

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЛЭП

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЛЭП

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем»
для студентов очной и заочной форм обучения специальностей
140204 – Электрические станции; 140205 – Электроэнергетические
системы и сети; 140203 – Релейная защита и автоматика
электроэнергетических систем; 140211 – Электроснабжение.

Екатеринбург
2006

УДК 621.316.925.2 (025.8)

Составители: Л.Л. Богатырев, Л.Ф. Богданова, В.П. Федотов, А.А. Суворов
Научный редактор доц., д-р техн. наук Паздерин А.В.

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЛЭП: Методические указания к лабораторным работам / Л.Л. Богатырев, Л.Ф. Богданова, В.П. Федотов, А.А. Суворов.
– Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 29 с.

В методических указаниях излагается содержание лабораторных работ по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем» для студентов всех форм обучения специальностей 140204 – Электрические станции, 140205 – Электроэнергетические системы и сети, 140203 – Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем, 140211 – Электроснабжение. В указаниях приводятся методика испытаний и проверки отдельных реле, расчет и настройка схем токовых защит.

Библиогр.: 4 назв. Табл. 18. Рис. 15.

© ГОУ ВПО «Уральский государственный
технический университет–УПИ», 2006

Лабораторная работа 1

СТАТИЧЕСКИЕ РЕЛЕ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И ВРЕМЕНИ

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия статических реле максимального тока типа РСТ-13, максимального напряжения типа РСН-14 и реле времени типа РВ-01, а также практическое знакомство с регулировкой их параметров [1, с. 88–96; 2, с. 63–69].

Устройство и работа статических реле тока, напряжения и времени

Статические реле тока и напряжения применяются в цепях переменного тока и напряжения релейной защиты в качестве органов, реагирующих, соответственно, на повышение тока и изменения напряжения в контролируемой цепи. Реле времени используются в цепях оперативного тока в качестве элемента задержки.

Структурная схема статического реле тока типа РСТ-13 приведена на рис. 1.

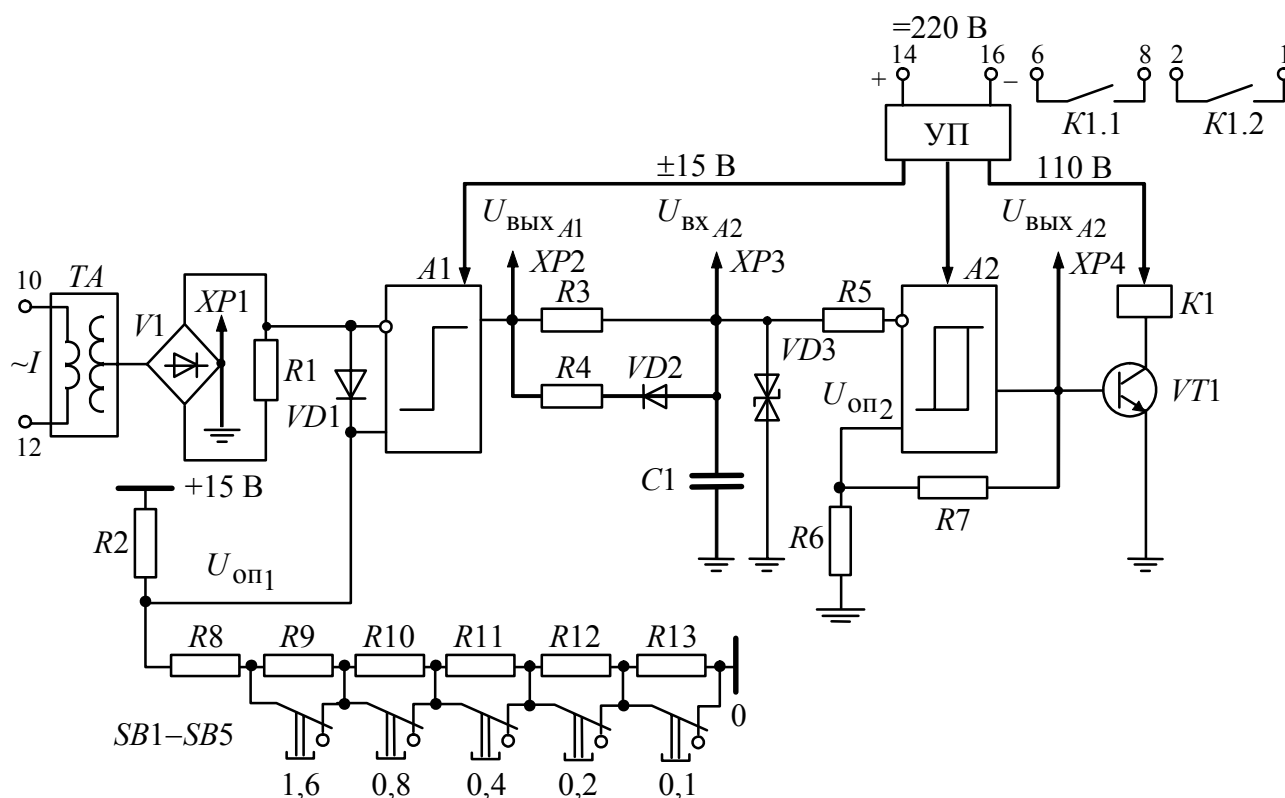


Рис. 1. Структурная схема реле РСТ-13

Реле состоит из узла измерения (промежуточный трансформатор тока TA), узла формирования (выпрямительный мост $V1$ и нагрузочный резистор $R1$), узла сравнения (однопороговый компаратор $A1$ на операционном усилителе (ОУ), времясравнивающая цепочка из резисторов $R3$ и $R4$, диода $VD2$, конденсатора $C2$ и стабилитрона $VD3$, пороговый элемент $A2$ – триггер Шмитта на ОУ) и узла выхода (промежуточное реле $K1$, включенное в цепь коллектора транзистора

ТВ1). Для получения от источника оперативного тока защищаемого объекта стабилизированных напряжений, необходимых для работы электронной схемы и реле $K1$, служит узел питания (УП).

Узел сравнения (УС) работает на времяимпульсном принципе. Для срабатывания реле требуется, чтобы, во-первых, входной сигнал превысил некоторое заданное значение и, во-вторых, обеспечивалось определенное соотношение между временем превышения заданного уровня и временем, когда входной сигнал ниже уровня срабатывания. Эти условия обеспечивают хорошую отстройку реле от помех, возникающих в цепи питания реле оперативным током и наведенных от смежных цепей напряжений.

УС содержит два индикатора уровня. Один из них входит в состав преобразующей части узла и представляет собой компаратор, собранный на ОУ $A1$. На неинвертирующий (Н) вход $A1$ через делитель на резисторах $R2$ и $R8-R13$ от источника питания подается положительное опорное напряжение $U_{оп1}$, значение которого определяется уставкой реле, заданной с помощью переключателей $SB1-SB5$. На инвертирующий (И) вход $A1$ подается выпрямленное напряжение, пропорциональное току, поступающему от узла измерения через диодный мост $VD1$. Если значение поступающего выпрямленного напряжения меньше опорного напряжения, на выходе $A1$ будет положительное максимальное напряжение (+13 В). На временной диаграмме (рис. 2) это соответствует первому полупериоду изменения $U_{вх}$.

Имеющееся на выходе $A1$ положительное напряжение заряжает конденсатор $C1$ через резистор $R3$, так как диод $VD2$ закрыт. Максимум напряжения на конденсаторе ограничивается напряжением стабилизации $VD3$ (9 В). Полученное напряжение подается на другой индикатор уровня, собранный на ОУ $A2$ и представляющий собой инвертирующий триггер Шмитта.

Положительное напряжение, поступающее с конденсатора $C1$ на И-вход $A2$, создает на выходе ОУ напряжение отрицательного знака (-13 В). Через цепь положительной обратной связи на Н-вход $A2$ проходит та часть этого напряжения, которая зависит от соотношения между сопротивлениями резисторов $R6$ и $R7$. Она служит опорным напряжением срабатывания $U_{оп2ср} = \frac{U_{вых A2} R6}{R6 + R7}$, определяющим второе условие срабатывания реле.

При возрастании входного напряжения до значения, превышающего опорное, происходит изменение режима компаратора, и знак выходного напряжения $A1$ становится отрицательным, оставаясь равным максимальному значению по модулю (-13 В). Изменение знака напряжения на выходе $A1$ вызывает перезаряд конденсатора $C1$, так как открывается диод $VD2$. Если уровень $U_{вх}$ становится выше $U_{оп1}$ на непродолжительное время (второй и третий полупериоды изменения $U_{вх}$ на рис. 2), то емкость $C1$ не успевает полностью перезарядиться. Происходит лишь снижение напряжения на емкости $C1$ до значения, близкого к нулю, а после спада $U_{вх}$ ниже $U_{оп1}$ начинается повторный заряд емкости до максимального положительного уровня.

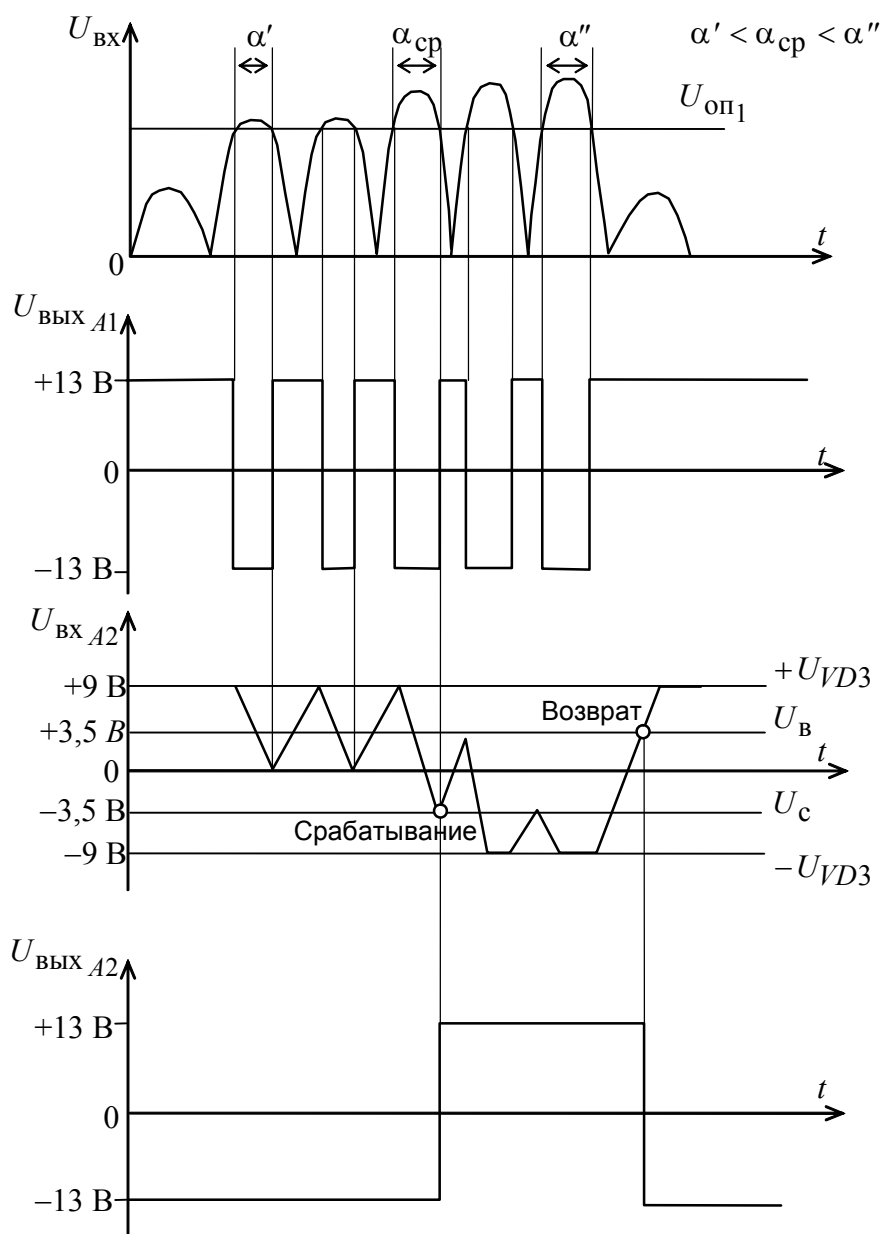


Рис. 2. Временная диаграмма работы реле РСТ-13

Исполнительная часть УС действует только тогда, когда за счет увеличения входного сигнала время, в течение которого $U_{ВХ}$ превышает $U_{оп1}$ (промежуток α на рис. 2), станет достаточным, чтобы емкость $C1$ перезарядилась настолько, что отрицательное напряжение на ней стало ниже $U_{оп2\ ср}$. Потенциал И-входа $A2$ достигнет в этом случае такого значения, что произойдет немедленное изменение знака выходного напряжения триггера на положительный. Это является признаком срабатывания реле. После изменения знака напряжения на выходе $A2$ напряжение на его И-входе становится тоже положительным. Его называют опорным напряжением возврата $U_{оп2\ воз}$, т.к. им определяется значение входного сигнала, которое требуется для возврата триггера Шмитта.

По окончании промежутка времени, соответствующего $\alpha_{ср}$, емкость $C1$ снова начнет заряжаться. Постоянные времени заряда и разряда емкости $C1$ благодаря наличию диода $VD2$ получаются неодинаковыми (сопротивление це-

пи заряда в 3 раза больше сопротивления цепи разряда). Поэтому, когда емкость $C1$ снова начнет заряжаться, она не успеет достичь уровня $U_{оп2\text{ воз}}$ до того, как снова наступит разряд. Этим достигается релейное действие реагирующего органа.

Для возврата требуется, чтобы $U_{вх}$ снизилось до такого значения, когда напряжение на конденсаторе $C1$ превысит $U_{оп2\text{ воз}}$. Последний полупериод изменения $U_{вх}$ на рис. 2 соответствует этому моменту. Опыт показывает, что $\alpha_{ср}$ должно составлять примерно 1,6 мс. За это время входное напряжение изменяется не более чем на 3 %. Благодаря такому свойству работа реле мало зависит от формы кривой поступающего входного сигнала. Поэтому такие токовые реле надежно работают при значительных погрешностях трансформаторов тока.

