

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.Т. ТРУБИЛИНА»

В. Г. Сазыкин, А. Г. Кудряков, А.В. Масенко

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для обучающихся всех форм обучения
по направлению подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника
Часть 2

Краснодар
2019

УДК 621.316.925(076.5)

ББК 31.2

С 15

Составители: д-р техн. наук, проф. В. Г. Сазыкин; канд. техн. наук, доц. А. Г. Кудряков, ст. преп. А. В. Масенко.

Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения спец. 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника / Сост.: В. Г. Сазыкин, А. Г. Кудряков, А. В. Масенко. Краснодар, КубГАУ: «КРОН», 2019. 35 с.

Учебное-методическое пособие предназначено для обучающихся высших учебных заведений очной и заочной формы обучения, занимающихся по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

Ил. 13. Табл. 13. Библиогр.: 9 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИСПЫТАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕЛЕ ТОКА СЕРИИ РТ-80	4
---	---

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЕ С БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ	17
---	----

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТОКОВОГО РЕЛЕ С МАГНИТНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ	24
ЛИТЕРАТУРА	35

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИСПЫТАНИЕ

ИНДУКЦИОННОГО РЕЛЕ ТОКА СЕРИИ РТ-80

1 Цель и программа работы

1.1 Цель работы – ознакомление с конструкцией, работой и испытанием индукционных реле тока серии РТ-80

1.2 Программа работы

1.2.1 Изучение конструкции реле тока серии РТ-80

1.2.2 Ознакомление с работой реле тока серии РТ-80

1.2.3 Испытание индукционного реле тока серии РТ-80

2 Изучение индукционного реле тока серии РТ- 80

2.1 Конструкция реле

Индукционные измерительные реле тока серии РТ-80 широко используются в схемах релейной защиты питающих и распределительных линий, а также трансформаторов в сетях 6-35 кВ.



Рисунок 5.1 – Внешний вид реле тока серии РТ-82

В этих реле объединены: измерительный орган и логическая часть, включающая элемент времени, исполнительный орган и сигнальный элемент. При помощи двух реле серии РТ-80 можно выполнить полный комплект двухступенчатой токовой защиты (в двухфазном двухрелейном исполнении). Постоянное вращение диска при наличии нагрузки позволяет контролировать исправность реле и токовых цепей защиты, однако при этом имеет место ускоренный износ опорных узлов. Кроме того, недостатком реле является отсутствие контактного выхода у

сигнального элемента (флажка). Некоторые затруднения в эксплуатации вызовет сложная кинематика реле, необходимость согласования характеристик и проведения дополнительных расчетов, регулировка сравнительно большого числа электрических параметров. Индукционные реле тока имеют значительно большее потребление мощности, чем электромагнитные реле лучших конструкций, и большее сопротивление.

Внешний вид индукционного реле тока серии РТ-82 показан на рисунке 5.1.

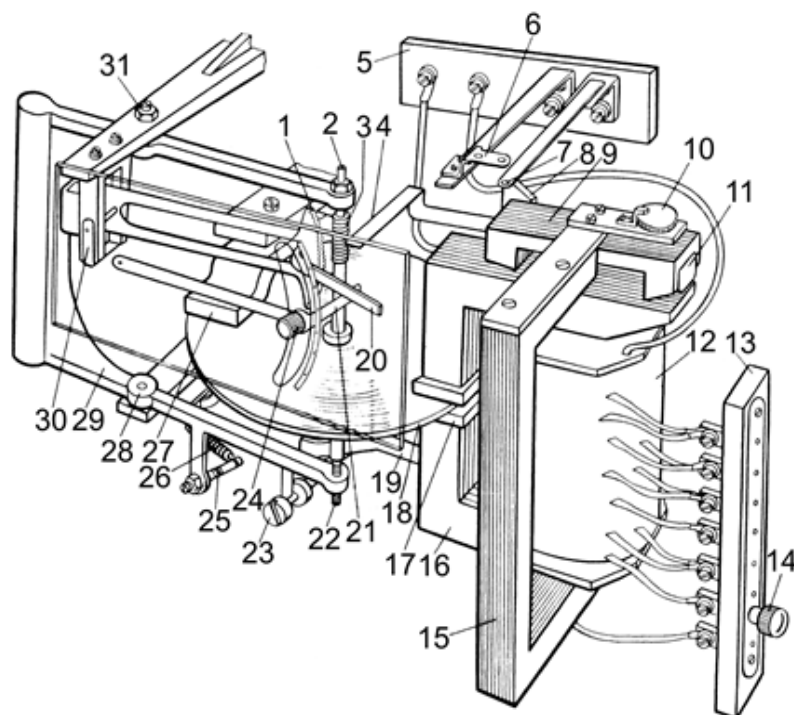


Рисунок 5.2 – Кинематическая схема реле тока серии РТ-80

1 – зубчатый сектор; 2 – верхняя опора диска; 3 – червяк; 4 – фигурный рычаг; 5 – контактная колодка; 6 – неподвижный контакт; 7 – подвижный контакт; 8 – текстолитовая пластина; 9 – якорь отсечки; 10 – регулировочный винт отсечки; 11 – короткозамкнутый виток якоря; 12 – катушка; 13 – штепсельный мостик; 14 – штепсельный винт; 15 – шунт магнитопровода; 16 – магнитопровод; 17 – экраны; 18 – диск; 19 – скоба; 20 – толкатель; 21 – упор; 22 – нижняя опора диска; 23 – упорный винт; 24 – фасонный винт; 25 – регулировочный винт пружины; 26 – пружина; 27 – постоянный магнит; 28 – нижняя опора рамки; 29 – рамка; 30 – полуось сектора; 31 – верхняя опора рамки

Кинематическая схема реле тока серии РТ-80 представлена на рисунке 5.2. Цоколь реле изготавливается из немагнитного сплава путем отливки. Он имеет приливы для крепления деталей. В пазы цоколя уложена резиновая уплотняющая прокладка. В верхней части цоколя в прямоугольном вырезе запрессована контактная колодка 5 с зажимами. Для крепления реле цоколь снабжен двумя отверстиями с резьбой.

Кожух реле изготавливается из прозрачного полимерного материала. В верхней его части расположен поворотный рычажок с возвратной

пружиной и фасонным винтом, служащий для установки сигнального флажка в исходное положение. Механический указатель срабатывания выполнен в виде фигурного коромысла с красным кружком справа.

Магнитопровод реле является общим для индукционного и электромагнитного элементов. Он имеет две ветви и делит магнитный поток на две составляющие. Основная ветвь (собственно магнитопровод) 16 представляет прямоугольник с воздушным зазором, образованным полюсами. Полюсы магнитопровода разделены на две части таким образом, что часть каждого полюса охвачена короткозамкнутым витком (экраном) 17. Другая ветвь магнитопровода – магнитный шунт 15, образующий магнитную цепь совместно с якорем отсечки и его правым воздушным зазором.

Катушка реле 12 – это измерительный орган, включаемый во вторичную обмотку трансформатора тока защиты. По катушке протекает ток, пропорциональный току защищаемого присоединения. Катушка насажена на правый стержень магнитопровода. Один ее конец выведен на контактную колодку, а отпайки – на семь гнезд штепсельного мостика 13, который также имеет вывод на контактную колодку. Гнезда имеют обозначения токов срабатывания. В одно из них ввернут винт 14 с фасонной пластмассовой головкой. Винт снабжен пружиной шайбой, предотвращающей нарушение контакта в случае усыхания карболита штепсельного мостика. Восьмое гнездо является холостым, в него ввернут запасной винт (на рисунке не показан).

Якорь отсечки 9 представляет неуравновешенное коромысло, ось которого укреплена на шунте магнитопровода. На левом, более тяжелом плече, укреплены фигурный рычаг 4 и текстолитовая пластина 8. Посредством фигурного рычага осуществляется воздействие индукционного элемента на якорь и на сигнальный флажок. Текстолитовая пластина непосредственно переключает контакты.

Ток срабатывания электромагнитного элемента можно регулировать воздушным зазором. Для этой цели предназначен фасонный винт 10. На нем укреплено кольцо со шкалой, проградуированной в кратностях тока срабатывания отсечки току срабатывания индукционного элемента. Например, цифра 6 на шкале отсечки совмещена с неподвижной рискуй, а уставка индукционного элемента – 5 А. Следовательно, уставка отсечки равна 30 А. Кольцо со шкалой закреплено стопорным винтом. Ослабив винт, можно повернуть кольцо.

Вибрация якоря отсечки в притянутом состоянии, вызванная пульсацией магнитного потока, может привести к неустойчивому замыканию контактов. Для устранения этого нежелательного явления на правый конец якоря насажен короткозамкнутый виток 11, охватывающий часть его торцевой стороны. Магнитный поток расщепляется на две составляющие, сдвинутые по фазе, что приводит к сглаживанию пульсации. Для предотвращения залипания якорь снабжен немагнитной заклепкой.

Подвижная часть индукционного элемента представляет алюминиевый диск 18, вращающийся между полюсами магнитов. Ось диска установлена на двух опорах в поворотной рамке 29. В свою очередь, поворотная рамка также на опорах 28, 31 двух полуосей установлена в приливах цоколя. Ось диска имеет утолщение, на котором нарезан одно- или четырехзаходный червяк 3. Вторым элементом червячной пары служит зубчатый сектор 1, поворачивающийся на двух полуосях 30. Сектор снабжен толкателем 20, воздействующим на якорь отсечки. Упор 21, на котором лежит толкатель, определяет его исходное положение. Упор фиксируется фасонным винтом 24, выведенным вместе с указателем в прорезь со шкалой времени на щитке реле. Его положением устанавливается выдержка времени. Время на шкале указано в независимой части характеристики.

