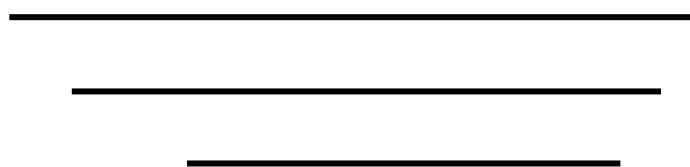


# **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**



Тамбов  
◆ Издательство ГОУ ВПО ТГТУ ◆  
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

# ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 140211  
всех форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ГОУ ВПО ТГТУ  
2010



Учебное издание

Методические указания к лабораторным работам

Составители:

НАБАТОВ Константин Александрович,  
АФОНИН Владимир Васильевич,  
БАРАНОВ Александр Валентинович

Редактор Л.В. Комбарова

Инженер по компьютерному макетированию И.В. Евсева

Подписано в печать 29.04.2010

Формат 60×84/16. 1,62 усл. печ. л. Тираж 150 экз. Заказ № 253

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Выполнение лабораторной работы включает в себя: подготовку к лабораторному занятию, проведение эксперимента и обработку экспериментального материала с оформлением отчёта.

Каждый студент должен заранее подготовиться к выполнению лабораторной работы, для этого необходимо:

- изучить соответствующие разделы по учебнику или конспекту лекций;
- по материалам указаний к лабораторным работам ознакомиться с объектом исследования, регулирующей и измерительной аппаратурой.

Перед началом работы студент должен ответить на ряд вопросов, касающихся её выполнения; и получить разрешение руководителя занятий приступить к проведению эксперимента.

После окончания эксперимента каждый студент самостоятельно должен обработать данные опытов и подготовить отчёт по проделанной работе.

Отчёт должен содержать следующие пункты:

- номер, название и цель работы;
- перечень измерительных приборов с указанием технических данных;
- схемы соединения элементов исследования;
- таблицы результатов измерений с указанием единиц измерения и вычислений, расчётные формулы, необходимые расчёты;
- краткие выводы о проделанной работе.

На следующем занятии студент должен предоставить руководителю оформленный отчёт о проделанной работе и защитить её.

### Основные правила техники безопасности

В лаборатории «Электроснабжение промышленных предприятий» используется напряжение переменного и постоянного тока до 250 В. При несоблюдении правил по технике безопасности эта величина напряжения представляет серьёзную опасность.

Сопротивление тела человека определяется главным образом сопротивлением кожного покрова, которое существенно зависит от степени увлажнения, наличия повреждений и т.п. Поэтому сопротивление тела человека может изменяться в очень широких пределах. В расчётах по технике безопасности обычно сопротивление тела человека принимают равным 1 кОм.

Электрический ток, проходя через тело человека, производит тепловое, химическое и биологическое воздействие, тем самым нарушая нормальную жизнедеятельность.

Химическое действие тока ведёт к электролизу крови и других содержащихся в организме растворов, что приводит к изменению их химического состава. Биологическое действие электрического тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток организма, что может сопровождаться судорогами, явлениями паралича.

Степень поражения человека и тяжесть электрического удара зависят главным образом от значения тока, проходящего через тело человека, пути тока в теле человека и длительности его прохождения.

Основные правила по технике безопасности следующие:

1. Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автомат на стенде находится в выключенном состоянии.
2. Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.
3. Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работы была исключена возможность случайного прикосновения к оголённым токоведущим частям.
4. Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправленными зажимами, проводов с повреждённой изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.
5. Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свёртывать провода. Исползованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.
6. Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.
7. Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте. При этом рукоятки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.
8. В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключить от сети.
9. Во время лабораторной работы запрещается: производить пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; прикасаться к оголённым токоведущим частям электрического аппарата; включать схему после каких-либо изменений соединений в ней до проверки преподавателем; оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
10. Во всех случаях обнаружения неисправного оборудования, измерительных приборов, проводов, при появлении специфического запаха, дыма, нужно выключить напряжение и немедленно поставить в известность преподавателя.
11. После окончания работы необходимо выключить напряжение, разобрать схему, привести в порядок рабочее место.
12. Студенты допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

*Цель работы:* ознакомление со схемами соединения вторичных обмоток трансформатора тока, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики.

## Основные теоретические положения

При выполнении защиты элементов электрических систем могут быть использованы различные схемы соединений обмоток трансформаторов тока и токовых обмоток реле. Выбор схемы определяется её назначением (от каких видов коротких замыканий предусмотрена защита), требованием чувствительности, необходимостью экономить количество реле и трансформаторов тока. При определении параметров защиты (тока срабатывания и чувствительности) необходимо учитывать коэффициент схемы:

$$K_{сх} = I_p / I_{2ТТ}, \quad (1.1)$$

где  $I_p$  – ток в реле, А;  $I_{2ТТ}$  – ток во вторичной обмотке трансформатора тока, А.

Для максимальных токовых защит выбор тока срабатывания реле производится по выражению:

$$I_{ср} = (K_n I_{н.макс} K_{сх}) / (K_b K_{ТТ}), \quad (1.2)$$

где  $K_n = 1,1 \dots 1,2$  – коэффициент надёжности, учитывающий погрешность реле и переходные режимы;  $K_b = 0,8 \dots 0,85$  – коэффициент возврата реле учитывающий его конструктивные особенности;  $K_{ТТ}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Эффективность каждой схемы определяется коэффициентом чувствительности, представляющим собой отношение тока при коротком замыкании попадающего в обмотку реле к току срабатывания:

$$K_{ч} = I_p / I_{ср}. \quad (1.3)$$

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с аппаратурой установленной на стенде.
2. Собрать поочерёдно все схемы, представленные на рис. 1.2, а – д.

После проверки преподавателем собранной схемы, замкнуть тумблер SA1, амперметры PA1 – PA4 покажут первичный ток цепи, а амперметры PA5 – PA8 токи вторичных цепей. Переключателем SA2 можно установить вид короткого замыкания в первичной цепи.

3. Для каждой схемы, имитируя различные виды коротких замыканий, произвести запись показаний всех приборов в табл. 1.1.