Узел выхода (УВ) реле защиты выполнен с помощью электромеханического реле, которое связано с УС через усилитель на транзисторах (рис. 1). УВ управляется сигналом, поступающим из УС на транзистор $VT1$.

При поступлении на схему УС входного напряжения, не достигающего уставки срабатывания реле, на выходе УС удерживается отрицательный сигнал. Транзистор $VT1$ заперт и через выходное реле $K1$ протекает малый ток закрытого транзистора. При превышении поступающим на вход УС напряжением величины срабатывания сигнал на выходе УС становится положительным (рис. 2). Транзистор $VT1$ открывается и через выходное реле $K1$ начинает проходить ток, обеспечивающий его срабатывание.

При возврате реле транзистор $VT1$ запирается и реле $K1$ приходит в исходное состояние. Коэффициент возврата реле РСТ превышает значение 0,9, а время действия при $1,2 I_{ср}$ составляет не более 60 мс, а при $3 I_{ср}$ – 35 мс. Предельный ток, размыкаемый контактами реле, не должен превышать 1 А на постоянном токе и 2 А на переменном. Мощность, потребляемая реле из сети оперативного тока, составляет 7 Вт.

Чтобы выставить заданный ток срабатывания реле, нужно с помощью отвертки поставить соответствующие переключатели $SB1-SB5$ в выступающее положение. Ток уставки равен

$$I_{уст} = I_{min} (1 + \sum \Theta), \text{ А,}$$

где I_{min} – минимальный ток уставки, равный 1/4 значения тока, соответствующего второму числу в условном обозначении реле; $\sum \Theta$ – сумма чисел, нанесенных у переключателей, поставленных в выступающее (горизонтальное) положение. При этом риски на торцах головок переключателей будут направлены в сторону выбранных чисел.

В условном обозначении реле, приводимом в заводской информации, первым указывается номер серии реле, например РСТ-13. Рядом с ним располагается двузначное число, обозначающее максимальную уставку по току реле данного типоразмера. Имеется семь вариантов типовых исполнений, записываемых следующими числами: 0,4 на ток 0,2 А, 0,9 – на 0,6 А, 14 – на 2 А, 19 –

на 6 А, 24 – на 20 А, 29 – на 60 А и 32 – на 120 А. Так для реле РСТ-13-24

$$I_{\min} = 20 \cdot \frac{1}{4} = 5 \text{ А.}$$

Если нужно выставить уставку срабатывания реле 10,5 А, то выступающие положения должны занять переключатели *SB1*, *SB2* и *SB4*. В этом случае (рис. 1):

$$I_{\text{уст}} = 5 \cdot [1 + (0,1 + 0,2 + 0,8)] = 10,5 \text{ А.}$$

Реле максимального напряжения типа РСН-14 по своему устройству подобно реле РСТ. Различаются они лишь тем, что вместо датчика тока в узле измерения в них установлен датчик напряжения. Датчик напряжения содержит промежуточный трансформатор и два добавочных резистора, включенных последовательно в цепь его первичной обмотки. Датчик имеет три вывода, которые дают возможность использовать реле в двух диапазонах рабочих напряжений. Переход на другой диапазон обеспечивается за счет включения (или исключения) одного из добавочных резисторов. В остальной части схема реле не отличается от схемы реле РСТ, показанной на рис. 1.

Технические данные реле типа РСН-14 практически совпадают с соответствующими параметрами реле РСТ. Коэффициент возврата у реле максимального напряжения не менее 0,9. Мощность, потребляемая реле в нормальном режиме, находится в пределах от 0,1 до 0,8 ВА.

Заданная уставка по напряжению срабатывания в выбранном диапазоне устанавливается с помощью кнопочных переключателей *SB1–SB4*, выведенных на лицевую плату реле. Уставка реле выражается следующим образом:

$$U_{\text{уст}} = U_{\min} (1 + \sum \ominus), \text{ В,}$$

где $\sum \ominus$ – сумма чисел на шкале уставок, переключатели у которых поставлены в выдвинутое положение и риска на торце головки расположена горизонтально. Числа на шкале уставок – 0,8; 0,4; 0,2; и 0,1 – показывают, что заданная уставка может быть установлена с точностью до $0,1 U_{\min}$, где U_{\min} – минимальная уставка выбранного диапазона.

У реле РСН-14-33 первый диапазон уставок срабатывания (входные зажимы 14–16) равен 80–200 В; второй диапазон (входные зажимы 12–16) – 160–400 В. Поэтому при включении реле в работу на втором диапазоне уставок рассчитанное по приведенному выше выражению значение $U_{\text{уст}}$ необходимо умножать на два.

Если нужно выставить уставку срабатывания реле 240 В, то необходимо включить его в цепь переменного напряжения на зажимы 12–16, а выступающие положения должны занять переключатели *SB1* и *SB3*. В этом случае:

$$U_{\text{уст}} = 80 \cdot [1 + (0,1 + 0,4)] \cdot 2 = 240 \text{ В.}$$

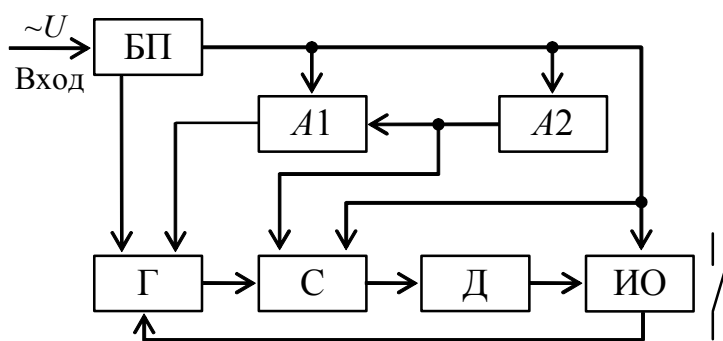


Рис. 3. Структурная схема реле времени типа РВ-01

Реле времени типа РВ-01 используется в цепях переменного напряжения 220 В. Структурная схема реле приведена на рис. 3. Реле состоит из следующих основных узлов: БП – блок питания и управления; А1 – орган минимальной выдержки времени; А2 – орган контроля входного напряжения; Г – генератор импульсов;

С – счетчик; Д – дешифратор (регулятор уставки); ИО – исполнительный орган (выходное промежуточное реле).

Управление работой реле осуществляется подачей (снятием) переменного напряжения. Для получения выдержки времени на срабатывание используется принцип счета импульсов генератора стабильной частоты. При подаче на реле переменного напряжения срабатывает пороговый элемент, разрешающий работу счетчика и через выдержку времени, определяющую первую уставку, работу генератора.

Импульсы генератора заполняют счетчик. При совпадении числа импульсов, заполняющих счетчик, с числом, набранным при помощи переключателей уставок, прекращается дальнейшая работа генератора и срабатывает исполнительный орган. При снятии напряжения с реле пороговый элемент приводит схему в исходное состояние.

Регулировка выдержки времени осуществляется с помощью переключателей уставок $SB1-SB9$, расположенных на лицевой панели реле. Уставка выдержки времени определяется суммированием цифр, соответствующих замкнутым положениям переключателей и начальной уставки в секундах по формуле:

$$T_{уст} = (0,1 + \sum \Theta),$$

где 0,1 – величина начальной уставки; $\sum \Theta$ – сумма чисел на шкале уставок, около которых шлицы переключателей $SB1-SB9$ установлены горизонтально.

Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией и блок-схемой реле серии РСТ-13-24, РСН-14-33, РВ-01. Обратит внимание на расположение выводов на стенде, на способы и пределы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания. Записать паспортные данные реле, установленных на стенде (тип реле, номинальный ток и напряжение, пределы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания, число контактов реле).

2. Проверка работы реле РСТ-13. Для каждого значения уставки от 0 до 10 А (по шкале уставок реле) определить ток срабатывания $I_{ср}$ и ток возврата $I_{в}$. По данным замеров рассчитать коэффициент возврата $k_{в}$. Схема испытания реле приведена на рис. 4. Данные опытов занести в табл. 1.

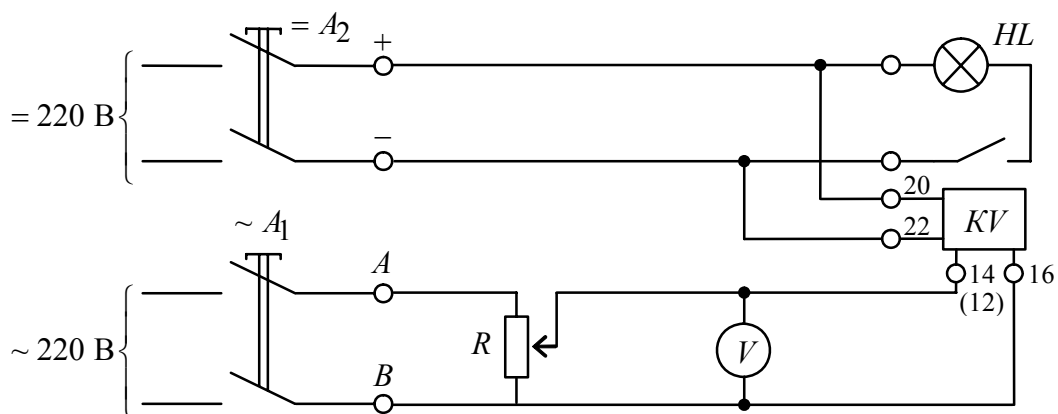


Рис. 5. Схема испытаний реле напряжения РСН -14

5. Снятие осциллограмм с выходов функциональных блоков реле РСН-14.

Опыт выполняется аналогично п. 3 работы.

6. Проверка работы реле времени РВ-01.

Реле должно четко срабатывать при напряжении $0,9 U_{\text{ном}}$. При этом обеспечивается соответствие реального времени срабатывания реле и времени, установленного на шкале. Собрать схему испытания реле, приведенную на рис. 6.

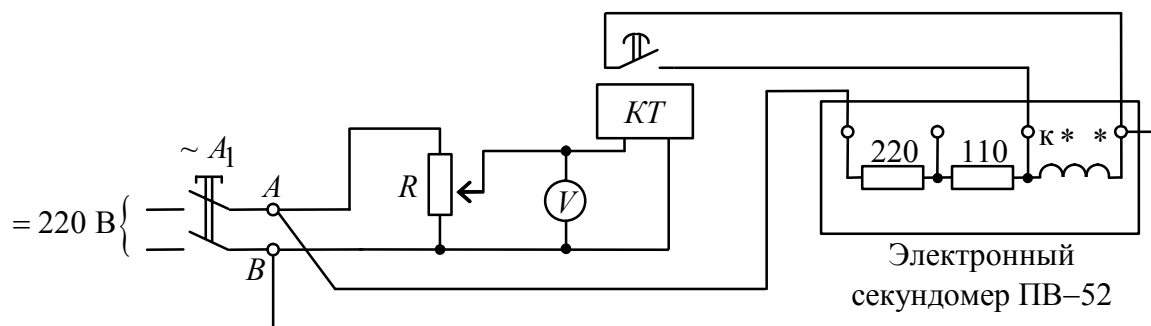


Рис. 6. Схема испытания реле времени РВ-01

Для определения $U_{\text{ср}}$ секундомер не подключать. Подать на обмотку реле напряжение $0,9 U_{\text{ном}}$. Затем отключить автомат « $\sim A_1$ » и подключить секундомер. Для 6–7 уставок по времени определить по секундомеру действительное время срабатывания реле. Результаты опытов занести в табл. 3.

Таблица 3

Уставка по шкале времени, $t_{\text{уст}}$, с								
Действительное время срабатывания, $t_{\text{ср}}$, с								

Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения.
2. Схема испытаний реле, таблицы замеров и расчетов.
3. Осциллограммы напряжений в контрольных точках реле.

4. Выводы, объясняющие способы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания соответствующих реле.

Контрольные вопросы

1. Каковы устройство и принцип действия статических реле тока РСТ, напряжения РСН и времени РВ-01?
2. Каковы конструктивные особенности выполнения реле РСН?
3. Как и в каких пределах регулируется ток срабатывания реле РСТ-13-24?
4. Как и в каких пределах регулируется напряжение срабатывания реле РСН-14-33?
5. Как и в каких пределах регулируется время срабатывания реле РВ-01?

Лабораторная работа 2

СТАТИЧЕСКОЕ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Цель работы: знакомство с конструкцией и принципом действия статических реле направления мощности, а также способами снятия их характеристик [2, с. 80–90; 3, с. 120–129].

Устройство и принцип действия статических реле сопротивления типа РМ

Статические реле направления мощности предназначены для использования в схемах релейной защиты в качестве органа направления мощности. Структурная схема реле показана на рис. 7.

