

# **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 *мало-значительные* 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**

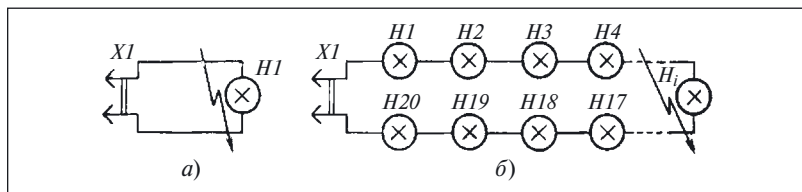
Пусть в объекте, представляющем собой переносной светильник (рис. 1, а), произошло КЗ между выводами лампы.

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.



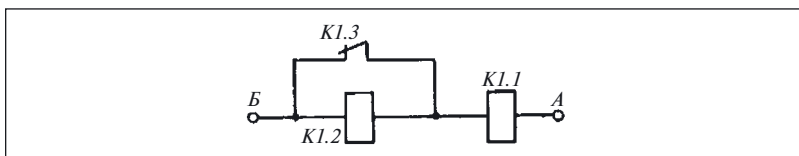


Рис. 2. Секционированная катушка

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 лет<sup>1</sup>».

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?

<sup>1</sup> 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.

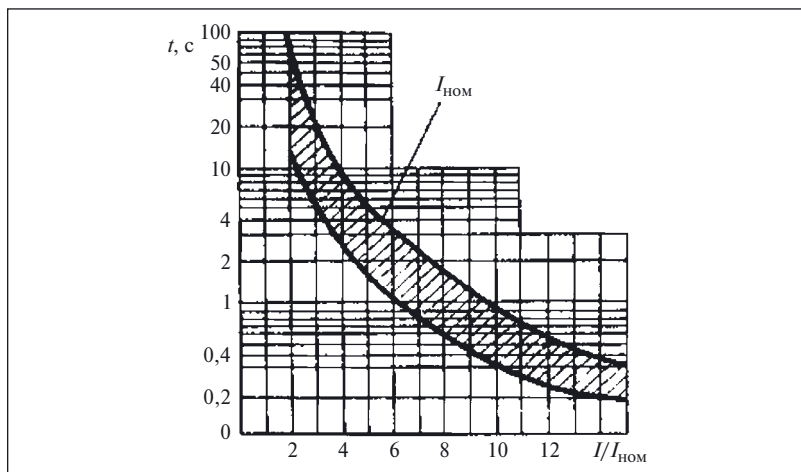


Рис. 3. Времятоковая характеристика автоматического выключателя

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 надежности<sup>1</sup>.

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.

<sup>1</sup> 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  $150 \text{ Ом}$  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*<sup>1</sup>, 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-

---

<sup>1</sup> 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 $\pm 15$ 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.

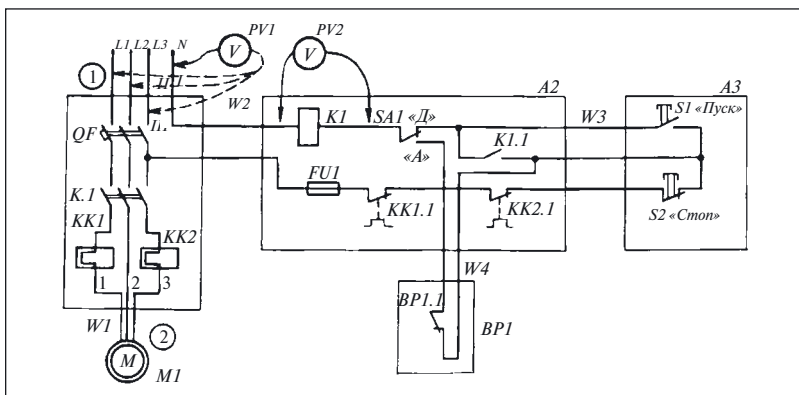


Рис. 4. Система управления асинхронным двигателем

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;

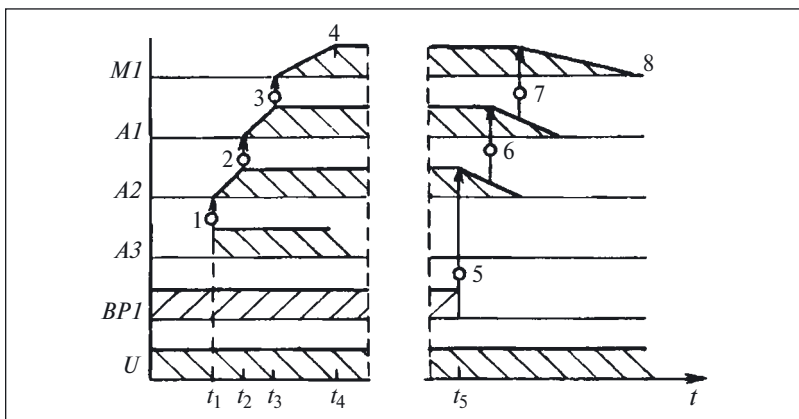


Рис. 5. Диаграмма взаимодействия блоков системы управления асинхронным электродвигателем

- 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

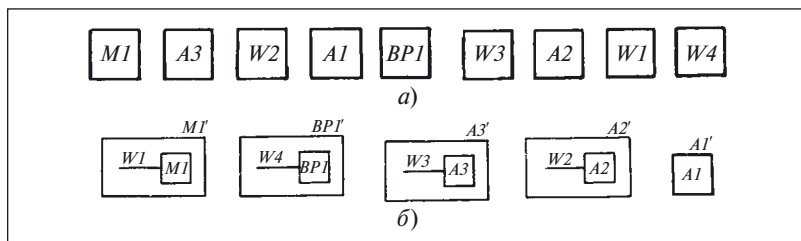


Рис. 6. Модели объекта в виде набора:

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.

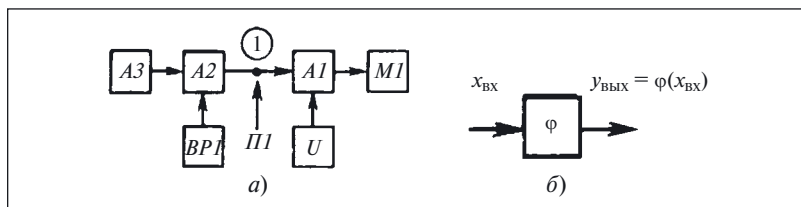


Рис. 7. Система управления асинхронным двигателем:

*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  $\varphi$  (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.



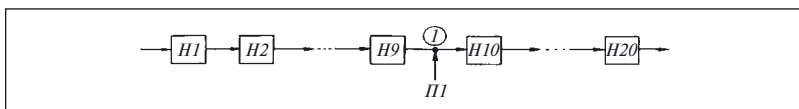


Рис. 8. Модель гирлянды ламп в виде последовательно соединенных блоков

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.

