

II 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 разделе I, о существовании дефекта в изделии узнают по **внешним проявлениям** – отклонению значений контролируемых параметров за пределы допуска, срабатыванию защитных устройств и другим явлениям.

Внешние проявления дефектов 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 *M* (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 *S7* «Пуск» не дали результата.

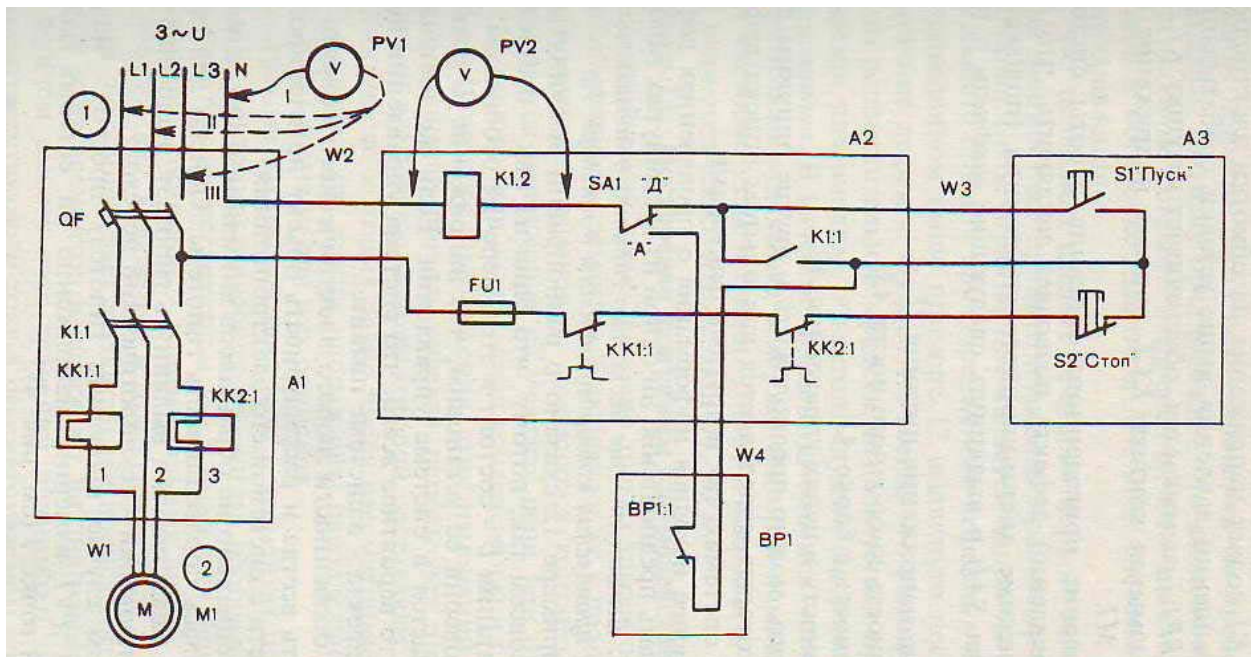


Рис. 4 Система управления асинхронным двигателем

Рассматриваемая система состоит из следующих основных частей: 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 *K1.2*

подается напряжение.

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

В положении «А» (автоматическое управление) схема работает по-другому. Независимо от того, нажата кнопка или нет, при замкнутом контакте $BP1:1$ на катушку $K1.2$ поступает напряжение и контактор $K1$ подает напряжение на обмотки электродвигателя $M1$. При повышении давления выше уставки срабатывания реле $BP1$ контакт $BP1.1$ размыкается, обесточивает катушку $K1.2$ и контактор $K1$, размыкая контакт $K1.1$, 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 ещё 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 её проверки - технологический переход.

В данном случае проверить гипотезу просто - надо лишь вольтметром $PV1$ измерить напряжение на сетевых зажимах в контрольной точке 1 (см. ① на рис. 4).

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, но 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 это так просто сделать. Одним из вспомогательных средств, используемых 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. Таким и блоками в схеме на рис. 4 являются блоки *A1, A2, A3, M1, BP1*.

Пример 13. Построение диаграммы взаимодействия элементов.

На электрической схеме показано только какое-то 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 них одинаков.

В диаграмме взаимодействия тока в элементах или перемещение частей электромеханических элементов изображают над (или под) горизонталями посредством наклонных или вертикальных, а установившееся состояние - горизонтальных линий. 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 (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).

