



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Рубцовский индустриальный институт (филиал)**  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»  
(РИИ АлтГТУ)

**И.А. МАЦАНКЕ**  
**А.Н. ТАТАРНИКОВА**

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Методические указания к лабораторным работам**  
**для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров,**  
**всех форм обучения**

Рубцовск 2017

УДК 621.318.5

Мацанке И.А., Татарникова А.Н. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Методические указания к лабораторным работам для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск. 2017. – 51 с.

Дано описание лабораторных работ по курсам «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» и «Противоаварийная автоматика».

Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры электроэнергетики РИИ.  
Протокол №13 от 22.12.2016г.

Рецензент:  
гл. энергетик ЗАО «Контакт – 108»

Оборовский И.А.

© Рубцовский индустриальный институт, 2017

## Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа №1. «Схемы соединений измерительных трансформаторов тока и реле».....	5
Лабораторная работа №2. «Испытание электромагнитных реле. Токовые защиты с независимой характеристикой выдержки времени» .....	11
Лабораторная работа №3. «Испытание индукционного реле тока» .....	15
Лабораторная работа №4. «Испытание реле направления мощности» .....	18
Лабораторная работа № 5. «Исследование токовых направленных защит ЛЭП».....	22
Лабораторная работа №6. «Исследование защит силового трансформатора» .....	26
Лабораторная работа №7. «Регулирование напряжения трансформатора» .....	32
Лабораторная работа №8. «Исследование защит асинхронного электродвигателя».....	35
Лабораторная работа №9. «Совместное действие устройства автоматического повторного включения (УАПВ) и продольной дифференциальной токовой защиты» .....	39
Лабораторная работа №10. «Устройство автоматического включения резервного источника (УАВР)».....	44
Лабораторная работа №11. «Устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР)» .....	46
Список рекомендуемой литературы.....	51

## Введение

Лабораторные работы проводятся параллельно с лекционными занятиями по курсам «Релейная защита и автоматика» и «Противоаварийная автоматика». Основная задача лабораторных занятий – практическое изучение реле, схем защиты и автоматики, получение навыков самостоятельного проведения основных типов испытаний релейной аппаратуры.

Лабораторные работы выполняются бригадами по три-четыре человека в соответствии с графиком, составленным преподавателем. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, о чем делается запись в соответствующем журнале.

Перед проведением очередной лабораторной работы преподаватель проверяет готовность студентов к работе, наличие рабочих тетрадей с записями и заготовками таблиц и схем к данной лабораторной работе. После собеседования студенты приступают к монтажу схемы. В этой работе должны принимать участие все члены бригады. Смонтированную схему проверяют, после чего предъявляют на проверку преподавателю. Запрещается самовольное включение схемы без разрешения преподавателя. Студенты несут материальную ответственность за повреждение приборов и аппаратов, произошедшее по их вине. Получив разрешение, студенты приступают к экспериментам, проводя их с соблюдением правил техники безопасности.

Устранение замеченных в рабочей цепи неисправностей, а также пересоединения, необходимые по ходу работы, производятся только при выключенном напряжении. Повторное включение схемы после этих пересоединений допускается также после разрешения преподавателя. Во время работы нельзя прикасаться к оголенным частям электрической цепи. По окончании проведения экспериментов напряжение у рабочего места отключается.

Показания приборов и все необходимые данные для расчетов, а также предварительные вычисления заносят в рабочую тетрадь. После окончания экспериментальной части работы рабочую тетрадь предъявляют преподавателю для проверки. Отчеты по лабораторным работам выполняются индивидуально.

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Схему электрической цепи, используемую в эксперименте;
3. Таблицы опытных данных и результатов расчета;
4. Опытные и расчетные кривые и диаграммы;
5. Ответы на контрольные вопросы.

Отчет должен быть выполнен чисто и аккуратно, элементы схем вычерчиваются с использованием обозначений, соответствующих ГОСТу. Если в одних осях строится несколько кривых, то их нужно проводить различными по цвету линиями.

# Лабораторная работа №1. «Схемы соединений измерительных трансформаторов тока и реле»

## 1.1 Цель работы

Изучение некоторых видов испытаний трансформаторов тока, особенностей их работы и знакомство со схемами соединений измерительных трансформаторов тока и реле.

## 1.2. Экспериментальные исследования измерительных трансформаторов тока

1. Определение коэффициента трансформации трансформатора тока (рисунок 1.1).

Установить ток в первичной обмотке  $I_{1н}=1\text{А}$  и измерить ток во вторичной обмотке. Ток  $I_1$  регулируется нагрузочным реостатом  $R_n$ .

Коэффициент трансформации определяется по формуле:

$$K_I = I_{1н} / I_2 . \quad (1.1)$$

2. Снятие и построение характеристики намагничивания – зависимости  $I_2=f(k)$ , ( $k$  – кратность первичного тока) для двух значений нагрузочного сопротивления  $Z_n$  (рисунок 1.2).

Изменяя ток первичной обмотки реостатом  $R_n$ , измеряем ток вторичной цепи  $I_2$ . Результаты измерений занесем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Результаты измерений

$I_1/k, \text{А}$	$Z_{н1}$					$Z_{н2}$				
	1/1	2/2	3/3	5/5	6/6	1/1	2/2	3/3	5/5	6/6
$I_2, \text{А}$										
$I_1, \text{А}$										
$I_{на\text{м}}, \text{А}$										
$\varepsilon, \%$										

$$I_1 = I_1 / k_i; \quad I_{на\text{м}} = I_1 - I_2; \quad \varepsilon = I_{на\text{м}} / I_1 \cdot 100\% . \quad (1.2)$$

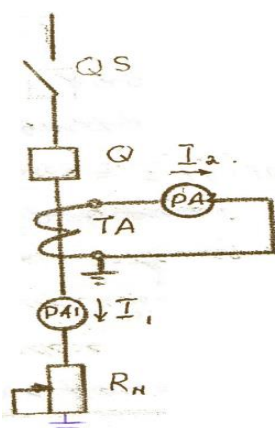


Рисунок 1.1

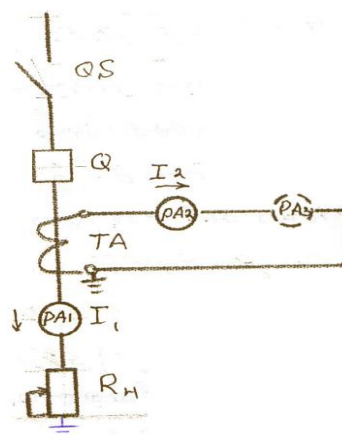


Рисунок 1.2

По данным таблицы 1.1 построить график зависимости  $I_2=f(k)$  для двух значений  $Z_n$ .

Определите погрешности трансформатора тока и их зависимость от  $k$  и  $Z_n$ .

1.3. Исследование токораспределения для различных схем соединения трансформаторов тока и реле

В зависимости от назначения защиты и предъявляемых к ней требований применяются следующие схемы соединения измерительных трансформаторов тока и реле:

- трехфазная схема соединения в полную звезду;
- двухфазная двух- и трехрелейная схема соединения в неполную звезду;
- трехфазная схема соединения ТТ в полный треугольник, а измерительных реле в полную звезду;
- двухфазная однорелейная схема соединения в неполный треугольник на разность токов двух фаз.

Распространение получили также схемы включения на составляющие нулевой и обратной последовательности.

1. Трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду (рисунок 1.3)

Для выполнения схемы необходимы три реле и три трансформатора во всех фазах защищаемого элемента. Вторичные обмотки трансформаторов тока и обмотки реле соединяются в полную звезду. Провод, соединяющий нулевую точку трансформаторов тока и нулевую точку обмоток реле, называют нулевым или обратным. Нулевые точки заземляют. Схема используется в сетях с заземленной нейтралью и защищает от всех видов короткого замыкания, в том числе и от замыканий на землю.

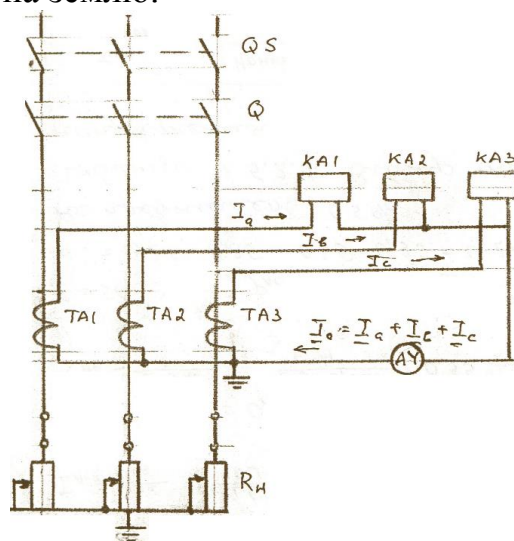


Рисунок 1.3 - Трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду

Токи в реле  $I_p$  равны фазным вторичным токам  $I_2$ , поэтому  $k_{сх}=I_p/I_2=1$ . Для исследования схемы реле заменены амперметрами. Реостатами  $R_n$  установить вторичные токи  $I_a, I_b, I_c$  согласно таблице 1.2. Измерить ток в нулевом проводе для всех режимов работы первичной схемы. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Результаты измерений

Режим работы первичной схемы	Ток, А			
	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_0$
Нормальный	1	1	1	
Однофазное КЗ фаза А	2,5	1	1	
Однофазное КЗ фаза В	1	2,5	1	
Двухфазное КЗ АВ	2,5	2,5	1	
Двухфазное КЗ СА	2,5	1	2,5	
Трехфазное КЗ ABC	2,5	2,5	2,5	

По данным таблицы построить векторные диаграммы токов для всех режимов работы.

2. Двухфазная двух - и трехрелейная схема соединения в неполную звезду (рисунок 1.4)

Для выполнения схемы используются ТТ, установленные в фазах А и С. Схема реагирует на все виды коротких замыканий, за исключением коротких замыканий на землю фазы, в которой трансформатор тока не установлен. В реле проходят вторичные фазные токи, поэтому  $k_{сх}=1$ .

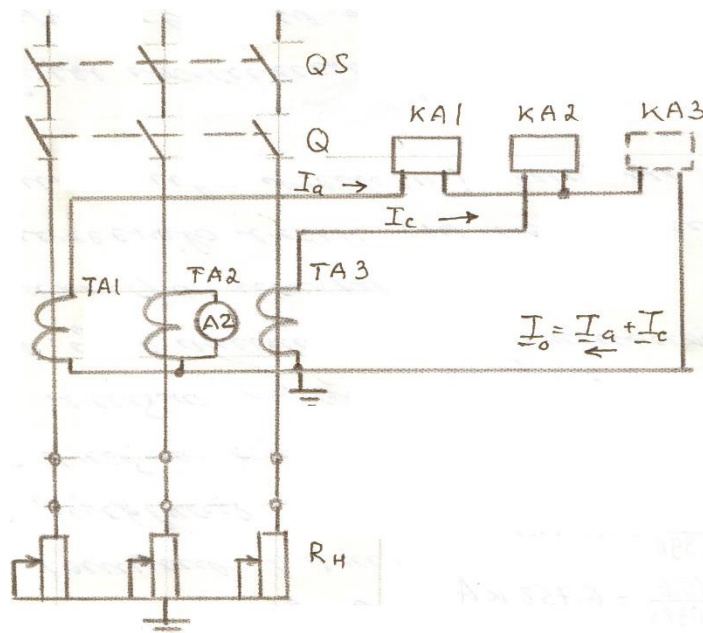


Рисунок 1.4 - Двухфазная двух - и трехрелейная схема соединения в неполную звезду

Ток в обратном проводе  $I_0 = I_A + I_C$  проходит не только при КЗ, но и при нормальном режиме. Если чувствительность двухрелейной схемы недостаточна, то в обратный провод схемы дополнительно включается реле КАЗ. По чувствительности эта схема равноценна схеме полной звезды. Схема используется в сетях с изолированной нейтралью, где для защиты от замыканий на землю используют специальную защиту.

Реостатами  $R_n$  установить вторичные токи  $I_a, I_b, I_c$  согласно таблице 1.3. Измерить ток в нулевом проводе для всех режимов работы первичной схемы. Результаты замеров занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 - Результаты измерений

Режим работы первичной схемы	Ток, А			
	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_0$
Нормальный	1	1	1	
Однофазное КЗ, фаза А	2,5	1	1	
Однофазное КЗ, фаза В	1	2,5	1	
Двухфазное КЗ, АВ	2,5	2,5	1	
Двухфазное КЗ, СА	2,5	1	3	
Трехфазное КЗ, ABC	2,5	2,5	2,5	

По данным таблицы построить векторные диаграммы токов для всех режимов работы. Сравнить токи в реле с токами при трехфазной схеме соединений трансформаторов тока.

3. Трехфазная схема соединения ТТ в полный треугольник, а измерительных реле в полную звезду (рисунок 1.5)

Вторичные обмотки ТТ соединены в треугольник последовательным соединением разноименных выводов, а обмотки реле соединены в звезду. При такой схеме соединения в каждом реле проходит ток, равный геометрической разности токов двух фаз.

$$I_{P1} = I_a - I_b; \quad (1.3)$$

$$I_{P2} = I_b - I_c; \quad (1.4)$$

$$I_{P3} = I_c - I_a. \quad (1.5)$$

Схема реагирует на все виды КЗ.

Коэффициент схемы при симметричном режиме и при трехфазном КЗ равен  $\sqrt{3}$ .

$$k_{сх} = I_P / I_2 = \sqrt{3}; \quad (1.6)$$

$$I_P = \sqrt{3} I_2. \quad (1.7)$$

Схема используется в сетях с заземленной нейтралью.



Реостатами  $R_n$  установить вторичные токи  $I_a, I_b, I_c$  согласно таблице 1.4. Измерить ток в реле для всех режимов работы первичной схемы. Результаты замеров занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 - Результаты измерений

Режим работы первичной схемы	Ток трансформатора тока, А			Ток реле, А		
	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_{ab}$	$I_{bc}$	$I_{ca}$
Нормальный	1	1	1			
Однофазное КЗ, фаза А	2,5	1	1			
Однофазное КЗ, фаза В	1	2,5	1			
Двухфазное КЗ, АВ	2,5	2,5	1			
Двухфазное КЗ, СА	2,5	1	2,5			
Трехфазное КЗ, ABC	2,5	2,5	2,5			

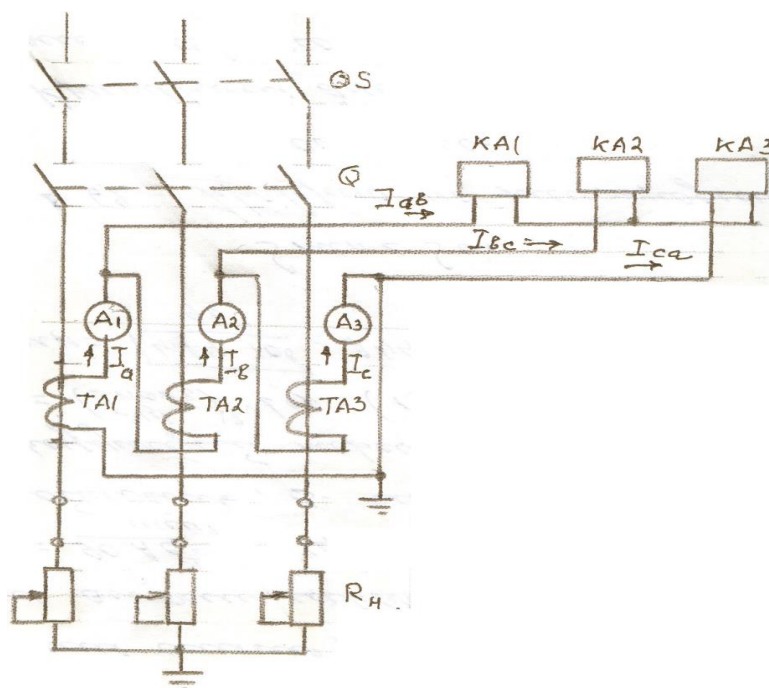


Рисунок 1.5 - Трехфазная схема соединения ТТ в полный треугольник, а измерительных реле в полную звезду

По данным таблицы построить векторные диаграммы токов для всех режимов работы.