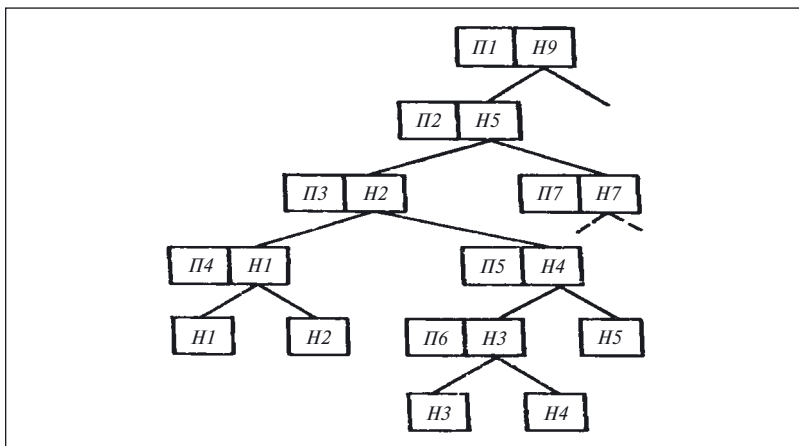


Рис. 9. Последовательность проверок способом средней точки для модели, показанной на рис. 8

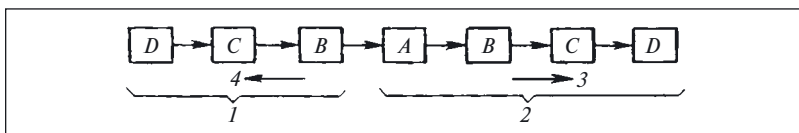


Рис. 10. Модель объекта с использованием причинно-следственных связей

Проверив<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> 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}<sup>1</sup>;
- КЗ в блоке *A1* {2};
- КЗ в блоке *A2* {1'};

---

<sup>1</sup> В фигурных скобках указаны *индексы предшествования*, о которых будет рассказано ниже.

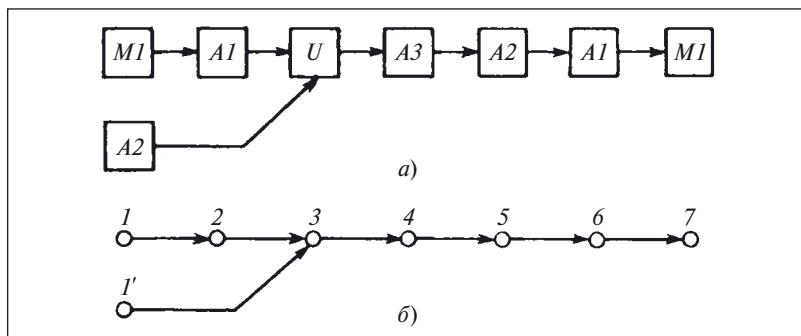


Рис. 11. Модель системы управления асинхронным электродвигателем, показанной на рис. 4:

*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  $k_{\Sigma}$ , 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

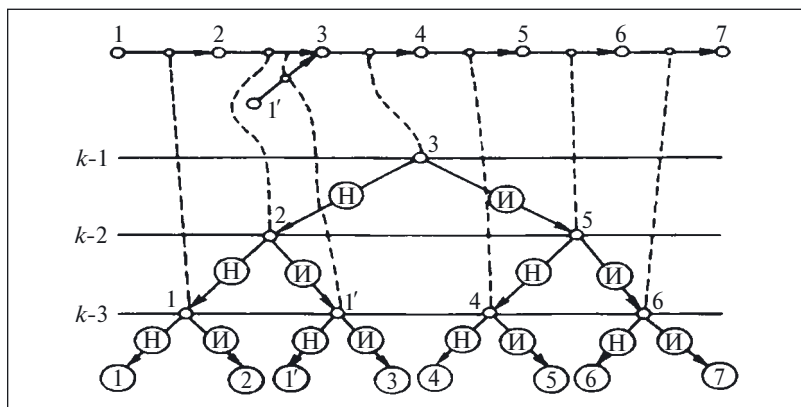


Рис. 12. Дерево решений для модели объекта, показанной на рис. 11

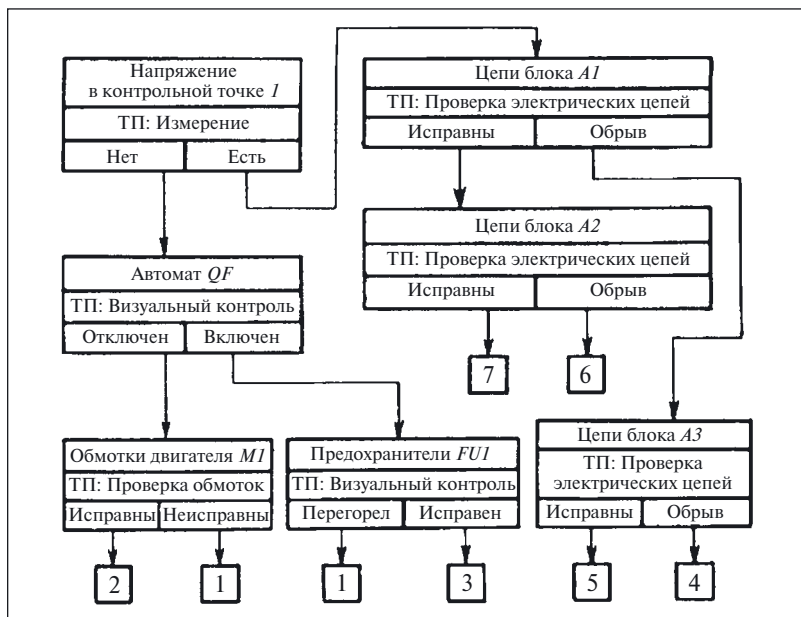


Рис. 13. Дерево решений с указанием проверок, технологических переходов для их реализации и исходов (индексы предшествования в квадратах соответствуют приведенному в тексте перечню дефектов)