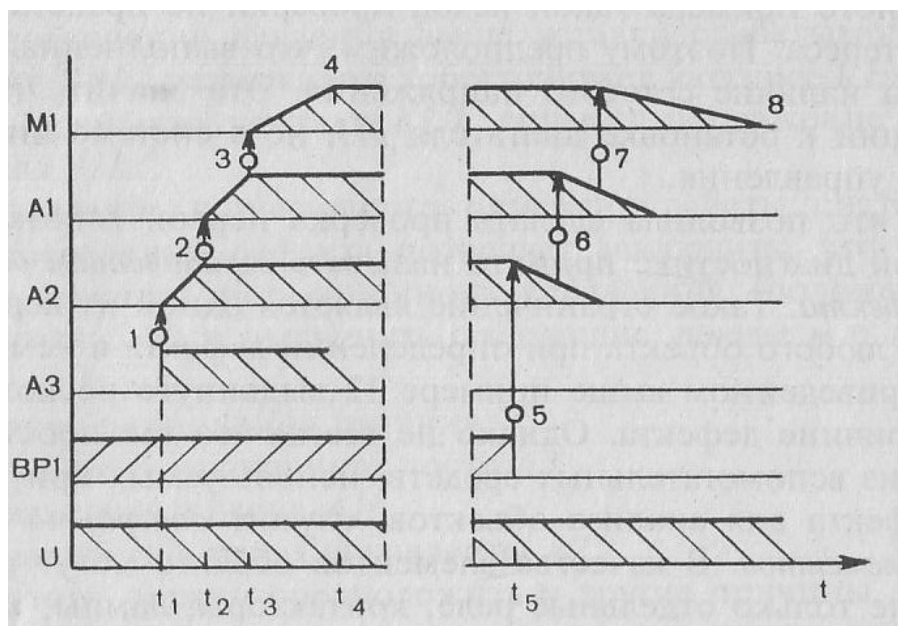


Рис. 5 Диаграмма взаимодействия блоков системы управления асинхронным электродвигателем

Кроме линий для блоков $M1$, $A1$, $A2$, $BP1$ и $A3$ на рисунке 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 $BP1$ замкнут. Выполнение этих условий на диаграмме показано горизонталями над соответствующими линиями.

Когда каждая линия диаграммы взаимодействия отображает работу только одного элемента, то построение прямоугольников или трапеций не вызывает затруднений. Примером может служить блок $BP1$, 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(см. ② на рис. 4);
- «срабатыванию» блока $A2$ соответствует наличие напряжения на катушке $K1.2$ (см. вольтметр $PV2$ на рис. 4);
- работа блока $A3$ оценивается по замыканию контакта кнопки $S1$.

Согласно тексту 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 1-2. 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 на диаграмме).

Проследим работу объекта после срабатывания реле давления $BP1$ в момент времени t_5 (точка 5 на диаграмме). Естественно, что предварительно переключатель $SA1$ должен быть переключен в положение «А» (автоматическое управление). После размыкания контакта $BP1:1$ сигнал на выходе блока $A2$ снимается. В связи с тем, что этот сигнал исчезает не сразу после размыкания контакта $BP1:1$ то напряжение на выходе блока отключается не в момент времени t_5 , а через некоторый промежуток времени (точка 6 на диаграмме). Напряжение же на обмотках электродвигателя $M1$ отключается еще тогда, когда подвижная система контактора $K1$ не достигла конечного положения (точка 7 на диаграмме).

В этот момент двигатель $M1$ начинает уменьшать частоту вращения, пока не остановится (точка 8 на диаграмме).

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 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 на рисунке как $W1-W4$, в рассматриваемой модели могут быть представлены либо 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), составляющий объект.

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.

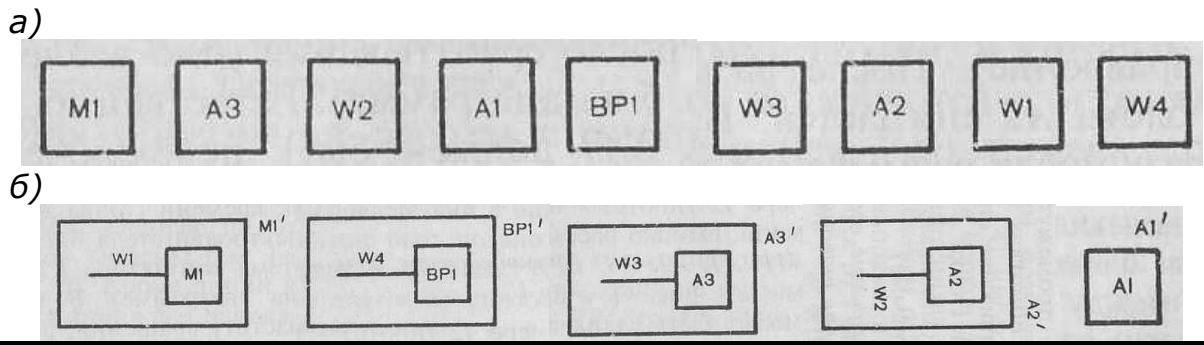


Рис. 6 Модели объекта в виде набора:

а – блоков и связей, *б* – блоков с включенными в них связями

При небольшом числе элементов рассмотренную простейшую диагностическую модель можно использовать очень успешно. Однако с возрастанием числа элементов в объекте применять такие модели из-за значительной трудоемкости проверок всех элементов (блоков) становится нерационально. Поэтому целесообразно 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, показанная на рис 7, *а*.

