

VI. Проверка обмоток

Все обмотки, встречающиеся в релейно-контакторных схемах, подразделяют на две большие группы:

- не имеющие между собой индуктивной связи;
- индуктивно связанные обмотки.

Исправность обмоток первой группы обмоток характеризуется:

- целостью;
- отсутствием замыканий витков между собой;
- сопротивлением, зависящим от количества витков;
- площадью сечения и материалом провода, из которого выполнена обмотка;
- сопротивлением изоляции относительно корпуса и между витками.

Целость обмотки может быть проверена любым способом, рассмотренным в разделе IV.

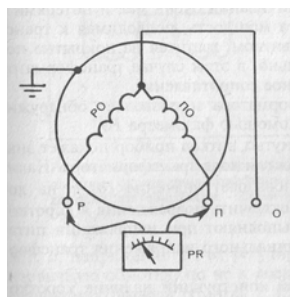
Обмоточные данные катушек одновременно с их целостью можно проверить также измерением их сопротивления на постоянном токе.

Практически такие измерения выполняют омметрами или мостами постоянного тока с погрешностью $\pm (2 - 3) \%$. Обычно считают пригодными катушки, сопротивление которых составляет от 90 до 115 % номинального значения (см. примеры 1 - 4).

Задача 37. Внутреннее короткое замыкание витков в двигателях холодильных установок проверяют омметром, измеряя сопротивление между контактами:

- рабочим и общим;
- пусковым и общим;
- рабочим и пусковым (рис. 92, а).

а)



б)

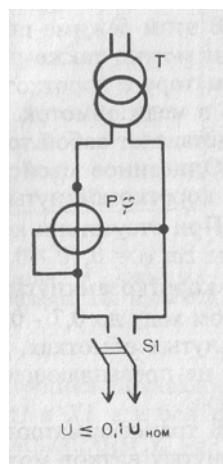


Рис. 92 Определение короткозамкнутых витков:

а - омметром,
б - фазометром

Самое большое сопротивление бывает всегда между рабочим и пусковым контактами, следующее по значению - между пусковым и общим контактами.

Всегда ли возможно определить наличие короткозамкнутых витков таким способом ?

Исправность обмоток электромагнитов, электродвигателей, трансформаторов можно проверить методом фазометра.

Пример 71. Определение короткозамкнутых витков в трансформаторе.

Требуется определить наличие короткозамкнутых витков в трансформаторе Т (рис. 92, б).

При холостом ходе трансформатора возникает несколько видов потерь:

- в меди первичной обмотки;
- в стали сердечника;
- добавочные холостого хода.

Потерями в меди первичной обмотки можно пренебречь, даже в трансформаторах малой мощности с относительно большим сопротивлением обмотки, поскольку мощность холостого хода расходуется только на потери в стали.

В этом случае трансформатор представляет собой только индуктивное сопротивление.

Короткозамкнутый виток в обмотке трансформатора представляет собой дополнительную вторичную обмотку, замкнутую на себя. В этом режиме поток намагничивания очень мал и потерями в стали можно также пренебречь, а мощность, подводимая к трансформатору с короткозамкнутым витком, тратится на покрытые потерь в меди обмоток.

Следовательно, в этом случае трансформатор представляет собой только активное сопротивление.

Описанное свойство трансформатора и позволяет обнаруживать короткозамкнутые витки с помощью фазометра $P\varphi$.

При отсутствии короткозамкнутых витков и холостом ходе трансформатора прибор покажет значение $\cos \varphi = 0,10 - 0,15$.

Наличие короткозамкнутых витков повышает значение $\cos \varphi$ на холостом ходу до $0,7 - 0,8$. Чтобы исключить повреждения в короткозамкнутых обмотках, проверку выполняют при напряжении питания, не превышающем 10 % номинального напряжения трансформатора.

В трансформаторах различной конструкции наличие короткозамкнутых витков может быть установлено при выполнении опыта холостого хода.

