

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА  
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. РЕЛЕ И  
КОМПЛЕКТЫ ЗАЩИТ**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования  
организаций»

Витебск  
2023

УДК 621.316.9

Составители:

А. М. Науменко, В. В. Леонов

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским  
советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 30.11.2022.

**Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Реле и комплекты защит** : методические указания к лабораторным работам / сост. А. М. Науменко. В. В. Леонов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 43 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения» и содержат лабораторные работы по указанному курсу и перечень используемой литературы.

УДК 621.316.9

© УО «ВГТУ», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1                                  |    |
| Исследование реле максимального тока РТ-40             | 4  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2                                  |    |
| Исследование реле напряжения РН-54                     | 8  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3                                  |    |
| Исследование индукционного реле РТ-85                  | 12 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4                                  |    |
| Исследование статического реле напряжения РСН-15       | 16 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5                                  |    |
| Исследование реле времени с анкерным механизмом ЭВ 132 | 22 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6                                  |    |
| Исследование реле времени РСВ-13                       | 26 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7                                  |    |
| Исследование автоматического выключателя               | 34 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8                                  |    |
| Исследование устройства защитного отключения           | 39 |
| ЛИТЕРАТУРА                                             | 42 |

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## Исследование реле максимального тока РТ-40

**Цель работы:** изучить конструкцию реле РТ-40, реагирующие на превышение тока в контролируемой цепи, и исследовать его основные характеристики.

### 1.1 Теоретическая часть

С помощью реле максимального тока осуществляется максимальная токовая защита, реагирующая на увеличение токов в защищаемой электрической установке. Для успешной работы в установках защиты реле максимального тока должны обеспечивать высокий коэффициент возврата, характеризующий чувствительность реле.

В работе исследуется электромагнитное реле максимального тока РТ-40, общий вид которого показан на рисунке 1.1. Магнитная система состоит из П-образного шихтованного сердечника 1 и Г-образного якоря 2. В сердечнике электромагнита под катушками имеются вырезы, предназначенные для снижения вибрации подвижной системы при больших и несинусоидальных токах. При пиках синусоидального тока участки сердечника с уменьшенным сечением насыщаются и ограничивают величину магнитного потока.

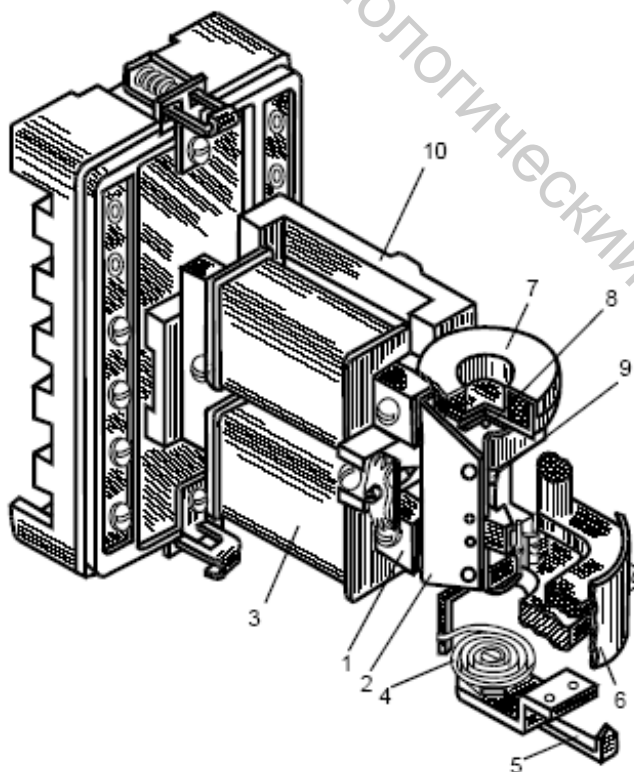


Рисунок 1.1 – Общий вид электромагнитного реле РТ-40

Положение якоря в начальном и конечном положениях фиксируются упорными винтами, закрепленными контргайками или пружинными пластинками для предохранения от самоотвинчивания. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 4, один конец которой связан с якорем, а другой с указателем уставки 5. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно ток срабатывания реле. Необходимое положение указателя уставки определяется по делениям, нанесенным на шкале 6. Жесткость противодействующей пружины  $1,0 \text{ Н*мм/90}^\circ$ , при повороте указателя от минимальной уставки до максимальной (угол поворота около  $90^\circ$ ) момент противодействующей пружины увеличивается в 4 раза (пропорционально квадрату тока). К якорю прикреплены опорная скоба и пластмассовая колодка с двумя подвижными мостиковыми контактами из серебра. К верхней части скобы приклепан полый барабанчик 7 с радиальными перегородками внутри, полость барабанчика заполнена хорошо просушенным кварцевым песком. Барабанчик является гасителем колебаний (вибраций) подвижной системы. Между барабанчиком и опорной скобой помещена шайба с узким центральным отверстием (соответствующее отверстие имеется и в скобе) и бронзовая пластина 8, служащая опорной плоскостью для подвески подвижной системы реле.

Подвижная система в верхней части опирается бронзовой пластинкой на штифт из нержавеющей стали со сферическим концом, укрепленный на вкладыше 9 на рамке-основании 10 и проходящий через отверстия в опорной скобе и шайбе. В нижней части перемещение оси подвижной системы в горизонтальной плоскости ограничивается таким же штифтом, проходящим через отверстие в нижней изогнутой части опорной скобы. Сама скоба ограничивает смещение подвижной системы вверх.

На сердечнике расположены две катушки, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществлять параллельное и последовательное соединение катушек реле и соответственно изменять величину уставок в два раза. Цифры, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению обмоток. Схема внутренних соединений реле приведена на рисунке 1.2.

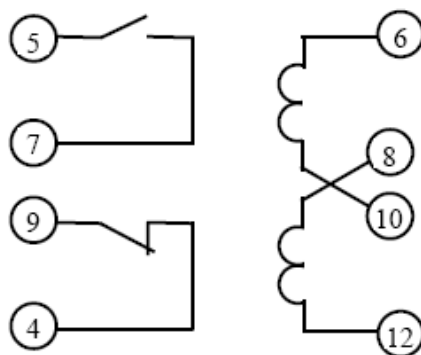


Рисунок 1.2 – Схема внутренних соединений реле РТ-40

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакт. Для более четкой работы контактов подвижные контакты выполнены свободно поворачивающи-

мися. Неподвижные контакты приварены к плоским бронзовым пружинам, перемещение которых ограничивается гибкими наружными и жесткими внутренними пружинами.

Все узлы реле смонтированы на рамке-основании 2 из алюминиевого сплава (рис.1.1), укрепленной на пластмассовом цоколе реле, и закрыты прозрачным полистирольным кожухом. Крепление кожуха к цоколю производится пружинными замками.

Погрешность тока срабатывания реле по отношению к уставке не превышает  $\pm 5\%$ , разброс тока срабатывания не более  $4\%$  на любой уставке.

Коэффициент возврата реле не ниже  $0,85$  на первой уставке  $k_{возв} = I_{возв} / I_{ср}$  и не ниже  $0,8$  на остальных, за исключением реле РТ-40/50 и РТ-40/100, у которых коэффициент возврата не ниже  $0,7$  на всех уставках.

Время срабатывания реле не более  $0,1$  с при токе, равном  $1,2 I_{ср}$ , и не более  $0,03$  с – при токе  $3,0 I_{ср}$ .

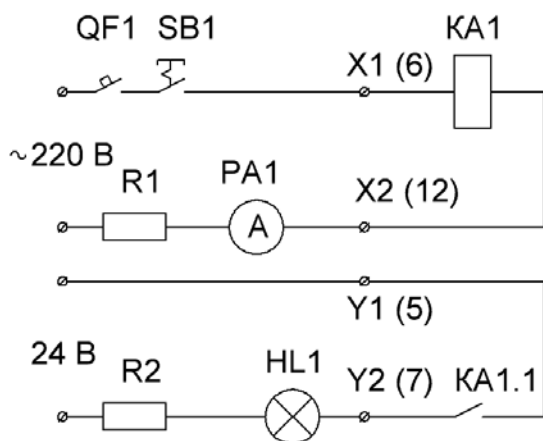
Время возврата реле при скачкообразном уменьшении тока в обмотках реле  $1,2 - 20$ -кратного значения тока срабатывания до  $0,7 I_{ср}$  (у реле РТ-40/50 и РТ-40/100 – до  $0,6 I_{ср}$ ) не более  $0,035$  с контакты реле средней мощности.

## 1.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.

3. Собрать схему установки испытания реле максимального тока РТ-40 (рис. 1.3). Выставить максимальное значение сопротивления нагрузки R1.



QF1 – автоматический выключатель;  
SB1 – кнопочный выключатель;  
R1, R2 – резисторы (активная нагрузка);  
PA1 – амперметр;  
KA1 – реле тока;  
HL1 – лампа

Рисунок 1.3 – Схема подключения реле РТ-40

4. Установить уставку тока срабатывания  $I_{сз} = 2,5 \text{ A}$ .

5. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Уменьшая сопротивление нагрузки R1 определить ток срабатывания реле тока  $I_{ср}$ .

6. Увеличивая сопротивление нагрузки R1 определить ток возврата реле тока  $I_{возв}$ . Рассчитать коэффициент возврата реле  $k_{возв} = I_{возв} / I_{ср}$  и занести данные в таблицу с результатами.

7. Повторить пункты 4–6 для уставок тока срабатывания  $I_{сз} = 3 \text{ A}$ ;  $3,5 \text{ A}$ ;  $4 \text{ A}$ ;  $4,5 \text{ A}$ ;  $5 \text{ A}$ .

### 1.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции реле максимального тока РТ-40.
3. Паспортные данные реле максимального тока РТ-40.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая уставку тока срабатывания  $I_{сз}$ , ток срабатывания реле тока  $I_{ср}$ , ток возврата реле тока  $I_{возв}$ , коэффициент возврата реле  $k_{возв}$ .
6. Выводы.

### 1.4 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены реле максимального тока?
2. Устройство реле максимального тока РТ-40.
3. Принцип работы реле максимального тока РТ-40.
4. Что характеризует коэффициент возврата реле и почему он меньше единицы?
5. Причины появления вибрации контактов электромагнитных реле и способы снижения вибрации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### Исследование реле напряжения РН-54

**Цель работы:** изучить конструкцию реле напряжения РН-54, реагирующее на понижение напряжения в контролируемой цепи, и исследовать его основные характеристики.

#### 2.1 Теоретическая часть

Минимальное реле напряжения предназначены для применения в схемах защит и противоаварийной автоматики в качестве органа, реагирующего на уменьшение напряжения в цепях переменного тока.

Схема, поясняющая работу электромагнитного реле, изображена на рисунке 2.1. Электромагнитные реле имеют разомкнутый магнитопровод 1, на котором размещена обмотка 2 с числом витков  $w_p$  и подвижной стальной якорь 3, удерживаемый в крайнем положении противодействующей пружиной 4.



Рисунок 2.1 – Схема, поясняющая работу электромагнитного реле

На якоре имеется изоляционная колодка 5. На ней установлены подвижные контакты 6, которые при перемещении якоря замыкаются с неподвижными контактами 7. Ток  $I_p$  в обмотке реле создает намагничивающую силу  $I_p * w_p$ , под действием которой в магнитопроводе возникает магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся через магнитопровод 1, якорь 3, воздушный зазор  $\delta$ . Этот магнитный поток создает электромагнитную силу  $F_3$ , которая стремится притянуть якорь к магнитопроводу, чему препятствует пружина 4, тормозное усилие  $F_m$  которой суммируется с силой трения в осях.

Магнитная система реле (рис. 2.2) состоит из П-образного шихтованного сердечника 1 и Г-образного якоря 2. В сердечнике электромагнита под катушками имеются вырезы, предназначенные для снижения вибрации подвижной

системы при больших и несинусоидальных токах. Катушки реле напряжения выполнены проводом диаметром 0,1–0,25 мм с числом витков от 2 до 14 тысяч и рассчитаны на длительное подключение к цепям, напряжение которых соответствует номинальному напряжению реле. Положение якоря фиксируется упорными винтами 3, закреплёнными контргайками или пружинными пластинками для предохранения от самоотвинчивания. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 4, один конец которой связан с якорем, а другой – с указателем уставки 5. Необходимое положение указателя определяется по делениям, нанесённым на шкале реле 6. К якорю прикреплена опорная скоба и пластмассовая колодка с двумя подвижными мостиковыми контактами из серебра. К верхней части скобы прикреплён полый барабанчик 7 с радиальными перегородками внутри, полость барабанчика заполнена просушенным кварцевым песком. Между барабанчиком и опорной скобой помещается шайба с узким центральным отверстием и бронзовая пластинка 8, служащая опорной плоскостью для подвески подвижной системы реле. Подвижная система в верхней части опирается бронзовой пластинкой на штифт из нержавеющей стали со сферическим концом, укреплённый во вкладыше 9 на рамке-основании 10 и проходящий через отверстия в опорной скобе и шайбе (реле типов РН 53, 153) и понижение напряжения (реле типов РН 54, 154). Схема внутренних соединений реле РН-54 показана на рисунке 2.3.