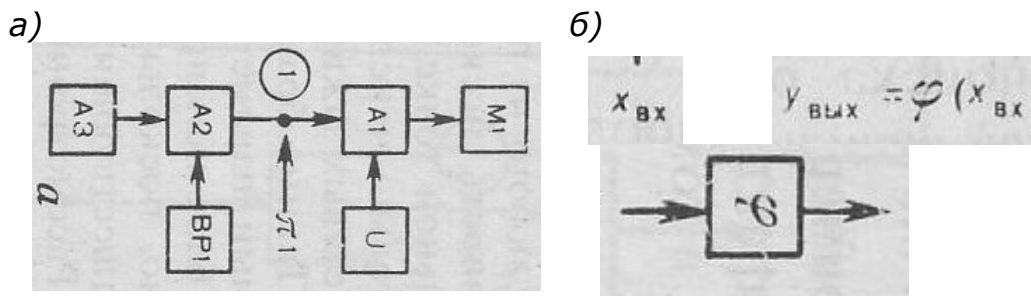


Рис. 7 Система управления асинхронным двигателем:

а – модель из связанных между собой блоков, *б* – функциональный блок

В модели есть блоки двух типов. Одни из них (*U, A3, BP1*) не имеют входов, а у других (*A1, A2*) есть входы, на которые поступают сигналы от блоков *U, A3, BP1* 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 иметь входной (выходной) сигнал, но этот сигнал либо имеет неэлектрическую природу (как для блока *BP1*, где входной сигнал - давление контролируемой им среды), либо этот сигнал поступает из другого объекта (как для блока *U*). В обоих случаях входы (выходы) таких блоков не рассматривают при поиске дефекта в данном объекте.

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

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

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

При проверке блока, не имеющего предшествующих (например, бло-ков $A3$ 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 (см. ② на рис. 4) 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 $U, A2, A3, BP1$.

Недопустимое значение параметра в контрольной точке может иметь своей причиной как неисправность проверяемого блока или любого из предшествующих ему, так и одновременную неисправность нескольких блоков. Причиной отсутствия напряжения в контрольной точке 2 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.

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 несвязанных 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 входит лампа и одна из ее связей (рис. 8), то процесс поиска значительно упростится.

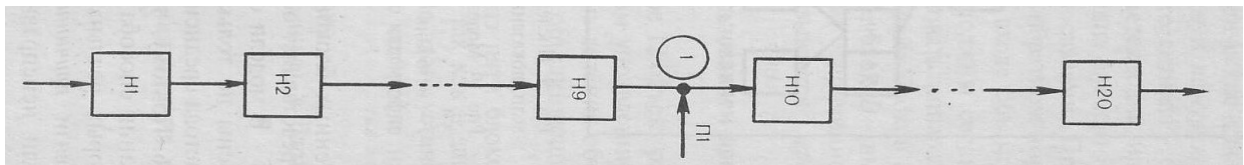


Рис. 8 Модель гирлянды ламп в виде последовательно соединенных блоков

Проверив¹ выходной сигнал блока $H9$ в точке 1 (см. ① на рис. 8. Место проверки отмечено стрелкой $П1$), получим информацию о состоянии всех предшествующих ему блоков, начиная от $H1$. У этой проверки возможен один из двух исходов. При первом (ребро 1 на рис. 9) блок $H9$ исправен и, следовательно, исправны все его предшествующие ему блоки $H1-H8$. При втором (ребро 2) неисправен один (или несколько) из блоков $H1-H9$.

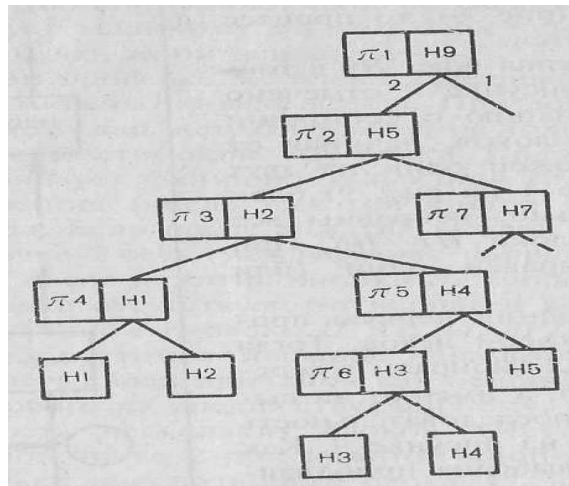


Рис. 9 Последовательность проверок способом средней точки для модели, показанной на рис. 8

Предположим, что выполнив первую проверку в точке 1, получим второй исход. Тогда точку следующей проверки $π2$ выбираем в середине

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

цепочки из этих блоков, а именно на выходе блока *H5*. Дальнейшая последовательность проверок частично показана на рисунке 9.

Как видно, каждая из проверок выбрана приблизительно в середине цепочки из последовательно соединенных блоков. Таким образом, проверка *п4*, выполненная на выходе блока *H1*, позволяет локализовать местонахождение дефекта блоком *H1* (при недопустимом значении контролируемого параметра) или *H2* в противном случае, а проверка *п6* - блоками *H3* и *H4* соответственно, то есть 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 *H1* – *H20*, пользуясь примером 16.

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

В модели объекта, показанном на рисунке 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 поиске дефекта при использовании способа средней 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 не функционирующих элементов, связанных между собой причинно-следственными связями.

При перегрузке сигнал распространяется в направлении, обратном нормальному потоку энергии - к аппарату защиты на входе объекта.

Поэтому как источник перегрузки все элементы 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**.

