

Занятие № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Цель занятия: изучить конструкцию, характеристики и методику выбора низковольтных автоматических выключателей.

1. Конструкция и основные характеристики автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) постоянного и переменного тока выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении. Они предназначены для нормальной коммутации и защиты электрических цепей от различных аварийных режимов: токов короткого замыкания и перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и других. Устройства, реализующие функции защиты в автоматических выключателях, называются расцепителями.

Расцепители АВ, типовые схемы которых приведены на рис. 5.1 могут реагировать на различные виды повреждений.

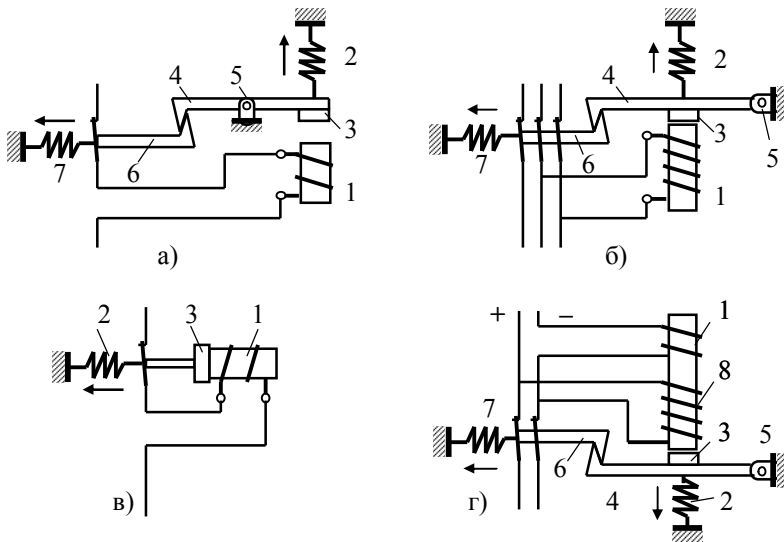


Рисунок 5.1 - Схемы расцепителей автоматических выключателей: а – максимального тока; б – минимального напряжения; в – минимального тока; г – обратной мощности

Расцепители автоматов максимального тока (рис. 5.1-а) реагируют на повышение тока в цепи сверх установленного допустимого значения. В нормальном рабочем положении контакты выключателя замкнуты. Пружина 2 создает усилие, достаточное для удержания рычага 6, механически связанного с контактами, защелкой 4. Как только ток превысит установленное значение, усилие, развиваемое электромагнитом 1, превысит противодействие пружины 2, и притянет якорь 3. Механически связанная с якорем защелка 4 повернется относительно оси 5 по часовой стрелке и освободит рычаг 6. Под действием пружины 7 контакты автоматического выключателя разомкнутся. Путем регулирования натяжения пружины 2 можно регулировать и уставку расцепителя. Включение автоматического выключателя после срабатывания осуществляется вручную.

Расцепители автоматов минимального напряжения (рис. 5.1-б) реагируют на понижение ниже допустимого уровня напряжения в защищаемых цепях, поэтому катушка электромагнита 1 у них включается в сеть параллельно. В нормальном рабочем положении усилие, развиваемое электромагнитом 1 больше силы противодействия пружины 2, поэтому якорь 3 притянут к электромагниту, а защелка 4 удерживает рычаг 6. Если напряжение станет меньше допустимого, усилия электромагнита 1 окажется недостаточно для удержания якоря 3, и защелка 4 повернется вокруг оси 5 по часовой стрелке, освобождая рычаг 6. Под действием пружины 7 контакты разомкнутся. Уставка напряжения регулируется с помощью пружины 2.

Расцепители автоматов минимального тока (рис.5.1-в) ограничивают нижний предел тока, и применяются в цепях возбуждения синхронных машин и машин постоянного тока. Они удерживают контакты в замкнутом положении до тех пор, пока ток в катушке электромагнита 1 имеет значение, достаточное для того, чтобы притягивать якорь 3, преодолевая противодействие пружины 2. Как только ток уменьшится до нормируемого минимального значения, натяжение пружины 2 станет больше силы притяжения якоря 2 к электромагниту, контакты выключателя разомкнутся.

Расцепители обратной мощности и обратного тока (рис. 5.1-г) применяются в цепях постоянного тока для контроля их полярности. Полный магнитный поток, от которого зависит тяговое усилие электромагнита, создается в результате взаимодействия потоков последовательной катушки 1 и параллельной катушки 8. При нормальном направлении мощности потоки эти направлены согласно, и ре-

зультулирующий магнитный поток создает усилие, достаточное для того, чтобы якорь 3 преодолел противодействие пружины 2, а защелка 4 удерживала рычаг 6. Если полярность тока в цепи изменится на противоположную, результирующий магнитный поток резко уменьшится, поскольку потоки катушек 1 и 8 в этом случае будут направлены встречно. В результате защелка 4 освободит рычаг 6, и под действием пружины 7 контакты разомкнутся и разорвут защищаемую цепь.

Большинство **АВ** имеют комбинированную защиту, реагирующую на несколько видов аварийных режимов. Устройство универсального выключателя показано на рис. 5.2. Механизм свободного расцепления, состоящий из шарнирно связанных рычагов 12, 13, 14 и опоры, обеспечивает отключение, при котором скорость расхождения контактов не зависит от действий оператора.

Механизм включается вручную путем поворота рукоятки 15 по часовой стрелке. Вначале замыкаются дугогасительные контакты 5, находящиеся в камере 3 (их удар смягчается пружиной 4), затем – система главных контактов 6. При этом пружина 2 растягивается. Автоматическое отключение происходит под действием одного из расцепителей. Для защиты от длительных, но относительно небольших по величине перегрузок используется тепловой расцепитель 7, содержащий биметаллическую пластину и нагревательный элемент, подключенный параллельно резистору 8. Время срабатывания теплового расцепителя зависит от величины тока перегрузки. Расцепитель максимального тока

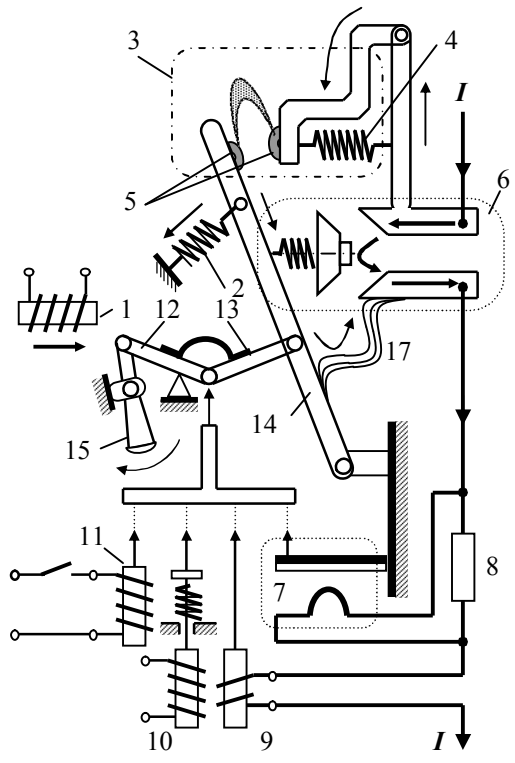


Рисунок 2 - Устройство универсального автоматического выключателя

максимального тока

состоит из катушки с сердечником 9 и якорька. Если ток в катушке многократно превысит номинальное значение, якорек притянется к сердечнику, и переместит механизм расцепления вверх, выводя рычаги из «мертвого» положения. Предварительно взведенная пружина 2 оттягивает рычаг 14 влево и размыкает контакты выключателя. В расцепителе минимального напряжения 10 также имеются сердечник с катушкой и якорек. Если напряжение на катушке находится в допустимых пределах, якорек преодолевает сопротивление пружины и притягивается к сердечнику. При уменьшении напряжения пружина преодолевает сопротивление якорька и, воздействуя на рычаги механизма расцепления, отключает автомат. Срабатывание любого из расцепителей приводит к «излому» рычагов, после которого автомат необходимо включать в следующей последовательности. Вначале рукоятку 15 поворачивают до упора против часовой стрелки, чем взводят механизм свободного расцепления. Рычаги 12 и 13 выпрямляются и создают жесткую связь. Затем рукоятку 15 поворачивают в противоположном направлении, замыкая контакты выключателя. Рычаги при этом занимают «мертвое» положение. Ручное отключение производится поворотом рукоятки 15, дистанционное – путем замыкания контакта в цепи катушки электромагнита 11. Дистанционное включение можно осуществлять автоматически, с помощью электромагнита 1.

Основными характеристиками автоматических выключателей являются номинальное напряжение ($U_{a,ном}$) и номинальный ток ($I_{a,ном}$).

Номинальным напряжением АВ называется напряжение, при котором нормируются его технические характеристики.

Номинальным током называется установленное изготовителем значение тока, протекающего через автоматический выключатель при указанной контрольной температуре окружающей среды, при котором он может работать в течение неограниченно длительного времени.

Расцепители автоматических выключателей также характеризуются номинальным током $I_{рц,ном}$, под которым понимается наибольший ток, протекание которого не вызывает срабатывания, током срабатывания $I_{рц,ср}$ и временем срабатывания $t_{ср}$. Зависимость этого времени от величины тока срабатывания называется *защитной характеристикой*. Тепловые расцепители осуществляют максимальную токовую защиту. Сочетание теплового и электромагнитного расцепителей позволяет осуществлять двухступенчатую защиту. При относительно небольших перегрузках она действует с зависимой выдержкой времени, а при коротких замыканиях – без выдержки времени.

В качестве примера на рис. 5.3 показаны защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматических выключателей широко распространенной серии А 3110.

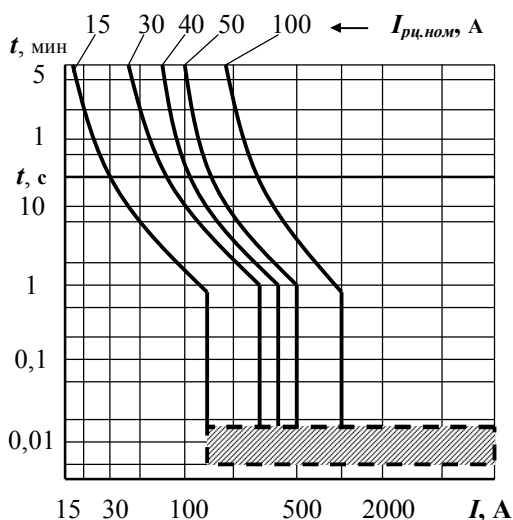


Рисунок 5.3 - Защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматических выключателей серии А3110

Существует большое количество автоматических выключателей, которые различаются между собой по типу расцепителей и осуществляемых защит, конструкции, и другим критериям.

