивность (оцениваемая по отклонению стрелки) свидетельствуют о наличии токов утечки (саморазряде конденсаторов).

И, наконец, «простейшая» проверка конденсатора может привести к несчастным случаям, особенно если она осуществляется в электрооборудовании. В этом можно убедиться, ознакомившись с приведенным ниже примером.

Пример 69. Замыкание выводов конденсатора

На заводе механических прессов электромонтер включил рубильник сварочного трансформатора, чтобы опробовать его в рабочем режиме, но при этом не закрыл крышку колодки вводных зажимов.

Находившийся рядом дежурный слесарь замкнул отверткой вводные зажимы преобразователя, рассчитывая в «шутку», когда конденсаторы при разрядке дадут шелчок, напугать стоящего рядом сварщика.

Однако однофазное короткое замыкание, устроенное слесарем, перешло в трехфазное, в результате которого оба получили ожоги.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Проверка обмоток

Все обмотки, встречающиеся в релейно-контакторных схемах, подразделяют на две большие группы:

- не имеющие между собой индуктивной связи;
- индуктивно связанные.

Исправность обмоток первой группы характеризуется:

- целостностью;
- отсутствием замыканий витков между собой;
- сопротивлением, зависящим от количества витков;
- площадью сечения и материалом провода, из которого выполнена обмотка;
- сопротивлением изоляции относительно корпуса и между витками.

Целостность обмотки может быть проверена любым способом, рассмотренным в гл. 4.

Обмоточные данные катушек одновременно с их целостностью можно проверить также измерением их сопротивления на постоянном токе.

Практически такие измерения выполняют омметрами или мостами постоянного тока с погрешностью $\pm (2 \div 3) \%$. Обычно считают пригодными катушки, сопротивление которых составляет от 90 до 115 % номинального значения (см. примеры 1 – 4, ч. 1).

***Задача 37.** Внутреннее короткое замыкание витков в двигателях холодильных установок проверяют омметром, измеряя сопротивление между контактами:*

- рабочим и общим;
- пусковым и общим;
- рабочим и пусковым (рис. 92, а).

Самое большое сопротивление бывает всегда между рабочим и пусковым контактами, следующее по значению — между пусковым и общим контактами.

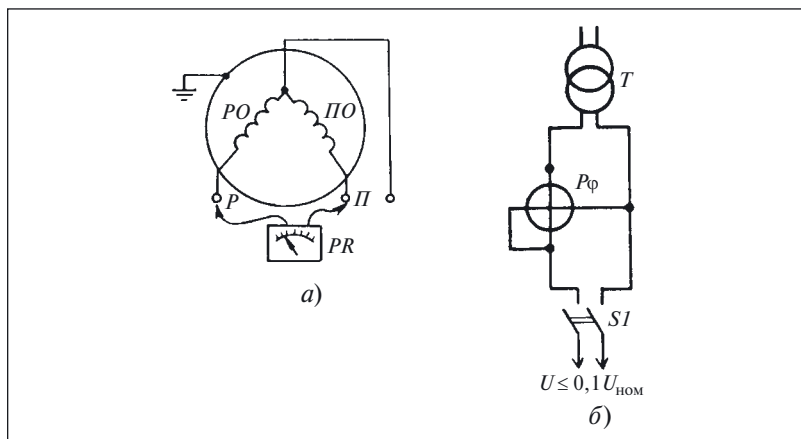


Рис. 92. Определение короткозамкнутых витков:

а — омметром; б — фазометром

Всегда ли возможно определить наличие короткозамкнутых витков таким способом?

Исправность обмоток электромагнитов, электродвигателей, трансформаторов можно проверить методом фазометра.

Пример 70. Определение короткозамкнутых витков в трансформаторе

Требуется определить наличие короткозамкнутых витков в трансформаторе T (рис. 92, б).

При холостом ходе трансформатора возникает несколько видов потерь:

- в меди первичной обмотки;
- в стали сердечника;
- добавочные холостого хода.

Потерями в меди первичной обмотки можно пренебречь даже в трансформаторах малой мощности с относительно большим сопротивлением обмотки, поскольку мощность холостого хода расходуется только на потери в стали. В этом случае трансформатор представляет собой только индуктивное сопротивление.

Короткозамкнутый виток в обмотке трансформатора представляет собой дополнительную вторичную обмотку, замкнутую на себя. В этом режиме поток намагничивания очень мал и потерями в стали можно также пренебречь, а мощность, подводимая к трансформатору с короткозамкнутым витком, тратится на покрытые потерь в меди

обмоток. Следовательно, в этом случае трансформатор представляет собой только активное сопротивление.

Описанное свойство трансформатора и позволяет обнаруживать короткозамкнутые витки с помощью фазометра $P\phi$.

При отсутствии короткозамкнутых витков и холостом ходе трансформатора прибор покажет значение $\cos \varphi = 0,10 \div 0,15$.

Наличие короткозамкнутых витков повышает значение $\cos \varphi$ на холостом ходу до 0,8. Чтобы исключить повреждения в короткозамкнутых обмотках, проверку выполняют при напряжении питания, не превышающем 10 % номинального напряжения трансформатора.

В трансформаторах различной конструкции наличие короткозамкнутых витков может быть установлено при выполнении опыта холостого хода.

Пример 71. Выявление короткозамкнутых витков при определении параметров холостого хода

Для определения коэффициента трансформации трансформатора $T1$ была собрана испытательная схема, показанная на рис. 93, *а*.

Напряжение U_1 от регулируемого источника подавалось на первичную обмотку, но не к соединителям $A1$ и $X1$, а к болтовому соеди-

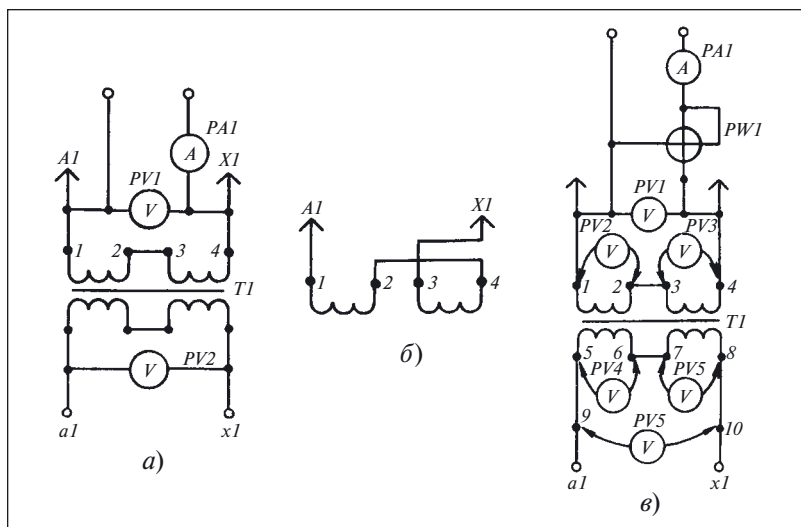


Рис. 93. Выявление короткозамкнутых витков:

а — схема определения коэффициента трансформации; *б* — схема соединения полуобмоток; *в* — схема включения приборов для проверки обмоток

нению вывода обмотки с проводом, припаянным к контакту соединителя.

Для контроля напряжения включили два вольтметра $PV1$ и $PV2$, а потребляемый от источника ток измеряли амперметром $PA1$. Напряжение плавно увеличивалось от нулевого значения.

В связи с тем что потребляемый трансформатором ток значительно превышал ток холостого хода $I_x = 14,5$ А, $U_{ном} = 380$ В, измерения произвели только в трех точках характеристики холостого хода. Результаты измерения, а также расчетные значения коэффициента трансформации приведены ниже:

Напряжение обмотки, В:	Точка 1	Точка 2	Точка 3
первичной U_1	2,1	4,2	5,0
вторичной U_2	0,12	0,24	0,28
Ток первичной обмотки I_1 , А	19,0	40,0	50,0
Коэффициент трансформации $K_T = U_1/U_2$	17,5	17,8	17,8

Учитывая приведенные выше значения параметров холостого хода, а также то, что номинальное значение $K_T = w_1/w_2 = 62/4 = 15,5$, можно утверждать — в трансформаторе имеется дефект.

Поскольку обмотки трансформатора расположены на двух стержнях, наиболее вероятная причина такого дефекта — встречное включение полуобмоток при сборке трансформатора.

Для проверки этой гипотезы поменяли местами выводы 3, 4 (рис. 93, б), измерили параметры в двух точках характеристики холостого хода и вычислили значение коэффициента трансформации, которое приведено ниже:

Напряжение обмотки, В:	Точка 1	Точка 2
первичной U_1	3,7	4,6
вторичной U_2	0,11	0,13
Ток первичной обмотки I_1 , А	35,0	48,0
Коэффициент трансформации $K_T = U_1/U_2$	33,64	35,38

Результаты проверки показали, что выдвинутая гипотеза несостоятельна и причина дефекта иная — короткозамкнутые витки.

Для проверки второй гипотезы соберем специальную схему (рис. 93, в), которая позволит измерить подводимое напряжение и ток, а также мощность и напряжение всех полуобмоток.

Собрав вспомогательную схему, подадим напряжение на первичные обмотки трансформатора и зафиксируем показания приборов:

$$U_1 = 9,5 \text{ В}; \quad I_1 = 35 \text{ А}; \quad P = 300 \text{ Вт}.$$

Зная, что $P = UI \cos \varphi$, вычислим по этим данным значение коэффициента мощности:

$$\cos \varphi = P/(UI) = 300/(9,5 \cdot 35) = 0,9.$$

Таким образом, данная проверка подтверждает правильность второй гипотезы о причине дефекта: **в трансформаторе есть короткозамкнутый виток.**

Однако, учитывая, что в трансформаторе обмотки расположены на двух разных стержнях, недостаточно установить факт существования короткозамкнутых витков, необходимо еще указать, в какой из двух обмоток произошло замыкание.

