	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»	Приложение к ОПОП ВО
		Методические указания к выполнению лабораторных работ

Б1.В.10 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Направление подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки
Электроснабжение

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Уфа 2025

Рекомендовано к изданию кафедрой электроснабжения и автоматизации технологических процессов (протокол № 8 от 27 марта 2025 г.) и методической комиссией энергетического факультета (протокол № 7 от 27 марта 2025 г.)

Составитель – д-р. техн. наук, профессор Галиуллин Р.Р.

Ответственный за выпуск – заведующий кафедрой электроснабжения и автоматизации технологических процессов, канд. техн. наук, доцент Ахметшин А.Т.

г. Уфа, Башкирский ГАУ, кафедра электроснабжения и автоматизация
технологических процессов

Лабораторная работа № 1

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы. Изучение принципа действия, конструкции, схем внутренних соединений и основных характеристик электромагнитных реле переменного тока и напряжения и экспериментальное определение основных параметров реле: тока и напряжения срабатывания, погрешности срабатывания, коэффициента возврата (на примере реле тока типа РТ-40 и реле напряжения типа РН-50).

1.1 Общие сведения

Принцип действия электромагнитных реле основан на взаимодействии магнитного поля обмотки, обтекаемой током, с ферромагнитным якорем.

Конструкция электромагнитного реле тока типа РТ-40 показана на рисунке 5.1. Магнитная система реле состоит из П - образного шихтованного сердечника 1 и Г - образного якоря 2. Якорь реле удерживается в начальном положении при помощи, противодействующей спиральной пружины 8, один конец которой связан с якорем, а другой - с указателем уставки 7. На сердечнике 1 расположены две катушки, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществлять параллельное и последовательное соединение катушек реле и соответственно изменять значение уставок в 2 раза.

Цифры, нанесенные на шкале реле, соответствуют последовательному соединению обмоток.

При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток, создаваемый этим током, намагничивает подвижный якорь и он притягивается к сердечнику. При перемещении якорь поворачивает подвижную часть контактов 5 (контактный мостик), которая, соприкасаясь с неподвижной частью контактов 4 (контактные пружины), замыкает цепь.

Изменением натяжения (закручивания) пружины можно плавно изменять ток срабатывания реле. У реле РТ-40 при перемещении указателя 7 из одного крайнего положения в другое ток срабатывания изменяется в 2 раза.

Погрешность тока срабатывания не превышает $\pm 5\%$, коэффициент возврата не ниже 0,85 на первой уставке и не ниже 0,8 на остальных.

Для уменьшения вибрации контактов в конструкции реле РТ-40 предусмотрен гаситель вибрации, представляющий собой полый барабанчик с радиальными перегородками, заполненный кварцевым песком.

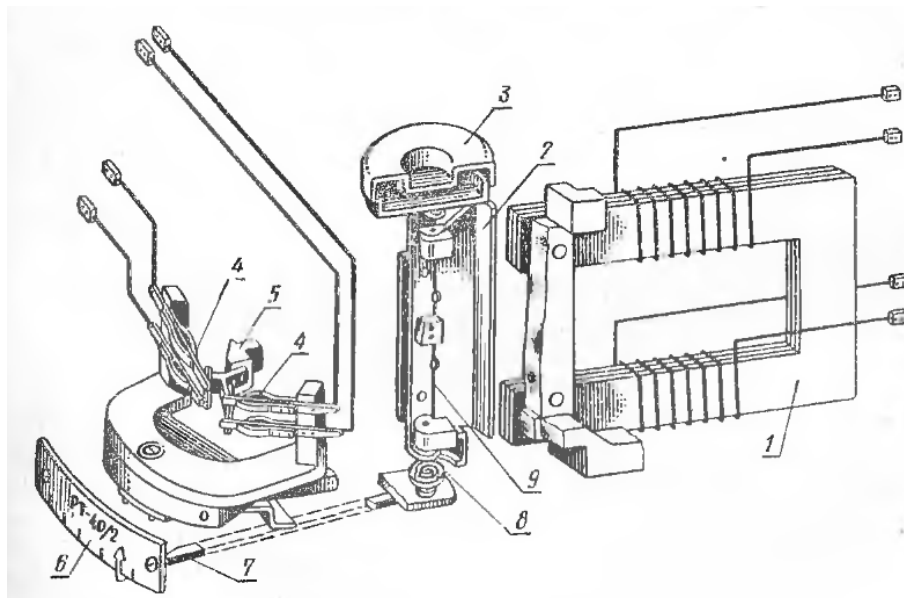


Рисунок 1.1 Электромагнитное токовое реле РТ-40:

1 - электромагнит; 2 - вращающийся якорь; 3 - гаситель колебаний; 4 - неподвижный контакт; 5 - подвижный контактный мостик; 6 - шкала уставок тока срабатывания; 7 - поводок для регулирования тока срабатывания; 8 - противодействующая пружина; 9 - ось якоря.

Схема внутренних соединений реле тока РТ-40 показана на рисунке 1.2, а.

Реле тока РТ-40 является максимальным реле. Его применяют в схемах релейной защиты и в схемах противоаварийной автоматики в качестве органа, реагирующего на повышение тока в контролируемой цепи. Реле выпускают девяти исполнений с различными диапазонами уставок, от 0,05 до 200 А. Потребляемая мощность от 0,2 до 8 ВА.

Конструкция реле напряжения РН-50 аналогична конструкции реле тока РТ-40. У реле напряжения гасителя вибрации нет. Для снижения потребляемой мощности и вибрации подвижной системы обмотка реле напряжения, состоящая из двух последовательно соединенных катушек с большим числом витков, подключается к контролируемой цепи через выпрямительный мост и добавочные резисторы R1 и R2 (рисунок 1.2, б). У реле два диапазона уставок.

В диапазоне меньших уставок обмотка реле к контролируемой цепи подключается через резистор R1, в диапазоне больших уставок - через последовательно соединенные резисторы R1 и R2. У реле на номинальное напряжение 400 В обмотка реле шунтируется конденсатором для устранения опасности пробоя диодов.

В схемах релейной защиты и автоматическое широко применяют как максимальные реле напряжения (РН-53, РН-58), так и минимальные реле напряжения (РН-54). Напряжением срабатывания минимального реле называется напряжение, при котором происходит отпускание реле и замыкание размыкающих контактов; напряжением возврата - напряжение, при котором происходит отпускание реле, якорь притягивается к сердечнику и замыкающие контакты замыкаются.

Коэффициент возврата минимального реле не более 1,25. Потребляемая мощность не превышает 5 ВА для первого диапазона и 10 ВА для второго диапазона уставок.

1.2 Описание лабораторной установки

Схема установки для испытаний реле приведена на рисунке 1.3.

Перечень оборудования, входящего в состав установки:

- амперметр Э-59 класс точности-0.5, предел-2.5, 5 А;
- вольтметр Э-59 класс точности-0.5, предел-75, 150, 300, 600 В;
- сигнальная лампа ЛС-15, 220 В;
- лабораторный автотрансформатор АОСН-8-220-8 А, предел 0-250 В;
- трансформатор ТБС-0.4, 220/24 В;
- трансформатор тока УТТ-5М, 600 А, 660 В;
- переключатель ПКП-25-2-II-I, 25 А, 380 В;
- тумблер П2Т-1;
- тумблер ТВ-1;
- тумблер ТВ-1;
- предохранитель ПР 5 А;
- электрический секундомер ПВ-53Л;
- диодный мост Д246А 10 А.

При включении тумблера SA 1 лабораторная установка получает питание, о чём свидетельствует сигнальная лампа HL 1, одновременно получает питание лабораторный регулятор напряжения (ЛАТР). Лабораторный автотрансформатор предназначен для плавного регулирования измеряемой величины. Регулирование напряжения осуществляется при перемещении скользящего контакта по виткам обмотки. При замыкании соседних витков в автотрансформаторе не происходит витковых замыканий, так как токи сети и нагрузки в совмещенной обмотке автотрансформатора настолько близки друг к другу и направлены встречно. На стержнях магнитопровода располагаются две обмотки. Выводы берутся от двух обмоток и общей точки.

После автотрансформатора напряжение поступает на пакетный переключатель SA 2, который используется в качестве группового переключателя режима работы.

В положении «0» установка для снятия токовых и напряженческих характеристик находится в обесточенном положении.

В положении «1» пакетный переключатель переводит электрическую цепь на диодный мост, что даёт возможность испытывать реле постоянным выпрямленным напряжением.

В положении «2» переключатель подаёт напряжение через Т 2 понижающий трансформатор 220/24 В на трансформатор тока ТА и даёт возможность прогружать токовые реле, а также через вторичную обмотку ТА снимать токовые характеристики испытываемых реле, через амперметр РА 1.

В положении «3» пакетный переключатель переводит электрическую цепь на выход для испытания реле переменным напряжением.

Тумблер SA 3 служит для снятия характеристик напряжения испытываемых реле, через вольтметр PV 1. В положении «0» вольтметр отключен, в положении «1» измеряется выпрямленное постоянное напряжение, в положении «2» измеряется переменное напряжение.

При включении тумблера SA 4 подаётся питание на электрический секундомер РТВ, который служит для снятия временных характеристик испытываемых реле. При срабатывании испытываемого реле катушка КА электрического секундомера шунтируется и секундомер отключается. Для того, чтобы вернуть секундомер в начальное положение, нужно нажать на флажок, располагающийся справа от секундомера.

Вывода «К и *» предназначены для снятия временных характеристик испытываемых реле.

Вывода «+ и –» предназначены для испытания реле постоянным выпрямленным напряжением.

Вывода « ~ » предназначены для испытания реле переменным напряжением до 250 В.

Вывода « 15, 50, 100 А и *» предназначены для прогрузки испытываемых токовых реле в зависимости от тока уставки.

1.3 Порядок выполнения работы

1.3.1 Изучить устройство электромагнитных реле переменного тока типа РТ-40 и реле напряжения типа РН-50 (рисунок 1.1). Записать паспортные данные реле и зарисовать схемы их внутренних соединений (рисунок 1.2);

1.3.2 Собрать схему для испытаний реле тока РТ-40/10 (рисунок 1.3).

1.3.3 Измерить токи срабатывания и токи возврата реле при разных уставках на шкале.

При измерении токов срабатывания и токов возврата реле при разных уставках на шкале следует плавно увеличить ток в обмотке реле до загорания сигнальной лампы (ток срабатывания реле), а затем снизить ток до погасания лампы (ток возврата реле). Срабатывание и возврат реле контролировать также по замыканию и размыканию контактов. Записать результаты трехкратных измерений в таблицу для максимальной, минимальной и промежуточной уставок. Определить средние значения тока срабатывания и возврата, по ним найти коэффициенты возврата и оценить погрешность срабатывания реле.

1.3.4 Собрать схему для испытаний минимального реле напряжения РН-54/320.

1.3.5 Измерить напряжения срабатывания и возврата реле при разных уставках на шкале.

При измерении напряжений срабатывания и возврата реле при разных уставках следует плавно увеличивать напряжение до погасания сигнальной лампы (напряжение возврата реле), а затем снижать до загорания лампы

(напряжение срабатывания реле), записать результаты измерений для трех уставок реле в таблицу.

5.3.6 Оценить погрешность срабатывания для реле тока и напряжения.

5.3.7 Оценить коэффициенты возврата реле тока и напряжения.