Автоматические выключатели серии А 3700 на номинальные токи до 630 А выпускаются в двух модификациях – селективные (С), и токоограничивающие быстродействующие (Б). Селективные выключатели снабжаются полупроводниковыми расцепителями серии РП, которые обеспечивают двухступенчатую токовую защиту и могут настраиваться в условиях эксплуатации. Расцепитель выключателя типа **А 3790 С** содержит три ступени токовой защиты. Первая ступень обеспечивает отключение без выдержки времени (токовую отсечку) при токах свыше 20 кА. Вторая ступень – токовая отсечка с выдержкой времени, позволяет осуществлять селективную защиту нескольких последовательных участков сети. Токовая отсечка в этом случае имеет независимую регулируемую выдержку времени: 0,1; 0,25 и 0,4 с. Третья ступень – максимальная токовая защита, позволяет изменить наклон защитных характеристик расцепителя таким образом, что при

токе, равном $6I_{рц.ном}$ можно получить выдержки времени, равные 4, 8 и 16 с. Все быстродействующие выключатели снабжаются полупроводниковыми расцепителями с токовой отсечкой без выдержки времени. Токоограничивающее устройство под действием электродинамических сил размыкает контакты выключателя прежде, чем ток короткого замыкания достигает максимального значения.

Автоматические выключатели серии «Электрон» на номинальные токи до 6300 А и предельно отключаемые токи до 100 кА снабжены регулируемыми полупроводниковыми расцепителями типа РМТ. Они позволяют выполнять трехступенчатую токовую защиту с зависимой и независимой выдержкой времени третьей ступени. Выдержка времени второй ступени может устанавливаться на 0,25; 0,45 и 0,7 с.

Автоматические выключатели серии ВА в зависимости от их назначения и номинального тока содержат различные комбинации тепловых, электромагнитных и полупроводниковых расцепителей. Селективные выключатели ВА 55 и ВА 75 имеют три ступени защиты и допускают дискретную регулировку номинального тока полупроводниковых расцепителей типа БПР. Выдержки времени при токе $6I_{рц.ном}$ составляют 4, 8 и 16 с. Выдержка времени второй ступени защиты устанавливается равной 0,1; 0,2 или 0,3 с. Не селективные выключатели ВА 51 и ВА 52 имеют электромагнитные и тепловые расцепители, или только электромагнитные. Электромагнитные расцепители осуществляют первую ступень защиты, а тепловые – третью.

2. Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматических выключателей в общем случае является сложной задачей, поскольку он зависит от конфигурации и параметров защищаемых цепей. При этом необходимы предварительные расчеты токов короткого замыкания на различных участках сетей и согласование действия защит. Общими при выборе всех АВ являются следующие требования:

- номинальное напряжение автомата $U_{а.ном}$ не должно быть ниже напряжения сети, в которой он установлен, а его отключающая способность должна быть не ниже максимального тока короткого замыкания на участке, который он защищает;
- номинальный ток расцепителя $I_{рц.ном}$ не должен быть меньше максимального рабочего тока $I_{раб.мах}$, который может длительно протекать по защищаемой линии с учетом возможной перегрузки.

Расцепители автоматических выключателей должны действовать селективно, т.е отключать только поврежденный участок.

Селективность действия автоматических выключателей обеспечивается путем согласования защитных характеристик их расцепителей. Чем ближе к источнику питания расположен **АВ**, тем больше должна быть уставка тока расцепителя, и тем выше должна располагаться его защитная характеристика. В сетях напряжением до 1 кВ необходимо согласование селективности действия автоматических выключателей и предохранителей. Многообразие условий, в которых работают защитные аппараты, приводит к тому, что в некоторых случаях полной селективности их действия достигнуть невозможно.

Автоматические выключатели широко применяются для защиты асинхронных электродвигателей, которые составляют до 50% всех потребителей электроэнергии. Пусковой ток асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в 5 – 7 раз превышает номинальный. Кроме того, необходимо учитывать и возможность возникновения ударных токов, которые могут вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей автоматических выключателей. С учетом этого уставка по току электромагнитных расцепителей $I_{рц.ЭМ}$ для одного электродвигателя выбирается исходя из условия:

$$I_{рц.ЭМ} \geq (1,5 - 1,8) I_{пуск.}, \quad (5.1)$$

а для группы электродвигателей:

$$I_{рц.ЭМ} \geq (1,5 - 1,8) \left(\sum_{i=1}^n I_{ном.i} + (I_{пуск.маx} - I_{ном.маx}) \right), \quad (5.2)$$

где $\sum_{i=1}^n I_{ном.i}$ – сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей; $(I_{пуск.маx} - I_{ном.маx})$ – максимальная разность между пусковым и номинальным токами.

Уставки тепловых расцепителей выбираются по номинальному току двигателя (или группы двигателей) с учетом условий пуска:

$$I_{рц.Тепл.} \geq (1,0 - 1,5) \sum_{i=1}^n I_{ном.i}. \quad (5.3)$$

Наименьшие значения коэффициента запаса выбираются при легких условиях пуска, наибольшие – при тяжелом пуске мощных двигателей. Номинальный и пусковой токи (при отсутствии иных данных) определяются по формулам:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3 U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}, \quad (5.4)$$

$$I_{\text{пуск}} = k_1 I_{\text{ном}} \quad (5.5)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности двигателя; $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение обмотки двигателя, при соединении обмоток АД по схеме «звезда» $U_{\text{н.У}} = 220 \text{ В}$, при схеме обмоток «треугольник» $U_{\text{н.Δ}} = 380 \text{ В}$, η – КПД двигателя; k_1 - кратность пускового тока.

3. Снятие защитной характеристики теплового расцепителя автоматического выключателя

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда, используемая для снятия защитных (время-токовых) характеристик АВ показана на рис. 5.4.

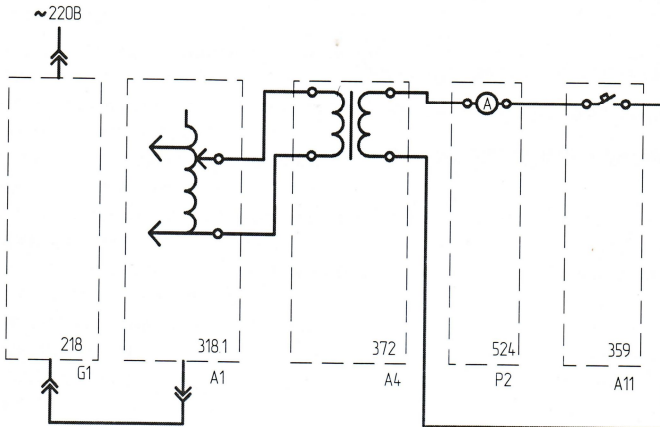


Рисунок 5.4 – Схема электрических соединений стенда для снятия защитных характеристик автоматического выключателя

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых в эксперименте блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис. 5.4;
- включить **AB** и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания **G1**, и выключатель СЕТЬ измерителя тока и времени **P2**;
- поворотом по часовой стрелке установить рукоятку автотрансформатора **A1** в крайнее положение, включить исследуемый выключатель **A11** и выключатель СЕТЬ автотрансформатора **A1**;
- после срабатывания выключателя **A11** считать показания тока и времени на индикаторах измерителя **P** и занести их в таблицу;
- отключая выключатель СЕТЬ автотрансформатора **A1**, и устанавливая поворотом рукоятки против часовой стрелки новое значение тока, повторять замеры до тех пор, пока выключатель **A11** не перестанет отключаться (интервал между измерениями должен составлять примерно 5 минут);
- по полученным данным построить защитную характеристику.

4. Указания по выполнению работы

1. Изучить конструкцию, характеристики, и методы выбора автоматических выключателей, получить у преподавателя индивидуальное задание на расчет.
2. Снять защитную характеристику **AB** на учебно-лабораторном стенде.
3. Рассчитать уставки тепловых и электромагнитных расцепителей и выбрать **AB** для индивидуальной и групповой защиты указанных в задании ЭД.
4. Сделать выводы. Составить отчет работе. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Перечислить типы расцепителей **АВ** и пояснить принцип их действия.
2. Как устроен универсальный **АВ**?
3. Что такое защитная характеристика **АВ**? Как она снималась в лабораторной работе?
4. Что такое селективность действия **АВ**? Зачем в некоторых **АВ** применяют три ступени защиты?
5. По каким параметрам выбираются **АВ**?
6. Как обеспечивается защита ЭД с помощью **АВ**?

Таблица 5.1 - Технические характеристики автоматических выключателей

Тип автомата	Номинальный ток автомата, А	Число полюсов	Вид расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А	Обозначение типа	Отсечка
АП-50	50	3	Комбинированный	1,6 2,5 4 6,4 10 16 25 40 50	Ап-50-3МТ	11 I _{ном.}
АЗ160	50	3	Тепловой	15 20 25 30 40 50	АЗ163	—
АЗ110	100	3	Комбинированный	15 20 30 40 50 60 80 100	АЗ114/1	10 I _{ном.}
АЗ120	100	3	Комбинированный	15 20 25 30 40 50 60 80 100	АЗ124	430 600 800
АЗ130	200	3	Комбинированный	120 150 200	АЗ134	7 I _{ном.}
АЗ140	600	3	Комбинированный	250 300 400 500 600	АЗ144	7 I _{ном.}
АЕ2030	25	3	Комбинированный	0,6 0,8 1 1,25 1,6 2 2,5 3,2 4 5 6 8 10 12,5 16 20 25	АЕ2036	12 I _{ном.}
АЕ2040	63	3	Комбинированный	10 12,5 16 20 25 32 40 50 63	АЕ2046	12 I _{ном.}
АЕ2050	100	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100	АЕ2056	12 I _{ном.}
АЗ710	160	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100 125 160	АЗ716ф	1600
АЗ720	250	3	Комбинированный	160 200 250	АЗ726ф	2500
АЗ730	400	3	Комбинированный	250 320 400	АЗ736ф	4000
АЗ740	630	3	Комбинированный	400 500 630	АЗ746ф	6300

Таблица 5.2 – Номинальные данные электродвигателей серии АИР
с высотами оси вращения 71 ...250 мм