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-

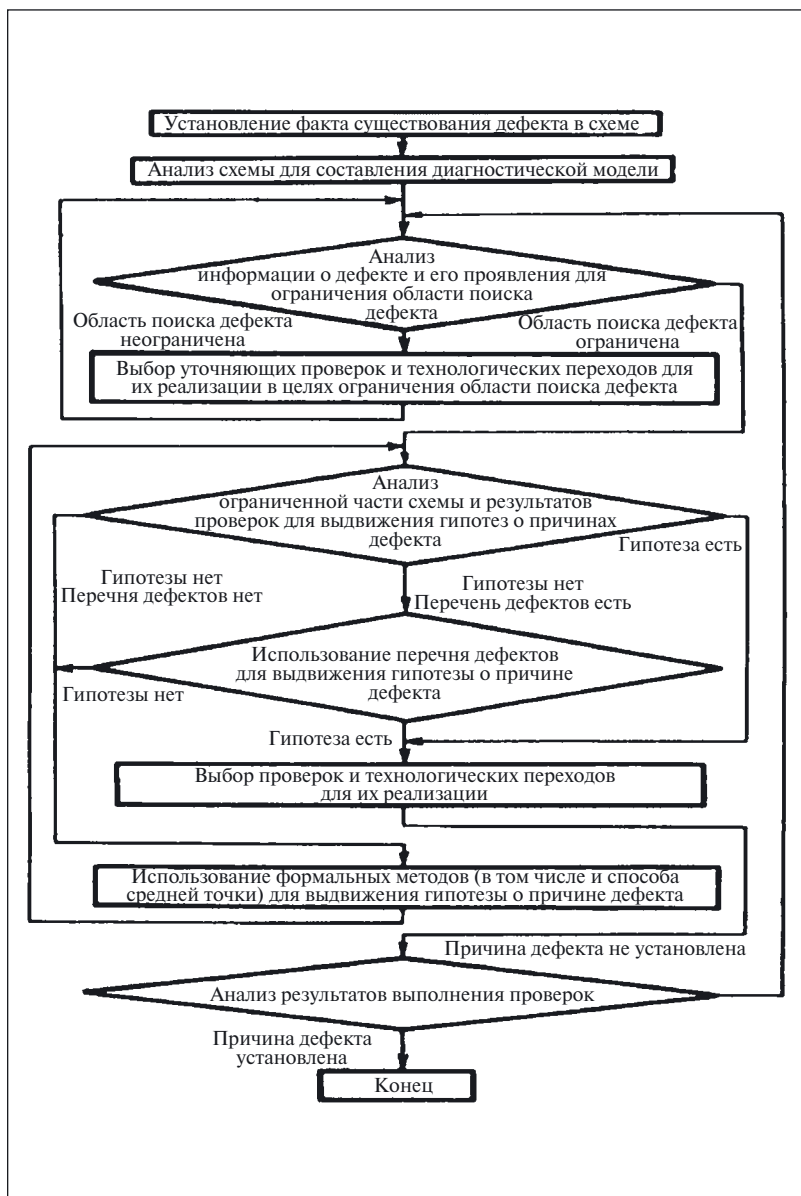


Рис. 14. Последовательность действий при эвристическом методе поиска дефекта



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.

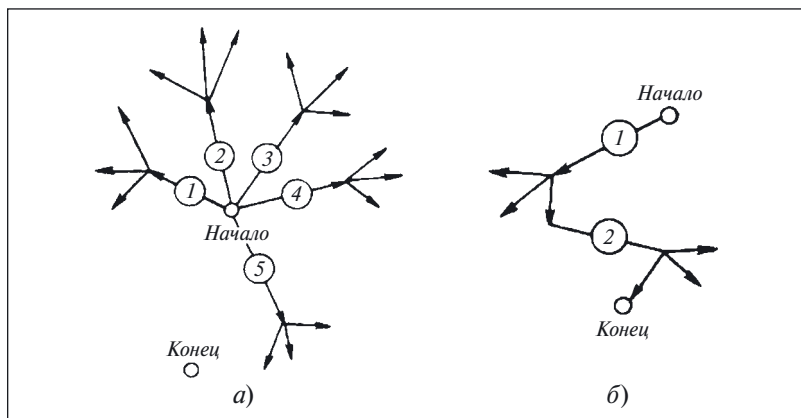


Рис. 15. Графическое представление методов поиска дефектов:

*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 *C*.

В нормальном режиме выключатель включен, его вспомогательный замыкающий контакт *Q.1* в цепи 1 — 2 замкнут, конденсатор *C* 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.

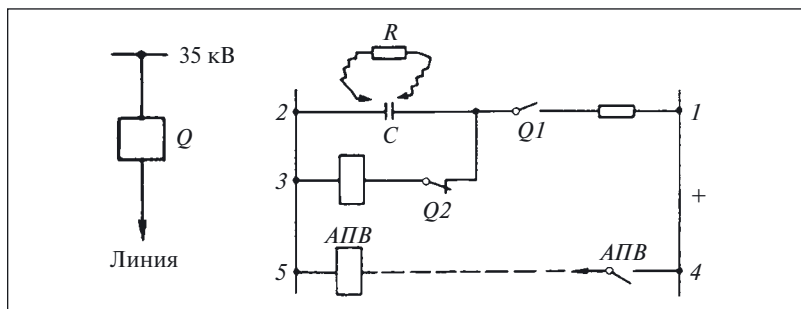


Рис. 16. Фрагмент схемы автоматического повторного включения

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

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

В этом случае включившийся от действия АПВ выключатель остается включенным, а устройство АПВ 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 АПВ 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 АПВ. Это требует пояснений. Дело в том, что после того, как выключатель включился от действия АПВ, 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-

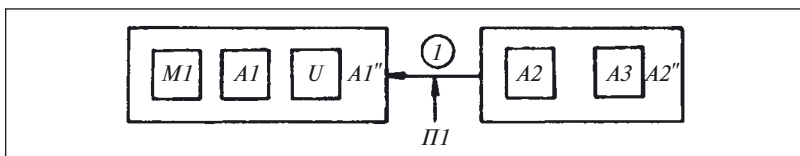


Рис. 17. Упрощенная модель объекта, показанного на рис. 4

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  $\delta$ .

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*).

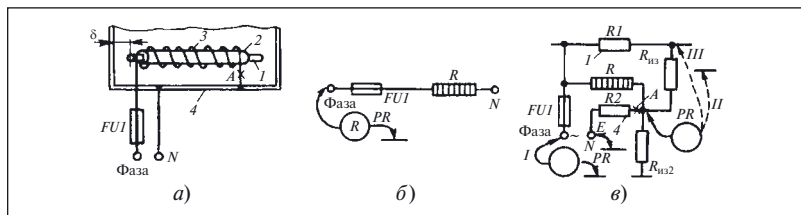


Рис. 19. Теплообменник:

*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;

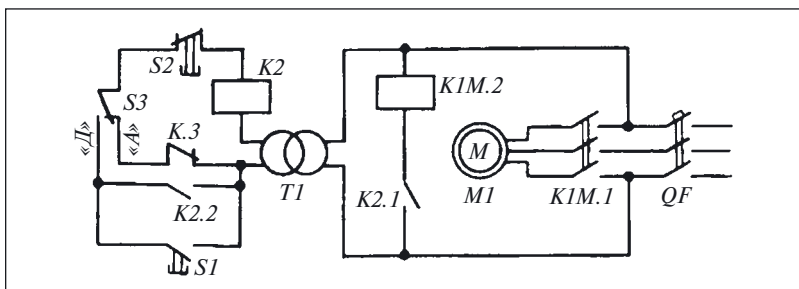


Рис. 20. Система управления асинхронным электродвигателем

- 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 %.