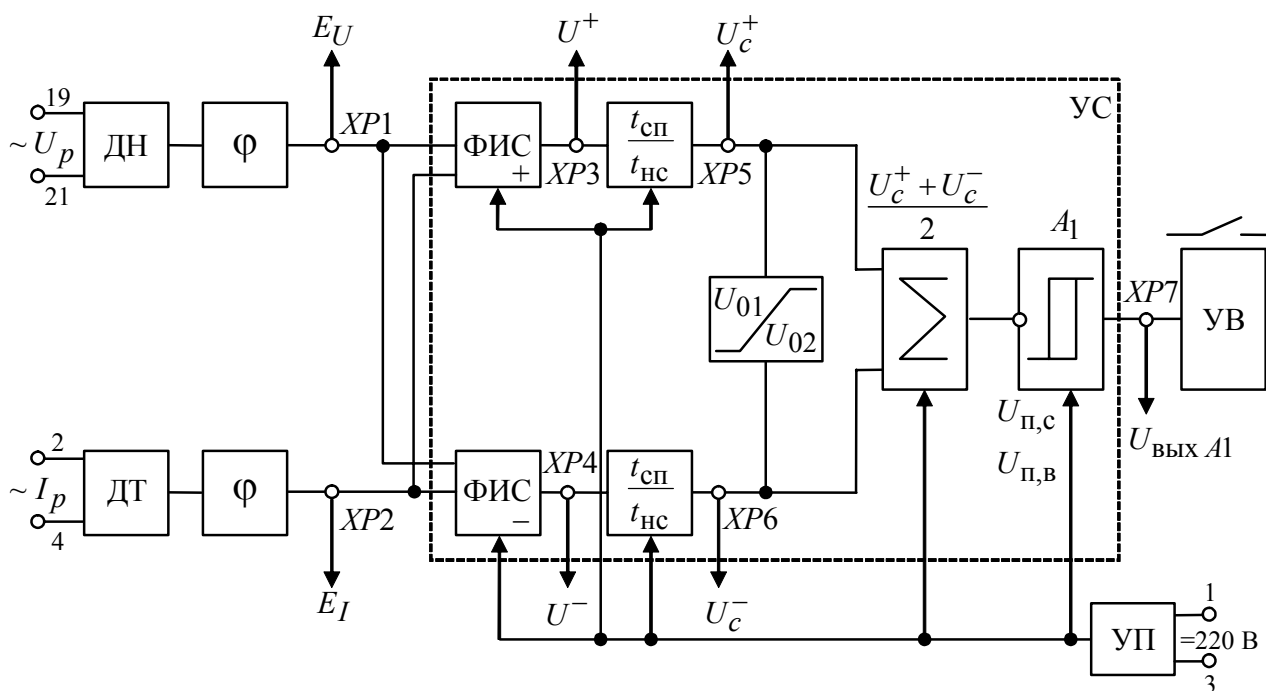


Рис. 7. Структурная схема статического реле направления мощности

Схема реле содержит следующие основные элементы: ДН – датчик напряжения, на входы которого подается переменное напряжение от трансформатора напряжения; ДТ – датчик тока, на входы которого подается переменный ток от трансформатора тока; ф – фазоповоротные схемы; ФИС – формирователь импульсов совпадения мгновенных значений сравниваемых напряжений (знак «+» относится к положительным, а знак «-» – к отрицательным значениям этих напряжений); $t_{сп}/t_{нс}$ – времясравнивающая цепочка; U_{01}/U_{02} – ограничитель уровней напряжений; Σ – сумматор; A_1 – выходной компаратор; УВ – узел выхода, включающий электромеханическое реле; УП – узел питания. Пунктиром обведены элементы, образующие узел сравнения (УС) реле.

Принцип действия реле основан на сравнении времени совпадения двух электрических сигналов E_U и E_I , являющихся функциями напряжения и тока сети, со временем их несовпадения в положительные и отрицательные полупериоды промышленной частоты. Временные диаграммы работы приведены на рис. 8.

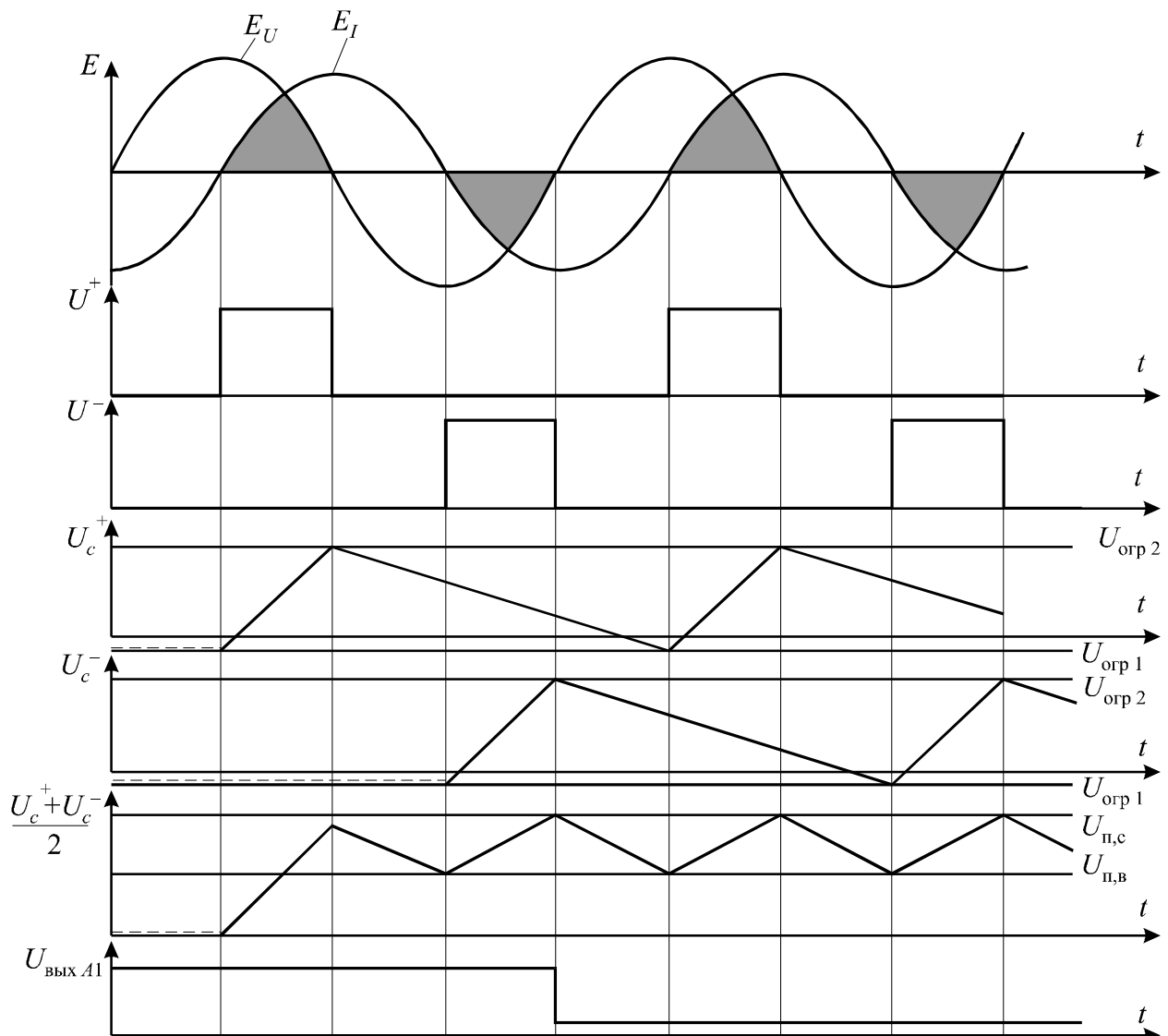


Рис. 8. Временная диаграмма работы реле

ДН и ДТ содержат, соответственно, трансформатор напряжения и трансреактор, вторичные ЭДС которых подводятся ко входам фазоповоротных схем. С помощью последних обеспечивается такое положение, чтобы сдвиг между E_U и E_I на их выходах равнялся нулю, когда сдвиг между подведенными U_p и I_p достигает угла максимальной чувствительности реле. Командный управляющий сигнал на выходе УС появляется при условии, если напряжения E_U и E_I оказываются сдвинутыми на угол не более чем $\pm 90^\circ$, которым определяется зона срабатывания реле (рис. 8). Это соответствует совпадению знаков мгновенных значений сравниваемых напряжений E_U и E_I в течение не менее одной четверти периода. При меньшем времени совпадения реле не действует.

С выходов фазоповоротных схем синусоидальные сигналы поступают на входы формирователей импульсов совпадения ФИС⁺ и ФИС⁻. Положительные импульсы на выходах последних чередуются, точно повторяя интервалы совпадения знаков мгновенных значений сравниваемых напряжений E_U и E_I .

С помощью времясравнивающих цепочек (интеграторов) $t_{сп}/t_{нс}$ эти импульсы приобретают пилообразный вид, их амплитуды имеют временной сдвиг относительно друг друга (рис. 8). Ограниченные по верхнему ($U_{огр 2}$) и нижнему ($U_{огр 1}$), они подаются на вход сумматора Σ , напряжение с выхода которого, равное полусумме входных напряжений $(U_c^+ + U_c^-)/2$, приходит на инвертирующий вход компаратора А1. Это напряжение подбирается несколько выше порога срабатывания, задаваемого напряжением $U_{п,с}$ на неинвертирующем входе компаратора А1, в результате чего напряжение на его выходе скачком снижается до значения, близкого к нулю. Срабатывает промежуточное реле УВ и замыкает свои контакты.

Одновременно по цепи обратной связи происходит снижение напряжения на неинвертирующем входе А1 до порогового напряжения возврата $U_{п,в}$. Это напряжение подобрано так, чтобы после переключения компаратора А1 за время до срабатывания промежуточного реле не произошел сброс выходного сигнала А1.

Выпускаются статические реле направления мощности типов РМ-11 и РМ-12. Реле РМ-11 имеют два дискретно устанавливаемых угла максимальной чувствительности ($\varphi_{м,ч}$): -30° и -45° , а реле РМ-12 – один угол, равный 70° . В схеме ДН реле РМ-12 установлены переключатели SB1–SB3 для ступенчатой регулировки уставок срабатывания реле по напряжению $U_{ср.мин}$, равным 1, 2 и 3 В соответственно.

Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле типа РМ-12-18 УХЛ4 и его блок-схемой, представленной на стенде. Обратить внимание на обозначение выводных зажимов и контрольных точек в схеме реле. Записать паспортные данные реле (тип реле, номинальные ток и напряжение, значения углов α и $\varphi_{м,ч}$).

По данным табл. 4 построить зависимости $S_{cp} = f(\varphi_p)$.

4. Снятие и построение вольтамперной характеристики реле $U_{cp} = f(I_p)$.

При постоянном значении угла $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$, изменяя ток I_p в пределах от 0 до 6 А, определить наименьшее значение напряжения U_{cp} , при котором реле срабатывает.

Результаты измерений занести в табл. 5. Вычислить значения $S_{cp} = U_{cp}I_p$.

Таблица 5

I_p, A								
U_{cp}, B								
S_{cp}, BA								

По данным табл. 5 построить зависимость $U_{cp} = f(I_p)$ и $S_{cp} = f(I_p)$.

5. Снятие осциллограмм с выходов функциональных блоков реле.

Подготовить двухканальный ЭЛО к работе. Для этого:

– подключить соединительные шнуры к гнездам I и II каналов на лицевой панели ЭЛО;

– подключить оканцеватели шнуров, обозначенные символом « \perp » к гнезду « \perp » на стенде;

– на лицевой панели ЭЛО нажать кнопку «...» при совместном использовании каналов;

– включить ЭЛО и с помощью ручек « Φ » обоих каналов установить развертки лучей в центральной части экрана;

– подключить вторые оканцеватели шнуров к гнездам $XP1$ и $XP2$ на блок-схеме реле лабораторного стенда, подать на реле номинальные значения тока и напряжения и, изменяя с помощью фазорегулятора угол сдвига между ними от 0 до 360°, наблюдать на экране ЭЛО смещение напряжений E_U и E_I относительно друг друга. Отметить и зарисовать осциллограммы напряжений для моментов срабатывания реле;

– переключить вторые оканцеватели шнуров на гнезда $XP3$ и $XP4$, затем на $XP5$ и $XP6$ и повторить описанные выше действия;

– для сложения осциллограмм напряжений в последних точках нажать кнопку « \pm » на панели ЭЛО;

– подключить один из шнуров к гнезду $XP7$ на схеме реле, предварительно нажав кнопку «I» или «II» (в соответствии с выбранным каналом), и, изменяя с помощью фазорегулятора угол сдвига между током и напряжением от 0 до 360°, наблюдать на экране ЭЛО изменение напряжения на выходе узла сравнения реле.

Содержание отчета

1. Цель работы, структурная схема и схема испытаний реле РМ-12.
2. Последовательность проведения работы, таблицы измерений и расчетов, осциллограммы напряжений в контрольных точках, графики зависимостей $S_{\text{ср}} = f(\varphi_p)$, $S_{\text{ср}} = f(I_p)$ и $U_{\text{ср}} = f(I_p)$.
3. Выводы, объясняющие вид угловой и вольтамперной характеристик реле, соотношения паспортных и опытных данных, осциллограммы напряжений в контрольных точках.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение функциональных блоков структурной схемы статического реле направления мощности?
2. Каков принцип действия статических реле направления мощности?
3. Каково назначение переключателей SB1–SB3 в схеме реле РМ-12?
4. Какие преимущества имеют статические реле направления мощности по сравнению с электромеханическими реле, выполненными на индукционном принципе?

Лабораторная работа 3

СТАТИЧЕСКОЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы: знакомство с конструкцией и принципом действия статического реле сопротивления, а также со способами настройки на заданные уставки и снятия основных характеристик реле полного сопротивления типа С-108 [2, с. 90–100; 3, с. 397–399].

Устройство и принцип действия статического реле полного сопротивления типа С-108

Статическое реле сопротивления типа С-108 входит в состав блока реле сопротивления БРЭ-2801, представляющего собой комплектное реле, содержащее три дистанционных органа, каждый из которых имеет на выходе отдельное электромагнитное реле типа РП-13. Блок реле сопротивления БРЭ-2801 собирается в стандартной кассете, в разъемы которой вставляются три реле сопротивления типа С-108 и блок выходных реле типа Р-1110, совмещенный с делителем питания оперативным током.

Блок реле сопротивления БРЭ-2801 используется в качестве пусковых или дистанционных органов дистанционных защит ЛЭП напряжением 110 кВ и выше, а также для выполнения резервных защит трансформаторов и генераторов.

Структурная схема статического реле сопротивления типа С-108 показана на рис. 10.

Статическое реле полного сопротивления типа С-108 состоит из трех основных частей, выделенных штриховыми линиями: узла измерения (УИ), узла

формирования (УФ) и узла сравнения (УС). Узел выхода и питания (УВиП) выполнен общим для трех реле сопротивления, входящих в комплект БРЭ-2801.