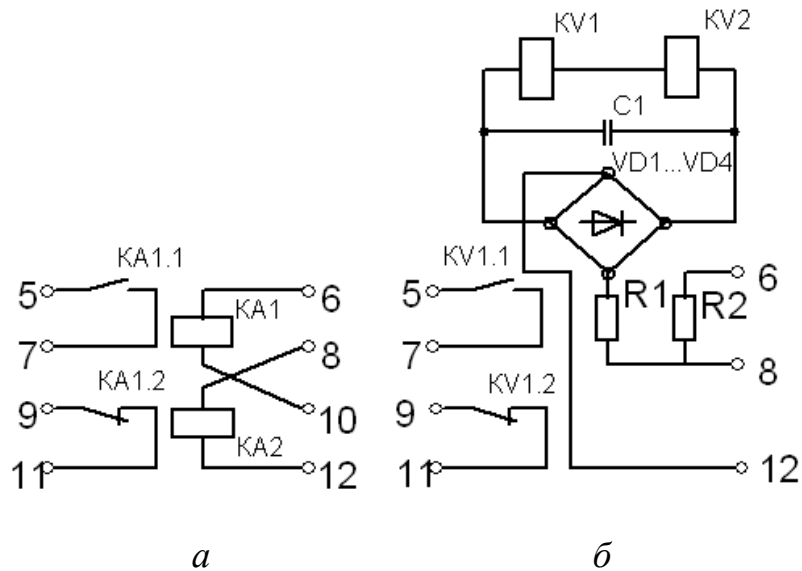


Рисунок 1.2 Схема внутренних соединений реле: а - РТ-40/10; б - РН-54/320

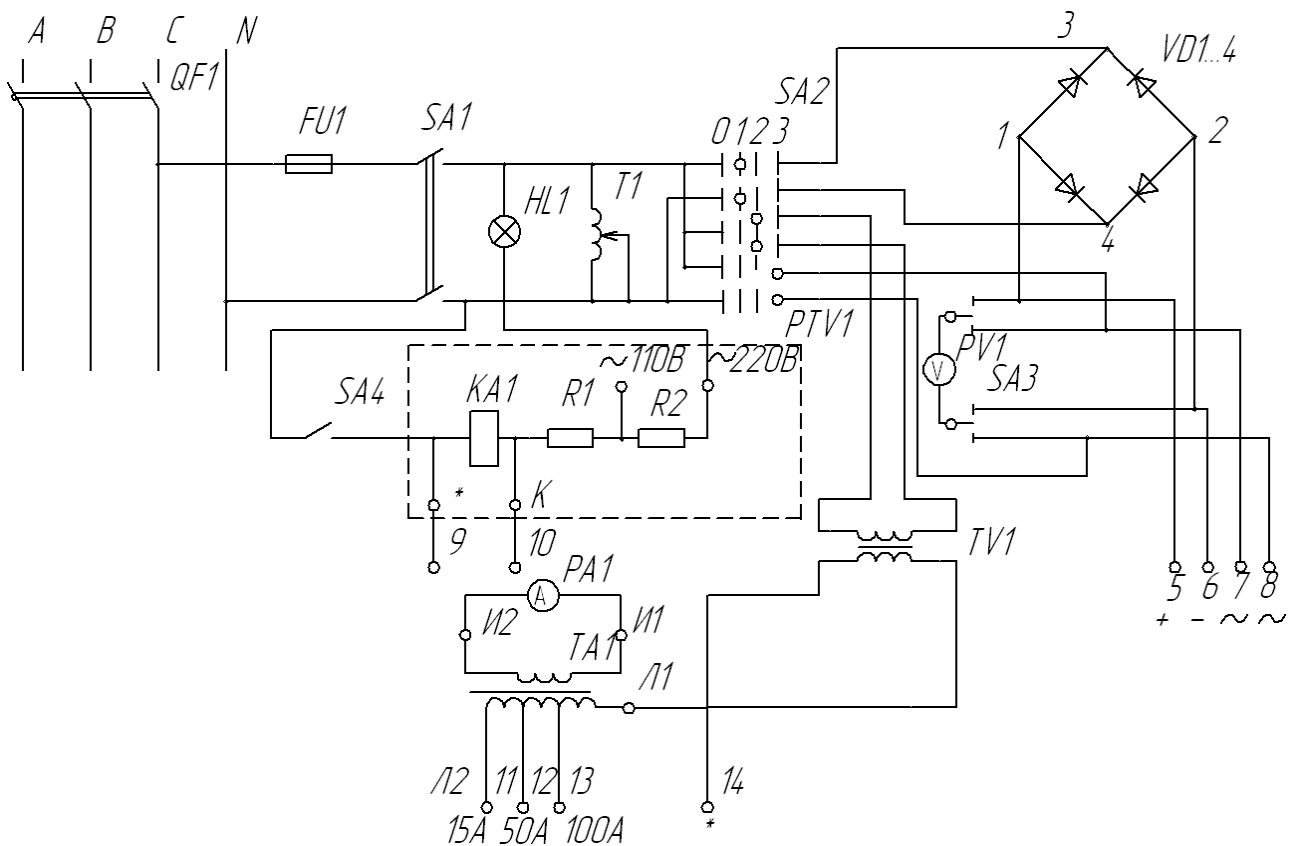


Рисунок 1.3 Схема установки для испытаний реле

Порядок подключения реле РТ-40: пакетный переключатель во втором положении. Катушку реле тока подключить к выводам * и 15 А.

Порядок подключения реле РН-50: пакетный переключатель в третьем положении, тумблер SA3 выключен. Катушку реле напряжения подключить к выводам 7 и 8.

1.4 Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) Что такое реле?
- 2) В чем состоит назначение реле?
- 3) Что называется током срабатывания и током возврата реле?
- 4) Что такое напряжение срабатывания и напряжение возврата реле минимального напряжения?
- 5) Назовите причины, вызывающие вибрацию контактов электромагнитных реле переменного тока.
- 6) Какие способы применяют для уменьшения вибрации в реле типа РТ-40 и типа РН-50?
- 7) Что такое максимальное реле и минимальное реле?
- 8) Имеются ли конструктивные отличия между максимальным и минимальным реле?
- 9) Можно ли использовать максимальное реле тока типа РТ-40 в качестве минимального реле тока?
- 10) Почему у реле тока типа РТ-40 при параллельном соединении катушек обмотки ток срабатывания увеличивается в два раза?
- 11) Как регулируется напряжение срабатывания у реле РН-50?
- 12) Что называется уставкой тока (напряжения)?
- 13) Как регулируется уставка у реле типа РТ-40?
- 14) Можно ли применять реле типа РТ-40 и типа РН-50 для контроля цепей постоянного тока? Сохраняется ли при этом уставка реле, отрегулированная для цепи переменного тока?
- 15) Что такое коэффициент возврата реле?
- 16) С помощью каких элементов регулируется уставка у реле напряжения типа РН-50?
- 17) Как осуществляется изменение пределов уставок в электромагнитном реле тока РТ-40?
- 18) С какой выдержкой времени выполняют реле минимального напряжения тип РНВ?
- 19) Где применяются токовые реле серии РТ-40?
- 20) Какие верхние пределы уставок токового реле?
- 21) Какие верхние пределы уставок у реле напряжения?
- 22) Что дает возможность последовательного и параллельного соединения обмоток токового реле?
- 23) Какие существуют схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле?

Лабораторная работа № 2

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы. Изучение принципа действия дифференциальной токовой защиты и методов расчета ее основных параметров.

2.1 Общие сведения

Дифференциальная токовая защита основана на непосредственном сравнении токов по концам защищаемого участка (продольная дифференциальная защита) или токов параллельных цепей с мало отличающимися параметрами (поперечная защита). Продольную дифференциальную защиту используют для защиты генераторов, трансформаторов, электродвигателей, линий небольшой длины, а поперечную – для защиты параллельных линий электропередач и обмоток мощных синхронных генераторов, имеющих параллельные цепи.

Рассмотрим принцип действия, выбор параметров и схемы продольной дифференциальной токовой защиты на примере защиты силовых трансформаторов (рисунок 2.1).

Для осуществления защиты на концах участка устанавливают два комплекта трансформаторов тока TA_1 и TA_{11} , вторичные обмотки которых соединяют соединительными проводами последовательно, а реле тока подключают к ним параллельно. Цепь, связывающую реле с соединительными проводами, называют дифференциальной (разностной), а каждый комплект трансформаторов тока с соответствующими соединительными проводами до места подключения реле – плечом защиты.

Трансформаторы тока защиты TA_1 и TA_{11} подбирают и соединяют так, чтобы в нормальных условиях их вторичные токи I_{2_1} и $I_{2_{11}}$ совпадали по фазе и по возможности были равны между собой.

Тогда в нормальном режиме работы, а также при внешних коротких замыканиях K_1 (вне защищаемого участка) через обмотку реле будет протекать ток, равный разности вторичных токов I_{2_1} и $I_{2_{11}}$, называемый током небаланса $I_{нб}$

$$I_p = I_{2_1} - I_{2_{11}} = I_{нб} \quad (2.1)$$

Чтобы защита при этом не сработала, ее ток срабатывания $I_{ср}$ должен быть больше тока небаланса $I_{нб}$. В идеальном случае ток в реле $I_p = 0$, а вторичные токи TA циркулируют по соединительным проводам, поэтому такую схему называют схемой с циркулирующими токами.

При коротком замыкании K_2 в защищаемой зоне и одностороннем питании через реле будет протекать ток $I_p = I_{2_1}$. Если при этом $I_p > I_{ср}$, то защита срабатывает и отключает поврежденный элемент от источника питания. При коротком замыкании в защищаемой зоне и двухстороннем питании через реле защиты протекает ток, равный $I_p = I_{2_1} + I_{2_{11}}$

Участок, ограниченный трансформаторами тока, называют зоной действия дифференциальной защиты. Благодаря тому, что дифференциальная защита не реагирует на короткие замыкания за пределами своей зоны, т. е. обладает абсолютной селективностью, она может выполняться без выдержки времени.

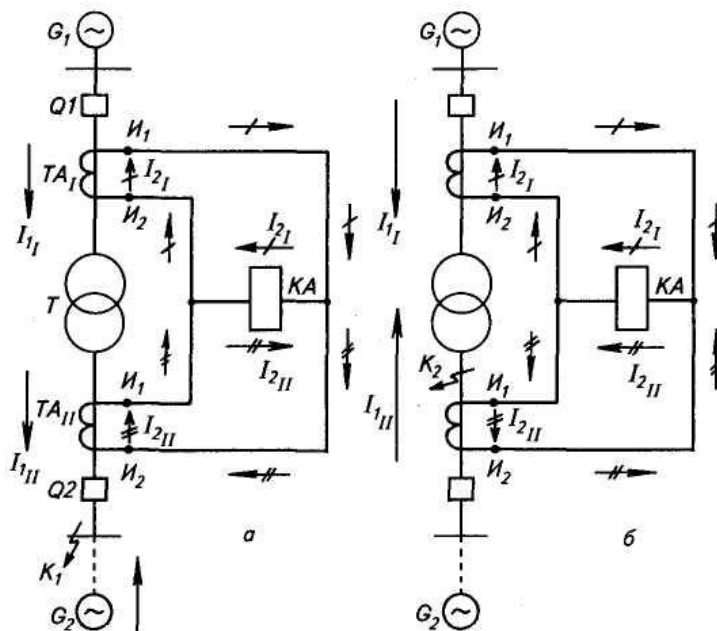


Рисунок 2.1 Принципиальная схема продольной дифференциальной защиты с циркулирующими токами: а – токораспределение при внешнем к.з.; б – токораспределение при к.з. в зоне действия защиты

Ток срабатывания дифференциальной защиты трансформатора должен определяться из условий

– отстройки от токов небаланса, обусловленных погрешностью трансформаторов тока и изменением коэффициента трансформации защищаемого трансформатора с РПН

$$I_{с.з} \geq K_H I_{нб}; \quad (2.2)$$

– отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора под напряжение

$$I_{с.з} \geq K'_H I_{НОМ.ТР}, \quad (2.3)$$

где K_H и K'_H – коэффициенты надежности и отстройки ($K_H = K'_H = 1,3$ при выполнении защиты с реле типа РНТ и $K'_H = 1,5$ – с реле типа ДЗТ);

$I_{нб}$ – расчетный ток небаланса [$I_{нб} = (0,2...0,35) I_{НОМ.ТР}$], А;

$I_{НОМ.ТР}$ – номинальный ток трансформатора со стороны питания, А.

Ток срабатывания реле защиты, приведенный к напряжению основной стороны трансформатора, определяют по выражению

$$I_{с.р.ОСН} = I_{с.з.ОСН} K_{СХ.ОСН}^{(3)} / n_{Т.ОСН}, \quad (2.4)$$

где $I_{C3.OCH}$ – наибольшее значение I_{C3} , из выражений (2.2) и (2.3), приведенное к напряжению основной стороны, А;

$n_{T.OCH}$ и $K_{CX.OCH}^{(3)}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока на основной стороне и схемы их соединения.

В качестве основной стороны трансформатора рекомендуется принимать ту, где в плече защиты протекает больший вторичный ток.

Коэффициент чувствительности защиты

$$K_{\eta} = I_{Pmin} / I_{C.P.OCH}, \quad (2.5)$$

где I_{Pmin} – расчетный ток в реле при к.з. в зоне действия защиты, А.

Для двухобмоточных трансформаторов распределительных сетей с односторонним питанием ток повреждения проходит только через трансформаторы тока питающей стороны. Тогда I_{Pmin} является приведенным значением первичного тока повреждения ко вторичной цепи трансформаторов тока питающей стороны с учетом вида к.з. и схемы соединения трансформаторов тока. Например, при двухфазном к.з. за силовым трансформатором на стороне низшего напряжения (НН) со схемой соединения обмоток Y/Δ расчетный ток в реле защиты.

$$I_{Pmin} = \frac{1,5 I_{Kmin}^{(3)} \cdot \frac{1}{K_T}}{n_{T_{BH}}}, \quad (2.6)$$

где $K_T = U_{BH} / U_{HH}$ – линейный коэффициент трансформации силового трансформатора.