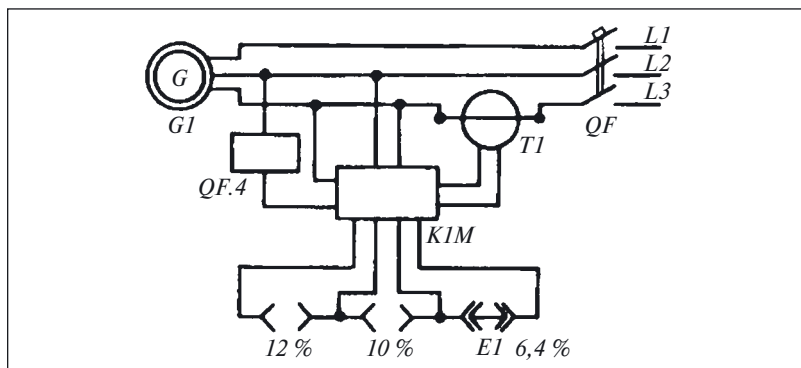


Рис. 21. Схема защиты генератора от работы в режиме обратной мощности

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:

$$I_{cp} = k I_{уст} I_{ном},$$

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

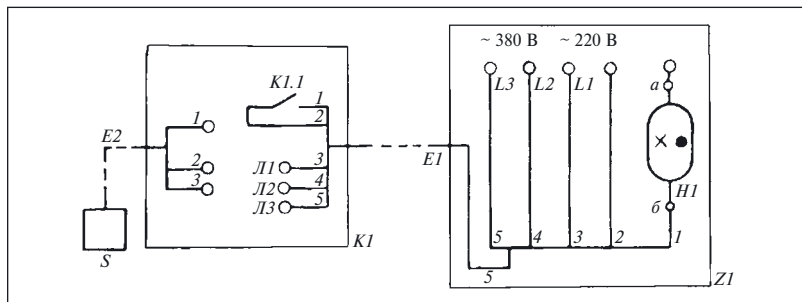


Рис. 22. Фрагмент схемы соединения пускателя со щитом

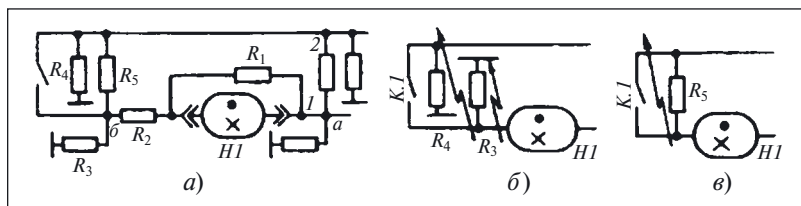


Рис. 23. Эквивалентные схемы:

*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 наводок<sup>1</sup>

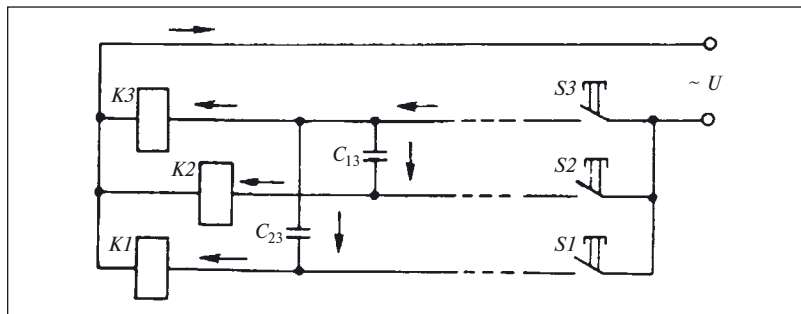


Рис. 25. Схема дистанционного управления реле

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.

<sup>1</sup> 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  $\Delta t$ , 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.

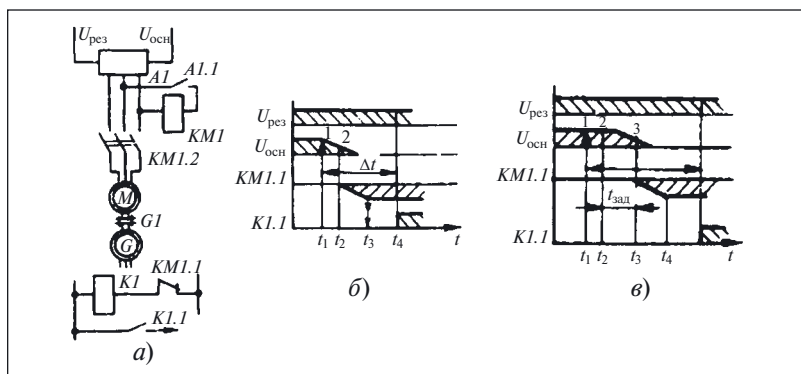


Рис. 26. Переключатель питания:

а — схема; б, в — диаграммы взаимодействия элементов

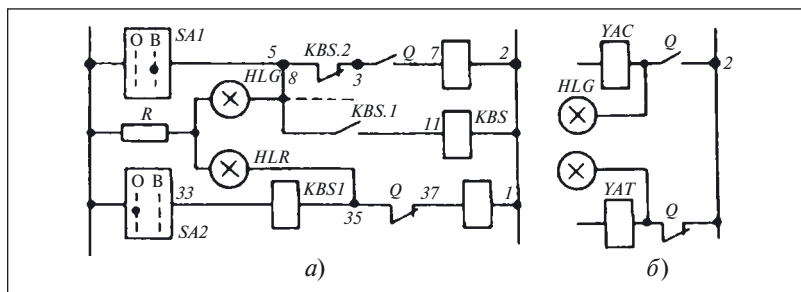


Рис. 27. Фрагмент схемы управления выключателем:

*a* — исходный; *б* — с исправлениями

### Пример 27. Образование ложной цепи<sup>1</sup>

На рис. 27, *a* 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, *a*).

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

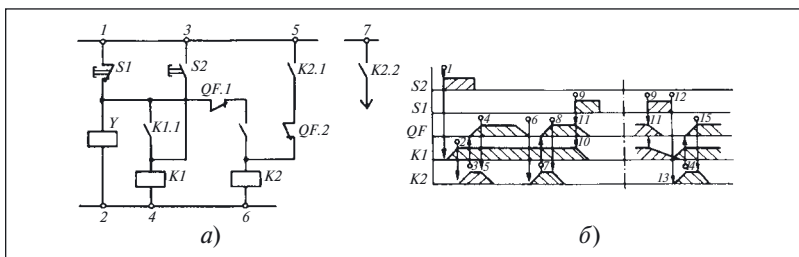


Рис. 28. Автоматический выключатель:

*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*

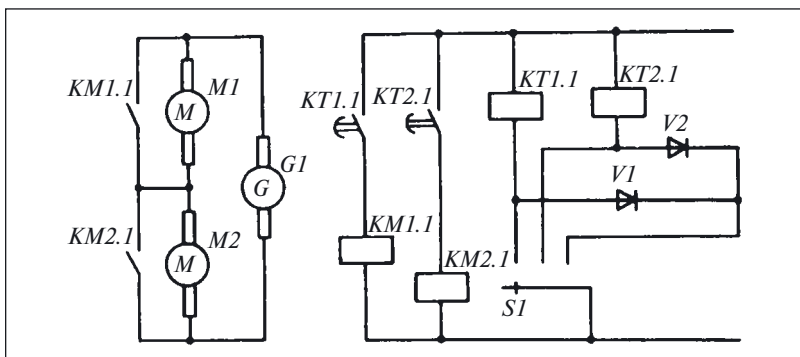


Рис. 29. Фрагмент схемы электропривода по системе генератор — двигатель (цепи возбуждения генератора и двигателей не показаны)

(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  $SI$ . 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

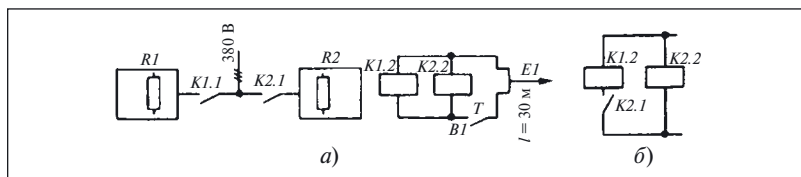


Рис. 30. Электроподогреватель масла:

*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 мм<sup>2</sup>).

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.

$$U_{R1} = U_{вх} - U_{ст}.$$

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

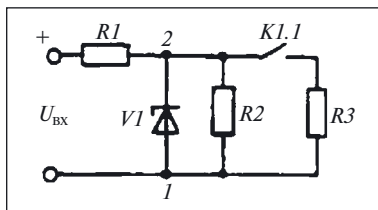


Рис. 31. Стабилизатор напряжения

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.

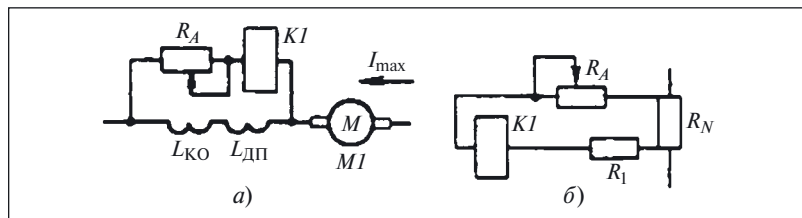


Рис. 32. Схемы реле максимального тока:

а — принципиальная; б — эквивалентная



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

$$S = I_{\kappa} / \delta_q,$$

где  $I_{\kappa}$  — ток срабатывания реле, А;  $\delta_q$  — допустимая плотность тока в проводах, А/мм<sup>2</sup>.

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 1О и 2О), а второй — резервным (1Р, 2Р). При наличии напряжения обоих источников устройство подзарядки подключено к основному источнику.

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

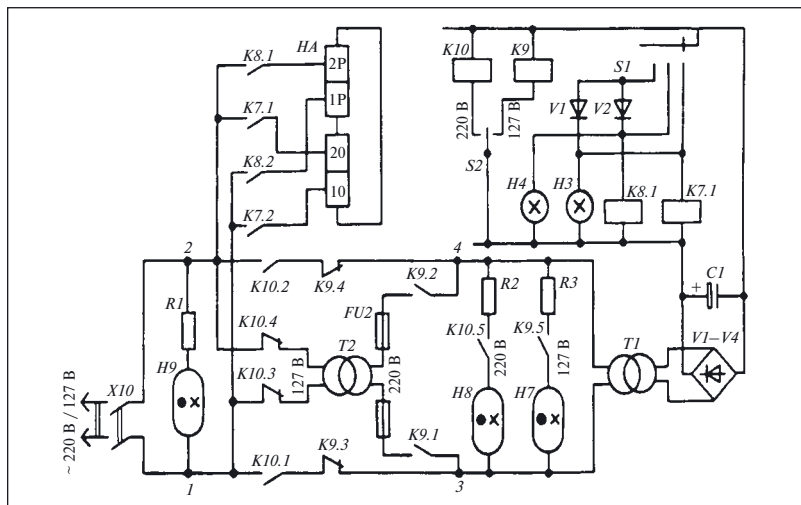


Рис. 33. Фрагмент схемы устройства для проверки аккумуляторных светильников

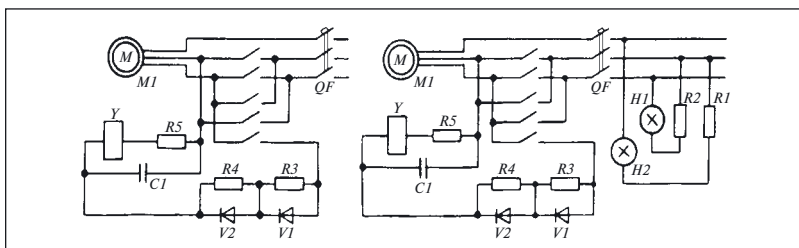


Рис. 34. Схемы главных цепей электропривода пассажирского лифта с односкоростным асинхронным электродвигателем

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<sub>н</sub>. Сирена отключается кнопкой S<sub>н</sub>, которая фиксируется в нажатом положении катушкой K2.

При ошибочном отключении вентилятора одного из преобразователей сработал контакт S<sub>н-1</sub>, загорелась сигнальная лампа H<sub>н-1</sub> и включилась сирена H<sub>н</sub>. Аварийный сигнал отключили кнопкой S<sub>н</sub>. 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.



**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-

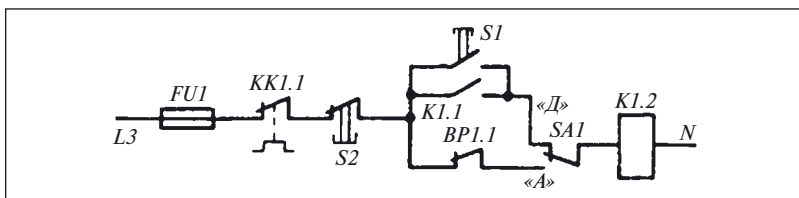


Рис. 37. Фрагмент схемы, приведенной на рис. 4

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

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

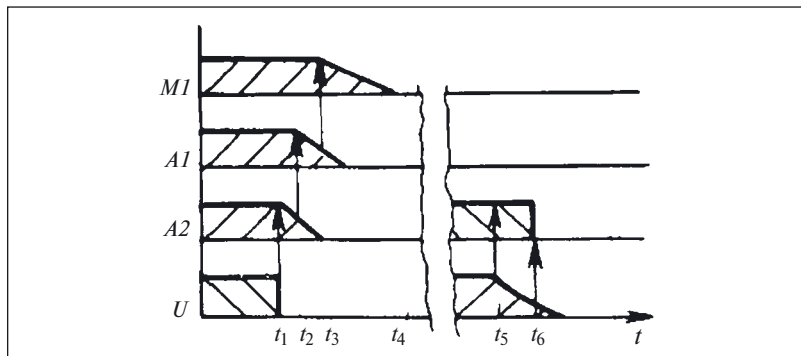


Рис. 38. Диаграмма взаимодействия блоков (см. рис. 4) при исчезновении напряжения