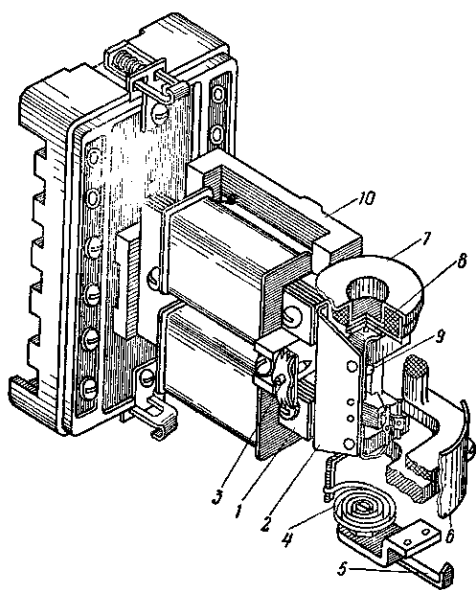


Рисунок 2.2 – Общий вид электромагнитного реле РН-54

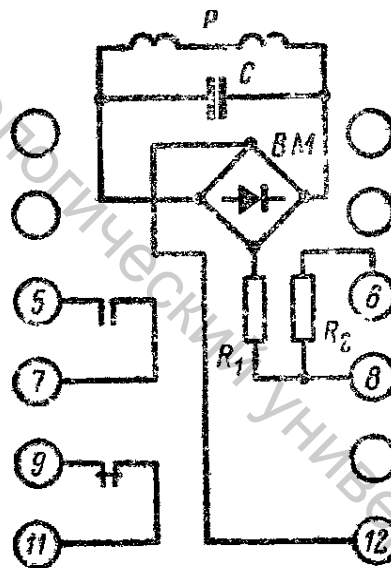
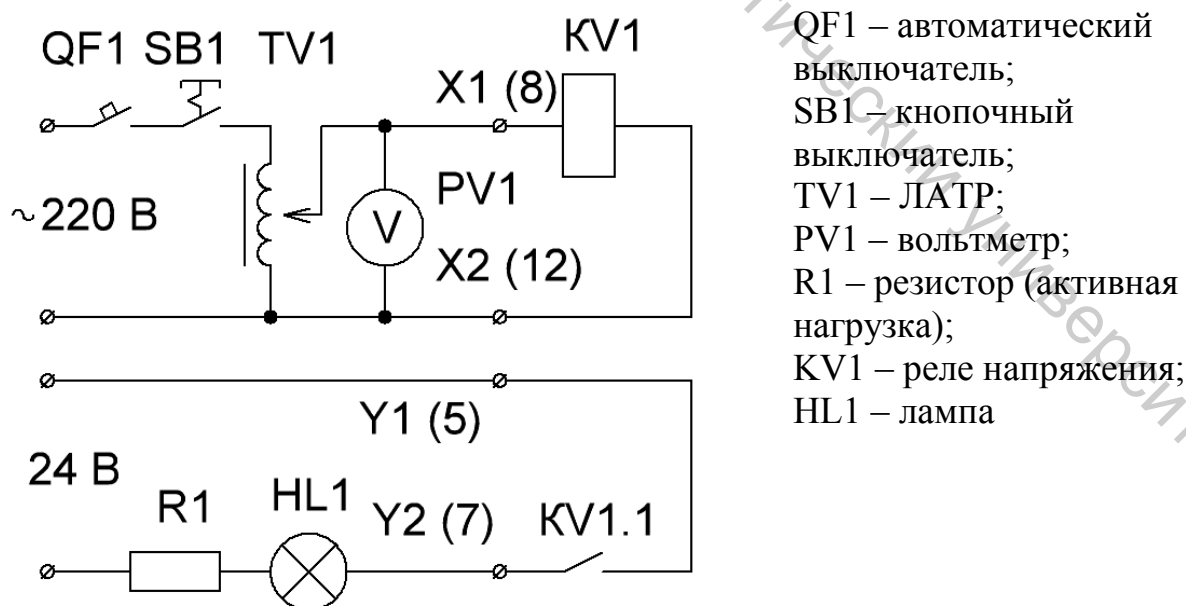


Рисунок 2.3 – Схема внутренних соединений реле РН-54

Коэффициент возврата реле  $k_{возв} = U_{возв} / U_{ср} 1,25$ . Время замыкания замыкающего контакта не более 0,15 с при снижении напряжения до  $0,8 U_{сз}$  и не более 0,1 с при снижении напряжения до  $0,5 U_{сз}$ . Время размыкания размыкающего контакта при сбросе напряжения от  $1,1 U_{ном}$  до  $0,8 U_{сз}$  не более 0,05 с.

## 2.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.
2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.
3. Собрать схему установки испытания реле напряжение РН-54 (рис. 2.4). Выставить минимальное напряжение ЛАТР TV1.
4. Установить уставку напряжения срабатывания  $U_{сз} = 40$  В.
5. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Увеличивая напряжение ЛАТР TV1 определить напряжение срабатывания  $U_{сз}$ .
6. Уменьшая напряжение ЛАТР TV1 определить напряжение возврата реле  $U_{возв}$ . Рассчитать коэффициент возврата реле  $k_{возв} = U_{возв} / U_{сз}$  и занести данные в таблицу с результатами.
7. Повторить пункты 4–6 для уставок напряжения срабатывания  $U_{сз} = 50$  В; 60 В; 70 В; 80 В.



QF1 – автоматический выключатель;  
SB1 – кнопочный выключатель;  
TV1 – ЛАТР;  
PV1 – вольтметр;  
R1 – резистор (активная нагрузка);  
KV1 – реле напряжения;  
HL1 – лампа

Рисунок 2.4 – Схема подключения реле РН-54

## 2.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции реле напряжения РН-54.
3. Паспортные данные реле напряжения РН-54.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая уставку тока срабатывания уставок напряжение срабатывания  $U_{сз}$ , напряжение срабатывания реле тока  $U_{ср}$ , напряжение возврата реле тока  $U_{возв}$ , коэффициент возврата реле  $k_{возв}$ .
6. Выводы.

## 2.4 Контрольные вопросы

1. Причины появления вибрации контактов реле. Способы уменьшения вибрации, применяемые для электромагнитных реле РН-54.
2. Принцип работы реле максимального тока РН-54.
3. Что характеризует коэффициент возврата реле и почему он меньше единицы?
4. Для регулирования напряжения срабатывания в реле напряжения используется включение добавочного резистора, каким еще образом можно изменить напряжение срабатывания реле?
5. Зависит ли коэффициент возврата реле от момента возвратной пружины?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### Исследование индукционного реле РТ-85

**Цель работы:** изучить конструкцию реле индукционного реле РТ-85, реагирующие на превышение тока в контролируемой цепи, и исследовать его основные характеристики.

#### 3.1 Теоретическая часть

Реле типов РТ-85, РТ-86 используются в устройствах защиты на переменном оперативном токе. Они оснащены контактами усиленной мощности, конструкция которых описана в разделе 2. Эти контакты способны шунтировать и дешунтировать управляемую цепь при токах до 150 А, если ее полное сопротивление не более 4 Ом при токе 4 А и не более 1,5 Ом при токе 50 А (напомним, что сопротивление катушки с сердечником падает при возрастании тока из-за насыщения железа). Реле применяются для защиты электрических установок при нагрузках и коротких замыканиях.

Реле типа РТ-85 имеет ограниченно зависимую характеристику  $t = f(I)$  и содержит два релейных элемента – индукционный и электромагнитный.

При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq I_{ср.р}$  диск индукционного элемента 1 (рис. 3.1) медленно вращается, причем его вращению препятствует тормозной момент, создаваемый постоянным магнитом 2. Под действием электромагнитного момента, создаваемого током реле, рамка 3 поворачивается, червяк 4 входит в зацепление с зубьями сегмента 5, начинает постепенно подниматься, преодолевая усилие пружины 6, и специальной планкой 7 замыкает контакты реле 8. Время срабатывания регулируется начальным положением зубчатого сегмента при помощи винта, укрепленного на шкале времени. Чем больше сила тока  $I_p$  в обмотке электромагнита, тем быстрее вращается диск и с меньшей выдержкой времени замыкаются контакты реле, т. е. реле имеет зависимую от тока характеристику времени срабатывания. При значениях тока  $I_p = (6-8) I_{ср.р}$  наступает насыщение стали электромагнита и характеристика переходит в независимую (рис. 3.2). Поэтому характеристики реле РТ-85 называют ограниченно зависимыми.

Токи срабатывания индукционного элемента  $I_{ср.р}$  регулируются изменением числа витков обмотки (перестановкой контактного винта 11 на контактной колодке);  $I_{ср.р} = 2-10$  А; время срабатывания 0,5–16 с. Электромагнитный элемент реле РТ-85 состоит из ярма электромагнита 9 и якоря 10, через которые замыкается часть потоков рассеивания электромагнита. При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq 2 I_{ср.р}$  якоря втягивается и без выдержки времени (отсечкой) замыкает контакты реле.

Таким образом, электромагнитный элемент может действовать или совместно с индукционным элементом, или самостоятельно, как бы отсекая часть

характеристики реле при больших токах. Поэтому электромагнитный элемент называется отсечкой с кратностью срабатывания  $I_{отс} = (2-8) I_{ср}$ . Токи срабатывания электромагнитного элемента регулируются изменением количества витков обмотки и положения регулировочного винта 12.

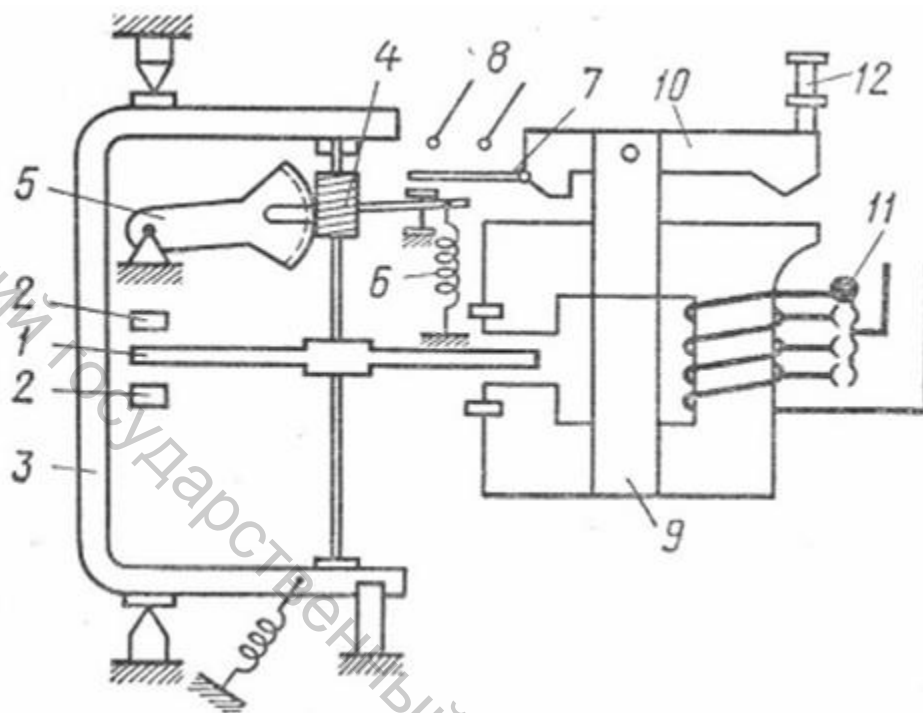


Рисунок 3.1 – Устройство индукционного реле РТ-85

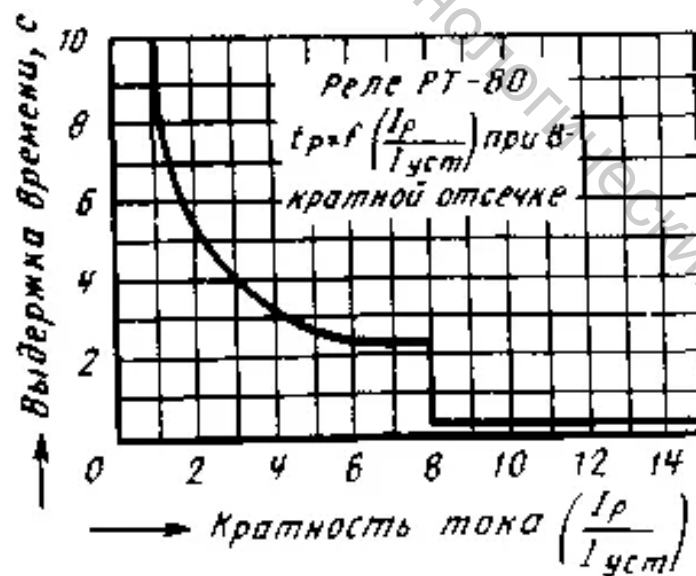


Рисунок 3.2 – Характеристика реле типа РТ-80

Электромагнитное реле содержит электромагнит 1 состоящий из стального сердечника и обмоток 6, стальной подвижный якорь 2, неподвижные контакты 3, подвижные контакты 4 и противодействующую пружину 5.