Типоразмер двигателя	P_{2H} , кВт	n_{2H} , мин ⁻¹	КПД, %	cos φ	K_{II}	K_{min}	K_M	K_I
АИР71А2	0,75	2820	78,5	0,83	2,1	1,6	2,2	6,0
АИР71В2	1,1	2805	79	0,84	2,1	1,6	2,2	6,0
АИР80А2	1,5	2850	82	0,85	2,2	1,6	2,6	6,5
АИР80В2	2,2	2850	83	0,87	2,1	1,8	2,6	6,4
АИР90L2	3,0	2850	84,5	0,88	2,0	1,6	2,2	7,0
АИР100S2	4,0	2850	87	0,88	2,0	1,6	2,2	7,5
АИР100L2	5,5	2850	88	0,89	2,0	1,6	2,2	7,5
АИР112M2	7,5	2895	87,5	0,88	2,0	1,6	2,2	7,5
АИР132M2	11	2910	88	0,90	1,6	1,2	2,2	7,5
АИР160S2	15	2910	90	0,89	1,8	1,7	2,7	7,0
АИР160M2	18,5	2910	90,5	0,90	2,0	1,8	2,7	7,0
АИР180S2	22	2920	90,5	0,89	2,0	1,9	2,7	7,0
АИР180M2	30	2925	91,5	0,90	2,2	1,9	3,0	7,5
АИР200M2	37	2940	91,5	0,87	1,6	1,5	2,8	7,0
АИР200L2	45	2940	92	0,88	1,8	1,5	2,8	7,5
АИР225M2	55	2940	92,5	0,91	1,8	1,5	2,6	7,5
АИР250S2	75	2940	93	0,90	1,8	1,6	3,0	7,5
АИР250M2	90	2940	93	0,92	1,8	1,6	3,0	7,5
АИР71А4	0,55	1360	71	0,73	2,3	1,8	2,4	5,0
АИР71В4	0,75	1350	75	0,80	2,2	1,6	2,2	5,0
АИР80А4	1,1	1395	76,5	0,77	2,2	1,7	2,2	5,0
АИР80В4	1,5	1395	78,5	0,80	2,2	1,7	2,4	5,3
АИР90L4	2,2	1395	81	0,81	2,2	1,6	2,4	6,5
АИР100S4	3,0	1410	82	0,83	2,0	1,6	2,2	7,0
АИР100L4	4,0	1410	85	0,84	2,1	1,6	2,4	6,0
АИР112M4	5,5	1430	85,5	0,86	2,0	1,6	2,2	7,0
АИР132S4	7,5	1440	87,5	0,86	2,0	1,6	2,5	7,5
АИР132M4	11	1445	87,5	0,87	2,0	1,6	2,7	7,5
АИР160S4	15	1455	90	0,89	1,9	1,8	2,9	7,0
АИР160M4	18,5	1455	90,5	0,89	1,9	1,8	2,9	7,0
АИР180S4	22	1460	90,5	0,87	1,7	1,5	2,4	6,5
АИР180M4	30	1470	92	0,87	1,7	1,5	2,7	6,5
АИР200M4	37	1475	92,5	0,89	1,7	1,6	2,7	7,5

Занятие № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Цель занятия: изучить конструкцию пакетно-кулачковых переключателей и магнитных пускателей; освоить способы их наладки

1. Пакетно-кулачковые переключатели

Пакетно-кулачковые переключатели находят широкое применение в различных электроустановках. Они применяются для пуска, реверсирования и остановки асинхронных электродвигателей, изменения схем соединения обмоток двигателей и трансформаторов и во многих других случаях. Номинальный ток переключателя является и предельно допустимым по разрыву, поэтому выбираются они по максимальному току соответствующей электроустановки.

Устройство пакетно-кулачкового переключателя для пуска и реверсирования трехфазного электродвигателя показано на рис. 6.1 – а.

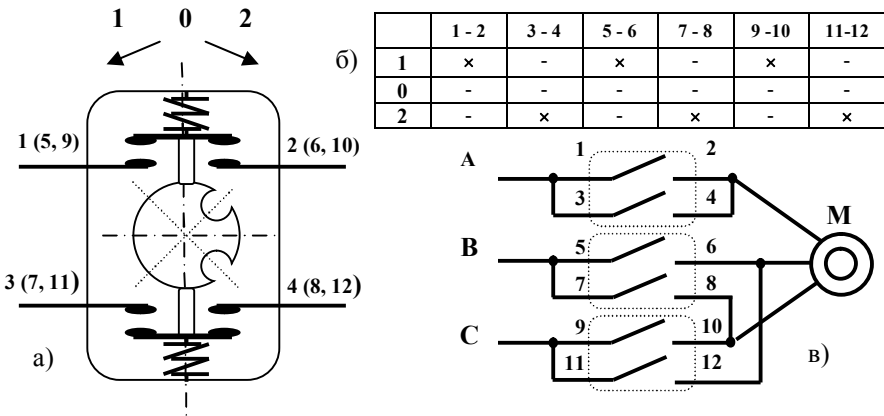


Рисунок 6.1 - Пакетно-кулачковый переключатель (а), его диаграмма (б) и схема реверсирования асинхронного электродвигателя (в)

Общий вал, имеющий сечение квадратной формы, может занимать восемь устойчивых положений (единичный поворот – 45°). Число требуемых рабочих положений устанавливается с помощью специальных стопорных колец и в рассматриваемом примере составляет

три. Подпружиненные контакты вставляются в специальные толкатели. Кулачки, которые насаживаются на общий вал, имеют выступы и впадины. Форма кулачков может быть самой разнообразной и определяется требованиями к схеме переключения. Рассматриваемый переключатель имеет три кулачка одинаковой формы, которые одинаково устанавливаются на оси. Последовательность замыкания и размыкания различных контактов переключателя задается в виде диаграммы (рис. 6.1 - б), на которой для каждого из положений рукоятки переключателя указывается состояние каждой контактной пары. Схема управления трехфазным реверсивным электродвигателем приведена на рис. 6.1 - в). В нулевом положении рукоятки переключателя все контакты разомкнуты. При повороте влево (положение 1) под действием пружины замыкаются пары контактов: **1 – 2, 5 – 6, 9 – 10**, двигатель включается на прямое чередование фаз. При повороте вправо эти пары контактов будут разомкнуты, а замкнутся пары: **3 – 4, 7 – 8, 11 – 12**, включающие двигатель на обратное чередование фаз.

Пакетно-кулачковый переключатель для регулирования тока сварочных трансформаторов **ТДМ–163** состоит из двух пакетов с кулачками различной формы (рис. 6.2 – а).

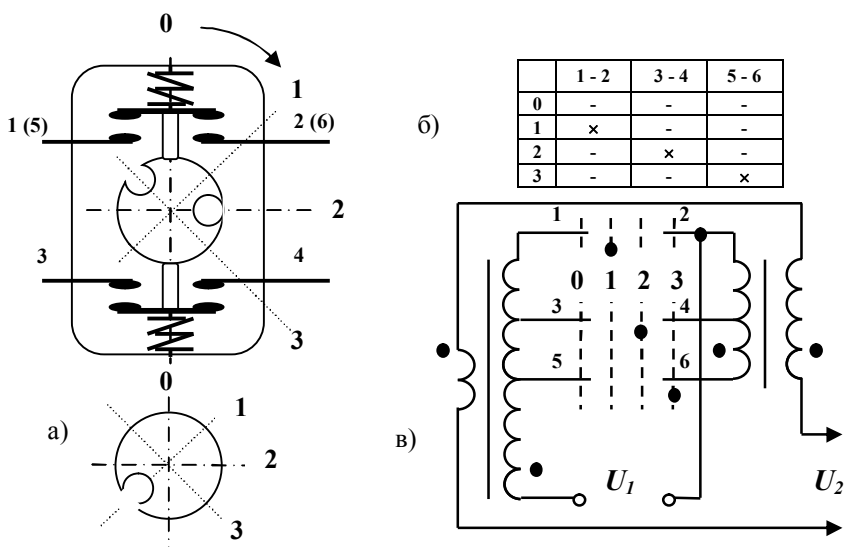


Рисунок 6.2 - Пакетно-кулачковый переключатель для регулирования тока сварочных трансформаторов: а – устройство; б – диаграмма переключений; в – принципиальная схема трансформатора

При повороте рукоятки по часовой стрелке контакты замыкаются в последовательности, указанной на диаграмме (рис. 6.2 - б). Если переключатель находится в нулевом положении, расположенные на различных стержнях части первичной обмотки не связаны между собой, что соответствует отключению трансформатора. В первом положении вся подключаемая к сети часть первичной обмотки расположена на первом стержне. Магнитная связь с основной частью вторичной обмотки, расположенной на втором стержне в этом случае относительно мала. При установке переключателя в положение «2» часть витков первичной обмотки между выводами **1** и **3** отключается, а точно такое же количество витков между выводами **2** и **4** на другом стержне – подключается. В результате обеспечивается усиление магнитной связи первичной и вторичной обмоток, индуктивное сопротивление рассеяния уменьшается, ток возрастает. В положение «3» еще одна часть витков первичной обмотки между выводами **3** и **5** отключается, а часть витков между выводами **4** и **6** на другом стержне – подключается. При этом магнитная связь между первичной и вторичной обмотками максимальна, а индуктивное сопротивление рассеяния, напротив, – минимально. Ток возрастает до максимального значения. Переключения необходимо производить без нагрузки.

2. Магнитные пускатели

Магнитные пускатели представляют собой аппараты управления дистанционного действия, главной частью которых являются *контакты*. Помимо этого в них обычно встраиваются *тепловые реле*, предназначенные для защиты электроустановок, и выполняются все *внутренние соединения элементов*, необходимые для нормального функционирования в соответствии с назначением.

Электромагнитные контакторы представляют собой электрические аппараты дистанционного действия, предназначенные для коммутации силовых электрических цепей, в которых замыкание и размыкание контактов осуществляется электромагнитным приводом.

Контакторы классифицируются по следующим критериям:

- по роду тока главной цепи (постоянный, переменный, переменный повышенной частоты);
- по номинальному току главных цепей (от 4 до 2500 А);

- по номинальному напряжению главных цепей (до 750 В постоянного и до 660 В переменного тока);
- по роду тока цепей управления (постоянный или переменный);
- по числу пар главных контактов, называемых условно полюсами (от одно до пяти полюсных);
- по роду тока цепей управления (постоянный или переменный);
- по величине напряжения цепей управления (от 24 до 660 В);
- по наличию и исполнению вспомогательных контактов;
- по допустимой частоте включений в час и механической износостойкости контакторы разделяются на четыре класса:

Класс износостойкости	Допустимая частота включений (число циклов в час)	Механическая износостойкость (число циклов)
I	30	$0,25 \times 10^6$
II	150	$1,2 \times 10^6$
III	600	5×10^6
IV	1200	10×10^6

Основными частями контакторов являются: электромагнитная система, главные контакты, которые могут снабжаться системой дугогашения, и вспомогательные контакты.

Главные контакты осуществляют коммутацию силовых цепей и рассчитываются на длительное протекание больших токов, а также на достаточно большое число включений и отключений в час. При их расчете необходимо учитывать как прямой электрический нагрев, так и дополнительный нагрев от возникающей при отключениях дуги. Главные контакты на большие токи выполняются преимущественно стыковыми, рычажного типа, а на относительно малые токи – преимущественно мостиковыми. В первом случае используется поворотная подвижная часть магнитной системы, во втором – прямоходовая.

Дугогасительная система обеспечивает эффективное гашение дуги, возникающей при размыкании главных контактов. Способы гашения дуги и конструкция камер определяются величиной и родом тока главных цепей и режимом работы контактора.

Вспомогательные контакты предназначены для переключений в цепях управления самим контактором, а также во внешних цепях управления, блокировки и сигнализации. Они рассчитываются на относительно малые токи, выполняются, как правило, мостиковыми, и могут быть как замыкающими, так и размыкающими.

Электромагнитная система (магнитопровод и катушка) обеспечивает дистанционное управление работой контакторов.

Катушки контакторов обеспечивают включение и удержание якоря в притянутом положении. Иногда используются две катушки: мощную – для включения, и маломощную – для удержания, чем достигается снижение потребления электроэнергии. Размыкание контактов происходит после снятия напряжения под действием отключающих пружин. Втягивающая катушка должна обеспечивать срабатывание контакторов при снижении напряжения, обычно – до $0,85U_{ном}$ и его нормальную работу при повышении напряжения до $1,05U_{ном}$.