4. Двухфазная однорелейная схема соединения ТТ в неполный треугольник на разность токов двух фаз (рисунок 1.6)

Данная схема защиты при использовании ее в сетях с изолированной нейтралью реагирует на все виды КЗ, за исключением замыканий на землю. В нормальном режиме и при трехфазном КЗ коэффициент схемы  $k_{сх}$  равен  $\sqrt{3}$ .

Реостатами  $R_n$  установить вторичные токи  $I_a, I_b, I_c$  согласно таблице 1.5. Измерить ток в реле для всех режимов работы первичной схемы. Результаты замеров занести в таблицу 1.5.

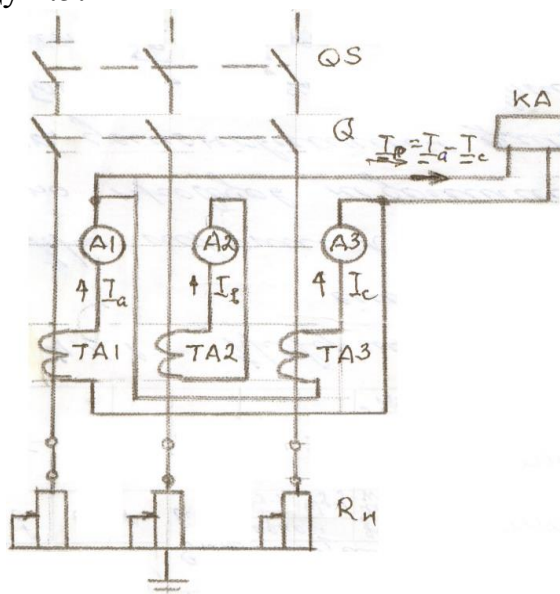


Рисунок 1.6 - Двухфазная однорелейная схема соединения ТТ в неполный треугольник на разность токов двух фаз

Таблица 1.5 Результаты измерений

Режим работы первичной схемы	Ток, А			
	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_R$
Нормальный	1	1	1	
Однофазное КЗ, фаза А	2,5	1	1	
Однофазное КЗ, фаза В	1	2,5	1	
Двухфазное КЗ, АВ	2,5	2,5	1	
Двухфазное КЗ, СА	2,5	1	2,5	
Трехфазное КЗ, ABC	2,5	2,5	2,5	

По данным таблицы построить векторные диаграммы токов для всех режимов работы.

Сравнить токи реле при трехфазной и двухфазной схеме соединений трансформаторов тока.

#### 1.4. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее выполнения.
2. Схемы опытов, таблицы замеров, векторные диаграммы.
3. Выводы, объясняющие принцип определения коэффициента трансформации, зависимости погрешности ТТ от вторичной нагрузки и кратности первичного тока.

#### 1.5. Контрольные вопросы

1. Назначение измерительных трансформаторов тока.
2. Принцип и режим работы трансформаторов тока.
3. Определение коэффициента трансформации ТТ.
4. Класс точности ТТ и его зависимости от вторичной нагрузки  $Z_n$  и кратности первичного тока  $k$ .
5. Определение коэффициента схемы.
6. Почему нельзя разрывать цепь вторичной обмотки ТТ?
7. Для чего заземляются вторичные обмотки ТТ?
8. Построение векторных диаграмм вторичных токов.

## Лабораторная работа №2. «Испытание электромагнитных реле. Токовые защиты с независимой характеристикой выдержки времени»

### 2.1. Цель работы

Изучение устройства и принципа действия электромагнитных реле различных типов и назначения, а также освоение методов их испытания. Испытанию подлежат электромагнитные реле тока и напряжения и реле времени.

Принципы построения многоступенчатых токовых защит с независимой характеристикой выдержек времени.

### 2.2. Основные сведения об устройстве и принципе действия электромагнитных реле

На рисунке 2.1 показано схематическое устройство электромагнитного реле тока. Оно состоит из неподвижного магнитопровода (1), катушки (2), подвижного якоря (3), возвратной пружины (4) и контактов (5).

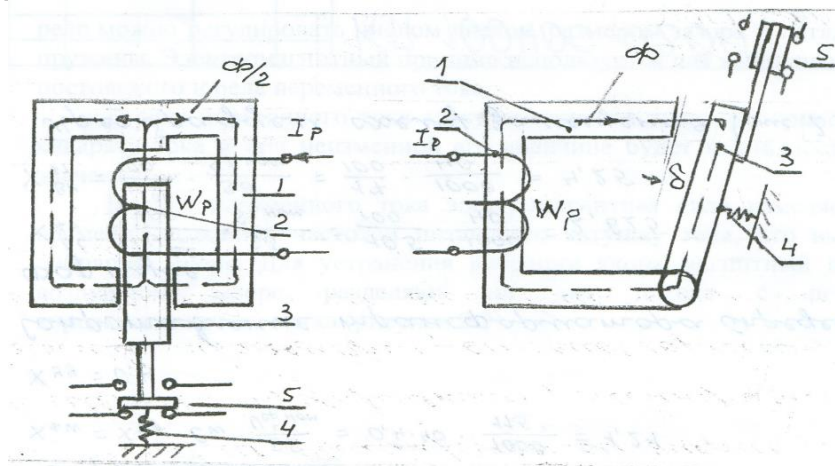


Рисунок 2.1 - Схематическое устройство электромагнитного реле тока

Протекающий по катушке ток  $I_P$  создает в магнитопроводе магнитный поток  $\Phi_M$ :

$$\Phi_M = I_P W_P / R_M, \quad (2.1)$$

где  $I_P W_P$  – намагничивающая сила;

$R_M$  – магнитное сопротивление контура, по которому замыкается магнитный поток;

$$R_M = R_B + R_{ж} \approx R_B. \quad (2.2)$$

Сопротивление воздушных зазоров пропорционально их суммарному значению  $\delta$ :

$$\Phi_M = K_1 \cdot I_P \cdot W_P / \delta. \quad (2.3)$$

Электромагнитная сила притяжения  $F_3$  пропорциональна квадрату магнитного потока:

$$F_3 = K_2 \cdot \Phi_M^2 = K_2 K_1^2 \cdot I_P^2 \cdot W_P^2 / \delta = K \{ I_P \cdot W_P / \delta \}^2, \quad (2.4)$$

где  $K_2$ ,  $K_1$  и  $K$  – коэффициенты пропорциональности.

Срабатывание и возврат происходят при равенстве электромагнитной силы притяжения противодействующей силе пружины.

Из последнего выражения для электромагнитной силы следует, что ток срабатывания реле можно регулировать числом витков, размером зазора и натяжением пружины. Электромагнитный принцип используется для выполнения реле постоянного и реле переменного тока.

В реле постоянного тока электромагнитная сила пропорциональна квадрату тока и при неизменной его величине будет иметь постоянное значение.

В реле переменного тока электромагнитная сила изменяется во времени с двойной частотой питающего катушку тока, что вызывает вибрацию якоря. Для устранения вибрации якоря магнитный поток в воздушном зазоре разделяют на два потока с помощью короткозамкнутого витка.

### 2.3. Испытание электромагнитного реле максимального тока типа РТ-40/2

1. Ознакомиться по справочнику с технической характеристикой и схемой внутренних соединений РТ-40/2.

2. Собрать схему для испытания реле (рисунок 2.2).

3. Испытания реле проводятся при различных уставках и схемах соединения секций обмотки. Результаты испытаний и расчетов заносятся в таблицу 2.1.

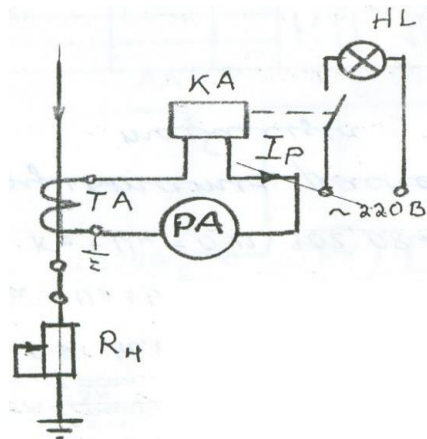


Рисунок 2.2 – Схема испытания электромагнитного реле максимального тока типа РТ-40/2

Таблица 2.1 - Результаты измерений

№ по плану	Наименование	Обозначения	Последовательное соединение				Параллельное соединение			
			0,7	0,8	0,9	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0
1	Уставка на реле	$I_y, A$								
2	Ток срабатывания	$I_{CP}, A$								
3	Ток возврата	$I_{BP}, A$								
4	Коэффициент возврата	$K_B$								

Требуемая величина тока в обмотке реле устанавливается нагрузочным сопротивлением  $R_n$ .

#### 2.4. Испытание электромагнитного реле типа РН53/60Д

1. По справочнику ознакомиться с технической характеристикой и схемой внутренних соединений РН53/60Д.

2. Собрать схему для испытания реле (рисунок 2.3).

Испытания реле проводятся при различных уставках и схемах соединения.

Результаты испытаний и расчетов заносятся в таблицу 2.2.

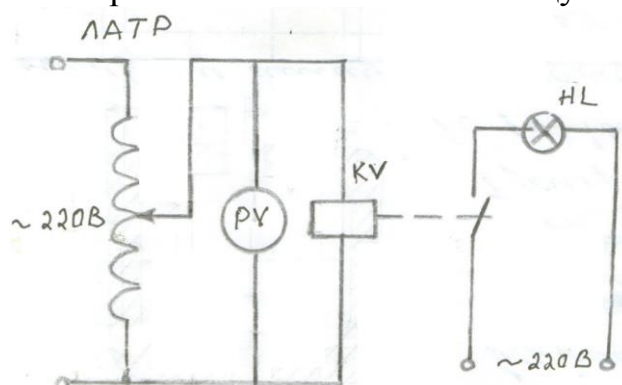


Рисунок 2.3 - Схема испытания электромагнитного реле типа РН53/60Д

Таблица 2.2 - Результаты измерений

№ по плану	Наименование	Обозначение	Зажимы 2-8				Зажимы 2-4			
			18	24	27	30	18	24	27	30
1	Уставка по шкале	$U_y, B$								
2	Напряжение срабатывания	$U_{CP}, B$								
3	Напряжение возврата	$U_{BP}, B$								
4	Коэффициент возврата	$K_B$								

Требуемая величина напряжения, подводимого к обмотке реле, устанавливается автотрансформатором.

## 2.5. Испытание электромагнитного реле времени типа РВ238 УХЛ4 220В

1. По справочнику ознакомиться с технической характеристикой и схемой внутренних соединений реле типа РВ238 (ЭВ238).

2. Собрать схему для испытания реле (рисунок 2.4).

3. Определить минимальное напряжение срабатывания реле. Реле должно четко срабатывать при напряжении равном  $0,7 U_n$ .

4. Проверить шкалу уставок реле времени. Для этого использовать секундомер и установить напряжение на реле, равное номинальному. Результаты опыта занести в таблицу 2.3.

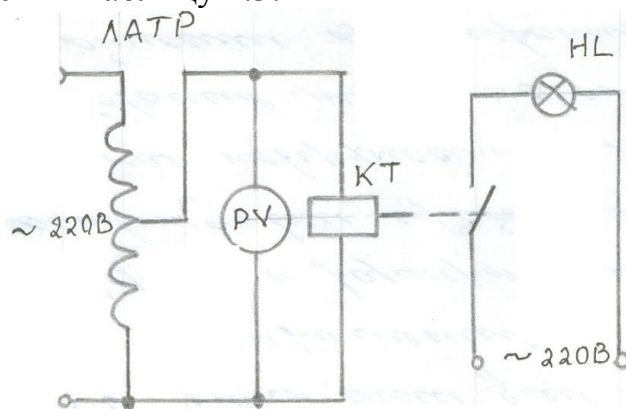


Рисунок 2.4 - Схема испытания электромагнитного реле времени РВ238 УХЛ4

Таблица 2.3 - Результаты измерений

Тип реле	Время уставок и срабатывания, с				
	5	6	7	8	9
Уставка времени по шкале					
Действительное время срабатывания					

## 2.6. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, технические характеристики и схемы внутренних соединений испытуемых реле.

2. Схемы испытаний реле, таблицы замеров и расчетов.

3. Схема двухступенчатой токовой защиты. Назначение каждой ступени.

4. Выводы: преимущества и недостатки примененных реле и токовых защит.

## 2.7. Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы электромагнитных реле.

2. Типы и назначение отдельных реле. Их технические характеристики.

3. Способы регулирования тока срабатывания реле максимального тока.

4. Способы регулирования напряжения срабатывания реле максимального напряжения.

5. Как изменяется уставка времени у реле времени?

6. Назначение промежуточных и указательных реле.

## Лабораторная работа №3. «Испытание индукционного реле тока»

### 3.1. Цель работы

Изучение устройства, характеристик, настройки, принципа действия и испытание реле. Объектом испытания является индукционное реле тока с ограниченно зависимой характеристикой времени срабатывания серии РТ-80. При подготовке к работе необходимо изучить следующие вопросы: принцип действия индукционного реле с короткозамкнутыми витками; устройство, работу и характеристики реле РТ-80; ток срабатывания, ток возврата, коэффициент возврата.

### 3.2. Индукционные измерительные реле

Реле тока серии РТ-80 и РТ-90 являются комбинированными и состоят из двух элементов: индукционного с диском и электромагнитного мгновенного действия (отсечки). Индукционный элемент создает ограниченно зависимую выдержку времени, а отсечка срабатывает при больших кратностях тока в обмотке реле. Оба элемента используют одну общую магнитную систему и предназначены для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередачи при перегрузке и коротких замыканиях.

Индукционный элемент реле (рисунок 3.1) состоит из электромагнита 1 с короткозамкнутыми витками 2 на полюсах. Обмотка 3 электромагнита имеет ответвления для изменения уставок тока срабатывания. Ответвления подведены к гнездам штепсельного мостика и переключаются винтами. Между полюсами электромагнита расположен алюминиевый диск 4, ось которого укреплена на подвижной рамке 5, которая имеет неподвижную ось вращения 6.

При токах в обмотках реле меньше тока срабатывания индукционного элемента рамка 5 оттянута пружиной 7 в крайнее положение, при этом червяк, насаженный на ось диска, не сцеплен с зубчатым сегментом механизма выдержки времени. Диск вращается при токе  $I_P = (0,1 \dots 0,2) I_{CP}$  срабатывания индукционного элемента.

Током срабатывания индукционного элемента называется такой минимальный ток, при котором происходит сцепление червяка с зубчатым сегментом и начинается подъем зубчатого сегмента. Время от момента сцепления червяка с зубчатым сегментом до момента замыкания контактов является временем срабатывания реле – выдержкой времени. Чем больше ток в катушке реле, тем больше частота вращения диска и скорость подъема сегмента и тем меньше выдержка времени реле.

Магнитная система реле РТ-80 выполнена так, что примерно при семикратном токе срабатывания она насыщается. Дальнейшее увеличение тока не приводит к росту магнитного потока, поэтому остаются постоянными вращающий момент, частота вращения диска и выдержка времени. Таким образом, реле РТ-80 имеет ограниченно зависимую характеристику выдержки времени.