Для этого выполним несколько измерений, предварительно намотав поверх каждой из катушек, предусмотренных конструкцией трансформатора, вспомогательную обмотку из монтажного провода с числом витков, равным числу витков первичной обмотки:

$$w_{B1} = w_{B2} = 31.$$

После этого подадим сетевое напряжение на выводы 1 – 2, а затем на выводы 3 – 4 и будем измерять напряжение на выводах соответствующих вторичных обмоток.

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 1 – 2:

$$U_2 = 5,5 \text{ В}; I_1 = 11 \text{ А}; U_4 = 0,35 \text{ В}; K_T = U_2/U_4 = 15,71.$$

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 3 – 4:

$$U_3 = 1 \text{ В}; I_1 = 43 \text{ А}; U_6 = 0,05 \text{ В}; K_T = U_3/U_6 = 20.$$

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 1 – 4 и измерения напряжений на дополнительных обмотках:

$$U_1 = 4,25 \text{ В}; U_2 = 4,0 \text{ В}; U_3 = 0,5 \text{ В}; U_4 = 3,9 \text{ В}; U_6 = 0,5 \text{ В}; \\ K_{T1} = U_2/U_4 = 4,0/3,9 = 1,03; K_{T2} = U_3/U_6 = 0,5/0,5 = 1,00.$$

Результаты проверок показывают:

- ток, потребляемый правой по схеме катушкой при подаче напряжения непосредственно на ее выводы, значительно превышает номинальный ток холостого хода трансформатора;

- при подаче напряжения на последовательно соединенные первичные полуобмотки большая часть напряжения падает на левой по схеме обмотке;
- коэффициент трансформации для левых обмоток незначительно отличается от номинального, тогда как для правых существенно превышает его;
- коэффициент трансформации для дополнительных обмоток на левой катушке незначительно отличается от номинального, а для правой — равен ему.

Выполненные измерения и расчеты, а также их анализ показывают, что дефектной является правая по схеме катушка.

Однако нет оснований для того, чтобы определенно утверждать, в какой из обмоток этой катушки (первичной или вторичной) произошло короткое замыкание.

В таких случаях может помочь *обратное питание трансформатора* — подача напряжения на вторичную обмотку. Порядок выполнения проверок и их содержание остаются прежними.

В связи с тем что в данном случае на испытательной станции отсутствует источник напряжения достаточной мощности, выполнить эту проверку не представляется возможным.

Для уточняющей проверки закоротим вторичную обмотку трансформатора. При закорачивании выводов 5 — 6 ток в первичной цепи трансформатора увеличился, а при закорачивании выводов 7 — 8 показания амперметра *РА1* остались неизменными.

При проверке следует учитывать мощность трансформатора и закорачивать вторичную обмотку перемычкой, сопротивление которой значительно меньше сопротивления обмотки. В противном случае режим работы вторичной обмотки не будет изменяться и соответственно замыкание ее цепи не изменит тока в цепи первичной обмотки.

На основании выполненных проверок можно утверждать, что причина дефекта — в замыкании во вторичной обмотке правой по схеме катушки. После разборки катушки и осмотра поверхности ленты, из которой она намотана, было обнаружено два места замыкания витков.

В катушке без сердечника короткозамкнутые витки могут быть выявлены с помощью специальных устройств (рис. 94).

Основу этого устройства составляет мост, плечи которого составлены из резисторов *R2 — R6* и генератора *G1*. Резонансный контур генератора, определяющий частоту генерируемых им сигналов, об-

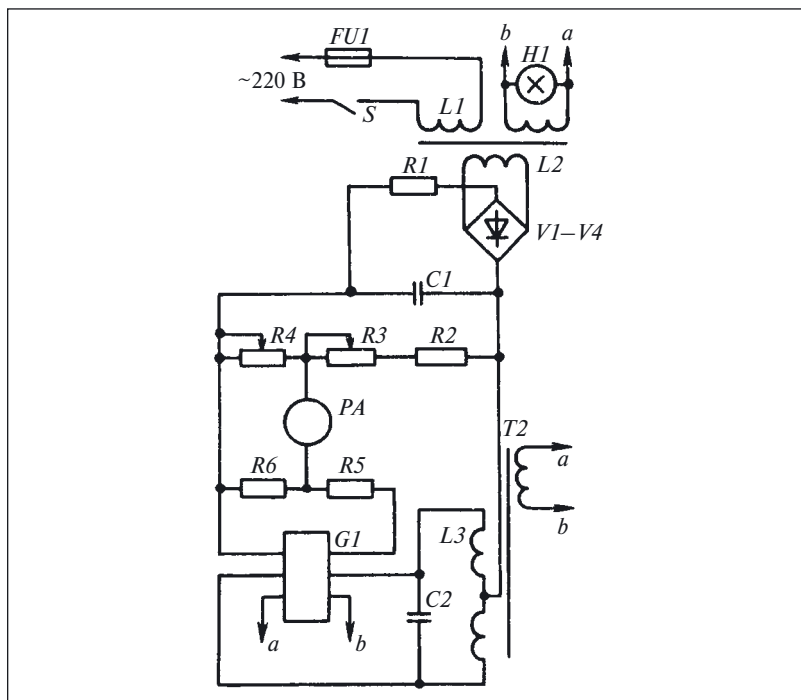


Рис. 94. Схема устройства для обнаружения короткозамкнутых витков

разован из катушки $L3$ с ферромагнитным сердечником и конденсатора $C2$.

К одной диагонали моста подведено напряжение постоянного тока, а во вторую диагональ включен микроамперметр PA .

Перед проверкой катушки, изменяя сопротивления резисторов $R3$ и $R4$, добиваются нулевых показаний PA . После этого проверяемую катушку надевают на тот же сердечник, на котором расположена катушка $L3$. Если в проверяемой катушке нет короткозамкнутых витков, то частота генератора не изменится и стрелка прибора P останется против нулевого деления шкалы.

В том случае, когда в проверяемой катушке есть замкнутые витки, сопротивление колебательного контура изменится, что изменит и ток генератора, протекающий через одно из плеч моста. Это приводит к нарушению равновесия моста и появлению тока в диагонали, где включен прибор P . Поэтому стрелка прибора отклонится от нулевого положения.

Для нахождения короткозамкнутых витков в обмотке реле и контакторов можно рекомендовать измерение тока (напряжения) их срабатывания. Критерием наличия короткозамкнутых витков служит увеличение тока (напряжения) срабатывания (см. примеры 1 – 4, ч. 1).

Недостатком этого простого способа проверки является его низкая точность, особенно для реле постоянного тока, находившихся в эксплуатации. Кроме того, измерение только напряжения (тока) срабатывания не позволяет в некоторых случаях различить, что именно повлияло на увеличение тока:

- короткозамкнутые витки катушки;
- дефекты в подвижной части реле.

Если известно значение тока (напряжения) срабатывания и допуск на него, то этот способ может оказать существенную помощь и при поиске дефекта в релейно-контакторных схемах.

Для определения тока (напряжения) срабатывания используют типовую схему, причем в зависимости от мощности, потребляемой катушкой, для регулирования тока (напряжения) используют потенциометры или лабораторные автотрансформаторы. При необходимости применяют понижающие трансформаторы. Факт и момент срабатывания фиксируются визуально по сигнальной лампе *Н1* (рис. 95, *а*).

Регуляторы (рис. 96) включают в точки 1 – 4 схемы проверки реле, в которой для контроля параметров срабатывания реле предусмотрены амперметр *РА* и вольтметр *PV* (см. *А1* на рис. 95, *а*).

Уставку срабатывания реле определяют при плавном увеличении напряжения, подводимого к обмотке реле, так как увеличение скорости возрастания напряжения приводит к уменьшению уставки срабатывания. После этого проверяют срабатывание реле при мгновенном включении напряжения.

Снижение напряжения срабатывания реле по сравнению с номинальным в основном определяется либо чрезмерным ослаблением возвратной пружины, либо уменьшенным зазором между якорем и сердечником.

В реле и контакторах со сменной катушкой в этом случае надо также проверить соответствие параметров, указанных на катушке, напряжению питания, так как перед регулировкой реле нужно убедиться, что в реле не установлена катушка на более низкое напряжение.

Помимо короткозамкнутых витков к увеличению значения напряжения срабатывания могут приводить:

- сильная затяжка возвратной пружины;
- увеличенные сверх номинальных зазоры в магнитной цепи;

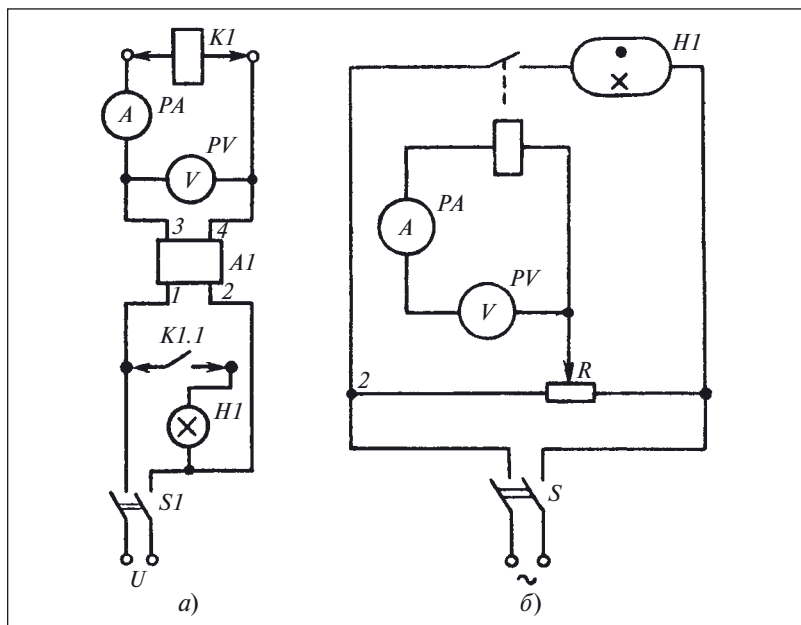


Рис. 95. Схемы для определения уставок срабатывания реле

- неправильная сборка движущихся частей реле;
- застревание движущихся частей реле;
- установка катушки на более высокое напряжение.