Магнитопроводы контакторов переменного тока шихтуются. Для устранения вибраций магнитной системы при переменном токе сердечники снабжаются короткозамкнутыми витками.

Контакты постоянного тока выполняются, как правило, однополюсными. Это объясняется тем, что при наличии нескольких полюсов при частых отключениях пространство над дугогасительными камерами сильно ионизируется и возникает опасность короткого замыкания между полюсами различной полярности.

Контакты переменного тока чаще всего бывают трехполюсными, с замыкающими главными контактами.

По характеру движения якоря различают *прямоходовые* и *поворотные* магнитные системы.

Контакты пускателей переменного тока серии ПМЕ (рис. 6.4) имеют прямоходовую систему. Внутри корпуса находится неподвижная часть Ш-образного сердечника 7 с расположенной на среднем стержне катушкой 6. На крайних стержнях имеются короткозамкнутые витки, предотвращающие вибрацию. Подвижная часть магнитопровода (якорь) 5 связана с пластмассовой траверсой 4, на которой смонтированы мостиковые контакты 2. Плавность хода якоря и усилие нажатия обеспечиваются за счет контактных пружин 1. Неподвижные контакты припаяны к контактным пластинам 3, которые снабжены винтовыми зажимами для присоединения внешних цепей. На боковых стенках размещаются вспомогательные контакты 8. Главные контакты предохраняются от случайного прикосновения, попадания влаги и пыли и др. специальной крышкой.

Пускатели серии ПМЕ выпускаются в различном исполнении: реверсивные и нереверсивные, и могут комплектоваться тепловыми реле для защиты электроустановок от относительно небольших, но длительных перегрузок.

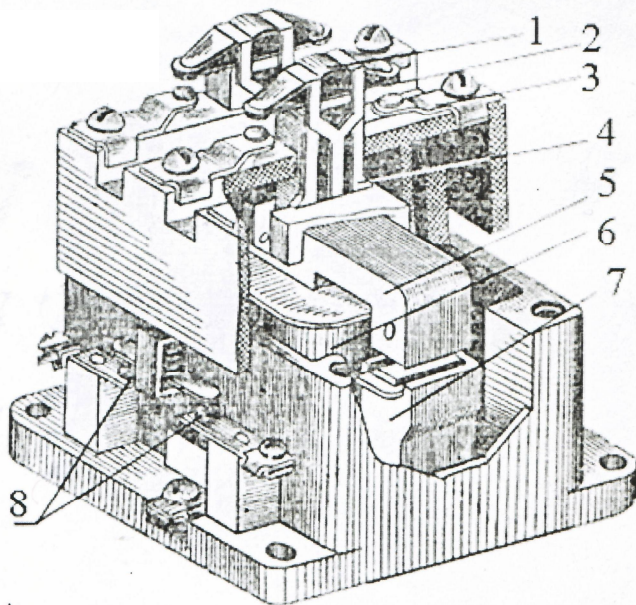


Рисунок 6.4 – Пускатель переменного тока серии ПМЕ

Пускатели переменного тока серии **ПА** (рис. 6.5) имеют поворотную магнитную систему. Контакттор собирается на металлическом основании 1. Контактная система мостикового типа состоит из неподвижных контактов 2 и подвижных контактов 3, и размещается в дугогасительной камере 5. Необходимая сила нажатия контактов обеспечивается за счет пружины 4. Подвижные контакты 3 механически связаны с траверсой 6, которая может поворачиваться вокруг оси O_1 . На противоположном конце траверсы 6 укреплен якорь 7. В электромагнитный механизм контактора входят также магнитопровод 8 и расположенная на нем катушка 9. Пружина 10 обеспечивает более плотное прилегание якоря и сердечника при срабатывании контактора и смягчает возникающий при этом удар. При отключении катушки 8 траверса 6 под действием пружины 11 поворачивается вправо и размыкает главные контакты 2 и 3. В контакторе предусмотрена установка теплового реле 12, которое при нагревании размыкает свои контакты в цепи питания катушки и отключает контактор, чем достигается защита электроустановок от перегрузок.

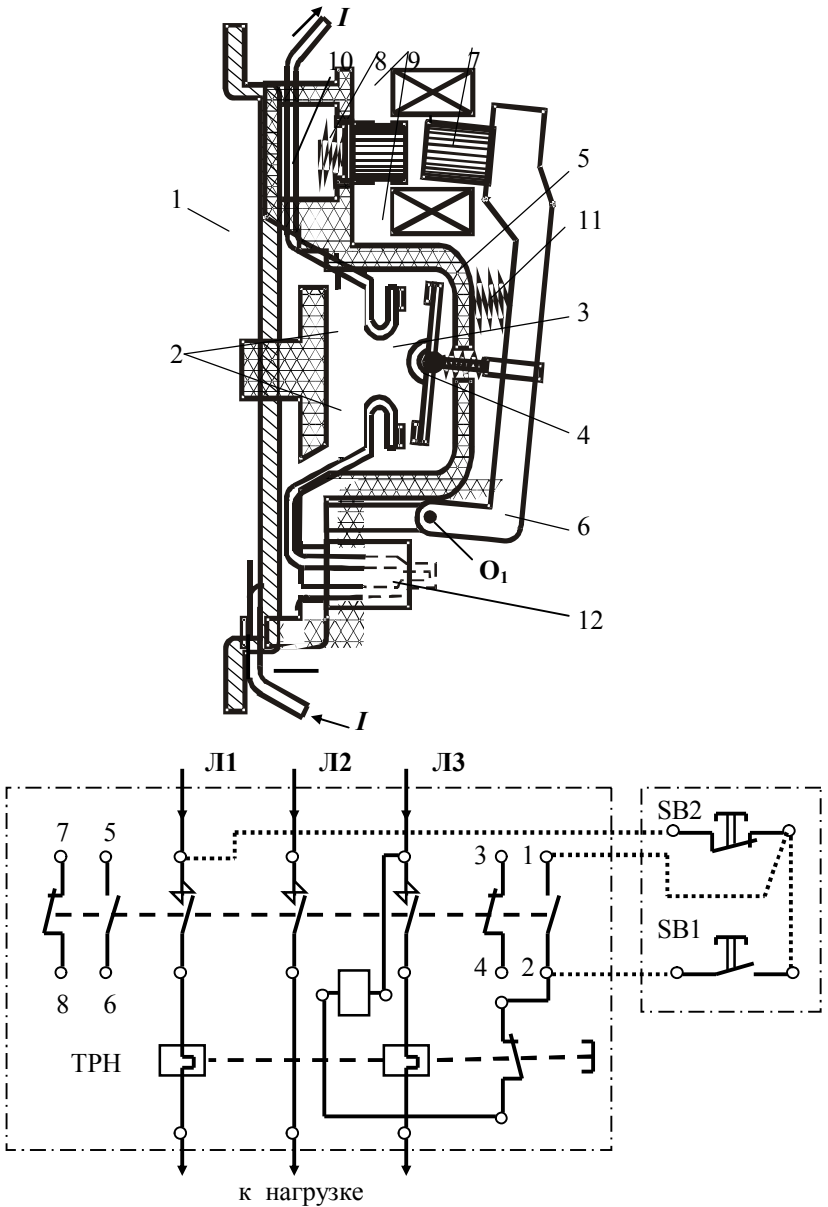


Рисунок 6.5 - Конструкция и схема электрических соединений пускателя серии ПА

3. Общие методы испытаний и наладки

В процессе подготовки электрических аппаратов к включению необходимо выполнить ряд подготовительных операций:

- внешний осмотр всего аппарата, а также отдельных его узлов
- проверка состояния изоляции различных электрических цепей
- проверка целостности обмоток и измерение их электрического сопротивления постоянному току
- регулировка механических узлов и деталей: контактов, пружин, механизмов блокировки и др.
- испытания и регулировка аппаратов под напряжением

При внешнем осмотре необходимо: установить тип аппарата и его паспортные данные, проверить состояние основных узлов: катушек магнитных пускателей; магнитопровода, главных и вспомогательных контактов, пружин, дугогасительных камер; узлов крепления.

Проверка изоляции осуществляется с помощью мегомметра для всех отдельных элементов и цепей по отношению друг к другу и к корпусу. Элементы, нормально соединённые с корпусом или землёй необходимо предварительно отключить. Сопротивление изоляции должно быть не менее **0,5 МоМ**.

Целостность обмоток устанавливается с помощью омметров или методом амперметра-вольтметра (на пониженном напряжении). При необходимости (например, – после ремонта) определяется сопротивление обмотки постоянному току, которое необходимо привести к расчётной температуре. При увеличении сопротивления катушек увеличивается напряжение срабатывания.

Регулировка механических узлов и деталей определяет надёжность срабатывания аппаратов управления. Необходимо убедиться в отсутствии различных перекосов и заеданий, плавности хода подвижных элементов, проверить целостность всех пружин. Контакты не должны быть оплавленными, форма их должны быть правильной. Особое внимание уделяется проверке растворов, провалов и силы нажатия контактов. *Раствором* называется минимальное расстояние между подвижным и неподвижным контактами в отключённом состоянии, а *провалом* - дополнительный ход упора контактов после их замыкания. Провал позволяет косвенно судить о силе сжатия пружины. Прямой замер силы нажатия осуществляется динамометром при

включённом аппарате в направлении оси, по которой оттягивается подвижный контакт. Раствор и провал измеряются штангенциркулем или специальными шаблонами. Включенный электрический аппарат должен надёжно удерживать заложенную между контактами бумажную полоску.

Напряжение срабатывания и отпущения определяется в рабочем положении аппарата в холодном состоянии и приводится к рабочей температуре по формуле:

$$U_{\text{ср.т}^{\circ}} = U_{\text{ср.0}} \frac{235 + t^{\circ}_{\text{р}}}{235 + t^{\circ}_0}$$

Особенно чувствительны к температуре катушки постоянного тока. Если необходимо установить предельное напряжение срабатывания, его плавно изменяют с помощью регулятора до тех пор, пока не появятся признаки нарушения работоспособности: дребезг, ослабление нажатия контактов. При проверке срабатывания аппарата на определённое напряжение его подают толчком, как это имеет место в реальных схемах. Как правило, напряжение срабатывания электромагнитных пускателей должно составлять не менее 85% от номинального значения напряжения катушки.

4. Снятие время-токовой характеристики теплового реле

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для снятия защитных (время-токовых) характеристик теплового реле дана на рис. 6.6.

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых в эксперименте блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис. 6.6;
- установить с помощью регулировочного винта желаемое значение уставки теплового реле, и утопить его шток;
- установить рукоятку автотрансформатора **A1** по указанию преподавателя в положение, примерно соответствующее начальному значению тока срабатывания теплового реле;

- включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания **G1**, и выключатель СЕТЬ измерителя тока и времени **P2**,
- включить выключатель **A11**;
- после срабатывания теплового реле считать показания тока и времени на индикаторах измерителя **P2** и занести их в таблицу;
- отключая выключатель **A11** и устанавливая по указанию преподавателя значения напряжения автотрансформатора **A1**, повторять замеры (интервал между измерениями должен составлять примерно 5 минут, после чего необходимо утопить шток реле);
- по полученным данным построить защитную характеристику.