Крайние положения поворотной рамки ограничены упорным винтом 23. Винт закреплен контргайкой. При отпущенной контргайке винт имеет ход около 3 мм, необходимый для регулировки глубины зацепления червяка с сектором. Рамка оттянута в крайнее положение возвратной пружиной 26 с винтом 25, служащим для регулировки ее натяжения. Рамка заканчивается стальной скобой 19, которая за счет притяжения к магнитопроводу обеспечивает надежное сцепление червячной передачи. Скобу можно слегка подгибать и отгибать, регулируя тем самым коэффициент возврата.

Постоянный магнит 27 создает тормозной момент, пропорциональный частоте вращения диска, что необходимо для:

- а) обеспечения поворота рамки с диском (основная функция);
- б) замедления срабатывания индукционного элемента реле;
- в) сокращения инерционного выбега после отключения тока.

Магнит 27 крепится к приливу цоколя осевым винтом и фиксируется тремя стопорными винтами. При отпуске стопорных винтов положение магнита можно изменять.

2.2 Работа реле

Принцип действия индукционного реле основан на взаимодействии двух переменных магнитных потоков, сдвинутых между собой пространственно и по фазе, с разноименными вихревыми токами, индуцируемыми этими потоками в подвижном алюминиевом диске. В индукционном реле тока серии РТ-80 магнитные потоки создаются расщеплением полюсов электромагнита на две части, на одну из которых насаживаются короткозамкнутые витки в виде медных колец (экранов). Через экранированную часть полюсов проходит поток Φ_1 , через неэкранированную часть – поток Φ_2 . При токе около 30 % тока уставки диск, преодолевая момент силы трения, начинает вращаться. Во вращающемся диске появляются ЭДС резания, вызванные пересечением магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 вращающимся диском. Эти ЭДС создают в диске токи, которые при взаимодействии с вызвавшими их потоками обуславливают появление тормозных моментов, которые пропорциональны частоте вращения

диска и зависят от магнитных потоков. На подвижную часть реле действуют также момент сопротивления пружины, момент инерции диска и тормозной момент постоянного магнита.

Когда рабочий момент уравнивается тормозными моментами, частота вращения установится постоянной.

Для упрощения пренебрежем силой, вызванной токами "резания". Тогда можно считать, что на диск действуют две силы, стремящиеся повернуть рамку, F_1 – сила, созданная электромагнитом, и F_2 – сила тормозного магнита (рисунок 5.3). Позиционные обозначения элементов реле на рисунке 5.3 те же, что и на рисунке 5.2.

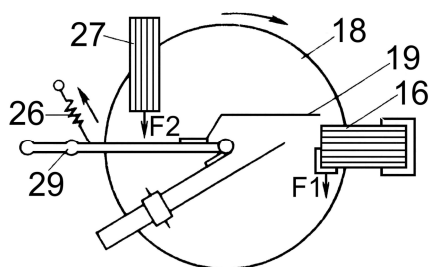


Рисунок 5.3 – Силы, действующие на подвижную систему реле

На вращение диска эти силы оказывают противоположное действие, а на рамку они действуют согласно. Если бы постоянный магнит отсутствовал, уравновешенные силы были бы приложены к одной точке, а их равнодействующая равнялась нулю. С увеличением тока возрастает частота вращения. Одновременно возрастают силы F_1 и F_2 . Наконец, при токе уставки суммарное усилие преодолевает силу возвратной пружины. Рамка поворачивается и зубчатый сектор приходит в зацепление с червяком. С этого момента начинается отсчет времени срабатывания. Теперь возрастает сила трения, стремящаяся вызвать расцепление. Но значительно возрастет и удерживающая сила F_1 из-за уменьшения зазора между скобой и магнитопроводом.

При дальнейшем вращении диска сектор с толкателем движется вверх. Придя в соприкосновение с фигурным рычагом 4 (рисунок 5.2), он поворачивает якорь отсечки. Правый зазор якоря уменьшается, и возрастающая сила электромагнитного притяжения ускоряет движение якоря. Текстолитовая пластина якоря переключает контакты, а фигурный рычаг выталкивает механический указатель срабатывания.

После исчезновения тока подвижные части реле кроме механического указателя срабатывания возвращаются в исходное положение: рамка – возвратной пружиной, якорь – собственной массой.

При токе уставки отсечки электромагнитный элемент работает самостоятельно: срабатывание реле происходит без выдержки времени. При необходимости отсечка может быть выведена из работы вывинчиванием винта 10 до упора.

Более подробно принцип действия и работа реле рассмотрены в [1, с. 84-88], [2, с. 5-17].

Номинальные данные реле серии РТ-80 приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Номинальные данные реле серии РТ-80 приведены в таблице 1

Тип реле	Номинальный ток, А	Уставка времени срабатывания, с	Главный контакт	Сигнальный контакт
РТ-81/1	10	0,5; 1; 2; 3; 4	нормальный	нет
РТ-81/2	5	0,5; 1; 2; 3; 4	то же	то же
РТ-82/1	10	2; 4; 8; 12; 16	"-	"-
РТ-82/2	5	2; 4; 8; 12; 16	"-	"-
РТ-83/1	10	1; 2; 3; 4	"-	есть
РТ-83/2	5	1; 2; 3; 4	"-	то же
РТ-84/1	10	4; 8; 12; 16	"-	"-
РТ-84/2	5	4; 8; 12; 16	"-	"-
РТ-85/1	10	0,5; 1; 2; 3; 4	усиленный	нет
РТ-85/2	5	0,5; 1; 2; 3; 4	то же	то же
РТ-86/1	10	4; 8; 12; 16	"-	есть
РТ-86/2	5	4; 8; 12; 16	"-	то же
Примечания				
1) Выдержки времени даны при 10-кратном токе срабатывания.				
2) Уставки срабатывания индукционного элемента реле исполнения 1: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 А; для реле исполнения 2: 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 А.				

Потребляемая мощность при токе уставки реле не более 10 В·А. После срабатывания реле потребляемая мощность увеличивается на 15 %.

Погрешность тока срабатывания индукционного элемента не превышает 5 %, а разброс не более 4 %. Коэффициент возврата индукционного элемента не менее 0,8.

Погрешность тока срабатывания электромагнитного элемента (отсечка) при уставках индукционного элемента 4 А (исполнение 1) и 3 А (исполнение 2) не превышает 30 %.

В обозначении реле цифра за дробной чертой указывает на диапазон уставок по току: 1 - диапазон уставок 4 - 10 А со ступенью 1 А; 2 - диапазон уставок 2 - 5 А со ступенью 0,5 А.

3 Испытание индукционного реле тока серии РТ-80

3.1 Описание схемы испытания реле

Схема лабораторной установки, предназначенной для испытания индукционного реле тока серии РТ-80, приведена на рисунке 5.4.

3.2 Проверка и регулировка коэффициента возврата

3.2.1 Для уставки I_y по току срабатывания индукционного элемента реле, указанной преподавателем для каждого обучающегося **индивидуально**, определить значения действительных токов срабатывания реле $I_{C,P}$ и возврата $I_{B,P}$, а также значение тока начала свободного вращения диска $I_{C,B}$.

3.2.2 Проверка коэффициента возврата индукционного элемента реле может производиться двумя способами: при плавном снижении тока и при внезапном сбросе тока [3, с. 141]. Второй способ в данной лабораторной работе не рассматривается.

Для проверки коэффициента возврата индукционного элемента при плавном снижении тока в обмотке реле необходимо:

- а) разомкнуть выключатели SF1, SA2, SF3 (рисунок 5.4);
- б) при помощи гибкого проводника установить перемычку между зажимами 1-2;
- в) подключить лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Вывести ЛАТР в нулевое положение;
- г) установить переключатель SA1 в положение "ВКЛ";
- д) подготовить токовые клещи Fluke к измерению тока;
- ж) при помощи винта 24 (рисунок 5.2) установить наибольшую выдержку времени в независимой части времятоковой характеристики реле;
- и) вывернуть винт 10 регулирования отсечки против часовой стрелки до упора;
- к) на штепсельном мостике 13 винтом 4 установить заданную уставку тока срабатывания индукционного элемента реле;
- л) включить выключатель SF1. Ручкой ЛАТРа плавно увеличить ток в обмотке реле до момента срабатывания индукционного элемента (т.е. до момента зацепления червяка с зубчатым сектором). При этом следует убедиться в том, что значение тока $I_{C,B}$ начала свободного вращения диска не превышает 30 % от тока уставки. Затем ручкой ЛАТРа плавно уменьшить ток в обмотке реле до момента возврата индукционного элемента. Измерить ток возврата. Замеры можно выполнить как при помощи амперметра PA2, так и при помощи токовых клещей Fluke.

Измерения по пункту л) повторить 5 раз. Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

3.2.3 Определить коэффициент возврата k_B индукционного элемента реле по выражению:

$$k_B = I_{B,P} / I_{C,P}. \quad (5.1)$$

В том случае, когда коэффициент возврата k_B меньше требуемого значения 0,8, для увеличения тока возврата необходимо немного отогнуть стальную скобу 19 (рисунок 5.2) от магнитопровода 16. При этом следует убедиться, что зубчатый сектор 1 не выходит из зацепления с червяком 3

в начале подъема фигурного рычага (коромысла) 10, а также проверить, не увеличился ли при этом ток срабатывания индукционного элемента. В случае увеличения тока срабатывания следует ослабить натяжение пружины 26 винтом 25, при этом следует обратить внимание на то, чтобы пружина надежно возвращала рамку 29 в исходное положение.