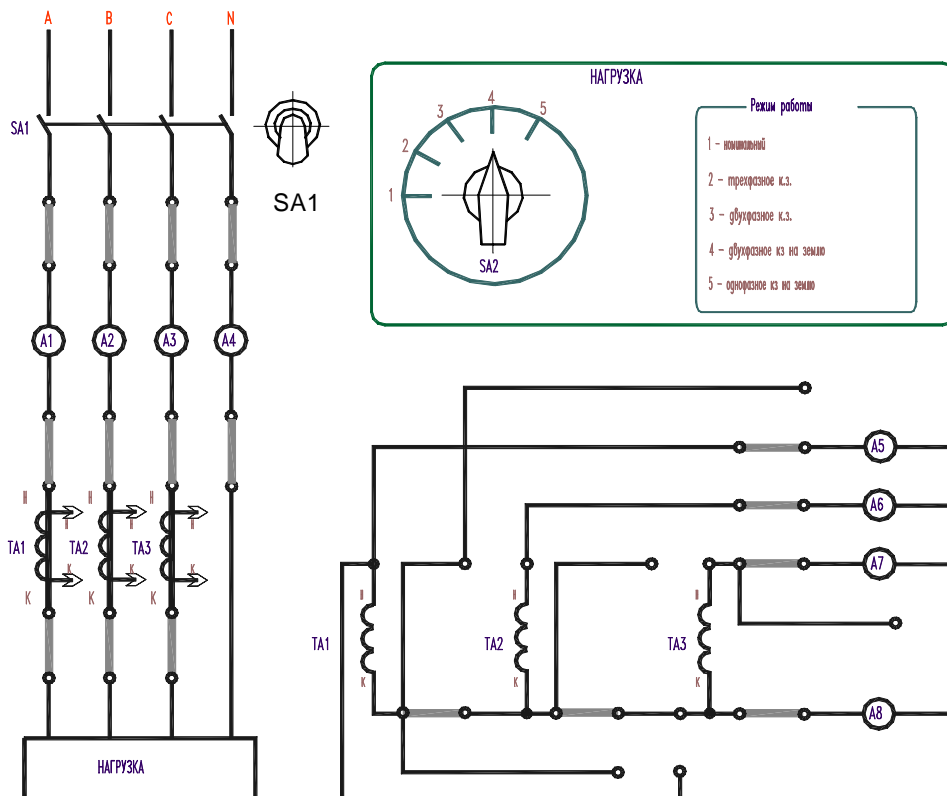


Рис. 1.1, а

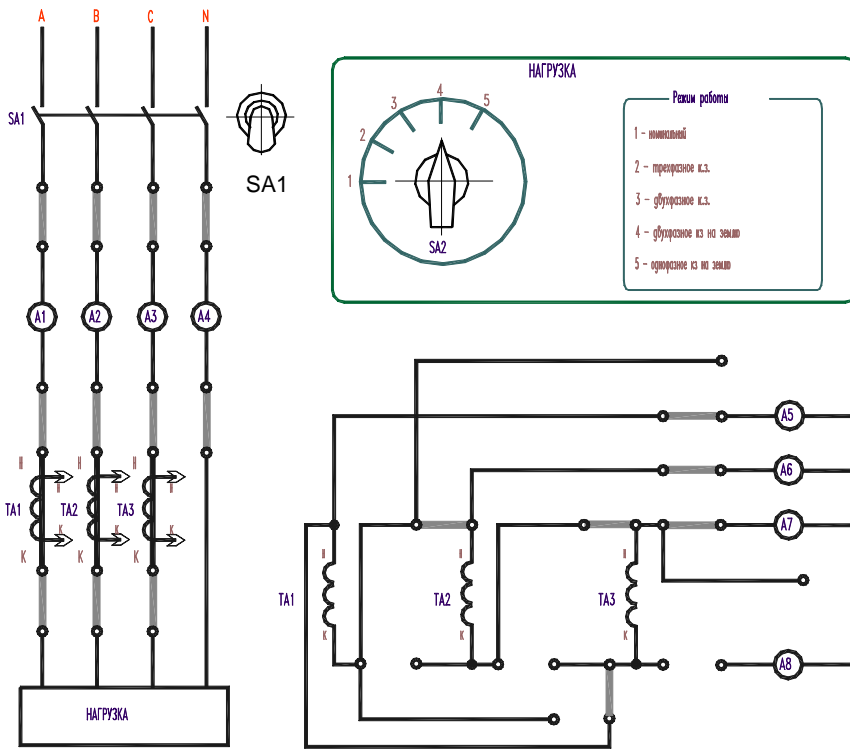


Рис. 1.1, а

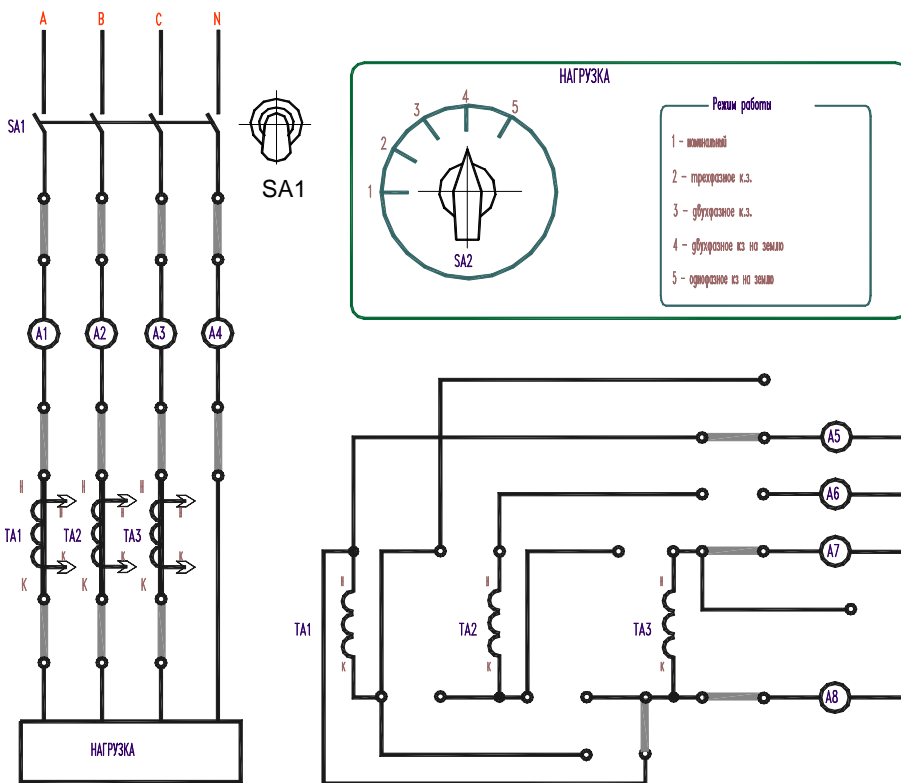


Рис. 1.1, б

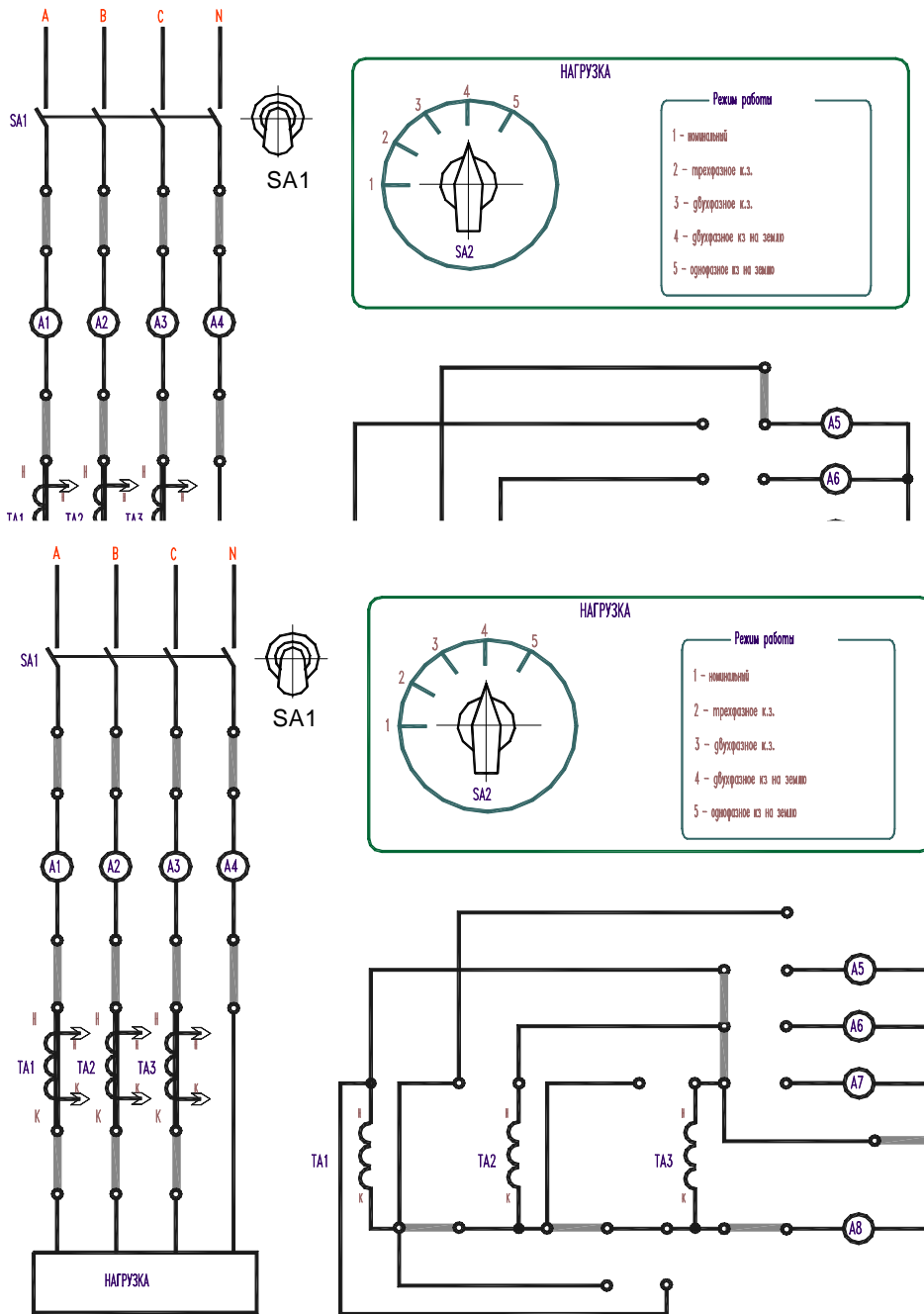


Рис. 1.1, д



Таблица 1.1

Вид К.З.	Показания приборов												
	В первичных цепях				Во вторичных цепях								
	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_o$	$I_a$	$K_{сх}$	$I_b$	$K_{сх}$	$I_c$	$K_{сх}$	$I_o$	$K_{сх}$	$K_q$
Рис. 1.1, а													
Трёхфазное													
Двухфазное													
Двухфазное на землю													
Однофазное на землю													
Рис. 1.1, б													
Трёхфазное													
Двухфазное													
Двухфазное на землю													
Однофазное на землю													
Рис. 1.1, в													
Трёхфазное													
Двухфазное													
Двухфазное на землю													
Однофазное на землю													
Рис. 1.1, г													
Трёхфазное													
Двухфазное													
Двухфазное на землю													
Однофазное на землю													
Рис. 1.1, д													
Трёхфазное													
Двухфазное													
Двухфазное на землю													
Однофазное на землю													

4. По данным показаний приборов для каждой схемы определить величину  $K_{сх}$  соответствующего определённому виду короткого замыкания.

5. Определить чувствительность токовой защиты при различных схемах её выполнения и различных видах коротких замыканий.

### Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях применяется схема соединения трансформаторов тока в треугольник?
2. Почему в сетях с изолированной нейтралью устанавливают два трансформатора тока (по одному на каждую крайнюю фазу), а в сетях с глухозаземлённой нейтралью – три трансформатора тока (по одному на каждую фазу)?
3. Как узнать ток во вторичной фазе по показаниям приборов в схеме рис. 1.1, б?
4. Начертить схему защиты с одним реле, включённым на разность токов двух фаз. Какая должна быть установка реле, если оно должно срабатывать при токе в линии ТА?
5. Объясните назначение нулевого провода в схеме полной звезды.
6. Указать типы защит, где используется включение токовых обмоток реле по схемам, представленным на рис. 1.1, в.
7. Ток, каких фаз измеряет каждый из амперметров схемы на рис. 1.1, б при нормальном режиме?

### Лабораторная работа 2

#### ИСПЫТАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО ТОКОВОГО РЕЛЕ

*Цель работы.* изучить особенности применения защиты, её достоинства и недостатки, устройство и работу индукционного реле.

#### Указания к выполнению работы

1. Списать паспортные данные реле.
2. Зарисовать схему рис. 2.1.
3. Начертить таблицу испытаний реле.
4. Изучить устройство реле.
5. Прогноз: как влияет на ток срабатывания индукционного реле изменение количества витков обмотки?

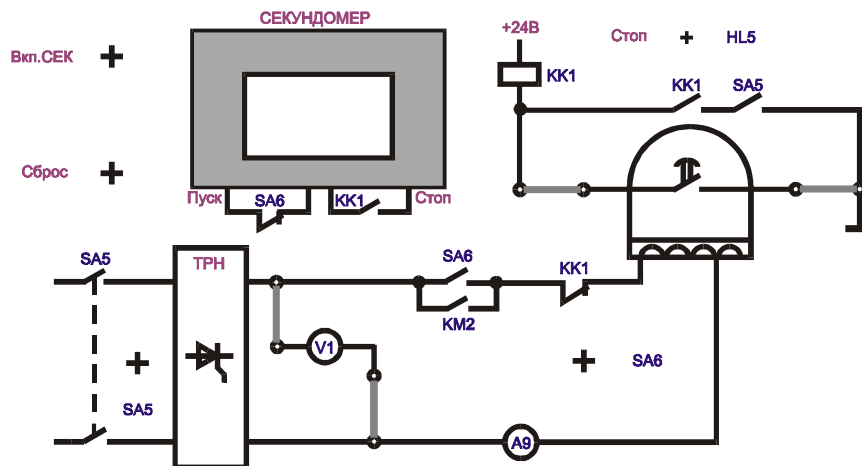


Рис. 2.1

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему рис. 2.1, рычажок тумблера SA15 должен быть внизу и после проверки её преподавателем приступить к выполнению лабораторной работы. Проверить токи срабатывания на указанных уставках. Для этого включить тумблер SA5, перевести PR1 в крайнее левое положение, V1 покажет некоторое начальное напряжение.

Включить SA6 и медленно увеличивая PR1 следить за показанием A9, для расширения предела которого использовать его кнопку.

Определить ток начала работы реле (диск начинает вращаться)  $I_{н.р}$ , А. Продолжая увеличивать ток в обмотке реле, с помощью ТРН засечь ток срабатывания  $I_{ср}$  (зубчатый сектор входит в зацепление), по окончании отсчёта загорается HL5. Затем уменьшить его до величины отпуска катушки  $I_{отп}$ .

**ВНИМАНИЕ!** Не допускать случаев, когда по какой-либо причине реле находится в состоянии срабатывания электромагнитного элемента более 5 с и при замыкании контактов от привода реле времени более 2 с. Между экспериментами делать паузы 1 мин.

Рассчитать коэффициент возврата:

$$K_v = I_{отп} / I_{ср}. \quad (2.1)$$

Результаты опытов занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ опыта	$I_{ср}$ по уставке, А	Опытные данные			
		$I_{ср}$ , А	$I_{отп}$ , А	$K_v$	ток начала работы реле $I_{н.р}$ , А
1					
2					
3					
4					
5					

2. Сравнить опытные данные с ответом на вопрос прогноза.

3. Прогноз: как влияет на ток срабатывания отсечки воздушный зазор между якорем и электромагнитом? Дать письменный ответ.

4. Установить максимальную уставку по времени. Уставку индукционного элемента реле установить минимальной. Изменяя воздушный зазор между якорем и электромагнитом определить токи срабатывания электромагнитного элемента реле (отсечки). Для этого после включения ТРН вывести PR1 в крайнее левое положение, после чего замкнуть SA6 и увеличивая ток при помощи PR1 следить за показанием A9, пока не сработает электромагнитный элемент (рекомендуется слегка придерживать поворотный механизм пальцами чтобы исключить зацепление зубчатого сектора с червяком).

Рекомендации: перед началом эксперимента переключить катушку реле на 6-й контакт (что соответствует току 0,3А). Установить ток в катушке 0,6А ( $2I_n$ ). Придерживая пальцами поворотный механизм, поворачивать регулировочный винт воздушного зазора электромагнитного элемента до тех пор, пока он не сработает. Отключить SA5. Зазор отрегулирован. Теперь можно проводить измерения для остальных отводов катушки.

Повторить опыт на другом значении уставки индукционного элемента реле (по заданию преподавателя) опытные

данные занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Ток уставки индукционного элемента реле, А	Кратность уставки отсечки	Ток срабатывания электромагнитного элемента, А	Примечание
1			
2			
3			
4			
5			

5. Собрать схему рис. 2.1. и после проверки её преподавателем приступить к выполнению лабораторной работы. Установить уставку индукционного элемента реле. Якорь электромагнитного элемента реле закрепить до замыкания его контактов. Снять 5 ... 12 точек зависимости времени срабатывания реле от тока в обмотке реле.

Включить ТРН тумблером SA5 и замкнуть SA6, установить при помощи PR1 некоторый ток  $I_p$ , после чего разомкнуть SA6. Произвести сброс секундомера при помощи кнопки SB3. Затем вновь подать напряжение на реле тумблером SA6. При этом пойдёт отсчёт времени срабатывания реле при установленном токе в его катушке. Когда реле сработает, загорится HL5, время на индикаторе зафиксируется, а цепь, подающая напряжение на катушку заблокируется контактом контрольного реле КК1. Чтобы вернуть схему в исходное состояние, необходимо отключить тумблеры SA5 и SA6. Для повторения эксперимента необходимо вновь включить тумблер SA5, произвести сброс показаний секундомера и включить тумблер SA6. Далее увеличить ток и проделать вышеуказанные операции.