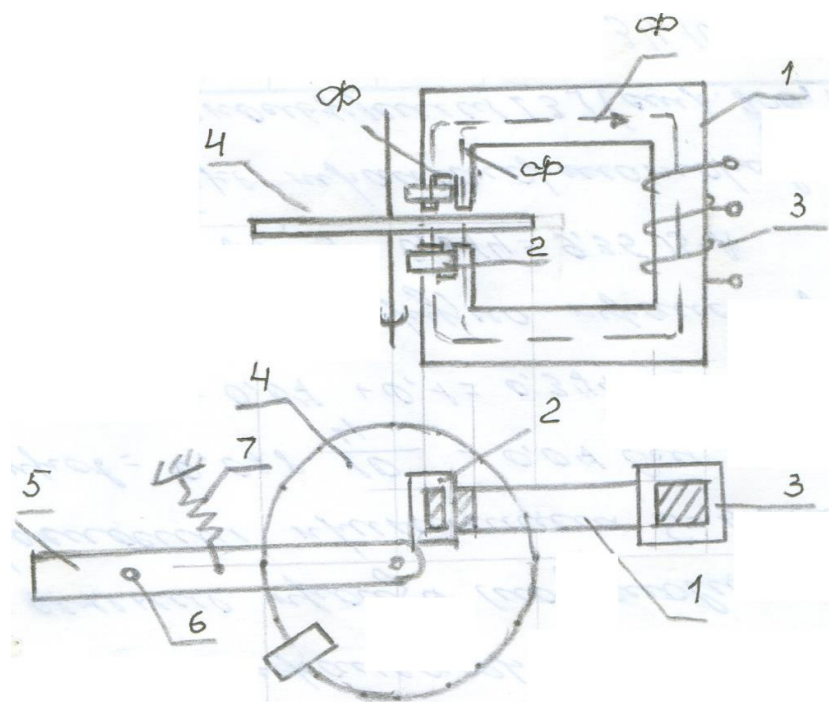


Рисунок 3.1 – Конструкция индукционного измерительные реле тока серии РТ-80

Время срабатывания реле регулируется изменением первоначального положения сегмента.

Ток срабатывания электромагнитного элемента (отсечки) устанавливается винтом путем изменения воздушного зазора. На головке винта имеются метки с цифрами 2-8. Они соответствуют кратности тока срабатывания отсечки.

К достоинствам реле относится то, что с помощью одного реле можно выполнить быстродействующую защиту от близких КЗ и максимальную токовую защиту от перегрузки и дальних КЗ. Недостатком реле является его сложность, а также значительная потребляемая мощность при срабатывании.

### 3.3. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с конструкцией реле. Обратит внимание на магнитную и контактную систему реле, на расположение выводов катушек и контактов, на способы и пределы регулирования уставок индукционного и электромагнитного элементов реле. Записать паспортные данные индукционных реле, установленных на стенде (тип реле, номинальный ток, пределы регулирования тока и времени срабатывания индукционного элемента, пределы регулирования тока срабатывания электромагнитного элемента, тип и количество контактов реле).

2. Собрать схему для испытания реле (рисунок 3.2).



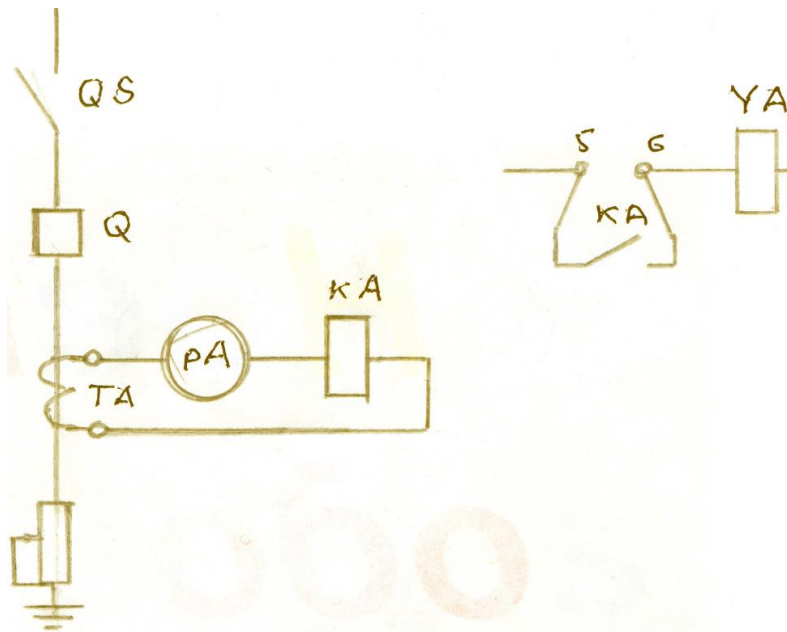


Рисунок 3.2 - Схема для испытания реле тока РТ – 81/2

3. Снять зависимость времени срабатывания  $T_{CP}$  индукционного элемента реле от тока в реле  $I_P$ , для двух значений тока уставки  $I_{уст}$ , при одной уставке по времени  $T_{уст}$ . Результаты опыта занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 Характеристики срабатывания реле

РТ-81/2	$T_{уст}=2$ с	$I_{уст}=2A$	$I_P, A$	3/1,5	4/2	6/3	8/4
			$T_{CP}$				
		$I_{уст}=3A$	$I_P, A$	4,5/1,5	6/2	9/3	10/3,3
			$T_{CP}$				

Построить зависимость  $T_{CP}=f(I_P)$ .

4. Снять зависимость  $T_{CP}=f(I_P)$  для двух значений уставки времени  $T_{уст}$ ,

5. То же при одной уставке по току  $I_{уст}$ . Результаты опыта занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 Характеристики срабатывания реле

РТ-81/2	$I_{уст}=2,5 A$	$T_{уст}=2$ с	$I_P$	3,5	6,0	8,0	10,0
			$K_P$	1,4	2,4	3,2	4,0
			$T_{CP}$				
		$T_{уст}=4$ с	$I_P$	3,5	6,0	8,0	10,0
			$K_P$	1,4	2,4	3,2	4,0
			$T_{CP}$				

### 3.4. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, упрощенное описание конструкции индукционного элемента реле.
2. Схема испытания реле, таблицы замеров опытов, характеристики  $T_{CP}=f(I)$  при различных токовых уставках и уставках времени.
3. Выводы, объясняющие вид характеристик  $T_{CP}=f(I_p)$ , их смещение относительно друг друга при изменении уставок реле ( $T_{уст}$ ,  $I_{уст}$ ), срабатывание электромагнитного элемента, пригодность реле на основании оценки величины коэффициента возврата.

### 3.5. Контрольные вопросы

1. Принцип действия и конструкция реле РТ-80.
2. Как регулируется ток и время срабатывания индукционного элемента реле, ток срабатывания электромагнитного элемента?
3. Назначение короткозамкнутых витков и постоянного магнита. За счет чего происходит вращение диска реле?
4. Объяснить характеристику  $T_{CP}=f(I_p)$  индукционного элемента. Чему равно  $T_{CP}$  реле на независимой части характеристики?
5. Когда и почему начинает работать электромагнитный элемент реле?

## **Лабораторная работа №4. «Испытание реле направления мощности»**

### 4.1. Цель работы

Ознакомиться с конструкцией, принципом работы и методами проверок основных характеристик реле направления мощности.

Реле направления мощности применяется в различных установках релейной защиты для определения знака мощности при коротких замыканиях. Они могут выполняться на индукционном принципе или с использованием полупроводниковых элементов. Реле направления мощности в зависимости от назначения могут иметь одну или две пары контактов (реле одностороннего или двухстороннего действия).

### 4.2. Устройство индукционного реле типа РБМ-171 и принцип его работы

Реле направления мощности типа РБМ-171 является измерительным органом с двумя воздействующими величинами: током и напряжением (рисунок 4.1).

Реле состоит из четырехполюсной магнитной системы (1), неподвижного цилиндрического сердечника (2). Подвижным элементом является алюминиевый полый цилиндрический ротор (3), выполненный в форме стакана, боковые стенки которого расположены в зазоре между стальным сердечником и полюсами магнитной системы. Ротор укреплен на оси, связанной с

подвижным контактом (4). Начальное положение ротора зафиксировано пружиной.

Реле имеет две обмотки – обмотку тока (5) и обмотку напряжения (6). Обмотка тока расположена на двух противоположных полюсах, а обмотка напряжения – на двух других полюсах или непосредственно на магнитоприводе.

При подключении обмотки напряжения к трансформатору напряжения на напряжение  $U_p$  по обмотке будет проходить ток  $I_H$ , а в магнитоприводе возникнет магнитный поток  $\Phi_H$ , отстающий от напряжения на внутренний угол  $\gamma_H$ .

При подключении обмотки тока к трансформатору тока по обмотке будет проходить ток  $I_p$ , а в магнитоприводе возникает магнитный поток  $\Phi_T$ , отстающий от вектора  $U_p$  на угол  $\varphi_p$ .

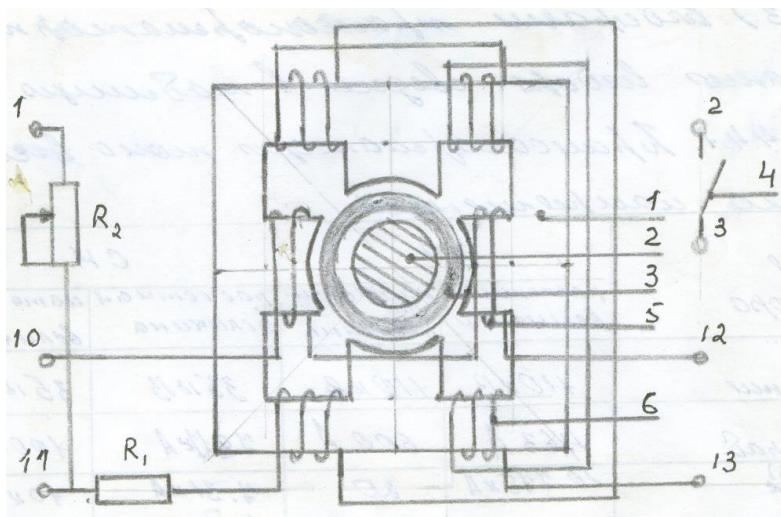


Рисунок 4.1 - Устройство индукционного реле типа RBM-171

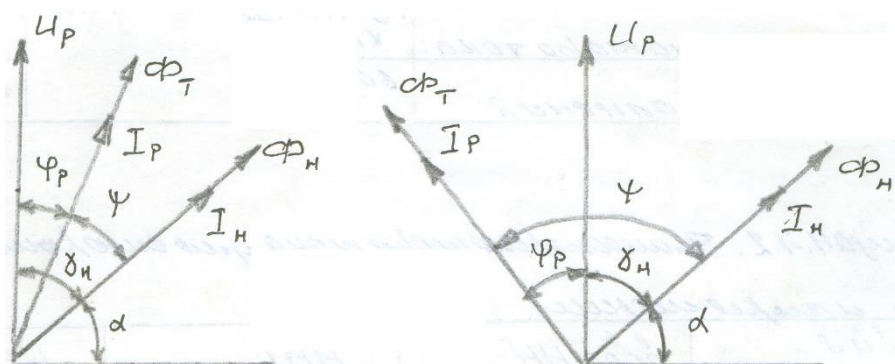


Рисунок 4.2 – Векторные диаграммы

Оба потока  $\Phi_H$  и  $\Phi_T$  индуктируют в алюминиевом цилиндре электрические токи и, взаимодействуя с ними, создают вращающий момент:

$$M_{вр} = KU_p \cdot I_p \cdot \sin \varphi. \quad (4.1)$$

По векторной диаграмме  $\varphi = [\pi/2 - (\varphi_p + \alpha)]$ .

$$\sin\varphi = \sin[\pi/2 - (\varphi_p + \alpha)] = \cos(\varphi_p + \alpha); \quad (4.2)$$

$$M_{BR} = KU_p I_p \cdot \cos(\varphi_p + \alpha). \quad (4.3)$$

При  $\cos(\varphi_p + \alpha) > 0$  момент положительный,  
при  $\cos(\varphi_p + \alpha) < 0$  - отрицательный.

Максимальное значение положительного момента наступает при  $\cos(\varphi_p + \alpha) = 1$ , т. е. при  $\varphi_p = -\alpha$ .

Угол  $\varphi_p$ , при котором вращающий момент максимален, называется углом максимальной чувствительности  $\varphi_{p \max}$ , и он равен и противоположен по знаку углу  $\alpha$ .

Угол  $\varphi_p$ , при котором вращающий момент равен нулю, равен  $\gamma_H$ .

Работа реле направления мощности определяется его характеристиками: угловой, представляющей собой зависимость минимального тока срабатывания от угла  $\varphi_p$ , т. е.  $I_{CP} = f(\varphi_p)$ .

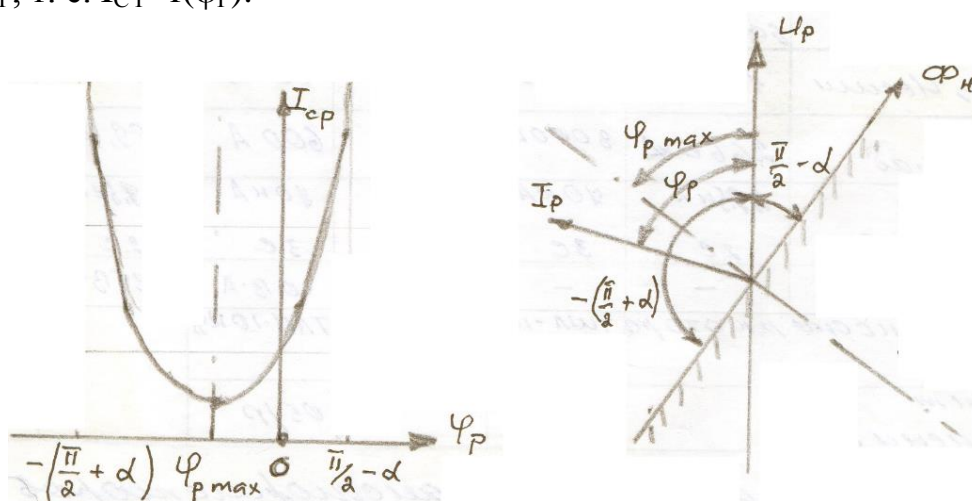


Рисунок 4.3 - Векторная диаграмма реле в полярной системе координат

#### 4.3. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством проверяемого реле мощности, записать паспортные данные.

2. Собрать схему проверки реле направления мощности РБМ-171 (рисунок 4.4).

3. Установить в цепи обмотки напряжения  $U_p = U_{p \text{ ном}}$  и, изменяя угол  $\varphi_p$  фазорегулятором, определить зону срабатывания, зону заклинивания, линию максимальных и нулевых моментов и угол максимальной чувствительности реле. Результаты записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты измерений

$\varphi_p$	$\varphi_{pH}$	$\varphi_{p2}$	$\varphi_{p3 \max}$	$\varphi_{p4}$	$\varphi_{p5}$
$\varphi_p$ , град.					
Минимальный ток срабатывания					

4. Построить угловую характеристику в прямоугольных и полярных координатах.

5. Собрать схему направленной токовой защиты (рисунок 4.5). Изменяя поочередно полярность обмоток тока и напряжения, определить, в каких случаях реле направления мощности замыкает свои контакты и схема защиты срабатывает при КЗ.