### 3.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.
2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.
3. Собрать схему установки испытания реле максимального тока РТ-85 (рис. 3.3). Выставить максимальное значение сопротивления нагрузки R1.

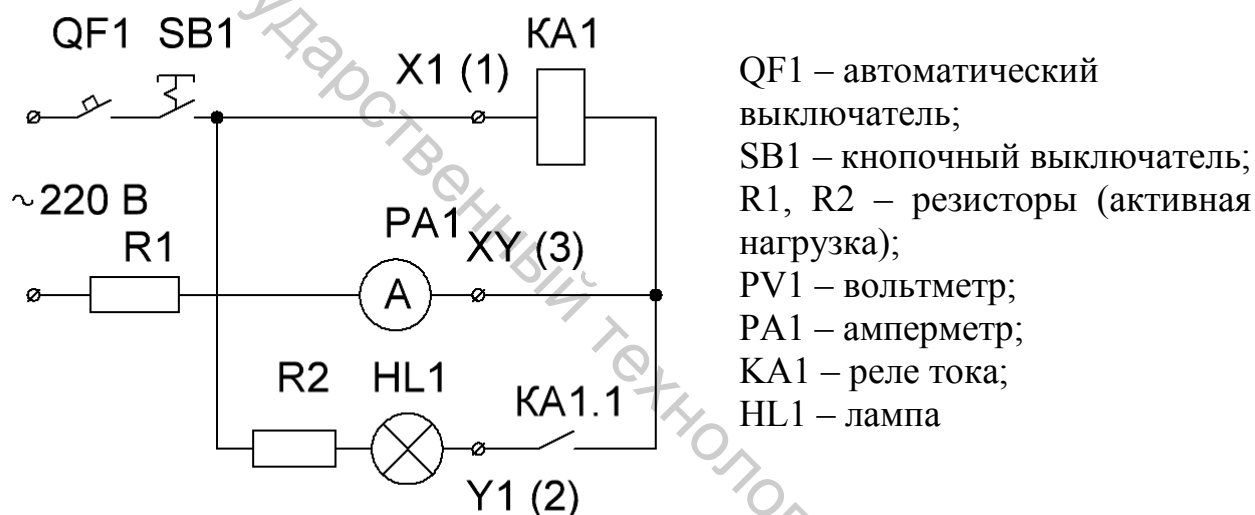


Рисунок 3.3 – Схема подключения реле РТ-85

4. Установить кратность тока  $k = I_p / I_{cp} = 1$  перестановкой контактного винта 11 на контактной колодке (рис. 3.1).
5. Установить уставку времени срабатывания  $t_{cp.p} = 1$  с помощью устройства регулировки времени, связанного с рычагом зубчатого сегмента 5 (рис. 3.1).
6. Выставить рабочий ток  $I_p = 10$  А уменьшая сопротивление нагрузки R1.
7. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Измерит секундомером время срабатывания  $t_{cp.p}$  и занести данные в таблицу с результатами.
8. Измерить секундомером время срабатывания  $t_{cp}$  при рабочем токе  $I_p = 15$  А; 20 А; и занести данные в таблицу с результатами.

9. Повторить пункты 4 – 8 для уставок времени срабатывания  $t_{ср.р} = 2$  с; 3 с; 4 с и кратности тока  $k = 1; 2$ .

### 3.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции индукционного реле РТ-85.
3. Паспортные данные индукционного реле РТ-85.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами, содержащая уставку времени срабатывания  $t_{ср.р}$ , кратность тока  $k$ , рабочий ток  $I_p$ , времени срабатывания  $t_{ср}$ .
6. Выводы.

### 3.4 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены индукционные реле?
2. Устройство индукционного реле РТ-85.
3. Принцип работы реле индукционного реле РТ-85.
4. Для чего применяется расщепление полюса на две части и экранирование одной из них.
5. Как регулируется ток срабатывания токовой отсечки реле.
6. Как борются с вибрацией при срабатывании токовой отсечки.
7. Способы регулирования величины тока срабатывания реле.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### Исследование статического реле напряжения РСН-15

**Цель работы:** изучить конструкцию статического реле напряжения РСН-15, реагирующее на максимальное напряжение с питанием от цепей напряжения оперативного переменного тока, и исследовать его основные характеристики.

#### 4.1 Теоретическая часть

Статические реле тока и напряжения применяются в цепях переменного тока релейной защиты и автоматики в качестве органов, реагирующих на повышение (максимальные реле) либо понижение (минимальные реле) соответственно тока или напряжения в контролируемой цепи.

Серии РСТ и РСН объединяют несколько десятков реле идентичных по устройству и принципу действия и различающихся только конкретными техническими характеристиками (диапазон уставок, напряжение питания, частота и т.п.), которые отражены в их заводских обозначениях.

На рисунке 4.1 приведена принципиальная схема реле РСН 15. Конструктивно реле состоит из пяти основных узлов: измерения, сравнения, формирования, выхода и питания.

**Измерительный узел** представляет собой промежуточный трансформатор TV1, который содержит специальный экран между первичной и вторичной обмоткой. Экран защищает полупроводниковую часть реле от высокочастотных наводок, которые могут проникать в цепи вторичной коммутации.

Узлом **формирования** служит выпрямительный мост VD10 – VD13, нагруженный на резистор R1.

Узел **сравнения** работает на время-импульсном принципе, сущность которого заключается в том, что, во-первых, входной сигнал должен превысить некоторое заданное значение, и, во-вторых, должно обеспечиваться определенное соотношение между временем превышения заданного уровня и временем, когда входной сигнал ниже уровня срабатывания.

В схеме содержится два индикатора уровня. Один из них представляет собой компаратор, собранный на операционном усилителе (ОУ) DA1. На неинвертирующий вход DA1 через делитель на резисторах R3, R4, R5 и R6, R9-R13 подается от источника оперативного тока положительное опорное напряжение  $U_{on1}$ , значение которого определяется заданной уставкой реле. На инвертирующий вход DA1 подается выпрямленное входное напряжение  $U_{вх}$ , пропорциональное входному току. Если значение выпрямленного напряжения будет меньше опорного, то на выходе ОУ DA1 устанавливается напряжение +13 В (первый полупериод  $U_{вх}$  на рисунке 4.2). Положительное напряжение на выходе DA1 заряжает конденсатор C2 через резистор R7, т. к. диод VD2 – закрыт. Максимум напряжения на C2 ограничивается напряжением стабилизации VD3, ко-

торое равно 9 В. Полученное напряжение подается на другой индикатор уровня, собранный на ОУ DA2 и представляющий собой инвертирующий триггер Шмидта.

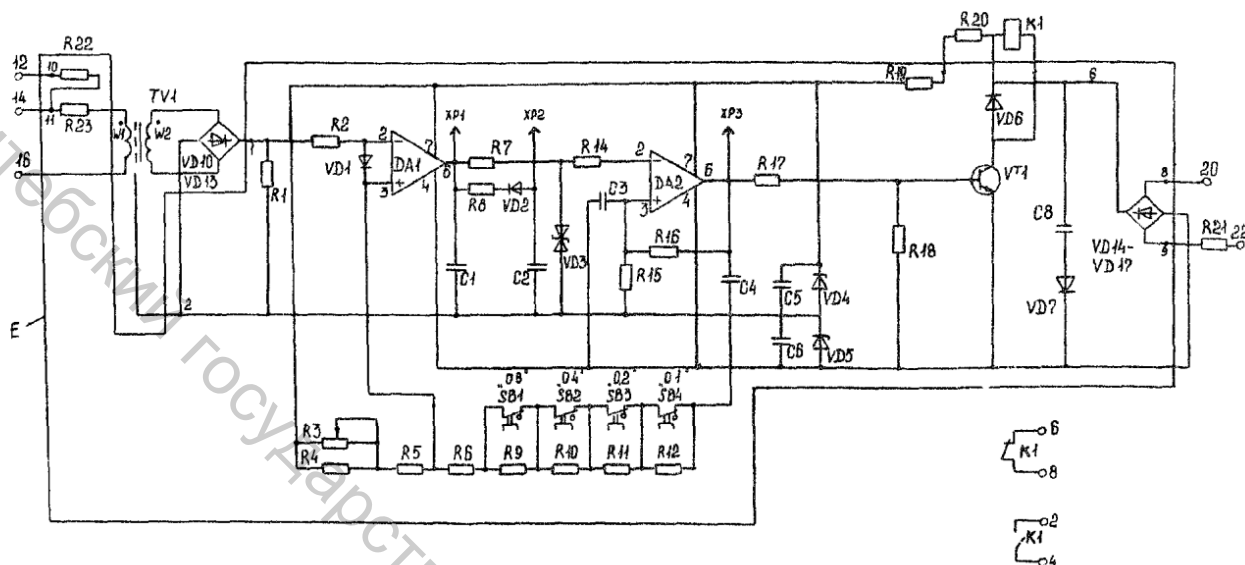


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема статического реле напряжения РСН 15

Положительное напряжение, поступающее с конденсатора C2 на инвертирующий вход DA2 создает на выходе ОУ напряжение минус 13 В, часть которого через цепь положительной обратной связи подается на неинвертирующий вход DA2 и служит опорным напряжением срабатывания  $U_c$ , которое определяет второе условие срабатывания реле.

Если  $U_{вх} > U_{он1}$ , выходное напряжение ОУ DA1 становится отрицательным и равным минус 13 В, что вызывает перезаряд C2. В случае, когда  $U_{вх}$  превышает  $U_{он1}$  на небольшой промежуток времени (второй и третий полупериоды), то емкость C2 не успевает полностью перезарядиться и напряжение на ней лишь снижается до нуля, а затем после спада  $U_{вх}$  ниже  $U_{он1}$  происходит повторный заряд до максимального положительного уровня.

Исполнительная часть узла сравнения действует только тогда, когда время превышения  $U_{вх}$  над  $U_{он1}$ , равное  $\alpha_{ср}$  (рис. 4.2) станет достаточным, чтобы емкость C2 перезарядилась настолько, что отрицательное напряжение на C2 стадо ниже опорного напряжения срабатывания  $U_c$ . В этом случае произойдет немедленное изменение знака выходного напряжения триггера Шмидта на положительный, что и является признаком срабатывания узла (4–6-й полупериоды).