Поэтому, если результат проверки дает повышенное значение напряжения срабатывания, прежде чем браковать катушку, следует проверить ее на отсутствие всех перечисленных выше дефектов.

Конечно, реле неразборной конструкции, в котором невозможно установить точную причину дефекта, приходится браковать, если напряжение его срабатывания не соответствует норме.

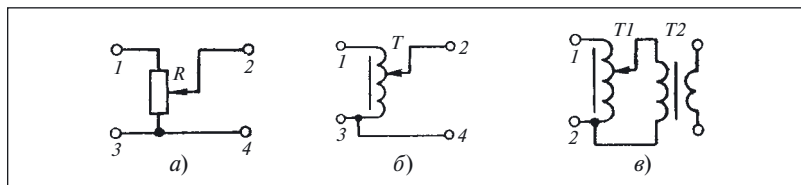


Рис. 96. Схемы регуляторов напряжения

Задача 38. Для проверки напряжения срабатывания в испытательную схему включили реле. После подачи напряжения оказалось, что схема неработоспособна.

Для поиска дефекта была сделана натурная съемка схемы (рис. 95, б).

Указать проявления дефекта и его причину.

Для того чтобы быть уверенным в исправности изделий и элементов, содержащих индуктивно связанные обмотки, недостаточно убедиться в целостности обмоток и отсутствии в них короткозамкнутых витков. В этом случае важным оказывается обеспечить определенное электромагнитное взаимодействие обмоток или их частей, т.е. необходимо знать начало и конец обмотки, или как еще говорят, *полярность их выводов*.

Когда говорят «начало обмотки», то имеют в виду не обязательно ту её часть, с которой начинают изготовление обмотки, а условное начало, зависящее от направления намотки и расположения ее на магнитопроводе относительно других обмоток.

По принятому определению *одноименными*, или *однополярными*, выводами обмоток, расположенных на одном и том же магнитопроводе, считают такие, которые при наличии потока в нем имеют один и тот же знак ЭДС. Эти выводы на рис. 97, а отмечены знаком *.

Более общим методом определения одноименных выводов обмоток является метод импульсов постоянного тока, использующий правило Ленца. Согласно этому правилу, ток, возникающий в контуре (в данном случае таким контуром служит обмотка), под действием наведенной ЭДС, всегда направлен так, что противодействует изменению магнитного потока сквозь контур (обмотку).

Применяя это правило к индуктивно связанным обмоткам, в одну из которых подают ток от постороннего источника, а на выводах второй измеряют наведенную ЭДС, можно сразу же определить их одноименные выводы.

При использовании данного метода в одну обмотку подают импульсы постоянного тока (рис. 97, б) от источника *GB* при замыкании и размыкании цепи ключом *S*. К выводам другой обмотки поочередно подключают вольтметр постоянного напряжения *PV*. Путем переключения щупов вольтметра подбирают такое его подключение, при котором в момент подачи в обмотку импульсов постоянного тока, возникающего при замыкании контакта выключателя *S* стрелка прибора *PV* отклоняется вправо от нулевой отметки. Тогда выводы «плюс» батареи *GB* и «минус» вольтметра *PI* подключены к одноименным выводам обмоток.

такт *K3.1* размыкается и катушка *K1* обесточивается, а контакты *K1.1* и *K1.2* размыкаются.

Дефект в описанной схеме проявляется в том, что после нажатия на кнопку *S1* двигатель *M1* начинает вращаться, но в самом начале движения ножа разбединителя реле *K3* отпускает, отключает реле *K1* и снимает питание с электродвигателя, оставляя разбединитель в опасном положении, когда нож касается губок.

Проверка монтажа показала, что все элементы соединены в соответствии с принципиальной схемой.

Проанализировать схему, описать ее работу совместно с проявлениями дефекта и обосновать гипотезы о причине дефекта.

При определении дефектов в релейно-контакторных схемах управления трехфазными электродвигателями достаточно часто приходится определять полярность выводов индуктивно связанных обмоток (число которых кратно трем) с одинаковой индуктивностью.

Полярность трех связанных обмоток или более на постоянном токе можно определить и при последовательном соединении двух обмоток (рис. 99, *a*)¹.

Если при таком соединении обмоток при подаче импульсов постоянного тока выключателем *S* стрелка гальванометра не отклоня-

¹ Следует учитывать, что начало и концы обмоток определяют именно в тех случаях, когда обозначения выводов нанесены неправильно или вообще отсутствуют. Таким образом, полярность обмоток на самом деле не так очевидна, как можно судить по приведенному рисунку.

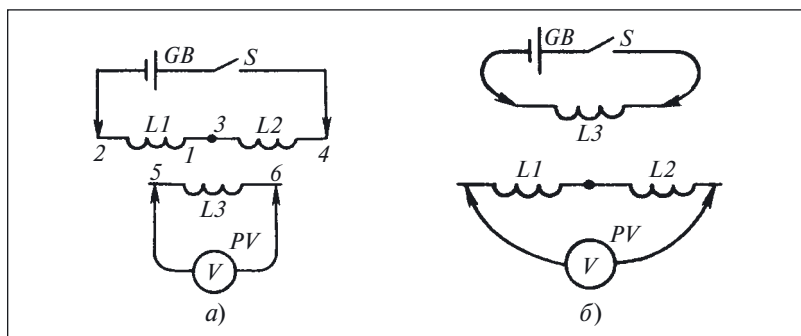


Рис. 99. Схема определения одноименных выводов трех индуктивно связанных обмоток с одинаковой индуктивностью:

a — при подаче контрольного напряжения на две последовательно соединенные обмотки; *б* — то же, но на одну обмотку

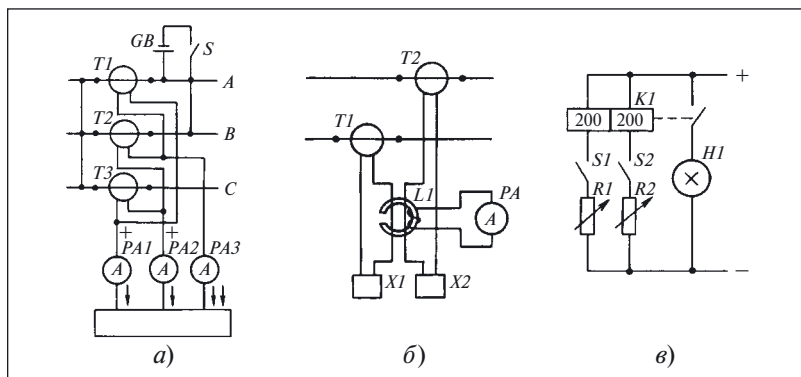


Рис. 100. Схемы определения одноименных выводов:

а — трансформаторов тока импульсами постоянного тока; *б* — то же, токоизмерительными клещами; *в* — двухобмоточных реле

ется, то выводы 1 и 3 обмоток $L1$ и $L2$ однополярны, а сами обмотки соединены встречно-последовательно.

В противном случае эти обмотки соединены разнополярными выводами, или согласно-последовательно.

Для определения полярности обмотки $L3$, к выводам которой был присоединен прибор PV , необходимо включить последовательно с любой из двух других обмоток, а к выводам третьей присоединить прибор и повторить описанные выше действия.

Задача 40. На практике для определения полярности трех индуктивно связанных обмоток используют другую схему соединения обмоток и приборов (рис. 99, б), имеющую преимущества по сравнению с ранее рассмотренной.

Технология определения одноименных выводов при использовании этих схем одинакова.

Сравнить схемы и назвать преимущества схемы на рис. 99, б.

Задача 41. Правильность соединений трансформатора тока импульсами постоянного тока (рис. 100, а) проверяют следующим образом.

При полностью собранной схеме токовых цепей в одну или две фазы подают импульсы постоянного тока от источника GB . Возникающие при этом во вторичных цепях трансформаторов тока импульсы фиксируются с помощью миллиамперметров постоянного тока $PA1 - PA3$, включенных в рассечку вторичной цепи. Проверки повторяются для каждой фазы или каждой пары фаз.

Как видно из рисунка, размах и знак отклонения стрелки миллиамперметров будут зависеть от схемы соединения вторичных цепей транс-

форматоров тока. Поэтому по результатам всех измерений можно сделать вывод о правильности соединения трансформаторов и выявить допущенную ошибку в соединении.

Сравнить словесное описание работы схемы с ее изображением на рис. 100, а и найти схемную ошибку.

Выводы обмоток трансформаторов тока можно также определить непосредственно в схеме с помощью токоизмерительных клещей, которыми охватывают по одному проводу вторичных обмоток (рис. 100, б).

Если первичная обмотка LI охватывает одноименные провода, то показания встроенного в клещи амперметра равны сумме вторичных токов, в противном случае — их разности.

Одноименность выводов трехфазных обмоток, соединенных между собой, целесообразнее определять на переменном токе.

Пример 72. Определение одноименных выводов на переменном токе

Дефект электропривода с асинхронным электродвигателем проявляется, когда двигатель плохо запускается и издает сильный гудящий звук, а ток во всех трех фазах различен и при холостом ходе двигателя превышает номинальный.

Согласно [13] наиболее вероятная причина такого дефекта — неправильное включение фаз обмотки статора, состоящее в том, что у одной из фаз поменяли начало и конец.