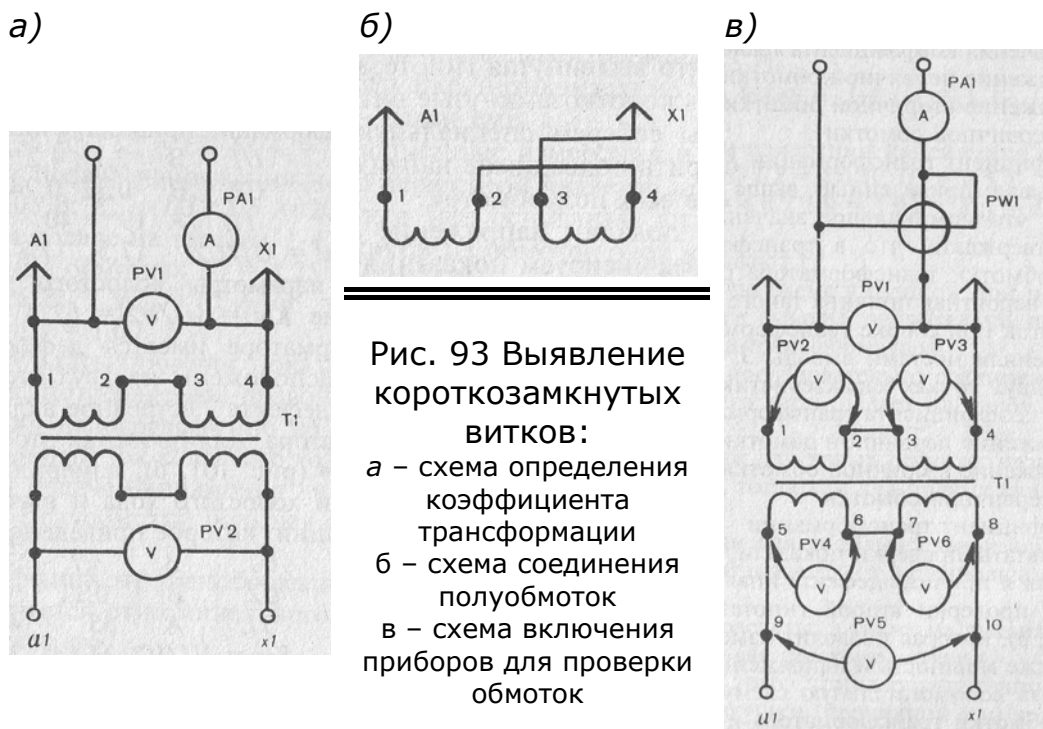
Пример 72. Выявление короткозамкнутых витков при определении параметров холостого хода.

Для определения коэффициента трансформации трансформатора Т1 была собрана испытательная схема, показанная на рис. 93, а.

Напряжение U_1 от регулируемого источника подавалось на первичную обмотку, но не к соединителям А1 и Х1, а к болтовому соединению вывода обмотки с проводом, припаянным к контакту соединителя.

Для контроля напряжения включили два вольтметра $PV1$ и $PV2$, а

потребляемый от источника ток измеряли амперметром *PA1*. Напряжение плавно увеличивалось от нулевого значения.



В связи с тем, что потребляемый трансформатором ток значительно превышал ток холостого хода при номинальном напряжении $I_{xx} = 14,5$ А, $U_{ном} = 380$ В, измерения произвели только в трех точках характеристики холостого хода. Результаты измерения, а также расчетные значения коэффициента трансформации приведены ниже:

Напряжение обмотки:	Точка 1	Точка 2	Точка 3
- первичной U_1 , В	2,1	4,2	5,0
- вторичной U_2 , В	0,12	0,24	0,28
Ток первичной обмотки I_1 , А	19,0	40,0	50,0
Коэффициент трансформации $k_m = U_1 / U_2$	17,5	17,8	17,8

Учитывая приведенные выше значения параметров холостого хода, а также то, что номинальное значение $K_m = w_1/w_2 = 62/4 = 15,5$, можно утверждать – в трансформаторе имеется дефект.

Поскольку обмотки трансформатора расположены на двух стержнях, наиболее вероятная причина такого дефекта – встречное включение полуобмоток при сборке трансформатора.

Для проверки этой гипотезы поменяли местами выводы 3, 4 (рис. 93, б), измерили параметры в двух точках характеристики холостого хода и вычислили значение коэффициента трансформации, которое приведено ниже:

Напряжение обмотки:	Точка 1	Точка 2
- первичной U_1 , В	3,7	4,6
- вторичной U_2 , В	0,11	0,13
Ток первичной обмотки I_1 , А	35,0	48,0
Коэффициент трансформации $k_m = U_1 / U_2$	33,64	35,38

Результаты проверки показали, что выдвинутая гипотеза несостоятельна и причина дефекта иная - короткозамкнутые витки.

Для проверки второй гипотезы соберем специальную схему (рис. 93, в), которая позволит измерить подводимое напряжение и ток, а также мощность и напряжение всех полуобмоток.