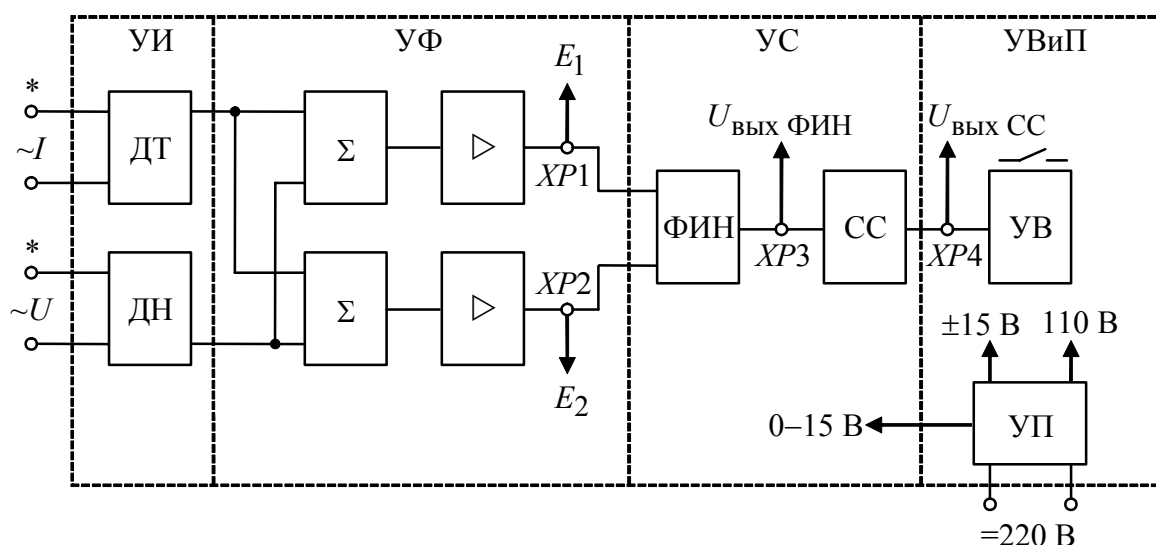


Рис. 10. Структурная схема статического реле сопротивления

УИ содержит датчик тока (ДТ), на входы которого подается переменный ток от трансформатора тока (ТТ), и датчик напряжения (ДН), на входы которого подается переменное напряжение от трансформатора напряжения (ТН).

ДТ содержит промежуточный ТТ с двумя первичными и одной вторичной обмоткой, к выходу которой через переключатели подключены резисторы и делитель напряжения. Переключатели служат для ступенчатого изменения уставки в цепи тока (при расчете учитывается коэффициент ступенчатой регулировки k_I).

ДН содержит промежуточный ТН, вторичная обмотка которого выполняется с отпайками и соответствующим переключением для грубого подбора ступеней регулирования в цепи напряжения ($N\%$). Для плавного изменения напряжения на выходе ДН установлен делитель напряжения на резисторах, один из которых (R_{11}) снабжен движком для точной установки требуемого напряжения (при расчете учитывается коэффициент плавной регулировки k).

Кроме того, УИ содержит цепи, обеспечивающие с помощью переключателя $XB1$ смещение характеристики срабатывания реле в I или III квадрант комплексной плоскости сопротивлений.

С выходов УИ два напряжения, пропорциональные, соответственно, току и напряжению сети, подаются на входы сумматоров (Σ) УФ. Активные фильтры-сумматоры и инвертирующие масштабные усилители служат для получения двух напряжений E_1 и E_2 , каждое из которых является функцией напряжения и тока, подводимых к реле сопротивления. Во входных цепях сумматоров УФ имеются резисторы с переключателями, обеспечивающие установку угла максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$, равным 65 или 80°.

Напряжения E_1 и E_2 поступают на входы формирователя импульсов несовпадения (ФИН) УС. Работа УС зависит от величины угла сдвига между на-

пряжениями E_1 и E_2 . Временные диаграммы, иллюстрирующие работу УС, приведены на рис. 11.

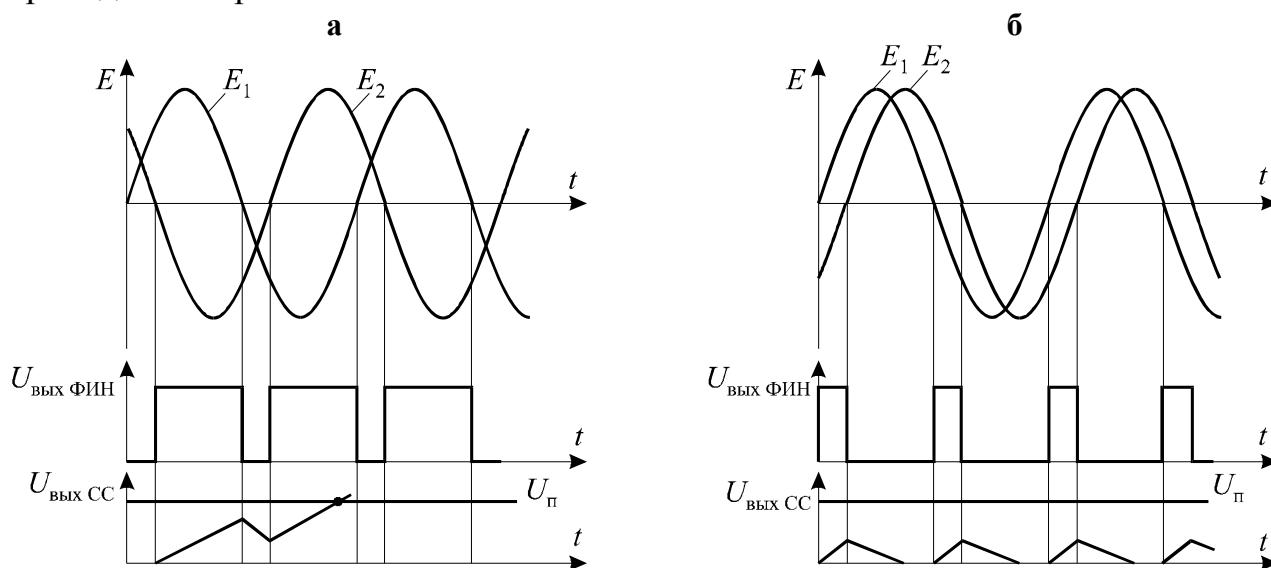


Рис. 11. Временные диаграммы работы УС:
а – при к.з. в зоне; б – при к.з. вне зоны

Длительность импульсов, появляющихся на выходе ФИН, зависит от промежутка времени, в течение которого знаки напряжений E_1 и E_2 на его входах противоположны. Длительность указанного промежутка пропорциональна величине угла между напряжениями E_1 и E_2 .

В нормальном режиме и при к.з. вне зоны угол между E_1 и E_2 невелик и не достигает величины угла срабатывания реле, равной $\pi/2$. Мгновенные значения напряжений E_1 и E_2 имеют одинаковые знаки на подавляющей части обоих полупериодов промышленной частоты. На выходе ФИН появляются короткие прямоугольные импульсы (рис. 11, б).

При к.з. в зоне срабатывания фазовый сдвиг между E_1 и E_2 значительно возрастает и становится больше $\pi/2$. Соответственно время несовпадения мгновенных значений E_1 и E_2 увеличивается и длительность импульсов на выходе ФИН возрастает (рис. 11, а).

Выходные сигналы с ФИН подаются в схему сравнения (СС), в которой производится сравнение времени несовпадения знаков сравниваемых напряжений с временем их совпадения. Принцип работы схемы основан на заряде емкости в течение времени существования импульса на выходе ФИН и разряде ее во время его отсутствия.

При небольшом значении угла между E_1 и E_2 и малой длительности импульсов несовпадения на выходе ФИН емкость заряжается до небольшого напряжения, а в промежутки между двумя очередными импульсами полностью разряжается. Напряжение на емкости не достигает порога срабатывания $U_{\text{п}}$ выходного усилителя СС.

Когда угол между сравниваемыми напряжениями E_1 и E_2 превысит $\pi/2$, длительность импульсов несовпадения на выходе ФИН значительно увеличится

и емкость зарядится до более высокого напряжения. В промежутке между двумя импульсами она не успевает разрядиться, а уже в следующий полупериод емкость подзарядится до уровня, превышающего порог срабатывания выходного усилителя СС. Происходит срабатывание промежуточного реле в УВиП.

УС содержит цепи, позволяющие с помощью переключателя ХВЗ изменять круговую форму характеристики срабатывания на эллиптическую с отношением малой и большой осей эллипса $\varepsilon = 0,75$ и $\varepsilon = 0,5$.

Уставка реле по сопротивлению срабатывания определяется из выражения

$$Z_{уст} = (Z_{min} k_I \cdot 100) \cdot N\% \cdot k,$$

где k_I – коэффициент ступенчатой регулировки уставки в цепи тока, имеющий значения 1, 0,5 или 0,25; $N\%$ – степень регулирования в цепи напряжения в процентах, имеющая значения 3, 6, 12, 25, 50 и 100 %; k – коэффициент плавной регулировки в цепи напряжения в пределах 0,4–1 выбранной ступени $N\%$.

Выставлять уставку начинают с определения k_I , которое выбирается из условия $Z_{min} k_I \leq Z_{ср}$, где $Z_{ср}$ – сопротивление срабатывания реле, полученное в результате расчета защиты. По нему находят предварительное значение $N\% \cdot k = Z_{min} k_I \cdot 100 / Z_{ср}$. По полученному результату принимают ближайшую большую ступень $N\%$. Окончательную настройку реле на заданную уставку производят резистором R11 плавной регулировки k , выведенным на лицевую панель реле сопротивления.

Блоки реле сопротивления БРЭ-2801 выпускаются на номинальные токи 1 и 5 А. В структуре условного обозначения блока им соответствуют двузначные числа 20 или 27, помещенные после названия блока. За этими числами следует заглавная буква, обозначающая рабочую частоту блока: Е – относится к частоте 50 Гц, а И – к 60 Гц. За этими буквами стоит цифра 2 и буква, присваиваемая модификации реле по минимальному сопротивлению срабатывания Z_{min} . В зависимости от номинального тока эта буква означает: при $I_{ном} = 1$ А букве «А» соответствует минимальное сопротивление 5 Ом, а букве «Б» – 20 Ом; при $I_{ном} = 5$ А букве «А» соответствует 1 Ом, а «Б» – 4 Ом.

Минимальная уставка по сопротивлению срабатывания модификации А может быть уменьшена в 2 или 4 раза за счет переключения нагрузочных сопротивлений в ДТ реле. Коэффициент k_I , соответствующий этим изменениям, может иметь значения, равные 1; 0,5 и 0,25.

Ток точной работы реле зависит от выбранного Z_{min} . Наименьшее значение тока точной работы на верхней уставке равняется 0,1 номинального тока реле, а его наибольшее значение на нижней уставке доходит до 40-кратного по отношению к номинальному.

Коэффициент возврата реле может изменяться от 1,07 до 1,15 и зависит от отклонения угла сопротивления от $\varphi_{м.ч}$.

Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией блока реле сопротивлений БРЭ-2801, его функциональной схемой, представленной на лабораторном стенде, и лицевой панелью реле. Обратит внимание на расположение элементов и всех переключателей лицевой панели, с помощью которых производится настройка реле, на способы и пределы регулировки его параметров.

Записать паспортные данные БРЭ-2801:

1) номинальные данные: ток 1 А, напряжение 100 В, частота 50 Гц, напряжение постоянного тока 220 В;

2) углы максимальной чувствительности: 65 и 80°;

3) минимальное сопротивление срабатывания 5 Ом.

2. Рассчитать и установить на реле уставку по сопротивлению срабатывания.

Для заданного преподавателем значения $Z_{ср}$ определить k_I из условия $Z_{\min} k_I \leq Z_{ср}$, а затем рассчитать степень регулирования в цепи напряжения в процентах по выражению

$$N \% \cdot k = Z_{\min} k_I \cdot 100 / Z_{ср} .$$

По полученному результату установить на лицевой панели реле С-108 ближайшую большую степень $N \%$.

Установить на реле $\varphi_{м.ч}$ равным 65°, а характеристику срабатывания принять в виде направленной окружности, смещенной в III квадрант на 6 % уставки.

3. Проверить сопротивление срабатывания реле. Собрать схему для испытания реле согласно рис. 12, соблюдая полярность выводов реле и полюсов источников питания.

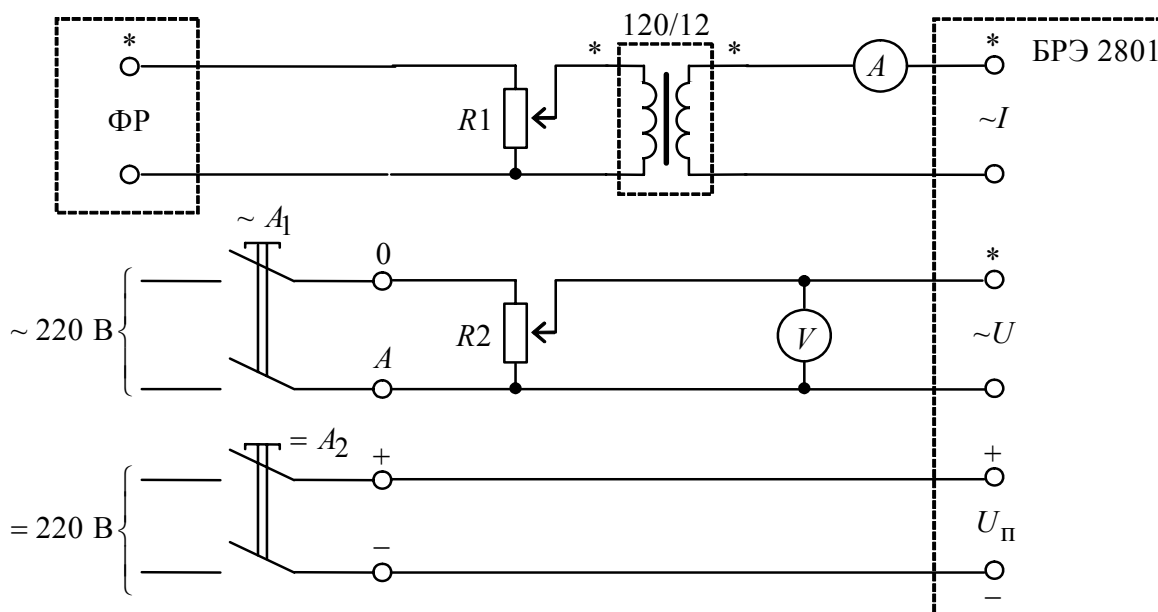


Рис. 12. Схема испытания реле сопротивления С -108

Включить автоматические выключатели A_1 и A_2 . Движками реостатов установить необходимые значения тока и напряжения срабатывания реле, рассчитанные исходя из формулы:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ср}}}{2 I_{\text{ср}}}.$$

Величину $I_{\text{ср}}$ принять равной $I_{\text{ном}} \text{ реле}$. С помощью фазорегулятора выставить угол между током и напряжением $\varphi_{\text{р}} = 65^\circ$.