3.2.4 Определить относительную погрешность $\gamma_{C,P,\%}$, %, и абсолютное значение разброса $\Delta I_{\%}$, %, по току срабатывания реле по выражениям:

$$\gamma_{C,P,\%} = \frac{I_{C,P,CP} - I_y}{I_y} 100; \quad (5.2)$$

$$\Delta I_{\%} = \frac{I_{C,P,max} - I_{C,P,min}}{I_{C,P,CP}} 100, \quad (5.3)$$

где $I_{C,P,CP}$ – среднее арифметическое значение тока срабатывания, полученное при выполнении пяти измерений, А;

$I_{C,P,max}$; $I_{C,P,min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения тока срабатывания, полученные при измерениях, А.

Результаты расчетов занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры срабатывания и возврата реле

I_y , А	Номер опыта	$I_{C,B}$, А	$I_{C,P}$, А	$I_{B,P}$, А	k_B	$I_{C,P,CP}$, А	$I_{C,P,max}$, А	$I_{C,P,min}$, А	$\gamma_{C,P,\%}$, %	$\Delta I_{\%}$, %
	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

3.2.4 Сравнить результаты измерений и расчетов с соответствующими техническими данными реле, приведенными в приложении А.

Сделать вывод о соответствии реальных параметров реле паспортным и дать рекомендации по регулировке параметров реле. При этом рекомендуется использовать материал /3, с. 136–142/.

3.3 Снятие временной характеристики реле

3.3.1 При снятии характеристики реле выполнить следующие действия:

а) отключить выключатель SF1;

б) установить на реле заданные преподавателем уставку тока срабатывания I_y индукционного элемента и уставку времени срабатывания t_y в независимой части характеристики реле;

в) включить выключатель SF1. Задавая кратностью тока в обмотке реле I_p по отношению к заданному току уставки $k_p = I_p/I_y$ в пределах от 1 до 10, по амперметру PA1 или PA2 установить соответствующий ток;

г) отключить выключатель SF1. Установить секундомер PT1 в начальное положение. Выключателем SA2 и SF3 включить секундомер;

д) включить выключатель SF1. По секундомеру PT1 определить время срабатывания реле при данном токе. Результат измерения занести в таблицу 3;

е) по данным таблицы 5.3 построить характеристику реле $t_{c,p} = f(k_p)$.

3.3.2 Сравнить полученную характеристику с заводской (рисунок 5.5).

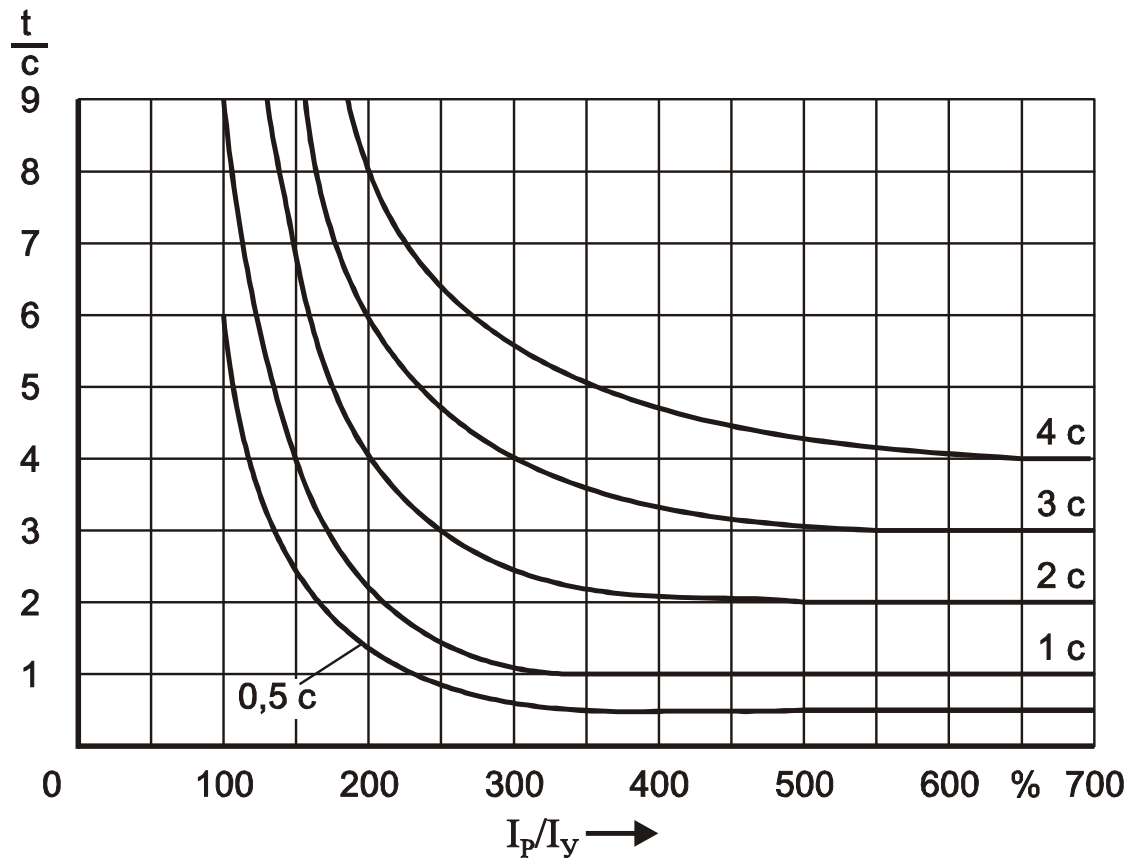


Рисунок 5.5 – Заводские характеристики реле типа PT-85

Таблица 5.3 – Экспериментальная характеристика реле

I_p/I_y									
I_p, A									
$t_{c,p}, c$									
Примечания									
1) $I_y = \dots$									
2) $t_y = \dots$									

3.3.3 Выполнить проверку абсолютного разброса точек характеристики времени срабатывания при $k_p = 1,5$. При этом количество замеров должно быть не менее 3. Для реле типа PT-80 разброс не должен

превышать 1 с. Повышенный разброс может быть следствием неисправности подпятников или червячной передачи.

3.3.4 Выполнить проверку времени срабатывания при $k_p = 4$. Выдержка времени не должна превышать значений, приведенных в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Время срабатывания индукционного элемента при $k_p = 4/3$, с. 137/

t_y , с	0,5	1	2	3	4
$t_{c,p}$, с	0,9	1,65	3,1	4,6	6,0

3.3.5 Выполнить проверку абсолютного отклонения времени срабатывания при $k_p = 10$. При этом количество замеров должно быть не менее 3. Допустимые значения абсолютного отклонения γ_t времени срабатывания приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Допустимые значения абсолютного отклонения времени срабатывания индукционного элемента при $k_p = 10/3$, с. 137/

t_y , с	0,5	1	2	3	4
γ_t , с	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$

3.3.6 Регулировку времени срабатывания выполняют подбором положения постоянного магнита.

3.4 Проверка и регулировка электромагнитного элемента

При проверке электромагнитного элемента (отсечки) следует учитывать то обстоятельство, что градуировка шкалы отсечки справедлива только на уставке индукционного элемента 4 А (для реле с номинальным током 10 А). На указанной уставке ведется заводская калибровка отсечки. На других уставках погрешность реле существенно изменяется.

Проверка отсечки выполняется на рабочей уставке электромагнитного элемента, для этого винтом 10 устанавливается соответствующая кратность тока срабатывания отсечки (отношение тока срабатывания отсечки к уставке индукционного элемента по току), винтом 24 устанавливается максимальная уставка по шкале времени, затем кратковременными толчками (во избежание перегрева реле) в обмотку реле подается ток, равный току рабочей уставки отсечки. Завод-изготовитель гарантирует работу отсечки с разбросом не более 15 %; с учетом указанного разброса добиваются срабатывания отсечки при токе ее уставки и устанавливают шкалу в соответствии с действительной кратностью тока срабатывания отсечки.

В случае необходимости точное определение разброса тока срабатывания отсечки выполняют следующим образом. Незначительно снижая при каждом включении ток, определяют его значение, при котором

отсечка перестает срабатывать. Если при трех-четырех включениях отсечка ни разу не сработала, нужно немного увеличить ток, и, дав реле остыть в течение одной минуты, повторить включение с интервалом 10 с, добиваясь однократного срабатывания из 10 включений. Измеренный ток является начальным током срабатывания. Затем, дав реле охладиться (перегрев приводит к возрастанию разброса), следует увеличить ток до значения, при котором отсечка срабатывает 10 раз из 10. Измеренный таким образом ток является током надежного срабатывания отсечки.

Повышенный разброс, а также вибрация якоря отсечки, являются признаками неисправности механической части реле.

Для проверки действия отсечки необходимо:

а) отключить выключатель F1. Винтом 14 на штепсельном мостике 13 установить минимальную уставку срабатывания индукционного элемента. Винтом 10 установить минимальную кратность отсечки $k = 2$. Винтом 24 установить максимальную выдержку времени срабатывания реле в независимой части характеристики;

б) включить выключатель SF1. Ручкой ЛАТРа установить ток $I_{y,0}$ в обмотке реле, соответствующий кратности срабатывания отсечки;

в) отключить и затем снова включить выключатель SF1. Сделать вывод о срабатывании или несрабатывании отсечки. В случае срабатывания отсечки незначительно снижая ток, повторить испытания по данному пункту до момента несрабатывания реле. Последнее значение тока, при котором наблюдалось срабатывание отсечки, следует принять в качестве тока срабатывания отсечки $I_{c,0}$.

г) выполнить мероприятия по п. а, б, в для кратности отсечки 4;

д) оценить погрешность действия отсечки $\gamma_{c,0\%}$.