Собрав вспомогательную схему, подадим напряжение на первичные обмотки трансформатора и зафиксируем показания приборов:

$$\begin{aligned} U_1 &= 9,5 \text{ В;} \\ I_1 &= 35 \text{ А;} \\ P &= 300 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Зная, что $P = UI \cos \varphi$, вычислим по этим данным значение коэффициента мощности:

$$\cos \varphi = P / (UI) = 300 / (9,5 \cdot 35) = 0,9.$$

Таким образом, данная проверка подтверждает правильность второй гипотезы о причине дефекта:

- в трансформаторе есть короткозамкнутый виток.

Однако, учитывая, что в трансформаторе обмотки расположены на двух разных стержнях, недостаточно установить факт существования короткозамкнутых витков, необходимо еще указать, в какой из двух обмоток замыкание.

Для этого выполним несколько измерений, предварительно намотав поверх каждой из катушек, предусмотренных конструкцией трансформатора, вспомогательную обмотку из монтажного провода с числом витков, равным числу витков первичной обмотки:

$$W_{g1} = W_{g2} = 31$$

После этого подадим сетевое напряжение на выводы 1 - 2, а затем на выводы 3 - 4 и будем измерять напряжение на выводах соответствующих вторичных обмоток.

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 1 - 2:

$$U_2 = 5,5 \text{ В}; I_1 = 11 \text{ А}; U_4 = 0,35 \text{ В}; K_m = U_2 / U_4 = 15,71;$$

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 3 - 4:

$$U_3 = 1 \text{ В}; I_1 = 43 \text{ А}; U_6 = 0,05 \text{ В}; K_m = U_3 / U_6 = 20;$$

Результаты измерений и расчетов при подаче напряжения на выводы 1 - 4 и измерения напряжений на дополнительных обмотках:

$$U_1 = 4,25 \text{ В}; U_2 = 4,0 \text{ В}; U_3 = 0,5 \text{ В}; U_4 = 3,9 \text{ В}; U_6^1 = 0,5 \text{ В};$$

$$K_{m1} = U_2 / U_4 = 4,0 / 3,9 = 1,03;$$

$$K_{m2} = U_3 / U_6^1 = 0,5 / 0,5 = 1,00.$$

Результаты проверок показывают:

- ток, потребляемый правой по схеме катушкой при подаче напря-

жения непосредственно на ее выводы, значительно превышает номинальный ток холостого хода трансформатора;

- при подаче напряжения на последовательно соединенные первичные полуобмотки большая его часть падает на левой по схеме обмотке;

- коэффициент трансформации для левых обмоток незначительно отличается от номинального, тогда как для правых существенно превышает его;

- коэффициент трансформации для дополнительных обмоток на левой катушке незначительно отличается от номинального, а для правой - равен ему.

Выполненные измерения и расчеты, а также их анализ показывают, что дефектной является правая по схеме катушка.

Однако нет оснований для того, чтобы определенно утверждать, в какой из обмоток этой катушки (первичной или вторичной) произошло короткое замыкание.

В таких случаях может помочь **обратное питание трансформатора** - подача напряжения на вторичную обмотку. Порядок выполнения проверок и их содержание остаются прежними.

В связи с тем, что в данном случае на испытательной станции отсутствует источник напряжения достаточной мощности, выполнить эту проверку не представляется возможным.

Для уточняющей проверки закоротим вторичную обмотку трансформатора.

При закорачивании выводов 5-6 ток в первичной цепи трансформатора увеличился, а при закорачивании выводов 7-8 показания амперметра *РА1* остались неизменными.

При проверке следует учитывать мощность трансформатора и закорачивать вторичную обмотку перемычкой, сопротивление которой значительно меньше сопротивления обмотки. В противном случае режим работы вторичной обмотки не будет изменяться и соответственно замыкание ее цепи не изменит тока в цепи первичной обмотки.

На основании выполненных проверок можно утверждать, что причина дефекта в замыкании во вторичной обмотке правой по схеме катушки. После разборки катушки и осмотра поверхности ленты, из которой она намотана, было обнаружено два места замыкания витков.

В катушке без сердечника короткозамкнутые витки могут быть выявлены с помощью специальных устройств (рис. 94).

Основу этого устройства составляет мост, плечи которого составлены из резисторов *R2, R3, R4, R5, R6* и генератора *G1*. Резонансный контур генератора, определяющий частоту генерируемых им сигналов, образован из катушки *L3* с ферромагнитным сердечником и конденсатора *C2*.

К одной диагонали моста подведено напряжение постоянного тока, а во вторую диагональ включен микроамперметр *P*.

Перед проверкой катушки, изменяя сопротивления резисторов *R3* и *R4*, добиваются нулевых показаний прибора *P*.

