

## 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 блока *M1* и *BP1*. Следовательно, продолжая выдвижение гипотез, необходимо рассмотреть «пропущенные» блоки.

Поэтому следующей гипотезой о причине дефекта может быть, например, такая:

- обрыв обмоток электродвигателя *M1*.

Что же касается дефектов в реле *BP1*, то перед выдвижением гипотез необходимо сделать некоторые уточнения. Согласно принципу работы системы управления одним из условий пуска двигателя является подача напряжения на катушку *K1.2* (см. рис. 4).

Для удобства нарисуем цепи отдельно (рис. 37).

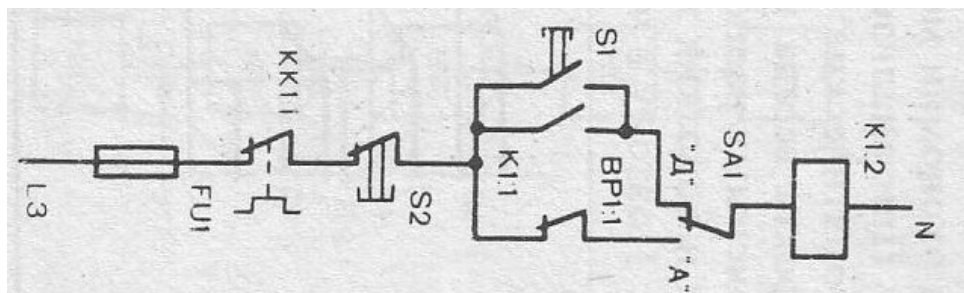


Рис. 37 Фрагмент схемы, приведенной на рис. 4

Анализ схемы показывает, что ряд элементов (*K1.2*, *S2*, *KK1.1*, *FU1*) работает в любом из двух режимов. Контакт *BP1.1* 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 необходимо, прежде чем выдвигать гипотезы о причине дефекта, 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 такую:

- несоответствие между режимом работы системы и выбранным органом управления.

Если же переключатель *SA1* находится в положении «Д», блок *BP1* может не рассматриваться, так как независимо от наличия или отсутствия дефектов в нем блок не влияет на работу системы в режиме дистанционного управления.

Дальнейшее выдвижение гипотез причине дефекта возможно только в том случае, если перейти к рассмотрению элементов, состав-

ляющих выделенные ранее блоки.

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

- перегорела вставка предохранителя  $FU1$ ;
- в результате перегрузки или короткого замыкания в главной цепи сработало электротепловое реле  $KK1$  и разомкнуло свой контакт  $KK1.1$  в цепи катушки  $K1:2$ .

В связи с тем, что согласно описанию дефекта, приведенному в примере 12, при нажатии на кнопку  $S1$  не срабатывает контактор  $K1$ , то следующей гипотезой о причине дефекта может быть такая:

- 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  $KK1$  и разомкнуло свой контакт  $KK1:1$  в цепи катушки  $K1:2$ ) 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 зависимых расцепителей этих выключателей в результате перегрузок и коротких замыканий в защищаемых ими цепях.

Поэтому в числе 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 их связей между собой. Но в любом случае выдвигая гипотезы обязательно следует учитывать вероятность 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 изображается ступенькой (рис. 38, точка 1), либо плавно уменьшиться. Так как при этом состояние блоков  $A3$  и  $BP1$  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  $M$  в момент времени  $t_3$ .

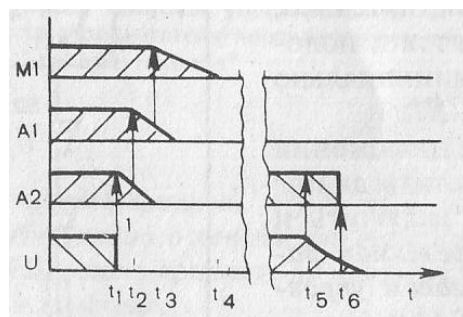


Рис. 38 Диаграмма взаимодействия блоков (см. рис. 4) при исчезновении напряжения

С этого момента двигатель  $M1$  начнет уменьшать частоту вращения и затем остановится (точка 5 диаграммы, момент времени  $t4$ ).