Изменяя положение потенциометра K на панели реле, добиться срабатывания реле сопротивления. Момент срабатывания реле фиксировать по загоранию светодиода на блоке Р-1110 реле. Оставить движок потенциометра K в положении, соответствующем срабатыванию реле. Повторить опыт, плавно понижая напряжение до момента срабатывания реле, при постоянных $I_{\text{р}} = I_{\text{ном}}$ и $\varphi_{\text{р}} = \varphi_{\text{м.ч}}$. В случае несоответствия расчетного и фактического напряжения срабатывания добиться их равенства путем изменения величины сопротивления K . Записать значения $U_{\text{ср}}$, $I_{\text{ср}}$ и $Z_{\text{ср}}$.

4. Определить угол максимальной чувствительности реле методом засечек.

Выставить угол $\varphi'_{\text{р}}$ между током и напряжением на $20\text{--}30^\circ$ меньше, чем угол $\varphi_{\text{м.ч}}$. При неизменном значении тока $I_{\text{р}}$ плавно понижать напряжение $U_{\text{р}}$ до момента срабатывания реле. Отметить полученное $U_{\text{ср}}$. Затем, при полученных значениях $I_{\text{ср}}$ и $U_{\text{ср}}$, увеличить угол между током и напряжением до момента размыкания контактов реле. Отметить это значение как $\varphi''_{\text{р}}$. Полусумма углов $\varphi'_{\text{р}}$ и $\varphi''_{\text{р}}$ даст угол максимальной чувствительности реле. Сравнить расчетное значение $\varphi_{\text{м.ч}}$ с паспортными данными реле.

5. Определение тока точной работы реле.

Для определения тока точной работы реле определяется зависимость сопротивления срабатывания от тока $Z_{\text{ср}} = f(I_{\text{р}})$ при $\varphi_{\text{р}} = \varphi_{\text{м.ч}}$ и значениях тока в реле от 0 до 1 А.

Установить ток в реле, равный 1 А, и, постепенно снижая напряжение, зафиксировать сопротивление срабатывания реле. Уменьшить ток и вновь повторить опыт.

Данные опытов занести в табл. 6.

Таблица 6

$I_{\text{ср}}, \text{А}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,37	0,26	0,18	0,08
$U_{\text{ср}}, \text{В}$										
$Z_{\text{ср}}, \text{Ом}$										

Ток точной работы реле принимается равным току, при котором сопротивление срабатывания реле составляет не менее $0,9 Z_{\text{уст}}$.

5. Снятие круговой и эллиптической характеристик срабатывания реле.

Снятие характеристик срабатывания производится при номинальном токе реле, т.е. $I_{\text{р}} = I_{\text{ном}} = 1 \text{ А}$ при различных значениях угла $\varphi_{\text{м.ч}}$.

Установить угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ равным 65° , а затем 80° , изменять угол φ_p между током I_p и напряжением U_p от 0 до 360° (с шагом 30°) путем снижения напряжения, подаваемого на реле, определить напряжение срабатывания реле при определенном значении φ_p . То же самое выполнить для эллиптической характеристики (при $\varepsilon = 0,5$).

Данные опытов занести в таблицы, выполненные по типу табл. 7.

Таблица 7

Вид характеристики	Параметры срабатывания реле	φ_p , град											
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Окружность	$U_{ср}$, В												
	$Z_{ср}$, Ом												
Эллипс	$U_{ср}$, В												
	$Z_{ср}$, Ом												

По значениям I_p и $U_{ср}$ вычислить $Z_{ср}$ и построить зависимости $Z_{ср} = f(\varphi_p)$ для круговой и эллиптической характеристик при значениях углов максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ равном 65 и 80° .

6. Снятие осциллограмм с выходов функциональных блоков реле.

Осциллограммы снимаются с помощью двухканального электронно-лучевого осциллографа. Для снятия осциллограмм с выходов блоков реле необходимо подключить осциллограф к сети ~ 220 В и подготовить его к работе.

Затем к выходам блоков реле подключить разъемы I канала (к клеммам «I» и $XP1$ на стенде) и II канала («II» и $XP2$) осциллографа. Снятие осциллограмм производится при утопленном положении переключателя «...» на лицевой панели осциллографа при совместном измерении напряжений в контрольных токах $XP1$ и $XP2$, а при несовместном – при утопленных положениях переключателей «I» или «II» (соответственно каналам).

Аналогично производится снятие осциллограмм и в других контрольных точках схемы реле. Осциллограммы снимаются для условий срабатывания и несрабатывания реле сопротивления.

Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, блок-схема реле сопротивления и схема его испытания.

2. Расчет уставок реле и настройка его на заданные параметры, таблицы замеров результатов испытаний и расчетов, значения $I_{ср.min}$ и $I_{т.p}$, графики зависимостей $Z_{ср} = f(I_p)$ и $Z_{ср} = f(\varphi_p)$.

3. Выводы, объясняющие различие заданного и действительного $Z_{ср}$, а также характер зависимостей $Z_{ср} = f(I_p)$ и $Z_{ср} = f(\varphi_p)$.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение функциональных блоков структурной схемы статического реле сопротивления?
2. Каков принцип действия узла сравнения реле?
3. Способы расчета и регулирования сопротивления срабатывания реле?
4. Каким образом производится смещение характеристики срабатывания реле на комплексной плоскости сопротивлений, изменение угла $\varphi_{м.ч}$, переход с круговой характеристики на эллиптическую?
5. Какие преимущества имеют реле сопротивления типа С-108 по сравнению с реле КРС-2 и КРС-3, выполненными с использованием полупроводниковых схем сравнения?

Лабораторная работа 4

ТОКОВЫЕ РЕЛЕ С БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМИСЯ ТРАНСФОРМАТОРАМИ РНТ И ДЗТ

Цель работы: изучение конструкций, знакомство со способами регулировки уставок и снятие основных характеристик реле РНТ-565 и ДЗТ-11 [1, с. 36–38; 3, с. 583–587].

Дифференциальное токовое реле типа РНТ-565. Реле РНТ-565 состоит из быстронасыщающегося трансформатора (БНТ) и исполнительного органа (реле типа РТ-40/0,2), которые расположены в одном корпусе. Схема внутренних соединений реле с обозначением отпайк показана на рис. 13. Регулировка тока срабатывания осуществляется изменением числа витков у обмоток. Изменение числа витков производится установкой штепсельных винтов в соответствующие гнезда на клеммных пластинах (рис. 14), цифры около которых указывают число включенных витков. Поскольку каждая из первичных обмоток реле состоит из двух секций, то для включения ее необходимо один из штепсельных винтов устанавливать на отпайки одной секции, а другой – на отпайки второй секции. Число включенных витков у обмотки определяется суммой двух цифр, обозначенных на клеммной доске у среза, где установлены винты.

Витки на обмотках реле могут изменяться в следующих пределах: на рабочей обмотке – от 8 до 35 витков; на каждой уравнивающей от

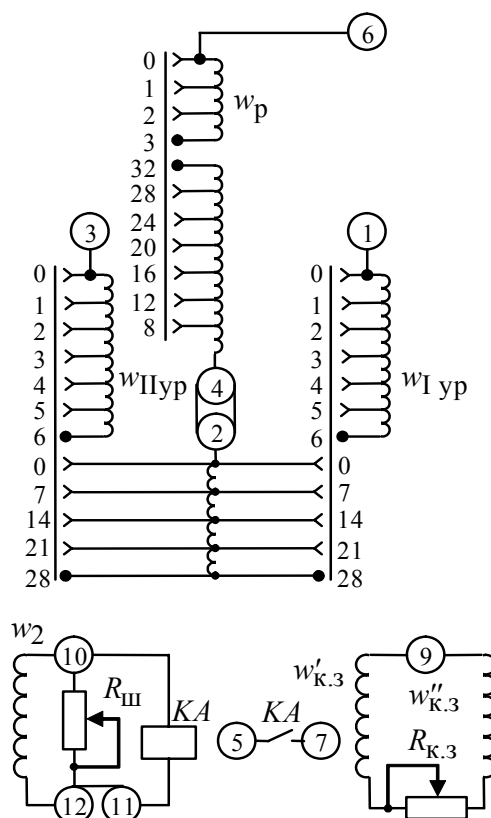


Рис.13. Принципиальная схема реле РНТ-565

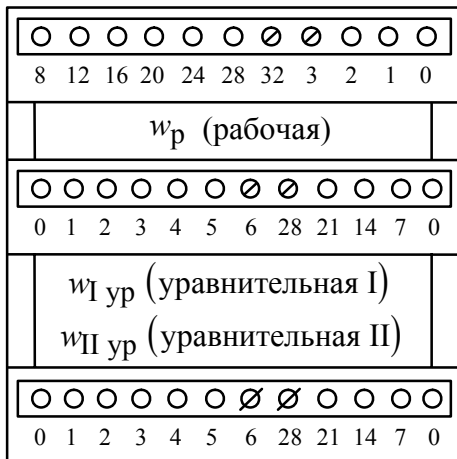


Рис. 14. Клеммные панели реле РНТ-565

0 до 34 витков. Максимально допустимый длительный ток в первичных обмотках реле 12,5 А, что определяет число включенных витков у обмоток $w = 8$.

Дифференциальное токовое реле с торможением типа ДЗТ-11. Реле ДЗТ-11 содержит БНТ и исполнительный орган – реле РТ-40/0,2. Схема внутренних соединений реле с обозначением отпаек обмоток показана на рис. 15. Регулировка тока срабатывания производится так же, как и у реле РНТ-565, регулировка тока торможения – изменением числа витков тормозной обмотки. Число витков тормозной обмотки

изменяется с помощью одного винта (рис. 16). Максимально допустимый длительный ток рабочей и тормозной обмоток реле равен 12,5 А. На рис. 13–16 положение штепсельных винтов соответствует максимальному числу включенных витков на всех обмотках реле.

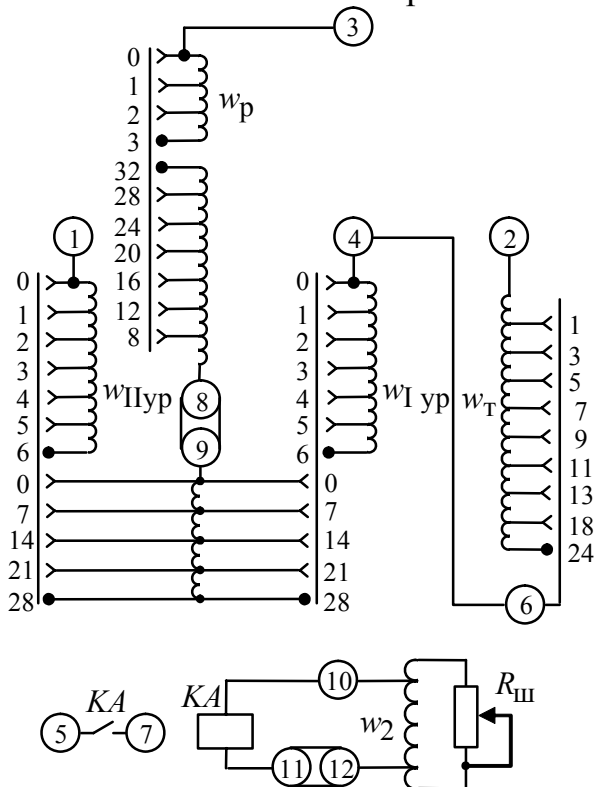


Рис. 15. Принципиальная схема реле ДЗТ-11



Рис. 16. Клеммные панели реле ДЗТ-11

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из реле ДЗТ-11 и РНТ-565. Клеммы 1, 3, 6, 10, 11 (для РНТ-565) и 1, 2, 3, 6, 10, 11 (для ДЗТ-11), расположенные под реле, являются выводами реле и служат для подключения проверочной установки ПУ-1. Лампы *HL* сигнализируют о срабатывании реле. Автоматические выключатели «~220 В» и «+220 В» служат для питания установки переменным и постоянным напряжением.

Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле РНТ-565 и ДЗТ-11. Обратить внимание на расположение обмоток, пределы и способы регулирования числа витков. Записать паспортные данные реле.

2. Определить ток срабатывания реле РНТ-565 при различном числе витков первичной обмотки и ампервитки срабатывания ($Aw_{ср}$). Для этого со-

обрать схему, показанную на рис. 17. Повышать переменный ток в реле до срабатывания реле. По полученному значению тока срабатывания рассчитать ампервитки $Aw_{ср} = I_{ср}w$ и сравнить их с $F_{ср}$ для реле РНТ-565 ($F_{ср} = 100$). При значительном отличии действительных $Aw_{ср}$ от $F_{ср}$ реле подрегулировать их путем изменения степени натяжения пружины исполнительного органа, установив $I_{ср} = 100 / (w_p + w_{IIур})$. Опыт повторить для 3–4 значений $w_p + w_{IIур}$, изменяя число витков от 10 до 69. Данные опытов занести в табл. 8.

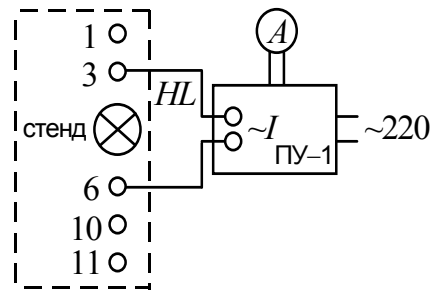


Рис. 17. Схема испытания реле РНТ-565

Таблица 8

Число витков $w_p + w_{IIур}$, в	10	69
Ток срабатывания $I_{ср}$, А					
Ампервитки срабатывания $Aw_{ср}$, Ав					

1. Выявить эффект влияния аperiodической составляющей тока в короткозамкнутой обмотке на работу реле РНТ-565. Наличие аperiodической составляющей имитируется пропуском через обмотки w_p и $w_{Iур}$ постоянного тока. Схема опыта приведена на рис. 18. Установив максимальное число витков $w_{Iур} = 34$, $w_p = 35$, а $w_{IIур} = 10$, включить автоматические выключатели «~127» и «+220». Изменяя постоянный ток в обмотках w_p и $w_{Iур}$ от 0 до 2,5 А (5–6 точек через 0,5 А), и постепенно повышая переменный ток, каждый раз добиваться срабатывания реле. Данные опытов занести в табл. 9 и построить зависимость $Aw_{ср} = f(Aw_{пост})$.