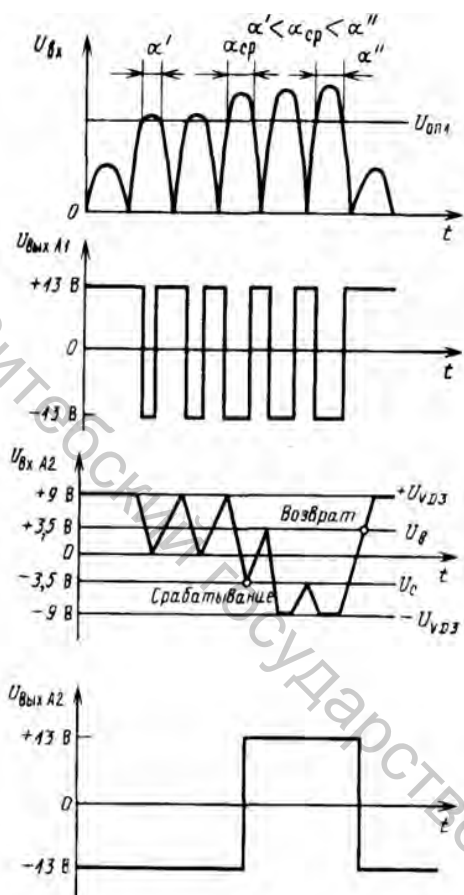


Рисунок 4.2 – Временные диаграммы работы узла сравнения РСН 15



Рисунок 4.3 – Схема электрическая подключения реле РСН 15

После изменения знака на выходе DA2, напряжение на его неинвертирующем входе становится также положительным. Его называют опорным напряжением возврата  $U_v$ , т. к. им определяется значение входного сигнала, которое требуется для возврата триггера. По окончании промежутка времени  $\alpha_{ср}$  емкость C2 снова заряжается, но благодаря наличию диода VD2 постоянные времени заряда и разряда получаются неодинаковыми (сопротивление цепи заряда в 3 раза больше цепи разряда). Поэтому при повторном заряде емкость C2 не успевает достичь уровня  $U_v$  как снова возникает разряд. Этим достигается релейное действие реагирующего органа. Для возврата нужно, чтобы  $U_{вх}$  снизилось до такого значения, когда напряжение на C2 станет выше  $U_v$  (последний полупериод на рисунке 4.2).

Благодаря использованию время-импульсного принципа, работа реле мало зависит от формы входного напряжения, поскольку за время  $\alpha_{ср}$  входное напряжение меняется не более чем на 3 %.

Узел выхода реле РСН состоит из транзистора VT1 и выходного электромагнитного реле K1.

При поступлении на схему узла сравнения входного напряжения, не достигшего установки срабатывания, транзистор VT1 будет заперт и через K1 протекает незначительный ток запертого транзистора. При превышении входным напряжением величины срабатывания транзистор VT1 открывается и через реле K1 начинает течь ток, обеспечивающий его срабатывание. При возврате

реле транзистор VT1 запирается и реле K1 приходит в исходное состояние. Питание схемы реле напряжением переменного тока осуществляется через выпрямительный мост VD14 – VD17 и балластный резистор R21. Сглаживание выпрямленного напряжения осуществляется благодаря конденсатору C8. Варисторы RV1 и RV2 защищают реле по цепям питания от импульсных перенапряжений. Напряжение  $\pm 15$  В для питания ОУ DA1 и DA2 снимается со стабилизаторов VD4, VD 5 и дополнительно сглаживается конденсаторами C5, C6. Резисторы R19 и R20 выполняют роль балластных при стабилизации и сглаживании.

Схема электрическая подключения реле РСН 15 показана на рисунке 4.3.

Уставку по напряжению можно изменить с шагом  $0,1U_{min}$  в пределах от  $U_{min}$  до  $2,5U_{min}$ , в соответствии с формулой

$$U_{уст} = U_{min}(1 + \Sigma \Theta), \quad (4.1)$$

где  $\Theta = 0,1; 0,2; 0,4; 0,8$  выбираются с помощью переключателей, выведенных на лицевой панели лабораторного стенда. Причем, нажатое (утопленное) положение переключателя соответствует введению его в действие.

При подаче входного напряжения к зажимам 14, 16 реле РСН 15 работает в первом диапазоне, для которого минимальная уставка  $U_{min} = 50$  В. Для перехода на второй диапазон с  $U_{min} = 100$  В используются входные зажимы реле 12, 16.

## 4.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.

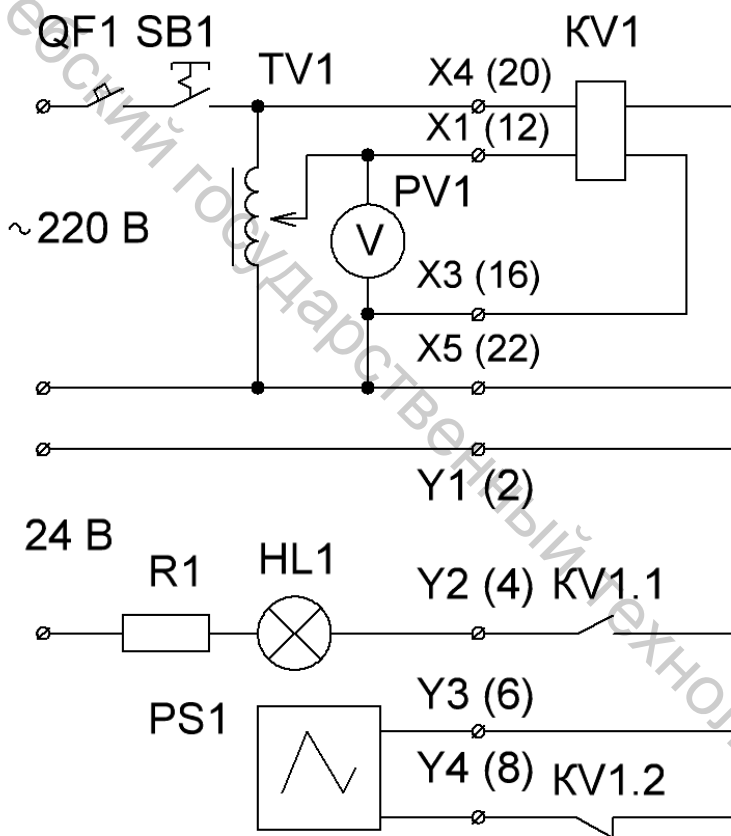
3. Собрать схему установки испытания реле напряжение РСН 15 (рис. 4.4). Выставить минимальное напряжение ЛАТР TV1.

4. Установить минимальную уставку срабатывания реле  $U_{с.р.} = 50$  В.

5. Плавное увеличение напряжения, с помощью ЛАТРа TV1 фиксируют напряжение срабатывания реле  $U_{с.р.}$  (загорается сигнальная лампа HL). Для измерения напряжения возврата  $U_{в.р.}$  медленно уменьшают входное напряжение (лампа HL – гаснет). Результаты измерений для двух диапазонов рабочих напряжений реле заносят в таблицу с результатами.

6. Измерить время срабатывания реле при минимальной уставке для следующих значений напряжений:  $U_p = U_{ср}$ ;  $U_p = 1,2U_{ср}$ ;  $U_p = 2U_{ср}$ . Для этого необходимо установить заданное напряжение  $U_p$ , отключить схему, ввести в работу секундомер и включить схему.

7. Снять осциллограммы напряжений в контрольных точках Y1 – Y4 в исходном и сработавшем состояниях.



QF1 – автоматический выключатель;  
SB1 – кнопочный выключатель;  
TV1 – ЛАТР;  
R1 – резистор (активная нагрузка);  
PA1 – амперметр;  
KV1 – реле тока;  
HL1 – лампа;  
PS1 – осциллограф

Рисунок 4.4 – Схема подключения реле РСН 15

#### 4.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Паспортные данные статического реле напряжения РСН 15.
3. Временные диаграммы работы узла сравнения РСН 15.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая уставку тока срабатывания уставок напряжение срабатывания  $U_{уст}$ , напряжение срабатывания реле тока  $U_{ср}$ , напряжение возврата реле тока  $U_{в.р}$ , коэффициент возврата реле  $k_{возв}$ .

6. Осциллограммы напряжений в контрольных точках.
7. Выводы.

#### 4.4 Контрольные вопросы

1. Каково назначение статического реле РСН-15?
2. Как устроена воспринимающая часть реле напряжения серии РСН-15?
3. Из каких функциональных частей состоит измерительная часть серийных реле тока и напряжения?
4. Какой способ определения интегрального параметра используется в исполнительной части статических реле напряжения?
5. Как выполнена исполнительная часть реле напряжения серии РСН?
6. Как выполнен источник питания реле напряжения РСН-15?
7. Каким образом регулируется уставка по напряжению реле РСН-15?
8. Каким образом защищается реле РСН от импульсных перенапряжений по цепи питания и наводок со стороны входных цепей?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### Исследование реле времени с анкерным механизмом ЭВ 132

**Цель работы:** изучить конструкцию реле времени ЭВ 132, использующую механическое замедление, и исследовать его рабочие характеристики.

#### 5.1 Теоретическая часть

Реле времени предназначено для выдержки интервала времени между моментом включения катушки реле и замыканием (или размыканием) его контактов, а также моментом выключения катушки реле и размыканием (или замыканием) его контактов.

Реле времени ЭВ-100 и ЭВ-200 применяются в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики на оперативном постоянном (ЭВ-100) или переменном (ЭВ-200) токе для создания регулируемой с заданной точностью выдержки времени при срабатывании или отпуске и обеспечения определенной последовательности работы элементов схемы. Выдержка времени создается часовыми механизмами серии 210ЧП, специально разработанными для этой цели. Устройство реле серии ЭВ и часового механизма схематически показано на рисунке 5.1.

Электромагнит реле серии ЭВ-100 состоит из магнитопровода 3, катушки 4 и втягивающегося цилиндрического якоря 2. Для получения оптимальной тяговой характеристики нижний конец якоря имеет коническую форму и при втягивании входит в коническое углубление на сердечнике, помещенном внутри катушки. Для исключения залипания якоря в притянутом положении на его нижнем конце имеется бронзовая шайба. На верхнем конце якоря укреплен рычаг 23 с пластмассовым толкателем, воздействующим на мгновенные контакты 24, 25 и 22 без выдержки времени. При отсутствии возбуждения якорь под действием возвратной пружины 1 поднимает вверх до упора заводной рычаг 21 часового механизма, зубчатый сектор 17 поворачивает шестерню 16 на выходном валу 12 и устанавливает подвижные контакты 15, замыкающиеся с выдержкой времени, в начальное положение. Натяжение рабочей пружины может регулироваться с помощью узла 10. При возбуждении электромагнита якорь втягивается, приводит в действие мгновенные контакты и освобождает рычаг 21 часового механизма. Под действием рабочей пружины 11 выходной вал механизма вместе с подвижными контактами 15 начинает поворачиваться. В момент начала движения выходного вала включается фрикционная муфта 9, расположенная внутри шестерни 8, и приводит в действие замедляющее анкерное устройство. Шестерни 8, 7, 5 и 20 передают усилие рабочей пружины на анкерное колесо 6, сцепленное с анкером 18 и балансиром 19. Под воздействием анкерного колеса анкер начинает колебаться. При каждом колебании анкера анкерное колесо по-

ворачивается на один зуб; период колебания анкера регулируется положением грузиков на баланси́ре.