Результаты измерений и расчетов свести в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Параметры срабатывания отсечки

I_y, A	k	$I_{y,0}, A$	$I_{c,0}, A$	$\gamma_{c,0\%}, \%$

4 Техника безопасности

4.1 Включение стенда под напряжение допускается только в присутствии преподавателя после получения обучающимся допуска к выполнению лабораторной работы.

4.2 Перед началом работы следует убедиться, что все токоведущие части стенда защищены специальными кожухами, а сам стенд заземлен.

4.3 Запрещается производить какие-либо коммутации в схеме стенда при включенном напряжении.

5 Содержание отчета

5.1 Титульный лист

- 5.2 Цель и программа работы
- 5.3 Схема лабораторной установки
- 5.4 Перечень элементов оборудования
- 5.5 Результаты измерений и расчетов, характеристики реле
- 5.6 Выводы по результатам работы

6 Контрольные вопросы

- 6.1. В чем заключается индукционный принцип выполнения реле?
- 6.2. Какие элементы входят в состав реле тока серии РТ-80?
- 6.3. Как действует реле тока серии РТ-80?
- 6.4. Для чего в конструкции реле тока серии РТ-80 применяется стальная скоба?
- 6.5. Какую роль в конструкции реле тока серии РТ-80 играет постоянный магнит?
- 6.6. Какими достоинствами и недостатками обладает реле тока серии РТ-80 по сравнению с аналогичными реле других типов?
- 6.7. Функции каких реле защиты объединяет в себе реле тока серии РТ-80?
- 6.8. Что такое ток срабатывания реле? ток возврата реле? коэффициент возврата реле?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЕ С БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ

1 Цель и программа работы

1.1 Цель работы

Целью работы является ознакомление с устройством реле дифференциальной токовой защиты с быстронасыщающимся трансформатором, способами регулирования тока срабатывания и методами проверки основных электрических характеристик.

1.2 Программа работы

1.2.1 Изучение устройства и принципа действия реле серии РНТ - 565.

1.2.2 На лабораторном стенде проверить МДС срабатывания реле на разных уставках, используя дифференциальную и уравнительную обмотки.

1.2.3 Составление отчета.

2 Изучение внутреннего устройства реле серии РНТ-565

Дифференциальные реле с быстронасыщающимся трансформатором (БНТ) типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567 предназначены для использования в схемах дифференциальных токовых защит двух- и трехобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов и сборных шин. Внешний вид устройства реле типа РНТ-565 представлен на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Внешний вид устройства реле типа РНТ-565

Реле серии РНТ-565 [4] (рис. 6.2) состоит из промежуточного быстронасыщающегося трансформатора T , исполнительного органа $КА$ (реле РТ-40/0,2) резистора $R_{ш}$ для регулировки тока срабатывания и резистора R_k для плавной регулировки отстройки от апериодической

составляющей. Реле серии РНТ-565 отличаются друг от друга только количеством рабочих обмоток. Магнитная система БНТ выполнена трехстержневой. На средней стержне расположены первичные обмотки – дифференциальная w_{∂} и две уравнивательные: $w_{уп1}$ и $w_{уп2}$. Здесь же расположена первая секция короткозамкнутой обмотки $w'_{к}$; на крайних стержнях размещены вторичная рабочая обмотка w_2 – на левом и вторая секция короткозамкнутой обмотки $w''_{к}$ – на правом стержне. Дифференциальная и уравнивательные обмотки имеют ответвления и секционированы. Изменение числа витков (через один) можно производить при помощи регулировочных винтов, устанавливаемых в разъемные гнезда. Числа, стоящие у гнезд, соответствуют числу включаемых витков. БНТ служит для предотвращения срабатывания защиты от бросков намагничивающего тока, проходящего по дифференциальной цепи при включении силового трансформатора под напряжение (холостой ход трансформатора), а также от увеличенных токов небаланса при переходных режимах, обусловленных внешними КЗ со значительной апериодической составляющей тока. В указанных случаях наличие апериодической составляющей приводит к тому, что магнитопровод насыщается, уменьшается сопротивление цепи намагничивания, а следовательно, ухудшается трансформация периодической составляющей тока, так как она замыкается в основном по ветви намагничивания.

Короткозамкнутая обмотка ($w'_{к}$, $w''_{к}$) предусмотрена на магнитопроводе БНТ для лучшей отстройки исполнительного органа защиты от переходных режимов, сопровождаемых появлением в дифференциальной цепи апериодической составляющей тока. Степень отстройки, т. е. загроуление действия выходного реле, можно изменять регулированием сопротивления резистора R_k , включенного последовательно в цепь короткозамкнутой обмотки. С уменьшением R_k увеличивается степень насыщения стали промежуточного трансформатора и увеличивается надежность отстройки от переходных токов с апериодической составляющей, но время действия реле при КЗ в зоне защиты увеличивается на время затухания апериодической составляющей, содержащейся в токе КЗ.

Уравнивательные обмотки реле используются для выравнивания магнитных потоков, обусловленных токами, проходящими в плечах дифференциальной защиты. В защите двухобмоточных трансформаторов достаточно использовать одну уравнивательную обмотку. В защите трехобмоточных трансформаторов, как правило, необходимо использовать обе обмотки.

Регулирование тока срабатывания рассматриваемых реле производится изменением числа витков дифференциальной обмотки. Так как параметры исполнительного элемента не изменяются, значение минимального магнитного потока, при котором реле надежно замыкает контакты, постоянно. Магнитодвижущая сила срабатывания, по данным завода, для реле типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567 составляет

$F_{c,p}=100\pm 5A$ и может быть незначительно изменена с помощью регулируемого резистора $R_{ш}$, включенного параллельно обмотке исполнительного реле. Ток срабатывания этого реле при синусоидальном токе и нормальной регулировке противодействующей пружины (движок реле установлен на красной черте) равен 0,17 А, а напряжение при этом на обмотке 3,6 В [5].

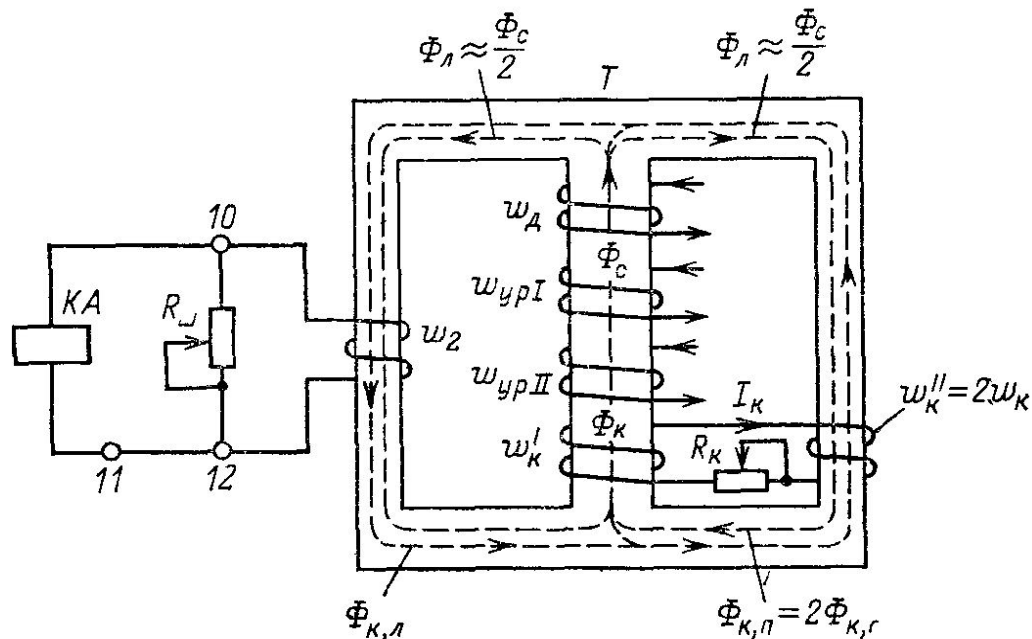


Рисунок 6.2 – Устройство реле типа РНТ-565

Вследствие того, что $F_{c,p} = I_{c,p} \cdot w_{д}$ значение тока срабатывания зависит от числа используемых витков дифференциальной обмотки, то есть

$$I_{c,p} = 100 / w_{д} . \quad (6.1)$$

Значение тока срабатывания при включении только дифференциальной обмотки может быть около 3 А (замкнуты гнезда 32 и 3) и около 14 А (замкнуты гнезда 8 и 0).

При включении в дифференциальную цепь последовательно двух обмоток – уравнивающей и дифференциальной – ток срабатывания уменьшается ($I_{c,p \min} = 1,5$ А). Так, например, при включении реле по схеме на рис. 5.2 зажимами 4-6 (включена только одна дифференциальная обмотка) и замкнутыми гнездами у цифр 24 и 1 ток срабатывания реле будет $I_{c,p} = 100 / (24 + 1) = 4$ А. Если реле подключить в цепь зажимами 1-6 и установить накладку 2-4 (включены последовательно две обмотки), то значение тока срабатывания реле при указанных на схеме замкнутых гнездах окажется $I_{c,p} = 100 / (4 + 21 + 24 + 1) = 2$ А.

Проверка МДС срабатывания реле производится по схеме, приведенной на рисунке 6.3, подачей тока в дифференциальную и уравнивающую обмотки.