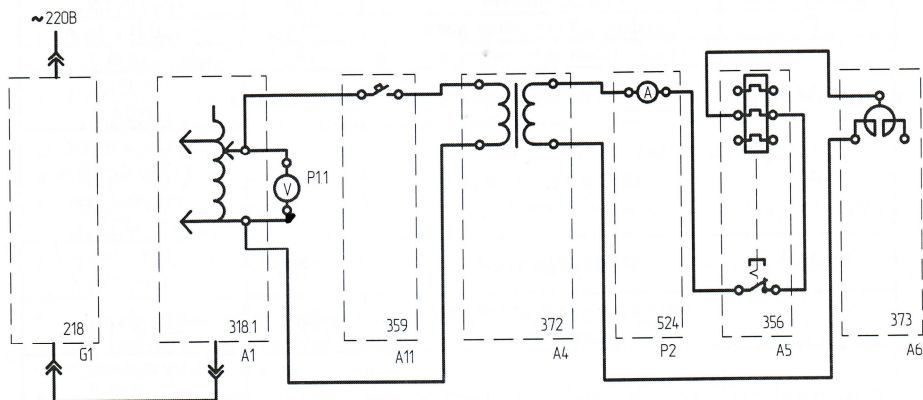


Рисунок 6.6 – Схема электрических соединений стенда для снятия время-токовых характеристик теплового реле

5. Определение напряжения срабатывания и отпускания

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для определения напряжения срабатывания и отпускания электромагнитного контактора переменного тока показана на рис. 6.7.

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых в эксперименте блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис.6.7;

- поворотом против часовой стрелке установить рукоятку автотрансформатора **A1** в крайнее положение;
- включить **AB** и устройство защитного отключения в источнике питания **G1**, выключатель СЕТЬ блока мультиметров, активизировать мультиметр для измерения напряжения;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение на выводах обмотки контактора до момента срабатывания, зафиксировать это напряжение;
- отключить **AB**, а затем подать напряжение толчком, и убедиться в надежности срабатывания контактора;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора по против часовой стрелке, уменьшать напряжение до тех пор, пока не появятся характерные признаки нарушения работоспособности, зафиксировать напряжение отпускания;
- определить коэффициент возврата контактора по формуле:

$$k_{\text{возвр}} = \frac{U_{\text{отп}}}{U_{\text{срв}}}$$

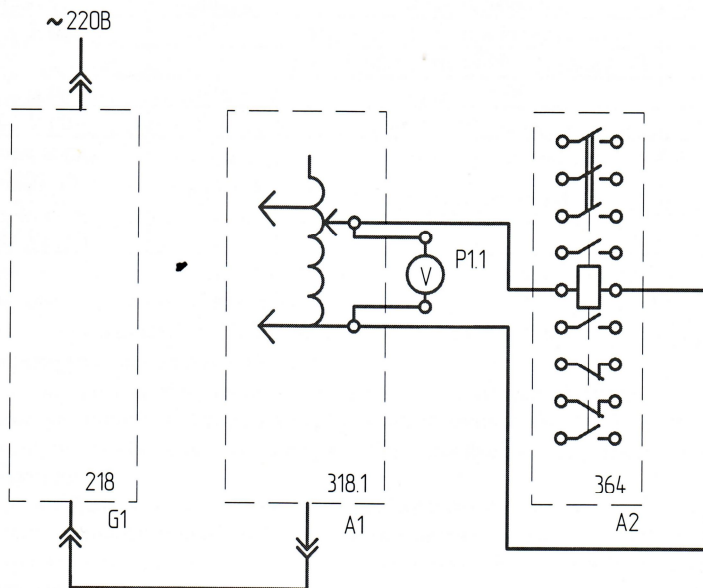


Рисунок 6.7 – Схема электрических соединений стенда для определения напряжения срабатывания и отпускания электромагнитного контактора

6. Указания по выполнению работы

- 6.1. Ознакомиться с образцами пакетно-кулачковых переключателей и электромагнитных пускателей. Выяснить назначение всех их основных элементов
- 6.2. Снять диаграмму пакетно-кулачкового переключателя. Изобразить его схему
- 6.3. Произвести внешний осмотр образца электромагнитного пускателя. Проверить целостность обмотки и состояние изоляции. Произвести проверку механической части
- 6.4. Снять время-токовую характеристику теплового реле
- 6.5. Определить напряжение срабатывания и отпускания и коэффициент возврата контактора магнитного пускателя
- 6.6. Составить отчет о работе. Сделать выводы. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Пояснить принцип действия и конструктивное устройство пакетно-кулачковых переключателей.
2. Пояснить принцип действия и конструктивное устройство электромагнитных контакторов.
3. Пояснить, чем отличаются пускатели от контакторов, привести примеры схем.
4. Как производятся испытания и наладка магнитных пускателей?
5. Назначение, принцип действия, и защитные характеристики тепловых реле.
6. По каким параметрам выбираются магнитные пускатели?

Занятие № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ РЕЛЕ

Цель работы: изучить назначение и принцип действия различных электромеханических реле, исследовать их характеристики

1. Основные теоретические сведения

Управление, контроль режимов работы и защита различных электроустановок часто осуществляется без непосредственного участия человека, с помощью реле, которые обеспечивают функциональную взаимосвязь между различными физическими процессами.

Электромеханическое реле представляет собой электрический аппарат, который приводит в действие одну или несколько управляемых электрических цепей при воздействии на него определенных электрических сигналов, подаваемых из управляющих цепей. Они предназначены для коммутации цепей управления более мощных электрических аппаратов, суммирования и размножения электрических сигналов, сигнализации, защиты и других целей.

Релейным называется такое управление, при котором некоторое изменение контролируемого входного параметра преобразуется в скачкообразное изменение выходного параметра. Эта зависимость называется характеристикой управления, или характеристикой «вход – выход». Типичные примеры таких зависимостей показаны на рис. 7.1.

Срабатыванием реле называется выполнение предписанной ему функции, а **возвратом** (отпускаянием) – переход в исходное состояние, имевшее место до срабатывания. Срабатывание реле может происходить под действием электрических и неэлектрических сигналов: напряжения, тока, времени, температуры и других.

Пусть некоторый параметр X связан с параметром t непрерывной зависимостью $X = f(t)$ (рис. 7.1–а). При возрастании входного параметра X от нуля до значения $X_{\text{ср}}$, при котором происходит срабатывание, выходной параметр Y скачкообразно изменяет свое значение от нуля или Y_{min} до Y_{max} , которое остается неизменным при дальнейшем увеличении X (рис. 7.1–б). Если затем происходит уменьшение X , выходной параметр Y изменит свое значение на нуль или Y_{min} при ином значении $X_{\text{возвр}}$, которое называется параметром возврата. Таким образом, непрерывная функциональная зависимость $X = f(t)$ преобразуется в релейную характеристику $Y = f(X)$ (рис. 7.1–в).

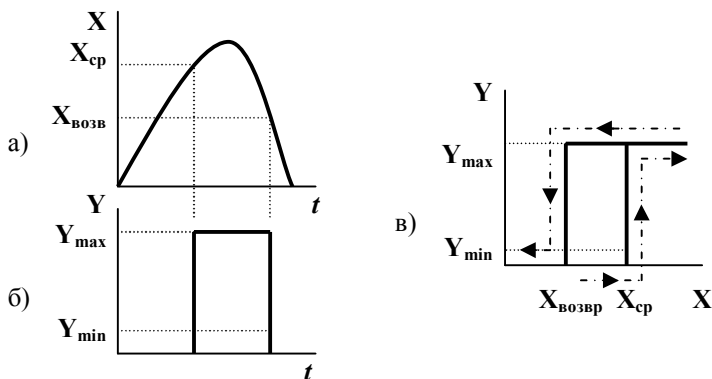


Рисунок 7.1 - Преобразования входного и выходного параметров

Отношение параметра возврата к параметру срабатывания называется коэффициентом возврата:

$$k_{\text{возвр}} = \frac{X_{\text{возвр}}}{X_{\text{ср}}} \cdot \quad (7.1)$$

По функциональному признаку принято выделять две большие группы реле: измерительные и логические.

Логические реле срабатывают и возвращаются в исходное состояние при изменении ненормируемого по точности входного параметра. Стандартами и техническими условиями регламентируется только диапазон срабатывания (например, минимальные и максимальные значения напряжения или тока срабатывания).

Измерительные реле срабатывают при вполне определенном значении характеристического параметра, который нормируется по точности, и определяет главный функциональный признак реле. Входная величина изменяется непрерывно, причем на вход могут подаваться одновременно не один, а несколько сигналов, например, ток и напряжение в реле мощности. Измерительные реле характеризуются определенной **уставкой**, изменяемой в процессе настройки.

Электромеханические реле обычно содержат три основных функциональных элемента: воспринимающий (контролирующий), промежуточный и исполнительный.

Воспринимающий элемент контролирует входной параметр и преобразует его в физическую величину, необходимую для нормального функционирования реле. Например, катушка реле служит не

только для контроля тока или напряжения, но и создает магнитный поток, который преобразуется в тяговое усилие.

Промежуточный элемент, например, пружина, осуществляет сравнение преобразованного входного параметра с эталоном и в случае выполнения условия срабатывания передает первичное воздействие на исполнительный элемент.

Исполнительный элемент электромеханических реле обычно представляют собой контактную систему.

Кроме того, в зависимости от типа и функционального назначения реле, они могут содержать дополнительные элементы: для создания выдержки времени, регулировок и другие.

По способу включения различают первичные, вторичные и промежуточные реле. Воспринимающий элемент первичных реле включается в контролируемые цепи непосредственно, а вторичных – через измерительные трансформаторы. Промежуточные реле предназначены для усиления и размножения сигналов и работают обычно от исполнительных органов других реле.

Основными параметрами, характеризующими работу различных электромеханических реле, являются.

- Значения параметров срабатывания $X_{ср}$ и отпускания $X_{возвр}$.
- Допустимое рабочее значение входного параметра X_p , при котором воспринимающий элемент может длительно работать без перегрева и механических разрушений.
- Мощность, потребляемую самим реле при срабатывании (мощность срабатывания реле) $P_{ср}$.
- Электрическая мощность выходных цепей, которую длительно обеспечивает и коммутирует без перегрева и механических разрушений контактная система.
- Коэффициент усиления, равный отношению мощности управления к мощности срабатывания: $k_y = \frac{P_{упр.}}{P_{ср}}$.
- Допустимая частота срабатывания и коммутационная износостойкость – количество циклов «включение – отключение», гарантированное при работе в режиме нормальных коммутаций. Реле с малой частотой срабатывания допускают до одного цикла в минуту, с большой – десятки циклов в секунду.

- Предельная отключающая способность – наибольшее значение тока, который контакты реле способны разрывать в определенных условиях эксплуатации.
- Предельный длительный и предельно допустимый кратковременный ток, который может пропустить предварительно замкнутая контактная система в заданных условиях.
- Время срабатывания – промежуток времени от появления входного сигнала срабатывания до момента появления соответствующего выходного сигнала.
- Допустимое напряжение между контактами.