После этого проверяемую катушку надевают на тот же сердечник, на котором расположена катушка $L3$. Если в проверяемой катушке нет короткозамкнутых витков, то частота генератора не изменится и стрелка прибора P останется против нулевого деления шкалы.

В том случае, когда в проверяемой катушке есть замкнутые витки, то сопротивление колебательного контура изменится, что изменяет и ток генератора, протекающий через одно из плечей моста. Это приводит к нарушению равновесия моста и появлению тока в диагонали, где включен прибор P . Поэтому стрелка прибора отклонится из нулевого положения.

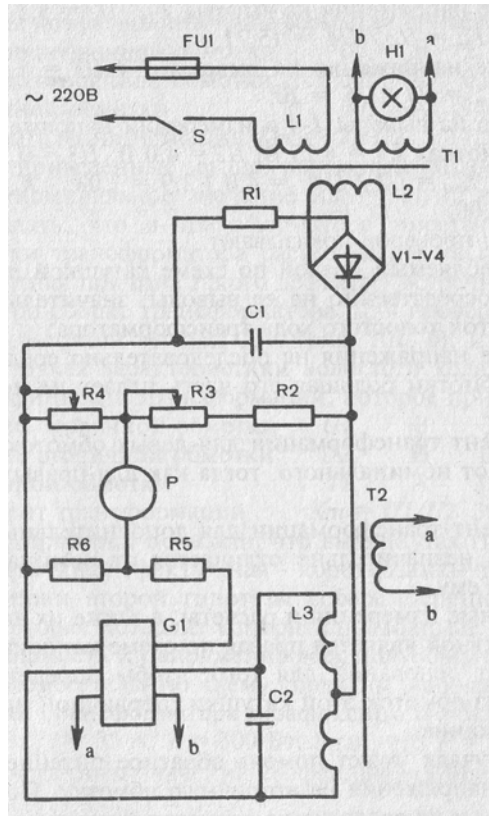


Рис.94 Схема устройства для обнаружения короткозамкнутых витков

Для нахождения короткозамкнутых витков в обмотке реле и контакторов можно рекомендовать измерение тока (напряжения) их срабатывания.

Критерием наличия короткозамкнутых витков служит увеличение тока (напряжения) срабатывания (см. примеры 1-4).

Недостатком этого простого способа проверки является его низкая точность, особенно для реле постоянного тока, находившихся в эксплуатации. Кроме того, измерение только напряжения (тока) срабатывания не позволяет в некоторых случаях различить, что именно повлияло на увеличение тока:

- короткозамкнутые витки катушки;
- дефекты в подвижной части реле.

Если известно значение тока (напряжения) срабатывания и допуск на него, то этот способ может оказать существенную помощь и при поиске дефекта в релейно-контакторных схемах.

Для определения тока (напряжения) срабатывания используют типовую схему, причем в зависимости от мощности, потребляемой катушкой, для регулирования тока (напряжения) используют потенциометры или лабораторные автотрансформаторы или в сочетании с понижающим трансформатором. Факт и момент срабатывания фиксируются визуально по сигнальной лампе *H1* (см. рис. 95,а).