Проверим эту гипотезу. Для этого сначала подадим на любые два вывода двигателя пониженное напряжение ($10\% U_{\text{ном}}$) и измерим напряжение между третьим выводом и каждым из выводов, присоединенных к сети (см. рис. 97, в).

В случае правильного соединения фаз обмотки эти напряжения будут равны половине напряжения, приложенного к двум выводам. Проверку следует повторить 3 раза, каждый раз подводя напряжение к другой паре выводов.

Обозначив выводы буквами A, B, C , получим такие варианты подключения питания: $A - B, B - C, A - C$.

Напряжение в первом случае необходимо измерять между выводами $C - A$ и $C - B$, во втором — между $A - B$ и $A - C$, а в третьем — между $B - A$ и $B - C$.

Если одна из фаз включена неправильно или, как говорят, «вывернута», то в двух случаях из трех напряжение между третьим выводом и каждым из двух будет неодинаково. Здесь измерения дали именно такой результат, а так как в этих двух случаях присутствовала обмотка фазы A , то именно она включена неправильно.

Для устранения дефекта необходимо поменять местами выводы обмотки.

Задача 42. *Используя материал примера 72, нарисовать все варианты схем измерения напряжений и подключения источника переменного тока для определения полярности выводов трехфазных обмоток, соединенных «звездой» без выведенной нулевой точки, внешние выводы которых имеют обозначения $C1$, $C2$, $C3$.*

Хотя рассмотренные способы определения начал и концов обмоток пригодны и для многообмоточных реле, на практике поступают по-иному.

В каждой из обмоток с помощью регулировочных резисторов $R1$ и $R2$ (см. рис. 100, *в*) устанавливают ток, недостаточный для срабатывания реле, затем включают ток в обеих обмотках.

Если реле срабатывает (загорается лампа HL), то обмотки включены согласно и одноименными у них являются выводы, подключенные к одному и тому же полюсу источника питания.

Комментарий и ответы на задачи

К задаче 37. При рассматриваемом в данной задаче способе проверки критерием дефекта служит отклонение сопротивления обмотки от заданного значения (см. примеры 1 – 4, ч. 1). Чувствительность данного способа к наличию короткозамкнутых витков зависит не только от точности измерения сопротивления, но и от числа витков в проверяемой обмотке. Действительно, если катушка имеет пять витков, то короткое замыкание одного из них уменьшает сопротивление катушки на 20 %.

В том случае, когда катушка содержит 100 витков и более, короткое замыкание одного из них изменит ее сопротивление на 1 % или меньше. В таком случае даже самые точные измерения сопротивления не могут выявить наличие одиночных короткозамкнутых витков.

Данный способ помогает выявить наличие короткозамкнутых витков, приведших к изменению сопротивления не менее чем на 2 – 3 %, а если учесть допуск на сопротивление обмотки, то не менее чем на 5 – 10 %.

К задаче 38. Анализируя схемы на рис. 95, определим назначение ее элементов. Потенциометр R предназначен для изменения напряжения, подаваемого на катушку реле $K1$, амперметр PA — для измерения тока, потребляемого катушкой, а вольтметр PV — для измерения напряжения на катушке. Сигнальная лампа HL загорается при замыкании контакта $K1.1$. Выключатель S служит для включения питания.

Чтобы реле сработало, к его катушке должно быть подведено испытательное напряжение. Проверим выполнение этого условия по схеме. Один вывод катушки присоединим непосредственно к подвижному контакту потенциометра R . Ко второму выводу подключен амперметр PA , а последовательно с ним — вольтметр PV . Таким образом оказывается, что и второй вывод катушки присоединен к тому же самому подвижному контакту потенциометра и напряжение на катушке равно нулю независимо от положения движка потенциометра R .

Результаты анализа позволяют утверждать, что в такой схеме дефект проявляется в том, что при изменении положения движка потенциометра R напряжение на катушке KI и показания вольтметра PV остаются равными нулю и реле не срабатывает (лампа HI не загорается).

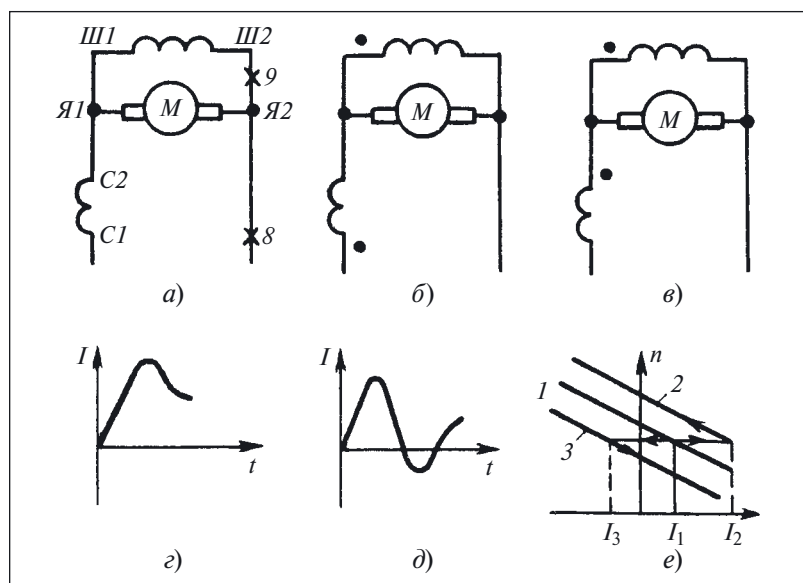


Рис. 101. К поиску дефекта в схеме управления электроприводом соединителя:
 a — схема соединения обмоток на табличке электродвигателя; b — согласное соединение обмоток возбуждения; c — встречное соединение обмоток возбуждения; d — изменение тока при согласном включении обмоток; e — то же, но при встречном включении обмоток; e — рабочие характеристики электродвигателя

Для устранения дефекта необходимо соединить перемычкой точки 1 и 2 схемы, что приведет к появлению напряжения на выводах катушки реле К1.

К задаче 39. Обратим внимание на электродвигатель М1. На рис. 98 показана только его якорная обмотка, но если возбуждение двигателя осуществляется не от постоянных магнитов, то должны быть обмотки возбуждения, которые на данной схеме не показаны. Для уточнения обратимся к рис. 101, на котором показана схема соединения обмоток электродвигателя.

Помимо обмотки якоря, у двигателя есть две обмотки возбуждения — параллельная и последовательная. Следовательно, на рис. 98 показано упрощенное изображение электродвигателя, не учитывающее наличия обмоток возбуждения.

Сказанное позволяет выдвинуть такую гипотезу о причине дефекта: *работе схемы управления электродвигателем препятствует не-правильное взаимодействие обмоток возбуждения, приводящее к уменьшению тока, потребляемого электродвигателем.*

Для проверки выдвинутой гипотезы рассмотрим схему соединения обмоток подробнее. Обмотки возбуждения могут иметь согласное (рис. 101, б) и встречное (рис. 101, в) соединения. В первом случае потоки, создаваемые каждой из обмоток, суммируются, что приводит к увеличению потока возбуждения двигателя; во втором — вычитаются и суммарный поток в двигателе становится меньше.

Если ток, протекающий по параллельной обмотке возбуждения, практически не зависит от нагрузки на валу двигателя, то ток последовательной обмотки прямо пропорционален нагрузке (току двигателя).

Как же изменяется нагрузка на валу при отключении разъединителя?

В начальный момент, когда нож разъединителя находится в губках, двигатель развивает максимальный момент, что соответствует наибольшему потребляемому току. После того как нож разъединителя выходит из губок, двигатель должен преодолевать только трение в приводе и нагрузка резко уменьшается.

Чтобы проверить сказанное, включим амперметр в разрыв точки 8 (см. рис. 98) и измерим ток, потребляемый электродвигателем и параллельной обмоткой. Результаты измерений следующие:

- ток якоря $I_1 = 15 \text{ A}$;
- ток при пуске двигателя $I_2 = 3 \text{ A}$ (после выхода ножа разъединителя из губок);
- ток параллельной обмотки $I_3 = 0,4 \text{ A}$.

На табличке электродвигателя указано, что параллельная обмотка имеет 200 витков, а последовательная — 10 витков.

Эти данные позволяют определить МДС возбуждения двигателя в каждом из режимов при встречном и согласном включении обмоток:

- при пуске:

$$Aw_1 = 2000 \cdot 0,4 + 15 \cdot 10 = 950 \text{ A};$$

$$Aw_2 = 2000 \cdot 0,4 - 15 \cdot 10 = 650 \text{ A};$$

- при выходе ножа из губок:

$$Aw_3 = 2000 \cdot 0,4 + 3 \cdot 10 = 830 \text{ A};$$

$$Aw_4 = 2000 \cdot 0,4 - 3 \cdot 10 = 770 \text{ A}.$$

Расчеты показали, что при согласном включении обмоток МДС возбуждения уменьшается, а при встречном — возрастает.

Всякое изменение МДС возбуждения приводит к изменению частоты вращения, однако двигатель обладает некоторой инерционностью. Поэтому изменение не может произойти мгновенно и после изменения потока он продолжает некоторое время вращаться с прежней частотой.

Любое изменение МДС приводит к тому, что двигатель «переходит» с основной рабочей характеристики (линия 1 на рис. 101, *e*) на характеристику 2 (при уменьшении МДС) или 3 (при увеличении МДС), сохраняя в начальный момент частоту вращения.

Как видно из рабочих характеристик, если МДС возбуждения уменьшается, то двигатель продолжает работать в двигательном режиме и потреблять энергию от сети (рис. 101, *z*, ток I_2 на рис. 101, *e*).

При увеличении МДС двигатель переходит в генераторный режим и перестает потреблять ток от сети. Более того, при определенных условиях он может отдавать энергию в сеть.