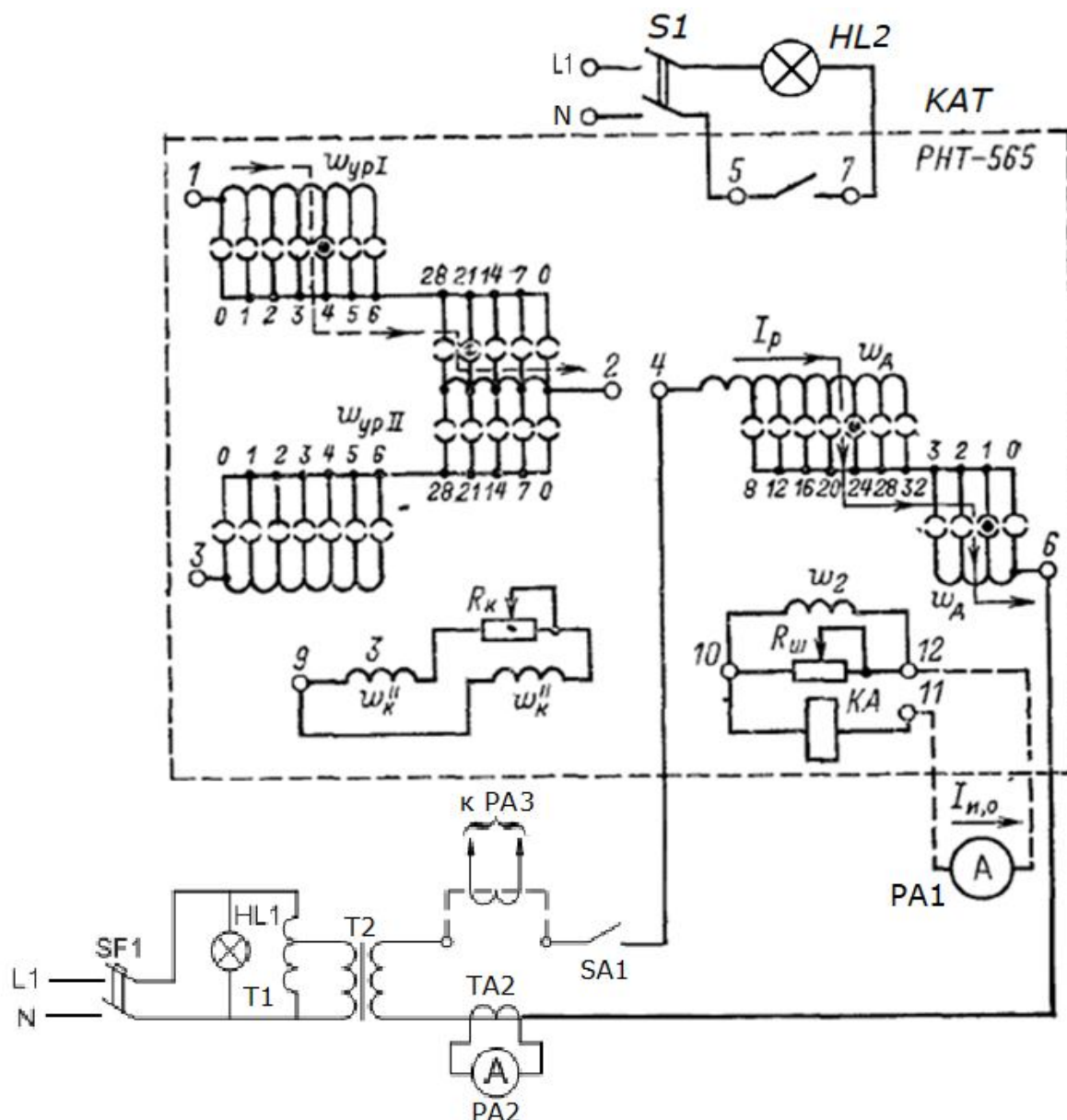


Рисунок 6.3 – Схема испытания и схема внутренних соединений реле типа РНТ-565

Проверка коэффициента чувствительности реле $kч$ наиболее правильно и точно производится путем измерения тока во вторичной обмотке БНТ при изменении тока в первичной обмотке с использованием исполнительного реле как измерителя тока. Этот метод трудоемкий и требует изменения затяжки пружины исполнительного реле. Удобным и практически достаточно точным является метод определения коэффициента чувствительности по току в исполнительном реле. Для проведения работы подвижная система реле закрепляется (заклинивается) в отпавшем положении, соответствующем разомкнутому состоянию контактов.

Учитывая, что насыщение магнитопровода БНТ наступает при токах в первичных обмотках, равных примерно $(4,5 \div 5)I_{с,р}$, производится измерение вторичного тока, то есть тока в исполнительном органе $I_{и,о}$ при

МДС: $F = F_{c,p}; 2F_{c,p}; 5F_{c,p}$; при этом рекомендуется устанавливать максимальным числом витков рабочих обмоток. Коэффициент чувствительности определяется как отношение токов в исполнительном органе при $2F_{c,p}$ и $5F_{c,p}$ к току при $F_{c,p}$, то есть:

$$k_{ч2} = I_{u,o}(2F_{c,p}) / I_{u,o}(F_{c,p}); \quad (6.2)$$

$$k_{ч5} = I_{u,o}(5F_{c,p}) / I_{u,o}(F_{c,p}). \quad (6.3)$$

У исправных реле полученные значения коэффициентов чувствительности должны быть: $k_{ч2} = 1,2 \div 1,3$; $k_{ч5} = 1,35 \div 1,5$. Ток в исполнительном органе измеряется амперметром типа Ц42302 на пределе 500 мА.

3 Указания по выполнению работы

3.1 Собрать схему по рис. 6.3, проверить МДС срабатывания на разных участках, используя сначала только дифференциальную обмотку, а затем совместно дифференциальную и уравнительную. Для этого при заданных положениях регулировочных винтов, плавно увеличивая ток в цепи, зафиксировать минимальное значение тока, при котором контакты реле надежно замыкаются, - это значение тока является током срабатывания.

3.2 Результаты занести в таблицу 6.1:

Таблица 6.1 – Результаты измерений

Положение регулировочных винтов			Измеряемые величины		
w_{∂} , В	$w_{ур}$, В	$w_{уст} = w_{\partial} + w_{ур}$, В	$I_{c,p}$, А	$I_{u,o}$, А	$F_{c,p} = I_{c,p} * w_{уст}$, А

3.3 Необходимо с помощью регулирующего механизма затяжки пружины исполнительного реле (красная стрелочка) при замкнутых гнездах дифференциальной обмотки (8-0) установить ток срабатывания исполнительного реле $I_{c,p} = 14$ А.

3.4. Вывести красную стрелочку в три положения «максимальный», «средний» и «минимальный» и замерить все три значения тока срабатывания в исполнительном органе с помощью токовых клещей.

3.5. Установить суммарное число витков $w_{уст} = w_{\partial} + w_{ур}$ равное 50; измерить ток в цепи исполнительного органа $I_{u,o}$ при токах в реле, равных 2, 4, 10 А. При этом значения намагничивающих сил соответственно будут составлять 100 А ($F_{c,p}$), 200 А ($2F_{c,p}$), 500 А ($5F_{c,p}$). По полученным результатам измерений определить значения коэффициентов чувствительности $k_{ч2}$ и $k_{ч5}$.

3.6. Сделать вывод о состоянии реле и пригодности его в эксплуатацию.

4 Техника безопасности

5.1 Включение стенда под напряжение допускается только в присутствии преподавателя с его разрешения после получения студентом допуска к лабораторной работе.

5.2. Перед началом работы необходимо убедиться в том, что все токоведущие части установки защищены от прикосновения, подвижные части закрыты защитным кожухом, а сам стенд надежно заземлен. В случае невыполнения указанных требований необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю и не начинать работу до устранения неисправности.

5.3 Для включения стенда под напряжение следует:

- включить питание лаборатории при помощи вводного автомата;
- включить автоматы переменного оперативного тока на распределительном щите лаборатории;
- включить вводной автомат стенда.

5.4 Отключение стенда производится в обратном порядке.

5.5 В случае возникновения неисправностей в работе оборудования немедленно отключить стенд от сети и сообщить об этом преподавателю или лаборанту. Продолжение работы после устранения повреждения возможно только с разрешения преподавателя.

5 Содержание отчета

5.1 Титульный лист

5.2 Цель и программа работы

5.3 Схема устройства реле РНТ-565 (рисунок 6.2); схема испытания и внутренних соединений (рисунок 6.3).

5.4 Перечень элементов схемы.

5.5 Описание схемы срабатывания реле РНТ-565.

5.6 Расчет значений МДС срабатывания реле.

5.7 Выводы по результатам работы.

6 Контрольные вопросы

6.1 Как настроить реле типа РНТ-565 на заданный ток срабатывания?

6.2 Назначение уравнильных обмоток в реле типа РНТ-565?

6.3 Для чего нужна вторая уравнильная обмотка?

6.4 Можно ли в реле типа РНТ-565 использовать уравнильные обмотки без дифференциальной?

6.5 Что такое коэффициент чувствительности реле типа РНТ-565?

6.6 Каким образом в реле типа РНТ-565 производится отстройка от бросков намагничивающего тока?

6.7 Чем обусловлено некоторое замедление в действии дифференциальной защиты с реле типа РНТ при КЗ в зоне защиты по сравнению со схемой дифференциальной защиты с токовым реле без БНТ?

6.8 Каково назначение резисторов $R_{ш}$, $R_{к}$ в схеме реле типа РНТ-565?

6.9 Допустима ли работа реле типа РНТ-565 с разомкнутой цепью короткозамкнутой обмотки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТОКОВОГО РЕЛЕ С МАГНИТНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

1 Цель и программа работы

1.1 Цель работы

Целью работы – ознакомление с конструктивными особенностями дифференциального токового реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11/2, способами регулирования тока срабатывания и методами проверки основных электрических характеристик.

1.2 Программа работы

1.2.1 Изучение устройства и принципа действия реле серии ДЗТ-11/2.