Для защиты с реле типа РНТ (или ДЗТ) требуется определить также число витков обмоток быстронасыщающегося трансформатора (БНТ).

Расчетное число витков обмотки БНТ, подключаемой к трансформаторам тока основной стороны, находят так

$$W_{OCH.PACH} = F_{C.P} / I_{C.P.OCH}, \quad (2.7)$$

где $F_{C.P}$ – МДС срабатывания реле типа РНТ ($F_{C.P} = 100$ А).

Принимают ближайшее меньшее число витков $W_{OCH.PACH}$ из имеющихся на коммутаторе реле.

Расчетное число витков обмотки БНТ, подключенной на неосновной стороне трансформатора, определяют по выражению

$$W_{HEOCH.PACH} = W_{OCH.YCT} \cdot I_{2OCH} / I_{2HEOCH}, \quad (2.8)$$

где I_{2OCH} и I_{2HEOCH} – вторичные токи в плечах защиты, А.

2.2 Описание лабораторной установки

Схема электрическая соединений дифференциальной токовой защиты трансформатора приведена на рисунке 2.2. Модель содержит следующие элементы: блок линии электропередачи (А1), блок контактор (А2 и А6), блок трансформатора тока (А3 и А5), блок однофазного трансформатора (А4), блок измерения тока и времени (А7), блок однофазного источника питания (G1),

блок автоматического выключателя (A8), кнопочный пост управления (A9), блок световой сигнализации (A10), блок реле максимального тока (A11).

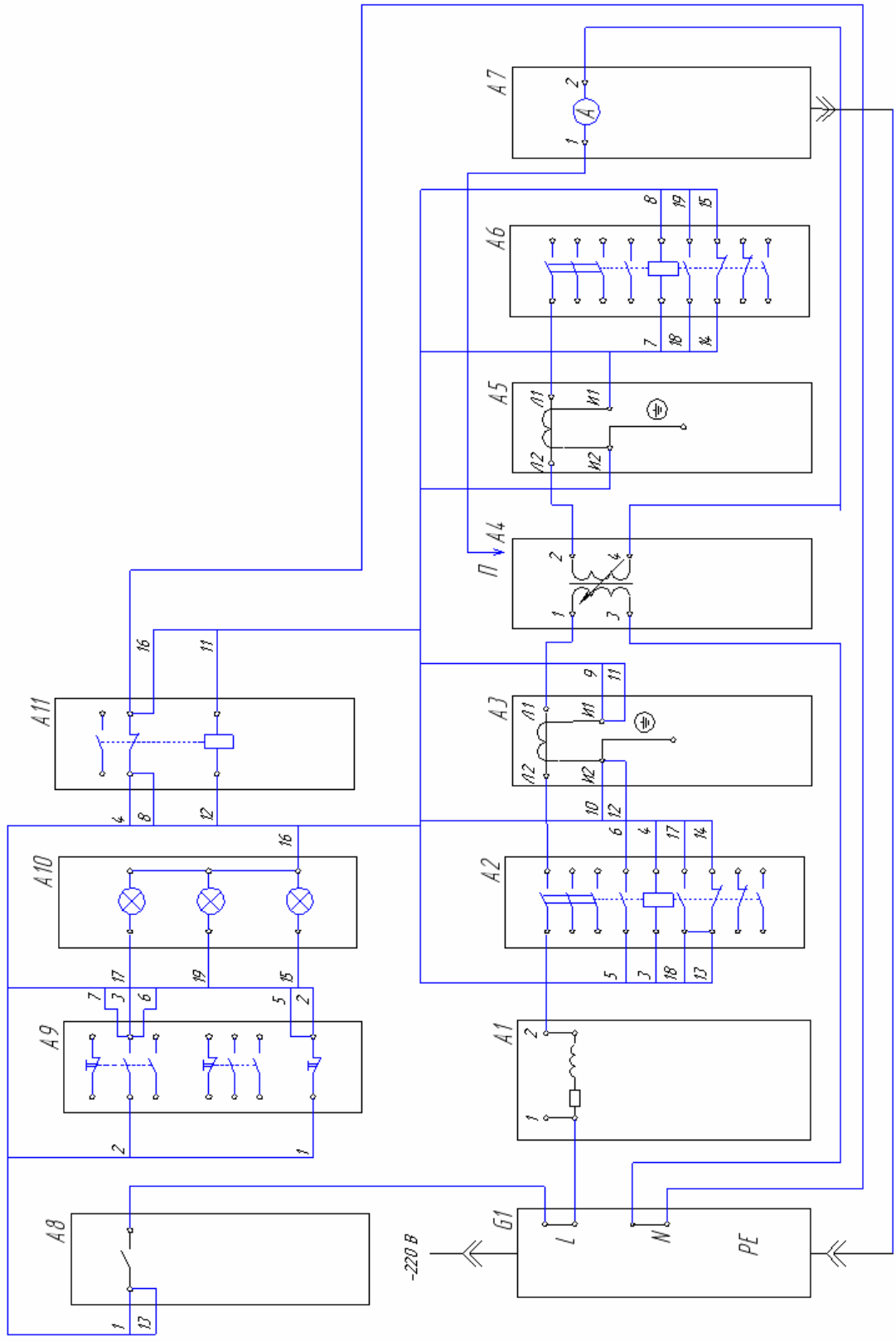


Рисунок 2.2 Схема электрическая соединений дифференциальной токовой защиты трансформатора

2.3 Порядок выполнения работы

2.3.1 Собрать схему для испытания дифференциальной токовой защиты трансформатора

2.3.2 Установить переключателем значение коэффициента трансформации блока трансформатора А4 равное 1,0.

2.3.3 Установите параметры линии электропередачи А1 50 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры модели линии электропередачи А1 равными 50 Ом и 0,1 Гн.

2.3.4 Установите ток срабатывания реле А11 равным 1,0 А.

2.3.5 Включить блок однофазного источника питания G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

2.3.6 Включить автоматический выключатель А8. В результате загорится зеленая лампа блока А10, сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.

2.3.7 Нажмите последовательно две верхние кнопки поста управления А9. В результате включатся блок контактор (А2 и А6) и на блок линии электропередачи (А1) и на блок однофазного трансформатора (А4) будет подано напряжение. Об этом будут сигнализировать загоревшиеся красные лампы в блоке А10. Зеленая лампа в блоке А10 – погаснет.

2.3.8 Смоделируйте короткое замыкание на блоке однофазного трансформатора (А4), для чего воткните проводник «П» в гнездо в блоке однофазного трансформатора (А4). В результате сработает дифференциальная защита и поврежденный трансформатор отключится от источника питания блок контактором (А2). Красные лампы в блоке световой сигнализации (А10) погаснут, а зеленая лампа загорится.

2.3.9 С блока измерения тока и времени (А7) снять показания тока короткого замыкания и время работы защиты.

2.3.10 По результатам измерений определить значения коэффициентов чувствительности защиты и сравнить с допустимыми (нормированными) значениями.

2.3.9 Коэффициенты чувствительности ДТК записать в таблицу 2.1 и сделать выводы по выполненной работе.

Таблица 2.1 Значения коэффициентов чувствительности ДТЗ

№ п/п	Расчетная точка К 3	$I_{P \min}$	Коэффициент чувствительности, K_{η}

2.4 Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) На основан принцип действия дифференциальной токовой защиты?
- 2) Для каких целей применяют продольную дифференциальную защиту?
- 3) Для каких целей применяют поперечную дифференциальную защиту?
- 4) Что такое плечо защиты?
- 5) Что такое ток небаланса?
- 6) Что называется зоной действия дифференциальной защиты?
- 7) Почему дифференциальная защита может выполняться без выдержки времени?
- 8) Из каких условий должен определяться ток срабатывания дифференциальной защиты?
- 9) Что является основным достоинством дифференциальной защиты?
- 10) Почему не допустима установка дифференциальной защиты в качестве единственной защиты?
- 11) Перечислить основные недостатки дифференциальной токовой защиты?
- 12) Как определить коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты?
- 13) Назовите минимально допустимые значения коэффициентов чувствительности для ДТЗ.
- 14) Какие мероприятия проводят для уменьшения тока небаланса?
- 15) В результате чего может возникнуть большой ток небаланса?
- 16) Как выбирается ток срабатывания дифференциальной защиты?
- 17) Какую цепь называют дифференциальной (разностной)?
- 18) Как определить расчетный ток небаланса?
- 19) Как определить линейный коэффициент трансформации силового трансформатора?
- 20) В каких случаях дифференциальная токовая защита может не сработать?

Лабораторная работа №3

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

Цель работы. Изучение методов, схемы автоматического включения резервного источника и принцип работы устройств автоматического включения резерва (АВР)

3.1 Общие сведения

Схемы электрических соединений энергосистем и отдельных электроустановок должны обеспечивать надежность электроснабжения потребителей.

В случае устойчивого повреждения (КЗ) на линиях и других элементах сети, такой элемент отключается и для восстановления электроснабжения потребителей необходимо включить резервное питание - трансформатор или генератор, резервную питающую линию или какой-либо другой резерв. Такой резерв подключается автоматическими устройствами - устройствами АВР.

Таким образом, АВР предназначено для переключения потребителей с поврежденного источника питания на резервный.

Устройства АВР классифицируют по следующим признакам:

- а) по назначению - АВР линий, трансформаторов, двигателей;
- б) по контролю напряжения на резервном источнике - без контроля напряжения и с контролем;
- в) по направлению действия - одностороннего и двухстороннего;
- г) по характеру взаимодействия - местные и сетевые.

К местным АВР относятся устройства, пусковой орган которых действует на отключение рабочего ввода, а затем на включение резервного ввода. Эти действия не выходят за пределы подстанции или распределительного пункта.

К сетевым относятся АВР, действующие на включение сетевого резервного выключателя.

На подстанциях 10 (6) кВ агропромышленных предприятий, как правило, осуществляется раздельное питание от двух источников (рисунок 3.1).

Раздельное питание позволяет снизить значения токов КЗ и применить более дешевую аппаратуру (выключатели, разъединители), упростить релейную защиту, снизить потери электроэнергии в сетях 10 (6) кВ. При отключении рабочего источника питания (например, А на рисунке 3.1) восстановление электроснабжения потребителей - нагрузки производится автоматически от резервного источника питания Б с помощью устройства АВР.

Устройство АВР (в данном случае, местное) при исчезновении напряжения на шинах подстанции действует вначале на отключение выключателя рабочего ввода Q2, после чего сразу же включается выключатель резервного ввода Q4. Местные АВР выполняются одностороннего действия (рисунок 3.1) или двухстороннего.

Успешность действия АВР составляет 90 - 95%. Простота схем и высокая эффективность обусловили широкое применение АВР на электростанциях и в электрических сетях.