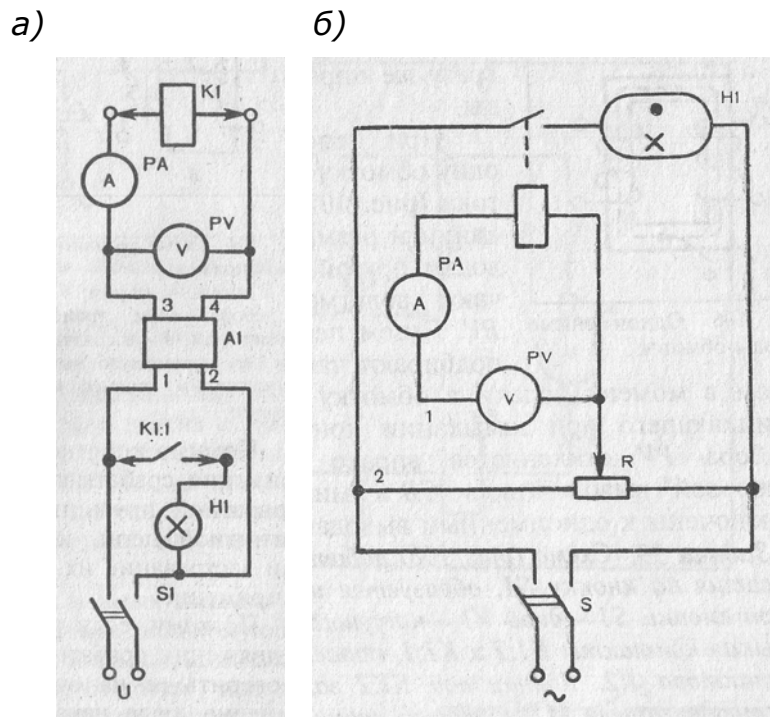


Рис. 95 Схемы для определения уставок срабатывания реле

Регуляторы (рис. 96) включают в точки 1 - 4 схемы проверки реле, в которой для контроля параметров срабатывания реле предусмотрены амперметр *PA* и вольтметр *PV* (см. *A1* на рис. 95,а).

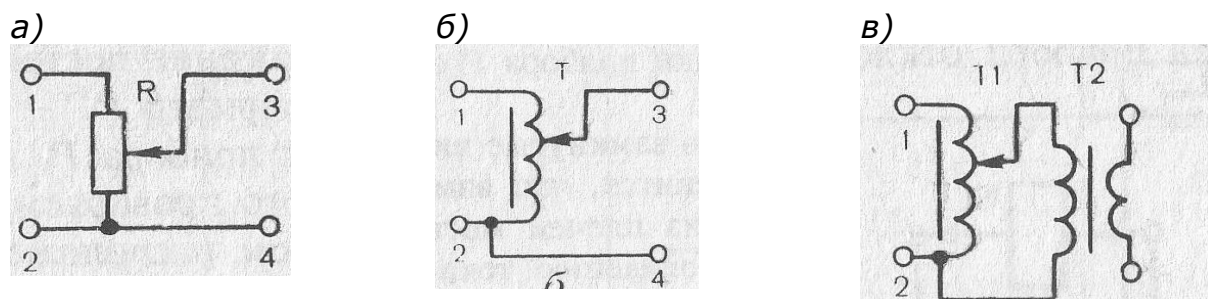


Рис. 96 Схемы регуляторов напряжения

Уставку срабатывания реле определяют при плавном увеличении напряжения, подводимого к обмотке реле, так как увеличение скорости возрастания напряжения приводит к уменьшению уставки срабатывания. После чего проверяют срабатывание реле при мгновенном включении напряжения.

Снижение напряжения срабатывания реле по сравнению с номинальным в основном определяется либо чрезмерным ослаблением возвратной пружины или уменьшенным зазором между якорем и сердечником.

В реле и контакторах со сменной катушкой в этом случае надо также проверить соответствие параметров, указанных на катушке, напряжению питания, так как перед регулировкой реле нужно убедиться, что в реле не установлена катушка на более низкое напряжение.

Помимо короткозамкнутых витков к увеличению значения напряжения срабатывания может приводить:

- сильная затяжка возвратной пружины;
- увеличенные сверх номинальных зазоры в магнитной цепи;
- неправильная сборка движущихся частей реле;
- «застревание» движущихся частей реле;
- установка катушки на более высокое напряжение.

Поэтому, если результат проверки дает повышенное значение напряжения срабатывания, прежде чем браковать катушку следует проверить ее на отсутствие всех перечисленных выше дефектов.

Конечно, реле неразборной конструкции, в котором невозможно установить точную причину дефекта, приходится браковать, если напряжение его срабатывания не соответствует норме.

Задача 38. Для проверки напряжения срабатывания в испытательную схему включили реле. После подачи напряжения оказалось, что схема неработоспособна.

Для поиска дефекта была сделана натурная съемка схемы (рис. 95, б).

Указать проявления дефекта и его причину.

Для того, чтобы быть уверенным в исправности изделий и элементов, содержащих индуктивно связанные обмотки, недостаточно убедиться в целостности обмоток и отсутствии в них короткозамкнутых витков. В этом случае важным оказывается обеспечить определенное электромагнитное взаимодействие обмоток или их частей, то есть необходимо знать начало и конец обмотки, или как еще говорят, **полярность их выводов**.

Когда говорят **«начало обмотки»**, то имеют в виду не обязательно ту её часть, с которой начинают изготовление обмотки, а условное начало, зависящее от направления намотки и расположения ее на магнитопроводе относительно других обмоток.

По принятому определению **одноименными**, или **однополярными**, выводами обмоток, расположенных на одном и том же магнитопроводе, считают такие, которые при наличии потока в нем имеют один и тот же знак ЭДС. Эти выводы на рисунке 97, а отмечены знаком *.