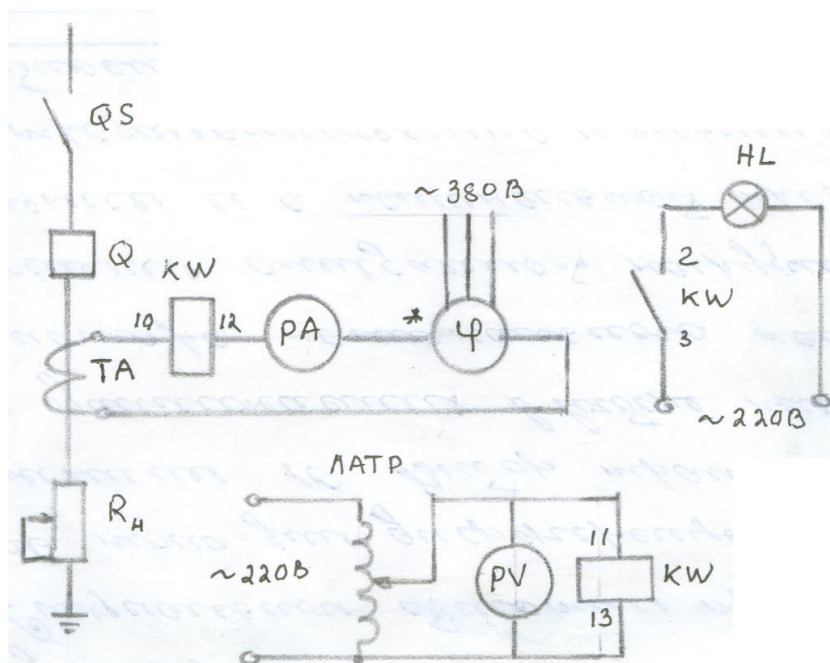


Рисунок 4.4 - Схема направленной токовой защиты

#### 4.4. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, схема внутренних соединений, паспортные данные реле.
2. Схемы испытания реле, таблицы замеров результатов опытов.
3. Векторная диаграмма реле с указанием зоны срабатывания, зоны заклинивания и угла максимальной чувствительности.

#### 4.5. Контрольные вопросы

1. Принцип действия и конструкция реле типа РБМ-171.
2. Что такое угол максимальной чувствительности реле?
3. В каких электрических сетях применяется направленная токовая защита?
4. Угловая характеристика реле в прямоугольных координатах.
5. Угловая характеристика реле в полярных координатах.
6. Зона срабатывания и зона заклинивания.
7. Отличие токовой направленной от токовой ненаправленной защиты.
8. Углы, характеризующие векторные диаграммы.

## Лабораторная работа № 5. «Исследование токовых направленных защит ЛЭП»

### 5.1 Токовые направленные защиты

Развитие электрических систем и повышение требований к бесперебойному питанию потребителей обусловили параллельную работу электрических станций и кольцевое выполнение электрических сетей. Максимальные токовые защиты в таких сетях не обеспечивают селективного отключения повреждений и поэтому дополняются измерительными органами направления мощности (KW). Такая защита называется токовой направленной. Она реагирует не только на абсолютное значение тока в защищаемой зоне, но и на его фазу относительно напряжения, т.е. действует в зависимости от направления мощности при коротком замыкании.

Токовые направленные защиты используются для защиты одиночных линий с двухсторонним питанием и кольцевых линий с одним источником питания. Защита может подействовать на отключение выключателя только в том случае, если сработает не только токовое реле, но и реле направления мощности, которое включается так, что действует на замыкание контактов только при направлении мощности короткого замыкания от шин подстанции в линию.

Ток срабатывания пусковых токовых реле максимальной направленной защиты выбирается так же, как и для максимальной токовой защиты.

Время срабатывания защит выбирается по встречно-ступенчатому принципу.

### 5.2 Схема включения реле направления мощности

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) для линий напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью должны быть предусмотрены защиты от многофазных коротких замыканий и от однофазных замыканий на землю.

Защиту от многофазных коротких замыканий выполняют в двухфазном исполнении и включают в одни и те же фазы (А и С) по всей сети данного напряжения.

На одиночных линиях с двухсторонним питанием от многофазных коротких замыканий устанавливается, как правило, двухступенчатая направленная токовая защита, первая ступень которой выполнена в виде токовой отсечки без выдержки времени для защиты от близких и наиболее разрушительных коротких замыканий, а третья - в виде максимальной токовой защиты с независимой или с зависимой характеристикой выдержки времени для защиты от дальних коротких замыканий и перегрузок.

Защита от однофазных замыканий на землю обычно выполняется с использованием трансформаторов тока нулевой последовательности.

В качестве одного из вариантов схем защиты одиночной линии с двухсторонним питанием может быть принята схема защиты, изображенная на рисунке 5.1.

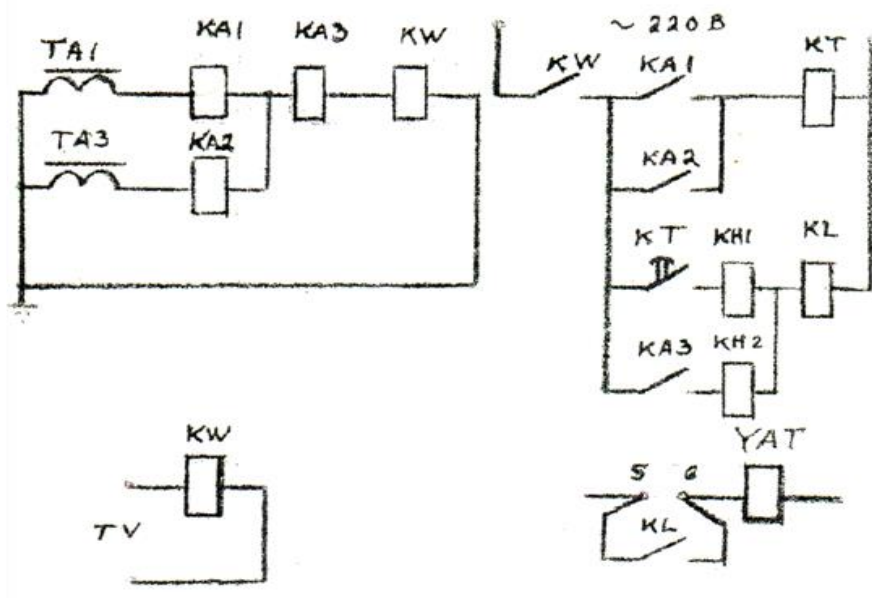


Рисунок 5.1 – Схема токовой направленной защиты

Максимальная токовая защита выполнена на двух реле максимального тока КА1 и КА2 и реле времени КТ.

Токовая отсечка выполнена на реле КА3.

Направленность токовых защит обеспечена реле направления мощности KW.

КН1 и КН2 - указательные реле.

ТА1 и ТА3 – измерительные трансформаторы тока;

TV- измерительный трансформатор напряжения;

KL – реле промежуточное;

YAT – электромагнит отключающий.

### 5.3. Селективность срабатывания токовых направленных защит

На схеме рисунка 5.2 указаны направления токов при коротком замыкании в точке К1 (сверху) и точке К2 (снизу). Реле направления мощности срабатывает при направлении тока короткого замыкания от шин подстанции в линию.

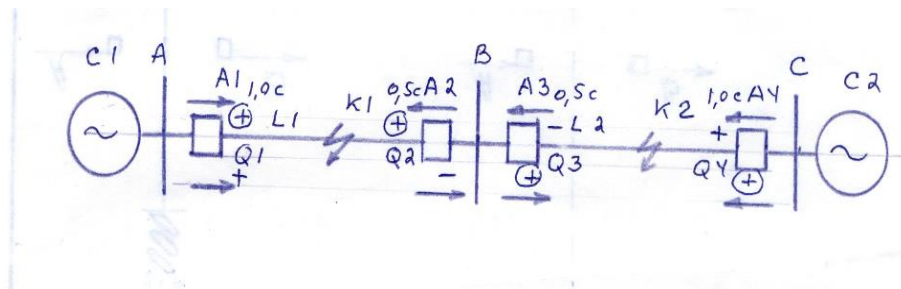


Рисунок 5.2



При коротком замыкании в точке К1 начинают работать защиты в точках А1, А2 и А4. Первой срабатывает защита А2 ( $t_{cp}=0,5$  с) и отделяет поврежденный участок линии от источника С2. Защита А4 ( $t_{cp}=1,0$  с) возвращается в исходное положение, не сработав. Срабатывает защита А1 ( $t_{cp}=1,0$  с) и отделяет поврежденную часть линии от источника питания С1.

При коротком замыкании в точке К2 начинают работать защиты в точках А1, А3 и А4. Первой срабатывает защита А3 ( $t_{cp}=0,5$  с), которая отделяет поврежденный участок линии от источника С1. Защита А1, не сработав, возвращается в исходное положение. Срабатывает защита А4 ( $t_{cp}=1,0$  с) и отделяет поврежденную часть линии от источника С2. И в первом, и во втором случае питание потребителей подстанций А, В и С не прекращается, так как шины подстанций отделяются от поврежденных участков силовыми выключателями. В первом случае – Q1 и Q2, а во втором – Q3 и Q4.

#### 5.4. Определение параметров токовых защит для А1

1. Токи срабатывания защиты и реле максимальной токовой защиты.

$$I_{сз}^{III} = K_{отс}^{III} * K_{сзп} * I_{раб\ утяж} / K_{в}; \quad (5.1)$$

$$I_{ср}^{III} = K_{сх} * I_{сз} / K_{I}, \quad (5.2)$$

где  $K_{отс}^{III}$  - коэффициент надежности отстройки;

$K_{в}$  - коэффициент возврата реле;

$K_{сзп}$  - коэффициент самозапуска нагрузки;

$K_{сх}$  - коэффициент схемы;

$K_{I}$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

2. Уставку по времени в точке А1 принять равной 1,0 с.

3. Чувствительность максимальной токовой защиты.

$$K_{ч}^{III} = \frac{I_{К1}^{(2)}}{I_{сз}^{III}} \geq 1,5, \quad (5.3)$$

где  $I_{К1}^{(2)}$  - минимальное значение тока двухфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка,

$$I_{К1}^{(2)} = 0,865 I_{К1}^{(3)}, \quad (5.4)$$

$I_{К1}^{(3)}$  - максимальное значение тока трехфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка.

4. Токи срабатывания защиты и токи срабатывания реле для токовой отсечки без выдержки времени.

$$I_{сз}^I = K_{отс}^I * I_{К1}^{(3)}; \quad (5.5)$$

$$I_{ср}^I = \frac{K_{сх}}{K_{I}} * I_{сз}^I. \quad (5.6)$$

Пример расчета уставок токовых реле.

Дано:  $I_{раб.ут} = 120$  А;  $K_{отс}^{III} = 1,1$ ;  $K_{сзп} = 1,5$ ;  $K_{в} = 0,8$ ;  $K_{сх} = 1$ ;



$$K_I = 200/5; K_{omc}^I = 1,2; I_{K1}^{(3)} = 700 A.$$

Решение:

$$K_{omc}^{III} = 1,1 - 1,2; K_B = 0,8;$$

$$I_{c3}^{III} = \frac{K_{omc}^{III} \cdot K_{c3n}}{K_6} \times I_{раб.ум} = \frac{1,1 \cdot 1,5}{0,8} \times 120 = 247,5 A.$$

$$I_{cp}^{III} = \frac{K_{cx}}{K_I} \times I_{c3}^{III} = \frac{1}{200/5} \times 247,5 = 6,2 A.$$

$$K_{\check{c}}^{III} = \frac{I_{K1}^{(2)}}{I_{c3}^{III}} = \frac{605,5}{247,5} = 2,45 \geq 1,5.$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,865 \times I_{K1}^{(3)} = 0,865 \times 700 = 605,5 A.$$

$$K_{omc}^I = 1,2 - 1,3;$$

$$I_{c3}^I = K_{omc}^I \times I_{K1}^{(3)} = 1,2 \times 700 = 840 A.$$

$$I_{cp}^I = \frac{K_{cx}}{K_I} \times I_{c3}^I = \frac{1}{200/5} \times 840 = 21 A.$$

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета

№ варианта	$I_{раб.ум}, A$	$K_{сзп.}$	$K_I$	$I_{K1}^{(3)}, A$
1	100	1,8	135/1	800
2	125	1,7	180/1	800
3	150	1,6	180/1	800
4	175	1,5	270/1	1000
5	200	1,4	270/1	1000
6	225	1,3	400/1	1500
7	250	1,2	400/1	1500
8	275	1,3	400/1	1500
9	300	1,4	400/1	1500
10	325	1,5	500/1	2500
11	350	1,6	500/1	2500
12	375	1,7	500/1	3000

### 5.5. Порядок работы

1. Для одного варианта (по указанию преподавателя) произвести расчет параметров реле. Исходные данные для расчета взять из таблицы 5.1.
2. Собрать схему для выбранной защиты.
3. Ознакомиться с техническими характеристиками используемых реле.
4. Выставить уставки по току и времени, согласно выполненным расчетам.
5. После проверки схемы преподавателем подключить ее к источнику питания С1, проверить правильность работы защиты при всех режимах.
6. По окончании исследования схему разобрать.

## 5.6. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения.
2. Расчет параметров реле.
3. Схема направленной токовой защиты одиночной линии с двухсторонним питанием.
4. Проверка правильности включения реле направления мощности.

## 5.7. Контрольные вопросы

1. Какие виды защит используются в сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью?
2. Какие элементы схемы используются для максимальной направленной токовой защиты? Их основные характеристики.
3. Какие элементы схемы используются для токовой отсечки?
4. Как определяются токовые и временные уставки реле?
5. Как обеспечивается селективность максимальных токовых защит?
6. Как определяется чувствительность максимальной токовой защиты?

## **Лабораторная работа №6. «Исследование защит силового трансформатора»**

### 6.1. Виды повреждений и ненормальных режимов

Основными видами повреждений трансформаторов являются многофазные и однофазные короткие замыкания в обмотках и на выводах, а также “пожар стали” магнитопровода. Однофазные повреждения бывают двух видов: замыкание на землю и между витками обмотки (витковые замыкания). При витковых замыканиях в замкнувшихся витках возникает значительный ток, разрушающий изоляцию обмотки и магнитопровода трансформатора. Опасным внутренним повреждением является “пожар стали” магнитопровода, который возникает при нарушении изоляции между листами магнитопровода, что ведет к увеличению потерь на перемагничивание и вихревые токи. Потери вызывают повышенный, местный нагрев стали, ведущий к дальнейшему разрушению изоляции.

Ненормальные режимы работы трансформаторов обусловлены внешними короткими замыканиями и перегрузками. К ненормальным режимам относится также недопустимое понижение уровня масла, которое может произойти, например, вследствие повреждения бака трансформатора.

### 6.2. Виды защит силового трансформатора

На трансформаторах небольшой и средней мощности (менее 6,3 МВА) для защиты от многофазных коротких замыканий в его обмотках, на выводах и в соединениях с выключателями предусматриваются токовые защиты. Они

содержат обычно две ступени: первую – токовую отсечку без выдержки времени и третью – максимальную токовую защиту. На трансформаторах мощностью 6,3 МВА и более обязательной является продольная дифференциальная защита.

На линиях с односторонним питанием, работающих в блоке с трансформатором, для защиты используется токовая отсечка без выдержки времени с блокировкой по напряжению.

При витковых замыканиях в обмотках трансформатора и “пожаре стали” магнитопровода ток со стороны питания изменяется незначительно, а напряжение на выводах трансформатора практически не изменяется, и токовые защиты на эти повреждения не реагируют. Поэтому возникает необходимость в применении специальной защиты. Для маслонаполненных трансформаторов такой защитой является газовая защита, основанная на использовании явлений газообразования. Образование газа является следствием разложения масла и других изолирующих материалов под действием электрической дуги при витковых замыканиях или недопустимого нагрева при “пожаре стали”. Электрическая дуга возникает и при многофазных коротких замыканиях в обмотках. Поэтому газовая защита является универсальной защитой от всех внутренних повреждений трансформатора.

Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения. Это дает возможность выполнять газовую защиту, способную различать степень повреждения и в зависимости от этого действовать на сигнал или отключение.

Основным элементом газовой защиты является газовое реле KSG (рисунок 6.1), устанавливаемое в маслопроводе между баком трансформатора и расширителем.