В этом случае ток изменяет свой знак (рис. 101, *d*, ток I_3 на рис. 101, *e*). Поэтому при увеличении МДС реле $K3$ отпускает.

Таким образом, причиной дефекта является неправильное (встречное вместо согласного) включение последовательной и параллельной обмоток возбуждения.











К задаче 40. Обмотки, соединенные по схеме на рис. 99, *б*, можно рассматривать как трансформатор, трансформирующий напряжение источника питания.

Так как проверяемые обмотки имеют одинаковое число витков, то при согласном соединении обмоток $L1$, $L2$ коэффициент трансформации в этих схемах будет такой:

$$K_1 = (w_1 + w_2)/w_3 = 2;$$

$$K_2 = w_3/(w_1 + w_2) = 1/2.$$

Таблица 3. Дефекты в трёхфазных обмотках

Подключение источника	Напряжение			Условное обозначение и принципиальная схема	Описание дефекта
	AB	BC	CA		
AB	U	$> 0,5U$	$< 0,5U$		«Вывернута» фаза Ax
BC	$< 0,5U$	U	$> 0,5U$		«Вывернута» фаза AB
BC	(0)	U	(U)		Обрыв фазы AC (междуфазного проводника)
BC	(0)	U	(U)		Замыкание фазы Bu
BC	$0,5U$	U	$0,5U$		«Вывернута» фаза Ax
BC	$0,5U$	U	$0,5U$		Правильное соединение
					Замыкание фазы Ax
					Обрыв фазы BC
					«Вывернута» фаза BC
					Правильное соединение
AC	$< 0,5U$	$> 0,5U$	U		«Вывернута» фаза Ax
BC	$> 0,5U$	U	$< 0,5U$		Обрыв фазы Bu (междуфазного проводника)
AC	$< 0,5U$	$> 0,5U$	U		«Вывернута» фаза AB
AC	(0)	U	(0)		Обрыв междуфазного проводника
BC	(U)	U	(0)		Замыкание фазы AC
AC	$< 0,5U$ (0)	$< 0,5U$ (0)	$< 0,5U$ (0)		Замыкание фазы AC

Следовательно, напряжение на обмотке $L3$ в схеме на рис. 99, *а* будет почти в 2 раза меньше, чем напряжение, подведенное к обмоткам $L1, L2$.

В схеме на рис. 99, *б* напряжение, поступающее на вольтметр PV , будет почти в 2 раза больше напряжения, подведенного к обмотке $L3$.

Таким образом, преимущество схемы заключается в большей чувствительности.

К задаче 41. Из описания принципа проверки следует, что ток от источника GB должен протекать по первичным обмоткам трансформаторов тока. Если проверить схему, приведенную на рис. 100, *а*, нетрудно обнаружить короткое замыкание источника на фазу A .

Если же «убрать» точку, соединяющую провод от выключателя S с фазой A , то схема будет работоспособна, так как источник подключается к обмоткам трансформаторов по цепи: полюс GB — фаза A — обмотка трансформатора $T1$ — перемычка между фазами A и B — обмотка трансформатора $T2$ — фаза B — выключатель S — полюс GB .

К задаче 42. В связи с тем что источник напряжения подключается к каждой паре выводов, то возможно всего три варианта включения переменного напряжения:

$$C1 - C2;$$

$$C1 - C3;$$

$$C3 - C2.$$

В каждом из вариантов необходимо измерить два напряжения. Поэтому в общем случае необходимо произвести шесть измерений. Для иллюстрации в табл. 4 приведены схемы и информация о распределении напряжений при различных дефектах в обмотках, соединенных «в звезду» и в «треугольник». Самостоятельно определите распределения напряжения в незаполненных графах таблицы.

Задача 43. Заполнить свободные ячейки в табл. 4, указав такое подключение источника напряжения, когда результаты измерения напряжений AB, BC и CA позволят определить наличие дефекта, указанного в крайнем правом столбце таблицы, или подтвердить правильное соединение обмоток между собой.

Проверка подвижных частей реле и контакторов

При анализе релейно-контакторных схем необходимо учитывать возможность возникновения в них дефектов из-за неисправностей подвижных частей реле и контакторов.

Пример 73. Поиск дефекта в контроллере регулятора возбуждения

Дефект в схеме регулирования возбуждения электродвигателя электропривода по системе генератор — двигатель (рис. 102) проявляется в том, что частота вращения двигателя при изменении сопротивления в цепи его обмотки возбуждения изменяется по-разному, в зависимости от направления вращения.

Встретившись с таким дефектом, следует прежде всего проверить, не зависит ли характер изменения нагрузки от направления вращения, и только потом выдвигать другие гипотезы о причине дефекта.

В данном случае предположим, что нагрузка изменяется одинаково при любом направлении вращения.

Как видно из схемы, направление вращения двигателя изменяется путем изменения направления потока возбуждения с помощью контактов $K1$ и $K2$ контроллера. В дальнейшем же ток регулируется контактами $K3 - K22$, шунтирующими резисторы $R1 - R20$.

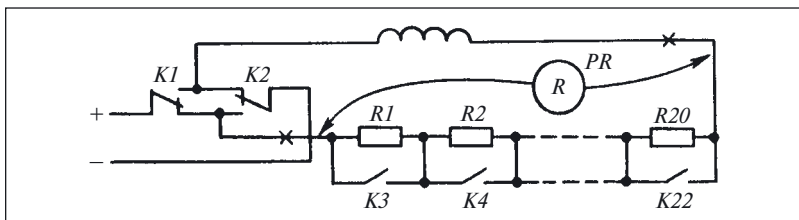


Рис. 102. Фрагмент схемы цепей возбуждения

Для того чтобы выдвинуть гипотезу о причине дефекта, необходимо прежде всего убедиться в том, что при переключении контактов $K1$ и $K2$ изменяется направление потока возбуждения. Это проще всего сделать визуальным осмотром вала двигателя при переключении контактов $K1$ и $K2$.

Пусть проверки показали, что двигатель реверсируется. Тогда можно утверждать, что причина дефекта заключается в цепях изменения сопротивления резисторов, так как характер изменения потока возбуждения, а следовательно, и частота вращения полностью задаются характером изменения тока в цепи обмотки возбуждения.

Для проверки данной гипотезы разорвем цепи в точках, обозначенных на рис. 102 знаком *, и подключим омметр PR для изменения сопротивления резисторов $R1 - R20$.

Вращая рукоятку контроллера сначала влево, а затем вправо и наблюдая за показаниями омметра, убеждаемся, что сопротивления резисторов изменяются по-разному.

Дальнейший поиск дефекта осуществим с помощью технологического перехода «визуальный контроль», следя за работой контактов контроллера. Контроль показал, что очередность замыкания контактов нарушается из-за неисправности приводов контактов $K3 - K6$.

Помимо требуемой очередности включения контактов, качество их работы оценивают такими параметрами, как зазор и провал контактов, а также контактным нажатием.

Зазором контакта называют кратчайшее расстояние между подвижной и неподвижной контакт-деталью в их разомкнутом положении, а *провалом* контакта — расстояние, на которое переместится одна контакт-деталь, если после их соприкосновения удалить вторую, препятствующую перемещению первой.

Провал контакта может быть также определен как разность значений полного хода контактодержателя и зазора контакта.

В зависимости от конструкций и типа контакта для определения зазора и провала измеряют различные расстояния, а для их регулировки используют регулировочные элементы, имеющие различное конструктивное оформление. Но в целом принципы регулировки и измерения этих параметров остаются одинаковыми.

Допустимые значения зазора контакта установлены в конструкторской документации на конкретный электрический аппарат с учетом прежде всего обеспечения надежного гашения дуги. Провал выбирают таким, чтобы и при максимально допустимом износе накладок на контактах было обеспечено надежное замыкание цепи.

Проверка зазора и провала контакта контактора серии КТ6000 показаны на рис. 103, а.

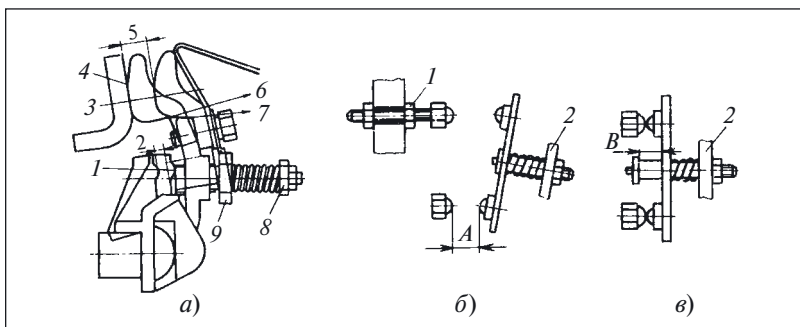


Рис. 103. Регулировка (а) и измерение зазора (б) и провала (в) контактов.

На рис. 103, а цифрами обозначены: 1, 4 — места прокладки бумажных полосок при измерении начального и конечного контактного нажатия; 2 — зазор, контролирующий провал; 3 — линия нажатия контактов; 5 — зазор контакта; 6, 7 — направление приложения усилий при измерении контактного нажатия; 8, 9 — регулировочные элементы для изменения контактного нажатия, провала и одновременности замыкания контактов.

На рис. 103, б и в цифрами обозначены: 1 — пара «винт — гайка»; 2 — траверсы

Так как практически измерить значение провала невозможно, то проверяют зазор, контролирующий провал и образующийся при полностью замкнутом положении главных контактов, — зазор 2 между контактодержателем и регулировочными винтами рычага, несущего подвижной контакт.

Провал главных контактов контролируют в замкнутом положении магнитной системы контактора. По мере износа контактных поверхностей провал уменьшается, что может из-за уменьшения контактного нажатия привести к перегреву контакта.