Результаты опытов занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

№ опыта	Кратность тока $I_p / I_{уст}$	Время срабатывания, с
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

По данным табл. 2.3 построить характеристику:

$$t_c = f(I_p / I_{уст}).$$

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните устройство реле РТ-84.
2. Объясните работу индукционного элемента реле и его назначение.
3. Объясните работу отсечки (электромагнитного элемента) реле, регулирование тока срабатывания отсечки.
4. Объясните назначение постоянного магнита в реле.
5. Объясните назначение короткозамкнутых витков электромагнита реле.
6. Объясните преимущество применения в схемах защиты реле РТ-84 по сравнению с РТ-40.
7. Объясните зависимость времени срабатывания реле от тока в обмотке реле.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

- Цель работы.* 1. Изучение основных эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока.  
2. Экспериментальное определение параметров нагрузки.  
3. Исследование режимов работы линии при изменении коэффициента мощности нагрузки.

### Основные теоретические положения

1. В линиях электропередачи переменного тока (ЛЭП) следует различать падение напряжения и потерю напряжения.

Падение напряжения  $\Delta U$  есть векторная разность напряжения  $U_1$  на входе линии и напряжения  $U_2$  на её выходе и не даёт однозначной зависимости между действующими значениями напряжений:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = IZ, \quad (3.1)$$

где  $Z$  – комплексное сопротивление линии.

С точки зрения энергоснабжения потребителей более важна разность действующих значений входного и выходного напряжений, которая называется потерей напряжения в линии и определённым образом зависит от падения напряжения:

$$\Delta U = U_1 - U_2. \quad (3.2)$$

2. В настоящей лабораторной работе сопротивление ЛЭП условно отнесено к одному проводу и представлено на стенде последовательно включёнными индуктивностью  $L_1$  и резистором  $R_3$ . Нагрузка линии при этом имеет активно-индуктивный характер с эквивалентными параметрами  $L_2$ ,  $R_4$ , а конденсатор  $C_1$  предназначен для повышения коэффициента мощности. Таким образом, в первом приближении ЛЭП совместно с нагрузкой можно рассматривать в качестве цепи (рис. 3.1) с последовательным соединением элементов  $L_1$ ,  $R_3$ ,  $L_2$ ,  $R_4$ .

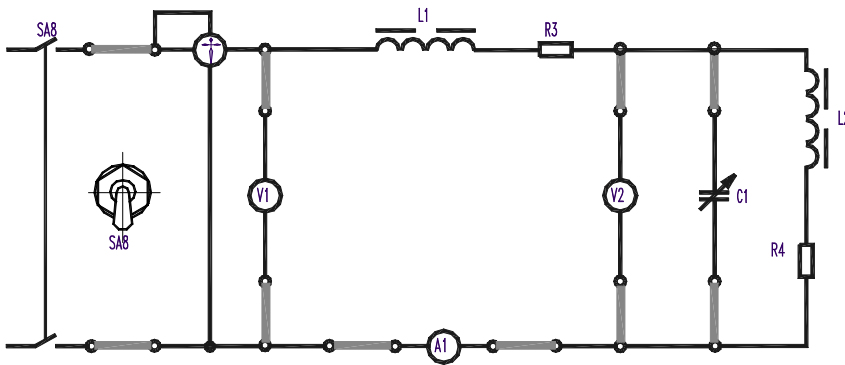


Рис. 3.1

Если построить для такой цепи векторную диаграмму, то потерю напряжения можно выразить в виде линейной зависимости от тока  $I$  нагрузки:

$$\Delta U = I(R_3 \cos \varphi_2 + X_{L1} \sin \varphi_2), \quad (3.3)$$

где  $X_{L1}$  – индуктивное сопротивление линии; угол сдвига фаз между напряжением и током нагрузки:

$$\varphi_2 = \arctg(X_{L2} / R_4). \quad (3.4)$$

3. Другой расчётной характеристикой ЛЭП является коэффициент полезного действия:

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + \Delta P), \quad (3.5)$$

где  $P_2$  – активная мощность нагрузки;  $P_1$  – потребляемая мощность;  $\Delta P$  – потери мощности в ЛЭП.

$$\varphi_2 = 35^\circ = \cos(35) = 0,82.$$

Если учесть, что

$$P_2 = U_2 I \cos \varphi_2 = 27 \cdot 0,4 \cdot 0,82 = 8,856 \text{ Вт},$$

а  $\Delta P = I^2 R_3 = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 32 = 5,12$  Вт, зная  $\varphi_2$ , находим:

$$\eta = 1 / \left( 1 + \left( P_2 R_3 / (U_2^2 \cos \varphi_2) \right) \right) = 1 / \left( 1 + \left( 8,856 \cdot 32 / (729 \cdot 0,82^2) \right) \right) = 0,63. \quad (3.6)$$

Из последней формулы видно, что при неизменных параметрах линии ( $R_3 = \text{const}$ ), а также мощности  $P_2$  и напряжении  $U_2$  КПД линии будет тем выше, чем больше коэффициент мощности  $\cos \varphi_2$  нагрузки.

4. Большинство потребителей имеет низкое значение коэффициента мощности, поэтому для искусственного повышения его до значений 0,85 ... 0,9 в ряде случаев используют параллельное подключение батареи конденсаторов. Величину ёмкости, необходимую для повышения  $\cos \varphi_2$  от номинального значения  $\cos \varphi_{2н}$  до требуемого  $\cos \varphi_{2тр}$  можно определить, воспользовавшись векторной диаграммой по формуле

$$C1 = P_2 (\text{tg} \varphi_{2н} - \text{tg} \varphi_{2тр}) / (U_2^2 \omega) = 8,856 (0,7 - 0) / (228906) = 27 \text{ мкФ}, \quad (3.7)$$

где  $\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота сети.