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:

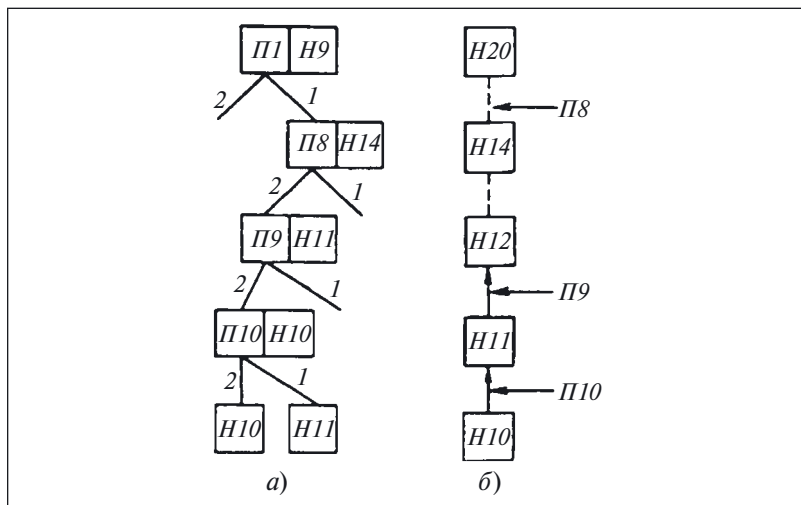


Рис. 39. Очередность выполнения, исходы (*а*) и точки (*б*) проверок

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 цепи<sup>1</sup>, 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

---

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



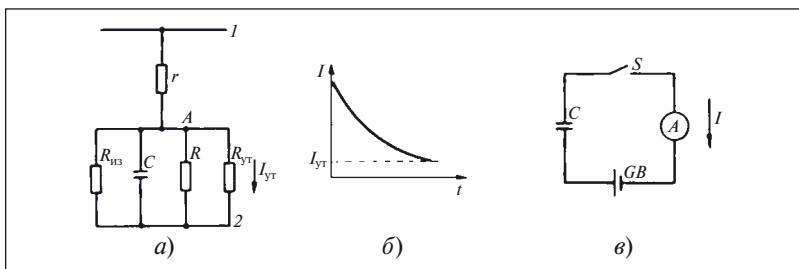


Рис. 40. Автоматическое повторное включение:

*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  $\infty$  (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-

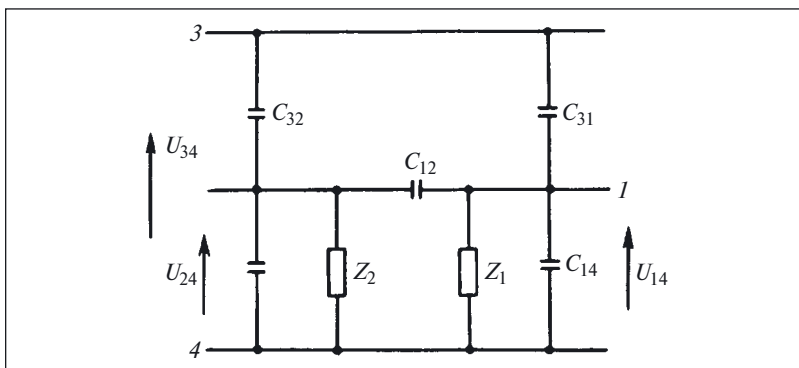


Рис. 41. Эквивалентная схема для схемы на рис. 24

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  $\Delta U$ .

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  $I_{\text{max}}$ , 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.

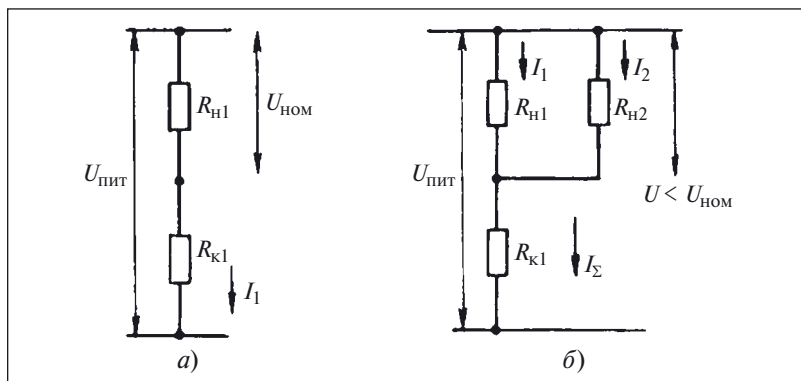


Рис. 42. Эквивалентная схема для схемы на рис. 34

**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 замыкания 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-

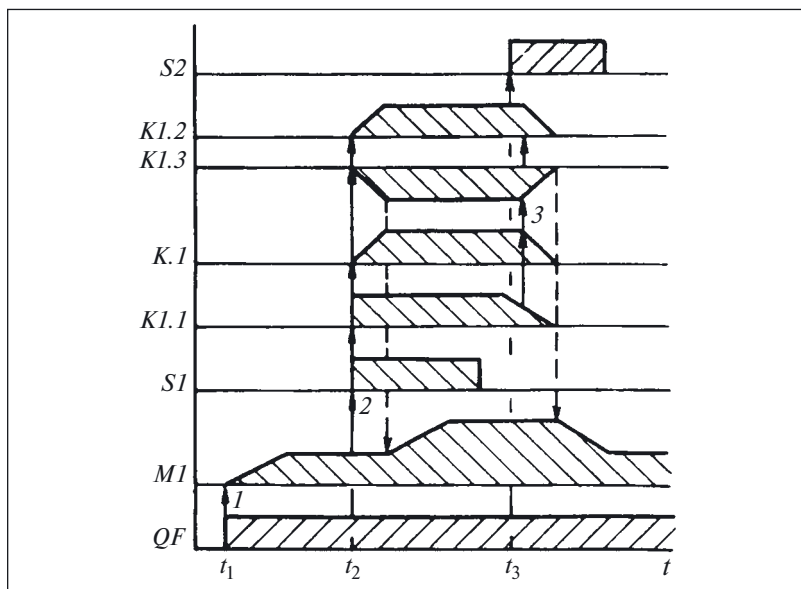


Рис. 43. Диаграмма взаимодействия элементов для схемы на рис. 36

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 ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При измерении температуры на каждые  $10 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (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  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше и ниже  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 прибора<sup>1</sup>.