В данной работе исследуются *электромагнитные реле*, принцип действия которых основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого расположенными на неподвижном магнитопроводе катушками, с подвижным ферромагнитным элементом (якорем). Они имеют простую конструкцию, обеспечивают различные тяговые характеристики при сравнительно больших усилиях, могут работать на постоянном и на переменном токе. По этому принципу строятся самые различные по функциональному назначению устройства: реле минимальных и максимальных токов и напряжений, промежуточные реле, реле времени и частоты, а также многие другие.

При мощности срабатывания от долей до десятков ватт электромагнитные реле обеспечивают мощности управления до нескольких киловатт. Допустимая частота включений в час составляет 1500 – 4000, а коммутационная износостойкость – до 6 миллионов циклов. Собственное время срабатывания зависит от назначения, конструкции и схемы включения реле и находится в пределах 1 – 20 мс, а в реле времени доходит до 5 – 10 с.

2. Исследование промежуточного реле

В работе используется промежуточное реле переменного тока типа **РП25**, входным параметром которого является напряжение, подводимое к катушке. Номинальное его значение составляет 220 В, однако напряжения срабатывания и отпускания в действительности имеют другие значения. Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для их определения дана на рис. 7.2.

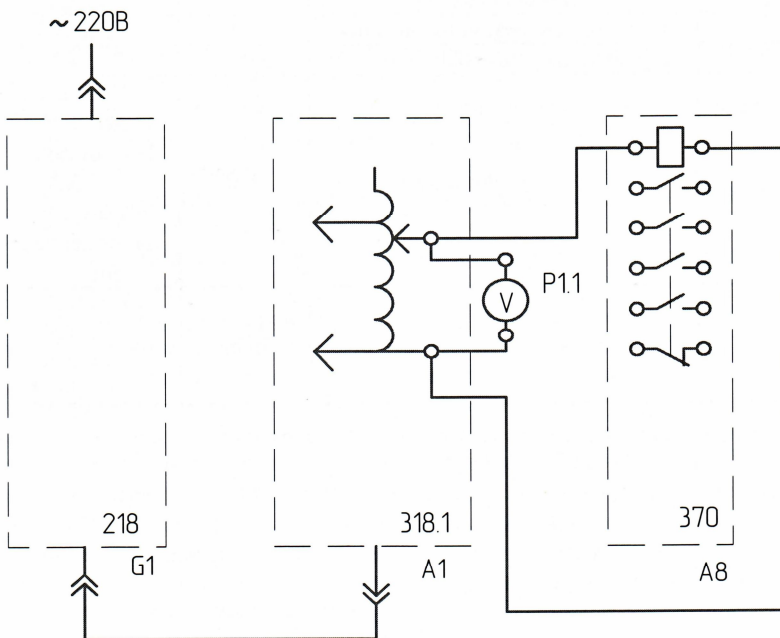


Рисунок 7.2 – Схема электрических соединений стенда для исследования промежуточного реле

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис.7.2;
- поворотом против часовой стрелке установить рукоятку автотрансформатора **A1** в крайнее положение;
- включить **AB** и устройство защитного отключения в источнике питания **G1**, выключатель СЕТЬ блока мультиметров, активизировать мультиметр для измерения напряжения;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение до момента срабатывания, зафиксировать это напряжение;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки, уменьшать напряжение до тех пор, пока не произойдет отпускание реле, и зафиксировать напряжение отпускания;
- определить коэффициент возврата контактора по формуле 7.1.

3. Исследование электромагнитного реле переменного тока

В работе используется реле **РТ-40**, которое применяется в схемах релейной защиты и автоматики в качестве органа, реагирующего на повышение тока. Входным параметром в нем является протекающий по катушке ток. Конструкция реле дана на рис. 7.3.

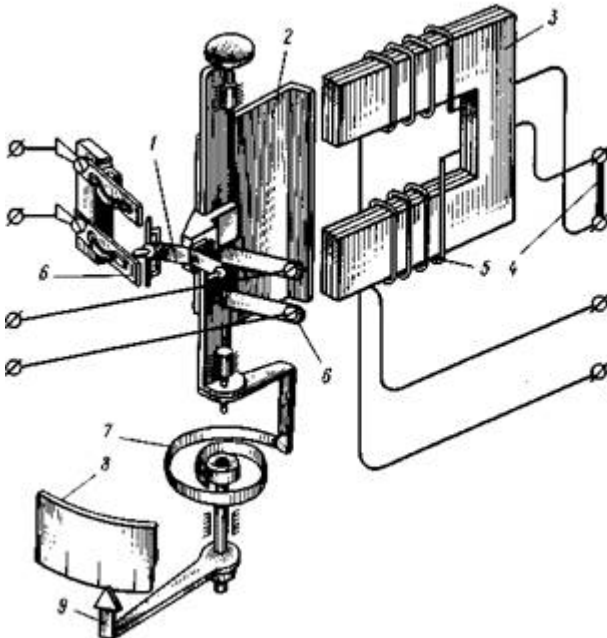


Рисунок 7.3 – Конструкция реле максимального тока **РТ-40**

Реле состоит из подвижного контакта **1**, который закреплен на якоре **2**, неподвижного сердечника **3** с размещенными на нем обмотками **5**, которые с помощью перемычки **4** могут соединяться последовательно или параллельно, контактов **6**, пружины **7**, а также шкалы **8** и регулятора уставок **9**. Переключение обмоток с последовательного соединения на параллельное изменяет уставку в два раза.

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для исследования реле РТ-40 дана на рис. 7.4.

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис. 7.4;
- снять крышку реле и с помощью регулятора 9 выставить минимальную уставку реле, закрыть крышку;
- поворотом против часовой стрелке установить рукоятку автотрансформатора **A1** в крайнее положение;
- включить **AB** и устройство защитного отключения в источнике питания **G1**, выключатель СЕТЬ блока мультиметров, активизировать мультиметры для измерения тока (P1.2), и подачи звукового сигнала о срабатывании реле (P1.3);
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать ток до момента срабатывания реле, определяемого по появлению звукового сигнала, и зафиксировать его значение;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки, уменьшать ток до тех пор, пока не произойдет отпущение реле, и зафиксировать значение тока отпущения при исчезновении звукового сигнала;
- определить коэффициент возврата реле по формуле 7.1;
- изменяя уставку реле по указанию преподавателя, повторить выполнение всех операций, сравнить заданные уставки с фактическими значениями тока срабатывания.

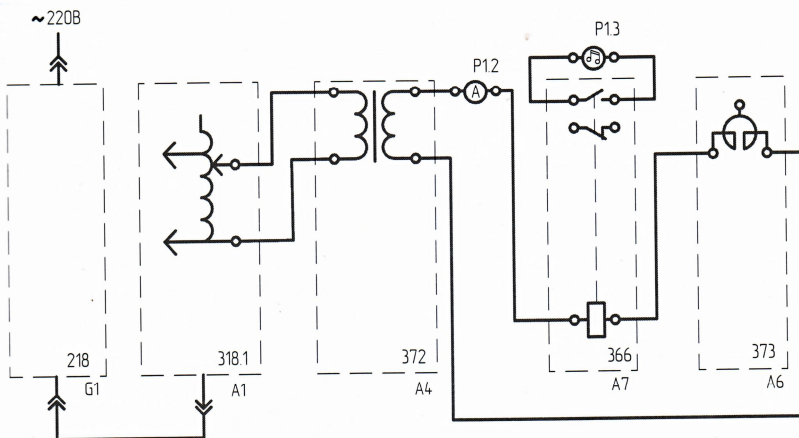


Рисунок 7.4 – Схема электрических соединений стенда для исследования реле максимального тока РТ-40

4. Исследование электромеханического реле времени

В работе используется реле времени **РВ 134** с часовым механизмом, кинематическая схема которого показана на рис. 7.5.

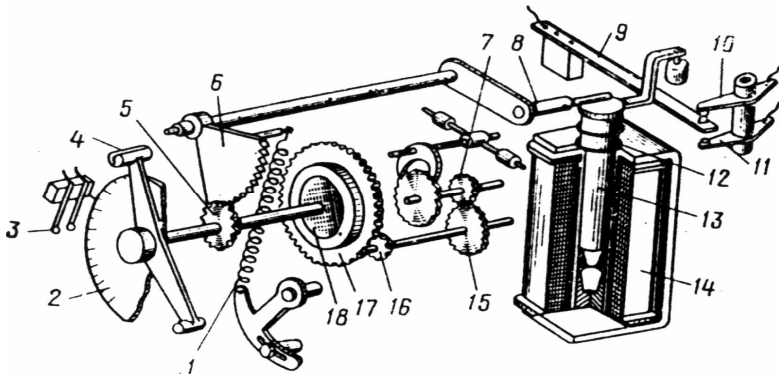


Рисунок 7.5 - Кинематическая схема реле времени

В отключенном состоянии ведущая пружина 1 растянута и стремится привести во вращение сектор 6. Этому препятствует палец 8, который упирается в верхнюю часть якоря 13. Как только на обмотку реле 14 будет подано напряжение, якорь 13, преодолев сопротивление пружины 12, втянется и освободит палец 8. В результате жестко связанный с пальцем сектор 6 начинает вращаться под действием взведенной пружины 1. Это вращение через шестерню 5 передается на валик с укрепленным на нем подвижным контактом 4. Начало вращения валика сопровождается его сцеплением с ведущей шестерней 17 посредством сцепления 18. Ведущая шестерня 17 через трибку 16 и промежуточные шестерни 15 и 7 связана с часовым механизмом. Выдержка времени определяется начальным положением неподвижного контакта 3 относительно подвижного контакта 4. Регулировка осуществляется перемещением неподвижного контакта 3 по шкале 2, на которой указываются значения выдержки времени. Реле имеет также переключающие контакты: неподвижные 10 – 11, и подвижный 9. При снятии управляющего напряжения возвратная пружина 12 благодаря проскальзыванию фрикционного устройства 18 мгновенно возвращает якорь, часовой механизм и контакты 4 и 9 в исходное положение. Нормируемые выдержки времени составляют 0,5 – 9 секунд.

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для исследования реле времени дана на рис. 7.6.