Повышение  $\cos \varphi_2$  за счёт подключения конденсаторов обусловлено тем, что часть реактивного тока нагрузки компенсируется ёмкостным током и результирующий реактивный ток уменьшается.

При  $I_c = I_{рн}$  индуктивная составляющая тока полностью компенсируется ёмкостным током  $I_c$  и в цепи, образованной потребителем и батареей конденсаторов, наступает резонанс токов.

Важной особенностью резонанса токов является то, что ток потребителя с батареей конденсаторов становится в этом случае минимальным и чисто активным, а КПД линии достигает максимального значения.

В ЛЭП считается целесообразной некоторая недокомпенсация реактивного тока нагрузки ( $\cos \varphi_{2тр} = 0,85 - 0,9$ ).

### Задания на выполнение лабораторной работы

1. Изучить схему замещения ЛЭП на стенде и подключить нагрузку, батарею конденсаторов и необходимые измерительные приборы.

2. Зашунтировать ЛЭП, установить номинальное напряжение  $U_{2н} = 42$  В.

3. Определить опытным путём величину ёмкости  $C1$  батареи конденсаторов для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения  $\cos \varphi_{2тр}$  заданного преподавателем.

4. Изменяя ёмкость батареи конденсаторов экспериментально исследовать зависимость  $\eta = f(C1)$  при изменении  $C1$  от 0 до 16 мкФ.

### Вопросы для самопроверки

1. В чём заключается различие между падением напряжения в линии и потерей напряжения?
2. Как объяснить зависимость коэффициента полезного действия линии электропередачи от характера нагрузки?
3. Почему активная мощность  $P_2$  пропорциональна активной составляющей тока, а реактивная  $Q_2$  – реактивной?
4. Что такое резонанс токов, и каковы условия его возникновения?

## Лабораторная работа 4

### ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

*Цель работы.* 1. Изучить защиту электродвигателей.

2. Отстроить защиту электродвигателя на действующем стенде.

### Основные теоретические положения

1. Защита от короткого замыкания между фазами является основной защитой электродвигателей и установка её обязательна во всех случаях.

2. Виды защит, исследуемые в лабораторной работе.

2.1. Токовая отсечка осуществляется на реле типа РТ-84:

$$I_{ср} = (K_{сх} K_{н} \cdot 1,8 I_n) / K_{тт}, \quad (4.1)$$

где 1,8 – коэффициент, учитывающий апериодическую постоянную пускового тока;  $K_{сх} = \sqrt{3}$  – коэффициент схемы;  $K_{н} = 1,2$  – коэффициент надёжности.

Расчёт:

а) номинальный ток двигателя:

$$I_{н} = P_{н} / (\sqrt{3} U_{н} \eta \cos\varphi); \quad (4.2)$$

б) ток срабатывания отсечки с отстройкой от пусковых токов при установке двух трансформаторов тока:

$$K_{сх} = \sqrt{3}; \quad 190 / 2 (K_{тт} = 80);$$

$$I_{ср} = (\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot 1,8 \cdot 6,4 \cdot I_{н}) / 80 = 33A; \quad (4.3)$$

в) коэффициент чувствительности отсечки:

$$K_{ч} = (I_{к.з} \cdot 0,87) / (I_{ср} K_{тт}). \quad (4.4)$$

2.2. Защита от перегрузки двухфазная максимально-токовая, отстраивается от номинального тока электродвигателя:

$$I_{ср} = (K_{н} I_{н} K_{сх}) / (K_{в} K_{тт}),$$

где  $K_{н} = 1,1 \dots 1,2$  (для защит действующих на сигнал);  $K_{н} = 1,5 \dots 1,75$  (для защит действующих на отключение);  $K_{в} = 0,8 \dots 0,85$ .

Принимаем для токовой отсечки и для защиты от перегрузки уставки тока срабатывания  $I_{отс} = \dots$ ,  $I_{пер} = \dots$ .

#### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему защиты электродвигателя рис. 4.1.
2. Рассчитать релейную защиту асинхронного электродвигателя:

$$P_{н} = 1000 \text{ кВт};$$

$$\eta = 95,2\%;$$

$$\cos\varphi = 0,92;$$

$$I_{п} / I_{н} = 6,4;$$

$$U_{н} = 6 \text{ кВ};$$

$$I_{к.з} = 20 \text{ кА}.$$

3. После сборки схемы (рис. 4.1) и проверки её преподавателем, осуществить пуск двигателя нажатием кнопки SB1, предварительно включив SA1 и SA7. Отключить двигатель M1 нажатием кнопки SB2. Выключить тумблер SA7.

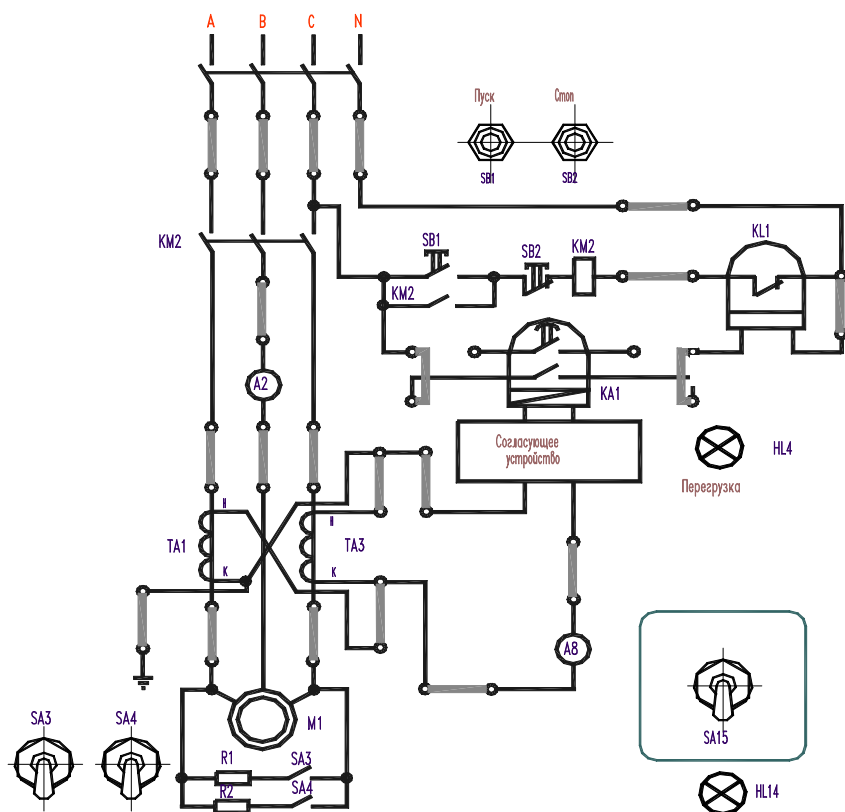


Рис. 4.1

4. Произвести настройку защиты. Снять кожух с реле РТ-84. Установить переключку на минимальный ток срабатывания.