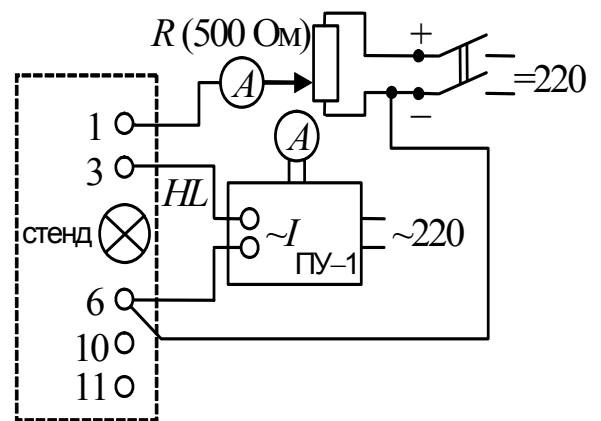


Рис. 18. Схема испытания реле РНТ-565

Таблица 9

Постоянный ток через рабочую (w_p) и уравнивательную ($w_{Iур}$) обмотки, А	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Постоянные ампервитки, Ав						
Переменный ток через w_p и $w_{IIур}$, А						
Ампервитки срабатывания, Ав						

4. Снятие характеристики намагничивания и определение коэффициента надежности для реле РНТ-565. Характеристика намагничивания представляет собой зависимость напряжения на обмотках реле РТ-40 от первичных ампервитков $U_p = f(Aw)$ при синусоидальном токе. По этой характеристике можно судить об исправности БНТ, а также определить коэффициент надежности реле. Коэффициент надежности есть отношение токов в исполнительном органе реле (обмотка РТ-40) при двукратном и однократном первичном токе срабатывания и приблизительно равна отношению U_p при первичных ампервитках 200 и 100

$$k_H = \frac{U_p(Aw = 200)}{U_p(Aw = 100)}$$

Коэффициент показывает степень насыщения БНТ и для исправного реле $k_H = 1,2$.

Для снятия характеристики намагничивания собирается схема, приведенная на рис. 19. У реле используется рабочая и вторая уравнивательная обмотка $w_p + w_{IIур} = 69$. Данные опытов занести в табл. 10. По результатам опытов строится зависимость $U_p = f(Aw)$.

Таблица 10

Ток намагничивания, А					
Ампервитки намагничивания ($w_p + w_{IIур} = 69$), Ав					
Напряжение на обмотках реле U_p , В					

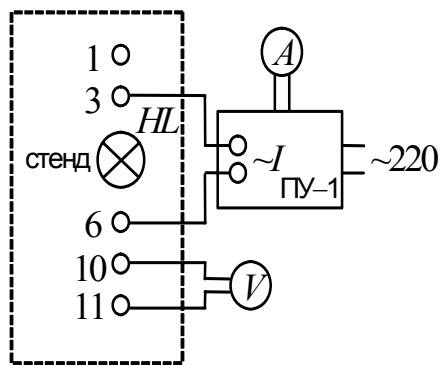


Рис. 19. Схема снятия характеристики намагничивания реле РНТ-565

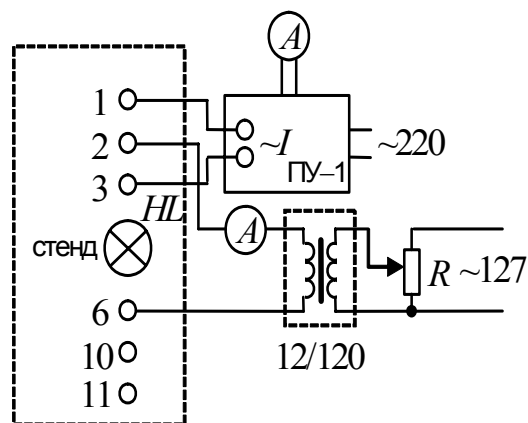


Рис. 20. Схема для снятия тормозной характеристики реле ДЗТ-11

5. Снятие тормозных характеристик ДЗТ-11. Собрать схему по рис. 20. Установить максимальное число витков на рабочей, второй уравнивательной ($w_p + w_{IIур} = 69$) и тормозной обмотках ($w_T = 24$).

Изменяя ток в тормозной обмотке от 0 до 2,5 А, постепенно повышать ток в рабочих обмотках, добиваясь срабатывания реле. Данные опытов занести в табл. 11. По данным опытов построить зависимость $Aw_{ср} = f(Aw_T)$.

Ток через тормозную обмотку реле, А	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Тормозные ампервитки, Ав						
Ток через рабочие обмотки реле, А						
Рабочие ампервитки срабатывания Aw_{cp} , Ав						

Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, схемы внутренних соединений реле РНТ-565 и ДЗТ-11.
2. Схемы испытаний реле, таблицы замеров, графики зависимостей $Aw_{cp} = f(Aw_{пост})$, $U_p = f(Aw)$, $Aw_{cp} = f(Aw_T)$.
3. Выводы, объясняющие характер снятых зависимостей, значение F_{cp} для РНТ-565 и ДЗТ-11.

Контрольные вопросы

1. Каковы принцип действия, конструкция и назначение быстронасыщающего трансформатора?
2. Какова конструкция реле РНТ-565?
3. Что такое магнитное торможение? Как подключается тормозная обмотка реле в цепях дифзащит?
4. Какова конструкция реле ДЗТ-11?
5. Для чего снимается характеристика намагничивания реле РНТ-565?
6. Как и для чего определяется коэффициент надежности реле РНТ-565?

Лабораторная работа 5

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучение принципиальной схемы релейной защиты понижающего трансформатора, знакомство с методикой расчета и настройки защит, проверка их работы в различных режимах [1, с. 70–77; 3, с. 549–614].

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда, внешний вид которого показан на рис. 21 и панели, на которой смонтированы защиты понижающего трансформатора (рис. 22).

В левой части стенда показана мнемосхема защищаемого трансформатора T с трансформаторами тока $TA1–TA3$ и напряжения TV . Ключи $SA4$ и $SA5$ служат для управления выключателями $Q1$ и $Q2$ силового трансформатора, включенное положение которых фиксируется загоранием сигнальных ламп $HL3$ и $HL4$, расположенных рядом с ключом управления. Клеммы 1–14, выведенные на внешнюю сторону стенда, связаны с панелью защит и служат для подключения к ней измерительных приборов, трансформаторов тока и напряжения.

В правой нижней части стенда расположены автоматические выключатели *SF1* и *SF2* для подачи на стенд переменного и постоянного токов соответственно и три переключателя *SA1*, *SA2*, *SA3*. Переключатель *SA3* служит для выбора

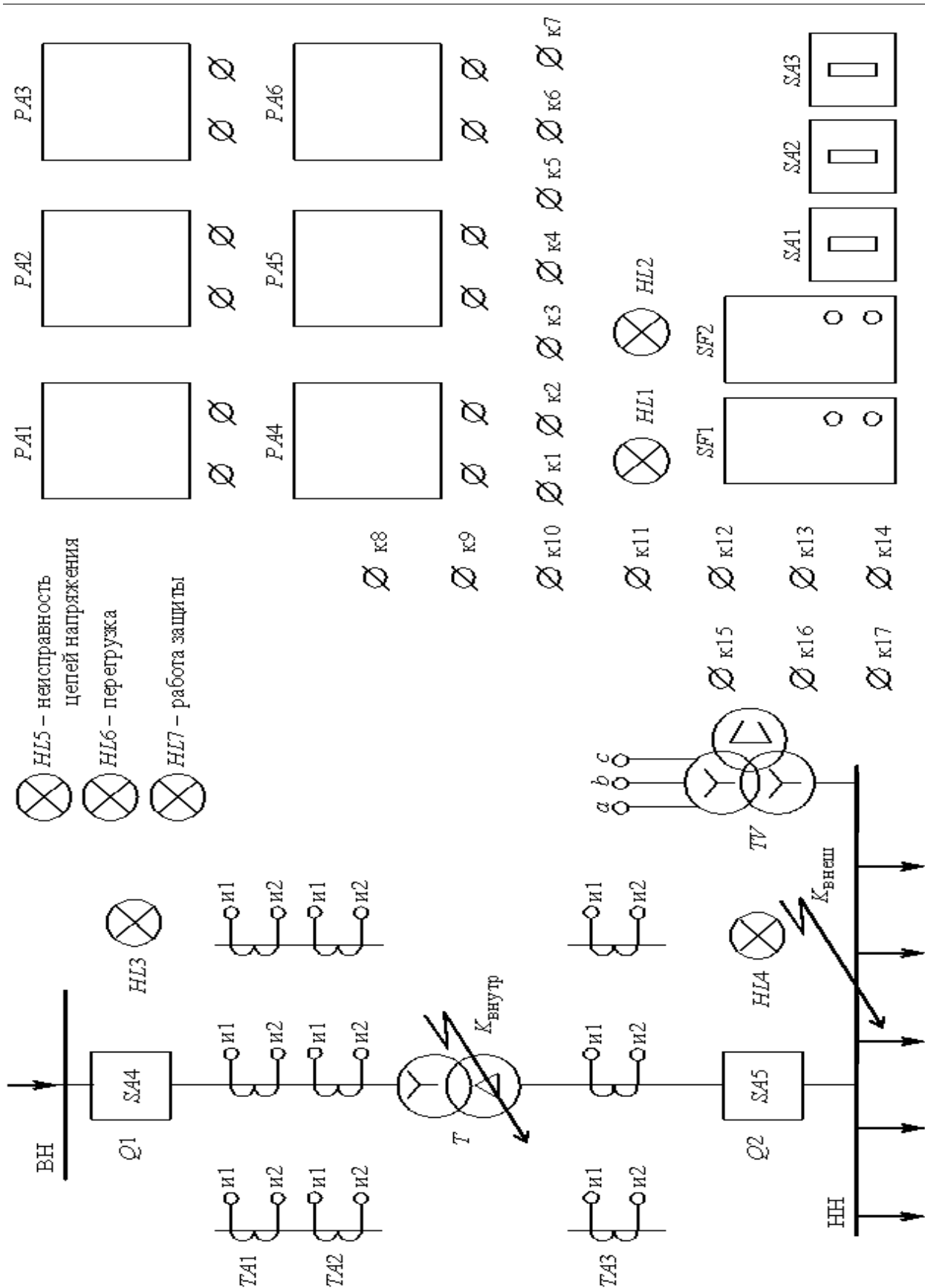


Рис. 21. Внешний вид лабораторного стенда

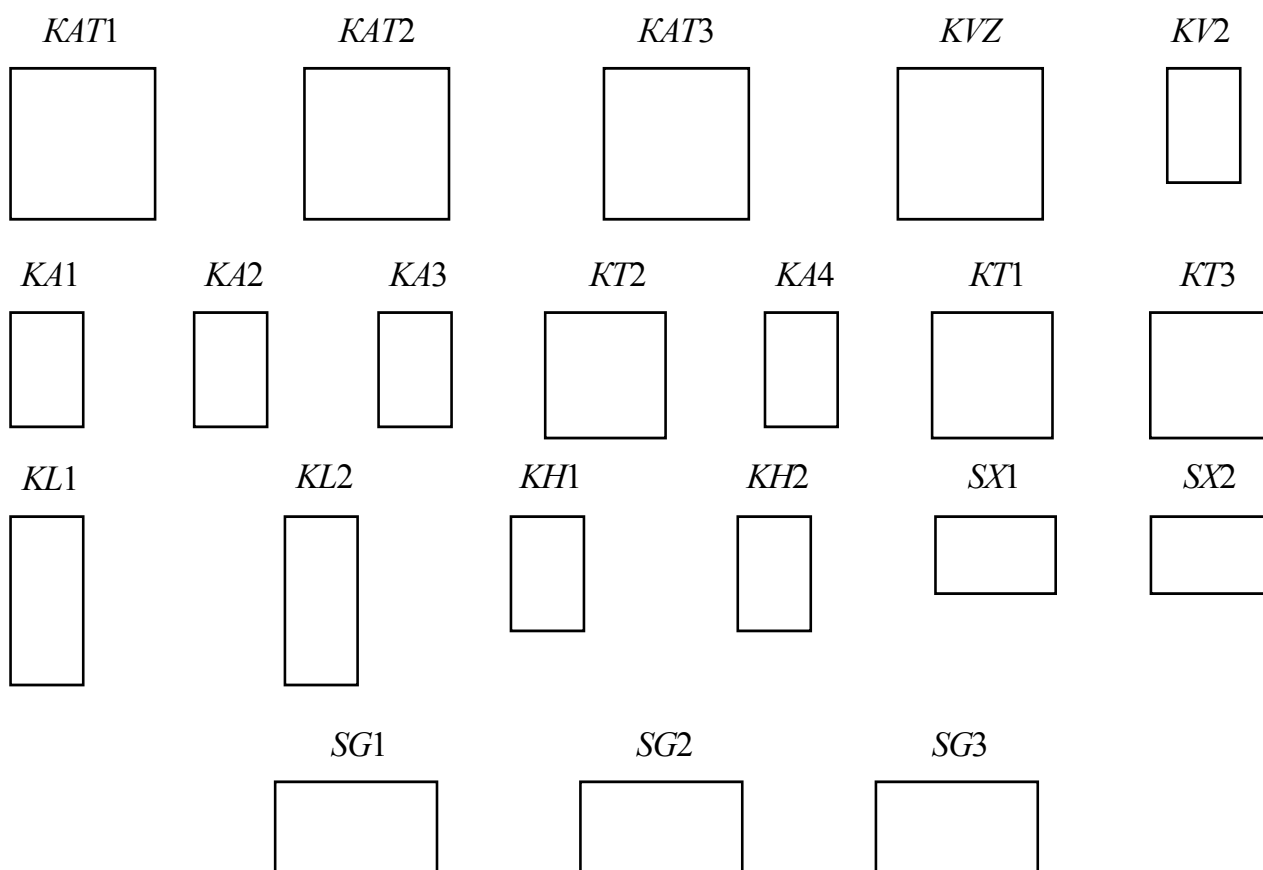


Рис. 22. Внешний вид панели защиты

нормального или аварийного режима работы трансформатора, *SA2* – для создания аварийных режимов (режима внутреннего симметричного короткого замыкания (КЗ); режима внутреннего несимметричного КЗ; режима внешнего несимметричного КЗ; режима перегруза), а *SA1* – для подачи на установку переменного и постоянного напряжений.