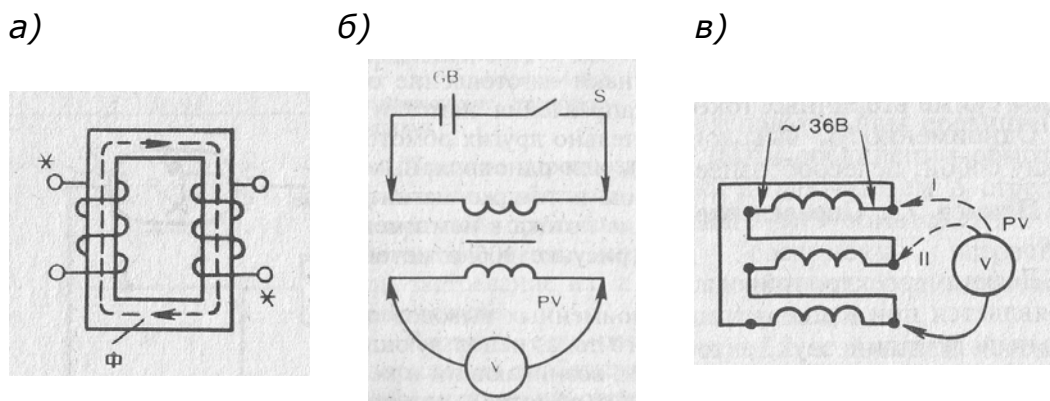


Рис. 97. Одноименные выводы:

а – к определению понятия, б- поиск одноименные выводов двух индуктивно связанных обмоток, в – поиск одноименных выводов на переменном токе

Более общим методом определения одноименных выводов обмоток является метод импульсов постоянного тока, использующий правило Ленца. Согласно этому правилу, ток, возникающий в контуре (в данном случае таким контуром служит обмотка), под действием наведенной ЭДС, всегда направлен так, что противодействует изменению магнитного потока сквозь контур (обмотку).

Применяя это правило к индуктивно связанным обмоткам, в одну из которых подают ток от постороннего источника, а на выводах второй измеряют наведенную ЭДС, можно сразу же определить их одноименные выводы.

При использовании данного метода в одну обмотку подают импульсы постоянного тока (рис. 97, б) от источника GB при замыкании и размыкании цепи ключом S . К выводам другой обмотки поочередно подключают вольтметр постоянного напряжения PV . Путем переключения щупов вольт-метра подбирают такое его подключение, при котором в момент подачи в обмотку импульсов постоянного тока, возникающего при замыкании контакта выключателя S стрелка прибора PV отклоняется вправо от нулевой отметки. Тогда «плюсовой» вывод батареи GB и «минусовой» вывод вольт-метра $P1$ подключены к одноименным выводам обмоток.

Задача 39. Схема (рис. 98) работает следующим образом. После нажатия на кнопку $S1$, образуется цепь:

«плюс» - замыкающий контакт кнопки $S1$ - диод VI - катушка $K 1.1$.

Реле $K1$ срабатывает и, замыкая контакты $K 1:2$ и $K1:1$, подает напряжение на катушку $K2.1$ контактора $K2$. Контактор $KK2$ замыкает контакт $K2:2$ в цепи электродвигателя $M1$, который начинает вращаться. От тока, протекающего через двигатель $M1$, срабатывает реле $K3$ и контактом $K3.1$ шунтирует кнопку $S1$. После этого схема продолжает работу и при разомкнутом контакте кнопки $S1$.

После отключения разъединителя путевой выключатель SQ разомкнет контакт и отключит контактор $K2$. Вследствие этого с двигателя $M1$ снимается напряжение, ток в обмотке реле $K3$ прекращается, контакт

КЗ:1 размыкается и катушка К1.1 обесточивается, а контакты К1:1 и К1:2 замыкаются.

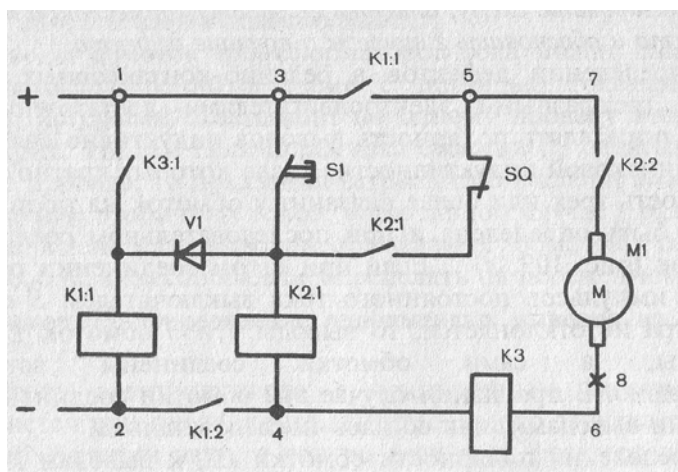


Рис.98 Схема управления электродвигателем привода разъединителя

Дефект в описанной схеме проявляется в том, что после нажатия на кнопку S1 двигатель М1 начинает вращаться, но в самом начале движения ножа разъединителя реле КЗ отпускает, отключает реле К1 и снимает питание с электродвигателя, оставляя разъединитель в опасном положении, когда нож касается губок.