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

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

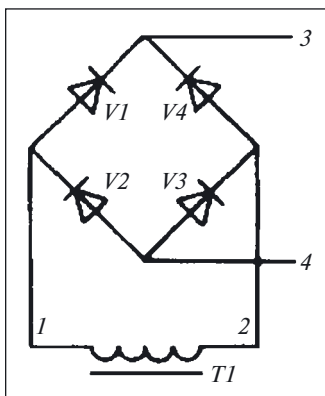


Рис. 45. Выпрямительный мост

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.

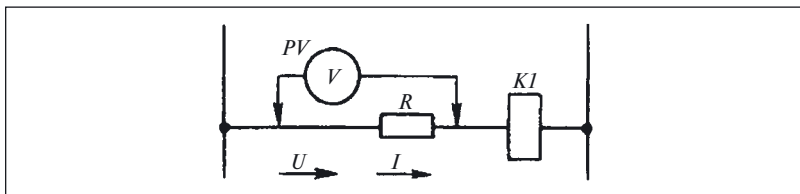


Рис. 46. Измерение падения напряжения для определения тока

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-

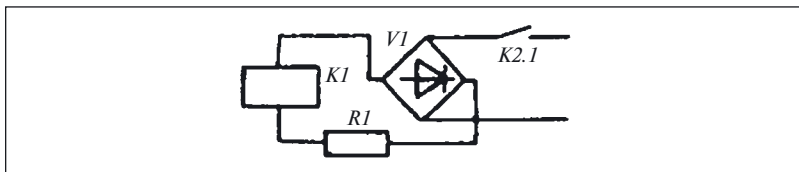


Рис. 47. Фрагмент схемы

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, а) 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

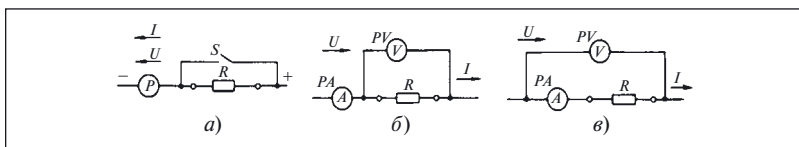


Рис. 48. Измерение сопротивлений:

*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

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

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

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

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-

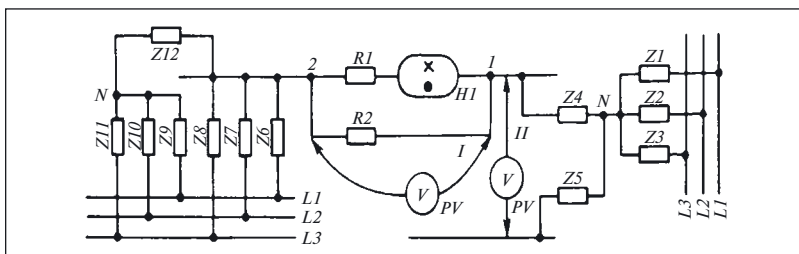


Рис. 49. К поиску дефекта в схеме на рис. 22

ним вольтметр постоянного напряжения с пределом измерения 300 В.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Из эквивалентной схемы видно, что вывод 1 лампы  $HI$  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  $\approx 380$  В.

Второй вывод лампы через сопротивления изоляции  $Z_6, Z_7, Z_8$  жил кабеля подключен к фазам напряжения  $\approx 380$  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:

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

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  $HI$  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  $HI$ , «проникает» в схему из сети переменного тока через сопротивления и емкости изоляции кабеля  $EI$ .

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  $HI$  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-

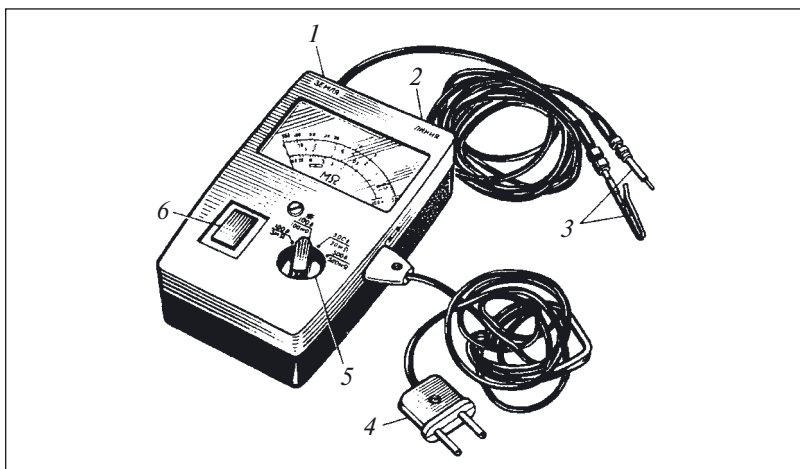


Рис. 50. Мегаомметр:

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-

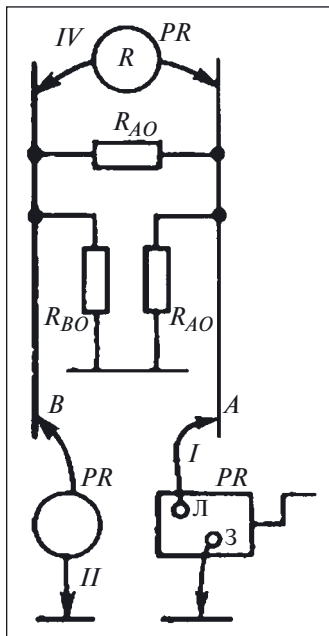


Рис. 51. Измерение сопротивления изоляции

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).

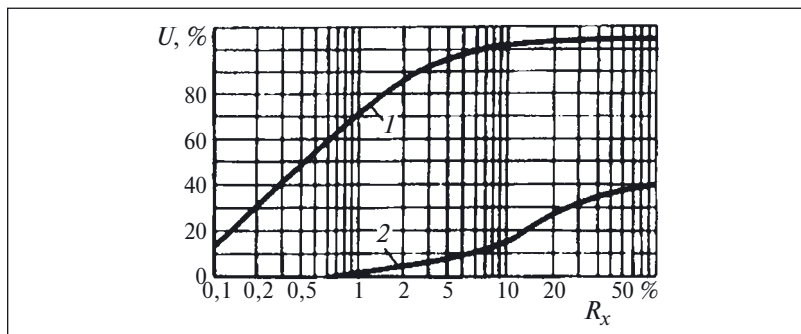
Таким образом, выбранный нами мегаомметр из-за влияния на его выходное напряжение сопротивления изоляции не может выявить грубые дефекты изоляции.

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.