В правой верхней части стенда расположено шесть амперметров для замера токов со стороны высшего и низшего напряжений силового трансформатора.

Панель защиты трансформатора (рис. 22) содержит:

- продольную дифференциальную токовую защиту (реле *KAT1–KAT3*, *KH1*);
- максимальную токовую защиту с комбинированным пуском по напряжению (реле *KA1–KA3*, *KVZ*, *KV*, *KL1*, *KT2*, *KH2*);
- максимальную токовую защиту от перегрузки (*KA4*, *KT1*);
- реле сигнализации обрыва цепей переменного напряжения (*KT3*);
- выходное реле защит (*KL2*);
- испытательные блоки *SG1–SG3*.

Защита трансформатора смонтирована на панели, которая связана со стендом контрольным кабелем. Связь между измерительными трансформаторами, приборами и клеммами стенда, соединенными с панелью, осуществляется внешними соединениями на стенде. Цепи переменного тока и напряжения релейной защиты трансформатора показана на рис. 23.

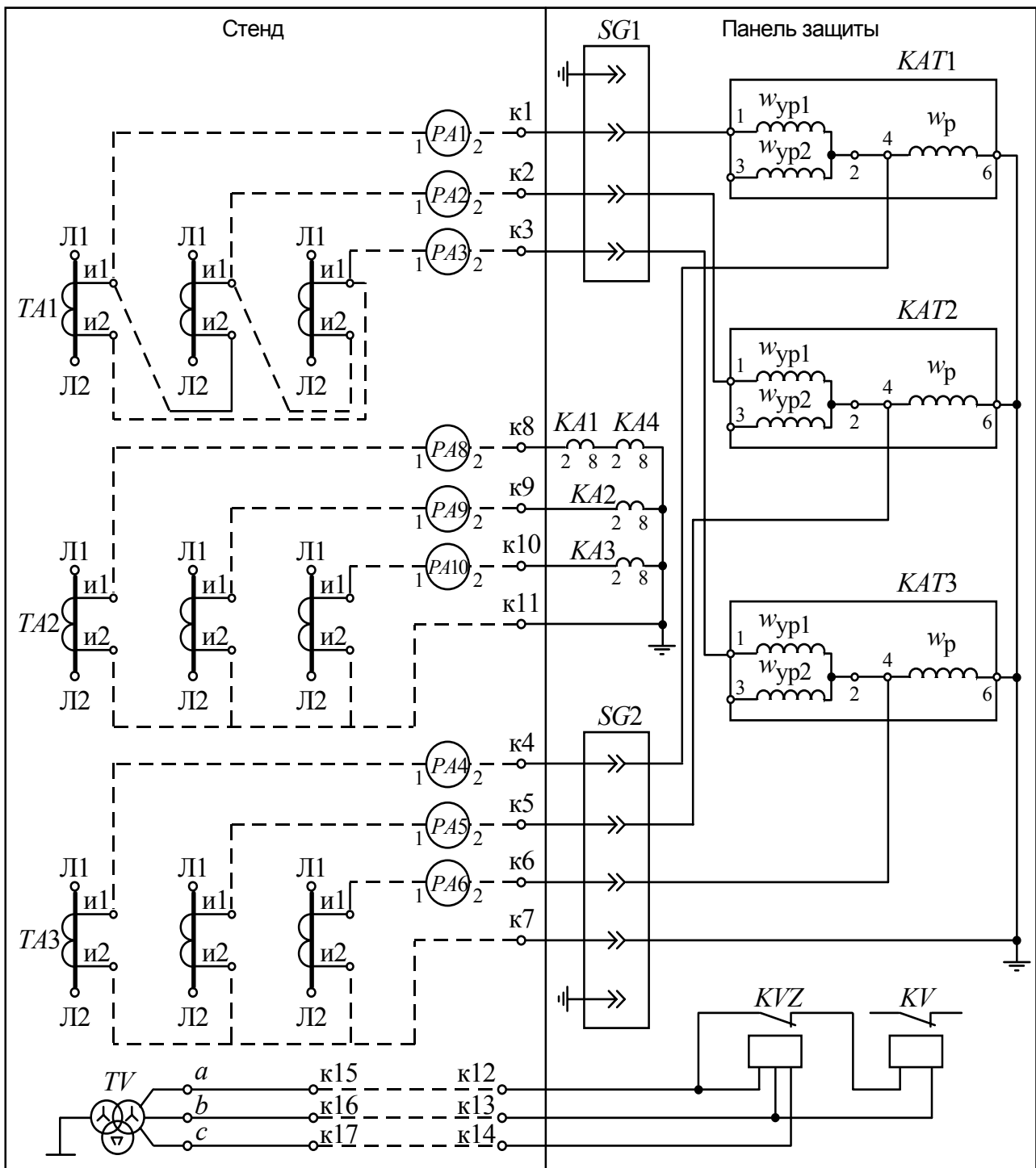


Рис. 23. Цепи переменного тока и напряжения релейной защиты трансформатора

Порядок проведения работы

1. Замер токов и напряжений, необходимых для расчета защит трансформатора.

При отключенных автоматических выключателях $SF1$ и $SF2$ собрать схему токовых цепей согласно рис. 23, выполнив соединения, обозначенные пунктирными линиями. Для замера токов в плечах дифференциальной защиты использовать приборы, установленные на стенде, а для замера токов и напряжений для МТЗ – переносные приборы. Для замера междуфазных напряжений переносной вольтметр подключать поочередно к клеммам 12–13, 13–14 и 12–14.

Максимальная токовая защита от коротких замыканий. Ток и напряжения срабатывания защиты определяют по нормальному нагрузочному режиму:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{Н}}}{k_{\text{В}}} I_{\text{нагр.норм}},$$

где $k_{\text{Н}} = 1,1-1,2$, а $k_{\text{В}} = 0,85$;

$$U_{\text{ср}} (KV) = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{k_{\text{Н}} k_{\text{В}}},$$

где $k_{\text{Н}} = 1,1-1,2$, а $k_{\text{В}} = 1,15$, $U_{\text{раб.мин}} = 0,95 U_{\text{раб.норм}}$;

$$U_{\text{ср}} (KVZ) = 0,06 U_{\text{раб.норм}}.$$

Время срабатывания защиты согласуется с временем срабатывания защит присоединений шин низшего напряжения, которое задается преподавателем.

Максимальная токовая защита от перегрузки. Ток срабатывания отстраивается от тока нагрузки нормального режима:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{Н}}}{k_{\text{В}}} I_{\text{нагр.норм}},$$

где $k_{\text{Н}} = 1,05$, а $k_{\text{В}} = 0,85$.

Время срабатывания согласуется с временем действия МТЗ от коротких замыканий.

Схема сигнализации о неисправностях в цепях защиты. Время срабатывания устройства принимается на одну-две ступени селективности больше, чем время срабатывания МТЗ от коротких замыканий.

Данные по расчетам релейной защиты занести в табл. 13.

Таблица 13

Защита	Расчетные данные					
	$I_{\text{ср}}$, А	$w_{\text{р}}$, ВИТКОВ	$w_{\text{Iур}}$, ВИТКОВ	$U_{\text{ср}} (KV)$, В	$U_{\text{ср}} (KVZ)$, В	$t_{\text{сз}}$, С
Дифференциальная защита						
МТЗ от КЗ						
МТЗ от перегрузки						

3. Настройка защит и проверка их работы.

Расчетные значения для токов, напряжений и времени срабатывания защит выставить на соответствующих реле на панели релейной защиты трансформатора с учетом схемы их включения и характера соединения обмоток.

Проверить работу дифференциальной защиты и МТЗ от КЗ в режимах внешнего и внутреннего КЗ; работу МТЗ от перегрузки – в режиме перегрузки трансформатора.

Для этого ключ $SA1$ установить в положение «ВКЛЮЧЕНО», а $SA3$ – в положение «НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ», подать напряжение на стенд и включить выключатели $Q1$, $Q2$ трансформатора. Ключом $SA2$ выбрать соответствующий аварийный режим работы трансформатора. При имитации аварийного режима

необходимо пользоваться ключом *SA3*, т.е. всегда переходить на аварийный режим с нормального.

После каждого очередного действия защиты установить ключ *SA3* в положение «НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ», проверить отключенное положение выключателей *Q1*, *Q2* и вернуть в исходное положение указательные реле.

Записать и проанализировать поведение защит при различных повреждениях и ненормальных режимах работы трансформатора, дать оценку правильности их работы.

4. Снятие векторных диаграмм вторичных токов в плечах дифференциальной защиты.

Построение векторных диаграмм состоит в определении углов между векторами токов различных фаз и взаимного расположения векторов одноименных фаз в плечах дифференциальной защиты для нормального нагрузочного режима работы трансформатора. Снятие векторных диаграмм вторичных токов можно производить с помощью прибора ВАФ-85 (вольтамперфазоуказатель).

С помощью прибора снимается значение углов между током одной из фаз и вектором напряжения U_{ab} . Для этого прибор ВАФ-85 (АВС) необходимо подключить к клеммам 15, 16, 17 соответственно. Проверить правое вращение фазоуказателя, нажав кнопку в левом нижнем углу прибора. Вставить вилку клещей прибора в клеммы (*) и (1) соответственно. Обхватить провод клещами, **расположив (*) клещей в сторону трансформатора тока**. Вращая диск фазоуказателя **против часовой стрелки** и, поставив тумблер в положение «ФАЗА», добиться на приборе нулевого показания. Результаты измерений занести в табл. 14.

По данным табл. 14 построить векторные диаграммы токов и проанализировать расположение одноименных векторов на векторных диаграммах питающей и приемной стороны.

Таблица 14

Угол между током и напряжением U_{ab}					
Питающая сторона			Приемная сторона		
I_a, A	I_b, A	I_c, A	I_a, A	I_b, A	I_c, A

5. Измерение токов небаланса.

Ток небаланса замеряется в цепи вторичных обмоток быстронасыщающихся трансформаторов реле РНТ-565, которые соединены с обмотками исполнительных органов через контакты испытательного блока *SG3*.

Подключив миллиамперметр на зажимы блока в какой-либо фазе, замерить ток небаланса в следующих режимах: нормальном, при внешнем несимметричном КЗ, при внутреннем симметричном КЗ, при обрыве (закорочен трансформатор тока) одного из соединительных проводов в плече дифзащиты, при числе витков на уравнительной обмотке РНТ-565 отличном от расчетного.

Замер тока небаланса производить при отключенном постоянном напряжении.

Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, принципиальная схема цепей переменного тока и напряжения релейной защиты трансформатора.
2. Таблицы с результатами измерений и расчетов, расчет релейной защит.
3. Векторные диаграммы вторичных токов в плечах дифференциальной защиты.
4. Выводы, содержащие анализ работы защит трансформатора в различных режимах, оценку векторных диаграмм, причины, влияющие на величину тока небаланса дифзащиты трансформатора.

Контрольные вопросы

1. Какие защиты и от каких повреждений установлены на понижающем трансформаторе? С помощью каких реле они выполнены?
2. Каковы принцип действия и особенности выполнения дифференциальной защиты трансформатора?
3. Как определить $I_{неб}$, $I_{ср}$ и количество витков на обмотках реле РНТ-565 для дифференциальной защиты трансформаторов?
4. Как определяется $I_{ср}$, $U_{ср}$ и $t_{ср}$ для МТЗ от коротких замыканий и перегрузок?
5. Как снимается векторная диаграмма вторичных токов защиты?

Лабораторная работа 6

НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА В ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ

Цель работы: изучение схемы направленной защиты с высокочастотной (ВЧ) блокировкой, знакомство с методикой расчета и настройки защиты, проверка ее работы в различных режимах [1, с. 54–56; 3, с. 495–503].

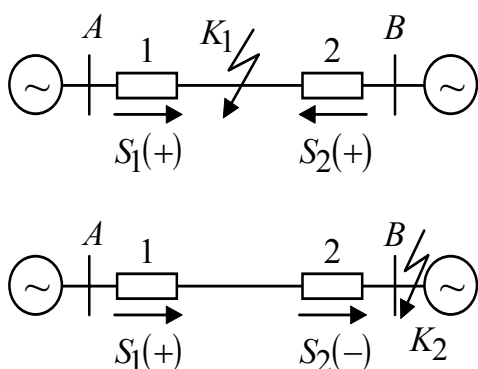


Рис. 24. Направление мощности при различных к.з.

Принцип действия направленной защиты с ВЧ блокировкой

Направленная ВЧ защита реагирует на направление (или знак) мощности КЗ по концам защищаемой линии. Как видно из рис. 24 при КЗ на защищаемой линии (в точке K_1) мощности КЗ на обоих концах поврежденного участка AB имеют одинаковый знак и направление от шин в линию.

В случае внешнего КЗ (K_2) направление и знаки мощности по концам защищаемой линии оказываются различными. На ближайшем к месту повреждения конце линии мощность КЗ S_2 отрицательна и направлена к шинам, а на удаленном S_1 – положительна и направлена от шин в линию. Из этого следует,

что можно определить место повреждения (на линии или за ее пределами), сравнивая направления мощности по концам линии.