5. Последовательность операций при проведении лабораторной работы.

5.1. Перевести тумблер SA15 в верхнее положение, замкнуть SA5, замкнуть SA7, включить SA5, нажать SB1.

5.2. Уставку выдержки времени реле РТ-84 установить минимальной. Необходимо убедиться, что переключатель SA2 находится в положении 1 и на панели не осталось никаких «лишних» переключек от выполнения предыдущих лабораторных работ и регуляторы RP3, RP4 находятся в крайнем против хода часовой стрелки положении. Для создания перегрузки необходимо замкнуть тумблер SA3 (SA4 – отключён). Поворачивая регулятор RP3 по часовой стрелке добиться, того чтобы диск реле пришёл во вращение, а зубчатый сектор вошёл в зацепление с червячной передачей. После срабатывания контакта реле тока с замедлением включится реле блокировки KL1 и двигатель отключится. Отключить SA3. Затем опыт можно повторить.

5.3. Переставить переключки в цепи питания блокировочного реле KL1 в положение, показанное пунктирными линиями. Для создания К.З. (двухфазного) необходимо разомкнуть SA3 и включить SA4 с соблюдением вышеуказанных предосторожностей. Настройка срабатывания электромагнитного элемента производится после того, как регулятором RP4 добились более быстрого вращения диска реле тока, чем при включении SA3, затем, удерживая поворотную рамку реле тока в положении, не позволяющем произвести зацепления зубчатого сектора с червячной передачей, поворотом регулировочного винта электромагнитного элемента добиться его срабатывания. Вновь блокировочное реле KL1 отключит двигатель уже без выдержки времени. Отключить SA4. Затем эксперимент можно повторить.

При желании перегрузку можно осуществить с выдержкой времени.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие виды защиты и от каких повреждений устанавливаются на электродвигателях?
2. Какие защиты на электродвигателях выполняются с выдержкой времени?
3. Каково назначение промежуточного реле в схемах защиты?
4. Каково назначение указательных реле в схемах защиты?
5. Каким образом производится выбор тока срабатывания защиты от междуфазных замыканий?





На стенде максимальная токовая защита выполняется с одной выдержкой времени.

Без выдержки времени она отключает К.З. на шинах низшего напряжения (на схеме рис. 5.1 эта цепь не показана). С выдержкой времени она работает при К.З. в трансформаторе, резервируя его дифференциальную защиту.

При срабатывании токового реле 11РТ или 12РТ замыкается цепь обмотки реле времени 15РВ. Второй контакт 15РВ2 замыкается с выдержкой времени и приводит в действие промежуточные реле 17РП и 18РП, которые включают короткозамыкатель 2КЗ. Создаётся К.З. при помощи тумблера SA11.

Сигнал о перегрузке подаётся токовым реле 10РТ, оперативная цепь которого питается от трансформатора собственных нужд. Загорается HL11.

При помощи переключателя SA12 выбирается режим работы трансформатора:

- номинальный;
- перегрузка;
- К.З.

2. Расчёт защиты силового трансформатора:

ТМЗ-6500-110/10;

$$U_k\% = 10,5;$$

$$I_{к.з}10 = 3,5 \text{ кА};$$

$$I_{к.з}110 = 2,5 \text{ кА};$$

$$S_n = 6500 \text{ кВА}.$$

2.1. Дифференциальная защита.

$I_n110$  – номинальный ток защищаемого трансформатора.

$$I_n110 = S_n / (\sqrt{3} U_n) = 6500 / (\sqrt{3} \cdot 110) = 34,12 \text{ А} \text{ – цепь высокого напряжения (ВН-110кВ).}$$

$$I_n10 = 375,28 \text{ А} \text{ – цепь низкого напряжения.}$$

Для схем соединения трансформатора тока:  $\Delta - K_{сх} = \sqrt{3}$  ;

неполная звезда –  $K_{сх} = 1$ .

$K_{тт}$  – расчётный коэффициент трансформации трансформатора тока.

$$\Delta - K_{тт} = K_{сх} \cdot I_n \mathcal{K} = \sqrt{3} \cdot 34,12/5 = 11,82; \quad - K_{тт} = 375,28/5 = 75.$$

Исходя из расчётов принимаем коэффициент трансформации:

$$\Delta - K_{тт1} = 150/5 = 30; \quad - K_{тт2} = 600/5 = 120.$$

Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности защищаемого трансформатора:

$$i_n \Delta = K_{сх} I_n / K_{тт1} = \sqrt{3} \cdot 34,12/30 = 1,97 \text{ А};$$

$$i_n = 375,28 / 120 = 2,98 \text{ А}.$$

Определение уставок и чувствительность защиты:

1) первичный ток небаланса, обусловленный погрешностью трансформатора тока при внешних К.З., приведённый к стороне с наибольшим вторичным током в плече защиты

$$I'_{н.б} = \varepsilon I_{к.з.макс} = 0,1 \cdot 3,5 = 350 \text{ А},$$

где  $\varepsilon = 0,1$  – относительное значение тока намагничивания;

2) составляющая первичного тока небаланса, обусловленная регулированием напряжения защищаемого трансформатора

$$I''_{н.б} = \Delta U I_{к.з.макс} = 0,06 \cdot 3,5 = 210 \text{ А};$$

3) первичный расчётный ток небаланса при внешнем К.З.