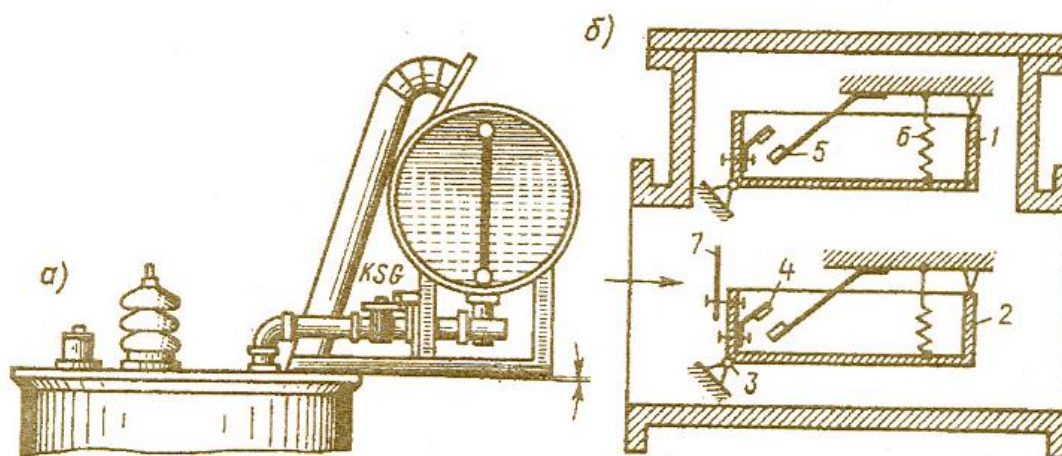


Рисунок 6.1 - Газовое реле KSG

Газовая защита обязательна для трансформаторов мощностью 6,3 МВА и более. Допускается устанавливать газовую защиту и на трансформаторах меньшей мощности.

На внутрицеховых подстанциях газовую защиту следует устанавливать на понижающих трансформаторах практически любой мощности.

В качестве защиты от внешних коротких замыканий на трансформаторах мощностью 1МВА и более должна быть предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению или без него.

Защита от однофазных замыканий на землю должна быть выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности (ТНП).

На трансформаторах 0,4 МВА и более в зависимости от вероятности и значения возможной перегрузки следует предусматривать максимальную токовую защиту с действием на сигнал. На подстанциях без постоянного дежурства допускается действие защиты на автоматическую разгрузку или отключение.

При недопустимом понижении уровня масла срабатывает газовая защита.

### 6.3. Защита линии с односторонним питанием, работающей в блоке с понижающим трансформатором

Для защиты трансформатора от внутренних повреждений применяется газовая защита, а для защиты линии и трансформатора от многофазных коротких замыканий – токовая отсечка без выдержки времени. Простая токовая отсечка не позволяет произвести настройку защиты от повреждений за трансформатором. Для расширения зоны защиты, включения в эту зону выводов трансформатора и его соединений с выключателями и повышения чувствительности в схему релейной защиты включена блокировка по напряжению.

Для исследования защиты линии с односторонним питанием, работающей в блоке с понижающим трансформатором, предлагается схема (для одной фазы), рисунок 6.2, где токовая отсечка выполнена токовым реле РТ-40, блокировка по напряжению реле минимального напряжения, защита от внутренних повреждений трансформатора – газовым реле.

Ток срабатывания токовой отсечки  $I_{сз}^I$  определяют, исходя из требований достаточной чувствительности при металлическом двухфазном коротком замыкании в конце защищаемой линии  $K_2$  и при минимальном режиме работы энергосистемы (рисунок 6.2).

$$I_{сз}^I = I_{к2\min}^{(2)} / K_{чI}, \quad (6.1)$$

где  $I_{к2\min}^{(2)}$  - минимальное значение тока КЗ в конце защищаемой линии;  
 $K_{чI} = 1,5$  коэффициент чувствительности по току.

$$I_{к2\min}^{(2)} = \frac{U}{2(X_{c\min} + X_L)}, \quad (6.2)$$

где  $U$  – линейное напряжение;

$X_{c\min}$  – сопротивление системы при минимальном режиме работы;

$X_L$  – сопротивление защищаемой линии.

Для предотвращения неправильного действия защиты при нарушении цепей напряжения ток  $I_{сз}^I$  должен быть отстроен от максимального рабочего тока по условию:

$$I_{сз}^I = K_{отс}^I \cdot I_{раб.утияж} / K_{в} , \quad (6.3)$$

где  $I_{раб.утияж}$  – максимальное значение рабочего тока;

$K_{отс}^I$  – коэффициент отстройки;  $K_{отс}^I = 1,1-1,2$ ;

$K_{в}$  – коэффициент возврата реле;  $K_{в} = 0,8$ .

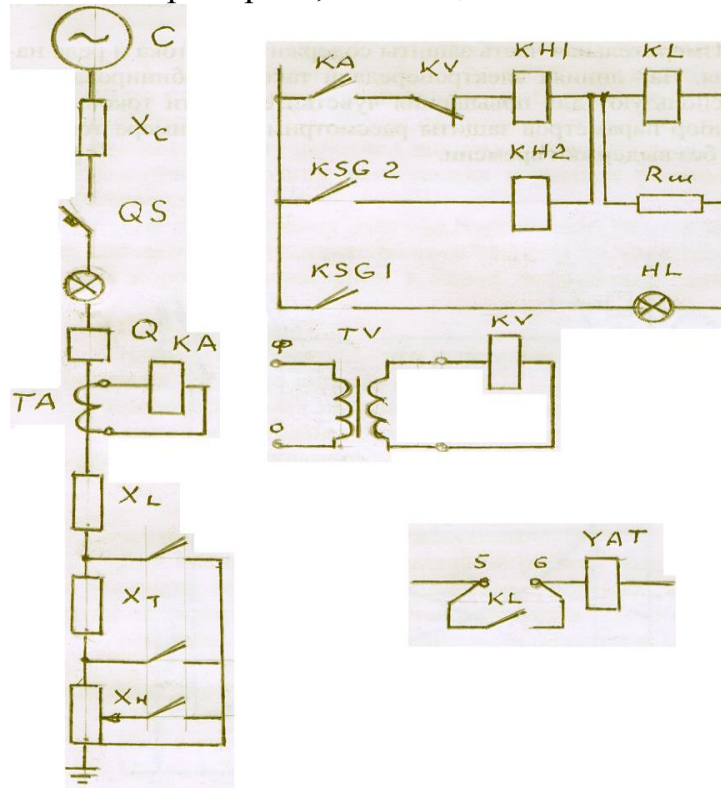


Рисунок 6.2 - Схема защиты линии с односторонним питанием, работающей в блоке с понижающим трансформатором

Ток срабатывания защиты  $I_{сз}^I$  выбирают по большему из полученных значений.

Для исключения неселективной работы защиты в целом при внешних коротких замыканиях напряжение срабатывания защиты выбирают меньше остаточного напряжения  $U_{ост}$  в месте включения защиты (на шинах А) при трехфазном коротком замыкании за трансформатором (К1). Предполагают, что при этом по защищаемой линии проходит ток  $I_{к1} = I_{сз}^I$ .

$$U_{сз}^I \langle U_{ост}^{(3)} = \sqrt{3} \times I_{сз}^I (X_L + X_T) , \quad (6.4)$$

где  $X_T$  – сопротивление защищаемого трансформатора.

С учетом коэффициента отстройки  $K_{отс} = 1,2$ .

$$U_{сз}^I = \frac{U_{ост}^{(3)}}{K_{отс}} . \quad (6.5)$$

Реле напряжения не должны срабатывать в нормальном режиме, поэтому вторым условием выбора  $U_{сз}^I$  является отстройка от минимального рабочего напряжения:

$$U_{сз}^I = \frac{U_{раб.мин}}{K_{отс}} \approx 0,7 \cdot U_{ном} . \quad (6.6)$$

При коротком замыкании в конце защищаемой линии (К2) защита должна обладать достаточной чувствительностью по напряжению.

$$K_{\text{чи}} = \frac{U_{\text{сз}}^I}{U_{\text{ост. max 2}}^{(3)}}$$

где  $K_{\text{чи}}=1,4 - 1,7$ ;

$U_{\text{ост. max 2}}^{(3)}$  - максимальное значение остаточного напряжения при трехфазном КЗ (точка К2).

$$U_{\text{ост. max 2}}^{(3)} = \sqrt{3} \times I_{\text{К2 max}}^{(3)} \times X_L ;$$

$$I_{\text{К2 max}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3(X_{\text{с max}} + X_L)}} ,$$

где  $I_{\text{К2 max}}^{(3)}$  - максимальное значение трехфазного тока короткого замыкания (точка К2);

$X_{\text{с max}}$  – сопротивление системы при максимальном режиме работы.

#### 6.4. Порядок работы

1. Произвести расчет уставок реле. Исходные данные для расчета даны в таблице 6.1 (расчетная схема и схема замещения – рисунок 6.3).
2. Собрать схему защиты (рисунок 6.2).
3. Ознакомиться с техническими характеристиками используемых реле, выставить уставки по току и напряжению, согласно выполненным расчетам.
4. Подключить линию и трансформатор к источнику питания, проверить правильность работы защиты.
5. Если схема работает нормально, работа считается законченной.
6. По окончании работы схему разобрать.

Таблица 6.1 - Исходные данные для расчета

№ варианта	$I_{\text{раб max}}$ , А	$X_{\text{с min}}$ , Ом	$X_{\text{с max}}$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_T$ , Ом	$K_{\text{чи}}$
1	3,2	18,0	8,0	7,0	29,0	1,4
2	3,5	17,6	7,6	6,3	28,0	1,5
3	3,8	16,8	7,0	5,5	25,0	1,5
4	4,4	15,6	6,0	3,5	19,5	1,4
5	3,5	17,3	7,3	6,7	27,0	1,4
6	3,8	16,6	7,0	5,0	24,0	1,5
7	4,0	16,3	7,0	4,5	22,5	1,5
8	4,6	15,0	4,6	3,0	18,0	1,45
9	3,6	17,0	7,0	6,0	26,0	1,4
10	4,2	16,0	7,0	4,0	21,0	1,5
11	4,9	14,5	4,5	2,5	17,0	1,5
12	5,2	14,0	3,8	2,0	15,0	1,5

## 6.5. Пример расчета

Дано: Напряжение системы  $U = 380$  В.

Ток рабочий максимальный (утяжеленный):  $I_{\text{раб. макс}} = 4$  А.

Сопротивление энергосистемы при минимальном режиме работы:

$$X_{c \text{ min}} = 12,6 \text{ Ома.}$$

Сопротивление энергосистемы при максимальном режиме работы:

$$X_{c \text{ max}} = 9,3 \text{ Ома.}$$

Сопротивление линии:  $X_L = 8,9$  Ома.

Сопротивление трансформатора:  $X_T = 21,2$  Ома.

Коэффициент отстройки токовой отсечки:  $K_{\text{отс}}^I = 1,1 - 1,2$ .

Коэффициент отстройки минимального напряжения:  $K_{\text{отс}}^U = 1,2$ .

Коэффициент возврата реле тока:  $K_{\text{в}} = 0,8$ .

Коэффициент чувствительности токовой отсечки:  $K_{\text{ч}}^I = 1,5$ .

Коэффициент чувствительности минимального напряжения:  $K_{\text{ч}}^U = 1,4 - 1,5$ .

Расчет уставок реле.

1. Определение уставок реле тока

а) по условию достаточной чувствительности

$$I_{K \text{ min} 2}^{(2)} = \frac{U}{2(X_{c \text{ min}} + X_L)} = \frac{380}{2(12,6 + 8,9)} = 8,83 \text{ А.}$$

$$I_{\text{сз}}^I = I_{K \text{ min} 2}^{(2)} / K_{\text{ч}}^I = 8,83 / 1,5 = 5,9 \text{ А.}$$

б) по условию отстройки от рабочего максимального тока

$$I_{\text{сз}}^I = K_{\text{отс}} \times I_{\text{раб. утяж}} / K_{\text{в}} = 1,1 \times 4 / 0,8 = 5,5 \text{ А.}$$

Из двух расчетных значений берем большее  $5,9 \rightarrow 6,0$  А.

2. Определение уставок реле напряжения

а) по условию  $U_{\text{сз}} \langle U_{\text{отс max}}^{(3)}$ .

$$U_{\text{отс max}}^{(3)} = \sqrt{3} \times I_{\text{сз}}^I (X_L + X_T) = \sqrt{3} \times 6(8,9 + 21,2) = 313 \text{ В.}$$

С учетом коэффициента отстройки

$$U_{\text{сз}} = \frac{U_{\text{отс max}}^{(3)}}{K_{\text{отс}}^U} = \frac{313}{1,2} = 260 \text{ В.}$$

б) по условию отстройки от минимального рабочего напряжения

$$U_{\text{сз}} = 0,7 \cdot U_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

Принимаем  $U_{\text{сз}} = 260$  В.

в) Определяем чувствительность защиты по напряжению

$$K_{\text{ч}}^U = \frac{U_{\text{сз}}}{U_{\text{отс max} 2}^{(3)}} = \frac{260}{186} = 1,4.$$

$$U_{\text{отс max} 2}^{(3)} = \sqrt{3} \times I_{K 2 \text{ max}}^{(3)} \times X_L = \sqrt{3} \times 12,06 \times 8,9 = 186 \text{ В.}$$

$$I_{K 2 \text{ max}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3}(X_{c \text{ max}} + X_L)} = \frac{380}{\sqrt{3}(9,3 + 8,9)} = 12,06 \text{ А.}$$

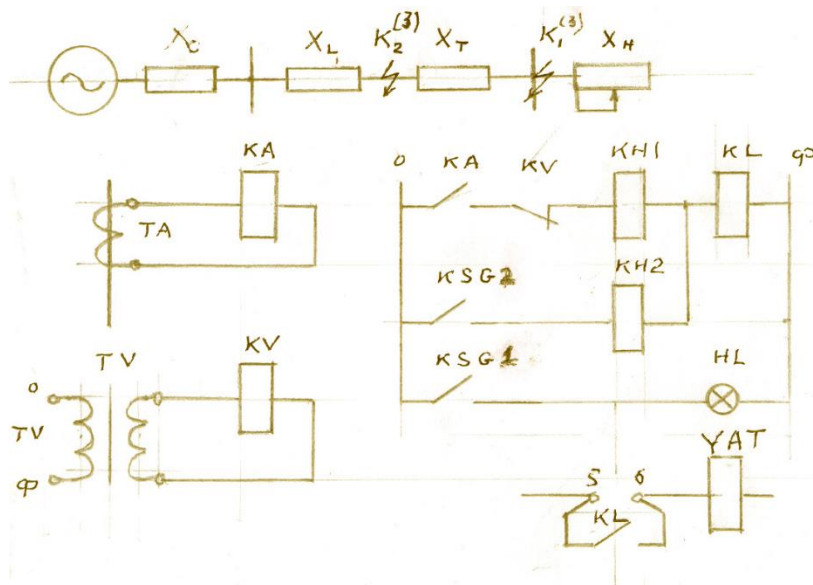


Рисунок 6.3 - Схема защиты блока линия - трансформатор

## 6.6. Содержание отчета

1. Основные неисправности силовых трансформаторов.
2. Схема защиты блока линия - трансформатор.
3. Расчет уставок реле.

## 6.7. Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды повреждений и ненормальных режимов работы силовых трансформаторов.
2. От каких повреждений защищает газовая защита? Принцип работы газовой защиты.
3. Каково назначение токовой отсечки без выдержки времени?
4. Какую роль играет в схеме защиты реле минимального напряжения?
5. Каким образом выставляются уставки реле?

## Лабораторная работа №7. «Регулирование напряжения трансформатора»

В системах электроснабжения большое внимание уделяется регулированию напряжения на шинах потребителей, так как отклонение напряжения от нормального значения в сторону как повышения, так и понижения приводит к ухудшению условий работы, снижению производительности механизмов, сокращению срока службы электрооборудования, браку продукции.