Проверка монтажа показала, что все элементы соединены в соответствии с принципиальной схемой.

Проанализировать схему, описать ее работу совместно с проявлениями дефекта и обосновать гипотезы о причине дефекта.

При определении дефектов в релейно-контакторных схемах управления трехфазными электродвигателями достаточно часто приходится определять полярность выводов индуктивно связанных обмоток, одинаковой индуктивности, число которых кратно трем.

Полярность трех или более связанных обмоток на постоянном токе может быть определена и при последовательном соединении двух обмоток (рис. 99, а)¹.

Если при таком соединении обмоток при подаче импульсов постоянного тока выключателем S стрелка гальванометра не отклоняется, то выводы 1 и 3 обмоток $L1$ и $L2$ однополярны, а сами обмотки соединены встречно-последовательно.

В противном случае эти обмотки соединены разнополярными выводами, или согласо-последовательно.

¹ Следует учитывать, что начало и концы обмоток определяют именно в тех случаях, когда обозначения выводов нанесены неправильно или вообще отсутствуют. Таким образом, полярность обмоток на самом деле не так очевидна, как можно судить по приведенному рисунку.

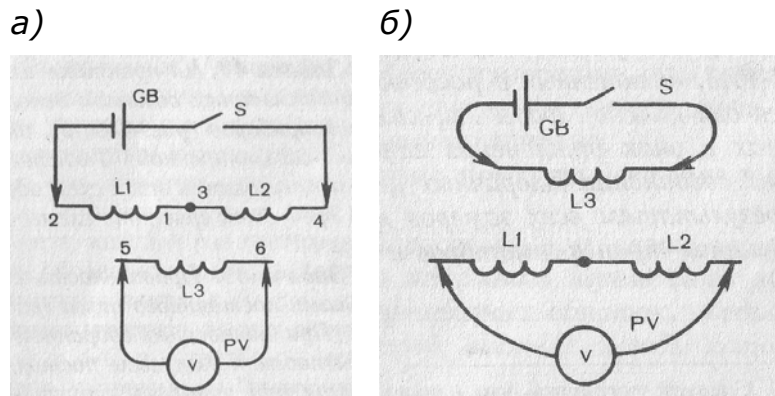


Рис. 99. Схема определения одноименных выводов трех индуктивно связанных обмоток одинаковой индуктивности:

- а – при подаче контрольного напряжения на две последовательно соединенные обмотки,
 б – то же, но на одну обмотку

Для определения полярности обмотки $L3$, к выводам которой был присоединен прибор PV , необходимо включить последовательно с любой из двух других обмоток, а к выводам третьей присоединить прибор и повторить описанные выше действия.

Задача 40. На практике для определения полярности трех индуктивно связанных обмоток используют другую схему соединения обмоток и приборов (рис. 99, б), имеющую преимущества по сравнению с ранее рассмотренной.

Технология определения одноименных выводов при использовании этих схем одинакова.

Сравнить схемы и назвать преимущества схемы на рис. 99, б.

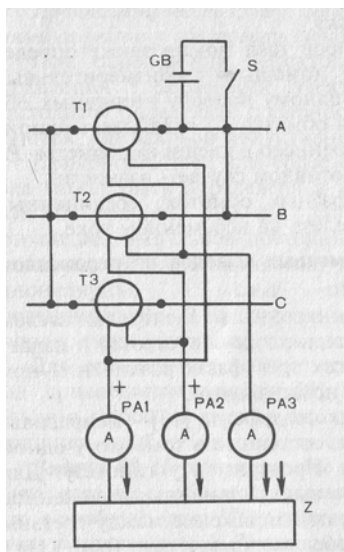
Задача 41. Правильность соединений трансформатора тока импульсами постоянного тока (рис. 100, а) проверяют следующим образом.

При полностью собранной схеме токовых цепей в одну или две фазы подают импульсы постоянного тока от источника GB . Возникающие при этом во вторичных цепях трансформаторов тока импульсы фиксируются с помощью миллиамперметров постоянного тока $PA1 - PA3$, включенных в рассечку вторичной цепи. Проверки повторяются для каждой фазы или каждой пары фаз.