Такое сравнение осуществляется при помощи реле направления мощности M , которые устанавливаются на обоих концах линии и включаются так, чтобы при КЗ на защищаемой линии они разрешали действие защит на отключение. Поэтому при КЗ в точке K_2 действуют на отключение только защиты, установленные на поврежденной линии. На питающем конце неповрежденной линии AB реле мощности защиты 1 замыкает свои контакты, разрешая ей действовать на отключение. Однако на приемном конце линии AB реле мощности защиты 2 под влиянием мощности КЗ, направленной к шинам, размыкает свои контакты, чем запрещает действие защиты 1 посылкой блокирующего сигнала тока высокой частоты по проводам этой же линии.

Блокирующий ток вырабатывается специальными генераторами токов высокой частоты ГВЧ, управляемыми реле мощности M , и принимается специальными приемниками токов высокой частоты ПВЧ, настроенными на ту же частоту, что и генераторы. Приняв высокочастотный сигнал, приемники выпрямляют полученный ток и подают его в обмотку блокирующего реле B , которое размыкает цепь отключения своей защиты, не позволяя ей действовать на отключение.

При КЗ на защищаемой линии в точке K_1 блокирующий сигнал высокой частоты отсутствует, так как реле мощности, срабатывая, не позволяют действовать передатчикам высокой частоты. В этом случае контакты блокирующих реле остаются замкнутыми, разрешая защите действовать на отключение.

Таким образом, блокирующий ток высокой частоты появляется в линии только при внешних КЗ, обеспечивая селективную работу защиты. Зона действия защиты ограничивается трансформаторами тока, питающими реле направления мощности.

Направленная защита с ВЧ блокировкой состоит из двух комплектов, установленных по концам защищаемой линии и связанных между собой каналом токов высокой частоты. Каждый из комплектов защиты содержит релейную часть, реагирующую на направление мощности КЗ и ВЧ часть, генерирующую и принимающую токи высокой частоты.

Основные элементы защиты. Упрощенная схема комплекта защиты, поясняющая принцип выполнения и действия направленных ВЧ защит, показана на рис. 25. Релейная часть защиты состоит из трех основных элементов: пускового органа, органа направления мощности и блокирующего реле B .

Пусковой орган защиты выполняется при помощи двух комплектов реле, один из которых (реле Π_1) пускает передатчик высокочастотного поста (реле $KA2$ и $KA3$ на стенде), а второй (реле Π_2) управляет цепью отключения защиты (реле $KA1$ и $KA4$ на стенде). Для пуска защиты применяются токовые реле или реле сопротивления.

Орган направления мощности M осуществляется посредством обычных реле мощности (реле $KW1$ и $KW2$ на стенде).

Реле направления мощности замыкает свои контакты при мощности КЗ, направленной от шин в линия; срабатывая, оно останавливает передатчик (при помощи реле KL), подает ток в рабочую обмотку P блокирующего реле B и замыкает цепь отключения защиты. При направлении мощности к шинам реле M не действует и разрешает пуск передатчика.

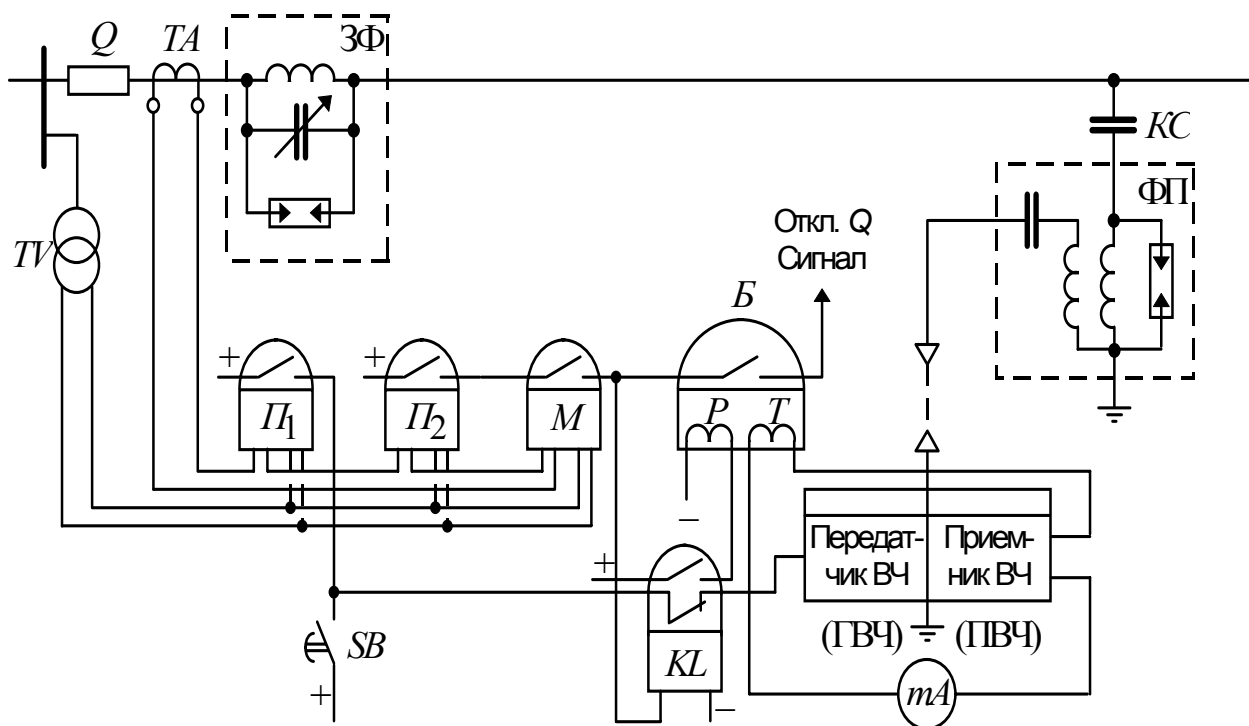


Рис. 25. Упрощенная схема направленной защиты с высокочастотной блокировкой:
 ЗФ - заградительный фильтр; ФП - фильтр присоединения; М - орган направления мощности; КС - конденсатор связи; Б - блокирующее реле; П₁ и П₂ - пусковое реле

Блокирующее реле B управляется током высокой частоты. При наличии высокочастотного сигнала блокирующее реле размыкает цепь отключения, не позволяя защите действовать. В качестве блокирующего реле используется поляризованное реле с двумя обмотками – рабочей и тормозной. Рабочая обмотка получает питание при срабатывании реле мощности и действует на замыкание контактов поляризованного реле. Тормозная обмотка T питается выпрямленным током высокой частоты, получаемым из цепи приемника, и действует на размыкание контактов реле. При одновременном питании рабочей и тормозной обмоток реле не действует, так как тормозной момент преобладает над рабочим.

Особенности пускового органа защиты. Непременным условием правильной работы защиты при внешних КЗ является пуск высокочастотного передатчика на ближнем к месту КЗ (т.е. приемном) конце линии. При несогласованной чувствительности пусковых реле на противоположных концах линии это условие может быть нарушено. Так, например, если при внешнем КЗ в точке K_2 (рис. 24) реле $П_1$, пускающее ВЧ передатчик на приемном конце линии, не сработает из-за недостаточной чувствительности, а реле $П_2$, пускающее защиту на питающей стороне линии, окажется более чувствительным и подейст-

вует, то защита на питающем конце неправильно отключит линию из-за отсутствия блокирующего сигнала.

Для исключения этого пусковой орган выполняется из двух комплектов пусковых реле: одного – Π_1 – для пуска высокочастотной части и второго – Π_2 – в цепи отключения. При этом реле Π_1 должно быть в 1,5–2 раза чувствительнее Π_2 на своем и противоположном концах линии. Такой принцип пуска предусмотрен в схеме на рис. 25.

Уставки пусковых реле. Оба пусковых реле Π_1 и Π_2 должны быть отстроены от максимальной нагрузки (если они на нее реагируют) и надежно действовать при КЗ на противоположном конце защищаемой линии. Токовые реле отстраиваются от нагрузки по формуле

$$I_{сз} = \frac{k_H}{k_B} I_{н.макс},$$

где $k_H = 1,1–1,2$ – коэффициент надежности; $k_B = 0,85$ – коэффициент возврата.

Уставка пусковых реле Π_1 , пускающих ВЧ передатчик, выбирается по этому выражению, а уставки пусковых реле Π_2 , управляющих цепью отключения, принимаются в 1,5–2 раза грубее уставок на Π_1 по соображениям, приведенным выше.

Чувствительность реле, управляющих отключением, проверяется по КЗ в точках K_1 (для комплекта 2) и K_2 (для комплекта 1), показанных на мнемосхеме стенда. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5–2.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит испытательный стенд и два комплекта высокочастотной аппаратуры, расположенные рядом со стендом.

На испытательном стенде показана мнемосхема линии электропередачи, на которой установлена направленная защита с ВЧ блокировкой. Сигнальными лампами отмечены точки КЗ: K_1 и K_2 – за пределами линии, K_3 – на защищаемой линии.

В верхней части испытательного стенда расположена аппаратура релейной части двух комплектов защиты: реле $КА2$ и $КА3$, пускающие ГВЧ, реле $КА1$ и $КА4$, управляющие цепью отключения, $КВ1$ и $КВ2$ – реле направления мощности. Гнезда $A1$ и $A2$ служат для подключения амперметров, измеряющих токи нагрузки и к.з.

Переключатель $SA1$ предназначен для выбора режима работы схемы, переключатель $SA2$ – для подачи переменного и постоянного напряжений в релейную часть защиты.

Высокочастотная аппаратура включает приемопередатчики АВЗК–80 и устройства контроля АК–80 канала ВЧ связи по линии электропередачи. Приемопередатчики включаются тумблерами «=220 В ВКЛ» на АВЗК–80, а устройст-

ва контроля – «~220 В ВКЛ» на АК–80. Питание на стенд подается автоматами «= SF1» и «~SF2».

Порядок проведения работы

1. Замерить токи нагрузки и коротких замыканий.

Для этого в гнезда *A1* и *A2* подключить амперметры. Переключатель *SA1* установить в положение «НР». Включить «~ SF2», а «= SF1» не включать во избежание срабатывания защиты. Затем *SA2* перевести в положение «ВКЛ».

Аналогично замерить токи при к.з. в точках *K1*, *K2*, *K3*. Данные занести в табл. 15.

Таблица 15

Амперметры	$I_{нр}, А$	$I_{K1}, А$	$I_{K2}, А$	$I_{K3}, А$
<i>A1</i>				
<i>A2</i>				

Переключатель *SA1* вернуть в положение «НР», а *SA2* в положение «ОТКЛ».

2. Рассчитать токи срабатывания пусковых реле защиты.

Уставка реле Π_1 , пускающих высокочастотный передатчик (*KA2*, *KA3*), определяется по приведенной выше формуле. Уставка реле Π_2 , управляющего цепью отключения (*KA1*, *KA4*), принимается в 1,5 раза больше.

Рассчитать коэффициенты чувствительности пусковых органов защиты по коротким замыканиям в точках *K1* и *K2*.

Результаты расчетов занести в табл. 16.

Таблица 16

Номер комплекта	Точка КЗ	Пусковое реле	Ток срабатывания, А	Коэффициент чувствительности
1	<i>K2</i>	Π_1 (<i>KA2</i>)		
		Π_2 (<i>KA1</i>)		
2	<i>K1</i>	Π_1 (<i>KA3</i>)		
		Π_2 (<i>KA4</i>)		

Установить токи срабатывания на пусковых реле защиты.

3. Проверить работу устройства АВЗК–80. Порядок включения АВЗК–80:

- включить автоматические выключатели *SF1*, *SF2*;
- включить тумблер «~220 В ВКЛ» на АК–80 обоих комплектов;
- включить тумблер «=220 В ВКЛ» на АВЗК–80 обоих комплектов.

Замерить ток приема и ток выхода на каждом приемопередатчике. Для этого необходимо нажать кнопку «ПУСК» на лицевой панели приемопередатчика. Для замера тока выхода необходимо при нажатой кнопке «ПУСК» нажать на кнопку «ВЫХ. 1».

Данные измерений занести в табл. 17.

Таблица 17

Номер комплекта	Ток приема своего ПП, мА	Ток выхода своего ПП, мА	Ток приема противоположного ПП, мА
1			
2			

4. Проверить работу защиты при КЗ в различных точках сети. Для этого ключом $SA1$ создавать КЗ в различных точках сети. Записать и проанализировать работу защиты при КЗ в различных точках.

Отключить приемопередатчики защиты, автоматы « $=SF1$ » и « $\sim SF2$ », переключатели $SA1$ и $SA2$ установить в исходное состояние.

Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, схема направленной защиты с ВЧ блокировкой.
2. Таблицы с измерениями и расчетами токов нормального режима и КЗ, токов срабатывания и коэффициентов чувствительности защиты, а также данные по работе АВЗК–80.
3. Выводы с анализом работы защиты при КЗ в различных точках сети.

Контрольные вопросы

1. Каковы принцип действия и область применения направленной защиты с ВЧ блокировкой?
2. Каково назначение элементов релейной и высокочастотной частей защиты?
3. Как происходит работа защиты при к.з. на защищаемой ЛЭП и при КЗ на соседних ЛЭП?

Библиографический список

1. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие / Л.Л. Богатырев, Л.Ф. Богданова, А.В. Паздерин. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 112 с.
2. Линд Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.
3. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

Содержание

Лабораторная работа 1. Статические реле тока, напряжения и времени	3
Лабораторная работа 2. Статическое реле направления мощности	11
Лабораторная работа 3. Статическое реле сопротивления	16
Лабораторная работа 4. Токовые реле с быстронасыщающимися трансформаторами РНТ и ДЗТ	23
Лабораторная работа 5. Релейная защита понижающего трансформатора ..	27
Лабораторная работа 6. Направленная защита с высокочастотной блокировкой	34
Библиографический список	39

Богатырев Леонард Леонардович
Богданова Лариса Федоровна
Федотов Владимир Павлович
Суворов Антон Алексеевич

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЛЭП

Редактор издательства *О.В. Климова*
Компьютерная верстка *Е.В. Осипова*

Подписано в печать		Формат 60×84 1/16
Бумага писчая	Печать плоская	Усл. п.ч. 1,69
Уч.-изд. л. 1.9	Тираж	Заказ
		Цена «С»

ГОУ ВПО УГТУ – УПИ
620002, Екатеринбург, Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ – УПИ
620002, Екатеринбург, Мира, 19