Зазор, контролирующий провал, измеряют набором щупов. Значение зазора принимают равным суммарной толщине пластин, вошедших в него. Для контроля результата сначала уменьшают набор на одну пластину наименьшей толщины. Если измерение выполнено правильно, то такой набор щупов должен входить в зазор свободно.

Затем к первоначальному набору прибавляют еще одну пластину наименьшей толщины. Этот набор пластин не должен входить в контролируемый зазор.

Зазор контакта контролируют обычно специальными калибрами.

Регулировочный элемент, позволяющий изменить провал в контактах данной конструкции — гайка 9. Зазор контактов регулируют поворотом упора якоря вокруг оси в одно из предусмотренных положений, что позволяет ступенчато регулировать этот параметр.

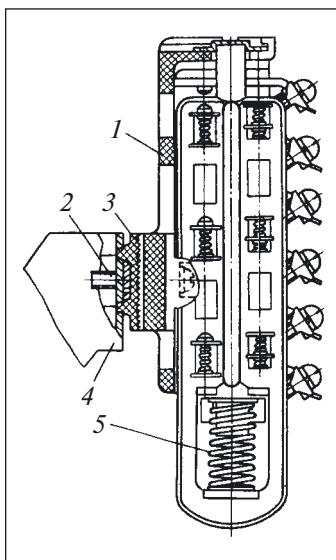


Рис. 104. Блок вспомогательных контактов

В контакторах клапанной системы (рис. 103, б, в) регулировочными элементами, позволяющими изменить зазор контакторов, является пара «винт — гайка», обозначенная цифрой 1. При изменении положения гаек на винте изменяется и расстояние A , т.е. зазор контакта. Провал контакта B регулируют ходом якоря, а следовательно, и траверсы 2, на которой закреплен подвижной контакт.

В некоторых коммутационных аппаратах (см. задачу 35) вспомогательные контакты конструктивно объединены в единый узел (рис. 104), в котором предусмотрена возможность регулировки зазоров и провалов.

Значения зазоров и провалов контактов зависят от установочного положения узла на контакторе. Для правильной установки узла между скобой 1 и его корпусом 4 имеется

прокладка 3 с насечкой. Такая же насечка имеется и на корпусе узла, что позволяет смещать корпус относительно скобы при отпущенных крепящих винтах и надежно его фиксировать при затяжке винтов 2.

Траверса узла должна иметь дополнительный ход вверх до 1 мм при замкнутом положении магнитной системы (включенном положении) контактора. Этот ход обеспечивается за счет перемещения корпуса относительно скобы. При этом нужно отпустить винты, крепящие корпус к скобе. После требуемой регулировки контактов крепящие винты необходимо затянуть, следя за тем, чтобы насечка на корпусе совпадала с насечкой на прокладке, находящейся между корпусом и скобой.

Контактное нажатие измеряют динамометром, причем усилие F_k ему должно прикладываться в направлении, указанном в документации на конкретный коммутационный аппарат (рис. 105, а).

Конечное нажатие измеряют в тот момент, когда гаснет неоновая лампа $Н1$, включенная последовательно в цепь контакта (рис. 105, б). Вместо лампы можно использовать полоски бумаги толщиной не более 0,1 мм, закладываемые между поверхностями в точки 1. Момент, в который необходимо зафиксировать показания

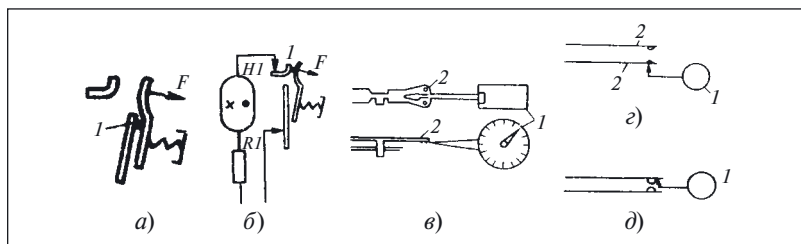


Рис. 105. Измерение контактного нажатия:

a, б — начального и конечного посредством динамометра; *в* — установка граммометра; *г, д* — схемы установки граммометра для замыкающего и размыкающего контактов

динамометра, определяют в этом случае по освобождению бумажной полоски, к которой прикладывают усилие в направлении, перпендикулярном направлению силы F .

В реле с контактными пружинами 2, собранными в пакеты, нажатие измеряют граммометрами (рис. 105, *в — д*).

В схемах, где используют коммутационные аппараты, имеющие несколько одновременно замыкающихся контактов, могут возникать дефекты из-за неодновременности их замыкания. Одновременность замыкания контактов контролируют косвенно, после замыкания хотя бы одного из контактов по значению зазоров между другими контактами, измеряемыми шупами.

Факт замыкания контакта контролируют по загоранию газосветных ламп $H1 - H3$ (рис. 106) при плавном (от руки) перемещении контактной системы.

Заменять безынерционные газосветные лампы лампами накаливания нельзя, так как последние обладают значительной инерцией и их свечение будет заметно только спустя некоторый промежуток времени после замыкания контакта.

Следовательно, измеренный зазор будет меньше фактического. Необходимо учитывать, что чем точнее отрегулированы провалы контактов, тем меньше *неодновременность* их замыкания.

Осматривая электрические аппараты, установленные в распределительных устройствах, особое внимание следует уделить соблюдению правил электробезопасности, учитывать реальные условия выполнения работ, а также не допускать включения и выключения их при снятых крышках, а также без дугогасительных камер.

Для исправной работы коммутационных аппаратов совершенно необходимо соблюдение заданных зазоров и провалов контактов, а также обеспечение одновременности их замыкания. Тем не менее

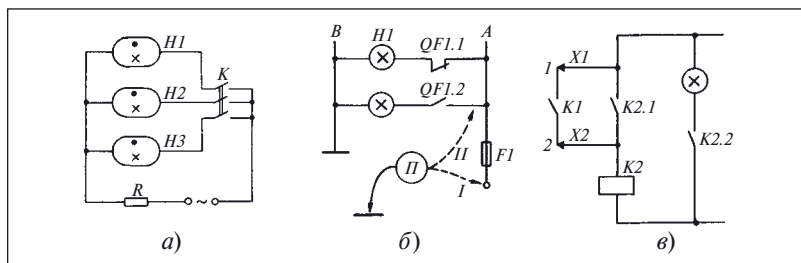


Рис. 106. Фрагменты схем:

а — для определения неодновременности замыкания контактов; б — управления автоматическим выключателем; в — фиксации кратковременного замыкания цепей

дефекты в подвижных частях далеко не всегда связаны с неисправностью контактов аппарата, хотя и проявляются в момент их замыкания и размыкания.

Пример 74. Определение дефекта в подвижных частях автоматического выключателя

При отключении автоматического выключателя *QF1* типа АМ (на рис. 106, б показаны только его вспомогательные контакты *QF1.1*, *QF1.2*) сгорает плавкая вставка предохранителя *F1*, через который подается питание на схему как сигнализации, так и управления (на рисунке последняя не показана).

В данном примере дефект проявляется в виде перегрузки, что позволяет выдвинуть первую гипотезу о причине дефекта — **короткое замыкание в цепи питания**. Применим в данном случае способ проверки электрических цепей на отсутствие короткого замыкания, предварительно отключив напряжение питания.

Оставив выключатель *QF1* в отключенном положении, подсоединим пробник *П* (поз. 1) последовательно в цепь питания, вставив исправную плавкую вставку в предохранитель *F1*. Пробник показывает отсутствие цепи. Поэтому можно сказать, что в отключённом положении выключателя короткое замыкание отсутствует.

Так как выключатель может находиться еще в одном состоянии — включенном, то, не включая напряжение, переключим выключатель.

Подсоединив опять пробник *П*, убеждаемся, что его показания соответствуют отсутствию цепи между землей и фазой. Следовательно, короткое замыкание в схеме и в этом положении выключателя отсутствует.

Отключим пробник и, подав напряжение, отключим выключатель с помощью дистанционного привода. При таком переключении вставка

предохранителя *FI* опять перегорела. Так как проверка правильности электрических цепей во включенном и выключенном состояниях автоматического выключателя не выявила никаких дефектов, то естественно предположить, что дефект проявляется в промежуточном состоянии выключателя, в котором он находился кратковременно при переходе из включенного состояния в отключенное.

Следовательно, причиной дефекта по-прежнему является короткое замыкание, но оно существует кратковременно, только в период переключения выключателя.

Для проверки подключим пробник *П* и будем включать и отключать автоматический выключатель *QFI* вручную. Проверки показали, что при отключении выключателя стрелка пробника отклонилась вправо, а затем возвратилась в исходное положение. Выдвинутая гипотеза подтверждена.

Для уточнения места существования дефекта осмотрим механическую часть выключателя, т.е. применим технологический переход «визуальный контроль». Осмотр механизма, переключившего вспомогательные контакты, показал, что подвижная тяга, имеющая надежный металлический контакт с корпусом выключателя, в процессе переключения автоматического выключателя *QFI* касается вывода вспомогательного контакта *QFI.2*, находящегося в нижней части пакета вспомогательных контактов. В конечном (исходном) положении соединение тяги с выводом контакта отсутствует. Дефект, приводящий к перегоранию плавкой вставки предохранителя *FI*, найден.

В тех случаях, когда аналогичную проверку (определение кратковременного замыкания какой-либо цепи) необходимо выполнить под напряжением, можно применять специальную схему (рис. 106, в), с помощью которой можно определить факт замыкания цепи *1 — 2* только тогда, когда его продолжительность не меньше времени срабатывания реле *K2*.

Такую схему иногда называют «реле-ловушка».

При необходимости фиксации факта замыкания цепи в течение более короткого промежутка времени используют схему на основе полупроводниковых элементов.