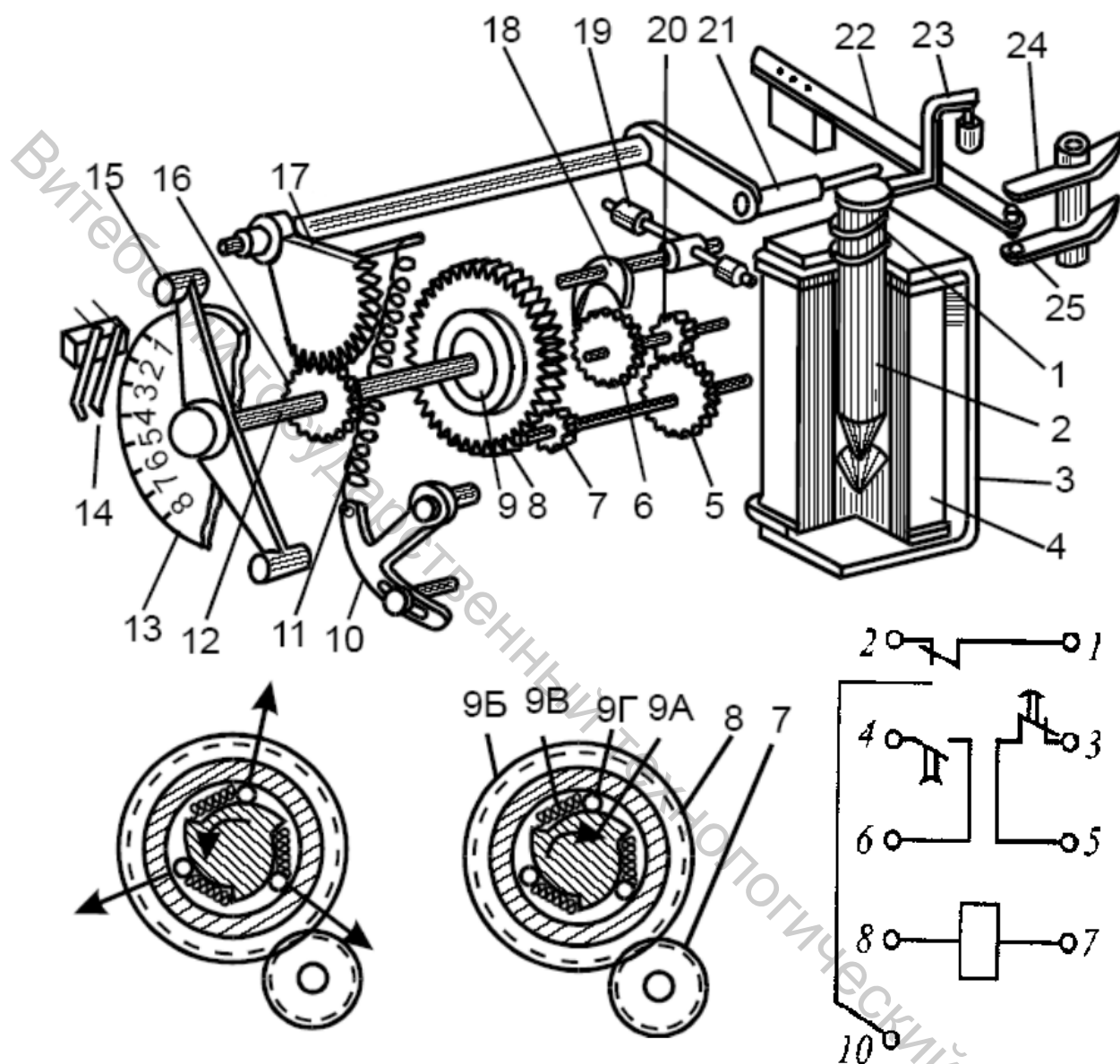


Рисунок 5.1 – Устройство часового механизма и реле времени ЭВ-100, 200

Вращение выходного вала происходит до тех пор, пока мостик подвижного контакта *15* не замкнет конечные неподвижные контакты *14* и не коснется упора, имеющегося на пластмассовой колодке конечных контактов. Помимо конечного контакта реле могут иметь проскальзывающий контакт, кратковременно замыкающийся после заданной выдержки времени. Выдержка времени проскальзывающего контакта может быть только меньше выдержки времени конечных контактов. **Изменение уставок времени срабатывания производится перемещением неподвижных конечных и проскальзывающих контактов на шкале *13*.** Реле имеет сильную возвратную пружину, рассчитанную на завод часового механизма, поэтому обмотка электромагнита потребляет зна-

чительную мощность и может подключаться к источнику напряжения лишь на непродолжительное время.

Реле серии ЭВ-100 выпускается двенадцати различных исполнений, отличающихся диапазоном регулирования выдержки времени, длительной или кратковременной термической стойкостью и наличием или отсутствием проскальзывающего контакта.

Реле времени ЭВ-200 отличается от реле серии ЭВ-100 только конструкцией электромагнита и передаточных звеньев.

Реле времени ЭВ-200 имеют восемь исполнений, отличающихся диапазонами регулировки выдержки времени и наличием или отсутствием проскальзывающего контакта. Все исполнения имеют мгновенный переключающий контакт.

Реле серии ЭВ-200 выпускается на номинальное напряжение 100, 127, 220 и 380 В, с частотой 50 Гц. Напряжение срабатывания реле не более 85 %  $U_{ном}$ . Мощность, потребляемая обмоткой реле при втянутом якоре, не превышает 20 В · А. Обмотки реле длительно выдерживают напряжение 110 %  $U_{ном}$ .

## 5.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.

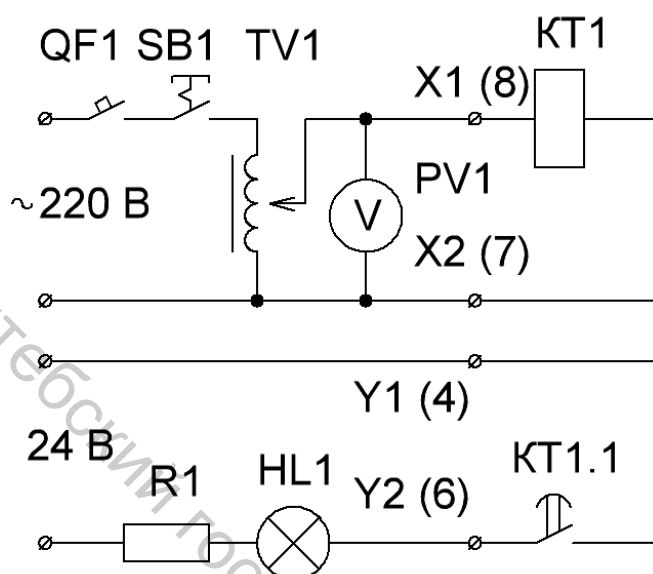
3. Собрать схему установки испытания реле времени ЭВ 132 (рис. 5.2). Выставить минимальное напряжение ЛАТР TV1.

4. Установить уставку времени срабатывания  $t_{уст} = 1$  с перемещая проскальзывающий контакт на шкале 13 (рис. 5.1).

5. Выставить рабочее напряжение 140 В.

6. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Измерит секундомером время срабатывания  $t_{ср.р}$  и занести данные в таблицу с результатами. Измерит секундомером время срабатывания  $t_{ср.р}$ .

7. Повторить пункты 4–6 для уставок времени срабатывания  $t_{уст} = 1,5$  с; 2 с; 2,5 с; 3 с; 3,5 с.



QF1 – автоматический выключатель;  
 SB1 – кнопочный выключатель;  
 TV1 – ЛАТР;  
 R1 – резистор (активная нагрузка);  
 PV1 – вольтметр;  
 KT1 – реле времени;  
 HL1 – лампа

Рисунок 5.2 – Схема подключения реле времени ЭВ 132

### 5.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции реле времени ЭВ 132.
3. Паспортные данные реле времени ЭВ 132.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая уставку времени срабатывания  $t_{уст}$ , измеренное время срабатывания  $t_{ср.р.}$ .
6. Выводы.

### 5.4 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены реле времени?
2. Назовите основные типы реле времени, их особенности.
3. Устройство реле времени ЭВ-200.
4. Какие пределы выдержки времени могут давать реле с анкерным механизмом ЭВ-100, ЭВ-200 (при срабатывании и отпускании)?
5. Каким путем устанавливается различная выдержка времени в реле времени с анкерным механизмом?
6. Каким образом устраняется вибрация контактов реле времени переменного тока?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### Исследование реле времени РСВ-13

**Цель работы:** изучить конструкцию реле времени РСВ-13, его работу и назначение, сравнить время срабатывания реле, с показаниями секундомера при различных уставках испытуемого реле.

#### 6.1 Теоретическая часть

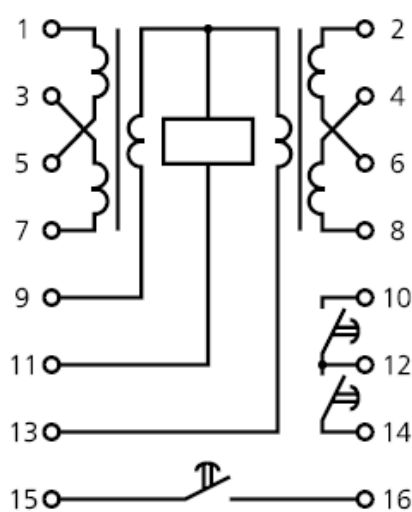
Реле времени предназначено для применения в схемах защиты стационарных систем на переменном токе с целью получения регулируемых выдержек времени. Номинальный ток реле – 2А. Номинальная частота – 50–60 Гц.

Способ регулировки выдержки времени – ступенчатый.

Пределы уставок, сек.:

- нижний предел первой ( $t_1$ ) уставки – 0,1;
- нижний предел второй ( $t_2$ ) уставки –  $t_1 + 0,4$ ;
- нижний предел третьей ( $t_3$ ) уставки –  $t_2 + 0,4$ ;
- максимальная уставка для всех ступеней, сек. – 12,7.

Схема электрических соединений приведена на рисунке 6.1. Обозначение выводов на рисунке дано условно. В действительности выводы реле обозначения не имеют. Входные цепи реле состоят из двух насыщающихся трансформаторов (ТА1, ТА2), первичные обмотки которых включаются во вторичные цепи измерительных трансформаторов тока любых двух фаз трехфазной системы, полупроводниковой схемы и выходных электромагнитных реле, К1, К2, К3 – контакты выходных реле.



а)



б)

Рисунок 6.1 – Схема электрических соединений реле времени РСВ 13:

а) контакты реле; б) схемы соединения входных цепей

Токовые характеристики полного сопротивления входных трансформаторов реле РСВ 13 приведены на рисунке 6.2. Включение полупроводниковой схемы в работу производится контактами других реле (выводы 9, 11, 13). Реле правильно работает при подаче тока только в одну из токовых цепей.

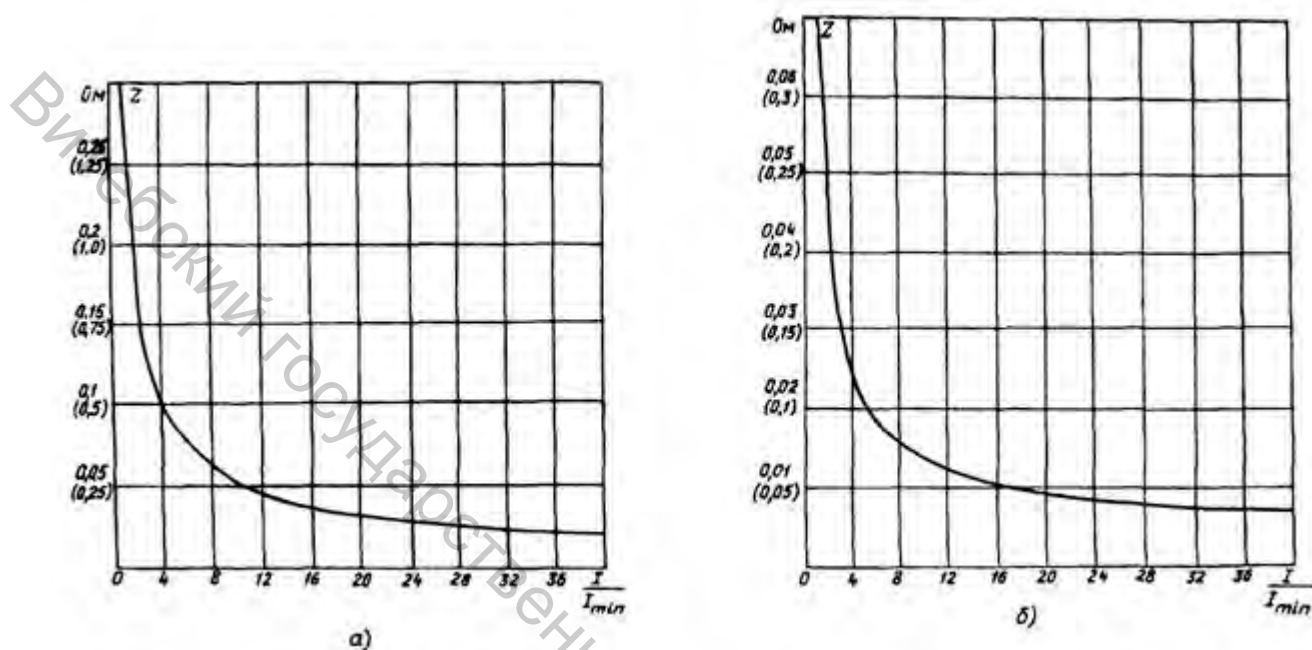


Рисунок 6.2 – Токовые характеристики полного сопротивления входного трансформатора реле времени РСВ 13: *а* – последовательное соединение обмоток; *б* – параллельное соединение обмоток. В скобках указаны значения сопротивлений для исполнения реле на номинальный ток 2 А

Принцип действия реле основан на подсчете тактовых импульсов задающего генератора и сравнении их числа с заданной уставкой. Принципиальная электрическая схема реле РСВ 13 приведена на рисунке 6.3. Промежуточные трансформаторы тока ТА1 и ТА2 имеют по две первичные обмотки  $W1$ ,  $W2$ , включающиеся во вторичные цепи измерительных трансформаторов тока любых фаз трехфазной системы. Параллельно вторичным обмоткам трансформаторов включены резисторы  $R1$  и  $R2$ , которые ограничивают амплитуду пиков напряжения, возникающих при насыщении трансформаторов тока при разомкнутом положении контактов управляющих реле.