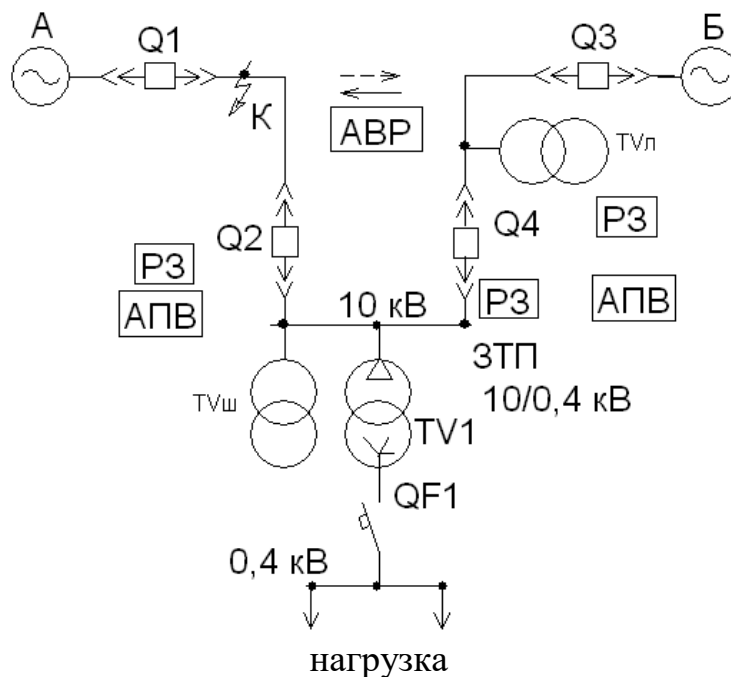


Рисунок 3.1 Схема подстанции закрытого типа ЗТП 10/0,4 кВ с устройством АВР одностороннего действия

Схемы устройств АВР должны выполняться в соответствии со следующими требованиями:

1) при отключении выключателя рабочего ввода по любой причине немедленно должен включиться выключатель резервного ввода;

2) при исчезновении напряжения со стороны рабочего источника должен срабатывать специальный пусковой орган напряжения, который при наличии напряжения на резервном источнике должен действовать с заданной выдержкой времени на отключение выключателя рабочего источника; например, при КЗ в точке К на линии рабочего питания (рисунок 3.1) отключается релейной защитой РЗ выключатель Q1, на шинах подстанции 10 кВ исчезает напряжение, работает пусковой орган напряжения, включенный на шинный трансформатор напряжения TVш, и с заданной выдержкой времени отключает выключатель рабочего ввода Q2, после чего немедленно включается выключатель резервного ввода Q4; при этом наличие напряжения на резервной линии от источника Б контролируется тем, что оперативное напряжение для отключения рабочего выключателя Q2 получается от линейного трансформатора напряжения TVл, пусковой орган напряжения не должен предусматриваться, если рабочий и резервный вводы имеют один источник питания;

3) минимальные реле напряжения пускового органа не должны срабатывать при понижениях напряжения при самозапуске электродвигателей нагрузки, поэтому их настраивают таким образом, что пуск АВР может

произойти только при глубоком снижении напряжения, ниже 0,4 номинального, при котором самозапуск невозможен;

4) действие устройства АВР должно быть однократным; в существующих схемах однократность действия обеспечивается несколькими способами: при использовании пружинных приводов - специальным контактом готовности привода, также как в схемах устройств АПВ; при установке специальных реле РПВ - с помощью предварительно заряженного конденсатора, который, разрядившись при включении выключателя, не заряжается при отключенном его положении; используются также двухпозиционные реле, которые после действия устройства АВР срабатывают и размыкают цепь включения и остаются в таком положении до прибытия дежурного персонала;

5) при выполнении устройств АВР следует проверять возможность перегрузки резервного источника питания и при необходимости выполнять для его разгрузки специальную автоматику отключения части потребителей при действии АВР;

6) при отключении рабочей линии (трансформатора) устройством автоматической частотной разгрузки АЧР вследствие общесистемного аварийного снижения частоты действие устройства АВР должно запрещаться;

7) при действии устройства АВР, когда возможно включение резервного выключателя на КЗ (на шинах резервируемой подстанции или на линии рабочего питания при отказе в отключении выключателя Q2 на рисунке 3.1), на резервном выключателе Q4 должна предусматриваться релейная защита, причем, если время действия этой защиты превышает 1 с, рекомендуется автоматически ускорять ее действие до 0,4 - 0,5 с; после восстановления нормального напряжения на рабочей линии со стороны основного источника питания должно, как правило, обеспечиваться, возможно, более полное автоматическое восстановление схемы до аварийного режима.

В качестве пускового органа, который должен обеспечивать действие устройства АВР при исчезновении напряжения основного источника используется реле минимального напряжения. В ряде случаев роль пускового органа выполняет реле времени с возвращающимся якорем (в нормальном режиме реле времени находится постоянно под напряжением и якорь притянут). Уставка срабатывания этих реле обычно выбирается из условия

$$U_{CP} = (0,25 \dots 0,4) U_{НОМ} . \quad (3.1)$$

Время срабатывания пускового органа устройства АВР ($t_{срАВР}$) выбирается из следующих условий:

а) отстройки от времени срабатывания тех защит, в зоне действия которых повреждения могут вызвать снижения напряжения ниже принятого по условию

$$t_{срАВР} \geq t_{сз} + \Delta t , \quad (3.2)$$

где $t_{сз}$ – наибольшее время срабатывания указанных защит, с;

Δt – ступень селективности, равная 0,6 с при использовании реле времени со шкалой до 9 с и 1,5 - 2,0 с со шкалой до 20 с;

б) согласования действия с другими устройствами автоматики (например, АПВ линии)

$$t_{срАВР} \geq t_{сз} + t_{АПВ} + t_{зан}, \quad (3.3)$$

где $t_{сз}$ - наибольшее время действия защиты линии, передающей энергию потребителям, для которых осуществляется АВР;

$t_{анв}$ - время цикла неуспешного АПВ этой линии;

$t_{зан}$ - запас по времени, принимаемый 2 - 3 с.

Главной особенностью сетевого АВР является то, что устройство АВР действует на включение выключателя, находящегося в отключенном положении в режиме АВР, а предварительное отключение рабочих выключателей осуществляется другими устройствами, находящимися на других подстанциях рассматриваемой сети 10 кВ.

Комплекс устройств автоматики, входящий в состав сетевого АВР, выполняет следующие задачи:

1) переключение питания сети на резервный источник при отключении рабочего - это выполняет само устройство АВР;

2) предотвращение подачи напряжения от резервного источника на поврежденный рабочий источник питания (на рабочую линию, шины, трансформатор) - эту задачу выполняют устройства делительной защиты минимального напряжения (ДМЗ), действующие перед срабатыванием сетевого АВР;

3) выполнение при необходимости автоматической перестройки релейной защиты в связи с изменением режима работы сети; это осуществляется, как правило, вводом в действие одного из двух комплектов защиты либо при изменении напряжения, либо при изменении направления мощности, либо в зависимости от направления действия пускового органа напряжения двустороннего АВР.

3.2 Описание лабораторной установки

Схема электрическая соединений модели АВР линии электропередачи приведена на рисунке 3.2. Модель содержит следующие элементы: блок автоматического выключателя (А7), кнопочный пост управления (А8), блок световой сигнализации (А9), блок реле минимального напряжения (А10), блок промежуточного реле (А11), блок однофазного источника питания (G1), блок однофазного трансформатора (А1), блок линии электропередачи (А2), блок контактор (А5 и А6)

3.3 Порядок выполнения работы

3.3.1 Собрать схему для испытаний автоматического включения резерва.

3.3.2 Установить переключателем значение коэффициента трансформации блока трансформатора А1 равное 1,0.

3.3.3 Установить напряжение срабатывания реле минимального напряжения А10 равное 200В.

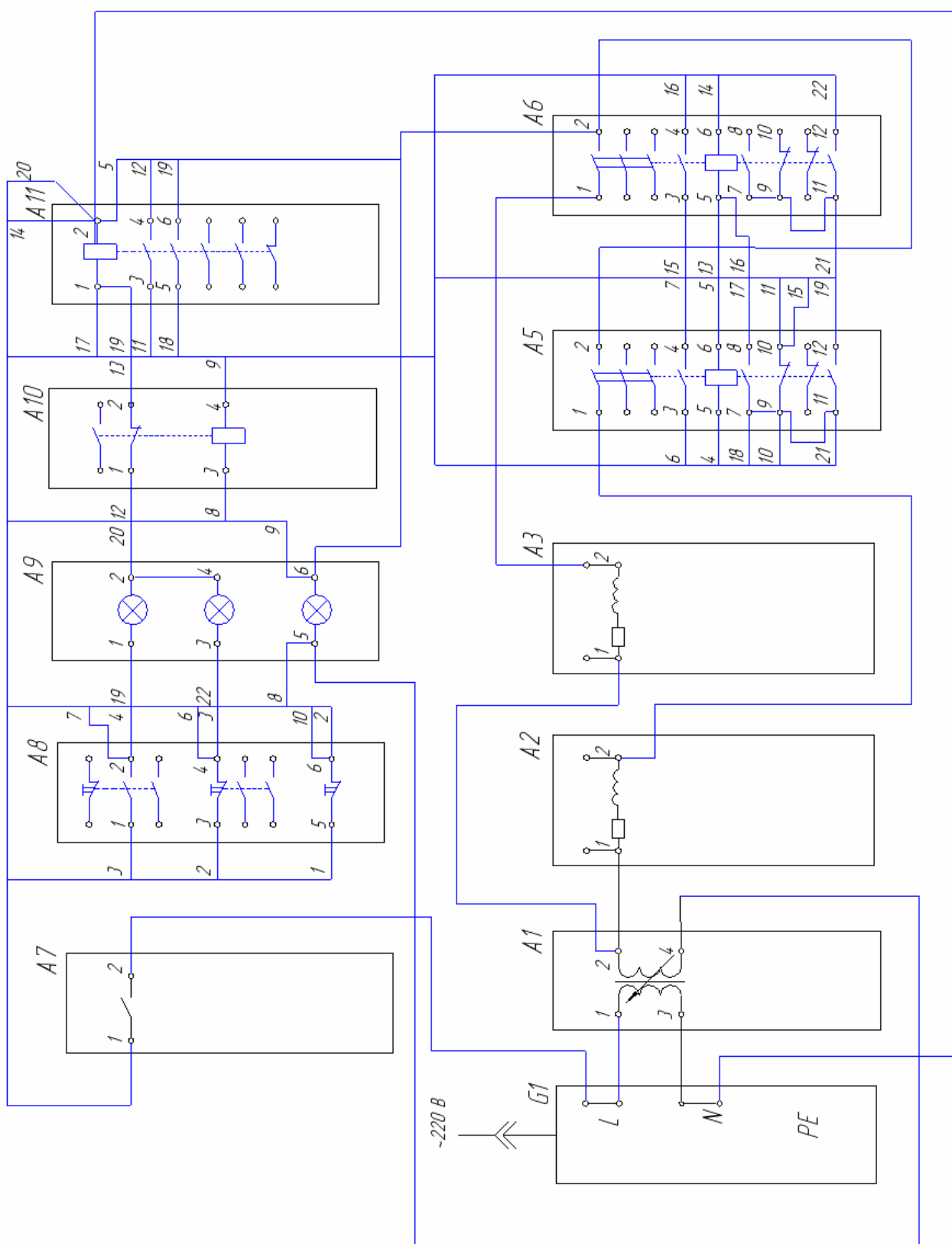


Рисунок 3.2 Схема электрических соединений модели

3.3.4 Включить блок однофазного источника питания G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

3.3.5 Включить автоматический выключатель А7.

3.3.6 Нажмите верхнюю кнопку поста управления А8. В результате включится выключатель Q1 (блок контактор А5) и загорится имитирующая нагрузку Н зеленая лампа в блоке А9 (нагрузка Н будет получать питание по линии электропередачи Л1 и сигнализировать об этом будет верхняя красная лампа в блоке А9).

3.3.7 Смоделируйте исчезновение напряжения на нагрузке Н отключением выключателя Q1 (блок контактор А4) путем нажатия второй сверху кнопки поста управления А7. В результате работы автоматики включится выключатель Q2 (блок контактор А6) и нагрузка продолжит получать питание, но уже по резервной линии электропередачи Л2 и об этом будет сигнализировать уже вторая сверху красная лампа в блоке А9.

3.3.8 Смоделируйте восстановление питания нагрузки Н по основной линии электропередачи Л1 путем нажатия верхней кнопки управления А8. В результате включится выключатель Q1 (блок контактор А5), отключится выключатель Q2 (блок контактор А6) и нагрузка Н вновь продолжит получать питание только по основной линии электропередачи Л1.

3.3.9 Кратко охарактеризовать отличие АВР от АПВ. Пояснить как осуществляется однократность действия АВР и какие факторы следует учитывать при выборе напряжения срабатывания реле минимального напряжения и времени срабатывания промежуточного реле в устройствах АВР.

3.4 Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) Чем отличается АВР от АПВ?
- 2) Какие основные требования предъявляются к устройствам АВР?
- 3) Как обеспечивается в схемах АВР однократность действия?
- 4) Как влияет мощность резервных трансформаторов и ДЭС на процесс самозапуска двигателей при действии устройств АВР?
- 5) Какие факторы необходимо учитывать при выборе напряжения срабатывания реле минимального напряжения и выдержки времени реле времени устройства АВР?
- 6) Как определяют уставки тока и времени максимальных токовых защит секционных выключателей подстанции?
- 7) Как осуществляется контроль исправности цепи включения выключателя резервного ввода питания?
- 8) В чем заключается главная особенность сетевого АВР?
- 9) Какие задачи выполняет комплекс устройств автоматики, входящих в состав сетевого АВР?
- 10) Исходя из каких условий выбирается время срабатывания пускового органа устройства АВР?

Лабораторная работа № 4

МАКСИМАЛЬНО – ТОКОВАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы. Изучение принципа работы максимальной токовой защиты и методов расчета ее основных параметров.

4.1 Общие сведения

Одним из наиболее характерных признаков возникновения короткого замыкания (КЗ), а также других нарушений нормального режима работы электроустановок является резкое увеличение тока, который становится значительно больше тока нагрузки. На использовании этого принципа основано действие максимальной токовой защиты (МТЗ), структурная схема которой приведена на рисунке 4.1.