Пример 75. Определение дефекта в коммутационном аппарате

Дефект в выпрямительном агрегате типа ВАКР, до этого работавшего нормально, проявляется в том, что иногда при подаче сетевого напряжения он отключается и на его панели загорается лампа «Авария».

Имеющейся в распоряжении информации достаточно для того, чтобы ограничить область выявления дефекта и конкретизировать

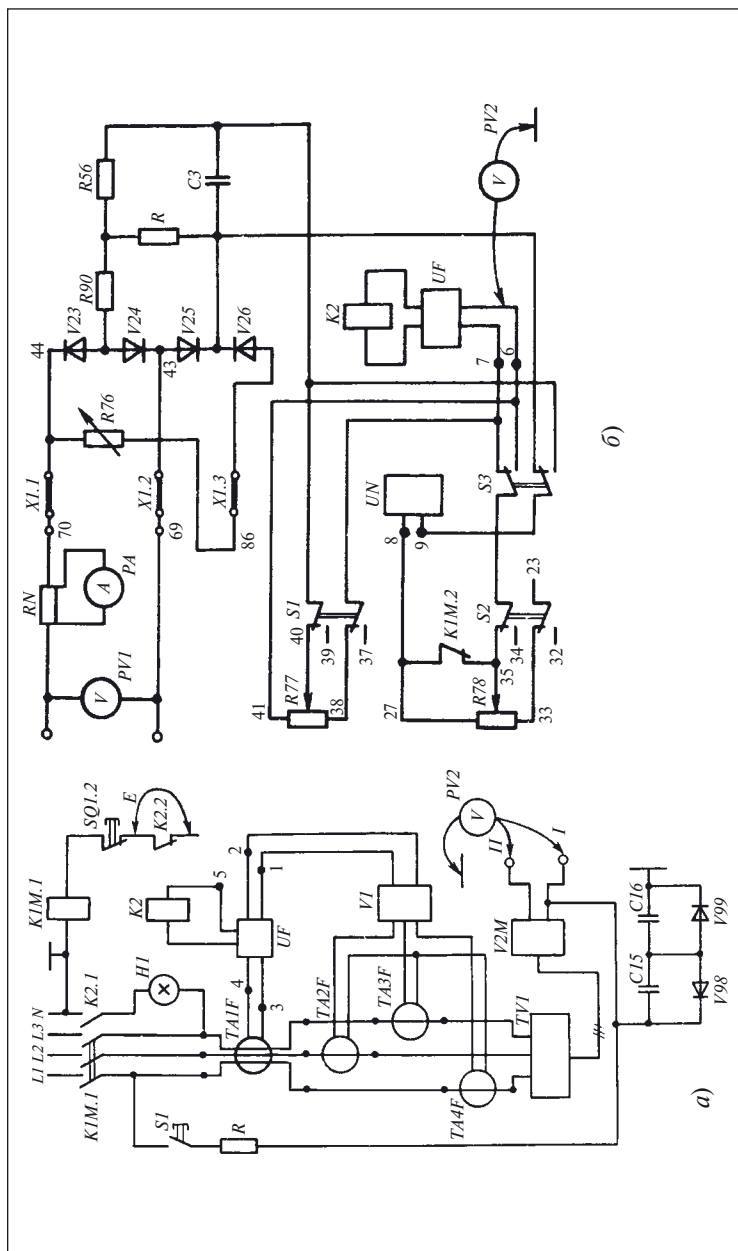


Рис. 107. Выпрямительный агрегат:
а — схема узла защиты; б — фрагмент схемы

цель изучения документации на данный агрегат: определить принцип работы защиты агрегата и найти элемент, обеспечивающий включение сигнализации.

Изучив документацию, можно составить схему узла защиты (рис. 107, *a*), в которую входят:

- трансформатор тока нулевой последовательности *TA1F*, выдающий сигнал при замыкании первичной обмотки трансформатора *TVI* на вторичную;
- трансформаторы тока *TA2F* – *TA4F*, измеряющие ток нагрузки;
- трехфазный выпрямитель *VI*;
- релейный усилитель *UF*;
- исполнительное реле *K2*;
- цепь проверки защиты от замыкания на землю¹.

После составления схемы и изучения технического описания, найден элемент, включающий сигнальную лампу *H2*, контакт *K2.1* реле *K2*.

В свою очередь, работой реле *K2* управляет релейный усилитель *UF*, имеющий два входа. На первый (выводы 1, 2) поступает сигнал от трансформатора тока, измеряющих ток нагрузки агрегата. На второй (выводы 3, 4) подключена вторичная обмотка трансформатора тока нулевой последовательности *TA1F*.

Следовательно, защита может срабатывать по таким причинам:

- короткое замыкание в главных цепях агрегата, в том числе и трансформаторе *TVI*;
- перегрузка агрегата по току;
- замыкание первичной обмотки на вторичную.

Поскольку способы проверки изделий на отсутствие коротких замыканий были рассмотрены, первая причина здесь не рассматривается. Сделано это также и потому, что она не представляет интереса для данного примера. Тем не менее, как уже говорилось, такую причину при поиске дефектов типа «короткое замыкание» на реальных объектах следует всегда рассматривать в числе первых.

Вторая причина несостоятельна в связи с тем, что нагрузка агрегата отсутствует.

Третью гипотезу проверяют с помощью технологического перехода «проверка электрических цепей» путем подключения проводника к выводам первичной и вторичной обмоток трансформатора.

¹ Содержит кнопку контроля *S1*, ограничивающий резистор *R*, конденсаторы *C15*, *C16*, зашунтированные встречно включенными диодами *V98*, *V99*.

Однако предпочтительнее проверить отсутствие короткого замыкания между обмотками мегаомметром, измерив сопротивление изоляции между ними.

В связи с тем что все выдвинутые гипотезы оказались несостоятельными, а выполненное измерение сопротивления изоляции между первичными и вторичными обмотками показало отсутствие короткого замыкания, то для дальнейшего отыскания дефекта можно отключить трансформатор *TAIF* от схемы, разорвав его связь с релейным усилителем *UF*.

Прежде чем приступить к проверке работы агрегата с введенным дефектом, проанализируем возможные последствия.

Известный всем запрет разрыва цепи вторичной обмотки трансформатора тока встречался в примере 62. Он вызван двумя причинами:

- возможностью появления на выводах вторичной обмотки высокого напряжения при протекании тока в первичной обмотке;
- возможностью перегрева магнитопровода из-за значительного возрастания индукции при разрыве цепи вторичной обмотки.

Все сказанное, казалось бы, подтверждает недопустимость ввода в схему агрегата такого дефекта, несмотря на то что здесь применен не обычный трансформатор тока, а трансформатор тока нулевой последовательности, у которого ток вторичной обмотки при равномерной нагрузке фаз отсутствует, а в первичной обмотке сумма токов равна нулю при выполнении этого же условия.

Тем не менее в стандарте ГОСТ 8.217–76, устанавливающем методы проведения испытаний трансформаторов тока, предусмотрен метод размагничивания магнитопровода трансформатора, заключающийся в пропускании тока $I = 0,1 I_{\text{ном}}$ через первичную обмотку трансформатора тока с разомкнутой вторичной обмоткой. Поэтому в тех случаях, когда есть гарантия, что ток в первичной обмотке не превысит 10 % номинального, вторичная обмотка трансформатора тока может быть разомкнута.

Так как в трансформаторе *TVI* нет замыкания первичной обмотки на вторичную, а нагрузка на агрегат отсутствует, в данном случае можно гарантировать не только отсутствие тока нулевой последовательности, но и доказать, что его значение не превышает 10 % номинального.

Тем не менее нельзя исключить образование каких-либо не предусмотренных схемой цепей, и поэтому после разрыва связи трансформатора *TAIF* с усилителем *UF* замкнем вторичную обмотку трансформатора накоротко. После этого включим агрегат. Но и теперь реле *K2* срабатывает и отключает агрегат. Из выполненной проверки можно сделать вывод, что защита срабатывает не из-за замы-

кания первичной обмотки трансформатора *TV1* на вторичную, так как элемент, реагирующий на этот эффект, отключен и не оказывает влияния на работу реле *K2*.

Проведенный эксперимент позволяет сделать вывод о допустимости дальнейшей работы на агрегате с включенным напряжением.

Из факта срабатывания защиты и после отключения трансформатора *TA1F* можно заключить, что на вход усилителя *UF* поступает переменное напряжение.

Прежде чем проверить эту гипотезу, зашунтируем контакт *K2.2* временной перемычкой *E* для того, чтобы исключить отключение агрегата по сигналу реле *K2*.

В связи с тем что реле *K2* включено в коллекторную цепь выходного транзистора усилителя *UF*, то для проверки возможен разрыв цепи катушки реле *K2* в точке 5. Выбор между этими вариантами зависит от удобства их выполнения на реальном объекте.

Таким образом, дальнейший поиск дефекта будет осуществляться с помощью технологического перехода «введение дефекта».

Наличие переменного напряжения относительно «земли» в цепях управления и защиты проверим, подключая поочередно вольтметр к полюсам выходного напряжения и земле (см. поз. *I* и *II* вольтметра *PV2*). Следует помнить, что, выполняя такого рода измерения, сначала следует выбрать предел измерения равный номинальному напряжению сети или больший его и только в том случае, если показания прибора меньше выбранного предела измерения прибора, перейти на другой предел.

Измерения, выполненные таким образом, показали, что переменное напряжение относительно корпуса есть на обоих полюсах агрегата. Для определения источника, от которого поступает это напряжение, необходимо, используя документацию, нарисовать отдельно цепи агрегата, соединенные с выходными полюсами.

Согласно схеме напряжение может поступать как от дефектного трансформатора *TV1*, так и от других цепей агрегата. В связи с тем что исправность трансформатора *TV1* уже доказана, то первый вариант в дальнейшем не рассматривается.