Наиболее эффективным и наиболее распространенным способом регулирования напряжения является способ, при котором изменяется коэффициент трансформации силового трансформатора:

$$n_T = W_1 / W_2 = U_1 / U_{20}, \quad (7.1)$$

где  $n_T$  - коэффициент трансформации силового трансформатора;



$W_1$  - число витков первичной обмотки трансформатора;

$W_2$  - число витков вторичной обмотки трансформатора;

$U_1$  - напряжение первичной обмотки;

$U_{20}$  - напряжение вторичной обмотки при холостом ходе трансформатора.

$$U_2 = U_c - dU, \quad (7.2)$$

$$dU = I_1 * Z, \quad (7.3)$$

где  $Z$  - полное сопротивление питающей линии и трансформатора;

$U_c$  - напряжение системы;

$dU$  - падение напряжения в линии и трансформаторе;

$U_2$  - напряжение у потребителя;

$I_1$  - ток, проходящий по питающей линии.

7.1. Цель работы. Изучить назначение, принципы и способы регулирования напряжения трансформатора, выяснить причины, вызывающие падение напряжения после трансформатора.

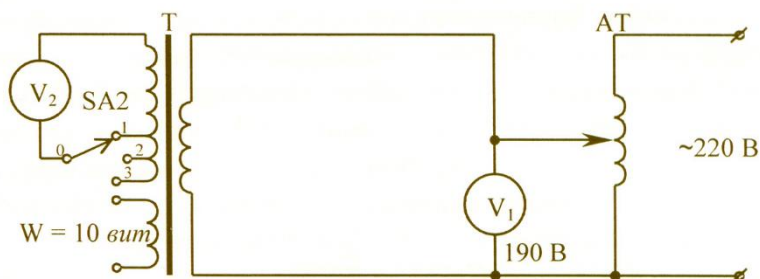


Рисунок 7.1. Определение числа витков обмоток трансформатора

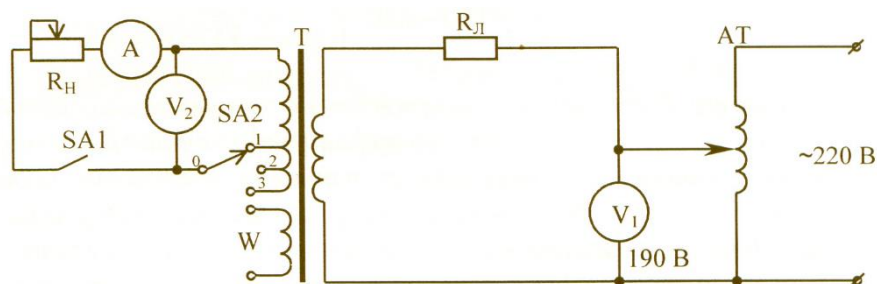


Рисунок 7.2. Снятие нагрузочных характеристик силового трансформатора:

АТ – лабораторный автотрансформатор;  $R_{л}$  – сопротивление линии;

Т – трансформатор; SA1 – выключатель нагрузки; SA2 – переключатель отпаяк;  $R_{н}$  – сопротивление нагрузки;  $W$  – число витков вспомогательной обмотки

## 7.2. Порядок проведения работы

1. Собрать схему (рисунок 7.1).

2. Подключить ее к источнику питания, подать напряжение на первичную обмотку, равное 190 В.

3. Замерить напряжение вспомогательной обмотки (10 витков) и определить напряжение, приходящееся на один виток (Вольт на виток).

4. Замерить напряжения на вторичной обмотке, определить число витков и коэффициент трансформации трансформатора для всех положений переключателя, выключить питание.

5. Собрать схему (рисунок 7.2).

6. Подключить ее к источнику питания и при отсутствии нагрузки (SA1 - выключен) подать напряжение на первичную обмотку трансформатора равное 190 В.

7. Замерить напряжения вторичной обмотки при номинальной нагрузке трансформатора  $I_{2ном}=1$  А для всех положений переключателя SA2.

8. По данным замерам (пп.4, 7.) построить нагрузочные характеристики -  $U_2=f(I_2)$ .

9. За среднее номинальное напряжение принять напряжение при положении переключателя на средней отпайке и при нагрузке  $I_2=0,5$  А.

10. При условии наименьшего значения максимального отклонения напряжения от среднего номинального, определить нагрузки трансформатора, при которых необходимо производить переключение отпаяк.

11. С учетом переключения отпаяк, построить общую нагрузочную характеристику трансформатора (рисунок 7.3).

12. Определить максимальное отклонение напряжения (%) от среднего номинального напряжения.

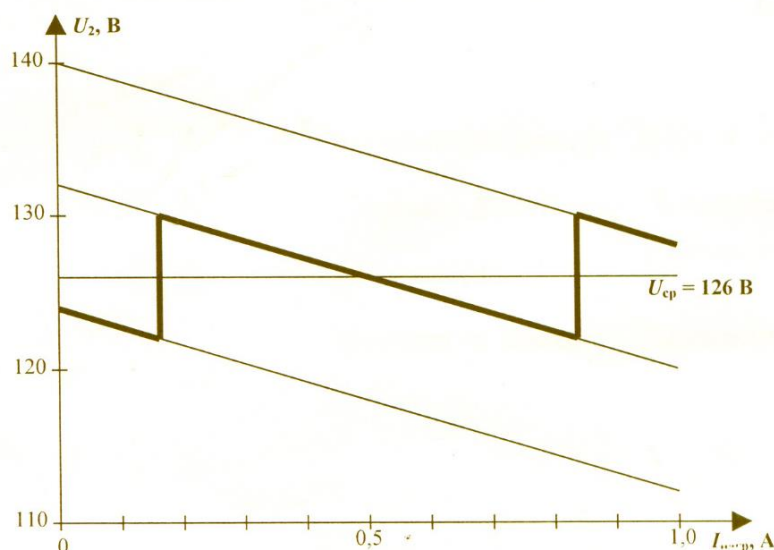


Рисунок 7.3 - Нагрузочная характеристика трансформатора

### 7.3. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Схема для определения числа витков обмоток и коэффициента трансформации трансформатора.

3. Определение числа витков и коэффициента трансформации трансформатора.

4. Схема для снятия нагрузочных характеристик трансформатора.
5. Замеры и построение нагрузочных характеристик трансформатора.
6. Построение общей нагрузочной характеристики трансформатора с учетом переключения отпаек его вторичной обмотки.
7. Определение наибольших отклонений напряжения от среднего номинального значения.

#### 7.4. Контрольные вопросы

1. Как определяется число витков и коэффициент трансформации трансформатора?
2. Причины, вызывающие изменение напряжения вторичной обмотки трансформатора.
3. Для чего нужно регулирование напряжения у потребителей?
4. Каким образом осуществляется регулирование напряжения в электрических сетях?
5. Для чего в начале передающей линии напряжение повышается, а у потребителей понижается?

### **Лабораторная работа №8. «Исследование защит асинхронного электродвигателя»**

#### 8.1. Виды повреждений и ненормальных режимов электродвигателей

К повреждениям, возникающим в обмотках статора электродвигателей переменного тока, относятся многофазные короткие замыкания, однофазные замыкания на землю и замыкания между витками одной фазы (витковые замыкания). Повреждениями синхронных электродвигателей и электродвигателей постоянного тока являются также обрывы в цепях возбуждения. Для синхронных электродвигателей представляют опасность замыкания на землю обмотки ротора.

К ненормальным режимам относятся: перегрузки от приводимых в движение механизмов, понижение напряжения и последующее его восстановление (самозапуск), обрыв фазы, асинхронный режим синхронного электродвигателя и т.д.

#### 8.2. Защита и автоматика асинхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ

Для защиты от многофазных коротких замыканий применяются плавкие предохранители, токовые отсечки без выдержки времени и продольные дифференциальные защиты.

Токовая отсечка без выдержки времени устанавливается на электродвигателях мощностью менее 5000 кВт, причем для двигателей мощностью менее 2000 кВт она выполняется однорелейной с включением реле

на разность токов двух фаз. Для электродвигателей мощностью более 2000 кВт обязательной является двухрелейная отсечка.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз}^I = K_{отс}^I \times K_n I_{дв.ном.}^I, \quad (8.1)$$

где  $K_n$  – кратность пускового тока,  
 $K_{отс}^I$  – 1,4 ÷ 2 – коэффициент отстройки.

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср}^I = K_{сх} \cdot I_{сз}^I / K_I. \quad (8.2)$$

Чувствительность отсечки считается достаточной, если при двухфазном коротком замыкании на выводах электродвигателя  $K_{ч} \geq 2,0$ .

Продольная дифференциальная защита устанавливается на электродвигателях мощностью 5000 кВт и более. На электродвигателях меньшей мощности она устанавливается, если токовая отсечка оказывается недостаточно чувствительной.

Защита от замыканий на землю предусматривается на электродвигателях  $P_n > 2000$  кВт, если токи достигают  $I_3^{(1)} \geq 5A$ .

Защита от перегрузок предусматривается для электродвигателей, подверженных перегрузке по технологическим причинам, а также для электродвигателей с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска длительностью 20 с и более. Перегрузка является симметричным режимом, поэтому защита от нее может быть выполнена одним реле, включенным в любую фазу электродвигателя. Защита от перегрузки обычно осуществляется индукционными элементами реле типа РТ-80, электромагнитные элементы которых используются для выполнения токовой отсечки.

Ток срабатывания реле выбирают исходя из следующих требований: реле не должно срабатывать в нормальном режиме работы электродвигателя; реле должно приходить в действие при пусках и самозапущах.

$$I_{сз}^{III} \geq K_{отс}^{III} \times I_{д.ном.}^{III}. \quad (8.3)$$

$$I_{ср}^{III} = K_{сх} \times I_{сз}^{III} / (K_I \times K_{\theta}). \quad (8.4)$$

В расчетах принимают значения

$$K_{отс}^{III} = 1,1 - 1,2, \quad K_{\theta} = 0,8.$$

$$K_{отсечки} = \frac{I_{ср}^I}{I_{ср}^{III}} - \text{кратность отсечки}. \quad (8.5)$$

При этом несрабатывание реле в нормальных режимах пуска и самозапуска обеспечивается выбором выдержки времени в независимой части характеристики.

$$t_{сз}^{III} = 10 - 15 с.$$

Минимальная защита напряжения выполняется двухступенчатой. Первая ступень,  $U_{сз}^I = 0,7U_{ном.}$ , а выдержка времени  $t_{сз}^I = 0,5 - 1,5$  с. Она отключает электродвигатели ответственных механизмов для облегчения самозапуска

ответственных. Напряжение срабатывания второй ступени,  $U_{сз}^{II} = 0,5U_n$ , а выдержка времени  $t_{сз}^{II} = 10-15с$ .

### 8.3. Цель работы

В соответствии с заданием выбрать схему релейной защиты для асинхронного электродвигателя. Произвести расчет уставок реле защиты. Выбрать трансформаторы тока и напряжения.

### 8.4. Выбор схемы защиты

Выбрать схему защиты для асинхронного электродвигателя мощностью  $P_n \leq 1$  мВт. Двигатель неответственного механизма и подвержен перегрузкам.

Согласно Правилам устройства электроустановок, такой двигатель должен быть оборудован следующими устройствами релейной защиты:

- токовой отсечкой без выдержки времени для защиты от многофазных коротких замыканий;
- защитой от перегрузки;
- минимальной защитой напряжения (первая ступень).

Токовые защиты выполняются индукционным реле РТ-80, защита по напряжению – реле минимального напряжения.

В качестве одного из вариантов схем защиты заданного асинхронного электродвигателя может быть принята схема, изображенная на рисунке 8.1.

### 8.5. Расчет токов срабатывания защит и реле

Расчет токов срабатывания защит и реле производится по формулам 8.1 - 8.5. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 - Исходные данные для расчета уставок реле

№ варианта	$P_{ном},$ кВт	$U_{ном},$ кВ	$K_n = \frac{I_n}{I_{ном}}$	$\eta_n, \%$	$\cos\varphi_n$	$K_I$	$K_{отс}^I$	$I_{к min}^{(2)}, A$
1	315	6,0	5,7	93,7	0,86	100/5	1,8	800
2	315	10,0	5,7	94,2	0,87	75/5	1,9	600
3	500	6,0	5,7	95,1	0,88	150/5	2,0	1300
4	630	10,0	5,7	95,2	0,88	100/5	1,8	900
5	800	6,0	5,5	95,5	0,88	200/5	1,9	2000
6	1000	10,0	5,7	95,5	0,89	150/5	2,0	1700
7	315	10,0	5,0	93,7	0,86	50/5	1,8	600
8	400	6,0	5,2	94,2	0,87	100/5	1,9	1100
9	500	10,0	5,6	94,7	0,87	100/5	2,0	1000
10	630	6,0	5,3	94,7	0,87	150/5	1,8	1500
11	800	10,0	5,8	95,2	0,88	150/5	1,9	1400
12	1000	6,0	5,6	95,0	0,89	300/5	2,0	2800

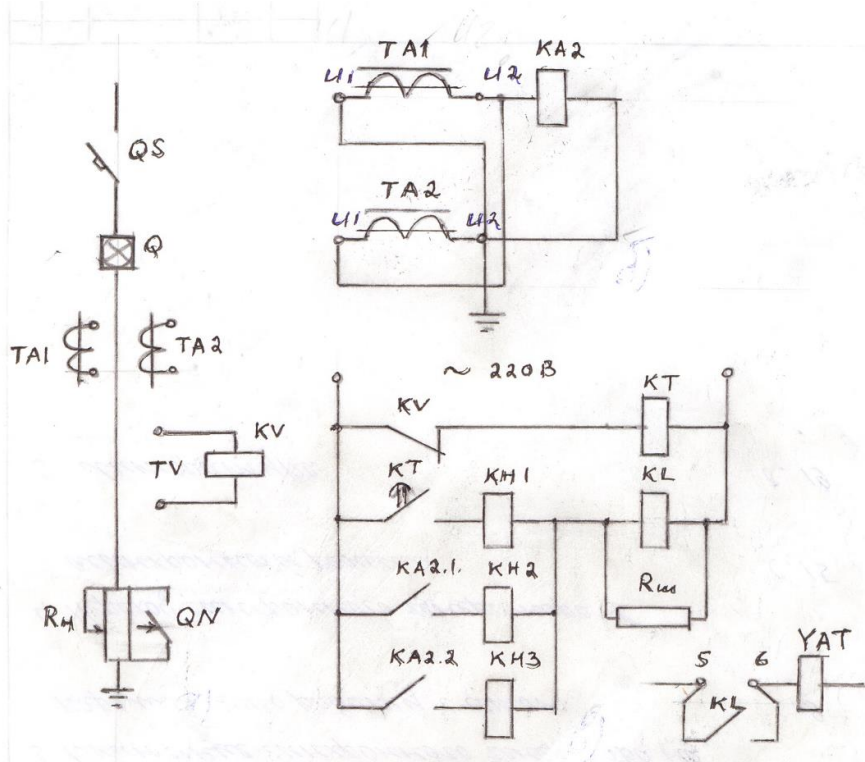


Рисунок 8.1 - Схема защиты асинхронного электродвигателя

Пример расчета:

ток срабатывания отсечки

$$I_{сз}^I = K_{отс}^I \times K_n \times I_{ном} = 1,8 \times 5,7 \times 28,2 = 289,5 A.$$

$$I_{ср}^I = K_{сх} \times I_{сз}^I / K_I = \sqrt{3} \times 289,5 / 15 = 33,4 A.$$

Чувствительность отсечки

$$K_{ч}^I = \frac{I_{к\min}^{(2)}}{I_{сз}^I} = \frac{650}{289,5} = 2,2 > 2.$$

Ток срабатывания индукционного элемента – максимальной токовой защиты от перегрузки.

$$I_{сз}^{III} \geq I_{отс}^{III} \times I_{оном} / K_{\theta} = 1,2 \times 28,2 / 0,8 = 42,3 A.$$

$$I_{сз}^{III} = K_{сх} \times I_{сз}^{III} / K_I = \sqrt{3} \times 42,3 / 15 = 4,9 A.$$

Принимаем  $I_{ср}^{III} = 5 A.$

$$\text{Кратность отсечки } K_{отсечки} = \frac{I_{ср}^I}{I_{сз}^{III}} = \frac{33,4}{5} = 6,7.$$

## 8.6. Порядок выполнения работы

1. Произвести расчет уставок реле.
2. Собрать схему выбранных защит.
3. Ознакомиться с техническими характеристиками используемых реле, выставить уставки по току, напряжению и времени согласно выполненным расчетам.