К реле МТЗ через трансформатор тока ТА подводится ток, проходящий по защищаемому элементу. При нормальных значениях тока нагрузки защита не действует, но когда ток увеличивается и достигнет заранее установленного значения, защита сработает и отключит выключатель Q1. Значение тока, при котором происходит срабатывание защиты, называется током срабатывания защиты.

Токковые защиты широко применяются для защиты от КЗ линий, трансформаторов, генераторов и двигателей.

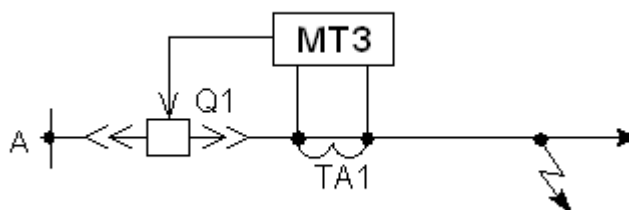


Рисунок 4.1 Структурная схема МТЗ

Схема выполнения МТЗ с выдержкой времени осуществляется обычно с использованием токовых реле типа РТ-40 в качестве пускового органа и реле времени в качестве органа выдержки времени (рисунок 4.2, а). В реле типа РТ-80 и РТВ оба органа объединены в одно реле (рисунок 4.2, б).

Наиболее распространенными схемами максимальной токовой защиты для сетей с изолированной нейтралью являются схемы МТЗ, выполненные с помощью реле тока прямого действия РТВ, которые встраиваются непосредственно в приводы выключателя. Защита такого типа широко применяется в сетях до 35 кВ включительно на выключателях, оборудованных ручными, грузовыми и пружинными автоматическими приводами с встроенными реле.

Используются схемы МТЗ с независимой характеристикой времени срабатывания на оперативном постоянном и переменном токе, включающие в себя два пусковых токовых реле мгновенного действия типа РТ-40, одно реле времени и одно указательное реле. В схеме на оперативном переменном токе кроме указанных реле используются также два промежуточных реле типа РП-341, имеющие мощные переключающие контакты для включения отключающих катушек.

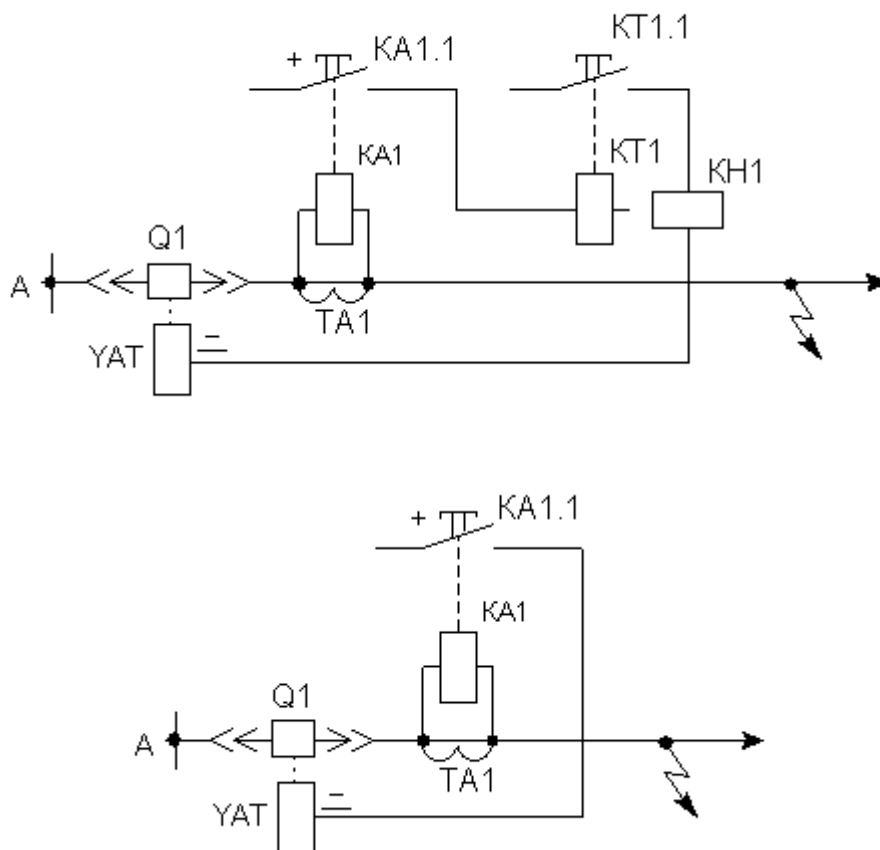


Рисунок 4.2 Схемы выполнения МТЗ: а – с использованием реле типа РТ-40 и реле времени; б – с использованием реле типа РТ-80 (или РТВ)

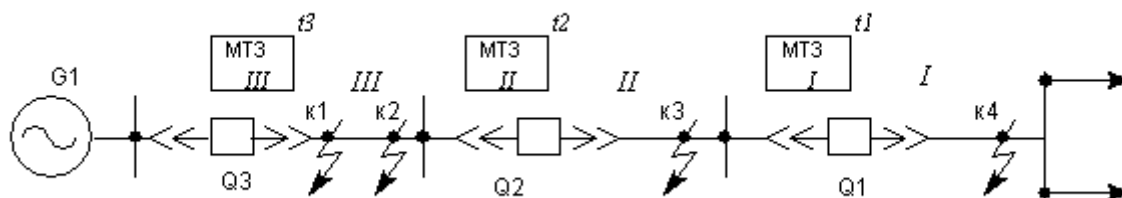
Основные параметры МТЗ:

1. Ток срабатывания пусковых токовых реле выбирается таким образом, чтобы выполнить следующие условия:
 - защита не должна приходить в действие при прохождении по защищаемому элементу максимального тока нагрузки;
 - защита должна надежно действовать при КЗ на защищаемом участке и иметь коэффициент чувствительности K_q не менее 1,5;
 - защита, как правило, должна действовать и при КЗ на смежном (резервируемом) участке и иметь коэффициент чувствительности в конце этого участка не менее 1,2.

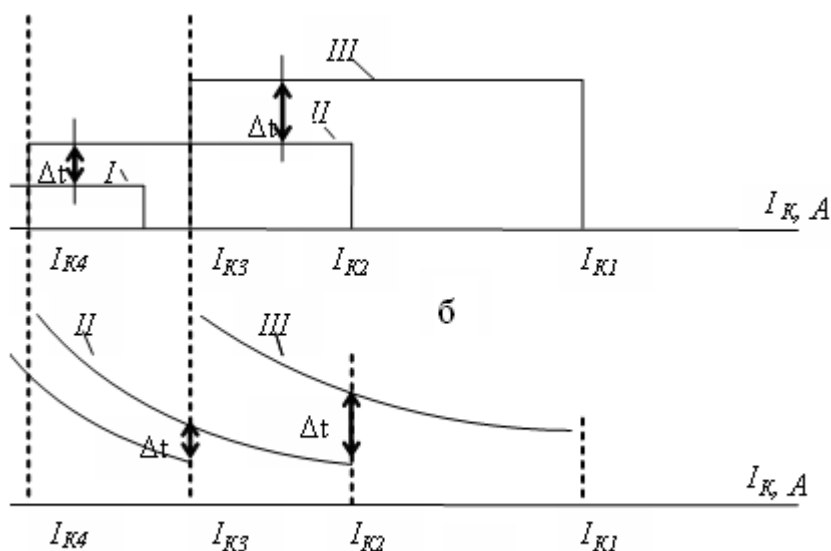
2. Выдержка времени защиты $t_{с.з.}$ выбирается по ступенчатому принципу, который заключается в том, что каждая последующая защита в направлении от потребителей электроэнергии к источнику питания имеет выдержку времени на ступень больше предыдущей. Ступень выдержки времени селективности M должна быть такой, чтобы успела сработать защита и отключиться выключатель на поврежденном участке, прежде чем истечет выдержка времени защиты на следующем неповрежденном участке.

Максимальные токовые защиты обладают относительной селективностью и могут приходить в действие при внешних КЗ, резервируя предыдущие защиты. Поэтому для каждой защиты выявляют основную зону действия и зону резервирования.

Работа МТЗ в радиальной сети с односторонним питанием показана на рисунке 4.3, а. Например, для МТЗ второго участка линии (II) основная зона – от Q2 до Q1, короткие замыкания на участке 1 входят в зону ее резервирования.



а



б

Рисунок 4.3 Схема размещения МТЗ в радиальной сети с односторонним питанием: а – к понятию работы МТЗ; б – согласование защит с независимыми характеристиками; в – согласование защит с независимыми характеристиками

Время срабатывания защиты от момента возникновения сверхтока до воздействия на выключатель называется выдержкой времени. В схеме (рисунок 4.3) наименьшую выдержку времени t_1 должна иметь защита МТЗІ, большую на Δt имеет защита МТЗІІ – t_2 и еще большую на Δt защита МТЗІІІ – t_3 . При такой настройке выдержки времени электросети при возникновении КЗ в точке К₄ запустятся все защиты, но первой сработает защита МТЗІ и отключит выключатель Q1. После этого прохождение тока КЗ прекратится и защиты МТЗІІ и МТЗІІІ вернуться в исходное положение до того, как истечет установленная на них выдержка времени. В результате ликвидации аварии будет отключен только поврежденный участок І, а неповрежденные участки ІІ и ІІІ останутся в работе.

Ток срабатывания МТЗ определяют из условия

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot K_{сзн}}{K_B} \cdot I_{p \max}, \quad (4.1)$$

где K_H – коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле (для реле РТ-40 и РТ-80 $K_H = 1,2$);

$K_{сзн}$ – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока нагрузки в результате самозапуска электродвигателей ($K_{сзн} = 1,2 \dots 1,3$ для линий 10 кВ);

K_B – коэффициент возврата реле (для реле РТ - 40 и РТ - 80 $K_B = 0,8 \dots 0,85$);

$I_{p \max}$ – максимальный ток защищаемого элемента.

Для обеспечения селективного действия последовательно установленной защиты требуется, чтобы ток срабатывания каждой последующей защиты увеличивался по мере приближения к источнику. Для рассматриваемой схемы

$$I_{сзІІІ} > I_{сзІІ} > I_{сзІ}; \quad (4.2)$$

$$I_{сзн} > I_{сз(n-1)}. \quad (4.3)$$

Для участков линий с учетом тока нагрузки (рабочего тока)

$$I_{сзн} = K_{нс} [I_{сз(n-1)} + (I_{p(n)} - I_{p(n-1)})], \quad (4.4)$$

где $K_{нс}$ – коэффициент надежности согласования смежных защит:

– для реле РТ-40 $K_{нс} = 1,2$;

– для реле РТ –80 $K_{нс} = 1,3$;

$I_{p(n)}$, $I_{p(n-1)}$ – рабочие токи нагрузки нормального режима соответственно последующего и предыдущего участков линии.

Для защит, установленных на пунктах автоматического секционирования и резервирования, допускается принимать

$$I_{сзн} = 1,1 I_{сз(n-1)}. \quad (4.5)$$

Ток срабатывания реле определяют по формуле

$$I_{cp} = \frac{I_{cз} \cdot K_{cx}^3}{n_{mm}}, \quad (4.6)$$

где K_{cx}^3 – коэффициент схемы при симметричном режиме, равный 1 при соединении трансформаторов тока в полную и неполную звезду при включении реле на разность токов двух фаз А и С $K_{cx}^3 = \sqrt{3}$; $K_{cx}^2(AC)=2$; $K_{cx}^2(AB, BC)=1$;

n_{mm} – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Ток уставки реле

$$I_y \geq I_{cp}. \quad (4.7)$$

Чувствительность МТЗ

$$K_u = \frac{I_{k \min}}{I_{cз}}, \quad (4.8)$$

где $I_{k \min}$ – минимальное значение тока КЗ (в конце защищаемого участка или в конце зоны резервирования) при двухфазном КЗ:

$$I_{k \min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k \max}. \quad (4.9)$$

$I_{k \max}$ – определяется по приборам при имитации КЗ;

Максимальное значение тока срабатывания защиты можно определить из условий обеспечения нормируемой чувствительности:

$$I_{cз} = \frac{I_{kз \min}}{K_{чдоп}}, \quad (4.10)$$

где $K_{ч.доп}$ – допустимое значение коэффициента чувствительности защиты.

Нормируемое значение для основной зоны $K_{ч.доп} = 1,5$, для зоны резервирования $K_{ч.доп} > 1,2$. Если по расчету $K_{ч} < K_{ч.доп}$, то необходимо повысить чувствительность, изменив схему МТЗ, или заменить ее на более совершенную защиту, или уменьшить основную зону защиты за счет установки на линии секционирующего выключателя с защитой.

Выдержка времени МТЗ согласно ступенчатому принципу

$$t_{cз} = t_{n-1max} + \Delta t_n, \quad (4.11)$$

При этом выдержку времени каждой последующей защиты увеличивают на Δt по уравнению с предыдущей.