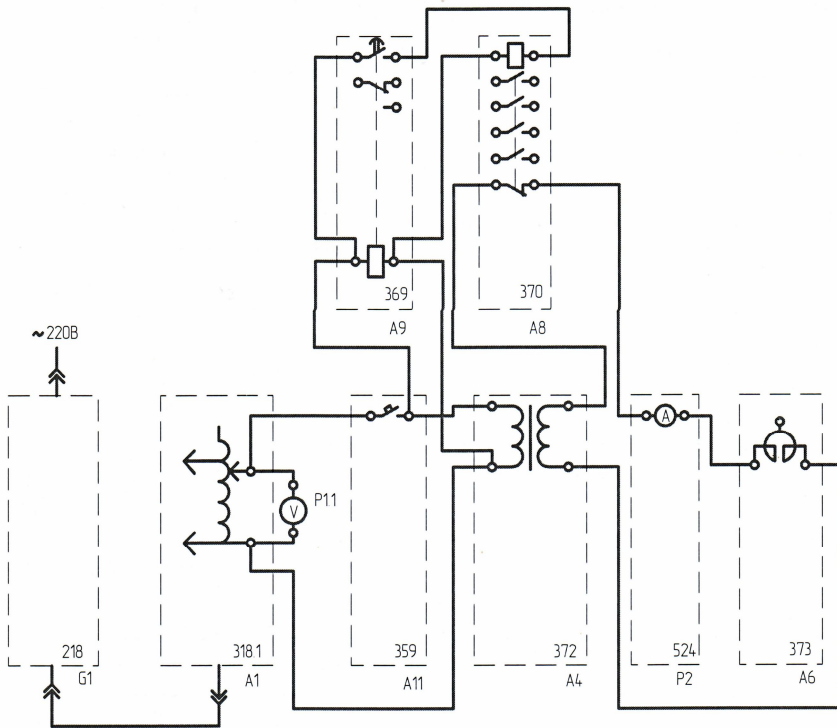


Рисунок 7.6 - Схема электрических соединений стенда для исследования реле времени

Для выполнения эксперимента необходимо:

- соединить гнезда защитного заземления используемых в эксперименте блоков с гнездом защитного заземления автотрансформатора **A1**;
- выполнить соединение всех элементов согласно схеме, рис. 6;
- снять крышку реле и выставить минимальную уставку времени, закрыть крышку;
- поворотом против часовой стрелки установить рукоятку автотрансформатора **A1** в крайнее положение;

- включить **AB** и устройство защитного отключения в источнике питания **G1**, выключатели **СЕТЬ** блока мультиметров и измерителя тока и времени **P2**, активизировать мультиметр **P 1.1** для измерения напряжения;
- вращая рукоятку автотрансформатора по часовой стрелке, увеличить напряжение до 220 В;
- включить автоматический выключатель **A 11**;
- зафиксировать время срабатывания реле с помощью измерителя **P2**, и отключить выключатель **A 11**;
- изменяя уставку реле по указанию преподавателя, повторить выполнение всех операций, сравнить заданные уставки с фактическим временем срабатывания.

5. Указания по выполнению работы

5.1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями и исследуемых конструкцией реле, произвести их осмотр, выяснить назначение всех основных элементов.

5.2. Выполнить исследования согласно п.п. 2 – 4.

5.3. Составить отчет о работе. Сделать выводы. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

7. Пояснить, что такое релейное управление, входные и выходные параметры, коэффициент возврата.
8. Какие параметры характеризуют электромеханические реле?
9. Назначение, конструкция и принцип действия промежуточных реле. Привести примеры.
10. Назначение, конструкция, и принцип действия реле максимального тока. Пояснить, что такое уставка тока, и как она задается.
11. Назначение, конструкция, и принцип действия реле времени. Для чего нужна и как задается уставка времени?

Занятие № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель занятия: изучить назначение, схемы включения, и способы определения погрешности трансформаторов тока и напряжения.

1. Основные теоретические сведения

Трансформаторы тока (ТТ) предназначены для косвенных измерений больших токов, и питания устройств защиты электрических сетей. Они выполняют две основные функции: **1** – преобразуют ток до значений, позволяющих использовать стандартные амперметры и другие приборы с токами, не превышающими 5 А, **2** – обеспечивают гальваническую развязку цепей высокого напряжения с измерительными приборами с целью безопасности.

Особенность ТТ заключается в том, что их первичная обмотка включается в измеряемую цепь последовательно, рассчитывается на протекание больших токов, имеет малое количество витков и малое сопротивление. Падение напряжения на ней должно быть минимальным. Вторичная обмотка имеет относительно большое количество витков, а нагрузкой ее является измерительный прибор, (амперметр), или катушка реле с малым сопротивлением Z_n . Схема подключения трансформатора тока и его условное обозначение даны на рис. 8.1.

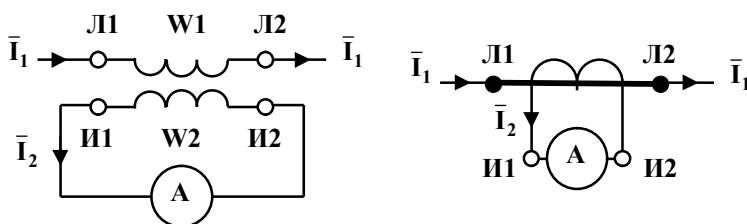


Рисунок 8.1 – Схема подключения и условное обозначение трансформатора тока

Из приведенной схемы следует, что фактически трансформаторы тока измеряют вторичный ток, приведенное значение которого определяется из уравнения равновесия МДС:

$$\bar{I}'_2 = -\bar{I}_1 + \bar{I}_0.$$

Для анализа погрешности измерения воспользуемся Т-образной схемой замещения и векторной диаграммой токов (рис.8.2).

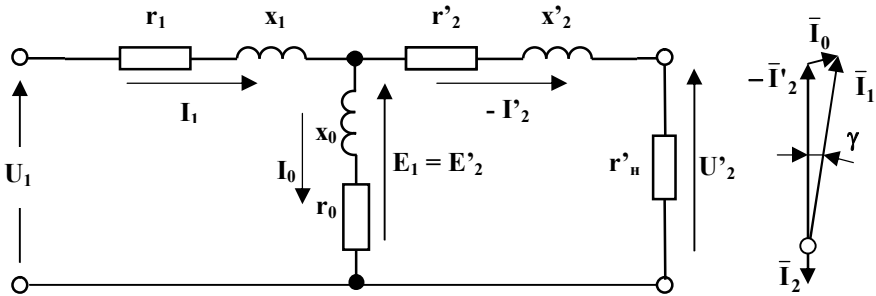


Рисунок 8.2 – Т-образная схема замещения и векторная диаграмма токов ТТ

Токи I'_2 и I_0 определяются отношением ЭДС к сопротивлениям соответствующих ветвей:

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{E}_1}{Z_0}; \quad \bar{I}'_2 = \frac{\bar{E}'_2}{Z'_2 + Z'_n}, \quad (8.1)$$

но приведенная ЭДС вторичной обмотки равна ЭДС первичной обмотки: $\bar{E}_1 = \bar{E}'_2$, поэтому погрешность измерения за счет тока намагничивания можно оценить отношением сопротивлений:

$$-\frac{\bar{I}_0}{\bar{I}'_2} = \frac{Z'_2 + Z'_n}{Z_0}; \quad \bar{I}_0 = -\bar{I}'_2 \frac{Z'_2 + Z'_n}{Z_0} \quad (8.2)$$

где $Z'_n = Z_n k_{mp}^2 = Z_n \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2$ – приведенное сопротивление амперметра или катушки токового реле.

С учетом выражений (8.1) и (8.2) приведенное значение измеряемого тока составляет:

$$\bar{I}'_2 = -\bar{I}_1 - \bar{I}'_2 \frac{Z'_2 + Z'_n}{Z_0}; \quad \bar{I}'_2 + \bar{I}'_2 \frac{Z'_2 + Z'_n}{Z_0} = -\bar{I}_1;$$

$$\bar{I}'_2 = -\bar{I}_1 \frac{Z_0}{Z_0 + Z'_2 + Z'_n}. \quad (8.3)$$

Из этого уравнения следует, что погрешность измерений тем меньше, чем больше сопротивление ветви намагничивания по сравнению с суммой сопротивлений вторичной обмотки и измерительного прибора, поэтому для уменьшения тока холостого хода сердечники ТТ изготавливают из высококачественной стали с малым значением индукции ($B = 0,06 - 0,1$ Тл).

Действительное значение модуля приведенного вторичного тока меньше модуля первичного тока. Относительное значение токовой погрешности составляет:

$$\delta I = \frac{I_2 \frac{W_2}{W_1} - I_1}{I_1} 100\% = \frac{I'_2 - I_1}{I_1} 100\% . \quad (8.4)$$

Одним из способов уменьшения токовой погрешности является коррекция витков вторичной обмотки. Уменьшение W_2 позволяет уменьшить коэффициент трансформации и, соответственно, увеличить значение измеряемой величины.

Все составляющие уравнения (8.3) являются комплексными величинами, поэтому помимо токовой возникает угловая погрешность – угол γ , относительные значения которого уменьшаются при увеличении тока нагрузки (рис. 8.2).

По величине максимально допустимых погрешностей в номинальном режиме работы ТТ относят к различным классам точности.

Класс точности ТТ	0,2	0,5	1,0	3,0
Токовая погрешность, %	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 3,0$
Угловая погрешность, мин.	± 10	± 40	± 80	-

Поскольку сопротивление измерительной обмотки и подключенных к ней приборов очень мало, ТТ работают в режиме, близком к короткому замыканию.

- **Особое внимание следует обратить на то, что режим холостого хода для ТТ недопустим, поскольку при этом происходит насыщение сердечника и резкое увеличение вторичного напряжения, опасное для обслуживающего персонала. При отсутствии нагрузки их вторичные обмотки должны быть замкнуты накоротко.**

Типичные зависимости погрешностей ТТ от относительного значения тока даны на рис. 8.3.

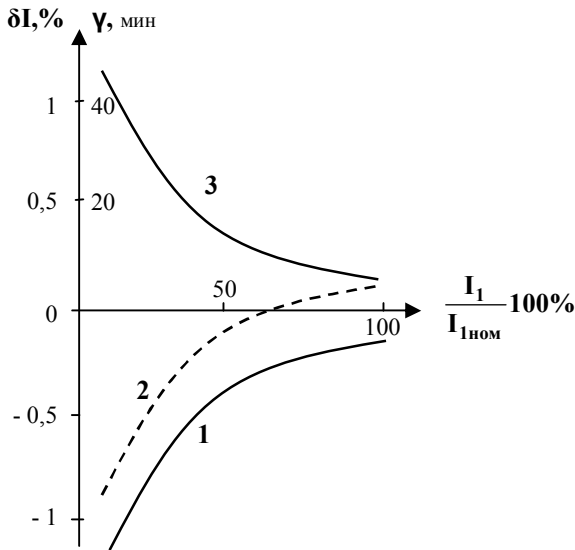


Рисунок 8.3 – Погрешности трансформаторов тока: 1 – токовая без коррекции витков; 2 – токовая с коррекцией витков вторичной обмотки; 3 – угловая

Трансформаторы напряжения (ТН) предназначены для измерения больших напряжений, и должны иметь надежную изоляцию между первичными и вторичными обмотками. Они работают в режиме, близком к холостому ходу, и фактически измеряют вторичное, а не первичное напряжение.