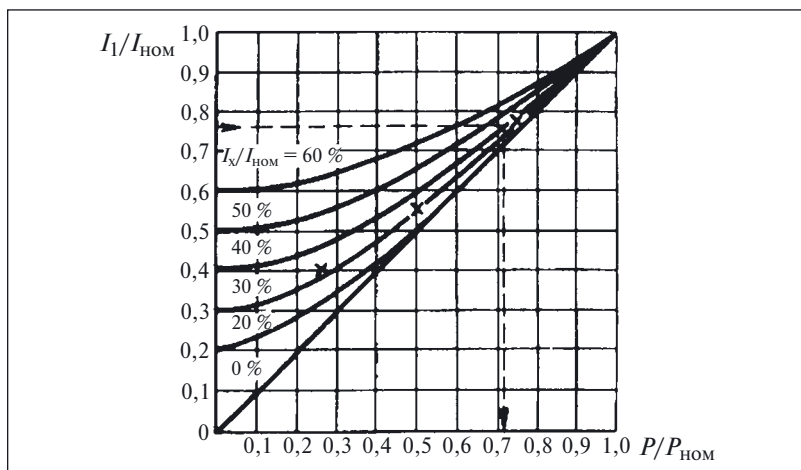


Рис. 53. Зависимость тока статора асинхронного электродвигателя от нагрузки

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:

$$i = I / I_{\text{НОМ}} = 13,3 / 18 = 0,75.$$

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 электроэнергии<sup>1</sup>**

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.

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

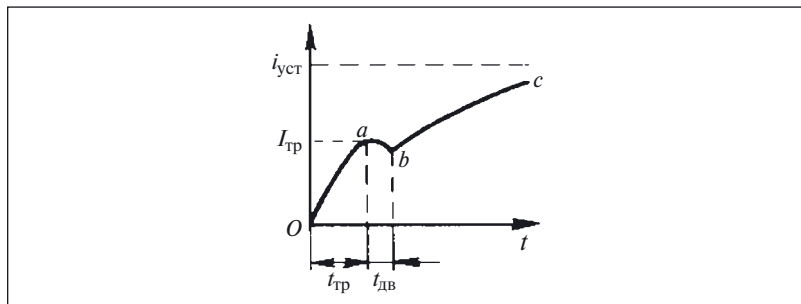


Рис. 54. Осциллограмма изменения тока в катушке реле



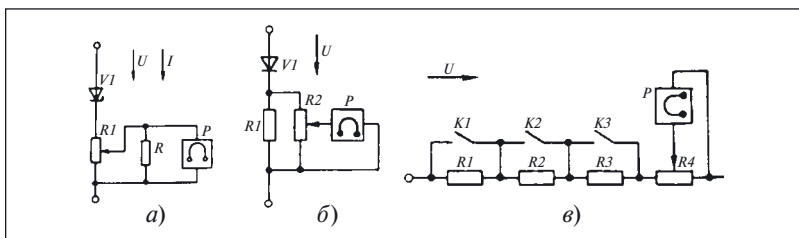


Рис. 55. Схемы подачи сигналов на вход осциллографа:

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 приборы<sup>1</sup>.

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

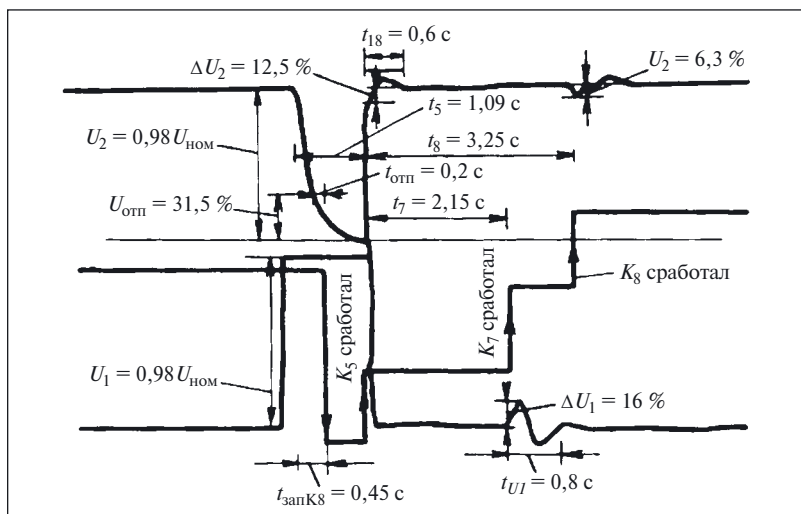


Рис. 56. Осциллограмма процесса переключения питания

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 ( $t_{тр}$ ) якоря.

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

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*).

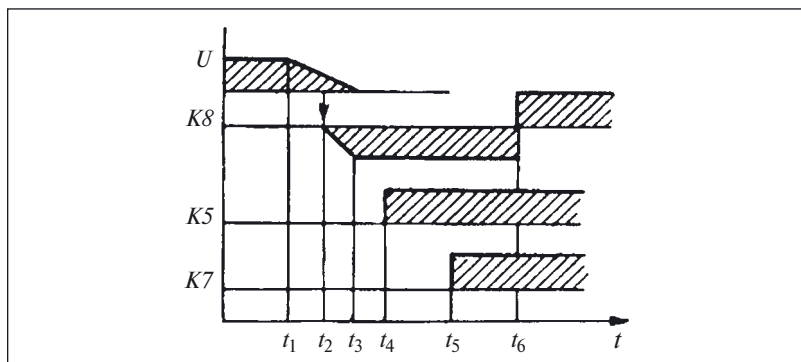


Рис. 57. Диаграмма взаимодействия контакторов при переключении питания

#### 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

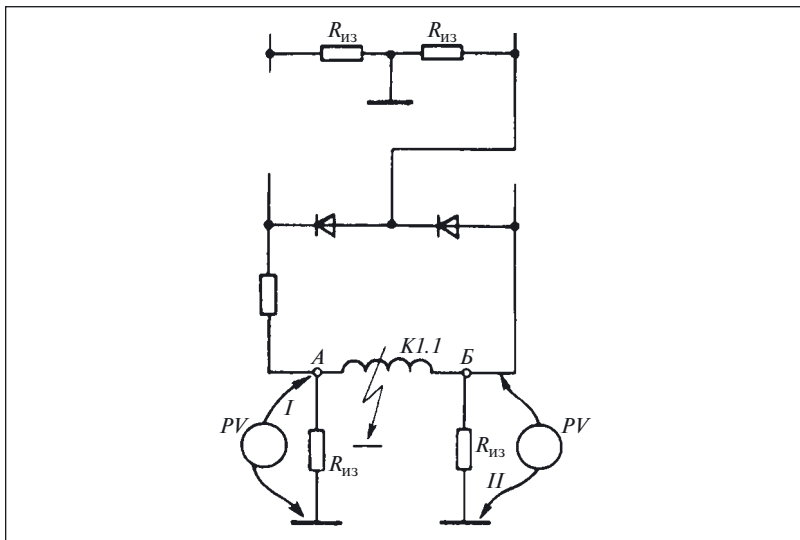


Рис. 58. Эквивалентная схема для рис. 46

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 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 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.