Степень селективности Δt складывается из времени отключения выключателя предыдущей $n-1$ защиты $t_b = 0,15...0,3$ с, положительной погрешности в выдержке времени этой защиты $t_{ep}(+)$, отрицательной погрешности $t_{ep}(-)$, погрешности из-за инерции индукционного элемента $t_{ин}$ (для РТ - 80), времени запаса $t_{зан}$:

$$\Delta t = t_{\epsilon} + t_{ep(+)} + t_{ep(-)} + t_{ин} + t_{зан}. \quad (4.12)$$

Для МТЗ, выполненной на базе реле типа РТ - 40 и РТ - 80 $\Delta t = 0,5...0,6$ с.

4.2 Описание лабораторной установки

Схема электрическая соединений модели максимально – токовой защиты приведена на рисунке 4.4. Модель содержит следующие элементы: блок трансформатора (A1), блок автоматического выключателя (A2), блок линии электропередачи (A3 и A4), блок измерителя тока и времени (A5), блок однофазного источника питания (G1).

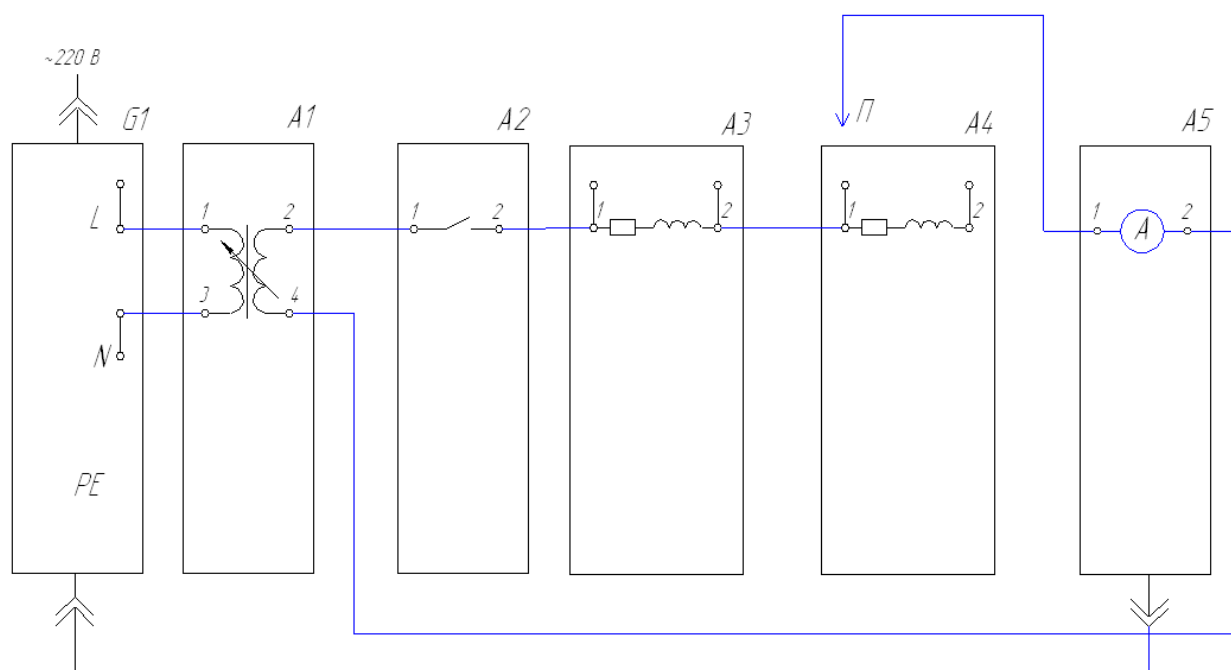


Рисунок 4.4 Схема электрическая соединений модели

4.3 Порядок выполнения работы

4.4.1 Собрать схему для испытания максимальной токовой защиты.

4.4.2 Установить переключателем значение коэффициента трансформации блока трансформатора A1 равное 1,0.

4.4.3 Установите параметры линии электропередачи A3 и A4 соответственно 100 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи A3 и A4 равными 50 Ом и 0,1 Гн.

4.4.4 Включить блок однофазного источника питания G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

4.4.5 Включить автоматический выключатель A2

4.4.6 Смоделировать короткое замыкание на линии электропередачи A3 и A4. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий A3 и A4. В результате сработает электромагнитный или тепловой расцепитель

автоматического выключателя А2 и поврежденная линия (модели линий А3 и А4) отключится им от источника питания.

4.4.7 Выньте проводник «П» из гнезда.

4.4.8 По результатам измерений определить значения коэффициентов чувствительности защиты и сравнить с допустимыми (нормированными) значениями.

4.4.9 Коэффициенты чувствительности МТЗ записать в таблицу 4.1 и сделать выводы по выполненной работе.

Таблица 4.1 Значения коэффициентов чувствительности МТЗ

Номер участка	Расчетная точка КЗ	I_{kmin}	Коэффициент чувствительности, К МТЗ
I			
II			

4.4 Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) Как достигается селективность МТЗ?
- 2) Как работает МТЗ на параллельно включенных силовых трансформаторах при повреждении в одном из них?
- 3) Запишите выражения для токов срабатывания МТЗ и объясните какие коэффициенты определяются качеством токовых реле.
- 4) Что учитывает коэффициент надежности?
- 5) Чем определяется коэффициент самозапуска и каково его наибольшее значение?
- 6) Как влияет график загрузки силового трансформатора на ток срабатывания его защиты?
- 7) Назовите минимально допустимые значения коэффициентов чувствительности для МТЗ.
- 8) Поясните разницу в выборе расчетных режимов системы и точек КЗ для определения коэффициента чувствительности.
- 9) Почему схема включения реле на разность токов двух фаз имеет меньшую чувствительность по сравнению с другими схемами?
- 10) При каких двухфазных КЗ проверяется коэффициент чувствительности в схеме включения реле на разность токов двух фаз?
- 11) Сколько реле типа РТ-90 необходимо для выполнения МТЗ силового трансформатора?
- 12) Поясните ступенчатый принцип выбора выдержек времени и объясните, почему на ступень оказывают влияние типы используемых реле, выключателей и приводов к ним.
- 13) Запишите выражения для токов срабатывания МТЗ и объясните какие коэффициенты определяются качеством токовых реле.
- 14) Чем определяется коэффициент самозапуска и каково его наибольшее значение?

15) Как влияет график загрузки силового трансформатора на ток срабатывания его защиты?

16) Назовите минимально допустимые значения коэффициентов чувствительности для МТЗ.

17) Поясните разницу в выборе расчетных режимов системы и точек КЗ для определения коэффициента чувствительности.

18) Почему схема включения реле на разность токов двух фаз имеет меньшую чувствительность по сравнению с другими схемами?

Лабораторная работа № 5

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННОГО МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ТЕРМИНАЛА СИРИУС-2М

Цель работы: практическое закрепление знаний, полученных во время лекционных занятий будущими специалистами в области релейной защиты.

5.1 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя микропроцессорную систему релейной защиты и элементы управления, смонтированные в щит с монтажной панелью ЩМП-08 и высоковольтный выключатель. Общий вид установки представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 Общий вид лабораторной установки на базе микропроцессорного устройства «Сириус-2-М»

Схема оперативных цепей, размещенная внутри щита, включает в себя: источник выпрямленного тока с номинальным напряжением 220В, контактные и оптронные элементы устройства «Сириус-2-М», кнопки управления и имитации проверяемых режимов защит, сигнальные лампы, промежуточные реле, и органы управления высоковольтного вакуумного

Элементы цепей органов управления высоковольтного вакуумного

выключателя, установленные в приводе ВБТЭ-М-10-20, представлены на рисунке 5.3.

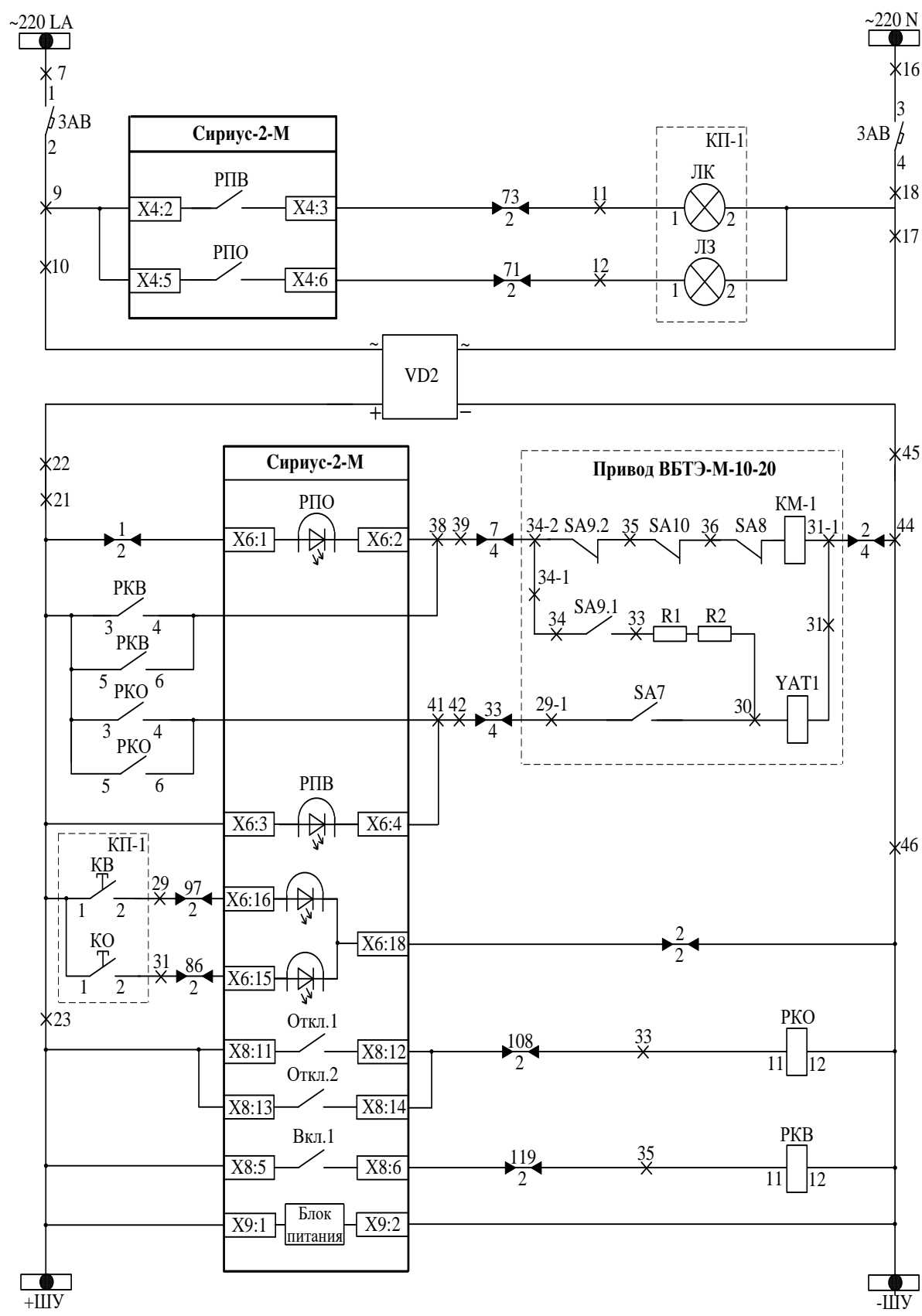


Рисунок 5.2 Схема оперативных цепей управления

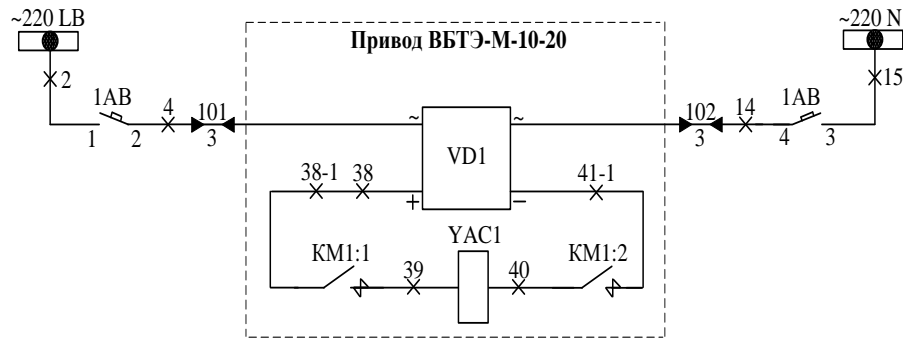


Рисунок 5.3 Схема питания электромагнита выключателя

Схема питания соленоида включения YAC1 выполнена отдельно, что позволяет устранить влияние перенапряжения на питании устройства «Сириус-2-М» в момент включения выключателя.