При плавном снижении напряжения (началу этого процесса соответствует точка 6 на диаграмме, момент времени  $t5$ ) отличие заключается только в том, что блок  $A2$  начнет отключаться с некоторым запозданием, равным

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

Время запаздывания определяется напряжением отпускания катушки  $K1:2$ . Дальнейший процесс аналогичен рассмотренному нами ранее.

**К задаче 3.** Восстанавливать пропущенные на рисунке 9 проверки начнем с первого исхода проверки  $\pi 1$  (рис. 39, а).

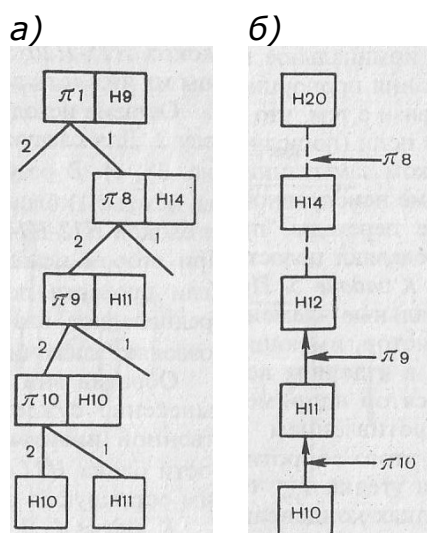


Рис. 39 Очередность выполнения, исходы (а) и точки (б) проверок

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  $p_8$  выберем выход блока  $H14$ , находящийся примерно посередине 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  $p_9$  выбираем выход блока  $H11$  (см. рис 39 б) В результате, выполнения проверки  $p_9$  также возможны два исхода:

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  $p_{10}$  выполним на выходе блока  $H10$ . Если проверка показывает исправность блока  $H10$  (исход 1), то предполагают, что неисправен блок  $H11$  Второй исход проверим  $p_{10}$  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  $p_{10}$ , 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, такие 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

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

конденсатора. Существование сопротивления утечки объясняет среди прочего и процесс саморазряда заряженного конденсатора.

В силу сказанного, эквивалентная схема интересующей нас цепи 1-2, по которой обеспечивается заряд конденсатора, будет отличаться от приведенной на принципиальной схеме (см. рис. 16) наличием сопротивления утечки  $R_{ут}$  (рис 40, а).

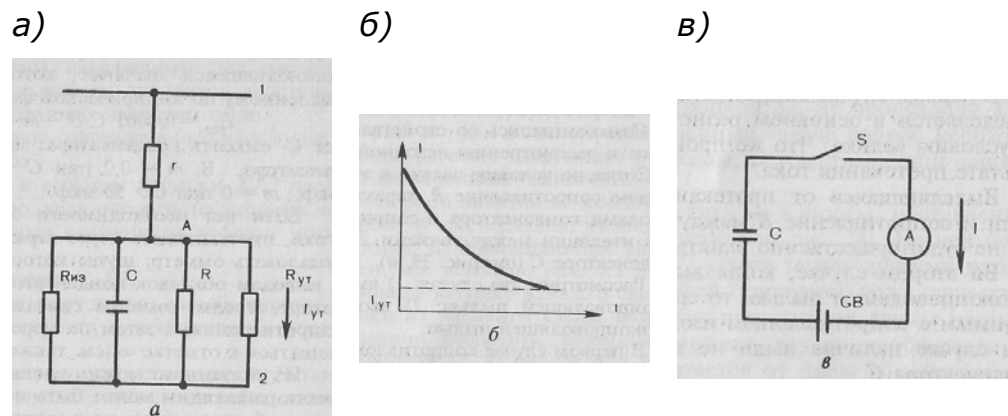


Рис. 40 Автоматическое повторное включение:

а – эквивалентная схема цепи 1-2,

б – изменение тока при заряде конденсатора,

в – схема проверки исправности конденсатора

Поэтому в реальной схеме, даже после полного заряда конденсатора  $C$ , в цепи 1-2 будет протекать некоторый ток  $I_{ут}$ . В силу сказанного сопротивление резистора  $r$  и сопротивление утечки  $R_{ут}$  образуют делитель напряжения. Соотношение этих сопротивлений и определит потенциал точки А.