Трансформаторы тока не насыщаются во всем диапазоне рабочих токов, и перенапряжения на их вторичных обмотках не возникают благодаря работе импульсного стабилизатора напряжения, состоящего из выпрямительного моста, выполненного на диодах  $VD1$ - $VD4$ , транзисторов  $VT1$ - $VT2$ , диодов  $VD5$ - $VD7$ , резисторов  $R3$ - $R5$ ,  $R7$ ,  $RQ$ , элементов  $DD1.1$ ,  $DD1.2$  и конденсатора  $C2$ . Вторичный ток трансформатора тока (ТА1 или ТА2) выпрямляется и через диоды  $VD5$ ,  $VD7$  заряжает конденсатор  $C2$  до напряжения, при котором переключается триггер Шмидта, выполненный на элементах  $DD1.1$ ,  $DD1.2$ ,  $R4$ ,  $R5$ ,  $R7$ ,  $RQ$ . Выходной сигнал триггера, усиленный транзистором  $VT2$ , открывает транзистор  $VT1$ .

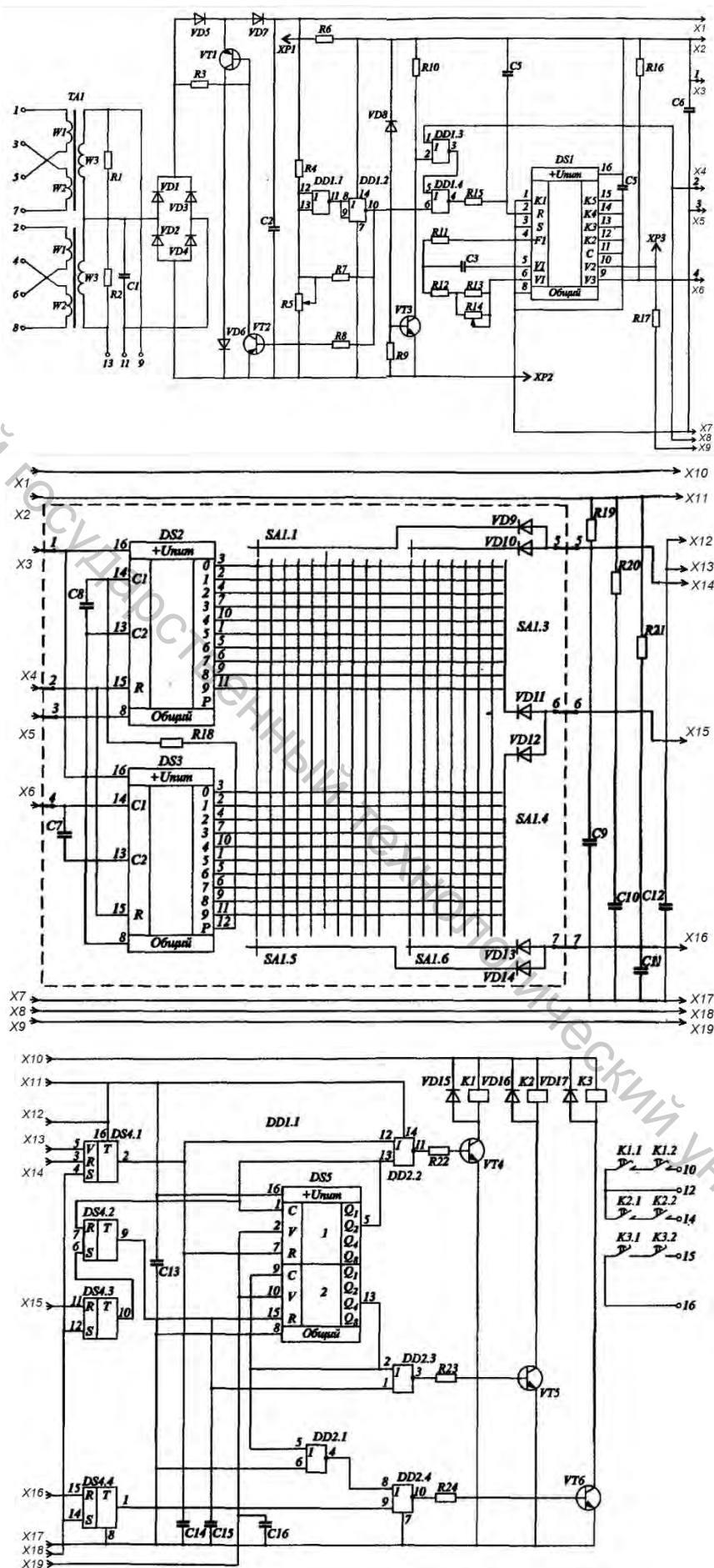


Рисунок 6.3 – Принципиальная электрическая схема реле времени РСВ 13

Насыщенный транзистор VT1 закорачивает выход моста, диод VD7 запирается, а конденсатор C2 с большой постоянной времени разряжается на входное сопротивление схемы реле. При снижении напряжения на конденсаторе C2 до напряжения возврата триггер возвращается в исходное состояние, транзистор VT1 запирается и процесс заряда конденсатора C2 повторяется.

Таким образом, среднее значение напряжения на конденсаторе C2 поддерживается постоянным, конденсатор C1 обеспечивает защиту от помех, возникающих в цепи пуска. Напряжение на конденсаторе C2 непосредственно используется лишь для питания выходных реле K1 – K3. Для питания интегральных микросхем используется напряжение, дополнительно стабилизированное стабилитроном VDQ. Цепь стабилитрона VD8 служит также для организации пускового органа, в который дополнительно входят: элементы DD1.3, DDA резисторы R9, RIO, R15 транзистор VT3 и конденсатор C4.

В момент пуска при напряжении на конденсаторе C2, меньшем напряжении стабилизации стабилитрона VDS, к базе транзистора VT3 приложен потенциал и транзистор находится в закрытом состоянии, при этом с резистора RIO снимается единичный сигнал, который подается на один из входов триггера, выполненного на элементах DD1.3, DD1.4. На второй вход этого триггера подается нулевой потенциал с выхода триггера Шмидта, в результате чего с его выхода снимается единичный сигнал, который через резистор R15 подается на входы: установки «нуля» – задающего генератора и счетчика импульсов; установки «единицы» – формирователей длительности замкнутого положения «проскальзывающих» контактов, формирователя однократного включения конечного контакта, и запрещает их работу. При достижении напряжением на конденсаторе C2 уровня напряжения стабилизации стабилитрона VD8 последний открывается, что приводит к открытию транзистора VT3, однако триггер при этом сохраняет предшествующую ориентацию. При дальнейшем увеличении напряжения на конденсаторе C2 до порога срабатывания триггера Шмидта, заданного резистором R5, происходит его переключение, что приводит к изменению состояния триггера на элементах DD1.3, DD1.4 с последующим его запоминанием за счет открытого транзистора VT3. Нулевой разрешающий сигнал с выхода триггера на элементах DD1.3, DD1.4 через резистор R15 подается на входы задающего генератора, счетчика импульсов, формирователей длительности замкнутого положения «проскальзывающих» контактов и формирователя однократного включения конечного контакта.

Конденсатор C4 обеспечивает защиту от помех. Задающий генератор выполнен на микросхеме D51, резисторах R1–R14, конденсаторе C3. Микросхема D51 служит также делителем частоты тактовых импульсов. Вход K1 микросхемы D51 используется для блокировки работы генератора и установки его и делителя частоты в исходное состояние. Подстроечный резистор R14 служит для регулировки частоты генерации. Прямоугольные импульсы выхода 10 микросхемы D51 через R17, C16 поступают на входы V счетчиков формирователей длительности замкнутого состояния «проскальзывающих» контактов, а с выхода 9 – на счетный вход микросхемы D53. Импульсы переноса с выхода 13 микросхемы D53 поступают на счетный вход микросхемы D52. Выходы D52 и D53

через переключатели уставок 5A1.1-5A1.6 и дешифраторы (диоды VD9-VD14) соединены со входами схем формирования длительности замкнутого положения «проскальзывающих» контактов и схемы однократного включения конечного контакта.

Регулирование уставок осуществляется по методу суммирования интервалов. При этом обеспечивается дискретное изменение уставок в диапазоне от 0,1 до 9,9 с со степенями 0,1 с. С целью снижения потребляемой мощности принята следующая последовательность срабатывания реле: K1, K2, K3. Кроме того, первая и вторая ступени с регулируемой выдержкой времени имеют на выходе временно замыкающий контакт, аналогичный «проскальзывающему» контакту реле PBM 12, PBM 13. Для реализации этой функции и заданной последовательности срабатывания выходных реле в схему введены блоки формирования длительности положения после срабатывания реле K3 функционирует следующим образом. После пуска реле триггер D54.4 работает аналогично триггеру D54.1. На его выходе устанавливается сигнал «I», который подается на один из входов элемента «2ИЛИ-НЕ» DD2.1, где постоянно присутствует сигнал «O», на второй его вход подается сигнал «O» с выхода счетчика DS5.2, при этом на его выходе присутствует сигнал «I». Этот сигнал с выхода элемента DD2.1 подается на второй вход элемента DD2.4, при этом на его выходе присутствует сигнал «O», транзистор VT6 закрыт и реле K не срабатывает.

Возможно два случая работы органа формирования однократного срабатывания реле K3. Первый случай, когда сначала срабатывает счетчик DS5.2 и на его выходе появится сигнал «I», который инвертируется элементом DD2.1. Сигнал «O» с выхода элемента DD2.1 подается на вход элемента DD2A, при этом состояние элемента DD2A не изменяется, так как на его втором входе присутствует сигнал «I». Через промежуток времени  $t_{уст.1}$  соответствующий набранной переключателями SA1.5, 5A1.6 уставке, срабатывает триггер D54.4. Сигнал «O» на его выходе инвертируется элементом DD2A, и сигнал «1» с выхода элемента DD2A включает транзистор VT6 током базы через резистор R24, и реле K3 срабатывает. В этом случае реле K3 срабатывает с выдержкой времени.

Второй случай, когда сначала срабатывает триггер D54.4 и сигнал «O» с его выхода подается на вход элемента DD2A, при этом элемент DD2A не изменяет своего состояния, так как на его втором входе присутствует сигнал «I». Через промежуток времени, на выходе счетчика DS5.2 появляется сигнал «I», который инвертируется элементом DD2.1. Сигнал «O» на входе элемента DD2.1 инвертируется элементом DD2.4, и сигнал «1» с выхода элемента DD2.4 включает транзистор VT6 током базы через резистор R24, и реле K3 срабатывает. Таким образом, обеспечивается требуемая последовательность работы реле K1-K3 независимо от набранных переключателями уставок. Однократность срабатывания реле K3 обеспечивается за счет использования триггера D54.4 и придания триггерных свойств счетчику DS5.2 при подаче его выходного сигнала на вход С.

Интегрирующие цепи R15, C4, R17, C16, D18, C8 и конденсаторы C6, C7, C9-C11 обеспечивают правильную работу и защиту от помех счетчиков и

триггеров. Обмотки выходных реле зашунтированы диодами VD15-VD17 для защиты транзисторов от перенапряжений при резком запирании транзисторов. Каждое из выходных реле имеет по два замыкающих контакта.

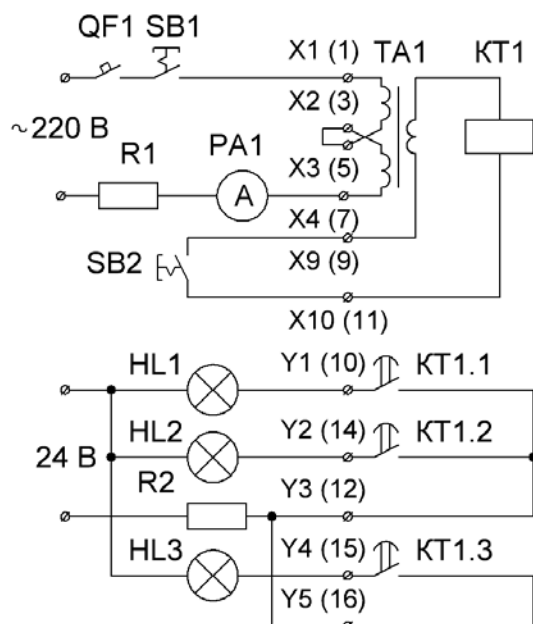
Контакты реле для повышения их надежной работы включены последовательно. При размыкании цепи управления конденсатор C2 начинает разряжаться и при напряжении, примерно равном напряжению стабилизации стабилитрона VD8, транзистор VT3 закрывается. Появившийся на его коллекторе единичный сигнал устанавливает все элементы схемы в исходное состояние и запрещает их работу. Применение указанной схемы пуска с высоким порогом срабатывания и более низким порогом возврата позволило отстроиться от емкости проводов в цепи пуска и обеспечить требуемые характеристики реле.