4. Подключить собранную и проверенную схему к источнику питания, проверить правильность работы защиты для нормального режима, режима перегрузки и аварийных режимов (многофазных коротких замыканий и снижения или исчезновения напряжения).

5. По окончании работы отключить питание и разобрать схему.

### 8.7. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, расчеты параметров релейной защиты.

2. Схемы защит.

3. Правильность срабатывания защит в нормальном и аварийном режимах.

### 8.8. Контрольные вопросы

1. Виды защит, используемые для асинхронных электродвигателей.

2. Элементы схемы, используемые для защиты от многофазных коротких замыканий.

3. Элементы схемы, используемые для защиты электродвигателя от перегрузки.

4. Для какой цели применяется защита минимального напряжения? Когда она должна работать на отключение?

5. Как определяются уставки реле?

6. Каким образом расчетные уставки выставляются на реле защиты?

## **Лабораторная работа №9. «Совместное действие устройства автоматического повторного включения (УАПВ) и продольной дифференциальной токовой защиты»**

### 9.1. Продольная дифференциальная токовая защита

Продольная дифференциальная токовая защита используется для защиты элементов с сосредоточенными параметрами, например, трансформаторов, генераторов, электродвигателей, линий небольшой длины и т.п.

Продольная дифференциальная токовая защита основана на сравнении токов в начале и конце защищаемого элемента. Для защиты линии на ее концах устанавливаются измерительные трансформаторы тока с одинаковыми коэффициентами трансформации. Ток реле определяется как геометрическая сумма вторичных токов этих трансформаторов (рисунок 9.1).

$$\underline{I}_p = \underline{I}_{21} + \underline{I}_{22}. \quad (9.1)$$

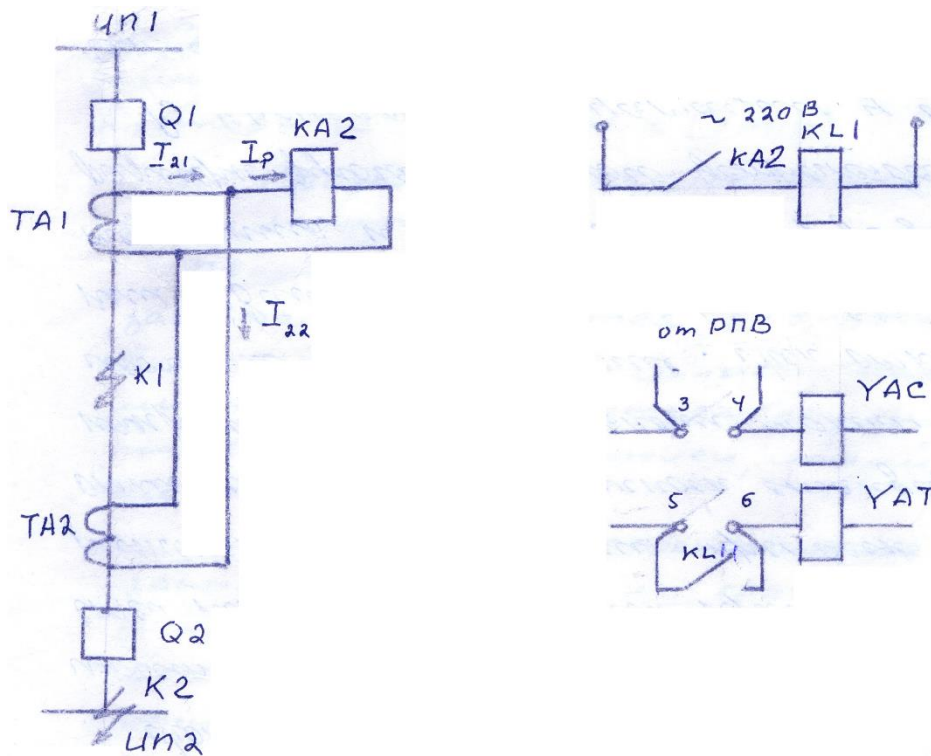


Рисунок 9.1

Вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются встречно и в нормальном режиме, и при внешних коротких замыканиях (K2) первичные токи равны, и, если не учитывать погрешности трансформаторов тока, ток в реле  $I_p=0$ .

В действительности, вследствие неодинаковости характеристик намагничивания трансформаторов тока, ток в реле  $I_p=I_{н.б} \neq 0$ .

Определение тока небаланса расчетным путем довольно сложно. Поэтому при его определении исходят из предельных максимальных граничных условий.

$$I_{н.б} = \left( \frac{\varepsilon}{100} \right) K_{ан} \cdot K_{одн} I_{Квнеш}^{(3)} / K_I, \quad (9.2)$$

где  $\varepsilon = 10\%$  - максимально допустимая погрешность трансформатора тока;

$K_{ан} = 2$  (при  $t=0$ ) – максимальное значение коэффициента аperiodической составляющей тока короткого замыкания;

$K_{одн} = 0,5$  – коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$I_{Квнеш}^{(3)}$  - максимальное значение периодической составляющей трехфазного тока внешнего короткого замыкания;

$K_I$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

В нормальном режиме и при внешних коротких замыканиях защита не должна действовать, поэтому ток срабатывания реле должен быть больше тока небаланса:

$$I_{ср} \geq K_{отс} \times I_{н.б.расч.макс}, \quad (9.3)$$

$K_{отс} = 1,2 - 1,5$  – коэффициент отстройки.



При коротком замыкании в пределах защищаемой зоны ( $K_1$ ) первичные токи имеют противоположные направления, а вторичные токи складываются. При этом защита срабатывает, если  $I_p > I_{cp}$ .

Второе условие выбора тока срабатывания реле

$$I_{cp} \leq I_{K_{внут. min}}^{(2)} / (K_I \times K_u) \quad (9.4)$$

В зависимости от защищаемого элемента допускается иметь:

$$K_u = 1,5 - 2.$$

Обладая абсолютной селективностью, продольная дифференциальная токовая защита работает без выдержки времени.

## 9.2. Исходные данные для расчета уставок реле. Пример расчета

Пример расчета:

$$\text{Дано: } I_{квнеш. max}^{(3)} = 600 A, \quad I_{квнутр. min}^{(2)} = 200 A,$$

$$K_I = 200/5, \quad K_u = 1,5, \quad K_{отс} = 1,3.$$

Решение:

$$I_{нб. расч. max} = \left( \frac{\varepsilon}{100} \right) \times K_{ан} \times K_{одн} \times I_{квнеш. max}^{(3)} / K_I = \frac{10}{100} \times 2 \times 0,5 \times \frac{600}{200} = 1,5 A.$$

Таблица 9.1 - Исходные данные для расчета

№ варианта	$I_{квнеш. max}, A$	$I_{квнутр. min}, A$	$K_I$	$K_{отс}$	$K_u$
1	600	200	200/5	1,3	1,5
2	500	200	150/5	1,2	1,6
3	200	200	100/5	1,5	1,9
4	800	300	300/5	1,4	1,8
5	400	450	400/5	1,2	1,7
6	500	150	200/5	1,4	1,6
7	300	200	150/5	1,3	1,5
8	800	300	300/5	1,5	1,8
9	400	250	150/5	1,4	1,9
10	900	300	300/5	1,3	2,0
11	700	250	200/5	1,2	1,7
12	150	250	75/5	1,5	2,0

$$I_{cp} \geq K_{отс} \times I_{нб. расч. max} = 1,3 \times 1,5 = 1,95 A.$$

$$I_{cp} \leq I_{квнутр. min}^{(2)} / K_I \times K_u = 200 / 40 \times 1,5 = 3,3 A.$$

Выбираем:  $I_{cp} = 2 A.$

## 9.3. Устройство автоматического повторного включения (УАПВ)

Большинство повреждений воздушных линий электропередач (60-75%) неустойчивы и при быстром отключении поврежденной линии

самоустраняются. В этом случае при повторном включении линия остается в работе и электроснабжение потребителей не прекращается. При устойчивых повреждениях защита снова отключит линию после АПВ.

Согласно Правилам устройства электроустановок устройством АПВ должны оборудоваться все воздушные и смешанные (кабельно-воздушные) линии напряжением выше 1 кВ при наличии на них соответствующих коммутационных аппаратов.

#### 9.4. Основные требования, предъявляемые к устройствам АПВ

1. УАПВ должны находиться в состоянии постоянной готовности и срабатывать при всех случаях аварийного отключения.

2. УАПВ не должны приходить в действие при оперативных отключениях выключателей дежурным персоналом.

3. Схемы АПВ должны допускать возможность ручного или автоматического вывода их из действия.

4. Должны иметь минимально возможное время срабатывания.

5. Должна быть обеспечена одноразовость действия АПВ.

#### 9.5. Описание работы схемы УАПВ (рисунок 9.2)

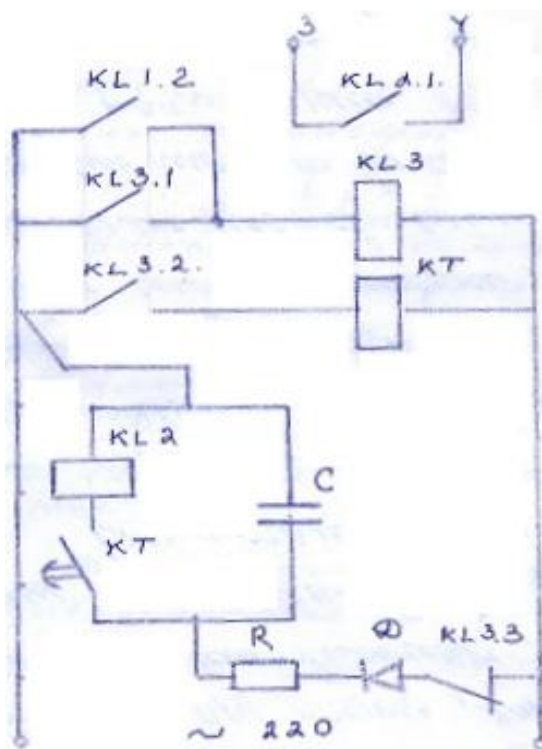


Рисунок 9.2

1. При включении РПВ в сеть переменного тока напряжением 220 В происходит зарядка конденсатора С (40-60 с) через размыкающий контакт КЛ 3.3, диод Д и сопротивление R, ограничивающее скорость зарядки.

2. При коротком замыкании на защищаемом участке линии срабатывает релейная защита и линия отключается. При этом промежуточное реле KL1 своим контактом KL1.2 дает сигнал на включение реле повторного включения (РПВ).

3. Промежуточное реле KL3 контактом KL3.1 становится на самопитание, контактом KL3.2 подает питание на катушку реле времени КТ, а контактом KL3.3 размыкает цепь зарядки конденсатора.

4. Реле времени с заданной выдержкой времени замыкает своим контактом цепь конденсатор – катушка реле KL2.

5. Конденсатор, разряжаясь, включает реле KL2, которое контактом KL2.1 замыкает цепь питания катушек включающих электромагнитов силовых выключателей, питание потребителей восстанавливается.

6. При устойчивом коротком замыкании на защищаемой линии релейная защита срабатывает и вновь отключает ее от источников питания.

#### 9.6. Порядок выполнения работы

1. Определить уставку реле продольной дифференциальной защиты линии.

2. Собрать схему продольной дифференциальной токовой защиты (рисунок 9.1).

3. Ознакомиться с технической характеристикой используемого токового реле и выставить уставку согласно выполненному расчету.

4. После проверки собранной схемы преподавателем подключить ее к источнику питания и проверить правильность работы защиты в нормальном и аварийном режимах.

5. Дополнить схему защиты схемой УАПВ (рисунок 9.2).

6. Проверить соответствие работы АПВ основным требованиям к таким устройствам.

#### 9.7. Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, необходимые расчеты.

2. Схема продольной дифференциальной защиты, принцип ее работы.

3. Два условия выбора тока срабатывания токового реле.

4. Схема устройства АПВ.

5. Соответствие работы УАПВ основным требованиям, предъявляемым к нему.

#### 9.8. Контрольные вопросы

1. В каких сетях применяется продольная дифференциальная токовая защита?

2. Каков принцип ее работы?

3. Какая причина вызывает появление тока небаланса? Практическое его определение.
4. Как определяется ток уставки токового реле ДТЗ?
5. Как обеспечивается селективность продольной ДТЗ?
6. Принцип действия устройства АПВ.
7. В каких сетях используются УАПВ?
8. Чем обеспечивается одноразовость работы РПВ?
9. Какие основные требования к устройствам АПВ?

### **Лабораторная работа №10. «Устройство автоматического включения резервного источника (УАВР)»**

В системах электроснабжения при наличии двух и более источников питания целесообразно работать по раздельной схеме. При этом все источники включены, но не связаны между собой, каждый из них обеспечивает питание только своих потребителей. Такой режим необходим для уменьшения токов короткого замыкания, упрощения схем релейной защиты и т.п. Однако при этом снижается надежность электроснабжения потребителей. Для ее повышения служат устройства автоматического включения резервного питания.

Применяются различные схемы УАВР, однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Находиться в состоянии постоянной готовности к действию;
2. Иметь минимально возможное время срабатывания;
3. Обладать однократностью действия;
4. Обеспечивать вместе с защитой быстрое отключение резервного питания от поврежденной резервируемой секции;
5. Не срабатывать при оперативных отключениях.

#### 10.1. Цель работы

Ознакомить студентов с работой устройства автоматического включения резервного питания (УАПВ), с основными требованиями, предъявляемыми к работе этого устройства.

#### 10.2. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями.
2. Собрать схему (рисунок 10.1).
3. После проверки ее преподавателем включить ее под напряжение.
4. Проверить правильность работы схемы при исчезновении питания по первой и по второй линии.
5. Если схема работает правильно и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ней, работа считается законченной.

6. Если схема не работает, то при отключенном напряжении следует найти ошибки, допущенные при монтаже схемы, исправить их и после повторной проверки преподавателем включить схему под напряжение.

7. По окончании работы схему разобрать.