1.2.2 На лабораторном стенде проверить МДС срабатывания реле на разных уставках, используя дифференциальную и уравнительную и тормозную обмотки.

1.2.3 Составление отчета.

2 Изучение внутреннего устройства реле серии ДЗТ-11/2

Дифференциальные токовые реле с торможением применяются для повышения чувствительности дифференциальных защит трансформаторов, автотрансформаторов и блоков генератор – трансформатор, т. е. в тех случаях, когда чувствительность дифференциальной токовой защиты обычного исполнения (без торможения) оказывается недостаточной. Реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11 содержит промежуточный быстронасыщающийся трехстержневой трансформатор (рис. 7.1) и исполнительный орган в виде электромагнитного реле тока серии РТ-40.

Магнитопровод выполнен трехстержневым, сечение среднего стержня в 2 раза больше сечения крайних.

На среднем стержне магнитопровода расположена катушка содержащая рабочую (РО) и две уравнительные обмотки (УО). На крайних стержнях находятся катушки содержащие вторичную (ВО) и тормозную обмотки (ТО). Вторичная обмотка шунтируется регулировочным сопротивлением $R_{ш}$, к части витков обмотки подключен исполнительный орган РТ-40.

Рабочие и уравнительные обмотки имеют отводы, что позволяет [7]:

а) компенсировать в схемах защиты силовых трансформаторов несоответствие коэффициентов трансформации трансформаторов тока, установленных на высокой и низкой сторонах защищаемого трансформатора;

б) установить величину тока срабатывания.

При протекании сквозного тока короткого замыкания по тормозной обмотке магнитопровод насыщающегося трансформатора тока (НТТ)

насыщается и условия трансформации тока, протекающего по первичным обмоткам во вторичную, ухудшаются, обеспечивая тем самым получение торможения.

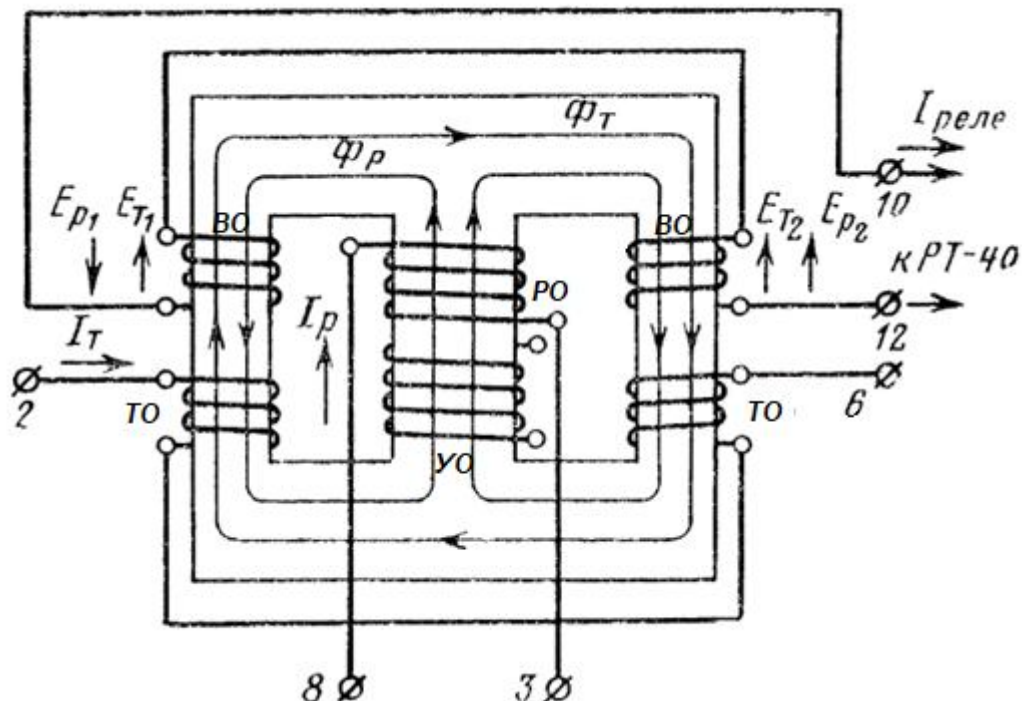


Рисунок 7.1 – Устройство реле типа ДЗТ

Тормозная обмотка выполнена с отпайками, что позволяет ступенчато регулировать степень отстройки реле от периодических токов небаланса при внешних коротких замыканиях. Наибольшая степень отстройки будет при включении всех витков тормозной обмотки. При всех переключениях чисел витков тормозной обмотки каждый стержень охватывается одинаковым числом витков.

Каждая половина вторичной и тормозной обмоток соединены друг с другом так, что ЭДС во вторичной обмотке наводится только от потока, вызванного рабочими обмотками.

Применение НТТ одновременно предотвращает действие реле при бросках тока намагничивания при включении силового трансформатора вхолостую.

При нормальном режиме ток, проходящий в плече дифференциальной защиты, мал и, следовательно, мала МДС, создаваемая этим током при помощи тормозной обмотки, трансформатор работает в прямолинейной части характеристик намагничивания. Поскольку, ток небаланса в этом режиме также мал, ЭДС, индуктированные во вторичной цепи, не будут вызывать срабатывания исполнительного реле. При внешнем КЗ ток в плече дифференциальной защиты возрастает, увеличивается МДС, определяемая тормозной обмоткой, что приводит к насыщению крайних стержней магнитопровода. Магнитное сопротивление резко увеличивается, и условия трансформации тока небаланса

значительно ухудшаются. Хотя ток небаланса в этом режиме возрастает, исполнительное реле не будет срабатывать – для его работы необходимо прохождение большего тока по рабочей обмотке трансформатора. Таким образом, с увеличением тока в тормозной обмотке трансформатора ток, необходимый для срабатывания исполнительного реле, автоматически возрастает – реле загрубляется («тормозится»). При отсутствии торможения и наличии нормальной регулировки исполнительного реле МДС (изменение затяжки пружины), необходимая для его срабатывания, составляет примерно $F_{с.р.} = 100 \pm 5$ А.

Для достижения соответствия значения тока срабатывания исполнительного реле указанному значению МДС без изменения затяжки пружины предусмотрен добавочный резистор $R_{ш}$.

При прохождении тока по тормозной обмотке трансформатора МДС, требуемая для срабатывания исполнительного реле, возрастает. Зависимость МДС срабатывания $F_{с.р.}$ от МДС, создаваемой током в тормозной обмотке при нормальной затяжке пружины исполнительного реле, называется тормозной характеристикой.

Степень торможения реле зависит от числа тормозных ампервитков и угла сдвига между рабочим и тормозным токами.

На рисунке 7.2 показаны тормозные характеристики [8], представленные графически в виде зависимости $F_{с.р.} = f(F_{торм})$:

а) кривые 1 и 2 представляют собой крайние тормозные характеристики при различных углах сдвига между тормозным и рабочим токами и нормальной регулировке исполнительного органа;

б) кривой 3 изображена крайняя верхняя тормозная характеристика при затяжке противодействующей пружины исполнительного органа, соответствующей току срабатывания, равному 1,2 от тока срабатывания при его нормальной регулировке;

в) крайняя нижняя тормозная характеристика реле при затяжке противодействующей пружины исполнительного органа, соответствующей току срабатывания, равному 0,8 от тока срабатывания при нормальной регулировке, изображена кривой 4.

Необходимое число витков устанавливают регулировочными винтами. Цифры около гнезд указывают число включенных витков. Для реле типа ДЗТ-11/2 количество витков тормозной обмотки может быть 25; 65; 105; 145; 30; 20; 10; 0.

Коэффициент торможения представляет собой отношение тока срабатывания к току торможения

$$k_T = I_{с.р.} / I_{торм} . \quad (7.1)$$

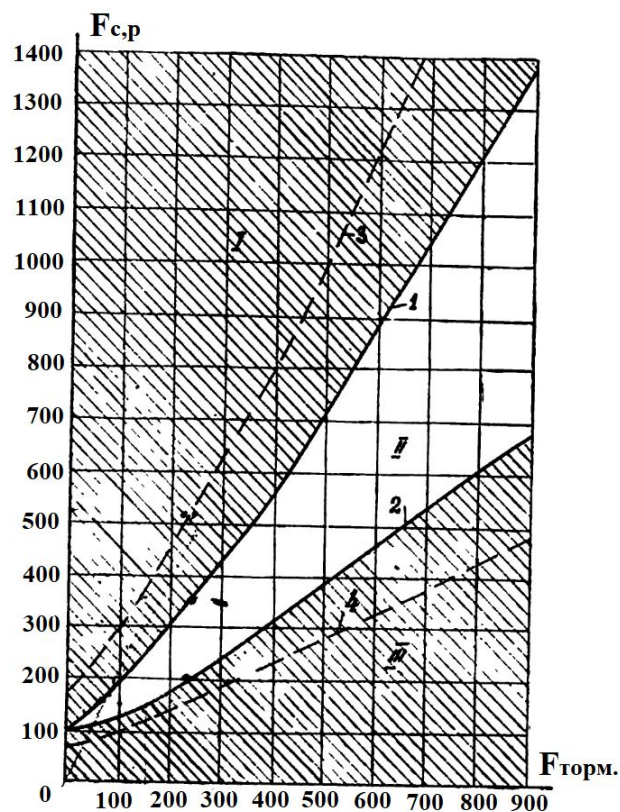


Рисунок 7.2 – Тормозные характеристики реле типов ДЗТ 11/2, ДЗТ 11/3 , ДЗТ 11/4: I – зона срабатывания; II – зона срабатывания или торможения в зависимости от угла между тормозным и рабочими токами; III – зона торможения.