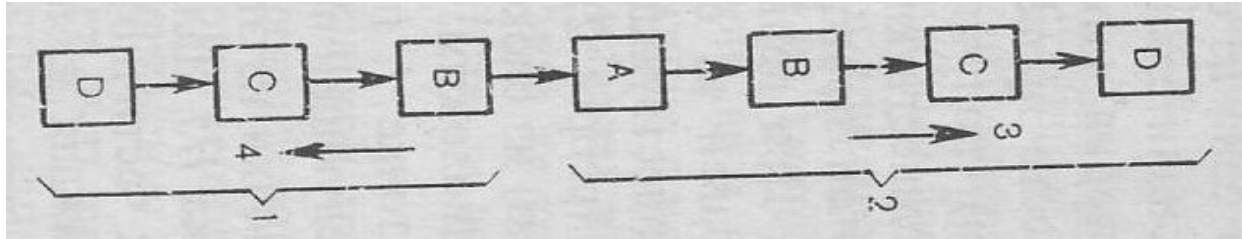


Рис. 10 Модель объекта с использованием причинно-следственных связей

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 на 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 короткое замыкание) в блоке $M1$ {1}²;
- короткое замыкание в блоке $A1$ {2};
- короткое замыкание в блоке $A2$ {1'};
- 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 короткие замыкания в блоке $A2$ и блоках $M1, A1$ 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:

$$k \text{ ср. min} = \log_2 N,$$

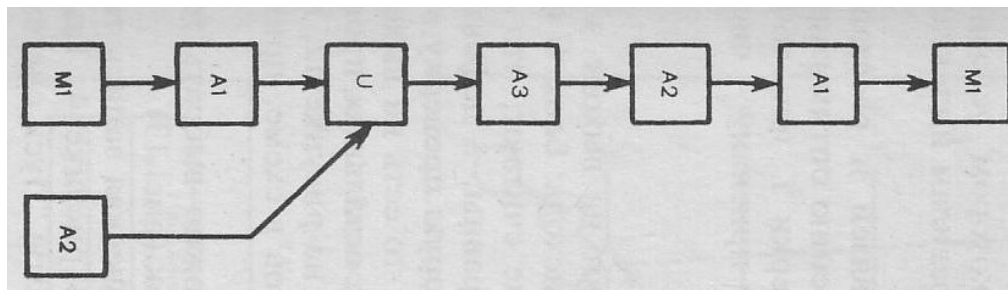
где N - количество дефектов.

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

² В фигурных скобках указаны **индексы предшествования**, о которых будет рассказано ниже.

N	2	до 4	до 8	до 16	до 32	до 64
k	1	2	2 или 3	3 или 4	4 или 5	5 или 6

а)



б)

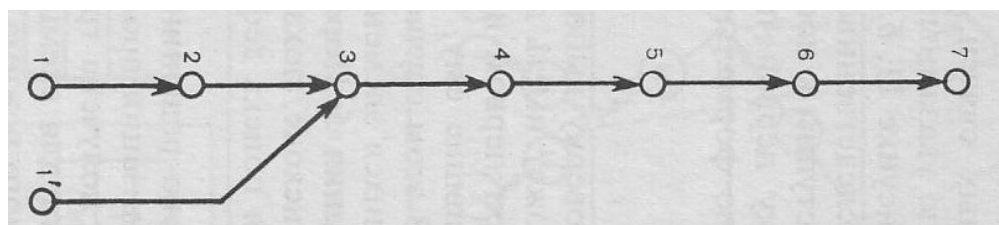


Рис. 11 Модель системы управления асинхронным электродвигателем, показанной на рис.4
а – граф причинно-следственных связей,
б – присвоение элементам графа индексов предшествования

Выше было перечислено восемь возможных дефектов, значит $k_{ср. min} = 3$, то есть 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, то есть каждая пара его вершин соединяется между собой только одной цепью.

Таким образом, дерево решений показывает только один путь от вершины А (точки первой проверки) к вершине В - 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.

Применительно к поиску дефектов, когда вершиной представляют проверку, которая имеет два результата - проверяемый блок исправен или неисправен, - из вершины выходят только два ребра. В соответствии с этим деревья можно характеризовать следующими параметрами:

- число проверок l , равным числу невисячих вершин;
- число ветвей h , которое численно равно количеству N возможных дефектов 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 -ой висячей вершине;
- суммарной длиной ветвей k_{Σ} , представляющей собой общее число проверок, которое надо выполнить для выявления всех N дефектов;
- средней длиной ветвей $k_{cp} = k_{\Sigma}/N$, то есть среднему числу проверок, затрачиваемых на отыскание одного дефекта.

После определения перечня возможных дефектов и построения графа причинно-следственных связей между блоками (см. рис. 11, а) 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 дополнительными различительным индексом;
- индекс предшествования выходного элемента равен сумме числа вершин в графе плюс единица.

Граф причинно-следственных связей, в котором условные обозначения блоков заменены по указанным правилам индексами предшествования, показан на рисунке 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, предшествовавшие ему, исправны, а дефект находится в блоках с индексами 4, 5, 6, 7.

В этом случае вторую проверку выполняют в центре группы из четырёх оставшихся элементов, то есть на выходе блока с индексом предшествования 5.

Порядок остальных проверок, в том числе и при втором исходе, показан на рисунке 12, где приведено дерево решений для поиска дефектов в схеме, приведенной на рисунке 4.