На рис. 107, б приведен конечный результат составления фрагмента схемы, который показывает, что входы 6, 7 релейного усилителя *UF* имеют гальванические связи с теми точками схемы, где обнаружено наличие переменного напряжения относительно земли.

Кроме того, изучая фрагмент, следует обратить внимание на провода 39, 37, 34, 32, идущие к резисторам дистанционного изменения режима работы выпрямительного агрегата типа ВАКР, так как пере-

менное напряжение может поступать и извне, через поврежденную изоляцию проводов.

Для проверки этой гипотезы можно непосредственно измерить напряжение относительно земли на проводах 37, 39, 32, 34. Но можно поступить более рационально, оставив вольтметр *PV2* подключенным к выводу 6 усилителя, переключить выключатель *S1*, *S2* в положение, когда их контакты не соединяются с проводами 40, 41, 38, 35, 33.

Выполненные действия позволяют заключить, что переменное напряжение поступает к контролируемым точкам не по проводам 39, 37, 34, 32, 23.

Прежде чем продолжить поиск дефекта, необходимо выработать план действий. В данном случае это можно осуществить следующим образом: оставив вольтметр *PV2* подключенным к контрольной точке, отключить поочередно все элементы схемы, имеющие связь с этой точкой.

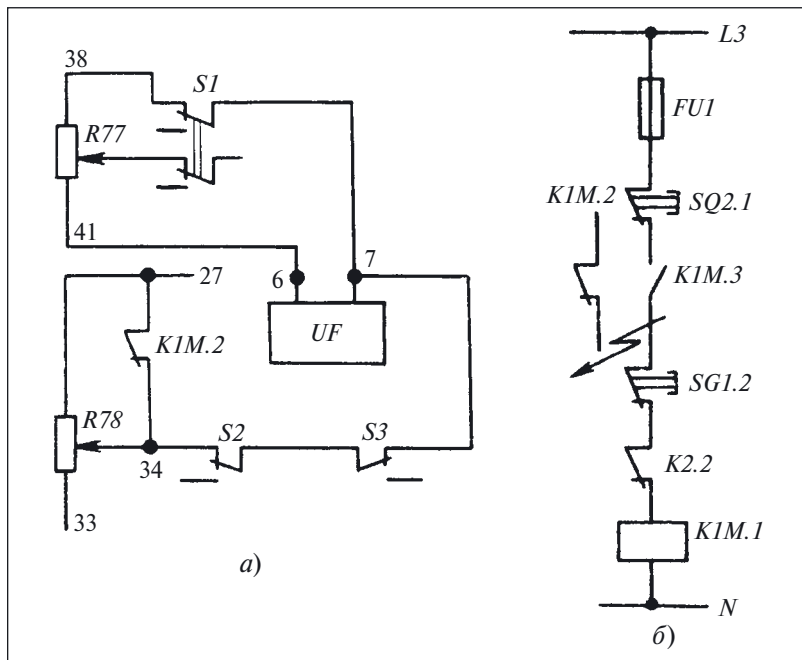


Рис. 108. Фрагмент схемы выпрямительного агрегата (а) и дефект в коммутационном аппарате (б)

Однако такой путь, напоминающий комбинационный метод поиска, при котором проверяют все элементы объекта, вряд ли рационален. Поэтому нарисуем отдельно цепи, связанные с точками, на которых обнаружено наличие переменного напряжения (рис. 108, а).

Изучая данный фрагмент, обратим внимание прежде всего на контакт пускателя *K1M.2*. Естественно, возникает вопрос: почему из всех элементов, представленных на рисунке, обратили внимание на этот контакт?

Причина здесь одна, и о ней следует помнить всегда в аналогичных случаях: контакты пускателя одновременно коммутируют сетевое напряжение и напряжение цепей управления. Поэтому контактную систему пускателя *K1M* следует проверить прежде всего.

Осматривая пускатель, в одной из групп мостиковых контактов видим следы нагара и находящуюся там шайбу (рис. 108, б), замыкавшую между собой цепи 35 и 3 (см. рис. 107). Таким образом, оказалось, что после срабатывания контактора *K1M* фаза *L3* была подключена к цепям управления.

Дефект найден.

После ознакомления с примером может возникнуть вопрос: почему не был сразу осмотрен пускатель *K1M*, если на контакторе были видны следы нагара, а в мостиковых контактах — шайба?

Очевидность дефекта стала ясной только после того, как в ходе анализа были один за другим отвергнуты все другие дефекты, проявляющиеся аналогично.

Тем не менее из данного примера можно сделать вывод, что аппараты, которые частями (не только контактами, но и катушками) подключены к источникам питания, гальваническая связь которых недопустима — самые «опасные» (в смысле возможности возникновения непредусмотренных схемой связей) элементы. Поэтому при определении дефекта в первую очередь следует обращать внимание на них.

Для осмотра таких аппаратов требуется снятие защитных оболочек, и, если таких аппаратов в схеме много, значительны затраты труда.

Неэффективным этот технологический переход может оказаться и в том случае, когда гальваническая связь образовалась в результате нарушения изоляции проводников, объединенных в жгут, а также в некоторых других случаях. Поэтому более предпочтительным является предварительное ограничение области определения дефекта, осуществленное в результате рассмотренного выше эксперимента.

Список литературы

1. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов 2ТЭ116. М.: Транспорт, 1984.
2. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов ТЭ3 и 2ТЭ10Л. М.: Транспорт, 1976.
3. Бородин А. П. Проверка цепей управления тепловозов Т0М2 и ТЭМ1. М.: Транспорт, 1981.
4. Перникис Б. Д., Ягулин Р. Ш. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. М.: Транспорт, 1984.
5. Захаров О. Г. Испытатель электрических машин, аппаратов и приборов. М.: Высшая школа, 1982.
6. Захаров О. Г. Испытания электротехнических изделий. М.: Высшая школа, 1987.
7. Захаров О. Г. Настройка аппаратуры и систем судовой электроавтоматики. Л.: Судостроение, 1982.
8. Морозов Э. В., Новицкий О. А. Пособие технику-электрику по средствам автоматизации. М.: Колос, 1977.
9. Захаров О. Г. Чтение схем электротехнической части судов. Л.: Судостроение, 1984.
10. Каминский Е. Л. Как добиться надежной работы электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.
11. Каминский Е. А. Техника чтения схем электроустановки. М.: Энергия, 1972.
12. Тимофеев В. А. Сто схемных задач по автоматике. Л.: Судостроение, 1964.
13. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Л.: Энергия, 1969.
14. Дементьев В. С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. М.: Энергия, 1980.
15. Деро А. Р. Неполадки в работе асинхронных двигателей. Л.: Энергия, 1976.
16. Захаров О. Г. Дефекты в электрооборудовании: поиск и устранение. Л.: Лениздат, 1989.
17. Захаров О. Г. Определение дефектов в релейно-контакторных схемах. М.: Росагропромиздат, 1991.
18. Захаров О. Г. Поиск дефектов в электрооборудовании. М.: Высшая школа, 1986.
19. Захаров О. Г. Поиск дефектов при настройке судового электрооборудования. Л.: Судостроение, 1981.
20. Лазаревский Н. А., Шафранский В. А. Дефектация судовых электрических машин. Л.: Судостроение, 1981.
21. Ривлин Л. Б. Как определить неисправность асинхронного двигателя. Л.: Энергия, 1968.
22. Шпизер Р., Грюттер Ф. Неисправности электрических машин и способы их устранения. Л.: Судостроение, 1964.
23. Шустерович А. Н. Обнаружение неисправности радиоэлектронного оборудования. М.: Энергия, 1970.
24. Минин Т. П. Измерение мощности. М.: Энергия, 1970.
25. Минин Т. П. Измерения электрических величин. М.: Энергия, 1971.
26. Минин Т. П. Несинусоидальные токи и их измерение. М.: Энергия, 1979.
27. Минин Т. П. Мегаомметр. М.: Энергия, 1966.
28. Боньо де Э. Рождение новой идеи (о нешаблонном мышлении). М.: Прогресс, 1976.
29. Альтшулер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973.
30. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках. М.: Радио и связь, 1984.
31. Пойа Д. Как решить задачу. М.: Учпедгиз, 1964.
32. Павлов Б. В. Диагностика «болезней» машин (как инженеры овладевают языком машин). М.: Московский рабочий, 1971.
33. Сверчкова Р. Т. На что жалуетесь, машина? М.: Советская Россия, 1985.
34. Дмитриев А. К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
35. Дубецкий Л. Г. Предвестники отказов в изделиях электронной техники. М.: Радио и связь, 1989.

Содержание

Часть 1

Предисловие	3
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Пояснение основных понятий и определений . . .	5
ГЛАВА ВТОРАЯ. Анализ релейно-контакторных схем.	17
Комментарии и ответы на задачи	60
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Особенности измерений	
при определении дефекта	73
Комментарии и ответы на задачи	92
Список литературы	95

Часть 2

Предисловие	99
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Проверка электрических цепей	101
Комментарии и ответы на задачи	118
ГЛАВА ПЯТАЯ. Определение дефекта	
методом эксперимента	122
Комментарии и ответы на задачи	142
ГЛАВА ШЕСТАЯ. Проверка обмоток	153
Комментарии и ответы на задачи	167
ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Проверка подвижных частей	
реле и контакторов	173
Список литературы	187

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»

ЗАХАРОВ ОЛЕГ ГЕОРГИЕВИЧ

Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах (часть 2)

АДРЕС РЕДАКЦИИ

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Тел. (495) 675-19-06, тел./факс 234-74-21

Редакторы: **Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская**

Худож.-техн. редактор **Т. Ю. Андреева**

Корректор **Е. П. Севостьянова**

Сдано в набор 15.04.10. Подписано в печать 25.05.10.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 5,75. Заказ БЭТ/05(137)-2010

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.