На лабораторном стенде представлен для изучения студентами токовое реле типа ДЗТ-11/2 (рисунок 7.3), принципиальная схема которого представлена на рисунке 7.4. Максимально допустимый длительный ток рабочих, уравнивающих и тормозной обмоток реле ДЗТ-11/2 в нормальном режиме представлен в таблице 7.1. Обмоточные данные реле и параметры элементов схемы в таблице 7.2.

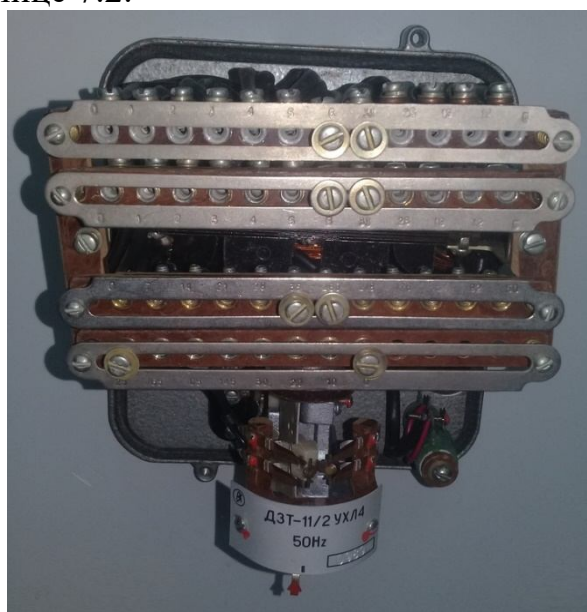


Рисунок 7.3 – Реле типа ДЗТ-11/2

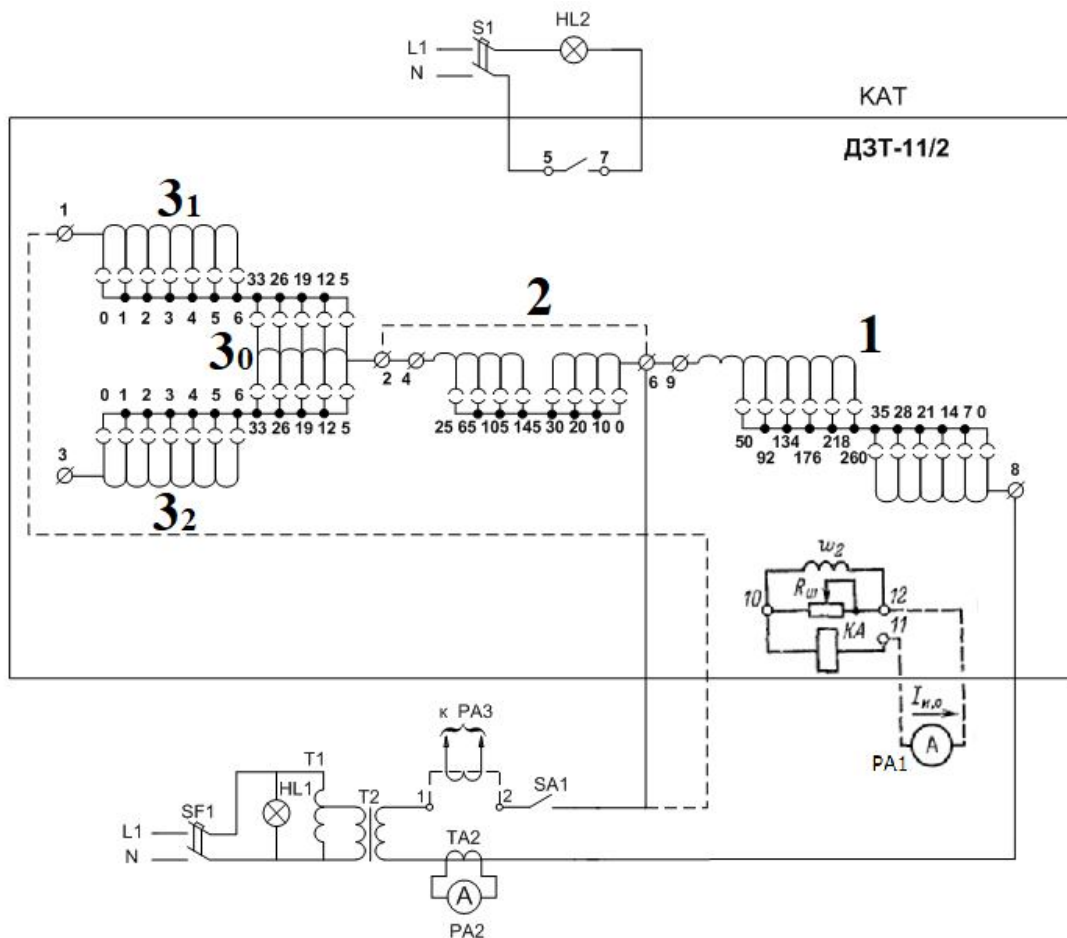


Рисунок 7.4 – Принципиальная схема реле ДЗТ 11/2: 1 — рабочая обмотка; 2 — тормозная обмотка; 3₀ — основная уравнивательная обмотка; 3₁, и 3₂ — первая и вторая уравнивательные обмотки.

Таблица 7.1 – Максимально допустимый длительный ток рабочих, уравнивательных и тормозной обмоток реле в нормальном режиме

Тип	Обмотка	I режим		II режим	
		число включенных витков	ток, А	число включенных витков	ток, А
ДЗТ 11/2	рабочая 1-я или 2-я	295	1	85	1,8
	уравнивательная	39	8	39	8,0
	тормозная	175	1	175	1,8

Обмоточные данные реле и параметры элементов схемы приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Обмоточные данные реле и параметры элементов схемы

Тип	Название	Обмотка	Число витков	Марка и диаметр провода по меди, мм
ДЗТ 11/2	Насыщающийся трансформатор тока (НТТ)	рабочая	$W_p=295$	ПЭТВ 0,59
		1-я или 2-я уравнильные	$W_{Iур} = W_{IIур} = 39$	ПСД 1,81
		вторичная	$W_{вт}=200$	ПЭТВ 0,8
		тормозная	$W_t=175$	ПЭТВ 0,86

В качестве примера ниже рассмотрен случай применения реле ДЗТ-11 для дифференциальной защиты автотрансформатора 125 МВА. Принципиальная схема включения реле дана для одной фазы, приведена на рисунке 7.5. Здесь же показаны расчетные точки КЗ, и все расчеты сведены в таблицу 7.3.

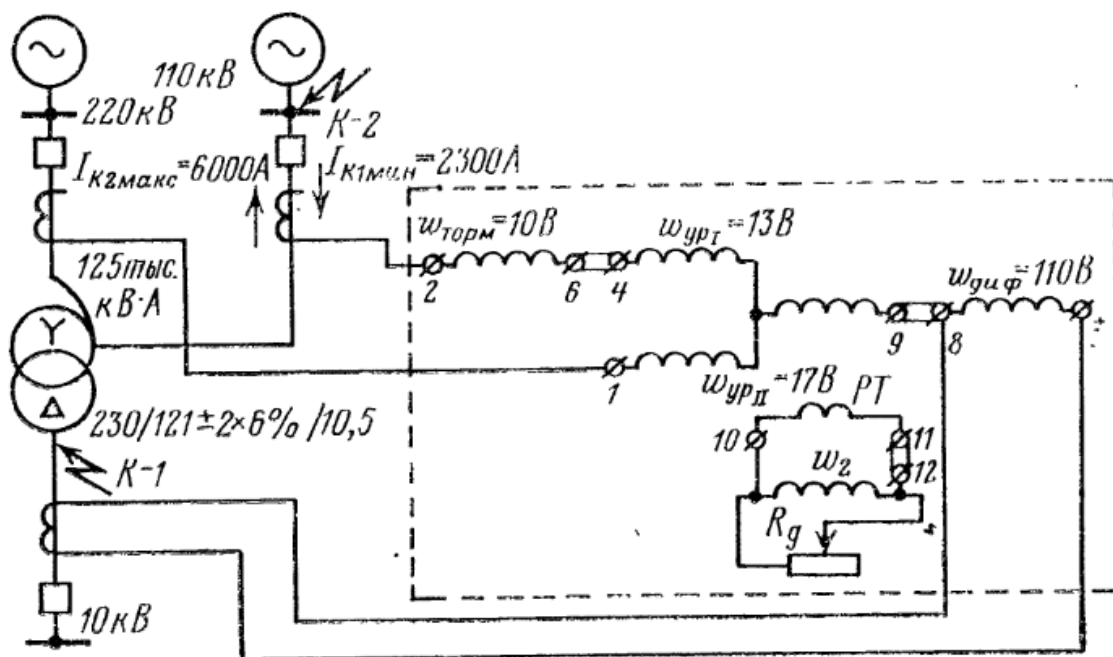


Рисунок 7.5 – Схема включения обмоток реле типа ДЗТ-11.