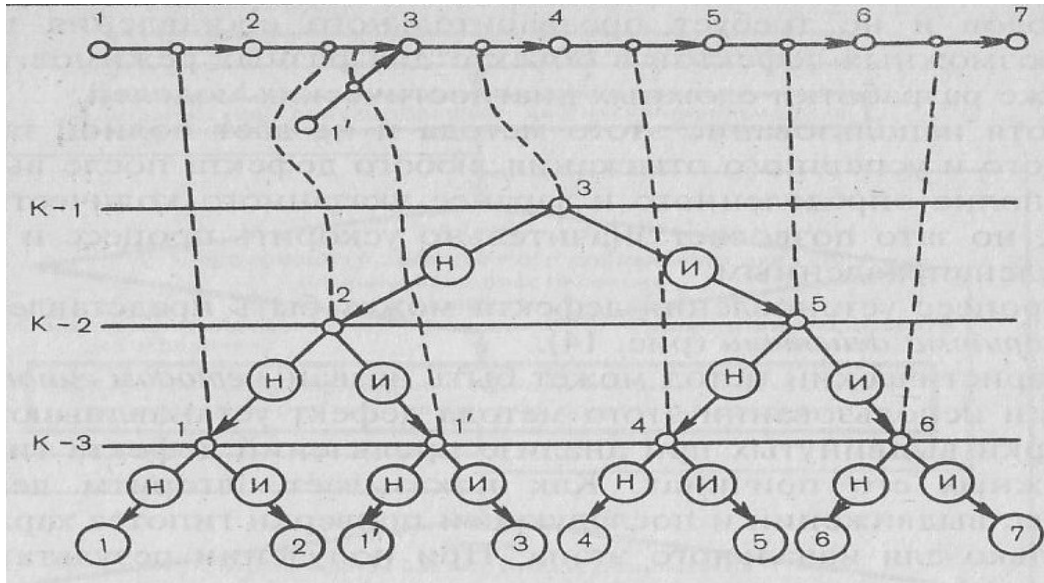


Рис. 12 Дерево решений для модели объекта, показанной на рис. 11

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

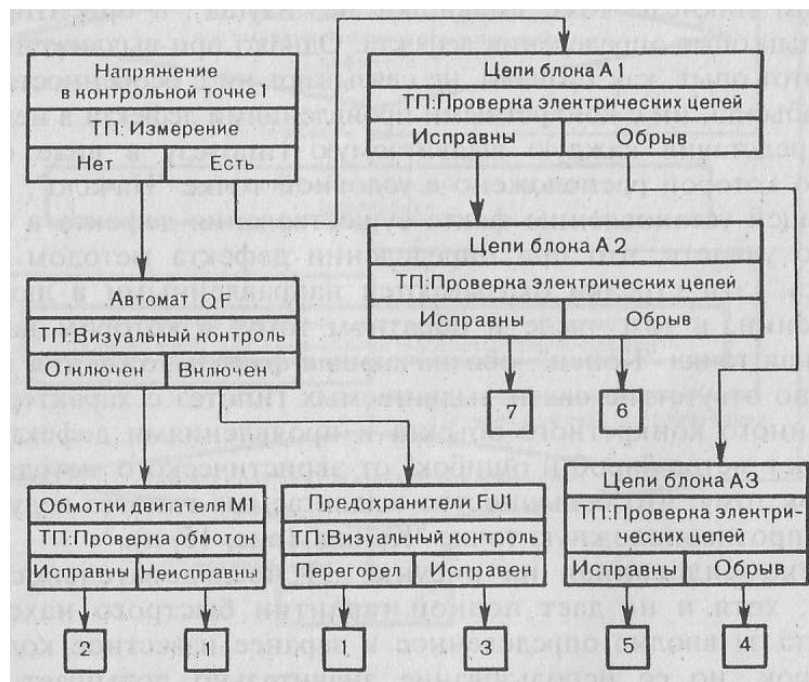


Рис. 13 Дерево решений с указанием проверок, технологических переходов для их реализации и исходов (индексы предшествования в квадратах соответствуют приведенному в тексте перечню дефектов)

В результате всех действий получена графическая запись технологического процесса дефекта для схемы на рисунке 4. Такая запись 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 исполнителей высокой квалификацией.

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 книгах [1, 2, 3].

Учитывая сложность построения диагностических моделей для строгих математических методов определения дефекта в данной книге рассматривается *эвристический метод*, который не задает жестких и обязательных правил выполнения технологических переходов 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 количества проверок, но зато позволяет значительно ускорить процесс и сделать его целенаправленным.