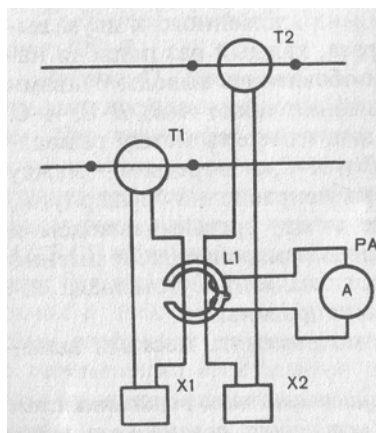
Как видно из рисунка, размах и знак отклонения стрелки прибора PA будут зависеть от схемы соединения вторичных цепей трансформаторов тока. Поэтому по результатам всех замеров можно сделать вывод о правильности соединения трансформаторов и выявить допущенную ошибку в соединении.

Сравнить словесное описание работы схемы с ее изображением на рис. 100, а и найти схемную ошибку.

а)



б)



в)

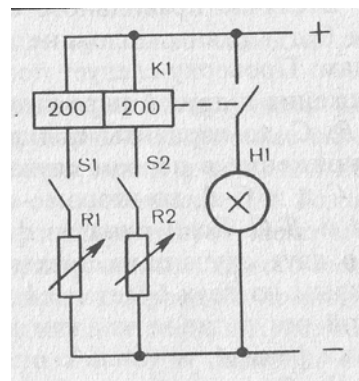


Рис. 100 Схемы определения одноименных выводов:

а – трансформаторов тока импульсами постоянного тока, б – то же, токоизмерительными клещами, в – двухобмоточных реле

Выводы обмоток трансформаторов тока можно также определить непосредственно в схеме с помощью токоизмерительных клещей, которыми охватывают по одному проводу вторичных обмоток (рис. 100, б).

Если первичная обмотка $L1$ охватывает одноименные провода, то показания встроенного в клещи амперметра PA равны сумме вторичных токов, в противном случае - разности.

Одноименность выводов трехфазных обмоток, соединенных между собой, целесообразнее определять на переменном токе.

Пример 73. Определение одноименных выводов на переменном токе.

Дефект электропривода с асинхронным электродвигателем проявляется при пуске, когда двигатель плохо запускается и издает сильный гудящий звук, а ток во всех трех фазах различен и при холостом ходе двигателя превышает номинальный.

Согласно [13] наиболее вероятная причина такого дефекта - неправильное включение фаз обмотки статора, состоящее в том, что у одной из фаз поменяли начало и конец.

Проверим эту гипотезу. Для этого сначала подадим на любые два вывода машины пониженное напряжение (10 % от $U_{ном}$) и измерим напряжение между третьим выводом и каждым из выводов, присоединенным к сети (рис. 97, в).

В случае правильного соединения фаз обмотки эти напряжения будут равны половине напряжения, приложенного к двум выводам. Проверку следует повторить 3 раза, каждый раз подводя напряжение к другой паре выводов.

Обозначив выводы буквами A, B, C , получим такие варианты подключения питания такие $A-B, B-C, A-C$.

Напряжение в первом случае необходимо измерять между выводами $C-A$ и $C-B$, во втором - между $A-B$ и $A-C$, а в третьем - между $B-A$ и $B-C$.

Если одна из фаз включена неправильно, или как говорят «**вывернута**», то в двух случаях из трех напряжение между третьим выводом и каждым из двух будет неодинаково. Здесь измерения дали именно такой результат, а так как в этих двух случаях присутствовала обмотка фазы A , то именно она включена неправильно.

Для устранения дефекта необходимо поменять местами выводы обмотки.

Задача 42. Используя материал примера 73, нарисовать все варианты схем измерения напряжений и подключения источника переменного тока для определения полярности выводов трехфазных обмоток, соединенных без выведенной нулевой точки звездой, внешние выводы которых имеют обозначения $C1$, $C2$, $C3$.

Хотя рассмотренные способы определения начал и концов обмоток пригодны и для многообмоточных реле, однако на практике поступают по-иному.

В каждой из обмоток с помощью регулировочных резисторов $R1$ и $R2$ (см. рис. 100, в) устанавливают ток, недостаточный для срабатывания реле, затем включают ток в обеих обмотках.

Если реле срабатывает (загорается лампа $H1$), то обмотки соединены согласно и одноименными у них являются выводы, подключенные к одному и тому же полюсу источника питания.