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 изменится скачком и примет значение, определяемое напряжением источника и сопротивлением, шунтирующим обкладки конденсатора.

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

$$I_{ут} = 0,0001C \cdot U + m,$$

где  $C$  – емкость конденсатора, мкф;

$U$  – рабочее напряжение конденсатора, В;

$m = 0,2$  при  $C < 5$  мкф;  
 $m = 0,1$  при  $50 \text{ мкф} > 0,5 \text{ мкф}$ ;  
 $m = 0$  при  $C > 50$  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 отклонится в сторону нулевого сопротивления, а затем по мере заряда конденсатора будет 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 рисунке 16. Согласно условию задачи в эквивалентную схему должно быть введено 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  $C$  (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, когда выводы конденсатора шунтируются нетокопроводящей пылью, то сопротивление  $R$  оказывается соизмеримым с сопротивлением изоляции  $R_{из}$ . Следовательно, в данном случае наличие пыли не может помешать процессу заряда конденсатора  $C$ .

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?

Отвечая на этот вопрос, следует сказать, что наличие пыли может привести к «перекрытиям», то есть замыканиям, помимо предусмотренных схемой цепей, между точками схемы, находящимся 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 рисунку 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.** Данная схема (см. рис. 20), как и аналогичные релейно-контакторные схемы, должны 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  $K1M$  исправен, как исправно 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:

- запоминание пускового сигнала, подаваемого кнопкой  $S1$ , не происходит.

Следовательно, для ответа на поставленный 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. 24).

На ней показаны только две емкости  $C_{1-3}$  и  $C_{2-3}$ , 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 питается 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  $C_{3-4}$  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  $Z1$  и  $Z2$ .

Для ответа на первый вопрос необходимо оценить напряжение, подводимое к катушкам реле, то есть напряжение  $U14$  и  $V24$ . Эквивалентная схема показывает, что при равенстве всех емкостей максимальное значение этих напряжений (при  $Z1=Z2=\infty$ ) не может превышать половины напряжения  $U34$ .

Следовательно, если не рассматривать случай резонанса напряжений (для которого необходимо выполнение условия  $xL = xC$ , где  $xL$  и  $xC$  — реактивные сопротивления обмотки реле и конденсатора соответственно), ложное срабатывание реле  $K1$  и  $K2$  возможно только в том

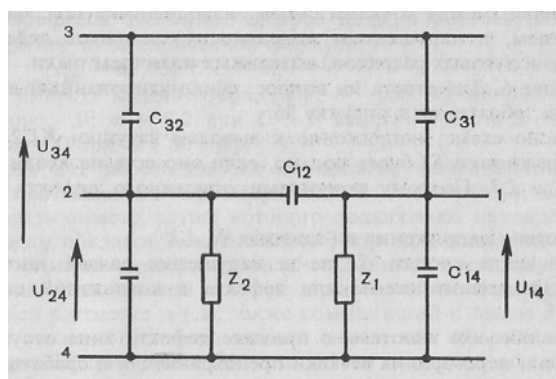


Рис. 41 Эквивалентная схема для  
схемы на рис. 24

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  $R1$ ,  $RA$  и сопротивление катушки  $K1$  тока  $I_k$  на каждом из этих элементов падает некоторое напряжение, сумма которых равна падению напряжения на шунте:

$$U = I_{max} \cdot R = I_k \cdot R1 + I_k \cdot RA + I_k \cdot Rk1$$

Для того, чтобы реле  $K1$  сработало, необходимо соблюдение следующего неравенства  $U_{сраб} < I_k \cdot Rk1$ .