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

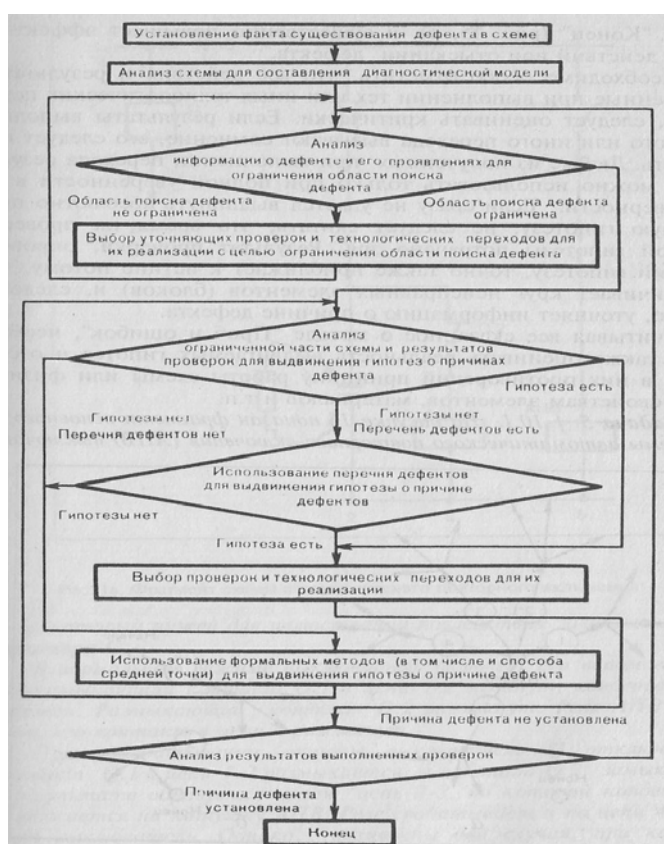


Рис. 14 Последовательность действий при эвристическом методе поиска дефекта

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 рисунке 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, начало 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 оказываются расходящимися 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).

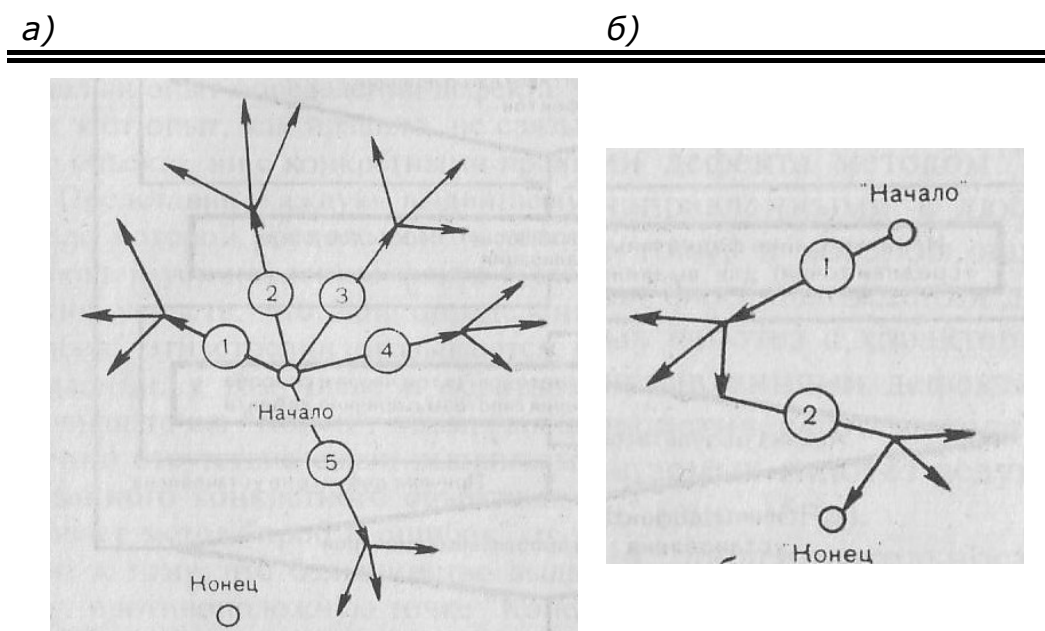


Рис. 15 Графическое представление методов поиска дефектов:

а – проб и ошибок, б - эвристического

Рекомендованная на рисунке 14 последовательность действий, хотя и не даст полной гарантии быстрого нахождения дефекта за вполне опре-

деленное и заранее известное количество проверок, но её 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.

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 сомнения, 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 также 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 .

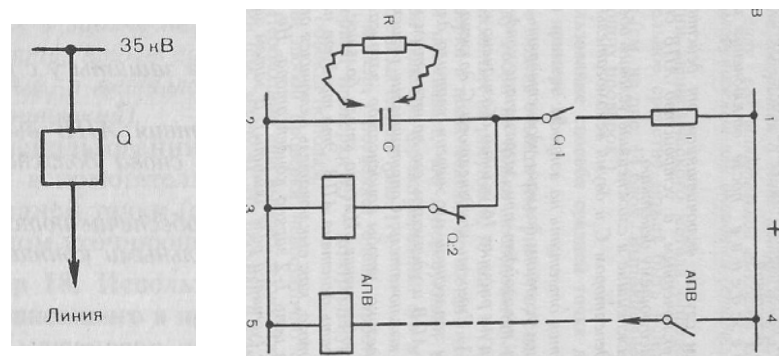


Рис. 16. Фрагмент схемы автоматического повторного включения

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 обработывании защиты выключатель Q отключается, контакт $Q.1$ в цепи 1-2 размыкается, а контакт $Q.2$ замыкается.

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, то есть 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 рисунке 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 такое время, чтобы включился выключатель. Сопротивление резистора должно быть достаточно велико, чтобы конденсатор заряжался полностью примерно 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: заряд конденсатора прекратится задолго до его полного завершения. А это значит, что конденсатор не сможет накопить достаточно энергии 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 металlobумажный 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 «Выполнение формальным методом уточняющих проверок»).