$$I_{н.б} = I'_{н.б} + I''_{н.б} = 350 + 210 = 560 \text{ A};$$

4) первичный ток срабатывания защиты из условия отстройки от расчётного тока небаланса при внешнем К.З.

$$I_{с.з} = K_{н} I_{н.б} = 1,5 \cdot 560 = 840 \text{ A};$$

5) первичный ток срабатывания защиты из условия отстройки от броска тока намагничивания, приведённый к стороне с наибольшим вторичным током

$$I_{с.з} = K I_{н} = 1,3 \cdot 375,28 = 487,86 \text{ A};$$

6) принят расчётный ток срабатывания

$$I_{с.з.расч} = 840 \text{ A};$$

7) расчётный ток срабатывания реле, отнесённый к стороне с наибольшим номинальным вторичным током

$$i_{ср.р} = (\sqrt{3} I_{с.з.расч}) / K_{т2} = (\sqrt{3} \cdot 840) / 120 = 12,12 \text{ A}$$

для реле РНТ 565 токи срабатывания регулируются в пределах 2,87 – 12,5А;

8) расчётное число витков в плече защиты с наибольшим вторичным током

$$W_{1расч} = F_{ср} / I_{ср.расч} = 60 / 12,12 = 4,95 \text{ витков};$$

9) принятое число витков основной стороны  $W_{р1} = 5$  витков;

10) расчётное число витков для другого плеча обмотки реле

$$W_{2расч} = W_{р1} (i_{н1} / i_{н2}) = 5 \cdot 1,97 / 2,98 = 3,3 \text{ витка};$$

11) принятое число витков другого плеча обмотки  $W_{р2} = 3$ ;

12) принятый ток срабатывания реле со стороны плеча защиты с наибольшим вторичным током

$$i_{ср1} = F_{ср} / W_{р1} = 60/5 = 12 \text{ A};$$

13) первичный ток небаланса при внешнем К.З., обусловленный округлением расчётного числа витков обмоток реле

$$I''_{н.б} = I_{к.з} (W_{2расч} - W_{р2}) / W_{2расч} = [(3,3 - 3) / 3,3] \cdot 3,5 = 318 \text{ A};$$

14) уточнённый первичный ток небаланса при внешнем К.З.

$$I_{пр.н.б} = I_{н.б} + I''_{н.б} = 560 + 318 = 878 \text{ A};$$

15) принятый первичный ток срабатывания защиты

$$I_{с.з} = (i_{ср1} K_{т2}) / \sqrt{3} = 12 \cdot 120 / \sqrt{3} = 831 \text{ A};$$

16) уточнённый коэффициент отстройки от тока небаланса при внешнем К.З.

$$K_{н.ут} = I_{с.з} / I_{н.б} = 831 / 878 = 0,95;$$

17) чувствительность защиты при минимальном токе К.З. в зоне защиты

$$K_{ч} = 0,87 I_{к.з.мах} / I_{ср} = 0,87 \cdot 3500 / 831 = 3,66 > 2.$$

2.2. Максимальная токовая защита от сверхтоков при внешних К.З.

Устанавливается на низкой стороне и отстраивается от максимальных токов нагрузки; из условия возврата реле после снижения тока до максимального тока нагрузки

$$I_{ср} = (K_{н} K_{сх} I_{н.мах}) / (K_{в} K_{т2}) = (1,2 \cdot 1 \cdot 430) / (0,85 \cdot 120) = 5 \text{ A}.$$

Коэффициент чувствительности защиты при двухфазном К.З. на стороне НН трансформатора

$$K_{ч} = (0,87 I_{к.з.10}) / (I_{ср} K_{т2}) = 0,87 \cdot 3500 / (5 \cdot 120) = 5,075 > 1,5.$$

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему рис. 5.1 без подключения нагрузки и нейтрали.
2. Установить перемычки трансформаторов тока 4ТТ так, чтобы при их сборке получился треугольник. После расчёта дифференциальной защиты и максимальной токовой защиты установить при помощи SA13:

$$I_{ср1} = 12 \text{ А};$$

$$SA14 I_{ср} = 5 \text{ А};$$

SA12 – номинальный режим работы.

После установки включить лабораторную работу:

3. Включить SA1.

4. Нажать SB5 (загорается HL10) – замкнулся выключатель В3.

5. Нажать SB4 (загорается HL8) – замкнулся выключатель В1.

Установка готова к работе.

Проверить работу защит при различных режимах работы:

SA9 – К.З. на стороне высокого напряжения (откл. без задержки);

SA10 – К.З. на стороне низкого напряжения (откл. без задержки);

SA11 – К.З. на стороне нагрузки напряжения (откл. с задержкой);

SA12 – режим нагрузки: перегрузка – вкл. индикации HL11, К.З. – откл. без задержки).

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип действия максимальной токовой защиты.
2. Объясните принцип действия дифференциальной защиты.
3. Объясните как устроено реле типа РНТ565?
4. Что называется  $K_{сх}$ ?

### Паспортные данные к лабораторной работе 3:

$N$	$R3, \text{ Ом}$	$R4, \text{ Ом}$
1	32	50
2	49	67
3	30	70

### Паспортные данные к лабораторной работе 4:

Электродвигатель –  $P_n = 1000 \text{ кВт}$ ;

$$\eta = 95,2\%;$$

$$\cos \varphi = 0,92;$$

$$I_n / I_n = 6,4;$$

$$U_n = 6 \text{ кВ};$$

$$I_{к.з} = 20 \text{ кА};$$

$$K_{тт} (\text{ТА1, ТА3}) = 80.$$

### Паспортные данные к лабораторной работе 5:

Силовой трансформатор – ТМЗ-6500-110/10;

$$U_k\% = 10,5;$$

$$I_{к.з.10} = 3,5 \text{ кА};$$

$$I_{к.з.110} = 2,5 \text{ кА};$$

$$S_n = 6500 \text{ кВА}.$$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М. : Высшая школа, 1981.
2. Чернобров, Н.В. Релейная защита. – М. : Энергия, 1974.
3. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : Изд-во НЦЭНАС, 2003.
5. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2005.