## 6.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.

3. Собрать схему установки испытания реле времени РСВ 13, показанную на рисунке 6.4. Выставить максимальное значение сопротивления нагрузки R1.



QF1 – автоматический выключатель;  
SB1, SB2 – кнопочные выключатели;  
R1, R2 – резисторы (активная нагрузка);  
PA1 – амперметр;  
TA1 – трансформатор тока;  
KT1 – реле времени;  
HL1, HL2, HL3 – лампы

Рисунок 6.4 – Схема подключения реле времени РСВ 13

Чтобы реле начало работать нужно подать ток на обмотку фазы А с контактами 1, 3, 5, 7 и замкнуть пусковой элемент с контактами 9, 11.

4. Установить уставки времени срабатывания  $t1_{уст} = 1$  с,  $t2_{уст} = 2$  с,  $t3_{уст} = 3$  с, поворачивая соответствующие переключатели на лицевой панели.

5. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Уменьшая сопротивление нагрузки R1 установить ток 2,5 А.

6. Повторно включить схему. Измерить секундомером время срабатывания ступеней защит  $t1_{ср.р.}$ ,  $t2_{ср.р.}$ ,  $t3_{ср.р.}$  и занести данные в таблицу с результатами. Измерит секундомером время срабатывания  $t_{ср.р.}$ .

7. Повторить пункты 4–6 для уставок времени срабатывания, заданных преподавателем.

8. Собрать схему установки испытания реле времени РСВ 13, показанную на рисунке 6.4. Собрать параллельное соединения входных цепей фазы А, как показано на рисунке 6.1 б. Выставить максимальное значение сопротивления R1.

9. Установить уставки времени срабатывания  $t1_{уст} = 2$  с,  $t2_{уст} = 3$  с,  $t3_{уст} = 4$  с поворачивая соответствующие переключатели на лицевой панели.

10. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Уменьшая сопротивление нагрузки R1 установить ток 5 А.

11. Повторно включить схему. Измерить секундомером время срабатывания ступеней защит  $t1_{ср.р.}$ ,  $t2_{ср.р.}$ ,  $t3_{ср.р.}$  и занести данные в таблицу с результатами. Измерит секундомером время срабатывания  $t_{ср.р.}$ .

12. Повторить пункты 8–11 для уставок времени срабатывания, заданных преподавателем.

### 6.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции реле времени РСВ 13.
3. Паспортные данные реле времени РСВ 13.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая ток срабатывания  $I_{ср.}$ , уставку времени срабатывания  $t1_{уст}$ ,  $t2_{уст}$ ,  $t3_{уст}$ , измеренное время срабатывания  $t1_{ср.р.}$ ,  $t2_{ср.р.}$ ,  $t3_{ср.р.}$ .
6. Выводы.

## 6.4 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены реле времени типа РСВ?
2. Какие пределы выдержки времени могут давать РСВ 13 (при срабатывании и отпускании)?
3. Каким путем устанавливается различная выдержка времени в реле времени РСВ 13?
4. Почему входные трансформаторы реле имеют нелинейные токовые характеристики полного сопротивления?
5. Расскажите схему подключения реле времени РСВ 13.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

### Исследование автоматического выключателя

**Цель работы:** изучение конструкции, принципа действия автоматического выключателя и исследование его характеристик.

#### 7.1 Теоретическая часть

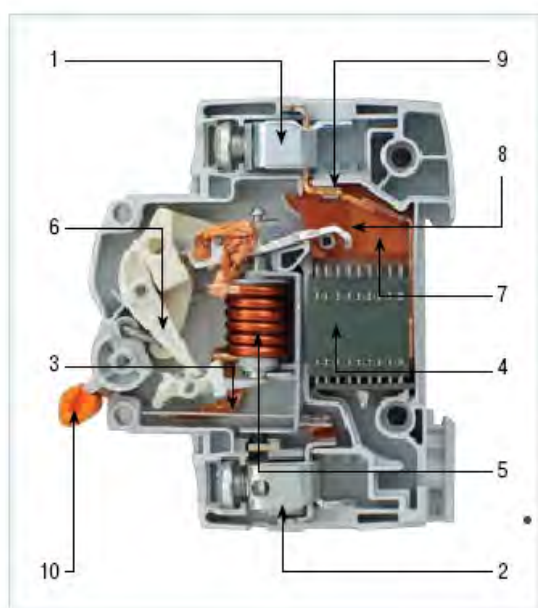
Автоматические выключатели (автоматы) служат для автоматического отключения электрической цепи при перегрузках, коротких замыканиях (КЗ), чрезмерном понижении напряжения и других ненормальных и аварийных режимах, а также для редких включений и отключений вручную номинальных токов нагрузки.

В зависимости от вида воздействующей величины автоматы делятся на следующие типы:

1. Максимальные автоматы по току.
2. Минимальные автоматы по току.
3. Минимальные автоматы по напряжению.
4. Поляризованные максимальные автоматы (отключают цепь при нарастании тока в одном – прямом направлении) и др.

По числу полюсов автоматы выпускаются одно-, двух-, трех- и четырех-полюсными. По роду тока главной цепи выполняются выключатели переменного, постоянного, переменного и постоянного тока.

Обеспечением защитных свойств в автоматическом выключателе занимаются два встроенных устройства (рис. 7.1), работающие по принципам реле прямого действия.



Устройство автоматического выключателя ВА63

- 1 – верхняя клемма  
2 – нижняя клемма  
3 – би-металлическая пластина (тепловой расцепитель)  
4 – дугогасительная камера  
5 – электромагнитный расцепитель  
6 – механизм взвода  
7 – накладка из газогенерирующей пластмассы  
8 – подвижный контакт  
9 – неподвижный контакт  
10 – рукоятка взвода

Рисунок 7.1 – Устройство автоматического выключателя

Они расцепляют силовые контакты автомата при превышении номинальных значений по критериям ограничения:

1. Тепловой нагрузки.
2. Электромагнитного воздействия.

Биметаллическая пластина теплового расцепителя воспринимает нагрев проводов обмотки. При его превышении она изгибается, выводя из удержания узел сцепления.

График время-токовой характеристики (**ВТХ**) для автоматического выключателя представляет собой сложную линию (рис.7.2). Верхний участок соответствует работе теплового расцепителя, а его нижняя часть – электромагнитной отсечке.

Бытовые автоматы классифицируют тремя группами В, С и D:

- класс В предназначен для защиты протяженных линий и систем освещения. Кратность токов для его срабатывания лежит в пределах  $3 \div 5 I_{ном}$ ;
- класс С защищает розеточные группы или оборудование, создающее умеренные пусковые токи. Кратность токов  $5 \div 10 I_{ном}$ ;
- класс D применяют для защиты потребителей, обладающих повышенными пусковыми токами, например, трансформаторов или станков с мощными асинхронными электродвигателями. Кратность токов  $10 \div 20 I_{ном}$ .

#### **Учет влияния температуры**

В отличие от защитной характеристики плавкой вставки предохранителя у автоматического выключателя график ВТХ представлен двумя линиями:

- 1) верхней, учитывающей срабатывание защит непосредственно из холодного состояния  $+30^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) нижней, созданной после повторного включения, когда конструкция автомата не успела остыть.

При работе автоматического выключателя следует учитывать, что он может находиться где-то внутри показанной зоны. В этом случае время отключения аварийных токов несколько сокращается в прогретом состоянии и увеличивается в холодном. За счет этого создается разброс параметров срабатывания.

#### **Линия токов условного нерасцепления**

С целью обозначения первой области на оси абсцисс графика выбрано значение  $1,13 I_{ном}$ . Его называют точкой условного нерасцепления. Ниже этих токов отключение автоматического выключателя не должно происходить.

При ее достижении автоматические выключатели с номинальным значением токов до 63 ампер должны отключаться через 1 час, а с большими номиналами – через два. Местоположение точки условного расцепления в обязательном порядке указывается на графике ВТХ.

#### **Линия токов условного расцепления**

Точка на оси абсцисс с величиной  $1,45 I_{ном}$  – это второе граничное значение зоны токов условного расцепления и нерасцепления силовых контактов.

Точка  $1,45 I_{ном}$  характеризует токи условного расцепления, она тоже обозначается на всех графиках ВТХ. При достижении подключенной к автомату нагрузки такой величины он должен отключиться за время:

- меньше, чем 1 час, если его номинал до 63 ампер;

- не дольше двух часов, когда номинальный ток превышает эту величину в 63 ампера.

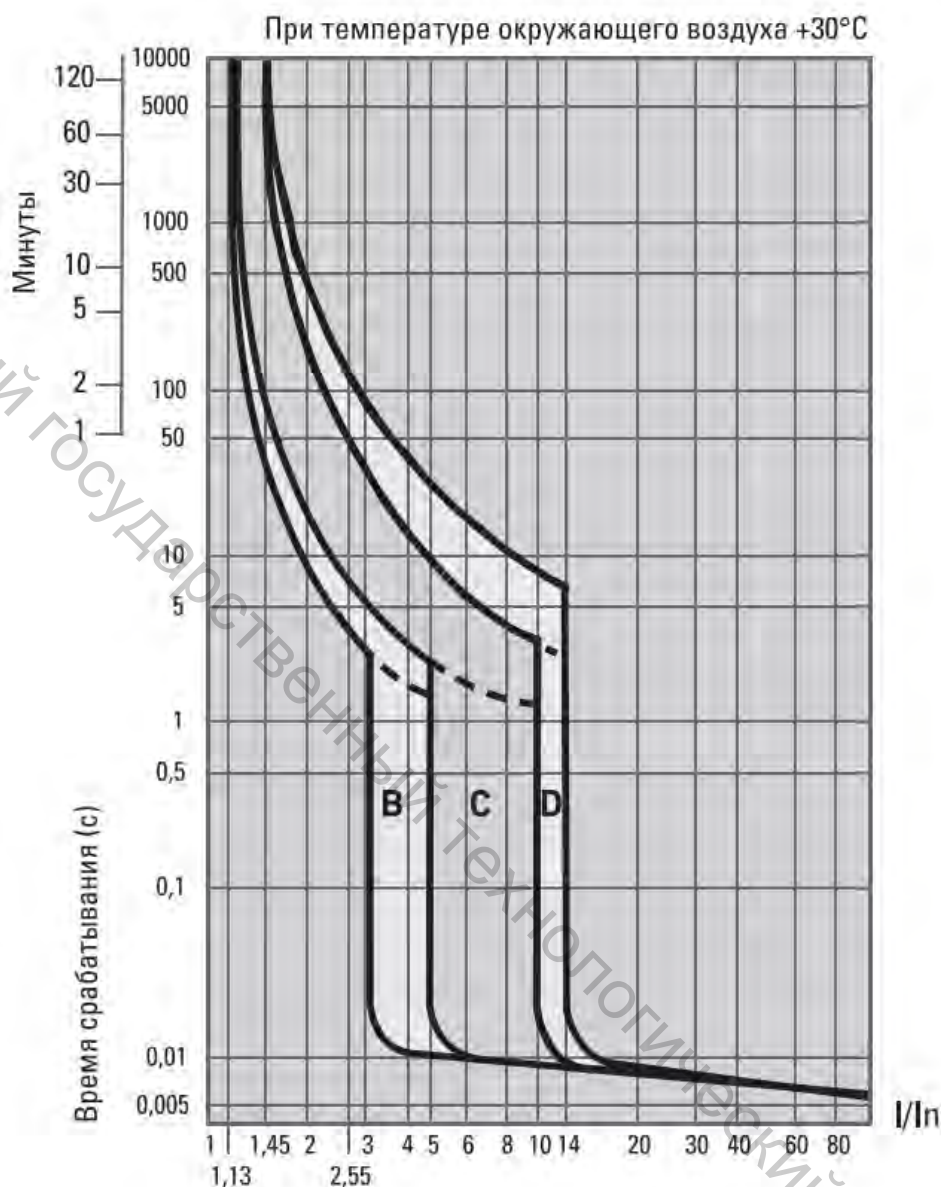


Рисунок 7.2 – График время-токовой характеристики автоматического выключателя

Вышеприведённый график показывает, что у выбранного автоматического выключателя время отключения аварийного режима из холодного состояния составляет 1 час, а при его нагреве может уменьшиться вплоть до 40 секунд.