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 рисунке 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).

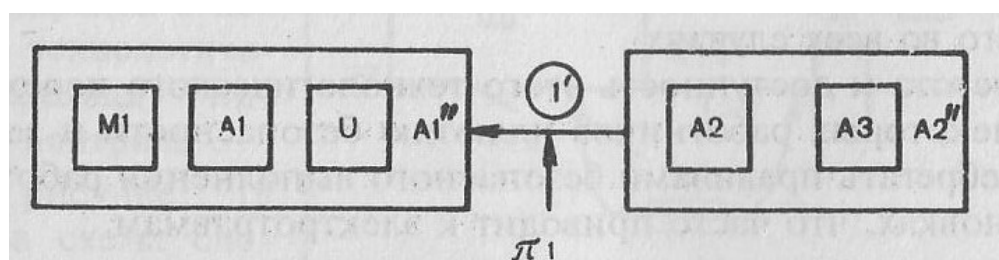


Рис. 17 Упрощенная модель объекта, показанного на рис. 4

Переход к такой модели позволяет очень просто выбрать место выполнения первой проверки $\pi 1$ - контрольную точку 1 (см. ① на рис. 17), которая делит модель объекта пополам.

Для реализации любой проверки недостаточно определить точку ее выполнения. Необходимо еще выбрать технологический переход для ее реализации (см. задачу 4).

На рис. 4 показано, что выходным сигналом блока $A2$ является напряжение на катушке $K1.2$. Поэтому для реализации проверки $\pi 1$ в контрольной точке 1 модели (рис. 17) выберем технологический переход «измерение». Таким образом, проверка $\pi 1$ будет состоять в измерении напряжения вольтметром $PV2$ на выходах катушки $K1.2$ при нажатой кнопке $S1$.

Здесь проверяется реализация блоком $A2$ своей функции - подача напряжения на катушку $K1.2$ 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 $K1.2$. 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 $K1.2$ 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 рисунке 4, при втором исходе проверки п1:
- отсутствие напряжения на выводах катушки K1.2 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 данном разделе. Действительно, каким образом был установлен факт существования дефекта в системе, показанной на рисунке 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) путём его осмотра органами зрения.

При визуальном контроле возможно использование средств технологического оснащения, 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 **неодновременность** или **неправильную** последовательность замыкания контактов, обратить внимание на характер изменения 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 создает у некоторых работников иллюзию безопасности и заставляет 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 её 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, принимать решение о причине дефекта.

Поэтому технологический переход «Визуальный контроль» всегда применяют совместно с переходом «Сравнение».

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

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

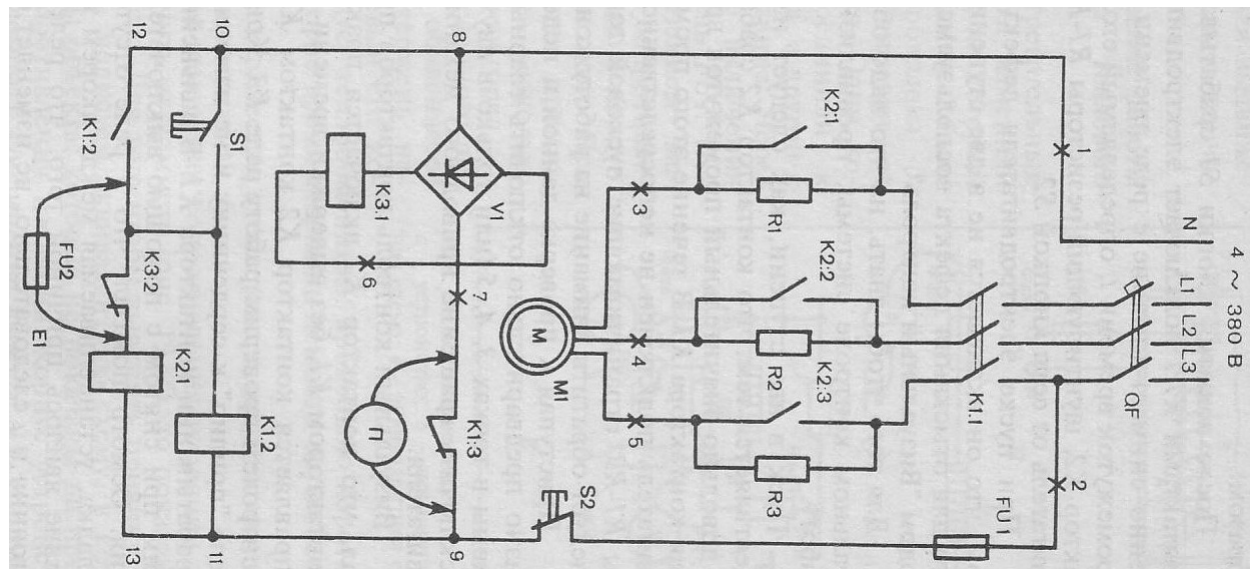


Рис. 18 Система управления асинхронным электродвигателем с двухступенчатым пуском

Схема работает следующим образом.

После нажатия кнопки $S1$ срабатывает контакт $K1$, который контактами $K1.1$ подключает электродвигатель к сети и одновременно снимает питание с реле времени $K3$. Реле времени через промежуток времени t , определяемый его уставкой, включает контактор $K2$, шунтирующий резисторы $R1-R3$. Отключается электродвигатель от сети кнопкой $S2$.