Для имитаций аварийных и ненормальных режимов собрана схема. Она представлена на рисунке 5.4.

В своем составе схема имитации режимов имеет следующие отдельные элементы:

1) АТР-1 – лабораторный автотрансформатор мощностью $S=1\text{kVA}$, при напряжении 250В, предназначенный для регулирования и плавной подачи переменного тока в цепи токовых защит.

2) R - реостат РСП-4 с длительно допустимым током 4,4А, предназначенный для регулирования диапазона тока и плавной его подачи во всех испытательных режимах проверки защит.

3) А - амперметр с классом точности 1,5, предназначенный для физического измерения тока, проверяемой токовой защиты.

4) Q - контакт высоковольтного выключателя, предназначенный для имитации, импульсного экспериментального режима.

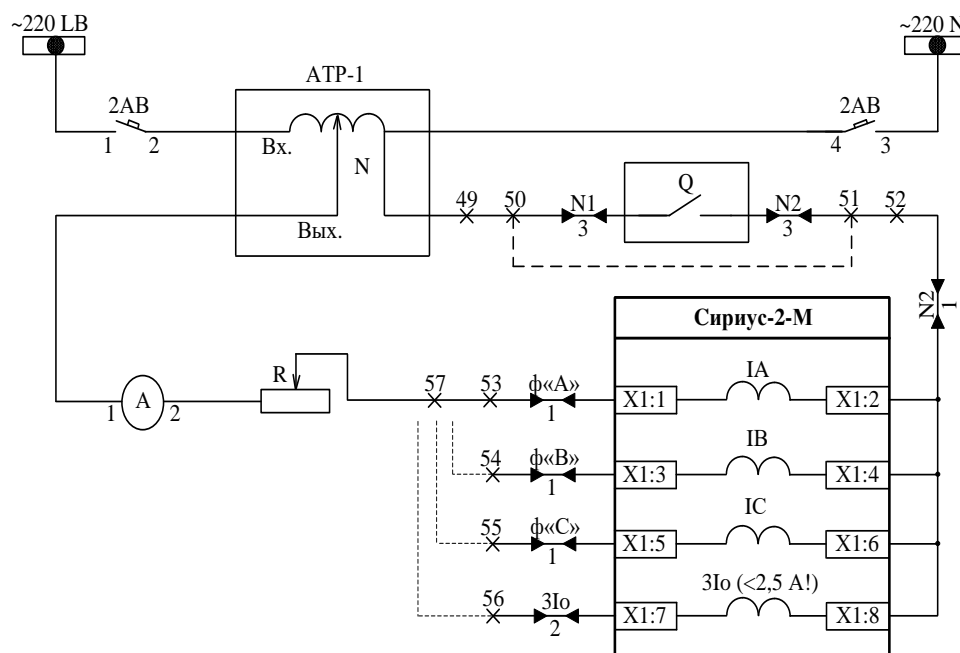


Рисунок 5.4 Схема электрических соединений имитатора

5.2 Порядок выполнения работы

Лабораторная установка включается в строго определенной последовательности:

- 1) Включить автоматические выключатели 4AB, 5AB (в распределительном щитке).
- 2) Включить автоматический выключатель 3AB «Оперативное питание» (рисунок 2);
- 3) После появления питания на панели терминала «Сириус-2-М», включить автоматический выключатель 1AB «Питание соленоида включения» (рисунок 3);
- 4) Выставить необходимые параметры АТР-1 и R (рисунок 5.4).

Внимание! Проверочный ток, длительно подаваемый на вход клеммы 56 «3Ю» устройства, не должен превышать 2,5 А.

Для изменения уставок защит или считывания данных с устройства необходимо войти в главное меню.

Главное меню устройства содержит следующие компоненты: «Срабатывание», «Контроль», «Уставки», «Настройки».

В подменю «Срабатывание» отображаются все последние 9 срабатываний, далее в параметрах выбранного срабатывания фиксируются:

- вид сработавшей защиты;
- внешнее отключение или команда;
- время срабатывания защиты;
- значений параметров тока и напряжения в момент срабатывания;
- определение места повреждения.

В подменю «Контроль» отображаются текущие значения амплитуд и векторов трехфазной симметрии тока и напряжения фазных, линейных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей.

В подменю «Уставки» отображаются уставки первой и второй группы защит, автоматики и управления.

Для того чтоб изменить уставку защит, автоматики, управления нужно ввести пароль в подменю «Уставки» далее «Общие уставки», «Пароль». **Пароль соответствует четырем последним цифрам заводского номера устройства.** Далее при необходимости изменяют уставки и нажимают кнопку ввод.

Подменю «Настройки» отображаются дата, время, уставки и параметры устройства связи.

5.3 Проверка максимальной токовой защиты

Для проверки максимальной токовой защиты (далее МТЗ) необходимо:

- 1) Выбрать режим токовых цепей проверки защит.

Для этого:

- при наличии перемычки между клеммами 50-51 снять ее.
- установить перемычку между клеммами 57-53 – проверка защит по

входному аналоговому сигналу фазы «А».

2) Выписать уставки защит (через меню «уставки») устройства:

- МТЗ-1 $I=5\text{A}$, $T=0\text{ сек.}$, действие на отключение, АПВ отключено.

- МТЗ-2 $I=2\text{A}$, $T=3\text{ сек.}$ /Тускор.=0,5 сек, действие на отключение

- АПВ включено.

- МТЗ-3 $I=1,3\text{A}$, $T=9\text{ сек.}$, действие на сигнал (перегрузку).

3) Включить высоковольтный выключатель, нажав на кнопку КВ. Первые 15 сек. от момента включения АПВ оказывается блокированным.

4) После включения, необходимо нажать на кнопку сброс, установленной на лицевой части устройства.

5) Задать ток 1,5А по амперметру и сверить цифровое значение показания тока I_a на устройстве. Вторичный /первичный ток с учетом выставленного коэффициента трансформации трансформаторов тока равному 120 составляет $I_a=1,5\text{A} /0,180\text{kA}$, т.е первичный ток= $1,5 \cdot 120=180\text{A}=0,180\text{kA}$.

При значениях тока равному или выше тока уставки и после истечения выдержки времени $T=9\text{ сек.}$, срабатывает МТЗ-3 и на дисплее отображается «Перегрузка».

Аналогично МТЗ-3 проверяется МТЗ-2, МТЗ-1 только с действием на отключение выключателя.

5.4 Проверка логической защиты шин

Логическая защита шин (ЛЗШ) предназначена для быстрого отключения короткого замыкания на шинах. Здесь ликвидация аварийного режима происходит практически мгновенно с наименьшими последствиями аварии.

Для пояснения принципа логической защиты шин представлен рисунок 5.5.

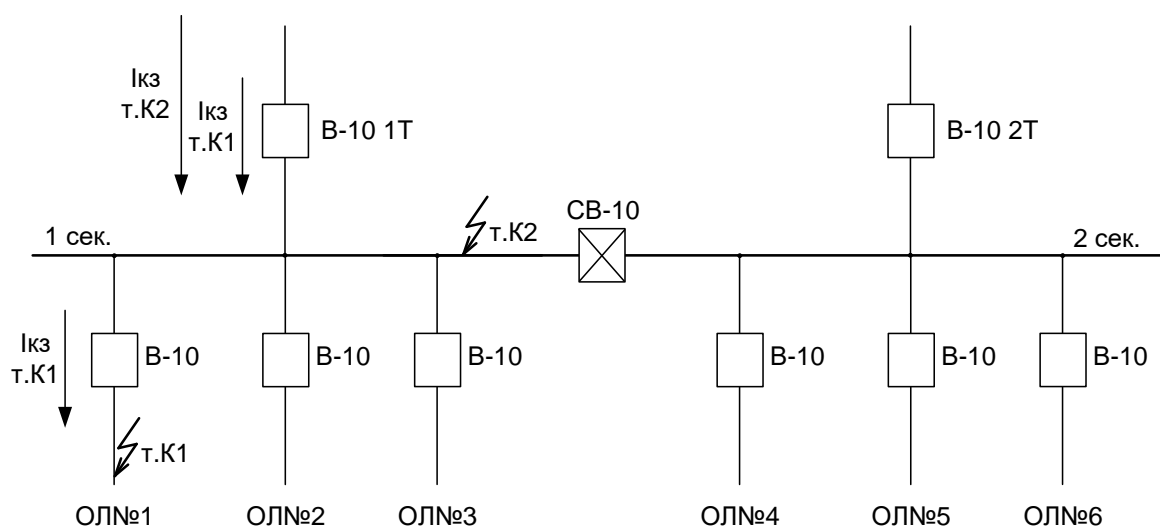


Рисунок 5.5 Первичная схема распределительного устройства с двумя рабочими секциями шин 10кВ

При коротком замыкании на отходящей линии ОЛ№1 в точке К1 срабатывает одна из ступеней МТЗ на устройстве В-10 ОЛ№1, и отправляет блокирующие импульсы действия ЛЗШ на В-10 1Т и СВ-10, а устройства В-10

1Т и СВ-10 воспринимают что короткое замыкание произошло не на шинах. При коротком замыкании на шинах первой секции в точке К2 не на одном устройстве защит присоединении (отходящих линий) не запустятся защиты и блокирующих импульсов действия ЛЗШ не будет, при этом произойдет быстрое отключение ввода В-10 1Т или СВ-10 в зависимости от режима работы включаются оба вводных выключателей и отключается секционный выключатель.

Следует отметить, что ЛЗШ работает правильно только в случае работы отходящих линии в «тупиковом режиме» т.е. с одним источником питания.

Имитация срабатывания логической защиты шин.

1. Выписать с устройства уставки ЛЗШ. $I=4A$, $T=0,5с$.

2. Увеличить время МТЗ-2 до 10сек. Далее включить выключатель нажатием на кнопку КВ. Сделать сброс кнопкой сброс на лицевой части устройства.

2. Нажать и удерживать кнопку К2 срабатывания сигнализации неисправности цепей ЛЗШ.

3. Сделать сброс кнопкой сброс на лицевой части устройства. Нажать и удерживать кнопку К2 и сразу подать ток 4...4,5 А, при этом имитируется режим короткого замыкания «на одной из отходящих линий», ЛЗШ не срабатывает. Снять ток до нулевого значения, чтоб прекратился отсчет времени МТЗ-2 и отжать кнопку К2.

4. Нажать и удерживая кнопку К2 подать ток 4...4,5 А. После отжатия кнопки К2 имитируется режим короткого замыкания «на шинах одной из секции», с выдержкой времени равной 0,5 сек, срабатывает ЛЗШ и отключает выключатель.

5. На ЖК индикаторе высвечивается надпись о срабатывании ЛЗШ.

5.5 Проверка защиты от дуговых замыканий

Дуговая защита работает по факту появления свечения дугообразного короткого замыкания. Такая защита актуальна при коротких замыканий на шинах распределительных устройств. Датчиком, фиксирующим факт образования свечения является фото тиристор.

Для увеличения надежности и отстройки от ложных срабатываний, защита может работать по дополнительному контролю тока или напряжения с помощью уставки.

Имитация срабатывания защиты от дуговых замыканий.

1. Выписать с устройства уставки дуговой защиты:

- действие – защита (на отключение выключателя);
- контроль по I – вкл.;
- контроль по U – откл.;
- блокировка – откл.

2. Увеличить время МТЗ-2 с запасом до 10сек.

3. Нажать на кнопку КВ и сделать сброс кнопкой сброс на лицевой части устройства.

4. Подать ток 2... 3А и нажать на кнопку КЗ, при этом имитируется срабатывание фото тиристора. Срабатывает дуговая защита и отключает выключатель.

5. На ЖК индикаторе высвечивается надпись о срабатывании дуговой защиты.

5.6 Проверка защиты минимального напряжения

Защита минимального напряжения работает при исчезновении или снижении напряжения ниже уставки, трех фазного напряжения 100 В от измерительного трансформатора напряжения, установленного на шинах распределительного устройства. ЗМН предназначена в частности для автоматического включения резерва АВР. При исчезновении или снижении на шинах одной из секции срабатывает ЗМН отключает вводной выключатель. При наличии напряжения на не поврежденной секции срабатывает АВР включает секционный выключатель. При восстановлении напряжения на измерительном трансформаторе установленного до вводной ячейки той секции, где сработала ЗМН срабатывает ВНР восстановления нормального режима, т.е. включается отключенный вводной выключатель и отключается секционный выключатель.