Автоматические выключатели с комбинированным расцепителем имеют относительно простую конструкцию и невысокую стоимость. Однако имеются и недостатки – зависимость от температуры окружающей среды, высокое потребление электрической энергии, отсутствие регулировки времени и тока срабатывания защит, а также недостаточно точное и надежное срабатывание.

## 7.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.
2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.
3. Собрать схему установки испытания автоматического выключателя марки ВА47-39 1P 1A C (рис. 7.3). Выставить максимальное значение сопротивления нагрузки R1.

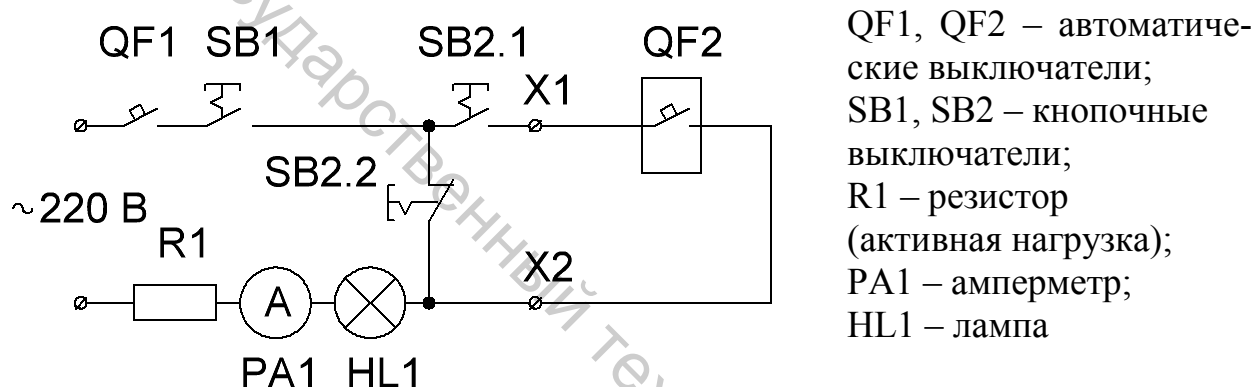


Рисунок 7.3 – Схема исследования автоматического выключателя

4. Включить схему кнопочным выключателем SB1. Отключить от цепи питания автоматического выключателя QF2, разомкнув выключатель SB2.2 и замкнув выключатель SB2.1. Выставить рабочий ток  $I_p = 10$  А уменьшая сопротивление нагрузка R1.
5. Подключить к цепи питания автоматического выключателя QF2, замкнув выключатель SB2.2 и разомкнув выключатель SB2.1.
6. Измерить секундомером время срабатывания автоматического выключателя  $t_{ср.р}$  и занести данные в таблицу с результатами.
7. Повторить пункты 4–6 для рабочего тока  $I_p = 8$  А; 6 А; 4 А.

## 7.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.

2. Схема конструкции автоматического выключателя.
3. Паспортные данные автоматического выключателя ВА47-39 1Р 1А С.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая рабочий ток  $I_p$ , срабатывания автоматического выключателя  $t_{ср.р.}$
6. Выводы.

#### 7.4 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены автоматические выключатели?
2. Каково устройство автоматического выключателя?
3. Почему наряду с максимальными токовыми электромагнитными расцепителями в автоматические выключатели встраиваются и тепловые токовые расцепители?
4. Объясните характер кривых время-токовых характеристик.
5. Какими устройствами электроавтоматики может быть заменен автомат в системе защиты?
6. Как можно уменьшить собственное время отключения автоматического выключателя?
7. Каков принцип действия автоматического выключателя при токах перегрузки, КЗ и чрезмерном снижении питающего напряжения?
8. Каково назначение дугогасительных контактов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### Исследование устройства защитного отключения

**Цель работы:** изучение конструкции, принципа действия устройства защитного отключения и исследование его характеристик.

#### 8.1 Теоретическая часть

Защитным отключением в электроустановках до 1 кВ называется автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижение уровня изоляции ниже определенного значения. В последнем случае (при снижении сопротивления изоляции), а также при прикосновении человека к фазе защитное заземление и зануление неэффективны, поэтому устройство защитного отключения здесь незаменимо.

Различают типы УЗО: реагирующие на потенциал корпуса; ток замыкания на землю; токи утечки; комбинированные и др.

В УЗО, реагирующем на токи утечки и являющимся наиболее перспективным в электроустановках потребителей (до 1 кВ), в качестве датчика используют трансформатор тока тороидального типа (рис. 8.1). В нем роль первичной обмотки выполняют фазные проводники.

Вторичная обмотка имеет большое число витков, равномерно расположенных по тороиду, подключается к управляющему органу (в электромеханических УЗО – к чувствительному электромагнитному реле, в электронных – к промежуточному усилителю и другим электронным элементам исполнительного реле). Роль исполнительного механизма обычно играет коммутационный аппарат.

Геометрическая сумма токов, протекающих по первичной обмотке в нормальном режиме работы, равна нулю:  $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0$ . При утечке тока равновесие их в первичной обмотке нарушается:  $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = I_y$ . Тогда в магнитопроводе создаётся магнитный поток, индуктирующий ток во вторичной обмотке, отключающий цепь.

Под  $I_y$  понимается ток, который протекает в сети при снижении сопротивления изоляции фазного провода, замыкании на открытые проводящие части, а также в случае прикосновения человека к токоведущим частям

Принцип действия УЗО по напряжению на корпусе электроприемника показан на рисунке 8.1.

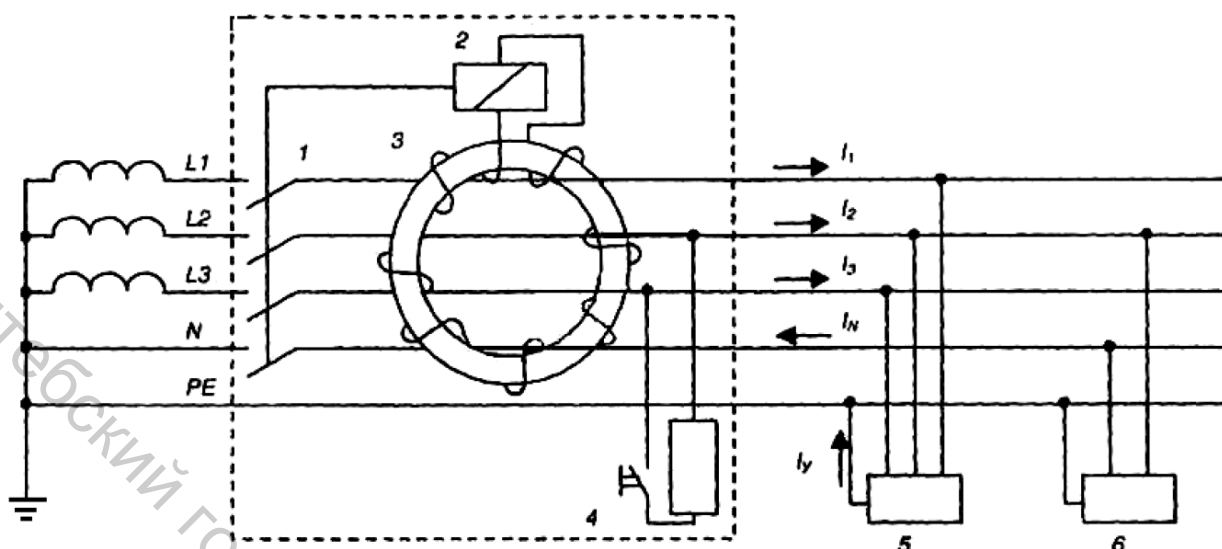


Рисунок 8.1 – Схема включения УЗО в сеть *TN-S*:

1 – исполнительный механизм; 2 – блок управления; 3 – датчик дифференциального тока; 4 – кнопка контроля работоспособности УЗО; 5 – трехфазный электроприемник; 6 – однофазный электроприемник

## 8.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов.

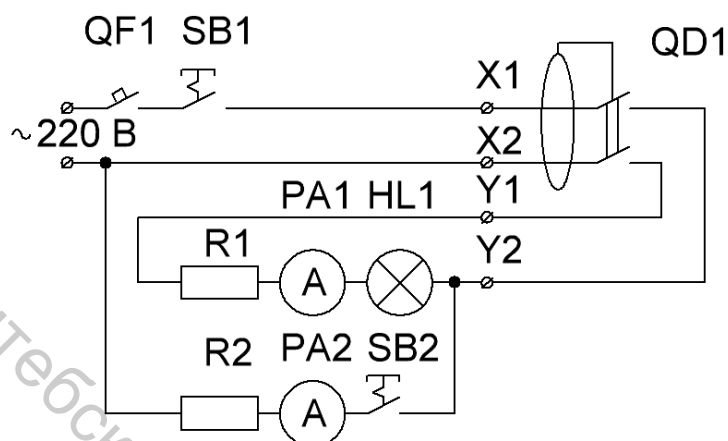
3. Собрать схему установки испытания устройства защитного отключения (рис. 8.2).

4. Подключить сопротивление  $R2 = 4700 \text{ Ом}$ . Ток утечки в данном случае составит  $I_y = U_{\text{пит}} / R2 = 220 / 4700 = 47 \text{ мА}$ .

5. Включить схему кнопочным выключателем SB1.

6. Включить схему кнопочным выключателем SB2. Записать ток утечки по показаниям амперметра PA2. Сделать вывод, сработало ли устройство защитного отключения в данных условиях.

7. Повторить пункты 4, 5, 6 для  $R2 = 3300 \text{ Ом}$ ;  $2200 \text{ Ом}$ ;  $1500 \text{ Ом}$ .



QF1 – автоматический выключатель;  
 QD1 – устройство защитного отключения;  
 SB1, SB2 – кнопочные выключатели;  
 R1, R2 – резисторы (активная нагрузка);  
 PA1 – амперметр;  
 HL1 – лампа

Рисунок 7.2 – Схема исследования устройства защитного отключения

### 8.3 Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема конструкции устройства защитного отключения.
3. Паспортные данные устройства защитного отключения ВД-100 2Р 32А/100мА.
4. Схема установки.
5. Таблица с результатами измерения, содержащая значения сопротивления R2, ток утечки  $I_y$ , состояние устройства защитного отключения.
6. Выводы.

### 8.4 Контрольные вопросы

1. Дайте определение и поясните принцип защитного отключения.
2. Укажите преимущества защитного отключения перед другими видами защит.
3. В каких случаях целесообразно применять устройства защитного отключения?
4. Перечислите наиболее распространенные типы УЗО.
5. Когда и как производится проверка работоспособности УЗО?
6. Поясните принцип действия УЗО по току утечки с нулевым и защитным проводами.
7. Поясните особенности и укажите преимущества УЗО по току утечки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беккер, В. Ф. Технические средства автоматизации. Интерфейсные устройства и микропроцессорные средства : учебное пособие / В. Ф. Беккер. – 2-е изд. – Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2019. – 152 с.
2. Кангин, В. В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов : учебное пособие / В. В. Кангин. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 407 с.
3. Кузнецов, В. Н. Средства автоматизации и управления : учебник для студентов высших учебных заведений / В. Н. Кузнецов, В. А. Кривоносов, В. С. Есилевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 354 с.
4. Молдабаева, М. Н. Контрольно-измерительные приборы и основы автоматизации : учебное пособие для студентов технического и профессионального образования / М. Н. Молдабаева. – Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 330 с.
5. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для студентов вузов / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев; под ред. А. Ф. Дьякова. – 2-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2006. – 296 с.
6. Ванин, В. К. Релейная защита на элементах вычислительной техники / В. К. Ванин, Г. М. Павлов ; ред. С. П. Левкович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – 336 с.
7. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем : учебник для вузов / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

Учебное издание

## **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. РЕЛЕ И КОМПЛЕКТЫ ЗАЩИТ**

Методические указания к лабораторным работам

Составители:

Науменко Андрей Михайлович  
Леонов Владимир Викторович

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *А.М. Науменко*

---

Подписано к печати 10.01.2023. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 2,7.

Уч.-изд. листов 3,1. Тираж 35 экз. Заказ № 13.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.