Таблица 7.3 – Пример расчета дифференциальной токовой защиты с торможением с реле ДЗТ-11 для автотрансформатора 230/121+2× 6 %/10,5 кВ [9]. Мощность обмоток: проходная мощность 125 тыс. кВА; обмотка 10,5 кВ – 63 тыс. кВА

Величина и расчетное выражение	Напряжение		
	высшее	среднее	низшее
Первичные токи, соответствующие проходной мощности автотрансформатора $I = S_{AT}/\sqrt{3}U$, А	314	600	6900
Выбранные коэффициенты трансформации трансформаторов тока n_T	600/5	1000/5	3000/5*
Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов	Треуголь- ник	Треуголь- ник	Звезда
Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие проходной мощности автотрансформатора $I_B = I_{сх}/n_T$, А . .	4,54	5,2	11,5
Первичный ток срабатывания защиты, выбранный по условию отстройки от тока намагничивания $I_{ср} = k_H^{**} k_{выг}^{***} I$, А	236	450	5180
Расчетный ток срабатывания реле $I_{ср.р} = I_{ср} k_{сх}/n_T$, А	3,4	3,9	8,7
Расчетное число витков $w_{раб} = 100/I_{ср.р}$	29,4	25,6	11,5
Принятое число витков дифференциальной обмотки (на расчетной стороне с наибольшим вторичным током) $w_{диф}$	—	—	11
Число витков рабочей обмотки на других сторонах $w_{раб} = w_{диф} \times \frac{I_{в.большее}}{I_{в.меньшее}}$. .	28	24	—
Число витков уравнивательных обмоток $w_{ур} = w_{раб} - w_{диф}$	17	13	—
Действительный ток срабатывания: вторичный $I_{ср.р} = 100/w_{раб}$, А . . . первичный $I_{ср} = I_{ср.р} n_T / k_{сх}$, А . . .	3,6 250	4,2 485	9,1 5460

Величина и расчетное выражение	Напряжение		
	высшее	среднее	низшее
<p>Максимальное значение тока небаланса при к. з. в точке К2 (приведенная к 110 кВ) $I_{н.б.макс} = (k_{одн}k_{апер} \times f_I + f_{\omega} + \Delta U) I_{к.з.макс}$, где f_I — погрешность трансформаторов тока; f_{ω} — погрешность из-за некомпенсированных н. с. в плечах дифференциальной защиты ($f_{\omega}=0$); ΔU — погрешность из-за изменения коэффициента трансформации защищаемого трансформатора (автотрансформатора) по отношению к расчетному значению; $k_{одн}$ — коэффициент однотипности; $k_{апер}$ — коэффициент аперодичности; ($k_{одн} k_{апер} = 1$)</p> <p>Расчетное число витков тормозной обмотки, исходя из условия минимального торможения</p> $\omega_{торм} = \frac{k_n I_{н.б.макс} (\omega_{диф} + \omega_{урI})}{I_{торм} \operatorname{tg} \alpha^{****}}$	—	1320	—
<p>Принятое число витков тормозной обмотки</p>	—	10	—

* Выбран по номинальному току.
 ** Коэффициент надежности, равный 1,5.
 *** Коэффициент выгоды, равный 0,5.
 **** Тангенс угла наклона касательной к тормозной характеристике реле при минимальном торможении.

3. Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомиться с конструкцией дифференциального реле с магнитным торможением. Записать паспортные данные реле. Начертить схему внутренних соединений и испытаний (рис. 7.3).

3.2 Установить с помощью регулировочных винтов требуемое число витков на всех обмотках промежуточного трансформатора (таблица 7.4).

3.3 Произвести проверку токов срабатывания, возврата и коэффициента возврата реле ДЗТ-11/2 между вторичной обмоткой промежуточного трансформатора и исполнительным реле: поочередно включая в цепь обмотки промежуточного трансформатора, увеличивать ток до момента срабатывания исполнительного реле (дифференциальная обмотка присоединяется зажимами 6-8, дифференциальная и одна из уравнительных

обмоток – зажимами 1-8 и замыканием переключки между контактами 2-6, дифференциальная и 2-ая уравнивательная обмотка – зажимами 3-8 и 2-6.).

Результаты измерений занести в таблицу 7.4

Таблица 7.4 – Результаты измерений

Название включаемой обмотки	Число витков	Точка, А		$k_B = \frac{I_B}{I_{cp}}$
		I_{cp}	I_B	
Дифференциальная (включается к трансформаторам тока со стороны низшего напряжения автотрансформаторов)	21+50			
Рабочая (дифференциальная + одна уравнивательная) (включается к трансформаторам тока со стороны среднего или высшего напряжения автотрансформатора)	21+50 + 6+33			

3.4 Давая различные величины тока в тормозную обмотку, определить МДС срабатывания и построить тормозную характеристику реле.

3.5 Сравнить полученную характеристику $F_{cp}=f(F_{торм})$ с приведенной на рисунке 6.2. Результаты измерений занести в таблицу 7.5.

Таблица 7.5 – Результаты измерений

$I_{торм}, А$					
$F_{торм}=I_{торм} \omega_{торм}, А$	0	50	100	150	200
$I_{cp}, А$					
$F_{раб} = I_{к.з} (\omega_{диф} + \omega_{ур1}), А$. .					

Включение реле для снятия тормозной характеристики производим посредством зажимов 1-8 и замыканием переключкой между контактами 2-4.

3.6. Для заданного расчетного режима (указывается преподавателем) произвести проверку чувствительности защиты по формуле

$$K_{\alpha} = F_{раб} / F_{cp} . \tag{7.2}$$

4. Указания к выполнению работы

5.1. Полученные значения токов срабатывания должны быть такими, чтобы МДС срабатывания соответствовали бы $100 \pm 15 А$. Это характеризует

правильность выполнения сердечника и рабочих обмоток промежуточного трансформатора.

5.2. Полученная в результате испытания тормозная характеристика (п. 3.5 задания) должна располагаться в зоне, гарантированной заводом-изготовителем. Это указывает на исправное действие реле.

5.3. Проверка чувствительности выполняется аналогично тому, как это сделано для рассмотренного примера (рис. 6.4) в следующей последовательности [10]: намечается точка КЗ в зоне защиты, при которой чувствительность будет наименьшей — рассматривается точка К1 при отключенном выключателе со стороны высшего напряжения: $I_{K1}=2300$ А (приведенный к 110 кВ).

Определяется МДС рабочей обмотки

$$F_{\text{раб}} = I_{\text{к.з}} (\omega_{\text{диф}} + \omega_{\text{урл}}) = \frac{2300 \cdot \sqrt{3}}{200} \cdot 24 = 480 \text{ А}; \quad (7.3)$$

определяется МДС тормозной обмотки

$$F_{\text{торм}} = I_{\text{к.з}} \omega_{\text{торм}} = \frac{2300 \cdot \sqrt{3}}{200} \cdot 10 = 200 \text{ А}. \quad (7.4)$$

На плоскости $F_{\text{раб}}$, $F_{\text{торм}}$ (рис. 6.2) находится точка, соответствующая расчетным значениям, и соединяется с началом координат. Пересечение прямой с тормозной характеристикой определяет МДС срабатывания $F_{\text{ср}}$ ($F_{\text{ср}}=170$ А) и вычисляется отношение

$$k_{\text{ч}} = F_{\text{раб}}/F_{\text{ср}} = 480/170 = 2,8. \quad (7.5)$$

5. Техника безопасности

5.1 Включение стенда под напряжение допускается только в присутствии преподавателя с его разрешения после получения обучающимся допуска к лабораторной работе.

5.2 Перед началом работы необходимо убедиться в том, что все токоведущие части установки защищены от прикосновения, подвижные части закрыты защитным кожухом, а сам стенд надежно заземлен. В случае невыполнения указанных требований необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю и не начинать работу до устранения неисправности.

5.3 Для включения стенда под напряжение следует:

- включить питание лаборатории при помощи вводного автомата;
- включить вводной автомат стенда.

5.4 Отключение стенда производится в обратном порядке.

5.5 В случае возникновения неисправностей в работе оборудования немедленно отключить стенд от сети и сообщить об этом преподавателю. Продолжение работы после устранения повреждения возможно только с разрешения преподавателя.

6. Содержание отчета

6.1 Титульный лист

6.2 Цель и программа работы

6.3 Схема устройства реле ДЗТ-11 (рисунок 6.1); тормозные характеристики реле типа ДЗТ-11 (рисунок 7.2); схема испытания и внутренних соединений (рисунок 7.3).

6.4 Перечень элементов схемы.

6.5 Описание схемы работы реле.

6.6 Расчет значений МДС срабатывания реле.

6.7 Выводы по результатам работы.

6.8 Ответы на контрольные вопросы.

7. Контрольные вопросы

7.1 Область применения дифференциальных токовых защит с торможением.

7.2 Преимущества и недостатки реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11 по сравнению с дифференциальным реле типа РНТ-560.

7.3 Назначение тормозной обмотки в реле.

7.4 Назначение насыщающегося трехстержневого трансформатора тока.

7.5 Чем характеризуется значение МДС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов по спец. «Электроснабжение». – 4-е изд., перераб и доп. – М., Высшая школа, 2006. – 639 с.
2. Труб И. И. Индукционные реле тока. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 56 с.
3. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / Под ред. М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Феськова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.
4. Овчинников В. В. Реле РНТ в схемах дифференциальных защит. 2-е изд. – М.: Энергия, 1973. – 95 с.
5. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / О. А. Гильчер, А. Е. Гомберг, Л. Ф. Колесников и др.; Под ред. Э. С. Мусаэляна – М.: Энергия, 1979. – 367 с.
6. Аппаратура релейной защиты и автоматики для объектов электроэнергетики. Каталог Чебоксарского электроаппаратного завода.
7. Барзам А. Б., Пояркова Т. М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике: Учеб. Пособие для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с., ил.
8. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах: Учебное пособие для студентов по направлению инженерной подготовки 650900 «Электроэнергетика» специальности 100400 «Электроснабжение».
9. Техническое описание и инструкции по эксплуатации дифференциальных реле типов ДЗТ-11, ДЗТ-11/2, ДЗТ-11/3, ДЗТ-11/4.

Подписано в печать 03.03.2019

Формат 60×84/16.

Бумага для копир.-мн. ап.

Печать плоская. Усл. п.л. 2,0.

Тираж 50 экз.

Типография «КРОН», Краснодар
Отпечатано с готового оригинал-макета