Дефект в схеме проявляется в том, что при пуске электродвигатель включается не в две ступени, а в одну. Естественно, что 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.

Пуск в две ступени, как следует из описания работы, осуществляется тем, что контактор $K2$ срабатывает через некоторый и довольно значительный промежуток времени, после срабатывания контактора $K1$. В течение этого промежутка времени электродвигатель подключен не непосредственно к сети, а через резисторы $R1-R3$, ограничивающие пусковой ток.

Поэтому, при визуальном контроле прежде всего следует обратить внимание на работу контакторов $K1$ и $K2$,

Приступая к проверке данной и подобной ей схем, целесообразно предварительно отключить главные цепи двигателя $M1$ от схемы в точках $3, 4, 5$ (или только в двух из них) для того, чтобы исключить вращение приводного механизма при пробных пусках двигателя.

Визуальный контроль контакторов при пуске двигателя показал, что контактор *K2* включается практически одновременно с контактором *K1*, без выдержки времени. Схема подсказывает, что управляется контактор *K2* контактом *K3*: 2, поэтому визуальным контролем проверим работу реле *K3*. Контроль показал, что якорь реле «прилип» к сердечнику и не изменяет своего положения при срабатывании контактора *K1*. Реле времени осмотрим при снятом с помощью выключателя *QF* напряжения питания. Осмотр показал, что у реле отсутствует немагнитная прокладка, устанавливаемая между якорем и сердечником. Ее отсутствие явилось причиной того, что реле не изменяет своего состояния и, следовательно, не изменяет состояния контактора *K2*.

Таким образом, дефект найден.

Последний пример характерен тем, что дефект определяется непосредственно по принципиальной схеме, без составления диагностической модели. Тем не менее, использование одной только принципиальной 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 заменили стержнем 1 (рис. 19, а), на который поверх асбестовой изоляции 2 была навита нихромовая проволока 3.

Стержень хорошо изолирован 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.

Изоляция³ оказалась высокой. При последующем включении произошло то же самое:

- через несколько минут предохранитель перегорел.

На основании приведенного рисунка причина дефекта в [10] объясняется так:

- при включении стержень нагрелся и удлинился. Левый его конец прикоснулся к корпусу теплообменника: произошло короткое замыкание.

Через некоторое время стержень остыл и образовался зазор δ .

Принципиальная электрическая схема такого нагревательного устройства приведена на рисунке 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.

³ Здесь: Сопротивление изоляции.

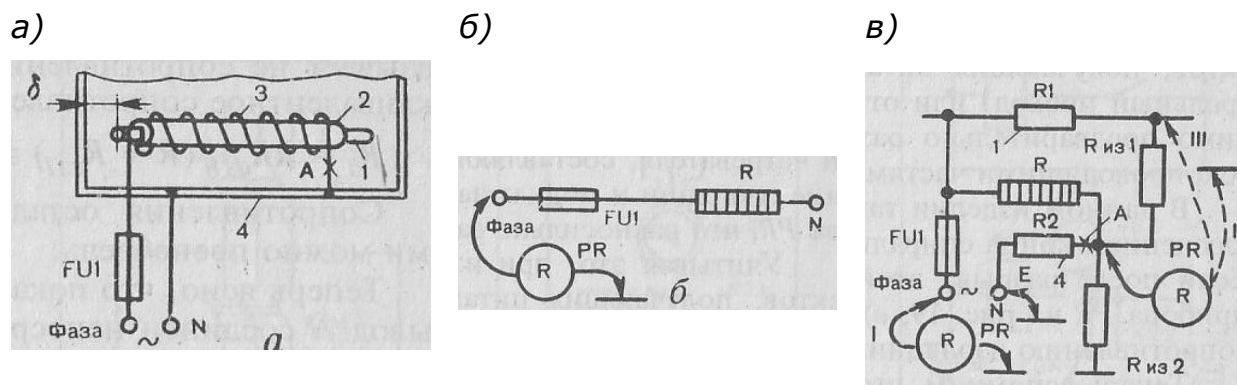


Рис. 19 Теплообменник

а- устройство, б – принципиальная схема, в - эквивалентная схема

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).

На схеме также показан мегаомметр *PR* (поз. 1 на рис. 19, в). Анализируя такую схему, становится очевидным, что прибор показывает не сопротивление изоляции *R_{из1}* или *R_{из2}* а некоторое эквивалентное сопротивление

$$R_3 = RR_{из1}/(R + R_{из1}) \approx R$$

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 *R* нагревателя, составляющее десятки Ом, шунтирует сопротивление изоляции и подключено непосредственно к выводам прибора *PR*, что равносильно замыканию их накоротко

Учитывая это, при измерении 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, а, в).

Если после разрыва этой цепи подключить мегаомметр (поз. II прибора *PR* на рис. 19, в), 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 *1* (поз. III прибора *PR* на рис. 19, в).

Показания прибора оказались равны нулю.

Следовательно, непосредственной причиной перегорания вставки предохранителя явилось не тепловое расширение стержня *1* (см. рис. 19, *а, в*), 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 *1*.