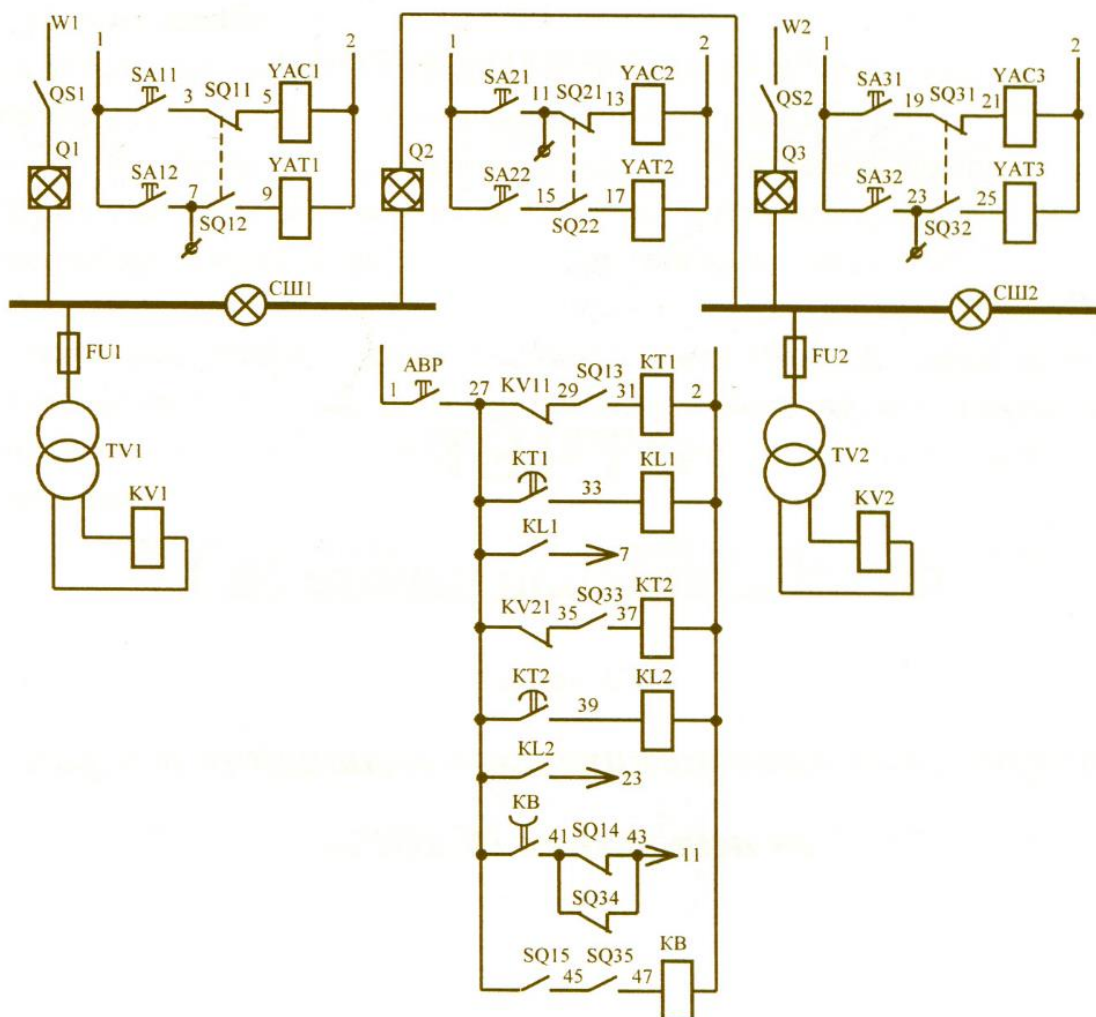


Рисунок 10.1

### 10.3. Описание работы схемы

1. В нормальном рабочем режиме все источники включены. Включены силовые выключатели  $Q_1$  и  $Q_3$ , секционный выключатель  $Q_2$  отключен. Ключ АВР находится в замкнутом положении, реле минимального напряжения  $KV_1$  и  $KV_2$  и блокировочное реле  $KB$  включены.

2. При исчезновении напряжения на первой секции сборных шин реле  $KV_1$  теряет питание, его контакты 27-29 замыкаются и через замкнутые контакты 29-31 включенного  $Q_1$  подают питание на катушку реле времени  $KT_1$ .

3. Через заданную выдержку времени  $KT_1$ , замыкая свои контакты 27-33, создает цепь питания катушке промежуточного реле  $KL_1$ .

4. Промежуточное реле  $KL_1$ , замыкая контакты 27-7, подает питание на катушку отключающего электромагнита  $YAT_1$ , и  $Q_1$  отключается.

5. При отключении  $Q_1$  его контакты 27-45 размыкаются и прекращают питание катушки вспомогательного реле КВ, замыкаются контакты 41-11, и подается питание на включающий электромагнит  $YAC_2$ .

6. Контакты КВ 27-41 размыкаются с выдержкой времени, необходимой для подачи питания на  $YAC_2$ .

7. Электромагнит  $YAC_2$  включает секционный выключатель  $Q_2$  и восстанавливает электроснабжение потребителей первой секции сборных шин.

8. Аналогично происходит работа схемы при исчезновении напряжения на второй секции сборных шин распределительного устройства низшего напряжения.

#### 10.4. Содержание отчета

1. Назначение устройства автоматического включения резерва.
2. Требования к работе схемы УАВР.
3. Схема УАВР.
4. Описание схемы.
5. Назначение реле времени.
5. Назначение вспомогательного реле КВ.
6. Вывод из действия устройства автоматического включения резерва.

#### 10.5. Контрольные вопросы

1. Для чего нужно устройство автоматического включения резерва?
2. Как работает схема при исчезновении основного питания?
3. Какую роль в работе схемы играют реле напряжения?
4. Какую роль в работе схемы играют реле времени?
5. Для чего в схему включено вспомогательное реле КВ?
6. Выполняются ли основные требования, предъявляемые к УАВР, в используемой схеме?

### **Лабораторная работа №11. «Устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР)»**

Как известно, при дефиците генераторной мощности, обусловленном отключением части генераторов системы или подключением новой нагрузки, превышающей резерв вращающейся генераторной мощности, частота в системе снижается. При этом электродвигатели собственного расхода электростанций теряют часть своей мощности, производительность механизмов уменьшается, что ведет к снижению вырабатываемой генераторами мощности, росту дефицита мощности в энергосистеме, т.е. к дальнейшему снижению частоты (лавина частоты).

Уменьшение скорости вращения агрегатов связано также со снижением возбуждения генераторов, в результате чего из-за возросшего потребления двигателями реактивного тока может возникнуть дефицит реактивной

мощности. При снижении частоты до критической (44–45 Гц) напряжение может уменьшиться до значения, при котором возникает так называемая лавина напряжения.

Для обеспечения нормальной работы электродвигателей собственного расхода электростанций Техническим управлением МЭС установлен предел допустимого снижения частоты – 48 Гц. При снижении ниже допустимой она автоматически восстанавливается с помощью специальных устройств, разгружающих систему автоматическим отключением тех или иных питающих линий на подстанциях энергосистемы.

Во избежание излишнего отключения потребителей устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР) выполняются действующими не одновременно на всех намеченных питающих линиях, а несколькими очередями, каждая из которых отключает определенную нагрузку.

### 11.1. Цель работы

Цель работы – изучить назначение устройства АЧР, устройство и работу реле частоты типа ИВЧ–011А, проверить электрические характеристики реле частоты, работу схемы АЧР двух очередей.

### 11.2. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями.
2. Собрать схему (рисунок 11.1).
3. После проверки ее преподавателем включить ее под напряжение.
4. Проверить правильность работы схемы при исчезновении питания по первой и по второй линии.
5. Если схема работает правильно и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ней, работа считается законченной.
6. Если схема не работает, то при отключенном напряжении следует найти ошибки, допущенные при монтаже схемы, исправить их и после повторной проверки преподавателем включить схему под напряжение.
7. По окончании работы схему разобрать.

В схемах АЧР применяется реле частоты типа ИВЧ–011А, выполненное на основе индукционной схемы аналогично реле направления мощности (рис.11.1).

На магнитопроводе реле расположены четыре последовательно включенные обмотки, которые вместе с конденсатором представляют первый контур реле, второй контур реле частоты образуется двумя обмотками, расположенными на одной паре полюсов магнитопровода, и активными сопротивлениями  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ .

Под действием напряжения, подаваемого на зажимы 7 и 8, через оба контура проходят токи, создающие магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , сдвинутые в пространстве на  $90^\circ$ , а по фазе на угол  $\psi$ .

Реле частоты имеет два предела уставок: 45–46,5 Гц без перемычки на зажимах 5 и 7 (r3 введено) и 46,5–49 Гц при установленной перемычке (r3 зашунтировано). В каждом пределе плавное регулирование осуществляется реостатом r1.

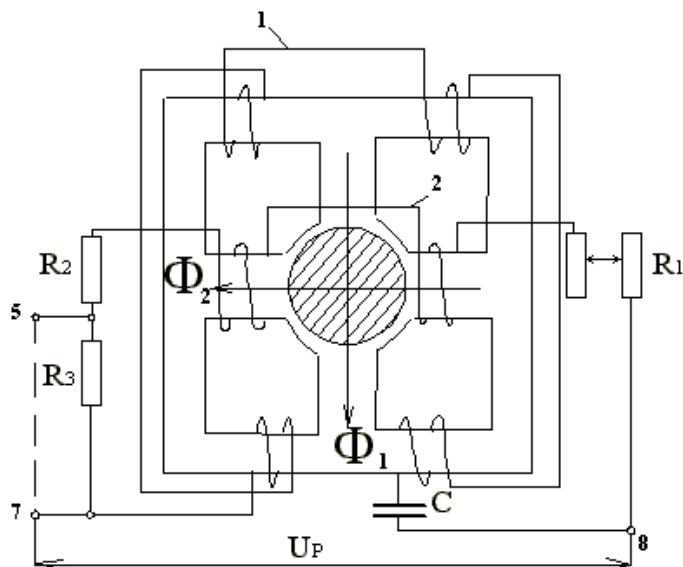


Рисунок 11.1 - Реле частоты индукционного типа

### Схема АЧР двух очередей

Для упрощения схемы в ней используется одно реле частоты, уставка которого автоматически переключается (рис. 11.2).

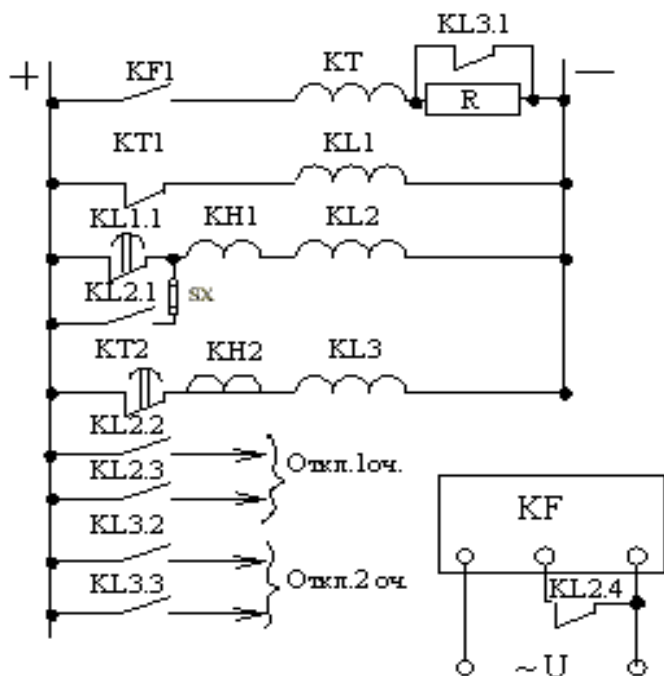


Рисунок 11.2 - Схема АЧР

При снижении частоты до уставки первой очереди АЧР реле частоты КФ срабатывает и замыкает своим контактом цепь обмотки реле времени КТ,



которое, сработав, своим мгновенным контактом КТ1 рвет цепь обмотки реле КЛ1. Последнее, возвращаясь с замедлением (0,5 с), замыкает цепь обмотки реле КЛ2. Реле КЛ2, сработав, самоудерживается через свой контакт КЛ2.1, производит контактами КЛ2.2 и КЛ2.3 отключение потребителей первой очереди, а нормально замкнутым контактом КЛ2.4 дешунтирует сопротивление R3 в реле частоты, чем переключает реле на меньшую частоту срабатывания.

Если частота в системе продолжает снижаться и доходит до уставки второй очереди АЧР, реле частоты вновь сработает и вновь начнет работать реле времени В. После замыкания его упорного контакта КТ2 сработает реле КЛ3 и подаст импульс на отключение потребителей второй очереди контактами КЛ3.2 и КЛ3.3. Нормально замкнутый контакт КЛ3.1 вводит в цепь обмотки реле времени КТ, добавочное сопротивление R, чем обеспечивается термоустойчивость реле КТ.

После срабатывания схемы АЧР реле КЛ2 самоудерживается, и для деблокировки необходимо снять кратковременно оперативный ток накладкой.

Проверка реле частоты типа ИВЧ–011А.

а) Проверка градуировки реле производится путем измерения частоты срабатывания частотомером, включенным параллельно обмотке реле, согласно схеме рис. 11.3. Одновременно производится определение коэффициента возврата, который должен быть порядка 1,01.

Настройка реле частоты на заданные уставки производится при помощи генератора звуковой частоты G. Генератор G получает питание от сети переменного тока 220 В.

Результаты замеров заносятся в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты замеров

Параметры	Уставки	Предел уставок 45–46,5 Гц					Предел уставок 46,5–49 Гц				
$f_{cp}$	1-й замер										
	2-й замер										
	3-й замер										
	средний										
$f_{\beta}$	1-й замер										
	2-й замер										
	3-й замер										
	средний										
Кв											

б) Определение зависимости частоты срабатывания реле от величины напряжения на его зажимах  $f_{cp} = \varphi(U_p)$  на уставке  $f = 47$  Гц производится согласно рис.11.3.

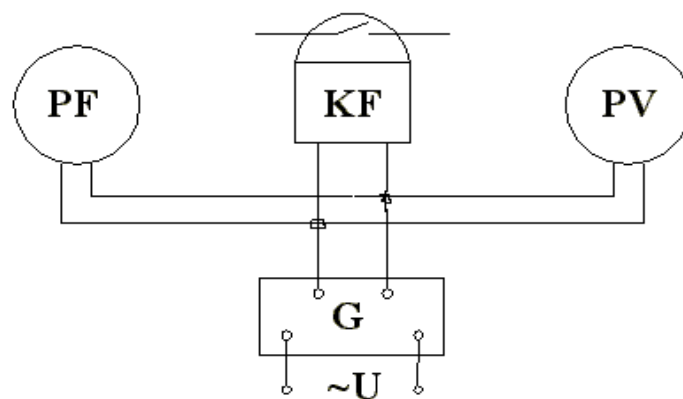


Рисунок 11.3 - Схема испытаний

Результаты замеров заносятся в таблицу 11.2.

Таблица 11.2 – Результаты замеров

$U_p$	100 В	90 В	80 В	70 В	60 В	50 В	40 В
$f_{cp}$							

Проверка работы устройства АЧР двух очередей.

- а) Выставить на реле частоты КФ и реле времени КТ уставки, заданные преподавателем.
- б) Снижая частоту, проверить работу схемы.

### 11.3. Контрольные вопросы

1. Каковы причины снижения частоты в системе?
2. Когда возникает дефицит мощности (активной, реактивной)?
3. Что называется лавиной частоты?
4. Что называется лавиной напряжения?
5. Каков допустимый предел снижения частоты?
6. Какая частота называется критической?
7. Поясните назначение устройства автоматической частотной разгрузки.
8. Поясните работу схемы АЧР двух очередей.
9. Что такое регулировочный эффект нагрузки? Чем он определяется?
10. Поясните принцип работы реле ИВЧ–011А.
11. Почему барабанчик реле алюминиевый?
12. Какие магнитные потоки действуют в реле? Чем они вызываются?
13. Нарисуйте векторную диаграмму реле частоты.
14. Как устроены подпятники оси барабанчика реле частоты? Как их можно регулировать?
15. Почему разгрузка по частоте выполняется очередями?
16. Что такое и как выбирается степень избирательности реле частоты?
17. Что такое частотное АПВ?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Для студентов вузов [ Электронный ресурс] – М.: Высш. шк. 2006. — 639 с: ил. 4-е изд., перераб. и доп (22 экз.)
2. Релейная защита электроэнергетических систем: Учебник для вузов/ А.М. Федосеев, М.А. Федосеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.: ил.
3. Расчеты релейной и автоматики распределительных сетей/ М.А. Шабад. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 296 с.: ил; 22 с.
4. Мацанке И.А. Релейная защита и автоматика: Учебное пособие для студентов специальности 140211 дневной и заочной форм обучения / Рубцовский индустриальный институт - Рубцовск, 2007. 86 с.
5. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Основы автоматики энергосистем» для студентов-бакалавров по направлению подготовки 6.050701 «Электротехника и электротехнологии» / Н.В. Гребченко, Н.С. Лапшина, А.В. Левшов, Донецк, ДонНТУ, 2013. – 54 с.

Мацанке Иван Алексеевич  
Татарникова Анна Николаевна

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров,  
всех форм обучения

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 22.12.17. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 3,18. Тираж 30 экз. Заказ 171649. Рег. № 33.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/б.