Погрешность измерений ТН можно оценить с помощью Г-образной схемы замещения и векторной диаграммы напряжений, показанных на рис. 4, из которых видно, что первичное (контролируемое) и вторичное (фактически измеряемое) напряжения равны:

$$\bar{U}_1 = -\bar{I}'_2 (Z_1 + C_1 Z'_2 + C_1 Z'_v) ; \bar{U}'_2 = C_1 \bar{I}'_2 Z'_v ,$$

откуда получаем:

$$\frac{\bar{U}_1}{\bar{U}'_2} = -\frac{Z_1 + C_1 Z'_2 + C_1 Z'_v}{C_1 Z'_v} ; \bar{U}_1 = -\bar{U}'_2 \left(1 + \frac{Z_1 + C_1 Z'_2}{C_1 Z'_v} \right) . \quad (8.5)$$

Величина $Z'_k = Z_1 + C_1 Z'_2$ представляет собой приведенное значение сопротивления короткого замыкания. Т.о. погрешность измерений ТН тем меньше, чем больше сопротивление нагрузки (вольтметра) по сравнению с сопротивлением короткого замыкания ТН.

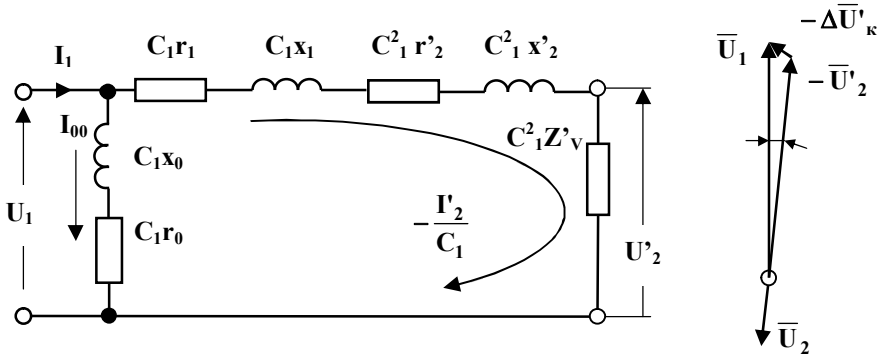


Рисунок 8.4 – Г-образная схема замещения и векторная диаграмма напряжений ТН

Как и в ТТ имеют место погрешность измерения модулей и угловая погрешность. Относительная погрешность модулей составляет:

$$\delta U = \frac{U_2 \frac{W_1}{W_2} - U_1}{U_1} 100\% = \frac{U'_2 - U_1}{U_1} 100\%, \quad (8.6)$$

и может быть уменьшена путем соответствующей коррекции витков первичной обмотки.

ТН выполняют таким образом, чтобы сопротивление короткого замыкания и ток холостого хода имели минимальные значения. Сердечник в рабочем режиме не должен насыщаться, ($B = 0,6 - 0,8$ Тл). Классы точности ТН:

Класс точности ТН	0,2	0,5	1,0	3,0
Токовая погрешность, %	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 3,0$
Угловая погрешность, мин.	± 10	± 20	± 40	-

Номинальные вторичные напряжения ТН равны $100; \frac{100}{\sqrt{3}}$; $\frac{100}{3}$ В при первичных напряжениях от 0,38 до 1150 кВ.

2. Определение погрешности трансформатора тока

Схема электрических соединений стенда для определения погрешности ТТ приведена на рис. 8.5.

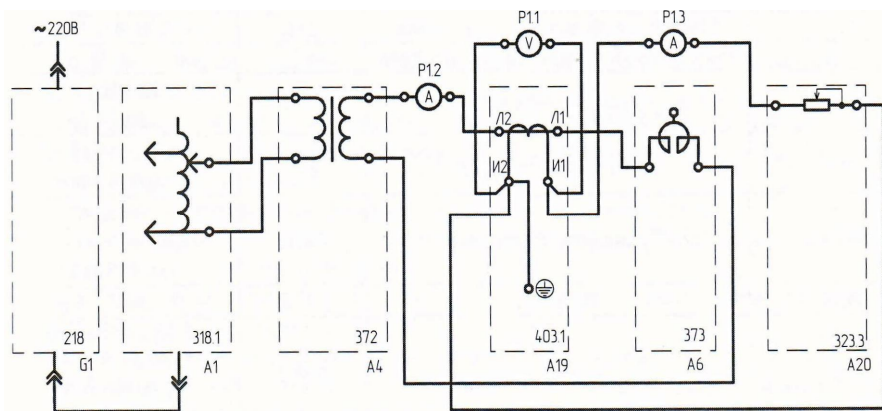


Рисунок 8.5 – Схема электрических соединений стенда для определения погрешности трансформатора тока

Подготовка к проведению эксперимента и измерения выполняются следующим образом.

- Перед сборкой схемы необходимо убедиться в том, что все ее элементы отключены от сети, и соединить все гнезда защитного заземления с гнездом «РЕ» автотрансформатора A1
- Собрать, и представить на проверку схему (рис. 8.5)
- Установить минимальное напряжение, повернув регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 против часовой стрелки
- Установить необходимое сопротивление реостата A20 (например, 10 Ом)
- Включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1
- Включить выключатель «сеть» блока мультиметров P1 и автотрансформатора A1, активизировать мультиметры
- Вращая рукоятку автотрансформатора A1 по часовой стрелке установить и зафиксировать с помощью амперметра P1.2 ток в первичной обмотке ТТ A19, равный 1 А

- Зафиксировать с помощью вольтметра P 1.1 и амперметра P1.3 напряжение U_2 и ток I_2 во вторичной обмотке ТТ А19
- Отключить выключатели в источнике питания G1, блоке мультиметров, и «сеть»
- Вычислить нагрузку и погрешность ТТ по формулам:

$$S_2 = U_2 I_2; \quad \delta I = \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) 100\% .$$

3. Определение погрешности трансформатора напряжения

Схема электрических соединений стенда для определения погрешности ТН приведена на рис. 8.6.

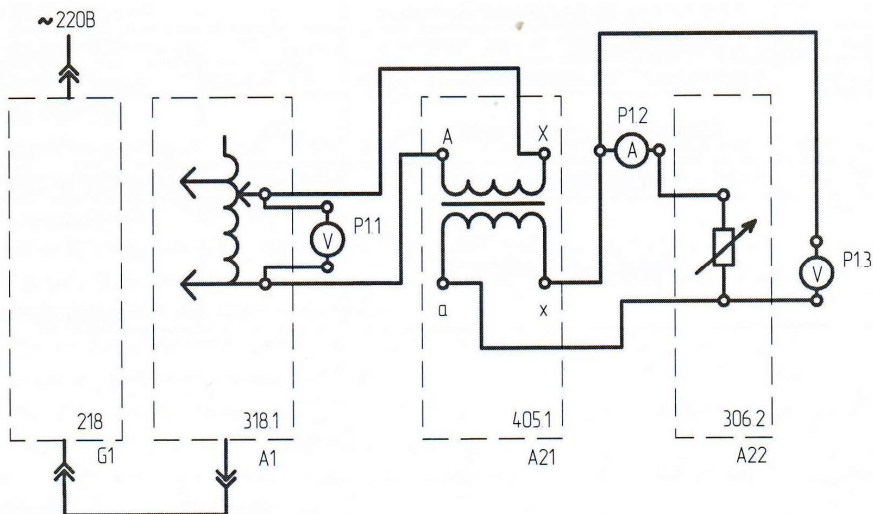


Рисунок 8.6 – Схема электрических соединений стенда для определения погрешности трансформатора напряжения

Подготовка к проведению эксперимента и измерения выполняются следующим образом.

- Перед сборкой схемы необходимо убедиться в том, что все ее элементы отключены от сети, и соединить все гнезда защитного заземления с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1

- Собрать, и представить на проверку схему (рис. 8.6)
- Установить максимальное напряжение, повернув регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 по часовой стрелки
- Установить активную нагрузку А22 в нужное положение (например, 50%)
- Включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1
- Включить выключатель «сеть» блока мультиметров P1 и автотрансформатора А1, активизировать мультиметры
- Зафиксировать с помощью вольтметра P1.1 первичное напряжение U_1 трансформатора напряжения А21
- Зафиксировать с помощью вольтметра P1.3 и амперметра P1.2 напряжение U_2 и ток I_2 во вторичной обмотке ТН А21
- Отключить выключатели в источнике питания G1, блоке мультиметров, и «сеть»
- Вычислить нагрузку и погрешность ТН по формулам:

$$S_2 = U_2 I_2 ; \quad \delta I = \left(\frac{U_2}{U_1} - 1 \right) 100\% .$$

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены трансформаторы тока и напряжения, и что они фактически измеряют?
2. В каких режимах работают ТТ и ТН?
3. Чем принципиально обусловлена погрешность ТТ? Как ее можно уменьшить?
4. Чем принципиально обусловлена погрешность ТН? Как ее можно уменьшить?
5. Какой режим и почему недопустим для ТТ? Что надо сделать со вторичной обмоткой при отсутствии измерительных приборов?
6. Охарактеризуйте классы точности ТТ и ТН.
7. Поясните схему включения и порядок определения погрешности ТТ и ТН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беглецов Н.Н.*, Сенигов П.Н. Электрические аппараты. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭА.001 РБЭ (917.2) – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2007. – 130 с.
2. *Буткевич Г.В.*, Дегтярь В.Г., Сливинская А.Г. Задачник по электрическим аппаратам. М.: Высшая школа, 1987.
3. *Залесский А.М.* Основы теории электрических аппаратов: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974.
4. *Келим Ю.М.* Типовые элементы систем автоматического управления: Учебн. пособие для учреждений среднего профессионального образования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2002.
5. *Кобозев В.А.*, Коваленко В.В. Сварочные трансформаторы. – Ставрополь, 1998.
6. *Кобозев В.А.* Электрические машины. Часть 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы: учебное пособие / В.А. Кобозев. – Ставрополь: Сервисшкола, 2015 – 208 с.
7. *Коваленко П.В.* Электрические аппараты: Учеб. пособие / Кавминводский ин-т ((филиал) – Новочеркасск ЮРГТУ, 2005. – 170 с.
8. *Кокорев А.С.* Контроль и испытание электрических машин, аппаратов и приборов. – М.: Высшая школа, 1990.
9. *Палий В.Я.*, Головченко В.А. Основы теории электрических аппаратов: Лабораторный практикум Новочеркасский государственный технический университет. – Новочеркасск: НГТУ, 1994.
10. *Родштейн Д.А.* Электрические аппараты: Учебник для техникумов. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
11. *Соболев С.И.* Расчет и конструирование низковольтной электрической аппаратуры: Учебник для техникумов. М.: Высшая школа, 1972.
12. *Таев С.И.* Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.
13. *Чунихин А.А.* Электрические аппараты. – М.: Энергоиздат, 1988.
14. *Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов /* Под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
15. *ЭБС Лань: Аполлонский, С.М., Куклев, Ю.В.* Надежность электрических аппаратов: Учебное пособие – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 448 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Общие методические указания	4
Занятие 1. Расчет электродинамических сил в электрических аппаратах	6
Занятие 2. Исследование нагрева катушек электрических аппаратов	12
Занятие 3. Исследование переходного сопротивления электрических контактов	19
Занятие 4. Изучение свойств и способов гашения электрической дуги	27
Занятие 5. Исследование автоматических выключателей	38
Занятие 6. Исследование аппаратов управления	49
Занятие 7. Исследование электромеханических реле ...	61
Занятие 8. Определение погрешности измерительных трансформаторов тока и напряжения	71