Если реле не срабатывает, то для увеличения напряжения на его катушке можно воспользоваться регулировочным элементом – резистором  $RA$  (см. рис. 31,б).

Изменяя сопротивление резистора  $RA$  перераспределяют напряжение между элементами схемы. При  $RA=0$  все напряжение распределяется между двумя элементами –  $R1$  и  $Rk1$ .

Однако хотя изменение сопротивления этого элемента и позволяет перераспределить напряжение между элементами схемы, но с его помощью нельзя изменить уставку срабатывания реле  $K1$ .

Таким образом, если при  $RA=0$  реле не срабатывает, нужно обратиться к помощи регулировочного элемента, который на электрической 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:

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

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

Следовательно, при расчете элементов схемы на рис. 31, площадь сечения проводников следует выбирать не только по допустимой плотности тока, т.е. по соотношению  $S = Ik/\delta d$ , но и учитывать их сопротивление.

Потому 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 начнём 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  $K10:8$  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.

**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  $H1$ ;

2) обрыв цепи 1-2, соединяющей контакт датчика  $S1$  с лампой  $H1$ .

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  $S1$  напряжение поступает на лампу  $H1$ .

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 нарисует эквивалентную схему цепи 3-4 (рис. 42, а).

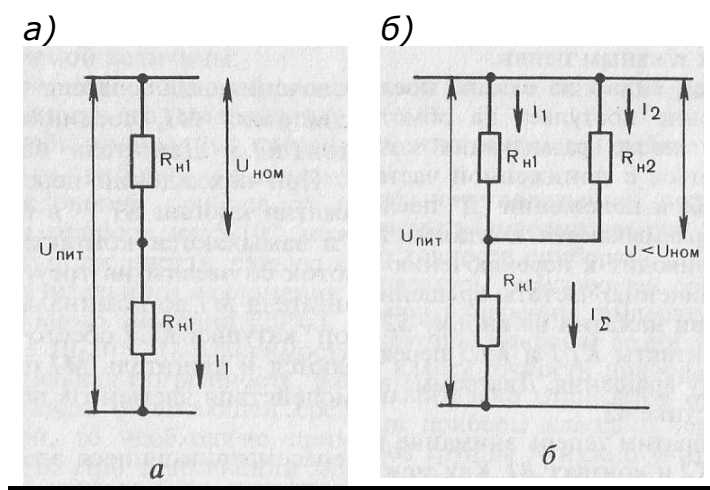


Рис. 42 Эквивалентная схема для схемы на рис. 34

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  $U < U_{ном}$  (42, б).

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

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

Обратимся теперь к главным цепям. Как видно из схемы, после включения выключателя  $QF$  напряжение поступает на обмотки двигателя  $M1$ , соединяемые в звезду после размыкания контактов  $K1.3$ . Двигатель начинает вращаться с пониженной частотой. При нахождении переключателя  $SA$  в положении «Д» после нажатия кнопки  $S1$  в главной цепи размыкаются контакты  $K 1.3$  и замыкаются контакты  $K 1.2$ , 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.

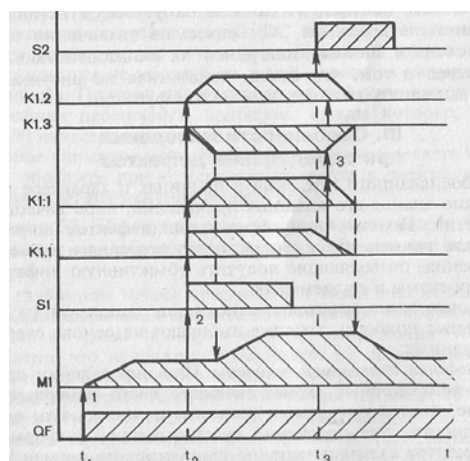


Рис. 43. Диаграмма взаимодействия элементов для схемы на рис. 36

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.