Имитация срабатывания защиты минимального напряжения

Для проверки работы ЗМН необходимо трех фазный регулятор подачи напряжения с максимальным симметричным линейным напряжением 100В. ЗМН срабатывает при снижении или исчезновении напряжении трех фаз одновременно меньше уставки, для исключения ложного срабатывания с контролем блок - контакта автоматического выключателя питания 100В «звезды» измерительного трансформатора. За исключением такого регулятора проверка ЗМН осуществляется только имитацией срабатывания блок – контакта выше указанного автоматического выключателя. Защита минимального напряжения срабатывает при понижении сразу всех трех линейными напряжениями ниже порога, задаваемого уставкой UЗМН. ЗМН может быть отключена уставкой «Функция ЗМН».

ЗМН имеет одноступенчатую независимую характеристику с одной выдержкой времени.

1) Включить выключатель, нажав на кнопку КВ. Сделать сброс кнопкой сброс на лицевой части устройства;

2) Нажать на кнопку К4, при этом деблокируется ЗМН и отключает выключатель, т.к. напряжение 100 В полностью отсутствует на измерительных входах напряжения устройства.

3) На ЖК индикаторе высветится надпись о срабатывании ЗМН.

5.7 Проверка защиты от замыкания на землю

Однофазное замыкание на землю является преобладающим видом

повреждения в сетях напряжением 6-10кВ (75 – 90% общего числа электрических повреждений) и часто являются первопричиной аварии, сопровождающихся значительным экономическим ущербом.

В отличие от разновидностей коротких замыканий (трехфазное, двухфазное и т.д.) разновидности ОЗЗ существенно отличаются по форме и значениям электрических величин, подводимых к измерительным органам защиты от этого вида повреждений. При замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью величина фазного напряжения на поврежденной фазе падает, а в двух не поврежденных фазах увеличивается. Таким образом сохраняя за счет смещения нейтрали все линейные напряжения сохраняются, а значит не требуют немедленного отключения выключателя, в редких случаях действуют на отключение.

Порядок выполнения:

Перемычкой между клеммами 57-56 – проверка защит по входному аналоговому сигналу.

Внимание! Проверочный ток длительно подаваемый на вход клеммы 56 устройства, не должен превышать 2,5 А.

Подаем ток и отсчитываем время срабатывания. На ЖК экране высвечивается надпись «Земля».

Составить отчет о проделанной работе, сделать выводы и ответить на вопросы.

5.8 Вопросы для самоконтроля знаний

1 В чем преимущество релейной защиты, выполненной на базе микропроцессорной техники по сравнению с традиционными электромеханическими?

2 Какими важными свойствами должна обладать релейная защита?

3 Перечислите основные параметры, характеризующие реле защиты.

4 Что из себя представляет параметр срабатывания реле?

5 Дайте определение погрешности срабатывания реле?

6 Как вы понимаете термин «уставка»?

Лабораторная работа №6

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКТНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цель работы. Изучение устройства и оборудования комплектной трансформаторной подстанции.

6.1 Общие сведения

Трансформаторной подстанцией (ТП) называется электрическая установка, предназначенная для преобразования электрической энергии из одного напряжения в другое и распределения её между потребителями.

Подстанции могут быть комплектными или сборными.

Комплектные подстанции изготавливаются на заводах и транспортируются к месту установки узлами и блоками без демонтажа оборудования. На месте монтажа производят установку узлов и блоков и присоединения между ними и к сетям электроснабжения.

Строительство трансформаторных подстанций включает следующие этапы:

- 1) подготовительные работы, транспортировка конструкций и оборудования;
- 2) строительно-монтажные работы;
- 3) накладка оборудования.

По размерам силовые трансформаторы подразделяются на шесть габаритов. К первым габаритам относятся трансформаторы напряжением до 35 кВ (1-й габарит мощностью 25...100 кВА, 2-й -160...230 кВА, 3-й -1000..6300 кВА).

Чтобы монтаж силового трансформатора прошёл успешно, необходимо подготовить следующее:

- 1) помещение или площадку для сборки, ревизии и прогрева трансформаторов;
- 2) подъёмные механизмы, инструмент, приспособления и материалы;
- 3) трансформаторное масло и оборудование для его обработки и заливки;
- 4) противопожарный инвентарь и другие.

В целях создания безопасных условий труда на подстанциях заземляют нейтраль обмоток низшего напряжения силового трансформатора, а также все металлические корпуса, кожухи оборудования и аппаратуры (разъединитель, выключатель, щиты низкого напряжения).

6.2 Описание лабораторной установки

Наименование и функциональное назначение оборудования комплектной трансформаторной подстанции (КТП) приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 Оборудование КТП

Обозначения	Наименования и типы оборудования	Назначение
1	2	3
QS1	Разъединительный пункт РП 1У	Включение и отключение КТМ
TV	Трансформатор ТМ-160/10	Преобразование напряжения 10 кВ в напряжение 0.38/0.22 кВ
FU1...FU3	Предохранитель ПК1-10	Защита трансформатора от токов короткого замыкания (ТКЗ)
FV1...FV3	Разрядники ПВО-10, ПВН-0.5	Защита КТМ от атмосферных перенапряжений на линиях 10 и 0.38 кВ
QS2	Рубильник Р-3243	Отключение низковольтного шкафа
TA1...TA5	Трансформатор тока ТК-2073	Снижение тока для подключения счётчика энергии и реле защиты от перегрузок
FU1...FU6	Предохранитель Е 27	Защита линий уличного освещения от ТКЗ
KM	Магнитный пускатель ПМЕ-200	Автоматическое включение и отключение уличного освещения
PI	Счётчик СА4У	Учёт потребления активной энергии
R1...R3	Резистор ПЗ-50	Подогрев счётчика в холодное время
SA1	Переключатель ПКП-10	Включение подогрева счётчика
SA2	Переключатель ПКП-10	Подключение лампы на фазы А, В, С для напряжения и освещение шкафа
HL	Лампа накаливания	Сигнализация наличия напряжения на фазах
SA3	Переключатель ПКП-10	освещения шкафа
XS	Штепсельная розетка	Переключение на автоматическое или ручное управление уличным освещением
SQ	Конечный выключатель ВПК-2110	Подключение приборов и электроинструментов
		Отключение линий 0.38 кВ при открывании дверцы шкафа
		Защита трансформатора от токов перегрузок

Продолжение таблицы 6.1

KK	Тепловое реле ТРН-10	Выключение и отключение линий 0.38 кВ
QF1...QF3	Автоматические выключатели АЗ700	Защита линий 0.38 кВ от однофазных замыканий проводов на землю
KA1...KA3	Токовое реле РЗ-571Т	Отключение автоматических выключателей линий № 1, 2, 3
KV	Промежуточное реле ПР-25	Снижение напряжения на катушке промежуточного реле
R5, R6	Резисторы ПЭ-50	Преобразование светового сигнала в электрический
R4	Фоторезистор ФКС-Г1	Автоматическое управление магнитным пускателем
A1	Фотореле ФР-2УЗ	

6.3 Порядок проведения работы

6.3.1 Изучить состав оборудования КТП.

6.3.2 Начертить принципиальную схему КТП (рисунок 6.1).

6.3.4 Ответить на контрольные вопросы.

6.3.5 Оформить отчет с заключением по работе.

6.4 Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) Что такое трансформаторная подстанция?
- 2) Для чего служат разъединитель и как он устроен?
- 3) Для чего применяется масло в трансформаторе?
- 4) Как расшифровать обозначение 500/220/110/10/0,4 кВ?
- 5) Объясните назначение элемента QS1 схемы на рисунке 6.1.
- 6) Объясните назначение разрядников FV1 – FV3 на рисунке 6.1.
- 7) Объясните назначение элемента QS2 схемы на рисунке 6.1.
- 8) Объясните назначение разрядников FV4 – FV6 на рисунке 6.1.
- 9) Какую аппаратуру размещают в РУ напряжением 0,38 кВ потребительской подстанции?
- 10) Какие электрические аппараты используют в схемах потребительских подстанций напряжением 10/0,38 кВ?
- 11) Как устроен силовой трансформатор и какое его принцип работы?
- 12) Какие типы подстанций применяют в системах сельского электроснабжения?
- 13) Назовите типы подстанций по способу их присоединения к питающей сети?

14) Какие схемы электрических соединений применяют на стороне его напряжения подстанции?

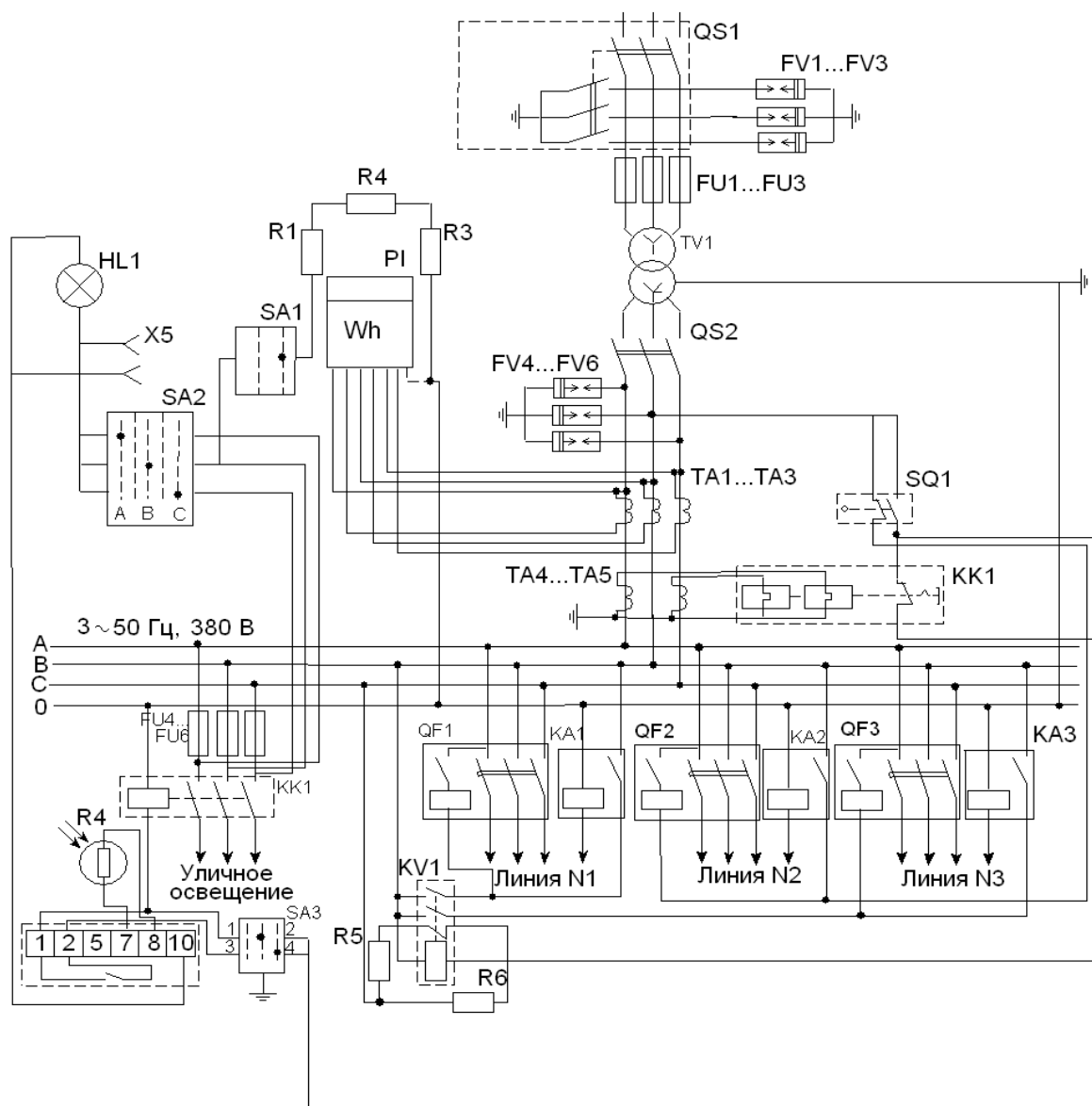


Рисунок 6.1 Принципиальная электрическая схема КТП 10/0,4 кВ мощностью 63...160 кВА

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст]:учебник - М.: Высш. шк., 2008.- 639 с.
2. Андреев В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах [Текст]:уч. пособие.— М.: Высш. шк., 2008.- 252 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем [Текст]:учебник / Н.В.Чернобровов, В.А.Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 800 с.
- 4.Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. "Электрические станции", "Электроэнергетические системы и сети", "Электроснабжение", "Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем" направления подготовки дипломированных спец. "Электроэнергетика": допущено М-вом образования РФ / под ред. И. П. Крючкова, В. А. Старшинова. - М. : Академия, 2008. - 411 с.